



Sustentabilidad arquitectónica y urbana, ambiente térmico interior y consumo de energía en Cuba

Dania González Couret ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-1406-4588>

Luis Alberto Rueda Guzmán ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6549-3975>

Guillermo Antonio De la Paz Pérez ² <https://orcid.org/0000-0001-6626-6301>

Natali Collado Baldoquin ¹ <https://orcid.org/0000-0003-4248-9708>

¹ Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba

² Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte. Camagüey, Cuba

* Autor para la correspondencia: daniagcouret@gmail.com

Revisores ^a

Anelis María Marichal González
Instituto Nacional de Ordenamiento
Territorial y Urbansismo.
La Habana, Cuba

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

^a N. del E: En este apartado figuran los nombres de los árbitros que accedieron a revelar su identidad, como expresión de apertura progresiva del proceso de revisión por pares. No aparecen aquellos que optaron por el anonimato.

RESUMEN

Introducción: El problema científico parte de una visión de la sustentabilidad en los países en desarrollo y se resume en ¿cómo el diseño arquitectónico puede contribuir a mejorar el ambiente térmico interior y reducir el consumo energético en las condiciones del clima de Cuba? **Objetivo:** demostrar que es posible reducir la temperatura en los espacios interiores y el consumo energético por climatización artificial en los edificios mediante un diseño arquitectónico específico, adecuado al clima, al contexto urbano y a la orientación. **Métodos:** Se ha estructurado en 3 unidades que responden a objetivos específicos y reflejan la evolución de los métodos y técnicas de investigación, el uso de **software** y equipos de medición a escala de laboratorio y natural, así como la calibración y validación de las simulaciones en relación con el monitoreo. **Resultados:** La base teórico-metodológica propuesta enfoca la sustentabilidad del medio construido desde el punto de vista de los países en desarrollo, tomando el caso cubano como referente; se proponen variables, parámetros e indicadores para evaluar la influencia de la morfología urbana en los usos pasivos y activos del sol y el viento; se caracteriza el contexto urbano según las sombras arrojadas; se demuestra la necesidad de actualizar la NC-2020; se propone un procedimiento para evaluar cualitativamente las soluciones de diseño en clima cálido-húmedo, y se calibran y validan los resultados de la simulación y el monitoreo. En conclusiones para avanzar hacia la sustentabilidad en los países en desarrollo es necesario satisfacer las necesidades básicas. La sociedad cubana ha demostrado ser altamente resiliente, pero debe brindar más atención a la influencia del diseño arquitectónico y urbano en el ambiente térmico interior y el consumo de energía.

Palabras clave: sustentabilidad; diseño arquitectónico y urbano; ambiente térmico interior; consumo de energía; clima cálido-húmedo de Cuba

Architectural, and urban sustainability, indoor thermal environment and energy in Cuba

ABSTRACT

Introduction: The scientific problem starts from a vision of sustainability in developing countries and is summarized in how architectural design may contribute to improve the indoor thermal environment and to reduce energy in the Cuban climate. Objective: to demonstrate that it is possible to reduce the temperature in the inner spaces and so the energetic consumption due to the use of artificial air conditioning in buildings through a specific architectural design, suitable for the weather, the urban context and the orientation. **Methods:** It has been structured in three units responding to specific objectives, which reflects the evolution of research techniques and methods, software and measurement equipment, at a lab and natural scales, as well as calibration and validation of simulation with respect to monitoring. **Results:** The proposed theoretical and methodological base focuses on sustainability of the built environment from the point of view of the developing countries, taking the Cuban case as a reference; they are proposed variables, parameters and indicators to evaluate the influence of urban morphology on the passive and active uses of sun and wind; it is characterized the urban context according to projected shadow; it is demonstrated the need to update the Cuban Standard; it is proposed a procedure for the qualitative evaluation of design solutions in a warm and humid climate, and simulation and monitoring results are calibrated and validated. **Conclusions:** In order to move towards sustainability in developing countries, it is necessary to satisfy basic needs. Cuban society has demonstrated to be highly resilient, but it should pay more attention to the influence of architectural and urban design on indoor thermal environment and energy consumption.

Keywords: sustainability; architectural and urban design; indoor thermal environment; energy consumption; Cuban warm and humid climate

INTRODUCCIÓN

La necesidad del desarrollo sustentable como solución sin alternativa para la supervivencia del planeta fue reconocida desde hace más de 3 décadas. Sin embargo, aún hoy la mayoría de las publicaciones y los enfoques que prevalecen provienen de los países desarrollados, cuya historia, problemas y preocupaciones fundamentales difieren de los que predominan en los países de cuya capacidad de carga se apropiaron, como resultado de lo cual, ostentan hoy un menor grado de desarrollo. Partiendo de esa base, se ha hecho necesario esclarecer las diferencias y particularidades de la sustentabilidad entre las regiones desarrolladas y en desarrollo, tomando a Cuba como principal caso de estudio y referencia.

