

TIPOS MORFOLÓGICOS Y MICROCLIMA URBANO EN LA HABANA

Por Dr. Cs. **Dania González Couret ***, Arq. **Lázaro Yerandy Morales Camacho****,
Dr. C. **Natali Collado Baldoquin*****, Dr. C. **Dayra Gelabert Abreu****** y Dr. C. **Luis Alberto Rueda Guzmán*******

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba

* <https://orcid.org/0000-0002-1406-4588>

E-mail: daniagcouret@gmail.com

** <https://orcid.org/0000-0001-5752-7696>

E-mail: lyerandymc@gmail.com

*** <https://orcid.org/0000-0003-4248-9708>

E-mail: colladobaldoquin@gmail.com

**** <https://orcid.org/0000-0002-7765-7217>

E-mail: dayragelabert@gmail.com

***** <https://orcid.org/0000-0001-6549-3975>

E-mail: ruedaguz72@gmail.com

Resumen

Problemática: Las potencialidades para la adaptación del hábitat urbano al calentamiento global dependen de la morfología urbana y los elementos modificadores.

Objetivo(s): Presentar los resultados de la clasificación de los tipos morfológicos urbanos identificados en la ciudad de La Habana según las variables y parámetros que condicionan su microclima y la evaluación preliminar de su desempeño.

Metodología: La caracterización, clasificación y evaluación cualitativa se realizó a partir de una investigación teórica sobre las variables, parámetros e indicadores morfológicos que condicionan el microclima térmico urbano. La etapa empírica de la investigación fue dirigida a verificar la evaluación cualitativa, mediante el trabajo de campo y una campaña de monitoreo preliminar realizada en mayo de 2023 en seis zonas urbanas de la ciudad. En cada una de las zonas urbanas objeto de estudio también se realizaron mediciones continuas en un punto de referencia y los resultados fueron comparados con los datos registrados en la estación meteorológica de Casablanca.

Resultados y discusión: Aunque se registraron valores de las variables climáticas temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad y dirección del viento, la presente ponencia solo recoge los resultados de la discusión del comportamiento de las temperaturas.

Conclusiones: La investigación empírica realizada permitió verificar la validez de los criterios previamente asumidos para la evaluación cualitativa, así como la influencia relativa de variables como la sección de vía, y modificadores como la orientación y la vegetación.

Palabras clave: microclima urbano, tipos morfológicos urbanos, monitoreo del ambiente térmico exterior, La Habana.

MORPHOLOGICAL TYPES AND URBAN MICROCLIMATE IN HAVANA

Abstract

Problem: Potentialities for the adaptation of the urban habitat to the global warming depend on the urban morphology and the modifier elements.

Objective(s): To present the results of classifying the morphological types identified in Havana, according to variables and parameters conditioning their microclimate, as well as the preliminary assessment of their performance.

Methodology: The characterization, classification and qualitative assessment was made based on a theoretical research about morphological variables, parameters and indicators conditioning the thermal urban microclimate. The empiric step of the research was focused on verifying the qualitative assessment, by a field work and a preliminary monitoring campaign carried out in May, 2023, in six urban ones of the city. Continue measurements were also developed in each study case, as a reference point, and the results were compared to the data registered at the meteorological station.

Results and discussion: Although values of the climatic variables air temperature, relative humidity, radiant temperature, wind speed and direction were recorded, this paper only presents the results the discussion of the temperatures behaviour.

Conclusions: The empirical research carried out allowed us to verify the validity of the criteria previously assumed for the qualitative evaluation, as well as the relative influence of variables such as aspect ratio, and modifiers such as orientation and vegetation.

Keywords: Urban microclimate, Urban morphological types, Outdoor environment monitoring, Havana.

1. Introducción

Los estudios de microclima urbano comenzaron a escala internacional en la década de los años ochenta del pasado siglo, a partir del reconocido fracaso del modelo de urbanización abierta promovido por el movimiento moderno (Alfonso *et al.*, 2009). No obstante, lo complejo del tema no permite aún llegar a conclusiones definitivas en cuanto a la influencia de los parámetros morfológicos en el ambiente térmico, sobre todo en regiones menos desarrolladas con clima cálido-húmedo como el de Cuba. El calentamiento global obliga a acelerar las investigaciones sobre el tema en aras de buscar formas de adaptación en las ciudades, según el clima, los tipos morfológicos y las condiciones socioeconómicas.

