



Foto satelital de una zona de El Vedado, en La Habana. Tomada de Google Earth.

Desempeño energético de la arquitectura iberoamericana. Bases teórico-metodológicas para su clasificación y evaluación

Energy Performance of the Iberoamerican Architecture. Theoretical and Methodological Basis for Classification and Evaluation

Dania González-Couret, Javier Neila, Josep L. Miralles-García, Eric Gielen,
José S. Palencia-Jiménez, Ezequiel Biagioni, Julián Salvarredy, Juan F. Bárcenas-Graniel

RESUMEN: El desempeño energético de la arquitectura, que depende de su diseño pasivo, es esencial para el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, aunque es un tema escasamente tratado en Latinoamérica, particularmente en el hábitat popular autoconstruido. Este trabajo, realizado por la red CYTED REDENARQUI, tuvo el objetivo de establecer bases teórico-metodológicas comunes para caracterizar, clasificar y evaluar la arquitectura iberoamericana según su desempeño energético. En esta etapa teórica se combinan la búsqueda documental y la experiencia de cada grupo de trabajo, con la discusión colectiva de los hallazgos. Los resultados comprenden las variables a considerar en la identificación de tipos arquitectónicos y urbanos en la región, y los procedimientos para evaluarlos a partir del porcentaje anual de horas de falta de confort que cada tipo genera. Estos serán referentes para la nueva arquitectura y los procesos de renovación del patrimonio construido en la región iberoamericana, a profundizar en próximas etapas de investigación.

PALABRAS CLAVE: tipos arquitectónicos, tipos urbanos, Iberoamérica, desempeño energético

ABSTRACT: The energy performance of architecture, which depends on its passive design, is essential for achieving Sustainable Development Goal 11, although it is a topic rarely addressed in Latin America, particularly in self-built popular housing. This work, carried out by the CYTED REDENARQUI network, aimed to establish common theoretical and methodological foundations for characterizing, classifying, and evaluating Ibero-American architecture according to its energy performance. This theoretical phase combines documentary research and the experience of each working group with a collective discussion of the findings. The results include the variables to consider in identifying architectural and urban types in the region and the procedures for evaluating them based on the annual percentage of hours of discomfort each type generates. These results will serve as benchmarks for new architecture and the renovation processes of built heritage in the Ibero-American region, to be explored in the next stages of research.

KEYWORDS: architectural types, urban types, Ibero-America, energy performance.

RECIBIDO: 11 enero 2025

ACEPTADO: 02 abril 2025

Introducción

La Agencia Internacional de Energía (IEA) identifica la eficiencia energética de los edificios como una de las cinco medidas para asegurar la descarbonización a largo plazo [1]. Un buen desempeño energético de la arquitectura que contribuya a reducir el consumo de energía en el período de explotación durante su vida útil depende en gran medida de las soluciones pasivas de diseño y construcción. Particular importancia reviste la vivienda como componente mayoritario de las ciudades. Esto es un requisito esencial para el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 (asentamientos humanos más inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles), sobre todo, teniendo en cuenta el efecto del calentamiento global como consecuencia del cambio climático.

Aunque se desarrollan y publican numerosos resultados de investigación sobre estos temas, pocos se refieren a la región de América Latina, donde predominan enfoques y prácticas que tienden a subestimar la tradición arquitectónica local y sobrevalorar modelos provenientes del norte, que por lo general no presentan un buen desempeño energético en la región, y no se ha logrado sistematizar el desarrollo de las investigaciones en este campo. Por otro lado, tampoco se aborda cómo considerar el desempeño energético del hábitat autoconstruido, que es el predominante.

Es por ello necesario construir una base común, aprovechando la experiencia europea de la península ibérica y el conocimiento de la realidad local, que permita caracterizar, clasificar y evaluar la arquitectura residencial desde el punto de vista de su desempeño energético, con vistas a tomarla como referencia para aprender de las mejores prácticas, proponer estrategias para el diseño y la renovación del patrimonio arquitectónico en la transición hacia un sistema de edificios de consumo energético casi nulo (nZEB por su sigla en inglés), según los tipos climáticos y las condicionantes socioculturales.

A ese objetivo pretende contribuir el proyecto de red CYTED REDENRQUI¹, integrada por siete equipos de trabajo de seis países que abarcan un amplio rango de latitud y altitud (Figura 1): Universidad del Caribe en Cancún, Universidad Tecnológica de La Habana, Universidad de La Salle en Bogotá, Universidad Privada Boliviana en Cochabamba, Universidad de Buenos Aires y las Universidades Politécnicas de Valencia y Madrid. La investigación se estructuró en cuatro etapas: marco teórico, diagnóstico, evaluación y propuestas.

[1] Chirag D, Siew E. Determining key variables influencing energy consumption in office buildings through cluster analysis of pre- and post-retrofit building data. *Energy Build* [Internet]. 2018 [cited: December 20, 2024]; 159:228-245. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.007>.

¹ Este trabajo ha sido (parcialmente) apoyado por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED (a través de la Red REDENARQUI). Proyecto 724RT0163. Red sobre Desempeño Energético de la Arquitectura Iberoamericana (2024 – 2027).



Figura 1. Localización de los grupos de trabajo integrantes de la red REDENRQUI. Fuente: Elaboración propia.

En el artículo se presentan los resultados de la primera etapa, correspondiente a la elaboración de la base teórico- metodológica para el desarrollo del trabajo de la red, a partir de la insuficiencia de métodos y procedimientos aplicables en el contexto iberoamericano, y considerando que el desempeño energético de la arquitectura se evalúa a partir del ambiente térmico que se genera en el espacio interior donde habitan las personas, que, según la sensación térmica percibida, demandarían el consumo de energía en climatización artificial.

Materiales y métodos

A partir de la base teórico- metodológica elaborada se caracterizarán y clasificarán los tipos arquitectónicos habitacionales de la región, y se evaluará su desempeño energético según los tipos climáticos y urbanos en las ciudades objeto de estudio.

Se trata, por tanto, de una investigación teórica que parte de la revisión bibliográfica y la experiencia anterior de los equipos de trabajo de las siete universidades de seis países que integran la red, cada uno de los cuales ha aportado la documentación necesaria sobre sus resultados de investigación precedentes, y de acuerdo con sus fortalezas ha completado la investigación documental encaminada a proponer los enfoques metodológicos a seguir para la clasificación de tipos urbanos y arquitectónicos; la consideración de los materiales; los aspectos socioculturales y el desarrollo progresivo; así como la evaluación del desempeño energético de los tipos identificados.

La investigación teórica parte de la búsqueda y el procesamiento de información con vistas a organizar su discusión como base para la elaboración del modelo teórico metodológico a seguir. Para ello se realizó un análisis crítico exhaustivo de la literatura académica relevante desde la óptica de cada grupo participante, según su propia experiencia, incluyendo desde los autores clásicos sobre el tema hasta los enfoques más actuales. Especial atención se brindó a los resultados del Proyecto europeo TABULA (2009-2012), que tuvo su antecedente en el Proyecto DATAMINE (2006-2008), y su continuación en el Proyecto EPÍSCOPE (2013- 2016) [2].

Cada grupo local también brindó el conocimiento de los tipos climáticos, la geografía, la arquitectura y las formas de vida predominantes en su región de procedencia. El método de trabajo combinó los aportes individuales con la discusión colectiva, para arribar a la síntesis que se presenta, que constituye el primer acercamiento a esa base teórico- metodológica común, que no tiene antecedentes, y está en proceso de construcción, de manera que se irá completando y ajustando en las siguientes etapas a partir de los resultados que se obtengan en el trabajo empírico de campo y su análisis comparativo.

Los contextos geográficos objeto de estudio abarcan, además de la península ibérica, la región latinoamericana, desde el río bravo (México) hasta la Patagonia (Argentina), pasando por el Caribe (Cuba) y territorios ubicados en altitudes diversas, desde el nivel del mar (La Habana y Barranquilla) hasta casi cuatro mil metros de altura (La Paz), lo cual refleja la diversidad climática, geográfica y socio cultural iberoamericana. Es por ello que para seleccionar las ciudades objeto de estudio se tuvo en cuenta, fundamentalmente, la relación o no con diversas masas de agua (mares o ríos), y la altitud, que condicionan el clima, y, por tanto, la arquitectura.

Aunque el objeto de estudio de la red se enfoca en la caracterización, clasificación y evaluación de los tipos arquitectónicos, es sabido que su

[2] Loga T, Stein B, Diefenbach N. TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable. *Energy and Buildings* 132 (2016) 4–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.094>.

desempeño energético es modificado por otros factores internos y externos, entre los cuales se encuentra el contexto donde la arquitectura se inserta. Como las ciudades no son homogéneas, se tuvieron en cuenta también las particularidades de los contextos urbanos.