La reducción del consumo de energía en las edificaciones constituye un principio esencial para la sustentabilidad del medio construido, en aras de disminuir el uso de combustibles fósiles, la emisión de gases de efecto invernadero y los costos de explotación de los edificios, a la vez que se mejora la calidad de vida de las personas. Para ello, las acciones que

se deben acometer, en orden de importancia comienzan por las soluciones arquitectónicas y urbanas que contribuyan, por medios pasivos, a minimizar la demanda energética.

Este tema adquiere una importancia mucho mayor ante la amenaza del cambio climático y el calentamiento global, no solo en regiones de clima cálido, sino, incluso, en los países fríos. Sin embargo, a este tema no se le ha otorgado en Cuba la debida importancia y atención, a pesar de que existe una larga tradición de investigación científica en este campo. Se sigue minimizando la importancia del diseño arquitectónico, se opta por el empleo de proyectos repetitivos que no se adecuan al contexto, o se copian modelos arquitectónicos foráneos como símbolo del "desarrollo".

Por tanto, ante la perspectiva de que este tema pueda resultar hoy de mayor interés, se ha decidido recopilar parte del trabajo científico desarrollado desde la universidad durante los últimos 20 años, y sus principales aportes en este campo, a partir de la vinculación de sus 3 funciones sustantivas (investigación-formación-extensión).

El problema científico que conecta las investigaciones cuyos resultados se presentan parte de una visión de la sus-

tentabilidad en los países en desarrollo y puede resumirse en la pregunta: ¿cómo el diseño arquitectónico puede contribuir a mejorar el ambiente térmico interior y reducir el consumo energético en las condiciones del clima de Cuba? Partiendo de reconocer las particularidades de la sustentabilidad en los países en desarrollo, las investigaciones desarrolladas han ido encaminadas a demostrar que es posible reducir la temperatura en los espacios interiores y el consumo energético por climatización artificial en los edificios mediante un diseño arquitectónico específico, adecuado al clima, al contexto urbano y a la orientación.

MÉTODOS

El trabajo se ha estructurado en 3 unidades temáticas, que no responden a un ordenamiento cronológico, sino lógico, de manera que cada una de ellas incluye resultados de investigaciones realizadas durante todo el período, a partir de la consecución y sistematización del objetivo general y la hipótesis a demostrar como respuesta al problema planteado. Por tanto, las 3 partes en las que ha sido estructurado el trabajo que se presenta responden a objetivos específicos y no a etapas temporales.

La primera sección, relativa a la sustentabilidad urbana y arquitectónica, constituye un cuerpo teórico elaborado durante varias décadas, que sirve de base al enfoque metodológico del trabajo. En esta parte predominan los métodos de la investigación teórica, y las valoraciones cualitativas a partir de la observación de la realidad e información recogida en trabajos de campo, que también apoyan la elaboración de propuestas encaminadas a mejorar la sustentabilidad del medio ambiente construido en Cuba.

La siguiente sección se dedica a explorar las variables y parámetros que caracterizan el microclima urbano y su influencia en el ambiente térmico en espacios interiores y exteriores. Aquí también se aplican los métodos de la investigación teórica y procedimientos de evaluación cualitativa, pero, además, se emplean técnicas de monitoreo y simulación automatizada en aras de recomendar soluciones de diseño y evaluar su impacto.

La tercera y última parte se refiere a la influencia del diseño arquitectónico en el ambiente interior y el consumo de energía, haciendo uso, también, de los métodos teóricos, la evaluación cualitativa, la simulación automatizada y el monitoreo, así como otros propositivos y de diseño, aplicados en diversos casos de estudio.

En cada una de las secciones que estructuran el trabajo puede observarse la evolución de los métodos y técnicas de investigación empleados, especialmente, en el uso de *software* y equipos de medición para el monitoreo en modelos de

laboratorio y a escala natural. Particular importancia reviste el resultado de una de las últimas investigaciones realizadas, que ha permitido calibrar y validar las simulaciones dinámicas en relación con el monitoreo.

RESULTADOS

Sustentabilidad urbana y arquitectónica

El cuerpo teórico y metodológico que sirve de base a las valoraciones y enfoques de la sustentabilidad urbana y arquitectónica en las investigaciones que se presentan fue elaborado a partir de la formulación del concepto a escala internacional, ⁽¹⁾ y aplicado en la evaluación y diagnóstico de la sustentabilidad del medio ambiente construido en América Latina y Cuba, así como al desarrollo de propuestas y recomendaciones encaminadas a mejorarla en casos de estudio investigados. ⁽²⁻⁶⁾

Esta primera sección de los resultados dedicada a la sustentabilidad arquitectónica y urbana pretende demostrar el carácter integral y el enfoque holístico requerido, precisando el rol que en ello desempeña el aprovechamiento de recursos y fuentes renovables de energía, lo cual se inicia con un diseño arquitectónico específico, adecuado al clima, el contexto y la orientación.