En la presente ponencia se exponen los resultados de la identificación, caracterización y evaluación de tipos morfológicos urbanos en La Habana según su influencia en el ambiente exterior, sobre la base de las variables, parámetros e indicadores propuestos en el marco teórico de la investigación (González Couret *et al.*, 2023). A partir de la evaluación cualitativa preliminar de los tipos urbanos identificados, se han seleccionado casos de estudio cuyo microclima térmico ha sido monitoreado con vistas a verificar la validez de la evaluación cualitativa inicial. En el trabajo se discuten los resultados preliminares de esa etapa inicial de la investigación experimental exploratoria. Aunque se registraron valores de las variables climáticas temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad y dirección del viento, la presente ponencia solo recoge los resultados de la discusión del comportamiento de las temperaturas.

2. Materiales y métodos

En la primera etapa de la investigación se había definido el modelo teórico- metodológico que serviría de base para la caracterización, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos en las siguientes etapas (González Couret *et al.*, 2023), a partir del cual se elaboró una Guía de Observación que tiene en cuenta los parámetros clave de la geometría de las vías y la masa edificada, y de forma independiente los considerados como modificadores de su comportamiento (González Couret *et al.*, 2016).

Para identificar y clasificar los tipos morfológicos se tuvieron en cuenta los criterios teórico-metodológicos elaborados, así como resultados de investigaciones precedentes sobre morfologías urbanas en la ciudad de La Habana (DPPF - CH, 2007 y 2009; González Couret, 2011, Fernández Figueroa, 2015; Gelabert Abreu; 2014; Sánchez Martínez, 2015) y otras, como la utilizada por Castro Conrado *et al.* (2014) para Sagua la Grande, en cuya clasificación de las Zonas Tipológico Formales (ZTP) se hace mucho énfasis en la tipología arquitectónica.

La observación preliminar de las diferentes morfologías urbanas presentes en La Habana mediante imágenes satelitales, planos y trabajo de campo permitió definir los parámetros clave para la identificación, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos desde el punto de vista de su influencia en la isla de calor. Una vez identificados estos parámetros clave y los rangos de indicadores para caracterizarlos sobre la base de las investigaciones teóricas y la observación empírica, se elaboró un código que permitiera identificar cada tipo y clasificarlo según sus características esenciales, que quedaron plasmadas en fichas que contienen el tipo genérico y su manifestación concreta en la ciudad, en sus diferentes variantes específicas según los valores asumidos por los parámetros considerados modificadores del efecto de la geometría. Cada uno fue localizado en el plano de la ciudad.

El paso siguiente consistió en la evaluación cualitativa preliminar de cada uno. Para ello se partió de la información bibliográfica recopilada sobre los parámetros identificados y los criterios valorativos emitidos en las fuentes consultadas sobre su influencia en el microclima térmico urbano, lo cual se adecuó a las decisiones anteriormente expuestas sobre los parámetros clave a considerar y los rangos de valores acordados para su caracterización.

Con vistas a precisar la forma de realizar el monitoreo del microclima urbano en los tipos morfológicos identificados, se revisaron publicaciones de investigaciones realizadas sobre el tema desde el año 2000 en América Latina y España, buscando condiciones tecnológicas y de recursos similares a las actuales en la presente investigación. Se indagó sobre las diferentes formas de hacer el monitoreo a escala urbana, los equipos a emplear y sus características, las condiciones requeridas para

el registro de los datos, los períodos de medición y cualquier otra información de interés para esta investigación.

Los *data loggers* empleados tienen una precisión de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ entre 0 y 70°C con una resolución de 0.04°C para la temperatura, y $\pm 2.5\%$ entre 10 % y 90 % para la humedad relativa, con un máximo de $\pm 3.5\%$, y $\pm 5\%$ con valores superiores al 90 %. El termómetro de globo registra temperaturas entre -30°C y $+75^{\circ}\text{C}$. El anemómetro registra velocidades de viento entre 0 y 76 m/s con direcciones entre 0 y 355 grados, con una precisión de ± 1.1 m/s, y una resolución 0.5 m/s y 1 grado. Aunque los fabricantes validan la calibración profesional de todos los sensores adquiridos, esto fue verificado mediante la comparación de las mediciones registradas por los sensores durante una semana en las mismas condiciones.