Existen numerosos enfoques metodológicos para clasificar la morfología urbana, pero en esta ocasión, a diferencia de investigaciones precedentes, se hizo necesario acudir a procedimientos que consideren las variables y parámetros que condicionan su comportamiento micro- climático y por tanto, su influencia en el desempeño energético de los edificios. Este fue el criterio esencial seguido en el análisis, la discusión y la selección de la metodología a emplear para caracterizar y clasificar los tipos urbanos en los cuales la arquitectura objeto de estudio se inserta.

También hay muchas maneras de clasificar los tipos arquitectónicos y las familias tipológicas, atendiendo a la forma de asociación entre edificios y con el contexto urbano; su volumen y dimensiones; la conformación del espacio interior, sus usos y funciones; los materiales y tecnologías de construcción, frecuentemente asociados a la forma arquitectónica, el contexto y el momento histórico; la época, vinculada a las tecnologías, pero también a las corrientes estéticas y formas de hacer predominantes; los códigos formales y elementos decorativos, y otras muchas, de acuerdo con el enfoque y según el objetivo que se persigue con la clasificación.

El objetivo del proyecto TABULA [2], que incluyó a 20 países europeos, fue clasificar los edificios residenciales según indicadores de desempeño energético, con vistas a emplear posteriormente esa información en su renovación para el logro de una mayor eficiencia y un mejor confort. Lo que se presenta como parte de la base teórico- metodológica de este trabajo es el resultado de la discusión de investigaciones precedentes a la luz de los objetivos del proyecto y las particularidades de la región iberoamericana.

Para definir las variables y parámetros a considerar en la caracterización y clasificación de los tipos arquitectónicos, también se tuvo en cuenta la posibilidad de observación y registro en el trabajo de campo que se desarrollará en la siguiente etapa de trabajo empírico a partir de esta base teórico- metodológica elaborada. Por otra parte, de acuerdo con lo que ya fue demostrado en el proyecto Tabula, los tipos arquitectónicos evolucionan en el tiempo, tanto en la forma de la envolvente como en su materialidad, sin embargo, no es posible establecer a priori una periodización común para toda la región, ya que esta depende de las circunstancias históricas específicas que condicionan la evolución de la arquitectura en cada lugar.

El condicionamiento sociocultural es una variable necesaria que influye en la tipología arquitectónica y el uso de la energía en el diverso contexto iberoamericano, razón por la cual se introdujo su discusión en la presente base teórico-metodológica. Lo mismo sucede con el desarrollo progresivo propio del hábitat autoconstruido, que normalmente es obviado en los estudios encaminados a clasificar los tipos arquitectónicos según su desempeño energético. La consideración de estos aspectos constituye uno de los aportes de la presente investigación.

Resultados y discusión

Tipos urbanos

Un antecedente directo son las Zonas Climáticas Locales (LCZs) que identifican 10 tipos registrados en WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) de acuerdo con su influencia en la Isla de Calor Urbana

(ICU), pero que aún carece de una clara metodología que permita establecer una relación directa con el desempeño energético de los edificios [3].

Otro antecedente lo constituye la investigación recientemente realizada con el objetivo de identificar los Tipos Morfológicos Urbanos en La Habana según su impacto en el efecto de la Isla de Calor (ICU), con vistas a proponer acciones de transformación para una mejor adaptación a las consecuencias del calentamiento global [4]. Además de otros factores como el calor antropogénico, estos autores identifican dos principales variables que condicionan la influencia de la forma urbana en el microclima térmico: las vías (calles) y la masa edificada (manzanas). Las primeras se caracterizan por la sección de vía (H/D) que describe el cañón urbano, así como la continuidad y regularidad de sus cierres, que condicionan el ángulo de visión del cielo. Los parámetros que definen la masa edificada son las dimensiones y proporciones de las manzanas y lotes; el coeficiente de ocupación del suelo (COS) que depende de la separación entre edificios; y el coeficiente de utilización del suelo (CUS), en el cual influye también su altura (número de pisos). Otros parámetros como la orientación, presencia de vegetación, topografía, albedo, materiales de construcción y terminación, actúan como modificaciones del efecto de la morfología urbana.

Como resultado de la evaluación cualitativa de los 27 tipos morfológicos identificados en la ciudad y las campañas de monitoreo realizadas durante el verano de 2023 en 12 casos de estudio seleccionados, fue posible clasificar los tipos morfológicos en 4 grupos de acuerdo con su influencia en el microclima térmico: Compacto; Semi-compacto de densidad media; Semi-compacto de baja densidad, y Abierto. [5] (Figura 2)



Figura 2. Tipos urbanos en La Habana según influencia en el microclima térmico. Fuente: González Couret y otros, 2024 [5].

El concepto de Zonas Urbanas Homogéneas ha sido empleado desde hace varias décadas. La ONG SUR de España lo aplicó en Cuba en la década de los años 90 para identificar zonas caracterizadas por similares valores patrimoniales [6], y existe una metodología para su delimitación que se aplica en la comunidad valenciana por la Orden 26 [7]. Sin embargo, a pesar de que nunca se diseñó con el objetivo de clasificar o evaluar el desempeño energético de la edificación, investigaciones recientes han empleado este concepto para mejorar el proceso de evaluación energética de los edificios en áreas representativas, considerando sus características y las interacciones

[3] López-Moreno H, Núñez-Peiró M, Sánchez-Guevara C, Neila J. On the identification of Homogeneous Urban Zones for the residential buildings' energy evaluation. Building and Environment [Internet]. 2022 [cited: December 20, 2024]; 207(Part B):108451. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108451>.

[4] González Couret D, Collado Baldoquin N, Paz Pérez GAdl, Rueda Guzmán LA. Urban variables for adaptation to global warming in a hot-humid climate. Cuban cities as a case study. Urban Climate [Internet]. 2023 [cited: December 20, 2024]; 51:101633. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101633>.

[5] González D, Collado N, Gelabert D, Morales LY, Rueda LA. Adaptación del hábitat urbano al calentamiento global en La Habana. Propuestas de transformación. Arquitectura y Urbanismo [Internet]. 2024 [consultado: 20 de diciembre de 2024]; 45(2):28-44. Disponible en: <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/835>.

[6] Ruiz G, Hernández E. Urbanización y edificación de bajo costo. Volumen 3: Política de vivienda en Cuba. Documentos. Madrid: Cooperación Española-SUR; 1998.

[7] Orden de 26 de abril de 1999, del conseller de Obras Públics, Urbanismo y Transportes, por la que se aprueba el Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana [1999/1.3917]. DOGV Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, n.º. 3.488, [5 de mayo de 1999], p.7122-7158. Disponible en: https://dogv.gva.es/datos/1999/05/05/pdf/1999_3917.pdf.

del flujo de calor en el ambiente local derivado de la morfología urbana y las características de los materiales [3].

Particular interés se ha dedicado a la metodología de delimitación de zonas urbanas de la Generalitat Valenciana (GVA), que define los usos globales, los sistemas de ordenación, los parámetros urbanísticos, las tipologías edificatorias y las zonas de ordenación urbanística. Esta metodología identifica parámetros urbanísticos relativos a la manzana y el vial (alineación del vial, manzana y patio de manzana); a la parcela (parcela, parcela edificable y solar); a la posición de la edificación en la parcela (alineación de la edificación y profundidad edificable); a la intensidad de la edificación (superficie ocupada, coeficiente de ocupación, superficie construida total, superficie útil, índice de edificabilidad neta y bruta); al volumen y forma de los edificios (altura). También define las tipologías edificatorias, que establecen las diversas formas de disponer la edificación en la parcela: manzana compacta o cerrada; bloque exento o adosado; volumen específico o contenedor.

Como resultado, se obtienen las Zonas de Ordenación Urbanística, que para el sector residencial objeto de estudio de la red serían: manzana compacta; manzana cerrada; unitario bloque exento; múltiple bloque exento; unitario bloque adosado; múltiple bloque adosado; múltiple volumen específico; y múltiple volumen contenedor (Figura 3). Sobre esa base, el reglamento identifica las siguientes Zonas Tipo: núcleo histórico; ampliación de casco; ensanche: edificación abierta; viviendas aisladas; viviendas adosadas.



Figura 3. Zonas de Ordenación Urbanística en la Comunidad Valenciana. Fuente: Generalitat Valenciana, 1999.