Microclima urbano

Los estudios de microclima urbano constituyen un tema relativamente reciente en el ámbito internacional, ⁽⁷⁾ cuando el reconocimiento del fracaso del modelo urbano moderno condujo a la revalorización de la ciudad tradicional, y con ello, a la necesidad de investigar qué ocurría en esos entornos urbanos, diferentes del modelo abierto sobre cuya base se realizaban todas las investigaciones climático-ambientales hasta los años 70. Cuba fue pionera en la región con respecto al abordaje de esta temática, ^(8,9) pero la disponibilidad de equipos de medición y *software* limitó la continuación de esas investigaciones al ritmo requerido.

En los primeros años del siglo XX se realizó una evaluación de modelos urbanos y tipologías arquitectónicas residenciales. ⁽¹⁰⁾ Los resultados que aquí se presentan pueden organizarse en 2 grandes grupos, correspondientes a 2 ciudades objeto de estudio: La Habana y Camagüey.

Las investigaciones desarrolladas en la ciudad de La Habana fueron encaminadas a evaluar la influencia simultánea de la morfología urbana en los usos pasivos y activos del sol y el viento. A partir de este enfoque, y teniendo en cuenta los resultados de investigaciones precedentes nacionales e internacionales, se elaboró un procedimiento de evaluación de las morfologías urbanas en La Habana ⁽¹¹⁾ y se ofrecieron reco-

mendaciones de diseño para mejorar, por medios pasivos, el ambiente térmico, tanto interior como exterior, en diferentes zonas de la ciudad.

Los resultados de la evaluación cualitativa fueron posteriormente verificados mediante monitoreo con sensores "data logger" de temperatura y humedad relativa marca HOBO, en 3 morfologías urbanas seleccionadas como caso de estudio (compacta, semicompacta y abierta) (2016) y simulación automatizada con el *software* EnviMET (2017 y 2018), comúnmente usado a escala internacional para evaluar el microclima en exteriores. ⁽¹²⁾ También se elaboraron recomendaciones para mejorar el ambiente térmico en espacios urbanos y se propusieron soluciones de diseño para su transformación en casos de estudio con diversas morfologías, usos y escalas en la ciudad de La Habana, verificando, mediante simulación automatizada, el impacto de las transformaciones propuestas, que pueden generar una reducción de hasta 4 grados centígrados en la temperatura exterior ⁽¹³⁾ (figura 1).

Las investigaciones desarrolladas durante los últimos años en la ciudad de Camagüey son continuidad de la labor realizada durante más de 2 décadas y se encaminaron a caracterizar y clasificar los contextos urbanos, desde el punto de vista de la sombra arrojada, en aras de evaluar, mediante simulación automatizada con el *software* Energy Plus, la influencia del contexto y la orientación en el diseño de los elementos de protección solar y el consumo de energía en los edificios.

Aunque el trabajo se inició para la ciudad de Camagüey, los modelos paramétricos de contexto empleados en la inves-

tigación y la herramienta elaborada para evaluar su influencia son válidos para cualquier contexto urbano en Cuba, ya que se trabajó con una latitud intermedia y se elaboró una herramienta universal que permite al diseñador introducir los datos para cada región del país. ⁽¹⁴⁾

Arquitectura, ambiente interior y consumo de energía

Esta sección, dedicada a la escala arquitectónica, incluye el grueso de los resultados de investigación directamente vinculados con el ambiente térmico interior y el consumo de energía por climatización. La década del 90 cerró con el proyecto de vivienda bioclimática y progresiva en el centro histórico de Matanzas (1999). ⁽¹⁵⁾ A partir de los conductos especializados de iluminación y ventilación natural propuestos en ese proyecto, se desarrolló una investigación encaminada a precisar sus requerimientos de diseño, que incluyó la experimentación en modelos a escala de laboratorio (2001) ⁽¹⁶⁾ y a escala natural (2003). Los conductos ocupan menos espacio que los "patinejos" y evitan la afectación a la privacidad acústica y visual que estos generan, por tanto, permiten un mejor aprovechamiento del suelo urbano con mayor calidad del ambiente interior. ⁽¹⁷⁾ El dispositivo de salida de los conductos de ventilación fue patentado en 2008; no obstante, las instrucciones para producir artesanalmente los conductos de ventilación fueron divulgadas en revistas populares, ⁽¹⁸⁾ lo cual permitió ejecución por esfuerzo propio de la población para mejorar el ambiente interior en diversos casos.