De acuerdo con la disponibilidad de recursos materiales (sensores) y humanos (estudiantes vinculados), se seleccionaron seis casos de estudio dentro de los tipos morfológicos identificados en la ciudad para una campaña preliminar de monitoreo como prueba piloto exploratoria, que permitiera tener una primera idea de los resultados y ajustar detalles. En cada uno de ellos se identificó un sitio que en un diagnóstico integral preliminar ofreciera potencialidades de transformación con vistas a proponer acciones encaminadas a contrarrestar el efecto del calentamiento global, lo cual se realizaría en etapas posteriores de la investigación. Siguiendo los criterios establecidos se diseñaron los recorridos a realizar en cada sitio. La definición de los puntos a monitorear en el recorrido responde a la intención de comparar la influencia de las diferentes variables y parámetros objeto de estudio.

El monitoreo se realizó de forma simultánea en los seis sitios durante los días 3, 9, 16 y 23 de mayo de 2023, en los horarios de 9.00 – 11.00, 12.00 – 14.00 y 18.00 – 20.00. Los registros se tomaron en la vía, a más de 2 m de distancia de las edificaciones, con los sensores protegidos de la radiación solar directa. En esta ocasión los puntos de referencia que se

mantuvieron fijos de forma permanente durante todo el período, no siempre pudieron ubicarse en cabinas protectoras y bajo la sombra de árboles, por razones de seguridad. En ocasiones se localizaron en balcones o terrazas de edificaciones existentes. Todos los datos, tanto los registros de los sensores como la caracterización del lugar como resultado de la observación directa quedaron reflejados en una planilla de observación.

3. Resultados

Tipos morfológicos. Clasificación.

Las clasificaciones precedentes desarrolladas en Cuba no se ajustaban exactamente a los objetivos de la presente investigación. Por tanto, finalmente se definieron como parámetros clave para la identificación, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos desde el punto de vista de su influencia en la isla de calor urbana: la compacidad, la altura media de las edificaciones, la diferencia de alturas, la distancia entre fachadas, la presencia o no de jardín, la dimensión del lado menor de las manzanas, el coeficiente de ocupación del suelo y la tipología arquitectónica.

Los parámetros anteriores se ajustan a las zonas urbanas tradicionales consolidadas, con estructura en manzanas lotificadas, pero para las urbanizaciones abiertas compuestas por proyectos de edificios repetitivos ubicados en diferentes posiciones fue necesario realizar algunas adecuaciones. La altura de las edificaciones (H) y su variación (ΔH) continuó siendo un parámetro clave a considerar, así como el coeficiente de ocupación del suelo (COS) y la distancia entre fachadas, aun cuando en este caso no se refería a edificios a ambos lados de una vía, sino enfrentados en cualquier condición. Sin embargo, parámetros como la dimensión de manzana, la presencia o no de jardín o la tipología arquitectónica no se ajustaban a este tipo morfológico urbano, por lo que se hicieron ajustes.

Se identificaron 27 tipos morfológicos en La Habana (Figura 1). Estos incluyen 25 tipos lotificados, uno de urbani-

