



Evaluación cualitativa de la influencia del diseño arquitectónico en el ambiente interior

Qualitative evaluation of the influence of architectural design on indoor environment

Dania González Couret, Luis Alberto Rueda Guzmán, Nataly González Milián, Elizabeth Rodríguez García y Mónica Llovet Salazar

RESUMEN: El objetivo de este artículo es presentar un enfoque metodológico para la evaluación cualitativa de proyectos arquitectónicos, a partir de la influencia de las variables de diseño en el ambiente interior, y su aplicación a un caso de estudio. El procedimiento también puede usarse en el proceso de diseño, para considerar desde el inicio, cómo las decisiones proyectuales afectarán el ambiente interior, en aras de generar una forma arquitectónica más apropiada. No sólo se ofrecen recomendaciones en términos de principios o estrategias de diseño, sino además variables y parámetros más precisos a tener en cuenta para evaluar proyectos o edificios existentes y también para nuevos diseños. En este enfoque metodológico se identifican tres principales variables de diseño que influyen en el ambiente interior de los edificios: volumen, espacio y envolvente.

PALABRAS CLAVE: Diseño Bioclimático; Evaluación cualitativa; Enfoque metodológico.

ABSTRACT: The goal of this paper is to present a methodological approach for the qualitative evaluation of architectural projects, based on the influence of design variables on indoor environments, and their application in a case-study. The procedure could also be used in the design process to consider, from the very beginning, how the design decisions could affect the indoor built environment, in order to generate the most pertinent architectural form. This study offers not only general recommendations about principles and strategies of design, but also more precise variables and parameters to be taken into account when evaluating existing buildings or projects, and also when designing new ones. The three main architectural design variables influencing the indoor environment of buildings identified in this methodological approach are volume, space and envelope.

KEYWORDS: Bioclimatic design; Qualitative evaluation; Methodological approach.

1. Introducción

El principal papel de la arquitectura consiste en proporcionar ambientes interiores confortables para la vida humana, y el diseño arquitectónico constituye un recurso esencial en el logro de ese propósito. Un buen diseño arquitectónico contribuye al logro de ambientes interiores apropiados por medios pasivos, y por tanto, a reducir el consumo de energía para el acondicionamiento artificial, al aprovechar los recursos naturales disponibles adecuándose al contexto y al clima.

La crisis ecológica de finales del siglo XX y el cambio climático como una de sus principales consecuencias, han generado numerosas acciones internacionales encaminadas a promover la arquitectura de bajo consumo energético o los edificios de energía cero o casi cero [1]. Se dice que mediante apropiados diseños arquitectónicos es posible reducir el 95% de la energía consumida en los edificios, mientras que el 5% restante podría ser suministrado a través de fuentes renovables de energía [2]. Por otro lado, muchas ciudades han asumido el compromiso de llegar a ser consideradas neutrales para el 2050, o incluso, antes. El concepto de ciudad neutral implica el cierre de ciclos para el suelo, el agua, los materiales, el aire y la energía [3].

Pero a pesar de esto, muchos arquitectos aún hoy continúan desarrollando proyectos arquitectónicos que no toman en cuenta el consumo energético durante la vida útil de la edificación. Es usual en conferencias y congresos internacionales, escuchar a los ponentes criticar esta situación como una tendencia global. ¿Por qué ocurre?

Algunos arquitectos alegan que un diseño energéticamente apropiado es sumamente difícil de lograr por lo complejo de las herramientas requeridas, tales como métodos de cálculo o programas de simulación, aún no suficientemente amigables. A partir de la evaluación de proyectos en los Comités de Expertos del Ministerio de la Construcción en La Habana, se ha demostrado que muchos arquitectos no tienen conocimientos y habilidades suficientes en relación con el diseño bioclimático y la eficiencia energética de los edificios, a pesar de que esos contenidos se incluyeron en la formación de arquitectos desde los años setenta.

Entre las razones que han motivado esta situación, pueden mencionarse, por un lado, la reacción en contra de los procesos de cálculo incluidos en la enseñanza de la arquitectura durante los setenta y ochenta, y por otro, la actitud asumida por algunos profesores de taller como resultado de su desconocimiento del tema. En estos casos, usualmente manifiestan que esos requerimientos no son importantes para el diseño arquitectónico, que constituyen una limitante para la creatividad, e incluso, afectan el resultado estético.

En ocasiones, también los profesores que enseñan los contenidos vinculados al acondicionamiento ambiental (natural o artificial) de los edificios provocan reacciones adversas, tanto en los estudiantes como en los profesores de taller, cuando plantean que cualquier decisión de diseño debe estar subordinada a los requerimientos ambientales. Pero además de las debilidades en el proceso educativo, los inversionistas y los decisores no siempre demandan la aplicación de criterios bioclimáticos en el diseño de los edificios.

Los programas (software) de apoyo al diseño y la evaluación del comportamiento ambiental y energético de los edificios podrían contribuir a facilitar el proceso e incrementar la aplicación de estos conocimientos y principios en la arquitectura, pero hasta hoy estos no resultan aún

[1] Mazria E. Clean Energy: The Future is now. In: Proceedings from World Renewable Energy Forum, American Solar Energy Society; Denver; 2012.

[2] Montes de Oca M. Edificios de energía casi nula. Una realidad inminente. En: Romera García P, editor. Curso de Arquitectura Sostenible. Las Palmas de Gran Canaria: Escuela de Arquitectura; 2011, pp.66-71.

[3] Kimman J. The Road towards Energy Neutral Cities. In: Proceedings from World Renewable Energy Congress; Linköping University (Suecia); 2011.

suficientemente amigables. No son en realidad una herramienta de diseño, sino de evaluación, como resultado de lo cual, la labor proyectual se convierte en un largo proceso iterativo de propuestas y evaluación hasta que logre arribarse a la mejor solución.

Por otra parte, los principios de diseño para la arquitectura de bajo consumo energético en función del clima, se han identificado como resultado de investigaciones desarrolladas durante más de medio siglo, pero constituyen sólo una guía general, no muy útil para precisar la solución arquitectónica. Esos principios generales pudieran ser complementados con una guía cualitativa para el diseño y evaluación de proyectos a partir de algunos indicadores cuantitativos útiles para los arquitectos.

El objetivo de este artículo es presentar un enfoque metodológico para la evaluación cualitativa de proyectos arquitectónicos a partir de la influencia de las variables de diseño en el ambiente interior, y su aplicación en un caso de estudio. Las variables propuestas sólo incluyen la escala arquitectónica, de manera que la influencia del contexto deberá considerarse de forma independiente y específica. No se ejemplifica en esta ocasión el posible uso de este enfoque en el proceso de diseño.