También a inicios del presente siglo se desarrolló una investigación encaminada a evaluar la influencia del diseño



Fig. 1. Reducción de la temperatura en espacios urbanos mediante acciones de diseño. Elaborado por Victor D. Rodríguez y Manuel A, Salazar.

arquitectónico en el consumo energético por climatización de los hoteles de sol y playa en Cuba, a partir de simulaciones automatizadas realizadas con el software DEROB- LTH. ⁽¹⁹⁾ La investigación demostró que es posible reducir el consumo energético diario por habitación con protección solar según la orientación y otras soluciones de diseño. Las recomendaciones propuestas se aplicaron al proyecto de una cabaña construida en el Hotel El Comendador, en Cayo Coco, cuyo impacto en la reducción del consumo de energía también fue simulado. ⁽²⁰⁾

Las investigaciones desarrolladas en este campo desde inicios de los años 80 permitieron la conformación de un marco teórico, ^(21,22) y un procedimiento de evaluación y diseño, ⁽²³⁾ aplicado en la elaboración de numerosos proyectos demostrativos. ⁽²⁴⁾ El procedimiento elaborado sirvió de base a la evaluación bioclimática de la arquitectura cubana y su evolución, identificando los rasgos esenciales que se mantienen a lo largo de la historia y las contradicciones que limitan su continuidad. ⁽²⁵⁾ El ambiente térmico y visual interior también fue evaluado mediante simulación y monitoreo. ⁽²⁶⁾

En respuesta a una solicitud del Ministerio de la Construcción, se propuso en 2008 el diseño de un sistema de elementos ligeros de protección solar para ser añadidos a edificios climatizados, evaluando el impacto de su empleo en el edificio de la inmobiliaria "Almendares", mediante simulación automatizada del ambiente térmico y luminoso con el software Ecotec, versión 5.5 de 2005. El resultado indica que la inversión en los elementos de protección solar, elaborados con aluminio, se recupera en menos de 2 años, considerando la reducción que generan en el consumo de energía ⁽²⁷⁾ (figura 2).

Como parte del diagnóstico de la Universidad de las Ciencias Informáticas y la elaboración de propuestas para mejorar

su sustentabilidad (2013), se evaluó, primero de forma cualitativa y después mediante monitoreo y simulación automatizada, el ambiente térmico y visual interior de los 3 edificios con mayor consumo energético (3, 5 y 6) ⁽²⁸⁾ (figura 3). Los valores medidos permiten comprobar la influencia de la orientación y la exposición al sol en la temperatura interior, y, por tanto, en el bienestar de los usuarios y en el consumo energético cuando se usa climatización artificial. Sobre esta base, se propusieron soluciones de diseño para mejorar la protección solar de los cierres exteriores, de acuerdo con su orientación, fundamentalmente, mediante el uso de elementos vegetales, en aras de reducir al mínimo los costos de inversión. Según los resultados simulados, con la protección solar añadida es posible reducir la temperatura radiante en más de 1°C al mediodía y hasta 2 °C al final de la tarde.

A partir de 2015 se incursionó en la evaluación del comportamiento térmico de diversos techos verdes, y su conveniencia en las condiciones de Cuba. El análisis costo-beneficio realizado según modelos teóricos de 3 posibles tipos (extensivos, en contenedores y en doble cubierta), incluyó resultados de mediciones de temperatura en espacios interiores de casos reales, con respecto a exteriores de referencia. El techo verde en doble cubierta resultó ser el más recomendable para Cuba, manteniendo una temperatura interior siempre inferior a la cubierta expuesta, con diferencias que llegaron a valores superiores a los 6 °C. Además, requieren un bajo costo de ejecución y mantenimiento mínimo. ^(29,30)

Como continuación de las investigaciones que se venían desarrollando en relación con el control solar aplicadas a la ciudad de Camagüey, ⁽³¹⁾ la atención se concentró en la envolvente arquitectónica, ⁽³²⁾ y los resultados parciales fueron aplicados en la evaluación y propuestas de diseño para mejorar