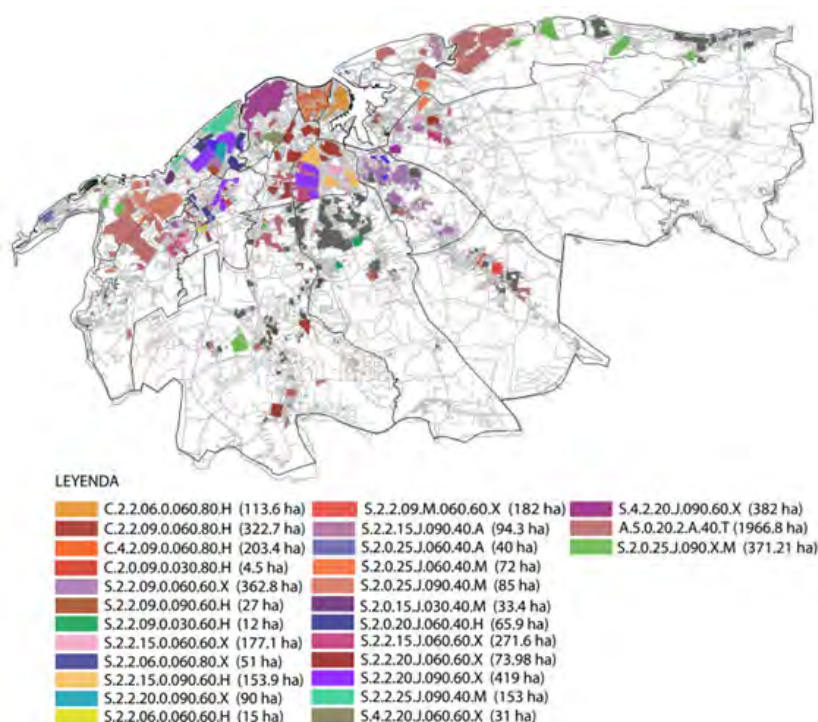


Fig. 1. Tipos morfológicos identificados en La Habana. Fuente: Elaboración propia.

zación abierta correspondiente a los desarrollos periféricos a partir de los años 60's siguiendo el modelo urbano moderno, que tiene sus propias reglas de clasificación y caracterización, y otro (S.2.o.25.J.09o.X.M) correspondiente a urbanizaciones en formación o no consolidadas, cuyo proceso se detuvo en 1959. En algunos casos quedaron abandonadas, y en otros fueron completadas con viviendas autoconstruidas o con edificios típicos en forma de bloques prismáticos. Por lo general, están conformadas a partir de grandes manzanas alargadas con trazados curvos.

Evaluación cualitativa

Los criterios de evaluación asumidos en esta etapa constituyen hipótesis sobre el comportamiento potencial probable esperado de una determinada condición con respecto a su influencia en el ambiente térmico urbano, cuestión a verificar posteriormente mediante el monitoreo y la simulación automatizada. Como se trata de una evaluación cualitativa, para facilitar la visualización de los resultados en un lenguaje gráfico, se estableció una escala de tres valores identificados con colores (Figura 2).

- Favorable – Indica que se está asumiendo que esas características o condiciones favorezcan una reducción de la temperatura exterior, por tanto, un ambiente térmico menos caluroso. Se identifica con el color azul, clasificado como frío.
- Desfavorable – Indica que se está asumiendo que esas características o condiciones favorezcan un aumento de la temperatura exterior, por tanto, un ambiente térmico más caluroso. Se identifica con el color amarillo, de la gama de los cálidos.
- Aceptable – Indica una condición intermedia entre las dos anteriores, es decir, condiciones que no necesariamente deben influir en un aumento o reducción de la temperatura exterior y se identifica con el color verde.

Monitoreo

Para los estudios de microclima urbano suelen hacerse recorridos, en vehículos (Schiller *et al.*, 2001; Gómez Concepción *et al.*, 2021) o peatonales a través de los cuales se registran los datos de las variables meteorológicas. También pueden establecerse puntos en mallas separados entre 250 y 500 m (Álvarez López, 2004; Castro *et al.*, 2015), o se emplean otras tecnologías con el uso de imágenes satelitales (Smith Guerra *et al.*, 2016; Chiarito *et al.*, 2015) o drones (Roco Castillo, 2022).

Es común realizar estos trabajos de monitoreo no solo para evaluar la influencia de la morfología urbana en el microclima, sino también la sensación térmica perseguida por los peatones (Urrutia del Campo *et al.*, 2020; Zapata Padilla *et al.*, 2017) o las condiciones del equipamiento urbano (Molar-Orozco, 2015; Martínez Osorio *et al.*, 2016). Las investigaciones incluyen la información cuantitativa y cualitativa (Castillo Valdivia, 2020; Guzmán Bravo *et al.*, 2014), y pueden combinarse con procesos de cálculo (Cordero Ordóñez, 2014) y simulación (Villanueva-Solis *et al.*, 2013).