2. Antecedentes

Son muchos los trabajos desarrollados y publicados durante el último medio siglo, en caminados a ofrecer estrategias de diseño bioclimático para diferentes tipos de climas. Entre los autores más importantes, hoy considerados clásicos en el tema, fue Olgyay [4] quien elaboró una versión simplificada de carta bioclimática aplicada a la arquitectura que integra el efecto combinado de la temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa en la sensación térmica percibida por los seres humanos.

Relevantes contribuciones ha aportado Givoni [5] al asumir la necesidad de incrementar la zona de confort para regiones pobres en condiciones climáticas cálidas, considerando la capacidad de esa población para asimilar ambientes más calurosos, sobre lo cual ya existían propuestas precedentes. Su carta bioclimática incluyó estrategias de diseño que aprovechan la inercia térmica de la masa construida, el enfriamiento evaporativo y la ventilación nocturna para climas cálido – secos, así como la ventilación natural o mecánica en los cálido – húmedos.

Martin Evans [6] en sus “Triángulos Verdes” ha desarrollado un método diferente para definir las estrategias de diseño, sobre la base de los mismos principios, pero usando la temperatura media del aire y la amplitud de oscilación de sus valores (máximo y mínimo). Veinte años atrás, Serra [7] enfatizó la definición fisiológica y psicológica del ambiente, así como los principios de la sensación y precepción de forma integral, incluyendo la componente estética. A partir de este enfoque, él estudió los medios naturales para el control ambiental y propuso recomendaciones de diseño según las características generales y específicas del proyecto (la forma general del edificio, sus espacios interiores y las características de la piel).

Las tablas de Mahoney se han usado en los cursos de entrenamiento que ofrece la Universidad de Lund en Suecia sobre Arquitectura, Energía y Medio Ambiente [8], en aras de identificar estrategias de diseño generales y específicas de acuerdo con las condiciones climáticas, partiendo de la humedad relativa y la temperatura del aire para determinar los rangos de confort apropiados. Las estrategias de diseño propuestas incluyen plan general y orientación, espacios, aberturas (tamaño, posición y protección), paredes y techos.

- [4] Olgyay V. Design with Climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton (New Jersey): Princeton University Press; 1963.
- [5] Givoni B. Climate considerations in Building and Urban Design. New York: Van Nostran Reinhold; 1998.
- [6] Evans JM Los Triángulos de Confort: Una nueva herramienta para la sustentabilidad. Conferencia en 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, evento 2do Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, Cujae; 2011.
- [7] Serra R, Coch H. Arquitectura y energía natural. Barcelona: Ediciones UPC; 1995.
- [8] Roselund H. Architecture, Energy and Environment, Housing, Development and Management Tools for Climatic Design. In: Conference from Architecture, Energy and Environment. Lund (Suecia): Lund University, 1999.

El principal antecedente para el enfoque integrado que se propone en el presente artículo fue desarrollado en una investigación tutorada por la autora principal y desarrollada por Rueda [9] en su tesis doctoral defendida más de diez años atrás, en relación con la influencia de las variables de diseño arquitectónico en el consumo de energía en hoteles de sol y playa para el clima cálido – húmedo de Cuba. Ese enfoque ha sido recientemente reconsiderado y adaptado a edificios públicos en general, principalmente aquellos compuestos por la repetición de espacios modulares como escuelas, oficinas, hoteles y viviendas, con o sin climatización artificial [10]. Los resultados se exponen en el presente artículo.

3. Metodología

Esta investigación ha sido desarrollada en diversas etapas a lo largo de más de diez años. A partir de la literatura internacional relacionada con la arquitectura de bajo consumo energético y el diseño bioclimático, se identificaron las principales variables de diseño referidas, así como la forma en que éstas debían ser consideradas, según los parámetros propuestos por diferentes autores.

La Tabla 1, elaborada por Rueda en su tesis doctoral [9], muestra las variables que influyen en el ambiente interior y el consumo de energía de los edificios, según han sido clasificadas por diez autores seleccionados. Como puede observarse, a pesar de las variaciones en la forma de clasificarlas, hay criterios coincidentes que permiten definir el volumen, el espacio y la envolvente como las principales variables asumidas en el presente trabajo.

Tabla 1: Variables que influyen en el ambiente interior y el consumo de energía en los edificios, clasificadas según diez autores seleccionados [11]

Variables	Autores									
	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]
Contexto	X	X	X	X	X	X	X		X	
Volumen	X		X	X		X	X		X	
Envolvente						X				
Espacio			X	X	X	X			X	
Paredes	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Ventanas	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Elementos de protección solar	X	X	X		X		X	X	X	
Techos	X	X		X	X		X	X	X	X
Aspectos estéticos y culturales				X						
Aspectos históricos y antropológicos				X						

Esta clasificación ha sido aplicada en numerosas investigaciones desarrolladas por la autora principal en edificios de apartamentos [11], y ha sido recientemente reconsiderada y precisada para edificios públicos [10], incluyendo los parámetros fundamentales a tener en cuenta para evaluar cada una de las variables en el diseño arquitectónico según las condiciones climáticas específicas.

[9]Rueda LA. Influencia del diseño en la carga térmica y el consumo de energía en habitaciones de hoteles con destino sol y playa en Cuba [Doctoral]. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Arquitectura; 2003.

[10] Llovet M, González N, Rodríguez E. Arquitectura sustentable en clima cálido-húmedo. Caso de Estudio: Universidad de las Ciencias Informáticas [Tesis]. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Arquitectura; 2013.

[11] González Couret D, Rodríguez Díaz P, Abreu de la Rosa D. Influence of architectural design on indoor environment in apartment buildings in Havana. Renewable Energy [Internet]. 2013 [consultado 20 de diciembre 2014]; 50:[800-11 pp.]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112004788>.

Los parámetros definidos se han caracterizado y se han identificado los indicadores para su evaluación, no sólo a partir de investigaciones precedentes referidas en la literatura consultada, sino también sobre la base de los resultados obtenidos en trabajos experimentales desarrollados por los autores mediante simulaciones [12], [13] y mediciones de algunos de los parámetros que caracterizan el ambiente interior de los edificios [14], [12], tales como la temperatura del aire y la humedad relativa, o los niveles de iluminación natural.