A partir de lo anterior, se decidió usar la metodología para la identificación de Zonas Urbanas Homogéneas con vistas a evaluar el desempeño energético de las áreas residenciales, ya que esta ha sido diseñada para ser aplicada globalmente, considerando las particularidades locales [3]. Los investigadores han demostrado que, en comparación con otras clasificaciones del entorno construido, el método ZUH permite identificar tipos más representativos para el análisis energético de los edificios. Por otro lado, los parámetros a considerar en la caracterización y los resultados de los tipos morfológicos identificados en Madrid coinciden en gran medida con las investigaciones recientemente realizadas para la ciudad de La Habana en Cuba.

Esta metodología se estructura en tres fases y comienza con la recopilación de datos urbanos en todas las fuentes disponibles [3]. En la Fase 1 se obtiene información sobre los indicadores representativos de las manzanas urbanas, como el año de construcción de los edificios o su última reforma integral; la altura en número de plantas y en su dimensión total; y la densidad de viviendas, expresada en cantidad por kilómetro cuadrado. De la morfología urbana se registra la densidad de edificios (número de edificios residenciales por km²); el área construida, expresada en porcentaje, que equivale al Coeficiente de Utilización del Suelo (CUS); el área que ocupa la huella del edificio, también en porcentaje, equivalente al Coeficiente de Ocupación del Suelo (COS); y la sección de vía del cañón urbano (H/D). Además, se observan las características de las superficies, incluyendo la proporción de zonas caminables o transitables (públicas y privadas), área verde pública, y patio interior privado.

En la Fase 2 se caracterizan los conglomerados urbanos a partir de las clasificaciones existentes, usando SIG, y en la Fase 3 se realiza un análisis estadístico para determinar los que pueden ser considerados ZUH. Como resultado de su aplicación en la ciudad de Madrid se identificaron ocho Zonas Urbanas Homogéneas (ZUH) con los rangos de valor (mínimo y máximo) de los indicadores que caracterizan las manzanas (Figura 4). En resumen, las zonas compactas se desarrollaron desde finales del siglo XIX hasta la primera mitad del XX, las dispersas comenzaron a mediados del siglo XX, y las de viviendas unifamiliares aisladas desde la terminación del siglo XX hasta inicios del XXI.



- [8] Olgyay V. *Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili; 2019. Disponible en: https://editorialgg.com/media/catalog/product/9/7/9788425214882_inside.pdf.
- [9] Givoni B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1998.
- [10] Koenigsberger OH. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Pananinfo; 1977. [Consultado: 20 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UP.101982>.
- [11] González Sandino R, López de Asiaín J. *Análisis bioclimático de la arquitectura*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura; 1994.

Figura 4. Zonas Urbanas Homogéneas en Madrid. Fuente: López Moreno y otros, 2021. [3]

Tipos arquitectónicos

Entre los estudiosos del desempeño energético de la arquitectura, que depende de su influencia pasiva en el ambiente térmico interior, hay consenso en cuanto a que la solución volumétrico-espacial y la envolvente, que determinan la relación interior- exterior, constituyen variables clave. Autores clásicos como Olgyay [8] y Givoni [9] se refieren a la configuración geométrica del volumen arquitectónico, además del clima, el bienestar y las estrategias para alcanzarlo, y otros como, Koenigsberger [10], y González Sandino y López de Asiaín [11], hacen énfasis en los cierres, su orientación y las propiedades físico- térmicas de los materiales y elementos

de construcción, que constituyen la envolvente [12]. El rol decisivo de estas variables quedó ratificado en una investigación documental recientemente realizada [4] encaminada a identificar las variables urbanas y arquitectónicas que condicionan el efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU).

Volumen

La mayoría de los autores consultados se refieren a la solución volumétrico-espacial como la “tipología” de los edificios, para cuya caracterización asumen formas simplificadas que faciliten la simulación automatizada, aunque se distancien de la realidad en cuanto a diversidad y detalles. Por esta razón, las tipologías son frecuentemente criticadas por no ser capaces de capturar la complejidad de la forma geométrica.

Una vez establecida la relación entre el desempeño energético del edificio y su comportamiento térmico, se reconoce que éste depende en gran medida de la relación interior- exterior, que condiciona la transferencia térmica y también, la ventilación e iluminación natural. Para Palusci y otros [13], el concepto de tipología del edificio incluye la descripción de sus características y su relación con el espacio abierto, es decir, el tipo determina la dimensión (ancho, largo y alto) y forma del edificio, su localización en el lote, así como la relación entre edificios (distancia entre ellos) y espacios abiertos. Wang y otros [14] reconocen el impacto del efecto entre edificios (inter-building) en el uso de energía (enfriamiento, calefacción e iluminación) y el aprovechamiento de la energía solar.

La relación proporcional entre la superficie de la envolvente expuesta y el volumen edificado es expresión de la compacidad del tipo arquitectónico, que varía con las dimensiones y proporciones del volumen, pero también está muy vinculada con la forma de asociación entre los edificios en el contexto urbano. Esta proporción es mucho mayor en una vivienda unifamiliar aislada que cuando ésta se encuentra pareada y conectada con otra mediante una pared medianera común. El indicador continúa disminuyendo si se trata de viviendas adosadas en hilera o un edificio de apartamentos.

Por mucho tiempo predominó en los análisis morfo- tipológicos urbanos la clasificación propuesta por Martin y March: “Pavilion”, “Slab” y “Court” [15]. Sin embargo, la tipología de vivienda es frecuentemente catalogada como unifamiliar y multifamiliar. En los inicios del proyecto Tabula se emplearon muchas y diversas denominaciones para los tipos arquitectónicos, de acuerdo con su condición histórica (vernácula), su ubicación y contexto (rural suburbana y urbana), o sus dimensiones, entre otros factores condicionantes, pero en la conciliación final entre todos los países participantes, se identificaron: vivienda unifamiliar aislada; vivienda adosada (urbana, suburbana, con alturas superiores o inferiores a tres pisos); vivienda multifamiliar (pequeña, mediana o grande); y bloques de apartamentos [2].

La relación entre los tipos volumétricos y el desempeño energético ha sido ampliamente comprobada. Por ejemplo, Asfour y otros [16] han demostrado mediante simulación que, en condiciones climáticas cálidas, configuraciones horizontales de vivienda pueden funcionar mejor que las verticales en términos de eficiencia energética y que las viviendas en hilera ofrecen una reducción del consumo promedio de energía de hasta 28% comparada con otros tipos de edificios residenciales.

- [12] Serra R, Coch H. *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña; 2001.
- [13] Palusci O, Cecere C. Urban Ventilation in the Compact City: A Critical Review and a Multidisciplinary Methodology for Improving Sustainability and Resilience in Urban Areas. *Sustainability* [Internet]. 2022 [cited: December 20, 2024]; 14(7):3948. Available from: <https://doi.org/10.3390/su14073948>.
- [14] Wang P, Liu Z, Zhang L. Sustainability of compact cities: A review of Inter-Building Effect on building energy and solar energy use. *Sustainable Cities and Society* [Internet]. 2021 [cited: December 20, 2024]; 72:103035. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103035>.
- [15] Quan SJ, Li C. Urban form and building energy use: A systematic review of measures, mechanisms, and methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internet]. 2021 [cited: December 20, 2024]; 139(2):110662. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110662>.
- [16] Asfour OS, Alshawaf ES. Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates. *Energy and Buildings* [Internet]. 2015 [cited: December 20, 2024]; 91:131-138. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.030>.

Según Quan y otros, [15] la vivienda individual consume más energía que la multifamiliar. Hachem y Singh [17] abogan por la mezcla de edificios residenciales y comerciales en un barrio de uso mixto, y afirma que múltiples combinaciones que mejoran el desempeño energético y a la vez reducen la emisión de GEI, se forman con un 50% de las viviendas aisladas y 50% de soluciones combinadas en hilera y unidades de apartamentos (con diferentes proporciones).

Song y otros [18] intentan clarificar los efectos de la geometría de los edificios en el microclima urbano, mientras que Palusci y Cecere [13] investigan el impacto de los detalles particulares de cada edificio en las condiciones de exposición y confort de los peatones en la calle. Según ellos, las principales características a considerar para describir un edificio son su plan o huella, la forma, la altura, el volumen, el área de fachada y la orientación.

En la medida que las dimensiones de un volumen edificado aumentan (largo, ancho y alto), la compacidad se incrementa y la relación superficie / volumen disminuye, lo cual puede ser favorable desde el punto de vista de la transferencia térmica, pero afecta a la distribución de espacios, y, por tanto, a la relación visual del interior con el exterior, así como la ventilación e iluminación natural. Esto puede conducir a la necesidad de generar perforaciones en el volumen como patios y conductos, u otras irregularidades como grecas, portales o terrazas, que incrementan su porosidad [18] y a la vez, la relación superficie / volumen. Entre las particularidades del volumen arquitectónico que influyen en su desempeño térmico se encuentra también la posible existencia de una planta baja libre [18].