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se establecieron los criterios para el monitoreo del microclima urbano en los tipos morfológicos seleccionados como objeto de estudio: hacer las mediciones sobre la base de recorridos previamente diseñados, de aproximadamente 1 km de longitud durante el cual se realizarán paradas en 10 puntos seleccionados para realizar mediciones durante 10 min (Figura 3). De esta forma, cada recorrido duraría aproximadamente 2 h caminando, en un área cercana a las 16 ha. Estos se realizarían de forma simultánea, haciendo coincidir los momentos de medición con los valores tri-horarios registrados en la estación meteorológica de Casablanca (7:00 a.m., 10:00 a.m., 1:00 p.m., 4:00 p.m., 7:00 p.m., 10:00 p.m., 1:00 a.m. y 4:00 a.m.), y se mantendría un punto de referencia con medición permanente en cada zona. Toda la información recopilada se insertó a una planilla de registro previamente diseñada y se procesó en Excel.



Fig. 2. Código para la identificación de los tipos morfológicos y criterios de evaluación cualitativa. Fuente: Elaboración propia.

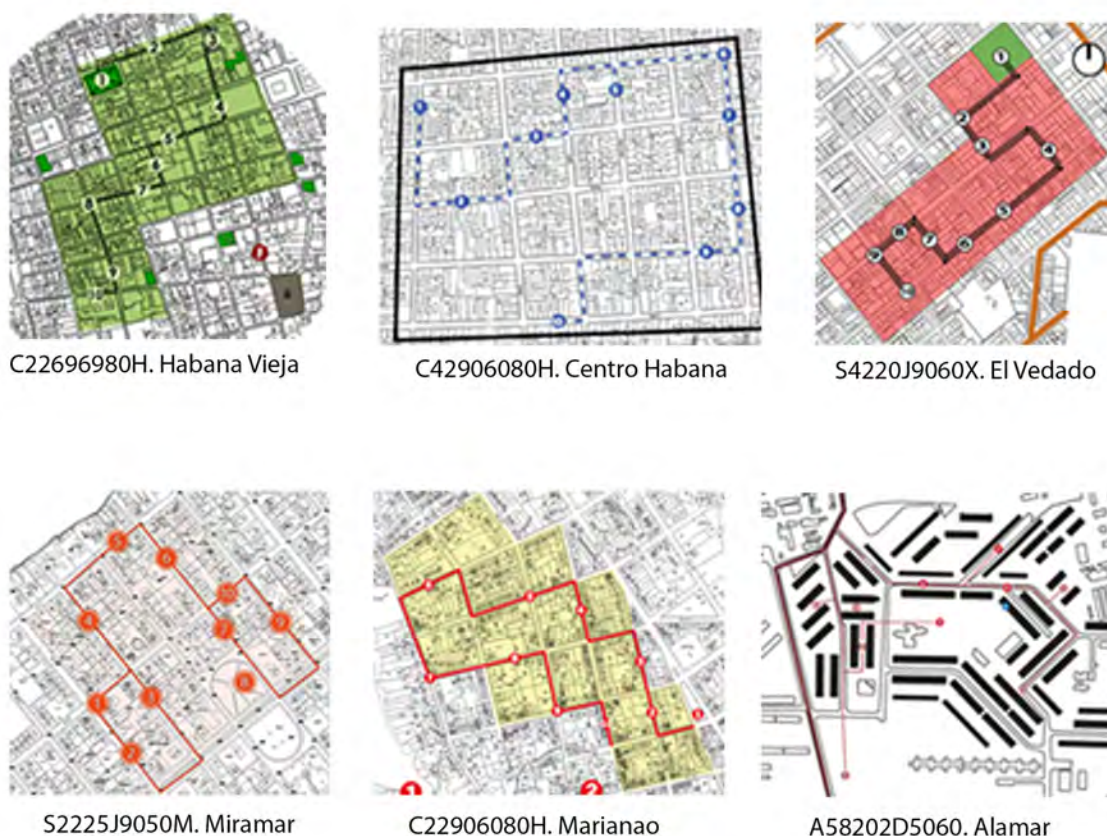


Fig. 3. Recorridos establecidos para el monitoreo en los sitios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

Tipos morfológicos

El promedio de altura de los edificios en la ciudad es muy bajo, de apenas dos plantas, con una oscilación de dos pisos. Sin embargo, el tipo que ocupa la mayor área urbana (casi 2 000 ha) es el de la urbanización abierta periférica conformada por conjuntos de edificios típicos de 4 o 5 plantas, con muy baja ocupación del suelo.