El enfoque metodológico propuesto también ha sido aplicado a la evaluación cualitativa de algunos edificios en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) en La Habana, y posteriormente verificados mediante mediciones de la temperatura interior y simulación de la iluminación natural en sus espacios interiores [10]. La investigación experimental para verificar los resultados del análisis cualitativo incluyó mediciones de la temperatura del aire y la humedad relativa usando *data loggers* marca HOBO, mientras que la temperatura y la humedad relativa del aire interior se simularon mediante el empleo del programa *Energy Plus*, considerando la envolvente transformada con la adición de la protección solar.

4. Resultados y discusión

Como resultado de la investigación desarrollada, se propone un enfoque metodológico para evaluar proyectos arquitectónicos desde el punto de vista bioclimático, que incluye la clasificación de las principales variables de diseño, los parámetros a considerar para su evaluación y los indicadores a estimar en forma cualitativa o cuantitativa para arribar a una evaluación general de la solución arquitectónica.

El procedimiento también puede ser usado en el proceso de diseño para considerar, desde el inicio, cómo las decisiones de diseño podrían afectar el ambiente interior en aras de generar la forma arquitectónica más apropiada.

4.1 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico propuesto toma como base las variables de diseño anteriormente identificadas: volumen, espacio y envolvente, así como todos los parámetros e indicadores sugeridos para su evaluación, según su influencia en el ambiente interior y por tanto, en el bienestar de los usuarios y el consumo de energía del edificio (Tabla 2). Las tres variables están estrechamente vinculadas, ya que el espacio interior queda delimitado por su envolvente y ambos dan forma al volumen que el edificio proyecta hacia el contexto. La influencia del contexto deberá ser considerada de forma independiente y específica en cada caso, ya que no se incluye en el procedimiento que se presenta.

4.1.1 Volúmen

El volumen generado por el edificio hacia el contexto urbano determina la exposición de la envolvente en diferentes orientaciones y por tanto, la radiación solar incidente que calienta las superficies exteriores, elevando su temperatura, y con ello, el flujo de calor hacia el interior. Desde este punto de vista, el volumen puede caracterizarse a partir de su geometría, compacidad, porosidad, esbeltez y tersura.

La geometría del plan puede generar diversas orientaciones de las paredes exteriores y con ello, requerimientos específicos de diseño para su protección solar. Las geometrías simples identificadas en edificios conformados por espacios modulares y repetitivos (como escuelas, oficinas,

Tabla 2 Variables de diseño y parámetros considerados en el enfoque metodológico propuesto para evaluar las soluciones arquitectónicas desde el punto de vista bioclimático

Variables de Diseño		Parámetros
Volumen		Geometría Compacidad Porosidad Esbeltez Tersura
		Geometría Volumen y Proporciones Compartimentación y Conexión
Espacio		Forma y Orientación Dimensiones Materiales Superficies exteriores
		Orientación Dimensiones Materiales Superficies exteriores Dispositivos de protección solar
		Orientación Ubicación y Proporciones Dimensiones Tipo Materiales Dispositivos de protección solar

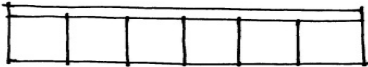
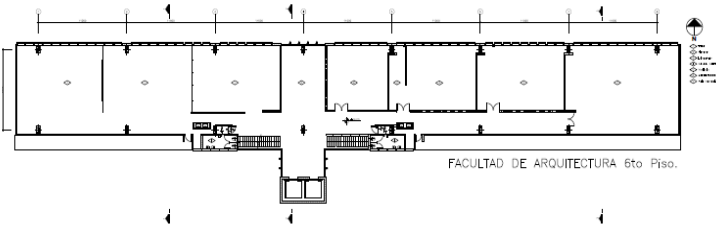
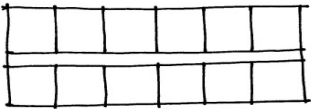
[12] González Couret D, Abreu de la Rosa DF. Volumetric-Spatial design and daylight in apartment buildings. Study case: Havana City. In: Proceedings from World Renewable Energy Congress. Sweden: Linköping University Electronic Press; 2011.

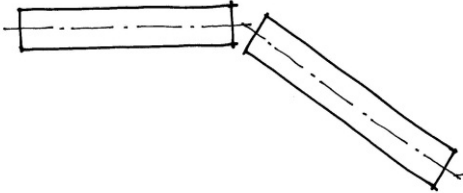
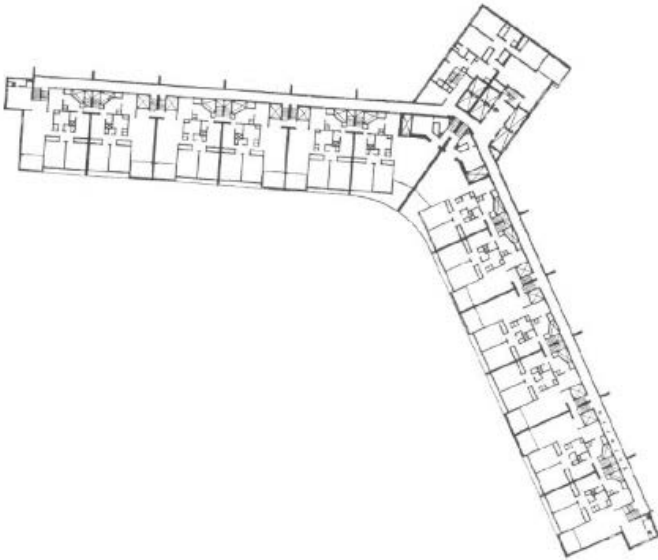
[13] González Couret D, Zorrilla A, Gómez H. Housing Daylight in Urban Centers. Study Case: Havana. In: Proceedings from 23rd Conference on Passive Low Energy Architecture. Geneva; 2006. [20 de diciembre 2014]Disponible en: http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/pdf/821_Gonzalez.pdf.

[14] González Couret D, Pérez A, Chinog Y, Luaces Y. Housing Indoor Environment in the Historic Urban Tissue. Study Case: Havana. In: Proceedings from World Renewable Energy Congress. Florence; 2006.

hoteles y edificios de vivienda) se pueden clasificar como sencilla o doble, de acuerdo con la relación entre las unidades espaciales y la circulación de acceso. Por su parte, las geometrías complejas pueden ser lineales, de patio, en forma de estrella o de trama (Tabla 3), pero es también posible encontrar combinaciones de ellas.