Espacio

Aunque el espacio, el volumen y la envolvente conforman la arquitectura, de manera inseparable, la abstracción es necesaria para su análisis como variables con vistas a caracterizar y clasificar los tipos arquitectónicos. El desempeño energético que se desea evaluar se refiere al ambiente térmico que se genera en el espacio interior donde habitan las personas, que según la sensación térmica percibida demandarán el consumo de energía en climatización artificial. En esto influye, además de los usuarios y la actividad que realizan, el volumen, la envolvente y su orientación, pero también el espacio mismo, frecuentemente interpretado a través de la planta [13].

Las dimensiones y proporciones del espacio condicionan el ángulo sólido que se forma entre el receptor (el habitante del espacio interior) y la porción de envolvente expuesta al exterior, a través de la cual se produce el flujo térmico y el intercambio radiante (positivo o negativo) según la temperatura de las superficies interiores. Pero también la continuidad o compartimentación del espacio interior, además de condicionar sus dimensiones y proporciones, influye en el comportamiento del flujo de aire y la distribución de la iluminación natural.

Envolvente

La envolvente arquitectónica actúa como interfaz entre el afuera y el adentro, condicionando el ambiente interior. Incluye todos los cierres exteriores, cualquiera que sea su posición en el espacio, y tanto macizos como vanos. En la medida que aumenta la superficie expuesta, es decir, que

[17] Hachem C, Singh K. Optimization of the mixture of building types in a neighbourhood and their energy and environmental performance. *Energy and Buildings* [Internet]; 2019 [cited: December 20, 2024]; 204:109499. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109499>.

[18] Song D, Han S. The Analysis of Reactive Factors between Architectural Envelop Condition and Urban Microclimate. *Procedia Engineering* [Internet]. 2016 [cited: December 20, 2024]; 169:125-132. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.015>.

disminuye la compacidad del volumen, se incrementan las posibilidades de intercambio térmico a través de ella. La ganancia o pérdida de calor a través de los cierres (vanos o macizos), también depende de la orientación, que condiciona la radiación solar incidente.

Entre los parámetros que caracterizan la envolvente y que pueden ser observados en un trabajo de campo para la identificación de los tipos arquitectónicos, se encuentran su forma, sus características geométricas y la presencia de aberturas [19]; la relación vano / macizo, es decir, la proporción del área ocupada por vanos, así como sus formas, proporciones y ubicación, y el tipo de cierre de éstos. Esas características de los vanos influyen en la magnitud de la radiación solar que penetra a través de ellos, pero también en la pérdida de energía hacia el exterior, la iluminación y la ventilación natural, en caso de tratarse de cierres abrideros.

También es posible apreciar la tersura que condiciona el autosombreado. Martins y otros [20] afirman haber generado escenarios urbanos más eficientes al mejorar 24% del control solar en las fachadas manteniendo satisfactorios niveles de iluminación natural, y según Allegrini y otros [21], las temperaturas de las fachadas bajan cuando están presentes formas geométricas más complejas que incrementan los efectos de sombra, lo cual influye positivamente en la demanda de enfriamiento o calefacción de los edificios.

Lo mismo sucede con los materiales y elementos constructivos empleados, que además de que no pueden ser vistos en un simple proceso de observación, varían con el tiempo y se transforman en los procesos de renovación. Sin embargo, los materiales y tecnologías de construcción y terminación resultan decisivos para el desempeño energético de los tipos arquitectónicos, ya que, de acuerdo con la magnitud de la superficie expuesta y su orientación, determinan el flujo térmico a través de la envolvente [18].

Tecnología

Además de los materiales y las tecnologías de construcción, con los que se ejecuta la estructura y la envolvente, en el desempeño energético de los edificios también influyen otras tecnologías. Según Quan y otros [22], la investigación sobre la demanda energética debe considerar el sistema de ingeniería del edificio, incluyendo las tecnologías vinculadas a su operación, que pueden ir desde la automatización hasta el internet de las cosas, así como el contexto histórico, social y cultural.

Resumen

La identificación, caracterización, clasificación y posterior evaluación de tipos arquitectónicos pretende responder a las variables, parámetros e indicadores que condicionan el desempeño energético de la arquitectura por medios pasivos, es decir, a su rol como interfaz entre el clima exterior y el ambiente térmico en los espacios interiores donde habitan las personas. En la medida que el tipo arquitectónico sea capaz de garantizar un ambiente térmico interior lo más confortable posible por medios pasivos, será menor la demanda energética por climatización artificial y, por tanto, mejor el desempeño energético del tipo.

Aunque las estrategias de diseño bioclimático más apropiadas varían con el clima, éstas se refieren al tratamiento más recomendado en cada caso para los elementos que conforman la arquitectura y los parámetros que los caracterizan: el volumen y su relación con el contexto, el espacio y la envolvente (elementos macizos y vanos).

La principal variable que quedará registrada como resultado de la observación de los tipos arquitectónicos en el trabajo de campo es el volumen

- [19] Guo C, Buccolieri R, Gao Z. Characterizing the morphology of real street models and modelling its effect on thermal environment. *Energy and Buildings* [Internet]. 2019 [cited: December 20, 2024]; 203:109433. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109433>.
- [20] Martins T, Adolphe L, Gonçalves Bastos LE. From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. *Energy and Buildings* [Internet]. 2014 [cited: December 20, 2024]; 76:43-56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.056>.
- [21] Allegrini J, Dorer V, Carmeliet J. Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *J Wind Eng Ind Aerodyn* [Internet]. 2015 [cited: December 20, 2024]; 144:108-117. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.024>.
- [22] Quan J, Wu J, Wang Y, Shi Z, Yang T, Yang PP-J. Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods. *Energy Procedia* [Internet]. 2016 [cited: December 20, 2024]; 88(1):126-132. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.035>.

En resumen, a partir de los argumentos que se han ido discutiendo, para la identificación, caracterización y clasificación de tipos arquitectónicos según el desempeño energético en Iberoamérica se partirá de la observación del volumen hacia el contexto, sus dimensiones, proporciones y compacidad, que condiciona la relación interior- exterior. Se verificará si la porosidad del volumen constituye un parámetro significativo a considerar en la región. El espacio no podrá ser caracterizado ni incorporado a la definición del tipo. La envolvente, tanto en su forma como en su materialidad, se considerará de acuerdo con la evolución de cada tipo en el tiempo (Figura 5). Se propone catalogar las tipologías arquitectónicas más significativas en las ciudades seleccionadas como objeto de estudio en cada región. La periodización que se adoptará para clasificar los tipos arquitectónicos será el resultado de la conciliación de la evolución observada en cada una de las regiones geográficas objeto de estudio, pues responde a circunstancias históricas específicas.

VOLUMEN						ESPACIO		ENVOLVENTE											
Compacidad			Porosidad			Ángulo sólido		Exposición - protección		Hermeticidad - permeabilidad			Sólidos						
Relación superficie expuesta / volumen	Dimensiones	Proporciones	Planta baja libre	Portales	Pacios	Terrazas	Continuidad - compartimentación	Dimensiones	Proporciones	Forma y posición de los cierres	Tensura	Relación vano / macizo				Forma y proporciones	Vanos		
													Ubicación	Tipo de cierre	Transferencia térmica				
															Elemento constructivo, materiales y espesores		Terminación superficial		
															Coeficiente global de transferencia térmica		Inercia térmica	Reflectividad - absorptividad	Emisividad
Considerados en el Proyecto Tábuja			Verificar su importancia para América Latina			No es posible caracterizar por observación		Se diferenciarán por su evolución en el tiempo											

2025;46:e2502

Condicionamiento sociocultural

Los patrones de confort, modos de uso de la energía, formas de vida, hábitos y costumbres, están muy relacionados con los aspectos socioculturales, que influyen en el comportamiento de las personas, sus preferencias, su grado de tolerancia y admisibilidad, y, por tanto, en el confort adaptativo.

En general, hay consenso sobre la relevancia de estos aspectos en el desempeño energético de las viviendas, por el efecto positivo que los cambios de comportamiento de los ocupantes pueden ejercer en relación con la mitigación del cambio climático [23]. Según Bogin y otros [24] en lo que respecta a la conservación de la energía, es necesario considerar factores demográficos y socioeconómicos, ya que quienes consumen energía son las personas, no así los edificios.