En la ciudad tradicional lotificada predomina la morfología semi-compacta, en la cual los edificios se encuentran separados por pasillos laterales o perimetrales. Particularmente, el tipo que más abunda (419 ha) presenta anchos de vía entre fachada de 20 m, incluyendo espacio de jardín, manzanas con un lado menor de aproximadamente 90 m, un coeficiente medio de ocupación del suelo de cercano a 0.60, y tipología arquitectónica mixta como consecuencia del desarrollo en el tiempo (S.2.2.20.J.090.60.X).

Le sigue en orden de importancia, por el área que ocupa (382 ha), un modelo muy similar según ancho de vía, dimensiones de manzana y ocupación del suelo (S.2.2.20.J.090.60.X), pero que varía en cuanto a la altura promedio de los edificios, que se ha estimado en 4 pisos. Su principal manifestación es El Vedado, donde cobró auge la inserción de edificios de apartamento durante la década de los años cincuenta del siglo XX.

El tercer lugar, por su extensión en la ciudad (363 ha), corresponde a otro tipo morfológico semicompacto

(S.2.2.09.0.060.60.X) con un coeficiente medio de ocupación del suelo (0.60), pero con un ancho de vía de aproximadamente 9 m, que no presenta jardín, y manzanas de menores dimensiones (aproximadamente 60 m). En el siguiente tipo semicompacto, que ocupa 272 ha (S.2.2.15.J.060.60.X) aparece nuevamente el jardín, con anchos de vía de 15 m, pero se mantienen las manzanas de 60 m de lado, el COS de 0.60 y la tipología arquitectónica mixta.

Las zonas urbanas compactas con presencia de medianería, ausencia de jardín y elevado COS (aproximadamente 0.80) ocupan un total de 644 ha en la ciudad. En ellas predomina un tipo (C.2.2.09.060.80.H) con ancho de vía de 9 m y dos pisos promedio de altura (323 ha), seguido por las 203 ha que ocupa Centro Habana (C.4.2.09.0.060.80.H), que se diferencia por una mayor altura promedio de los edificios (estimada en 4 pisos), y las 114 ha correspondientes a La Habana Vieja, con calles más estrechas, de aproximadamente 6 m.

Microclima urbano

Resulta difícil una comparación general del desempeño de los diferentes tipos morfológicos monitoreados. Los valores mínimos registrados resultan bastante similares, con una diferencia de 1.6 °C. El valor mínimo se presenta en la urbanización abierta de Alamar, seguido por el tipo compacto Habana Vieja. Sin embargo, la diferencia entre las temperaturas máximas medidas asciende a 5.0 °C, encontrándose el mayor valor en El Vedado y el menor en La Habana Vieja. El promedio de temperaturas tampoco

difiere tanto entre los tipos estudiados (2.1 °C), siendo el inferior de 29.24 °C, también en La Habana Vieja, y el más alto (35 °C) en El Vedado. La moda, que es el valor más frecuente en cada tipo, es mínima en Alamar con 27.88 °C y máxima en El Vedado, con 31.31 °C.

Según estos resultados preliminares, todo parece indicar que La Habana Vieja, como urbanización compacta, no es tan calurosa como se esperaba, ni El Vedado, como modelo de ciudad jardín, es tan fresco como se pensaba. Por otro lado, Alamar, como urbanización abierta que recibe mayor cantidad de radiación solar, tampoco es tan cálida como podría suponerse. No obstante, estos resultados no pueden ser considerados como definitivos, sino preliminares y exploratorios.

Un análisis comparativo del microclima en los tipos morfológicos estudiados fue realizado a partir de los datos registraos en los puntos fijos de referencia, considerando la ubicación condicionada por la disponibilidad de un lugar seguro con habitantes de la zona dispuestos a colaborar protegiendo los sensores instalados, por lo que no fue posible contar con posiciones siempre protegidas del sol o de la radiación emitida por las propias edificaciones. Es por ello que fue necesario excluir los datos de Miramar, cuyo sensor de referencia quedó ubicado bajo una cubierta metálica cuya emisión radiante distorsiona los resultados. En la Figura 4 se muestran los valores de la temperatura monitoreada en los puntos de referencia con respecto a los valores tri-horarios registrados en la estación meteorológica de Casablanca.