La geometría simple puede generar sólo una orientación para todos los

TIPO DE GEOMETRÍA	ESQUEMA	PLANTA REAL
SENCILLA		 FACULTAD DE ARQUITECTURA 6to Piso.
SIMPLE		Facultad de Arquitectura, CUJAE. La Habana, 1965
DOBLE		 Galileo
		Edificio "América". Arq. F. Martínez Campos y Pascual Rojas. La Habana, 1941

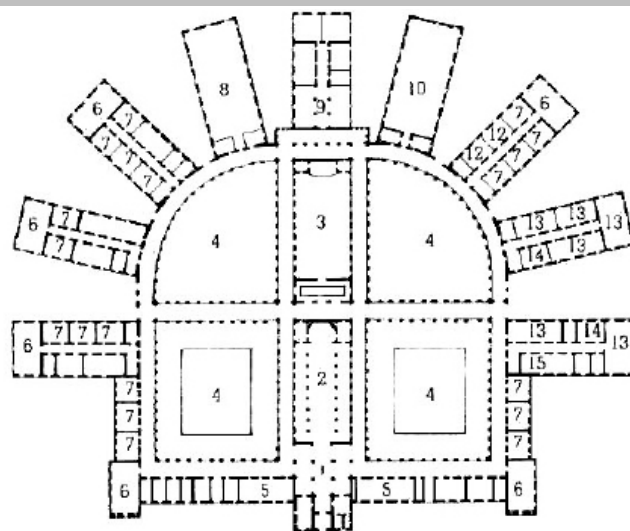
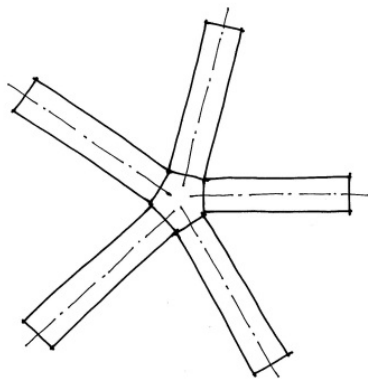
TIPO DE GEOMETRÍA	ESQUEMA	PLANTA REAL
LINEAL		
		Edificio "FOCSA". Arq. Ernesto Gómez Sampera. La Habana, 1956

TIPO DE GEOMETRÍA

ESQUEMA

PLANTA REAL

ESTRELLA



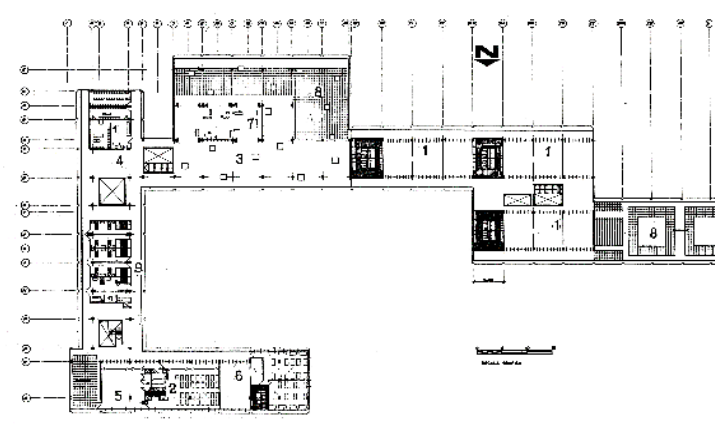
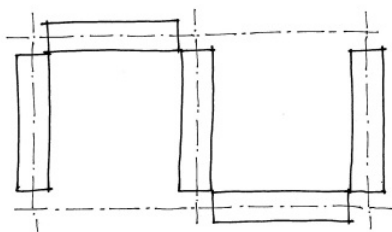
"Colegio de Belén". Arq. Morales y CIA. La Habana, 1925

TIPO DE GEOMETRÍA

ESQUEMA

PLANTA REAL

TRAMA



Escuela Primaria Experimental "Volodia". La Habana, 1973

espacios interiores, de manera que sería posible seleccionar la mejor opción. La doble, sin embargo, presenta espacios hacia dos orientaciones, y la de tipo patio aún más, por lo que se dificulta en mayor medida garantizar la protección solar en todos los casos. Algo similar sucede con las geometrías complejas en forma de estrella y trama.

La compacidad se expresa a través de un coeficiente que indica la relación entre la envolvente equivalente en una esfera de similar volumen y la del edificio específico estudiado [7]. En la medida que la compacidad aumente, la posible radiación solar incidente y el calor ganado a través de la envolvente se reduce para el mismo volumen edificado. Genéricamente, un edificio del tipo patio es menos compacto que otro de forma prismática con igual volumen, pero un cubo es más compacto que un prisma, y el mayor coeficiente de compacidad corresponde a una esfera con el mismo volumen que los casos anteriores.

La porosidad se relaciona con la proporción entre los espacios cerrados y abiertos en el volumen del edificio, o la presencia de huecos en él. Para estimar este parámetro, Serra (1995) sólo consideró los pequeños patios

existentes con respecto al volumen total [7], pero también las perforaciones horizontales del edificio influyen en su desempeño ambiental, no en relación con la ganancia térmica, pero sí con respecto al flujo de viento, porque esas perforaciones hacen al edificio más permeable, lo cual puede contribuir a incrementar la velocidad del viento a través de él como resultado del efecto Venturi. Es por ello que en esta investigación la porosidad considera la proporción de perforaciones, tanto verticales como horizontales en el volumen edificado (Figura 1).

La esbeltez se define como la proporción entre la altura del edificio y el



Figura 1. Volumen. Porosidad.

área de piso promedio [7]. Mientras más esbelto es un edificio, es menos compacto, y la posible radiación solar incidente en la envolvente (y con ello la ganancia térmica) se incrementa. Esbeltez y compacidad son parámetros opuestos.

La tersura se refiere al grado de rugosidad visual de la envolvente del edificio, en dependencia de la cantidad y magnitud de las protuberancias y deprimidos de hasta un metro de proyección, con respecto a la línea de fachada. Expresa la relación entre la proyección y la superficie total real de la envolvente, considerando las irregularidades mencionadas [7]. La tersura se afecta con la presencia de aleros, balcones y terrazas que contribuyen a reducir el valor del coeficiente, lo cual es mejor para proteger el edificio de la radiación solar con respecto a uno con una envolvente más tersa. El menor coeficiente de tersura se corresponde con el mayor posible efecto de auto-sombreado del edificio, que se obtiene con balcones corridos en cada piso [7]. (Figura 2)

4.1.2 Espacio

Los parámetros considerados para evaluar los espacios interiores desde el punto de vista ambiental han sido: geometría, volumen y proporciones, compartimentación y conexión. La geometría refleja la forma del espacio en planta y sus posibilidades de ser conectado con otros. Esto influye en la orientación de las paredes exteriores del espacio, así como en las posibles orientaciones del edificio.