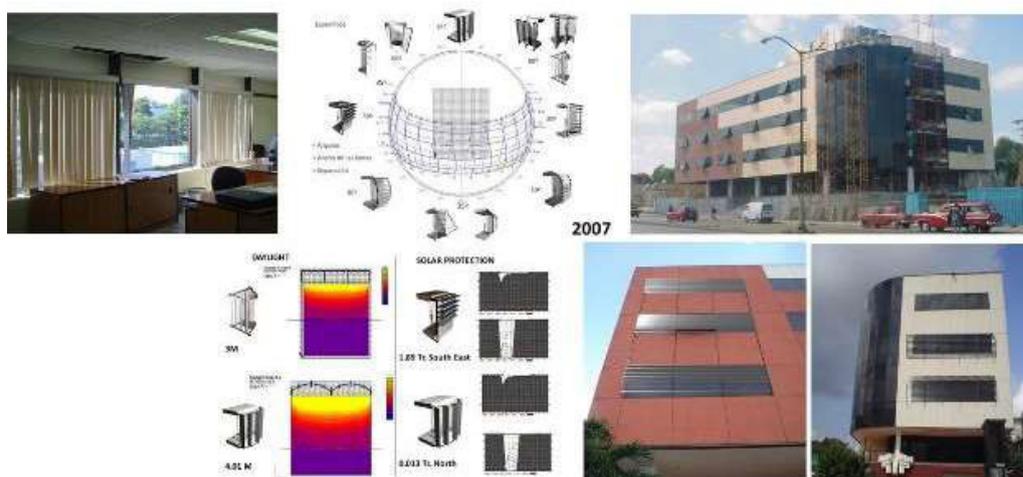


Fig. 2. Propuesta de diseño de elementos de protección solar. Evaluación de la reducción del consumo de energía por climatización en la Inmobiliaria Almendares. Verificación por iluminación natural. Elaborado por Rolando Martínez Cabrera.

2013: POR UNA UCI MÁS SUSTENTABLE



Fig. 3. Edificios de mayor consumo energético en la UCI. Evaluación cualitativa. Elaborado por Natali González, Elizabeth Rodríguez y Mónica Llovet.

el desempeño energético del edificio del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. ⁽³³⁾

Los resultados de esta investigación han ido encaminados a demostrar la importancia de considerar el contexto urbano y la orientación en el diseño de la protección solar de la ventana en aras de reducir el consumo de energía en el espacio interior (figura 4). También se ofrecen herramientas de ayuda al proyectista para el diseño de la protección solar en función de cada orientación y contexto, más amigables que la norma actual y aplicables a todo el país. Con ello quedó demostrada la necesidad de modificación de la Norma Cubana de Eficiencia Energética, aún vigente.

Uno de los últimos temas de investigación abordados se refiere a los edificios de energía cero o casi cero y su factibilidad en las condiciones de Cuba ⁽³⁴⁾. Los resultados de estas discusiones teóricas también se aplicaron en la formación de arquitectos ⁽³⁵⁾. De la investigación teórica realizada se concluyó que el tema está muy ligado a las políticas locales, de manera que Cuba tendrá que establecer sus propias regulaciones al respecto.

Sobre esta base, se incursionó en la renovación energética de edificios de inicios del siglo XX, demostrando el efecto de la isla de calor urbana; la importancia de la calibración de los datos de entrada en el *software* Energy Plus a partir de los resultados del monitoreo; las particularidades de las edificaciones históricas en contextos urbanos de clima cálido y húmedo, y las posibilidades reales de la renovación energética sin afectar los valores patrimoniales. ⁽³⁶⁾ (figura 5)

DISCUSIÓN

Sustentabilidad urbana y arquitectónica

El aporte fundamental de la base teórico-metodológica y conceptual elaborada para abordar la sustentabilidad del medio construido, con respecto a la literatura predominante sobre el tema a escala internacional, consiste en su enfoque desde el punto de vista de los países en desarrollo, donde las necesidades básicas no están cubiertas, y, además, por lo general, se asume el modelo occidental como paradigma de desarrollo. Este enfoque “tercermundista”, aplicado a la evaluación de la sustentabilidad en América Latina, unido a las buenas prácticas diagnosticadas en la experiencia cubana, resultaron de gran interés para el mundo desarrollado. ⁽³⁷⁻⁴¹⁾

La investigación ha permitido identificar las particularidades de la sustentabilidad en los países en desarrollo y formular, sobre esa base, un enfoque teórico y metodológico válido para el diagnóstico y la propuesta de soluciones en la región de América Latina, tomando el caso cubano como referente. El enfoque propuesto ha sido aplicado como herramienta de evaluación y análisis, y para la elaboración de propuestas de solución, ^(42,43) así como en una evaluación general de la sustentabilidad en América Latina. ⁽⁴⁴⁾

Microclima urbano

Otro aporte de la investigación lo constituye la clasificación propuesta de variables y parámetros para evaluar la influencia de la morfología urbana en los usos pasivos y activos



Fig. 4. Ejemplo de aplicación de la herramienta al diseño de la protección solar de un edificio en el centro histórico de Camagüey. Elaborado por Guillermo A. De la Paz.

del sol y el viento, que habitualmente se estudian por separado, así como los indicadores resultantes de la evaluación cualitativa preliminar de modelos urbanos en La Habana, integrando estos requerimientos complejos y contradictorios. Adicionalmente, se demuestra el impacto positivo en el ambiente térmico exterior de las transformaciones propuestas en diferentes espacios públicos de la ciudad.

La clasificación y caracterización del contexto urbano desde el punto de vista de las sombras arrojadas, la demostración de la importancia de que, tanto este como la orientación sea considerado en el diseño de la protección solar de

los edificios, por su impacto en la demanda energética, y la herramienta elaborada para su aplicación en cualquier ciudad de Cuba, constituyen otro importante aporte de gran utilidad práctica, que ha puesto en evidencia la necesidad de actualizar la NC-2020.