Entre las variables que influyen en el desempeño de los habitantes con respecto a los usos de la energía en la vivienda se encuentran: el número de personas que la habitan, los patrones de ocupación, el nivel de ingresos, el tipo de actividad y la vestimenta. El número de personas que habitan la vivienda está muy relacionado con el estrato social. Santamouris y otros [25] afirman que el consumo de energía de los hogares está directamente vinculado a los ingresos familiares. En esto coinciden Bogin y otros [24] cuando aseguran que tanto el consumo total como el per cápita tienden a aumentar a medida que se incrementan los ingresos del hogar. Por tanto, en zonas urbanas donde habitan familias de mayor poder adquisitivo, los índices de consumo de energía pueden ser superiores, aunque la densidad de ocupación de la vivienda sea baja.

En el consumo de energía según el nivel de ingresos influyen otros factores como el tamaño de la vivienda y la antigüedad de los edificios. Las familias de bajos ingresos tienden a ser más numerosas en viviendas más reducidas, por lo que, en ocasiones, las condiciones de hacinamiento pueden afectar la habitabilidad, la calidad del aire y las condiciones higiénicas de la vivienda, pero la influencia de esto en el consumo energético dependerá de la disponibilidad de equipos electrodomésticos y sistemas de climatización. Por otra parte, en un estudio de monitoreo de viviendas en La Pampa, Argentina, Sulaiman y otros [23] concluyó que las viviendas sociales consumen un 50% más de gas natural que el resto, debido a la mala calidad de la construcción y de los materiales empleados.

En zonas rurales, en climas cálidos y en asentamientos poblacionales de bajos ingresos, es común desarrollar numerosas actividades domésticas en espacios exteriores, que pueden ser privados o colectivos. En ocasiones la cocina se convierte en el lugar ideal para recibir visitas mientras el ama de casa trabaja, y por el contrario la sala de estar es solo un espacio representativo que apenas se usa. A diferencia de esto, en las viviendas de alto estándar, suele haber una diversidad de espacios para diferentes usos específicos, que por lo general están vacíos.

Pero los patrones de uso del espacio habitacional no solo cambian de un lugar a otro, sino que evolucionan con el tiempo. Recientemente, el trabajo y la educación a distancia, impulsados sobre todo a partir de la pandemia de COVID-19, han transformado y diversificado el uso de los espacios de las viviendas, con la confluencia de funciones para las cuales no estaban preparadas y cuya solución resulta aún más difícil en las de más bajo estándar [26].

- [23] Sulaiman HC, Sipowicz E, Filippin MC, Oga LM. Energy Performance of Dwellings in a Temperate Climate Area of Argentina. An Architectural Proposal. Open Construction and Building Technology Journal [Internet]. 2020 [cited: December 20, 2024]; 14(1):1-16. Available from: <http://dx.doi.org/10.2174/1874836802014010001>.
- [24] Bogin D, Kissinger M, Ereli E. Metrics matter: An integrated approach for analyzing household electricity consumption and the potential for conservation. Energy and Buildings [Internet]. 2024 [cited: December 20, 2024]; 307(6):113851. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113851>.
- [25] Santamouris M, Kapsis K, Korres D, Livada I, Pavlou C, Assimakopoulos MN. On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. Energy and Buildings [Internet]. 2007 [cited: December 20, 2024]; 39(8):893-905. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.11.001>.
- [26] González Couret D. Ciudad inclusiva. El reto se mantiene para la sustentabilidad pospandemia. Área [Internet]. 2022 [consultado: December 20, 2024]; 28(1):1-13. Disponible en: <http://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/area/article/view/1998>.

De acuerdo con lo expuesto, se decidió considerar los aspectos socioculturales que condicionan el consumo de energía en la vivienda, de manera general, según el estrato social, ya que en un trabajo de campo para el levantamiento de tipos arquitectónicos no es posible profundizar en otros detalles. Considerando, al menos, tres niveles de estrato, será posible introducir esta variable en la clasificación.

Desarrollo progresivo

La Producción Social del Hábitat (PSH) es el modo predominante de hacer ciudad en Latinoamérica, que ya hace más de una década constituía el 67% de la producción habitacional [27]. Según Ortiz Flores y otros [28], la construcción de la vivienda es un proceso incremental y progresivo, que orienta el modo de producción hacia formas capaces de potenciar los recursos financieros limitados de sus habitantes, con los materiales y técnicas constructivas que resultan conocidas y aprehensibles [29]. Pelli V y otros [30] definen la progresividad en la construcción de la vivienda como un proceso prolongado y continuo, que desarma el concepto de vivienda “terminada” o “llave en mano” como solución definitiva.

Con independencia de los numerosos y diversos términos que se emplean para denominar el hábitat socialmente producido, existe una diferenciación entre villas o favelas y asentamientos, en la que han coincidido la mayoría de los especialistas. Según Driant y Riofrío [31] y Cravino [32], los asentamientos son urbanizaciones organizadas, donde se delimita el trazado y la dimensión de los lotes, mientras que en las villas o favelas la ocupación es espontánea y por agregados, sin una planificación del trazado, lo cual redundará en pasillos angostos, mayores dificultades para garantizar una iluminación y ventilación adecuada, y edificaciones de mayor altura.

Por tanto, los primeros parten de un trazado regular de vías y lotes donde se desarrollan las viviendas progresivas por autoconstrucción, pero los segundos carecen de ello, por lo que se les llama “autourbanización” [31], ya que la población productora del barrio y las viviendas es quien planea y toma decisiones sobre la ocupación del suelo, la edificación de equipamientos comunitarios, y la dotación de infraestructura, que también es construida por los propios pobladores. Cravino [32] caracteriza a las villas por sus entramados irregulares, ubicadas en sectores relativamente centrales, de alta densidad poblacional y precariedad edilicia, y como producto de la suma agregada de construcciones individuales a lo largo del tiempo.

El desarrollo progresivo se introduce entre las variables a considerar para la caracterización, clasificación y evaluación de los tipos arquitectónicos en Iberoamérica según su desempeño energético, por diversas razones: la primera se refiere a la evolución natural de la arquitectura en el tiempo, y la segunda al proceso de desarrollo continuo que caracteriza al hábitat popular autoconstruido en América Latina.

La evolución en el tiempo de la imagen arquitectónica es consecuencia de la respuesta a nuevas necesidades sociales, aplicación de principios formales o nuevos materiales y tecnologías de construcción. Eso hace que, en un mismo tipo arquitectónico en cuanto a volumetría y relación interior-exterior con su contexto y con otros edificios, la envolvente pueda variar su forma, por ejemplo, en cuanto a dimensiones, formas y tipo de cierre de los vanos, que sí influyen en su desempeño energético, a diferencia de otros elementos formales o decorativos que también se pueden modificar.

La transformación de la arquitectura en el tiempo es un proceso natural derivado de las necesidades de mantenimiento y conservación, pero

[27] Arévalo M, Bazoberry G, Blanco C, Díaz S, Fernández R, Florian A, et al. El Camino Posible. Producción Social del Hábitat en América Latina Montevideo: Trilce; 2011. Disponible en: <https://www.hic-net.org/es/el-camino-posible-produccion-social-del-habitat-en-america-latina/>.

[28] Ortiz Flores E. Producción Social de la vivienda y el hábitat. Bases conceptuales y correlación con los procesos habitacionales. México: Hic-Al; 2012. Disponible en: <https://hic-al.org/2018/12/28/produccion-social-de-la-vivienda-y-el-habitat-bases-conceptuales-y-correlacion-con-los-procesos-habitacionales/>.

[29] Salvarredy JR. El proyecto urbano inclusivo como instrumento de la gestión territorial [tesis doctoral]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo; 2021. Disponible en: http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsdL/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=aaqttesis&cl=CL1&d=HWA_5693

[30] Pelli VS. Habitar, participar, pertenecer, acceder a la vivienda, incluirse en la sociedad. Buenos Aires: Nobuko; 2007.

[31] Driant JC, Riofrío G. ¿Qué vivienda han construido? Lima: Institut français d'études andines, Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional, TAREA. Asociación de Publicaciones Educativas; 1987.

[32] Cravino MC. Las villas de la ciudad. Mercado e informalidad urbana. Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento; 2006.

también de renovación formal y energética. De lo contrario, se produce una involución que conduce a su deterioro y la pérdida de las condiciones de habitabilidad y desempeño, que pueden acelerar el fin de su vida útil. Toda arquitectura evoluciona en el tiempo mediante acciones de mantenimiento, reparación, rehabilitación, y otras, encaminadas a mantener o mejorar la calidad y su desempeño a lo largo de la vida útil en función de los intereses y necesidades de sus habitantes. Prueba de ello son los procesos de renovación formal siguiendo tendencias de moda, y más recientemente la renovación energética en aras de incrementar la eficiencia y reducir el consumo. Por tanto, cada tipo identificado va evolucionando en el tiempo, con independencia de su fecha de construcción original, de manera que será necesario definir cómo registrar la información de las variantes derivadas de la evolución temporal en un mismo tipo arquitectónico.