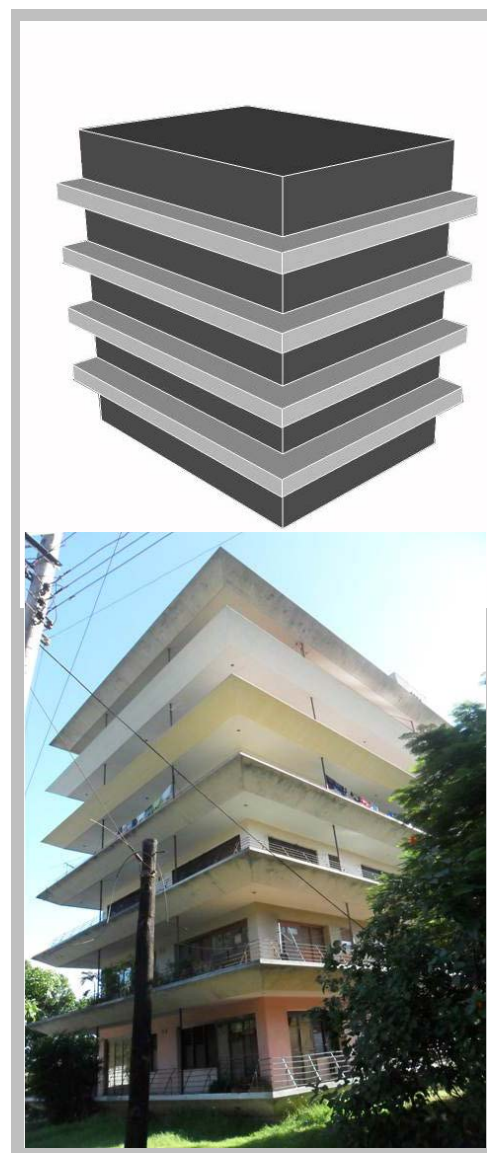


Figura 2. Menor tersura se obtiene con balcones corridos.

El volumen y las proporciones del espacio se relacionan con la geometría de la planta, pero también dependen del puntal. El volumen del espacio está directamente vinculado a los requerimientos de ventilación higiénica y sus proporciones influyen en la ganancia térmica y en la percepción de los usuarios, en dependencia de la proporción de paredes exteriores o techos expuestos y la distancia entre éstos y las personas que ocupan el espacio interior, lo cual se expresa a través del ángulo sólido. Los espacios profundos son mejores desde el punto de vista térmico, pero no para la ventilación o la iluminación natural.

Compartimentación y conexión indican el grado de continuidad espacial y permeabilidad interior. Los espacios conectados y permeables son mejores para la ventilación y la iluminación natural, pero los compartimentados resultan preferibles en edificios climatizados.

4.1.3 Envoltente

La envoltente o “piel” del edificio constituye el límite entre el interior y el exterior y debe proteger el espacio interior del sol, el viento, la lluvia, el ruido, la contaminación, las visuales indeseadas y los insectos, entre otros. Pero al mismo tiempo, la envoltente tiene que permitir la requerida ventilación, e iluminación natural y las visuales al exterior. Componentes principales de ella son los cierres sólidos y los vanos, es decir, techos, paredes y ventanas.

La transferencia de calor a través de los techos y paredes depende de su forma y orientación, dimensiones, materiales, terminación y color de las superficies exteriores, y la presencia de protección solar. Los techos reciben la mayor intensidad de radiación solar en latitudes tropicales, pero esto depende de su forma y orientación. Las bóvedas y cúpulas reciben menor radiación instantánea que los techos planos, pero no resultan apropiadas para climas lluviosos. A su vez, la radiación promedio incidente en un techo horizontal es mayor que en uno inclinado a un agua hacia cualquier orientación, excepto el sur en el hemisferio norte, o por el contrario, el norte en el hemisferio sur.

La radiación solar incidente también varía de acuerdo con la orientación de la pared exterior. Una pared orientada al norte en el hemisferio norte recibe menos radiación solar promedio anual (aunque ésta es mayor en los meses de verano), y el mayor asoleamiento se obtiene en aquellas orientadas al sur [15].

Las dimensiones de los elementos de cierre también influyen en la transferencia térmica y la radiación emitida hacia el espacio interior y sus usuarios, según el ángulo sólido, como ha sido expuesto. Mientras mayores son los elementos de cierre, más cantidad de calor será transferido. Así mismo, la distancia entre el techo o la pared expuesta a la radiación solar y la persona que usa el espacio es inversamente proporcional a la percepción térmica.

La transferencia de calor a través de los elementos de cierre también depende de su coeficiente global de transferencia térmica y de la absorptividad de su superficie exterior. Ambas son directamente proporcionales al flujo de calor, que depende además, de la diferencia de temperatura entre la superficie exterior asoleada y la superficie interior del elemento de cierre. Es por ello que cuando la envoltente está protegida de la radiación solar, la transferencia térmica se reduce o se anula, ya que ambas superficies tienen prácticamente la misma temperatura en espacios con ventilación natural.

[15] Matamoros M. Las cubiertas inclinadas en la vivienda. *Arquitectura y Urbanismo*. 1986;6(3):70-5.

Las ventanas son elementos muy complejos que deben desarrollar funciones contradictorias. Una ventana tiene que permitir la ventilación, la iluminación natural y las visuales al exterior, pero al mismo tiempo, tiene que proteger el espacio interior de la lluvia, el ruido, las visuales del exterior, e incluso, de la radiación solar directa en la mayoría de los casos. El desempeño de la ventana depende de su orientación, ubicación y proporciones, dimensiones, tipo, material, color y elementos de protección externos.

Las ventanas opacas pueden actuar como dispositivos de protección solar y su efectividad depende de la orientación, que resulta más difícil en el este y el oeste por el bajo ángulo del sol en esas orientaciones para cualquier latitud, por lo cual la protección ofrecida por el contexto constituye un buen complemento.

Además de sus dimensiones, la ubicación y proporción de las ventanas también influye en su desempeño integral. La proporción horizontal es mejor para la iluminación y la ventilación que la vertical, que no favorece la uniformidad. Dos ventanas separadas en una pared exterior son mejores que una sola de las mismas dimensiones totales, porque generan un mejor flujo de viento y mayor uniformidad en la distribución de la luz. A esto último también contribuyen los aleros, al reducir el máximo nivel de iluminación junto a la ventana e incrementar el valor mínimo en el lugar más alejado de ésta [16].