Arquitectura, ambiente interior y consumo de energía

La investigación también ha permitido caracterizar, desde el punto de vista bioclimático y energético, la evolución de la arquitectura cubana y proponer un procedimiento para la

PROPUESTAS DE DISEÑO PARA LA RENOVACIÓN ENERGÉTICA



Fig. 5. Propuestas de diseño para la renovación energética de casas de renta para el turismo de ciudad en El Vedado. Elaborado por Karla Lemus Mesa.

evaluación cualitativa de las soluciones de diseño en clima cálido-húmedo. Además de los resultados teóricos, se han desarrollado soluciones prácticas, cuyo impacto energético y viabilidad económica han quedado demostrados.

Los resultados de la investigación han tributado a la elaboración y perfeccionamiento de las normas vigentes, la capacitación de los profesionales del sector, tanto en Cuba como en el extranjero, la evaluación y aprobación de proyectos, y la demostración de los beneficios y factibilidad de la aplicación de estos enfoques y soluciones.

Particular novedad constituye el proceso de calibración y validación recientemente realizado a partir de la comparación de los resultados de la simulación y el monitoreo, cuestión que no había sido posible hasta hoy en Cuba. Por primera vez se aborda en el país la renovación energética de edificios que ya tienen valores históricos, con aproximadamente un siglo de existencia, que por su volumetría y contexto presentan una máxima exposición solar de la envolvente caracterizada con una elevada inercia térmica. Esto también constituye una novedad a escala internacional para climas cálidos y húmedos como el de Cuba, donde la arquitectura que se estudia, por lo general es ligera y no masiva.

La combinación de esa arquitectura histórica, con elevada masa térmica en un contexto urbano y un clima cálido-húmedo, le confiere novedad a este resultado de investigación, que ha permitido, también, por primera vez en Cuba, combinar el monitoreo con sensores digitales tipo "data loggers" marca HOBO y la simulación con EnergyPlus y su interfase Open Estudio, para calibrar y validar los resultados.

Esta investigación reciente constituye un primer paso en el largo camino de la renovación energética de edificios existentes, que se impone ante una población que no crece. Para ello será necesario hacer una clasificación previa de las tipologías arquitectónicas desde el punto de vista energético, teniendo en cuenta la solución volumétrico-espacial y la época de construcción.

Conclusiones

Para avanzar hacia la sustentabilidad en los países en desarrollo es necesario satisfacer las necesidades básicas; que las soluciones sustentables constituyan alternativas asumidas a partir de decisiones conscientes, y que los modelos foráneos dejen de ser el paradigma a seguir a partir de una revaloración de lo local.

La sociedad cubana ha demostrado ser altamente resiliente y constituye un referente para el mundo en desarrollo, no obstante, para avanzar hacia la sustentabilidad del medio construido se requiere de una estructura y visión más holística y menos sectorial, mayor descentralización y participación,

y brindar más atención a la influencia del diseño arquitectónico y urbano en el ambiente térmico interior y el consumo de energía.

Los requerimientos para el aprovechamiento pasivo y activo del sol y el viento resultan contradictorios en los contextos urbanos. No obstante, la transformación de los espacios exteriores urbanos puede reportar impactos muy positivos en el ambiente térmico exterior, con mínima inversión.

La norma cubana para la eficiencia energética de las edificaciones debe incorporar la consideración del entorno urbano y la orientación. Se ofrece una herramienta para auxiliar al proyectista en el diseño de la protección solar de los edificios en cualquier ciudad de Cuba.

Las soluciones arquitectónicas sustentables y de bajo consumo de energía deben ser específicas y nacer de lugar, es decir, subordinarse al contexto y la orientación para aprovechar al máximo los recursos y energías naturales disponibles, obteniendo máxima calidad ambiental con mínima inversión. Es necesario otorgar al proyecto arquitectónico la importancia que requiere y evitar el uso de soluciones repetitivas.

Resulta imprescindible promover la renovación energética de las edificaciones existentes en aras de hacerlas más eficientes y sustentables. Para ello se impone una clasificación energética de los inmuebles y la elaboración de regulaciones específicas.

Queda ampliamente demostrado el impacto negativo de las ventanas de vidrio expuestas al sol y que la proyección de sombra es la estrategia de diseño más eficiente en las condiciones del clima cálido-húmedo de Cuba. Por tanto, es necesario implementar la producción y comercialización de dispositivos de protección solar y potenciar el verde urbano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Report of the World Commission of Environment and Development: Our Common Future, 1987 [Consultado 15 may 2021]. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org>
2. González Couret D. La vivienda en la montaña, un nuevo enfoque, *Arquitectura y Urbanismo*. 1989;10(2):8-15 p.
3. González Couret D. Vivienda y sustentabilidad urbana. *Conceptos y propuestas*. *Arquitectura y Urbanismo*. 2003;21(2):35-42.
4. González Couret D, Hevia Santos A, Dacosta Calheiros I, Vega Céspedes LV, Vladimir. From a Scholar City to a Solar City. *Renewable Energy*. 1998;(15):457-60.
5. González Couret D. Conductos para la ventilación natural higiénica en viviendas. Ponencia en: V Congreso Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética; 2007; La Habana: CUJAE; 2007
6. González N, Rodríguez E, Llovet M y González Couret D. Por una Universidad de las Ciencias Informáticas más sustentable. *Arquitectura y Urbanismo*. 2015;36(1):93-8.
7. Steward Iain D, Oke TR and Scott Krayenhoff E. Evaluation of the "local climate zone" scheme using temperature observations