En cuanto a la ciudad autoconstruida, tanto en las urbanizaciones regulares como en las irregulares, es muy habitual que dos y tres generaciones de un grupo familiar se mantengan en el mismo lote, modificando progresivamente su espacio habitable, lo cual es más común que la compra-venta de terrenos, pero su impacto sobre la eficiencia energética es diferente. Por tanto, para considerar la progresividad en el desempeño energético de la arquitectura residencial en Iberoamérica, es necesario incluir una variable que establezca si se trata de edificaciones en urbanizaciones espontáneas en etapas iniciales (que aún no comparten medianeras o losas horizontales); en proceso de densificación, donde comparten algunos de estos planos, o densificadas, en las que las residencias individuales se han integrado prácticamente en un solo bloque constructivo.

Son numerosos y muy variados los aspectos socioculturales que influyen en el consumo de energía en las viviendas y en el desempeño energético de la arquitectura, y por lo general su cuantificación resulta difícil. Por tanto, al caracterizar los tipos arquitectónicos y urbanos identificados con vistas a su clasificación, será necesario observar, además de sus características físicas y geométricas, el ambiente social y cultural, y, sobre todo, la estratificación según ingresos económicos, que influirá en las formas de vida, hábitos, costumbres, formas de uso del espacio y la energía.

La evolución progresiva de la arquitectura en el tiempo es propia y específica de la región latinoamericana, donde durante más de medio siglo las ciudades han ido creciendo a partir del proceso de producción social del hábitat, que genera tipos urbanos y arquitectónicos diferentes que se van consolidando en un proceso continuo. Son numerosos los estudios sobre el hábitat popular o informal, o la ciudad autoconstruida, o cualquiera de los diferentes términos usados para identificar esta realidad, pero no enfocados a caracterizar, clasificar y evaluar los tipos arquitectónicos y urbanos según su desempeño energético, ya que ese es un problema secundario ante todos los retos que estos asentamientos enfrentan.

De lo que se trata, como novedad, es de cómo caracterizar, clasificar y evaluar en este hábitat los tipos urbanos y arquitectónicos según su desempeño energético, ya que las variables y parámetros considerados en estudios precedentes, por ejemplo, para la ciudad formal europea, no siempre son aplicables en estas condiciones. Pero, además, en qué momento de su desarrollo deben ser considerados, porque su evolución constante hace que lo que se registra en el momento de un levantamiento varía en una observación posterior.

La condición del hábitat socialmente producido se caracteriza por la edificación que se desarrolla progresivamente tanto en lo constructivo como en sus dimensiones. La evolución constructiva podría significar un mejoramiento progresivo en la adecuación climática, si se usan materiales y elementos de construcción apropiados. En relación con esto, será necesario considerar también el estado de precariedad o consolidación que posean las edificaciones a caracterizar en esos sectores urbanos, que van variando progresivamente su desempeño energético: las primeras versiones de chapa o cartón sin aislación ni ventanas; las intermedias, cerradas con ladrillo y aberturas, y las consolidadas, que ya cuentan con capas de revoque y aislamiento térmico en las cubiertas.

Como resultado de esta discusión sobre la caracterización y clasificación de los tipos arquitectónicos según su desempeño energético, se decidió considerar no solo la evolución natural en el tiempo de toda arquitectura de acuerdo con las tendencias formales y el desarrollo tecnológico, sino también las particularidades del hábitat autoconstruido en América Latina, lo cual constituirá un aporte de la presente investigación. Para ello, en el levantamiento a realizar en el trabajo de campo, se registrará la densidad, como en el resto de los tipos urbanos, y también si la vivienda se encuentra en un estado inicial con materiales precarios, o en proceso de consolidación. Esta clasificación conducirá posteriormente a la evaluación del desempeño energético de ambos tipos identificados.

Procedimiento para evaluar el desempeño energético de los tipos arquitectónicos

Como se ha expuesto desde el inicio, lo que se pretende evaluar es el desempeño de cada tipo arquitectónico, según el ambiente térmico interior que genere en el contexto urbano y el clima donde se localiza, y la necesidad de consumo energético en climatización artificial que de ello se deriva cuando éste no resulta confortable para sus ocupantes.

Para ello es necesario estimar, a partir de las bases de datos climáticas de cada zona el período en el cual las personas se encontrarían fuera de la zona de confort, teniendo en cuenta el concepto de bienestar adaptativo, que relaciona unas condiciones ambientales aparentemente no confortables con la capacidad del individuo para adaptarse a ellas. Este concepto tiene en cuenta la adaptación genética de un organismo al lugar donde vive, a los cambios de temperatura que se dan a lo largo del año (si se trata de un clima estacional) y a pequeños ajustes que adapten la sensación térmica del individuo a una más confortable, lo cual puede lograrse abriendo o cerrando ventanas (movimiento de aire), o poniéndose o quitándose prendas de ropa (mayor o menor aislamiento térmico del organismo) [33, 34].

En las bases teórico- metodológicas elaboradas en esta etapa de la investigación no solo se ha definido el procedimiento para la caracterización y clasificación de los tipos arquitectónicos, sino también el método para la evaluación de su desempeño energético, a partir de la cantidad de horas en las cuales no se obtendrán condiciones de confort térmico en los espacios interiores correspondientes a cada tipo, lo cual significa que sería necesario el consumo de energía convencional.

Para ello, se elaboró una propuesta de cómo considerar las condiciones de confort en cada situación y cómo estimar las cargas térmicas correspondientes y la temperatura generada al interior del tipo, con vistas a determinar las horas de insatisfacción como resultado de la comparación de ambos valores.

[33] UNE-EN 15251:2008. Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. Madrid: AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación; 2008. [Consultado: 20 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041732>.

[34] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2004. [Cited: December 20, 2024]. Available from: https://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf.

En términos prácticos, el diseño de la envolvente del edificio define la demanda de calefacción y refrigeración para garantizar el confort, la calidad ambiental interior y la seguridad, y también impacta directamente en el carbono incorporado de un edificio [35]. A su vez, algunos de los factores que condicionan la sensación térmica y por tanto el confort, son la temperatura del aire, el calor radiante (infrarrojo), la humedad relativa, la velocidad del aire, la tasa metabólica y el aislamiento que proporciona la ropa [36, 37],

Dentro y fuera de la envolvente existen condiciones térmicas e higrométricas diferentes, debido a los procesos de transferencia de calor y masa que se llevan a cabo a través y alrededor de los elementos constructivos, que involucran a las propiedades termo físicas de los materiales, las condiciones de la capa límite, los factores de forma y la disponibilidad de energía radiante, principalmente la directa que viene del sol [38-40]. Además, las edificaciones pueden estar equipadas con diferentes tecnologías que usan energía eléctrica y diversos combustibles, así como sistemas de ventilación y climatización (HVAC: *Heating Ventilation and Air Conditioning*) [41].

La estimación de la transferencia térmica a través de los elementos que conforman la envolvente y de la temperatura interior resultante en cada caso de estudio seleccionado como representativo de los tipos arquitectónicos identificados, tendrá necesariamente que partir de una consideración del microclima urbano, es decir, del efecto de la isla de calor de acuerdo con la clasificación del tipo urbano que constituye el contexto en el cual la arquitectura objeto de estudio se inserta. Para ello será necesario establecer indicadores o coeficientes de ponderación con respecto a la información climática de la estación meteorológica correspondiente.

El comportamiento energético de los tipos seleccionados se evaluará mediante un programa de simulación fiable para obtener como resultado las temperaturas horarias del ambiente interior a lo largo de un día tipo del mes. Se propone usar el software *Energy Plus* con su interfaz *Open Studio* para la simular la temperatura interior en cada caso de estudio seleccionado como representativo del tipo arquitectónico identificado, durante las horas del día y los meses del año, con vistas a comparar las temperaturas interiores con la zona de confort adaptativo. La decisión responde a los resultados fiables del programa de libre acceso.

Una vez incorporado el modelo del edificio, con toda su caracterización constructiva, y la base de datos climáticos a utilizar, considerando el efecto de la isla de calor urbana, se simulará cada tipología sin ninguna instalación en funcionamiento, es decir, en libre evolución, con vistas a obtener las temperaturas interiores a lo largo de las 24 horas del día. Además de los datos climáticos, se necesita la caracterización constructiva de la envolvente, tanto la parte opaca como la acristalada, los materiales que la forman, sus espesores, masa y transmitancia, así como el tipo de carpintería y la protección solar.