La temperatura del aire en todas las zonas urbanas monitoreadas generalmente supera en más de 2 °C los valores de la estación meteorológica, excepto en el horario de la mañana, en que puede, incluso, llegar a ser ligeramente inferior, ya que la masa construida se ha enfriado durante la noche y la madrugada, desprendiendo el calor acumulado el día anterior.

Las temperaturas diurnas más altas se presentan en La Habana Vieja y Marianao, ambas zonas compactas con una altura promedio de los edificios de dos pisos. Sin embargo, en estos tipos urbanos se producen también temperaturas más bajas en el horario de la madrugada, lo cual indica, que, al contrario de lo esperado, el calor absorbido durante el día se libera con relativa rapidez.

Las temperaturas diurnas más bajas se registran en El Vedado, como era de esperar, debido a la abundante

sombra proporcionada por la vegetación, aunque durante la madrugada son casi iguales o ligeramente mayores que en La Habana Vieja y Marianao, lo cual puede ser resultado del calor emitido por la masa térmica del portal, orientado al noroeste, teniendo en cuenta que las mediciones se han realizado en el mes de mayo.

Las temperaturas exteriores en Centro Habana, más altas que en El Vedado durante el día, son las más elevadas que se presentan en la madrugada en todos los tipos morfológicos estudiados, con valores nocturnos que pueden llegar a ser de 28 °C o más, afectando el bienestar térmico de las personas durante el horario del descanso y el sueño, a la vez que contribuyen al aumento del consumo energético cuando se use climatización artificial. Al igual que La Habana Vieja y Marianao, Centro Habana presenta una morfología urbana compacta, pero la diferencia fundamental estriba en la mayor altura de las edificaciones (promedio de cuatro pisos). No obstante, el hecho de que las temperaturas diurnas no sean las más elevadas, pero sí las nocturnas, puede estar condicionado por la orientación Oeste del sitio donde se localiza el sensor de referencia, que recibe radiación solar directa durante la tarde.

De los cinco tipos morfológicos lotificados monitoreados, los tres compactos (Habana Vieja, Centro Habana y Marianao) habían sido evaluados integralmente como aceptables, aunque el efecto de los modificadores se había considerado negativo en Centro Habana, ya que a la ausencia de vegetación se sumaba la orientación casi coincidiendo con los ejes cardinales. A su vez, los dos tipos semi-compactos (El Vedado y Miramar) se consideraron satisfactorios, tanto en su morfología como en la influencia de los modificadores, pues a la presencia de vegetación se adiciona la orientación a 45 grados con respecto al norte.

En El Vedado se presentan las más bajas temperaturas diurnas, por lo cual su desempeño puede considerarse, de acuerdo con lo previsto en la evaluación cualitativa, como mejor que el de los tipos compactos carentes de vegetación. Por otro lado, la orientación más desfavorable de Centro Habana con respecto a los otros tipos compactos (La Habana Vieja y Marianao), puede ayudar a explicar las más elevadas temperaturas durante la noche y la madrugada como consecuencia de asoleamiento debido a la orientación de la trama urbana. Por tanto, es posible afirmar que hasta el momento