- and model simulations. *International Journal of Climatology*; 2014;34:1062-80.
8. Alfonso A. ¿Transpira la ciudad compacta? *Arquitectura y Urbanismo*. 1985;6(1):60-89.
 9. Lecha Estela L. Efectos de la tipología arquitectónica en el microclima urbano. Ponencia en: Primer Simposio Nacional de Física Ambiental. 1989; La Habana.
 10. González Couret D. Land use vs. Indoor environment. Paper presented at: *Passive Low Energy Architecture*. 2003; Santiago de Chile.
 11. González Couret D and Sánchez Martínez O. Towards a more resilient urban morphology in Havana. Paper presented at: 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. 2016; Los Ángeles: Universidad de Pomona; 2016
 12. González Couret D and Sánchez Martínez O. Outdoor thermal environment in Havana. Paper presented at: International Conference for Sustainable Design of the Built Environment. 2018; London; 2018. 304-15 p.
 13. González Couret D, Sánchez O, Rodríguez VD y Salazar MA. Ambiente térmico en espacios exteriores en La Habana. 2019;(69);22-8.
 14. De la Paz Pérez GA. Influencia del contexto urbano y la orientación en la protección solar de los vanos y en la demanda energética de los edificios en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2019; Universidad Tecnológica de La Habana.
 15. González Couret D. Diseño Bioclimático para Matanzas. *Arquitectura y Urbanismo*. 2000;21(1):26-35.
 16. González Couret D. Daylight and Ventilation Conduits for Housing in Compact Urban Areas. Paper presented at: *World Renewable Energy Congress*; 2002; Cologne; 2002.
 17. González Couret D. Conductos de Iluminación y Ventilación Natural para viviendas en zonas urbanas compactas. *Ecosolar*. 2003;(6).
 18. González Couret D. Para ventilar viviendas en centros urbanos compactos. *Energía y Tú, Energía y Tú*. 2009;(47):4-6.
 19. Rueda LA. Building materials evaluation of the architectural skin on thermal gain and energy expenditure in Cuban hotel, *Journal of Construction*. 2004;3(2):4-13.
 20. Rueda LA. Influencia del diseño en el consumo de energía por climatización en las habitaciones de hoteles de sol y playa en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 2003; Universidad Tecnológica de La Habana.
 21. González Couret D, *Arquitectura en Fibras Vegetales*. La Habana: CUJAE; 2008.
 22. González Couret D. *Arquitectura Bioclimática*. La Habana: Editorial Félix Varela; 2008.
 23. González Couret D, Rueda LA, González N, Rodríguez E y Llovet M. Evaluación cualitativa de la influencia del diseño en el ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*. 2015;36(3):93-8.
 24. González Couret D y Portero AE. La enseñanza del ecodiseño en la Facultad de Arquitectura de La Habana. *Arquitectura y Urbanismo*. 2004;25(3):68-72.
 25. González Couret D. Chapter 40. *Low Energy Architecture*. Cuban contradictions. En: *Renewable Energy in the service of Mankind*. London: SPRINGER; 2015. 443-53 p.
 26. González Couret D, Rodríguez P y Abreu DF. Influence of architectural design on indoor environment in apartment buildings in Havana. *Renewable Energy*. 2012;(50):800-11.
 27. González Couret D y Martínez R. Elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Caso de estudio. *Arquitectura y Urbanismo*. 2014;35(3):104-13.
 28. González Couret D, Rodríguez E, González N, Llovet, M. Ambiente térmico y visual interior, Caso de estudio. *Ecosolar*. 2015;(54):40-64.
 29. González Couret D y Pérez LG. Green Roofs in Cuban Housing. Types, Evaluation and Proposals. Paper presented at: *Design to Thrive*. *Passive Low Energy Architecture*: 2017; Edimburgo: NCUB; 2017.
 30. Pérez LG y González Couret D, Techos verdes apropiados para viviendas en La Habana, *Ecosolar*. 2017;(59):30-40.
 31. De la Paz Pérez GA. Brise-soleil, recurso arquitectónico de control solar. Evaluación y propuesta de diseño optimizado para Camagüey. *Arquitectura y Urbanismo*. 2012;33(2):79-94.
 32. De la Paz Pérez GA y González Couret D. Orientación de la envolvente arquitectónica vertical: recurso de diseño de alta especificidad para la eficiencia energética, la identidad cultural y sustentabilidad en la ciudad de Camagüey. Ponencia en: XII simposio internacional desafíos en el manejo y gestión de ciudades; 2018; Camagüey: Editorial El Lugareño; 2018.
 33. De la Paz Pérez GA y De la Paz Vento G. Impacto energético-ambiental por climatización de un edificio de oficinas en condiciones tropicales. Ponencia en *Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*; 2018; La Habana: CUJAE; 2018
 34. Collado N, Himpe E, González Couret D y Rueda LA. Retos para una definición de Edificios de consumo energético casi nulo. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*. 2019;34(3):321-9.
 35. Collado N, Rueda L, González Couret D y Janssens S. Teaching about Nearly Zero Energy Buildings in the Architecture curriculum in Havana, Cuba. International Paper presented at; *Conference for Sustainable Design of the Built Environment*; 2018; London: SDBE; 2018:304-15.
 36. Collado Baldoquin N. Bases de diseño para la renovación energética en viviendas con alojamiento para el turismo de ciudad, Caso de estudio: Edificaciones de una planta en El Vedado. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2021; Universidad Tecnológica de La Habana.
 37. González Couret D. Sustainable Development in Developed and Developing Countries. En: *Architecture as Politics*. Stockholm: Peace Royal Institute of Technology; 2002. 40-3.
 38. González Couret D. Hábitat sustentable. En: *Cohabitar en el marco de la colaboración internacional*. Barcelona: Fundación Privada Elizaba; 2009.
 39. González Couret D. Sustainable Built Environment in Cuba. Paper presented at: *World Renewable Energy Forum*; 2012; Denver
 40. González Couret D. Desarrollo sustentable y conservación del patrimonio. En: *Patrimonio hidráulico, industrial, arquitectónico y urbano en el ámbito hispano-cubano*. Padova: CRACE; 2013. 51-64 p.
 41. González Couret D. Urban resilience in Cuba. Art Cities and Hurricanes. International. En: *Conference Florence 1966-2016 resilience of art cities to natural catastrophes: the role of academies* (Roma, 11-13 october 2016). Roma: Bardi Edizione; 2017. 153-64