También se deberá definir el perfil de uso del edificio, para lo cual se usará la base de datos ya existente en el Código Técnico de la Edificación [42] (Tabla 1), con vistas a asumir las cargas internas, y la ventilación. Esta última depende de la hermeticidad general de la envolvente, no sólo del vano, en lo cual también influye el factor humano. Para ello se usarán valores genéricos orientativos de acuerdo con el tipo de construcción: 3 renovaciones/hora para construcción de baja calidad, autoconstruida; 2 renovaciones/hora en la construcción de baja calidad pero planificada; 1,5 renovaciones/hora

- [35] International Energy Agency. Building envelopes. IEA. 2022 [update: July, 11 2023; cited: December 20, 2024]. Available from: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/building-envelopes>.
- [36] Aqilah N, Bahadur Rijal H, Ahmad Zaki S. A Review of Thermal Comfort in Residential Buildings: Comfort Threads and Energy Saving Potential. *Energies* [Internet]. 2002 [cited: December 20, 2024]; 15(23):9012. Available from: <https://doi.org/10.3390/en15239012>.
- [37] Fedorczak-Cisak M, Furtak M, Radziszewska-Zielina E. [2019]. Certification of "Nearly Zero-Energy Buildings" as a Part of Sustainability. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [Internet]. 2019 [cited: December 20, 2024]; 222:012020. Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012020>
- [38] Bienvenido-Huertas D, Carretero-Ayuso MJ, Rodríguez-Jiménez CE, Marín-García D, Moyano J. Análisis de la influencia del coeficiente de transferencia de calor en la caracterización de la transmitancia térmica de fachadas con el método termométrico. *Informes de la Construcción* [Internet]. 2021 [consultado: December 20, 2024]; 73(563):e49. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.82602>.
- [39] Babiarz B, Szymański W. Introduction to the Dynamics of Heat Transfer in Buildings. *Energies* [Internet]. 2020 [cited: December 20, 2024]; 13(23):6469. Available from: <https://doi.org/10.3390/en13236469>.
- [40] Min-Hwi K, Jin-Hyo K, Oh-Hyun K, An-Seop C, Jae-Weon J. Overall Heat Transfer Coefficient of a Korean Traditional Building Envelope Estimated Through Heat Flux Measurement. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* [Internet]. 2011 [cited: December 20, 2024]; 10(1):263-270. Available from: <https://doi.org/10.3130/jaabe.10.263>.
- [41] Burdick A. Strategy Guideline: Accurate Heating and Cooling Load Calculations. Technical Report OSTI ID: 1018100. US Department of Energy, Office of Science, Office of Scientific and Technical Information; 2011. [Cited: December 20, 2024]. Available from: <https://www.osti.gov/biblio/1018100>.
- [42] Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/1006 de 17 de marzo. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, nº 74, (28-03-2006), p.11816-11831. Ministerio de Vivienda. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/03/17/314>.

si la construcción es de calidad media con ventilación manual ocasional; 1,0 renovaciones/hora cuando se trata de una construcción de buena calidad con ventilación manual ocasional, y finalmente 0,5 renovaciones/hora en construcción de buena calidad con ventilación controlada (aire acondicionado, aireadores o recuperadores de calor).

Tabla 1. Perfil de uso de espacios en uso residencial privado.

Carga interna W/m² 0:00-6:59		Horario (semana tipo)					
		7:00-14:59	15:00-17:59	18:00-18:59	19:00-22:59	23:00-3:59	23:00-3:59
Ocupación (sensible)	L	2,15	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
	SyF	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación (latente)	L	1,36	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
	SyF	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación	L,S y F	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20
Equipos	L,S y F	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20

L: día laboral, S: sábado; F: domingo y festivo.

Fuente: Código de la Edificación, [42].

Del proceso de simulación en libre evolución se obtendrán las temperaturas interiores para cada mes (24 horas) (Figura 6), cuyo formato gráfico sinusoidal se comparará posteriormente con las áreas rectangulares estimadas para el bienestar adaptativo, con el fin de identificar las horas de falta de confort.

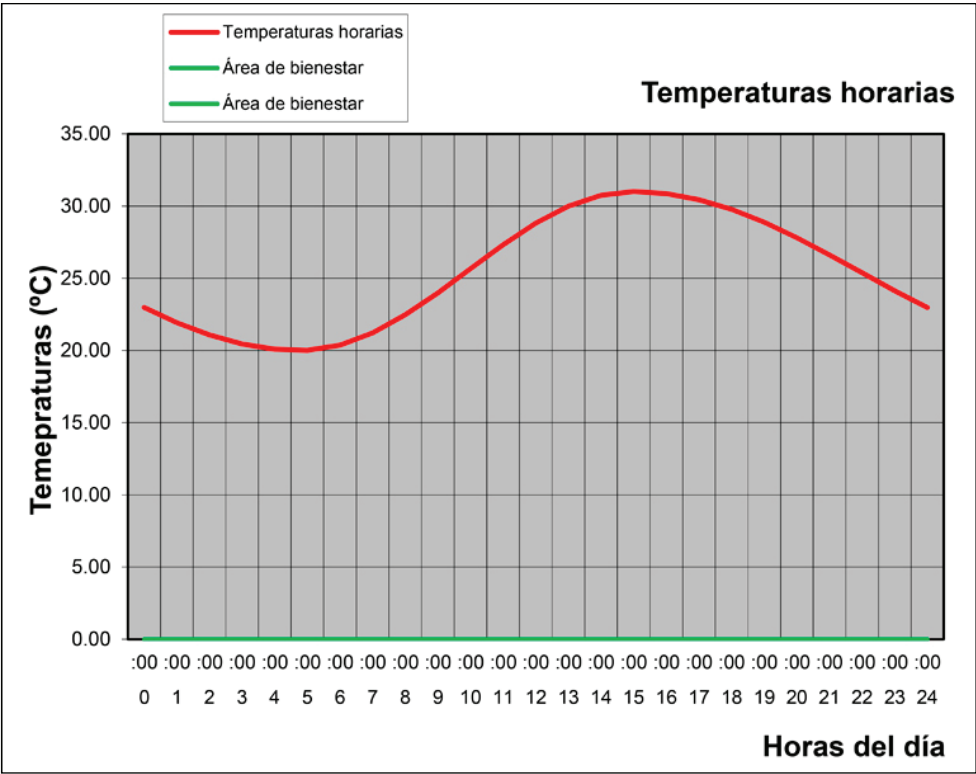


Figura 6. Gráfico del comportamiento de las temperaturas horarias de un mes. Fuente: elaboración propia, 2024.

De acuerdo con la información disponible se escogerá el algoritmo a usar. La norma europea UNE-EN 15251:2008 [33] requiere los datos medios de temperaturas diarias de todo el año, mientras que para la Standard 55-2013 de ASHRAE [34] es suficiente disponer de las temperaturas medias mensuales.

$$T_{\text{bienestar adaptativo}} = 0,31 \times T_{\text{me}} + 17,8$$

Así se obtendrá la temperatura de bienestar adaptativo para un día tipo del mes y a un PPI (Porcentaje de Personas Insatisfechas) del 5%. A partir de ese dato se podrá crear un área de bienestar que alcance en un primer momento del 10% del PPI, sumando y restando 2,5 °C al valor obtenido. También podría elaborarse un área mayor, para un máximo del 20% de personas insatisfechas, añadiendo 1 °C más por arriba y por debajo del área. En cualquier caso, se obtendrán 12 zonas de bienestar adaptativo (una por mes), válidas para todos los días de ese periodo.

La sinusoide que refleja el comportamiento de las temperaturas interiores estimadas se comparará con las áreas rectangulares que reflejan el de bienestar adaptativo. Cuando la curva se mantiene dentro del rectángulo, indica que no hay falta de confort, pero sobresale por la parte alta cuando ocurre sobrecalentamiento y por debajo cuando la sensación es de frío. En el gráfico de la Figura 7 se muestra un ejemplo en el que se observan 10 horas de sobrecalentamiento y 6 horas de infra- calentamiento, lo cual significa 16 horas fuera de confort al día, o sea, el 67% de las horas (496 h/ mes en julio) (Figura 7). El valor mensual será el resultado de multiplicar el número de horas en que las curvas se encuentran fuera del área por el número de días del mes.