El tipo de ventana debe seleccionarse según los requerimientos del espacio interior, el clima, la orientación y el contexto. El material y el color también influyen en el ambiente interior, por el efecto en la reflectividad, absorptividad y emisividad, e incluso, por el deslumbramiento que pueden ocasionar cuando se observa la bóveda celeste a través de la ventana.

En los climas cálido-húmedos, por lo general las ventanas permanecen abiertas para favorecer la ventilación, y sus colores deben ser claros para reducir el contraste entre ésta y la bóveda celeste cuando se mira hacia afuera. Por el contrario, en climas secos donde la tradicional ventana mediterránea permanece cerrada para evitar las visuales directas a los planos bajos y más claros de la bóveda celeste, ésta debe ser oscura (como los colores verde, azul o marrón tradicionalmente usados) para reducir el deslumbramiento cuando se observa iluminada por la luz reflejada en el suelo típicamente claro de estas regiones. [17]

La Tabla 2 resume las variables de diseño y los parámetros considerados en el enfoque metodológico propuesto para evaluar las soluciones arquitectónicas desde el punto de vista bioclimático.

5. Aplicación al caso de estudio

En la investigación realizada por Rueda en 2003 [9], cuando el presente enfoque fue inicialmente propuesto, la evaluación cualitativa de la influencia de las variables de diseño en el consumo de energía en hoteles de sol y playa en Cuba fue validada mediante un proceso de simulación automatizada con el empleo del software DEROB LTH, usado en aquel momento en los cursos de entrenamiento ofrecidos por la Universidad de Lund en Suecia.

Diez años después, la metodología ha sido ajustada y aplicada para evaluar algunos edificios escolares en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) en La Habana [10], uno de los cuales se ha tomado como ejemplo en este artículo. Ese campus universitario construido en La Habana a inicios del siglo XXI ha sido evaluado desde el punto de vista de la sustentabilidad en aras de hacer propuestas para mejorar su desempeño y reducir su impacto [10].

[16] González Couret D. Economía y calidad en la vivienda. Un enfoque cubano. La Habana: Científico Técnica; 1997.

[17] Serra R, Coch H, Isalgué A. The Mediterranean blinds: less light, better vision. Renewable Energy [Internet]. 1998 [consultado FALTA INDICAR DIA MES AÑO DE CONSULTA]; 15(1):[431-6 pp.]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/239369568_The_Mediterranean_blind_Less_light_better_vision.

Algunos de los edificios de mayor consumo energético fueron seleccionados para una evaluación cualitativa en la primera etapa de trabajo, cuyos resultados sirvieron de base en la definición de los espacios interiores a estudiar en la segunda etapa correspondiente a la evaluación cuantitativa, en la cual se realizaron mediciones de la temperatura y la humedad relativa del aire interior, usando *data loggers* marca HOBO. El trabajo experimental de campo confirmó la evaluación cualitativa realizada sobre la base de la presente metodología.

Teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico cualitativo y cuantitativo se ofrecieron recomendaciones para mejorar el desempeño de la envolvente de los edificios, específicamente la protección solar, a partir de una mínima inversión en acciones constructivas. La propuesta consistió en la adición de sombra verde (Figuras 3 y 4) cuyo efecto en la temperatura y la iluminación natural interior fue validado mediante simulación automatizada.



Figura 3. Fachada original del edificio evaluado.

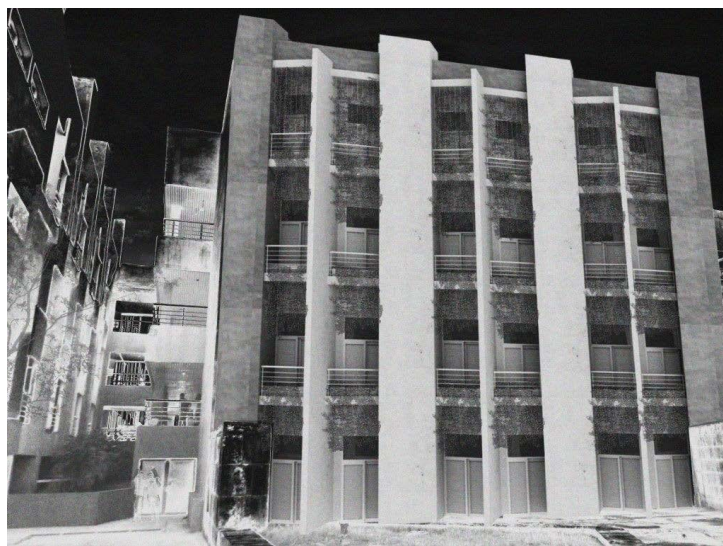


Figura 4. Sombra verde adicionada al edificio evaluado.

Como el presente artículo se refiere al enfoque metodológico para la evaluación cualitativa y su aplicación al caso de estudio, los resultados obtenidos en el trabajo experimental de campo y su comparación con el proceso de simulación serán objeto de atención en futuros artículos. El edificio presentado como caso de estudio está compuesto por tres volúmenes articulados con diferentes geometrías: doble tipo patio; doble lineal, y simple lineal (Figura 5)

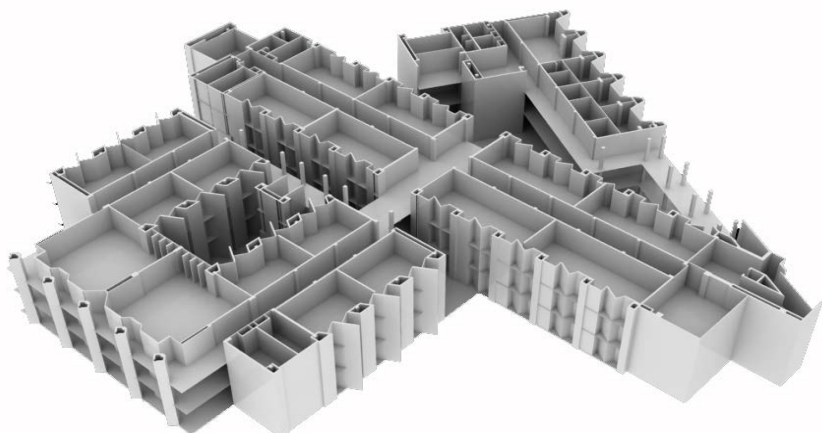


Figura 5. Geometría del volumen en el edificio evaluado

El volumen doble tipo patio es compacto (0.64), con baja porosidad debido a las galerías horizontales centrales, parcialmente cerradas al exterior, como resultado de lo cual, la ventilación y la iluminación natural interior son escasas. La esbeltez es baja, porque se trata de un edificio compacto de sólo cuatro pisos de altura, y la tersura es media (0.67), por las irregularidades de la envolvente con protuberancias verticales que arrojan sombra. Pero como consecuencia de su planimetría simétrica con respecto al eje noroeste - sureste, la protección solar es apropiada en la fachada noreste pero no en la suroeste, como puede apreciarse en la máscara de sombra (Figuras 6 y 7). Por tanto, como se demostró posteriormente, la temperatura interior y el consumo de energía son superiores en la fachada suroeste [10].