42. González Couret D. ¿Qué ciudad debemos hacer? En: Arquitectura y urbanismo modernos y ciudad informal y la construcción del hábitat popular. Bogotá: Universidad de la Gran Colombia; 2008.133-44.
43. González Couret D. El Desarrollo Sustentable en la formación del Arquitecto. La Habana, CUJAE; 2008.
44. González Couret D. Urban sustainability in Latin America. Challenges and perspectives. Arquitectura y Urbanismo. 2016; 37 (1): p. 53-66. NC 220-1: 2009. Eficiencia energética en las edificaciones. Parte 1: Envolvente. Norma Cubana.

Recibido: 16/10/2022

Aprobado: 13/01/2022

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los diplomantes y maestrantes que durante estos 20 años han contribuido a la obtención de los resultados que aquí se presentan. Así como a los profesores de otras universidades que han colaborado.

Conflictos de intereses

No existen conflictos de interés con la investigación presentada.

Contribuciones de autores

Conceptualización: Dania González Couret

Curación de datos: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán, Guillermo A. De la Paz Pérez, Natali Collado Baldoquin

Análisis formal: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán, Guillermo A. De la Paz Pérez, Natali Collado Baldoquin

Investigación: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán, Guillermo A. De la Paz Pérez, Natali Collado Baldoquin

Metodología: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán

Software: Guillermo A. de la Paz Pérez

Supervisión: Dania González Couret

Validación: Natali Collado Baldoquin

Visualización: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán, Guillermo A. De la Paz Pérez, Natali Collado Baldoquin

Redacción-borrador original: Dania González Couret

Redacción-revisión y edición: Dania González Couret, Luis A. Rueda Guzmán, Guillermo A. De la Paz Pérez, Natali Collado Baldoquin

Financiamiento

La investigación no contó con fuentes de financiamiento más que el salario correspondiente al tiempo de investigación de los profesores involucrados, a pesar de que algunos resultados parciales responden a solicitudes de diversas instituciones. Los equipos de medición empleados en diversas etapas eran propios de la universidad, donados por otras universidades como le TU Berlín, prestados por el Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología del INHEM, y en la última etapa, adquiridos por un proyecto VLIR de colaboración con la Universidad de Gent.

Cómo citar este artículo

González Couret D, Rueda Guzmán LA, De la Paz Pérez GA Collado Baldoquin N et al. Sustentabilidad arquitectónica y urbana, ambiente térmico interior y consumo de energía en Cuba. An Acad Cienc Cuba [internet] 2023 [citado en día, mes y año];13(3):e1342. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1342>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2023.