El desempeño energético de cada caso de estudio representativo de un tipo arquitectónico se evaluará a partir del porciento anual de horas fuera de confort, para lo cual, podría incluso diferenciarse si es por exceso de frío o calor, según el tipo climático de que se trate. Se propone el empleo de

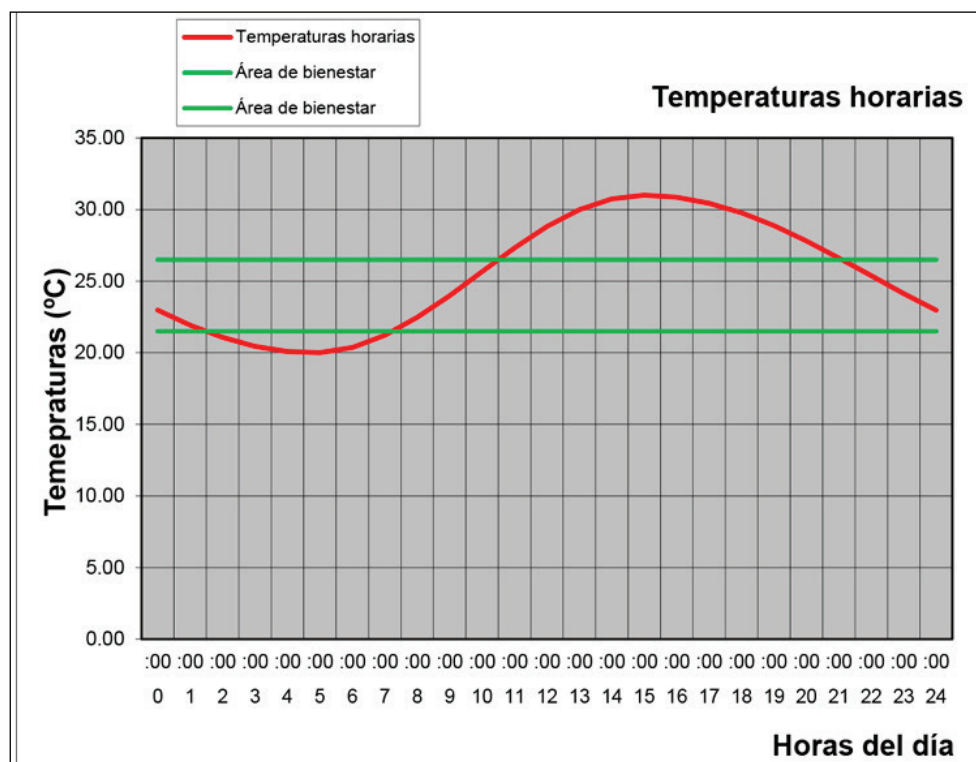


Figura 7. Gráfico del comportamiento de las temperaturas horarias para el mes de julio. Se observan 10 h de sobrecalentamiento y 6 h de infra- calentamiento, lo cual significa 16 h fuera de confort al día, o sea, el 67% de las horas (496 h/mes en julio). Fuente: Elaboración propia, 2024.

seis categorías: Excelente (< 5%), Muy bueno (5 - 10%), Bueno (10 - 20%), Aceptable (20 - 30%), Malo (30 - 60%), Muy malo (>60%)

Conclusiones

Los resultados derivados de la etapa teórica de la investigación permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- La clasificación de los tipos urbanos según su desempeño energético adoptará la metodología de las Zonas Urbanas Homogéneas (ZUH), que considera la época de urbanización, ocupación del suelo, altura de los edificios, densidad, sección de vía, espacios verdes, y otras características de las superficies,
- Para clasificar los tipos arquitectónicos según su desempeño energético se partirá de observar el volumen hacia el contexto, sus dimensiones, proporciones y compacidad que condicionan la relación interior- exterior; se verificará la importancia de la porosidad, y caracterizará la envolvente (forma y materialidad) de acuerdo con la época de construcción que determina su evolución en el tiempo.
- La caracterización de los tipos urbanos y arquitectónicos requiere la observación del ambiente social y cultural y la estratificación según ingresos económicos, por su influencia sobre las formas de vida, el uso del espacio y la energía.
- La identificación de un determinado tipo arquitectónico supone diferenciar sus características originales respecto a otras variantes o subtipos que puedan haberse detectado como resultado de procesos de renovación.
- En las urbanizaciones resultantes del hábitat socialmente producido, la identificación de los tipos arquitectónicos debe tener en cuenta, al menos, tres etapas de su proceso evolutivo, atendiendo a la densidad habitacional y a la solución constructiva de las viviendas, y su nivel de precariedad o de consolidación.
- La influencia del contexto urbano sobre la temperatura podrá estimarse según un indicador que aumente en la medida que se incrementa la densidad y la ocupación del suelo y se reduce la presencia de vegetación.
- Para evaluar el desempeño energético de cada tipo arquitectónico se propone considerar el porcentaje anual de horas sin confort que genera, a partir de la comparación de las temperaturas medias horarias mensuales con los rangos estimados de bienestar adaptativo para el 20% de PPI, según la norma ASHRAE.

Los principios antes referidos constituyen la base teórico-metodológica para caracterizar, clasificar y evaluar la arquitectura iberoamericana según su desempeño energético, teniendo en cuenta las mejores tradiciones locales, lo cual servirá como referencia actualizada y confiable para la nueva arquitectura y los procesos de renovación del patrimonio construido en la región iberoamericana.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido (parcialmente) apoyado por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo- CYTED (a través de la Red REDENARQUI). Proyecto 724RT0163. Red sobre Desempeño Energético de la Arquitectura Iberoamericana (2024- 2027).

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que representen riesgos para la publicación del artículo.

Editora: Dr.C. Arq. Mabel R. Matamoros-Tuma

DECLARACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD AUTORAL

Dania González-Couret: Conceptualización; Análisis formal; Adquisición de fondos; Investigación; Metodología; Administración de proyecto; Redacción del manuscrito original; Redacción, revisión y edición.

Javier Neila: Conceptualización; Análisis formal; Investigación; Metodología; Redacción, revisión y edición.

Josep Lluís Miralles-García: Investigación; Redacción, revisión y edición.

Eric Gielen: Investigación; Redacción, revisión y edición.

José-Sergio Palencia-Jiménez: Investigación; Redacción, revisión y edición.

Ezequiel Biagioni: Investigación; Redacción, revisión y edición.

Julián Salvarredy: Investigación; Redacción, revisión y edición.

Juan F. Bárcenas-Graniel: Investigación; Redacción, revisión y edición.



Dania González-Couret
Arquitecta. Doctora en Ciencias.
Profesor Emérito. Universidad
Tecnológica de La Habana José Antonio
Echeverría, Cujae. La Habana, Cuba.
E-mail: daniagcouret@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1406-4588>



Javier Neila
Arquitecto. Doctor en Construcción y
Tecnología Arquitectónicas, Catedrático
Emérito. Universidad Politécnica de
Madrid. Madrid, España.
E-mail: fjavier.meila@upm.es
<https://orcid.org/0000-0002-2645-8656>



Josep Lluís Miralles-García
Ingeniero de Caminos, Canales
y Puertos. Doctor en Ingeniería
de Caminos. Profesor Asociado.
Universidad Politécnica de Valencia.
Valencia, España.
E-mail: jlmiralles@urb.upv.es
<https://orcid.org/0000-0001-5638-2608>



Eric Gielen
Ingeniero Agrónomo. Doctor en
Urbanismo, Territorio y Sostenibilidad.
Profesor de Urbanismo y Ordenación del
Territorio. Universidad Politécnica de
Valencia. Valencia, España.
E-mail: egielen@urb.upv.es
<https://orcid.org/0000-0002-4591-2914>



José Sergio Palencia-Jiménez
Ingeniero de Caminos, Canales
y Puertos. Doctor en Urbanismo,
Territorio y Sostenibilidad. Profesor de
Urbanismo y Ordenación del Territorio.
Universidad Politécnica de Valencia.
Valencia, España.
E-mail: jpalenci@urb.upv.es
<https://orcid.org/0000-0002-9587-7379>



Ezequiel Biagioni
Arquitecto. Becario Investigador
UBACyT del Máster en Sustentabilidad
en Arquitectura y Urbanismo. Docente
Auxiliar. Universidad de Buenos Aires.
Buenos Aires, Argentina.
E-mail: ezequielbiagoniarq@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-6258-0406>



Julián Salvarredy
Arquitecto. Doctor en Arquitectura.
Director del Centro de Investigaciones
Transformaciones Territoriales.
Universidad de Buenos Aires. Buenos
Aires, Argentina.
E-mail: Julian.salvarredy@fadu.uba.ar
<https://orcid.org/0000-0001-6021-1860>



Juan F. Bárcenas-Graniel
Ingeniero en Sistemas de Energía.
Doctor en Ingeniería Civil Hidráulica
de Costas Mares y Ríos. Profesor
Investigador Asociado del programa de
Ingeniería Ambiental, Universidad del
Caribe, Cancún, México.
E-mail: jbarcenas@ucaribe.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3782-0788>