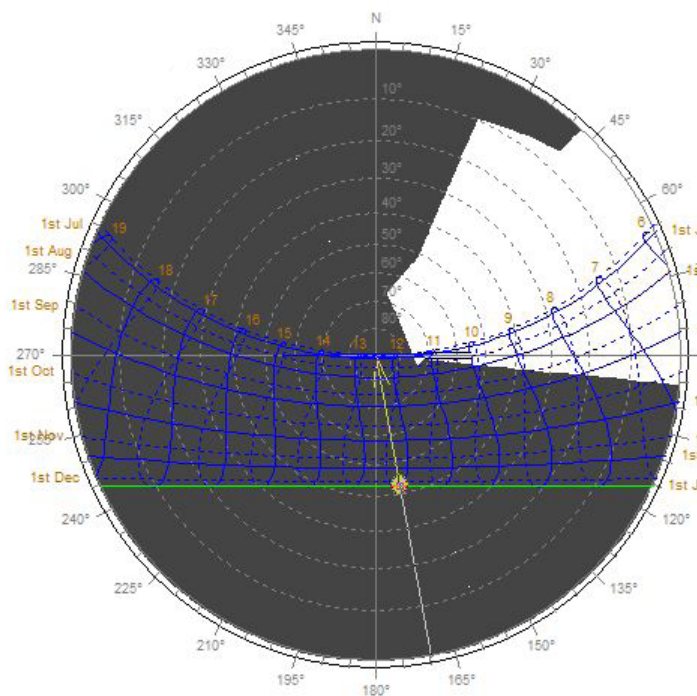


Figura 6. Máscara de sombra correspondiente a la fachada noreste en el volumen doble de patio.

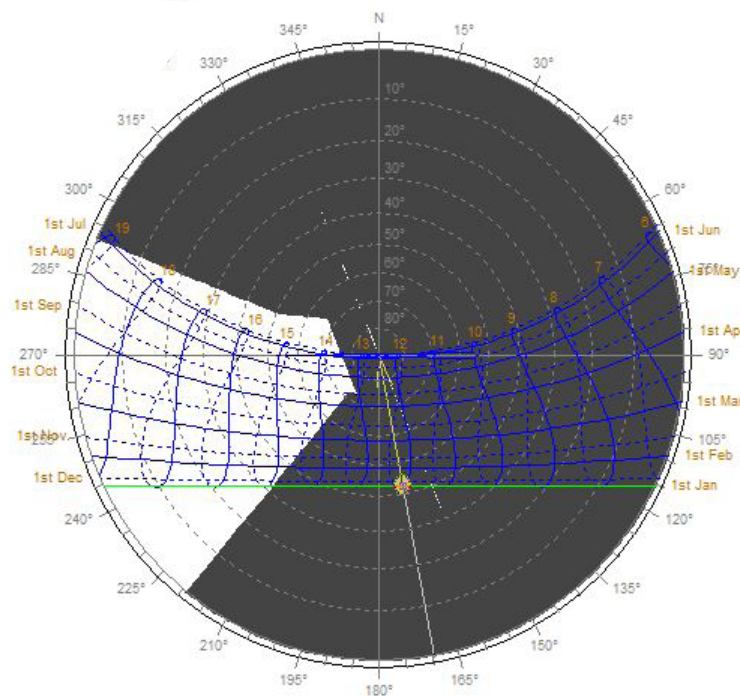


Figura 7. Máscara de sombra correspondiente a la fachada suroeste en el volumen doble de patio.

El volumen doble lineal es también compacto (0.7) con baja porosidad debido a la galería central horizontal parcialmente cerrada al exterior, con resultados similares al edificio doble de patio respecto a la ventilación y la iluminación natural; la esbeltez es igualmente baja y la tersura media (0.7), debido a la envolvente irregular. Sin embargo, como puede observarse en la máscara de sombra, la protección solar ofrecida por ésta es apropiada en la fachada noroeste, pero no en la sureste (Figuras 8 y 9), excepto cuando es protegida por el otro volumen edificado (el doble de patio).

El volumen simple lineal es, por supuesto, menos compacto (0.56), con baja porosidad, porque la galería horizontal es externa y por tanto, se considera en la tersura, que es sin embargo alta, por la presencia de grandes superficies planas de pared. Como resultado, la ventilación y la iluminación natural son mejores en el volumen más estrecho, y en él las fachadas norte y sur están bien protegidas excepto la pared expuesta, no solo en el sur, sino también en el oeste.

La geometría, volumen y proporción de los espacios son similares en todos los casos, porque la mayoría de ellos son aulas y laboratorios de

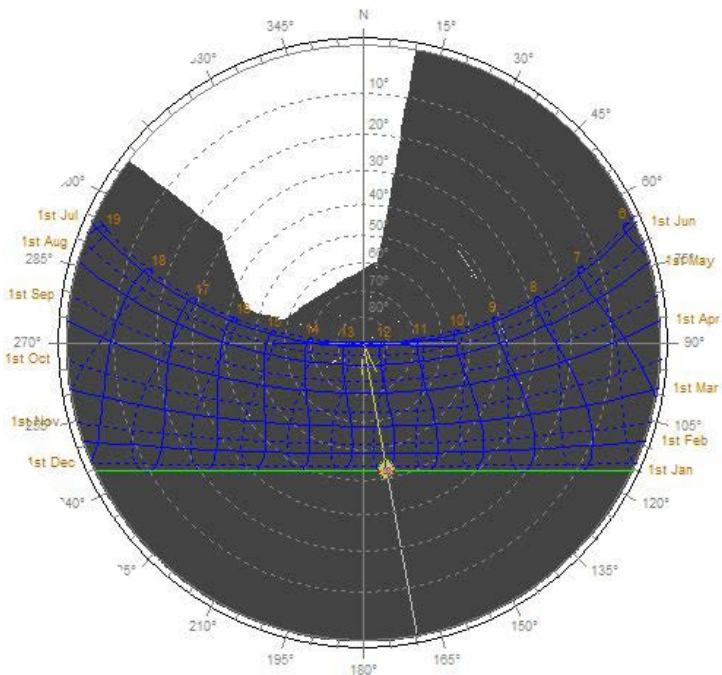


Figura 8. Máscara de sombra correspondiente a la fachada noroeste en el volumen doble lineal.

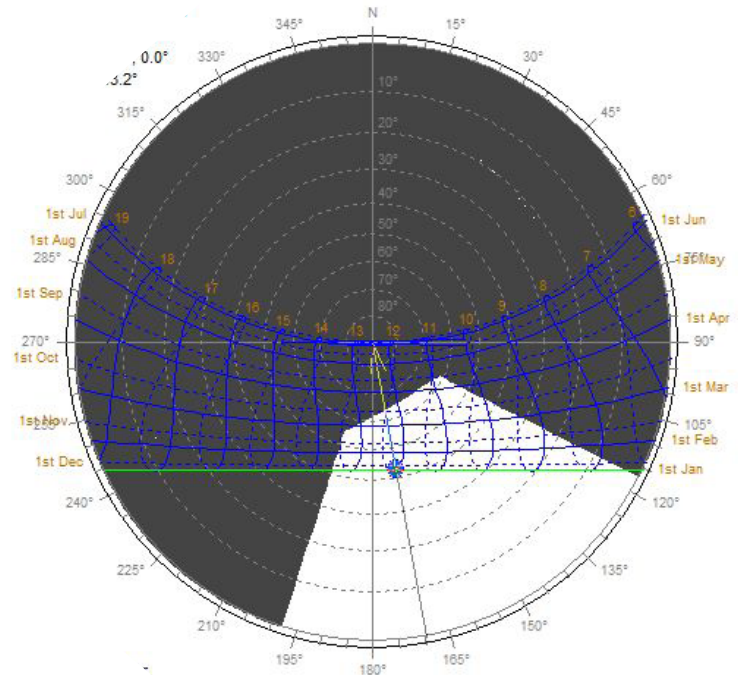


Figura 9. Máscara de sombra correspondiente a la fachada sureste en el volumen doble lineal.

computación cerrados y sin conexión entre ellos ni con las galerías de circulación, lo cual afecta la iluminación y la ventilación, incluso en las aulas no climatizadas, donde las ventanas hacia el corredor de circulación se encuentran en la parte superior de la pared y están usualmente cerradas.

La orientación de las paredes depende de la geometría y orientación del volumen edificado. Están construidas con albañilería y terminadas con mortero de cemento, y el color de las superficies exteriores es generalmente claro, con excepción de algunos elementos que constituyen énfasis en la composición. La sombra arrojada sobre las paredes proviene fundamentalmente de protuberancias verticales en la envolvente, no diseñadas para este fin, sino por razones estético – visuales y compositivas. Por tanto, no se ajustan a los requerimientos de protección solar para cada orientación.

Algo similar ocurre con las ventanas, cuyas dimensiones, localización y proporciones varían, pero no están adecuadamente protegidas del sol. Esto es peor, teniendo en cuenta que en su mayoría son ventanas de vidrio.

La aplicación del enfoque metodológico propuesto al análisis cualitativo permite concluir que el edificio en su totalidad es muy compacto y no lo suficientemente poroso para favorecer una adecuada ventilación e iluminación natural, a pesar de que su compacidad reduce la exposición a la radiación solar. Sin embargo, la tersura media hubiera podido resultar positiva para reducir la temperatura interior si hubiese sido adecuadamente diseñada de acuerdo con la orientación.

Conclusiones

El enfoque metodológico propuesto ofrece no sólo recomendaciones generales en cuando a principios o estrategias de diseño, sino variables y parámetros más precisos a tener en cuenta para la evaluación de proyectos o edificios existentes, así como nuevos diseños. Las variables y parámetros definidos influyen en el ambiente interior en cualquier tipo de clima, pero los valores recomendables de los indicadores deben precisarse en cada caso.

Las principales variables de diseño arquitectónico que influyen en el ambiente interior de los edificios identificadas en este enfoque metodológico son el volumen, el espacio y la envolvente. Con independencia de esta clasificación, ellas se encuentran estrechamente vinculadas.

El volumen se caracteriza por su geometría, compacidad, porosidad, esbeltez y tersura, que influyen en la orientación del edificio y sus espacios, la requerida protección solar, la proporción de pareces exteriores expuestas en relación con el espacio interior, la permeabilidad al viento y el efecto de auto-sombreado.

Los parámetros para evaluar el espacio son su geometría, volumen y proporciones, compartimentación y conexión, que reflejan la forma planimétrica e influyen en los requerimientos de ventilación higiénica, así como en la sensación térmica y luminosa.

Los componentes de la envolvente son los techos, paredes y ventanas, y sus dimensiones, proporciones, posición y protección solar influyen en la potencial transferencia térmica hacia el espacio interior, con independencia del material con el que estén contruidos.

La aplicación del enfoque metodológico propuesto al caso de estudio permitió hacer una evaluación cualitativa de un edificio escolar en la Universidad de Ciencias Informáticas de La Habana, que fue posteriormente validada mediante el análisis cuantitativo. El edificio es demasiado compacto y no suficientemente poroso, lo cual resulta favorable para reducir su exposición a la radiación solar, pero no permite adecuada ventilación e iluminación natural. Sin embargo, la principal debilidad del diseño es la simetría del volumen no adecuadamente orientado.



Dania González Couret
Arquitecta, Doctora en Ciencias,
Profesora. Titular de la Facultad de
Arquitectura del ISPJAE. Directora de
Posgrado del ISPJAE. Correo
electrónico:
dania@arquitectura.cujae.edu.cu



Luis Alberto Rueda Guzmán
Profesor Auxiliar, Departamento
de Diseño. Decano de la Facultad
de Arquitectura. Instituto Superior
Politécnico José Antonio Echeverría,
Cujae. Cuba.
rueda@tesla.cujae.edu.cu.



Nataly González Milián.
Arquitecta. Docente de la Facultad
de Arquitectura, Instituto Superior
Politécnico José Antonio Echeverría,
Cujae
e-mail: milianjo@infomed.sld.cu



Elizabeth Rodríguez García.
Docente de la Facultad de Arquitectura,
Instituto Superior Politécnico José
Antonio Echeverría, Cujae
e-mail: marciaga@infomed.sld.cu



Mónica Llovét Salazar.
Arquitecta. Dirección General de
Proyectos de Arquitectura y Urbanismo.
Oficina del Historiador de la Ciudad. La
Habana.