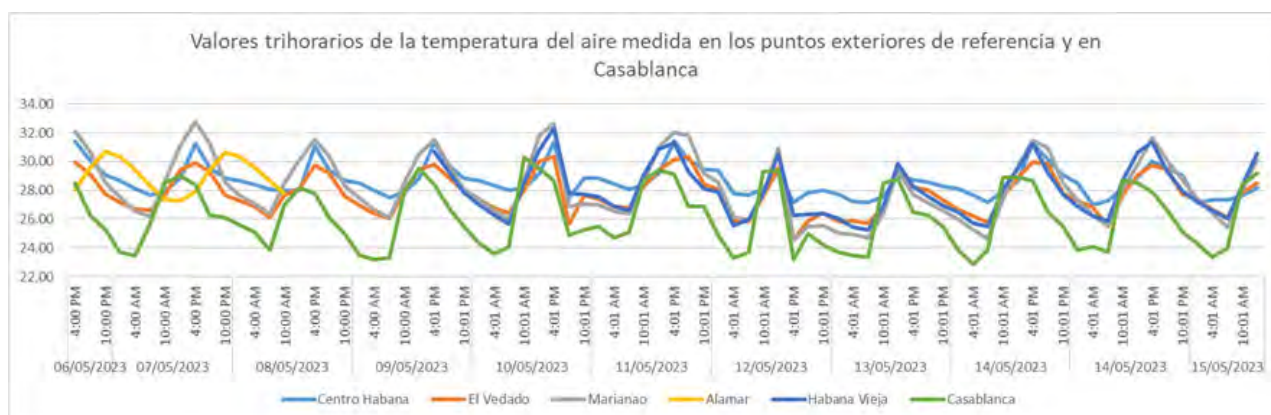


Fig. 4. Valores tri-horarios de la temperatura en los puntos de referencia y en la estación meteorológica de Casablanca.

los resultados del monitoreo confirman los criterios asumidos para la evaluación cualitativa precedente.

Una comparación particular podría hacerse entre La Habana Vieja y Marianao, que presentan una orientación similar (aproximadamente a 23 grados con respecto al norte) y también ambos tienen un COS, elevado, por tratarse de zonas urbanas compactas. Por tanto, es posible aprovechar todas estas similitudes, incluso en cuanto a la altura de las edificaciones a pesar de su diferencia tipológica, para evaluar la influencia del ancho de la vía en las temperaturas exteriores, pues las calles de Marianao (9 m) son más anchas que las de La Habana Vieja (6 m).

En el gráfico de la Figura 5, que recoge los datos de temperatura del aire registrados simultáneamente en los 10 puntos monitoreados en cada uno de los dos tipos morfológicos, puede apreciarse que los valores de las temperaturas medidas en La Habana Vieja (que aparecen en línea discontinua), son, de manera general, inferiores a los de Marianao, donde las vías son más anchas y, por tanto, más asoleadas.

El Vedado y Miramar también presentan la misma orientación de la trama vial, a 45 grados con los ejes N-S y E-O, pero Miramar tiene un ancho de vía de 25 m, mayor que el de El Vedado (20m) y también un coeficiente de ocupación del suelo de 0.40, menor que éste (0.60). En la Figura 6 se observa que, de manera general, los valores registrados en El Vedado son superiores, fundamentalmente, en horas del mediodía, lo cual puede estar determinado por una mayor presencia de vegetación en Miramar, a pesar de que las vías son más anchas, pero también el coeficiente de ocupación del suelo es menor.

Para evaluar la influencia en el microclima de los diferentes parámetros que caracterizan la morfología se tuvieron en cuenta los resultados de las mediciones realizadas en cada uno de los puntos de los tipos morfológicos estudiados, el momento en que estas se hicieron, las condiciones del tiempo y el uso, así como las características del lugar observadas, y las variables y parámetros objeto de estudio. Se realizaron análisis comparativos en puntos con condiciones

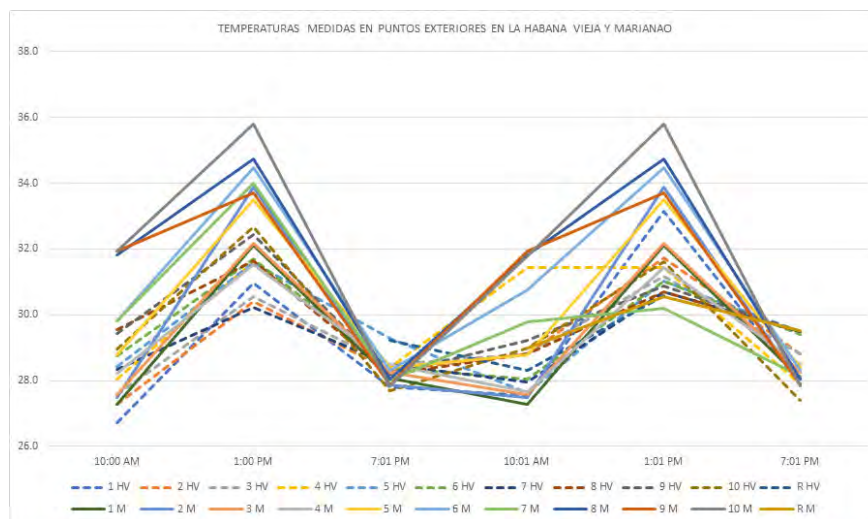


Fig. 5. Temperaturas del aire registradas en La Habana Vieja y en Marianao.

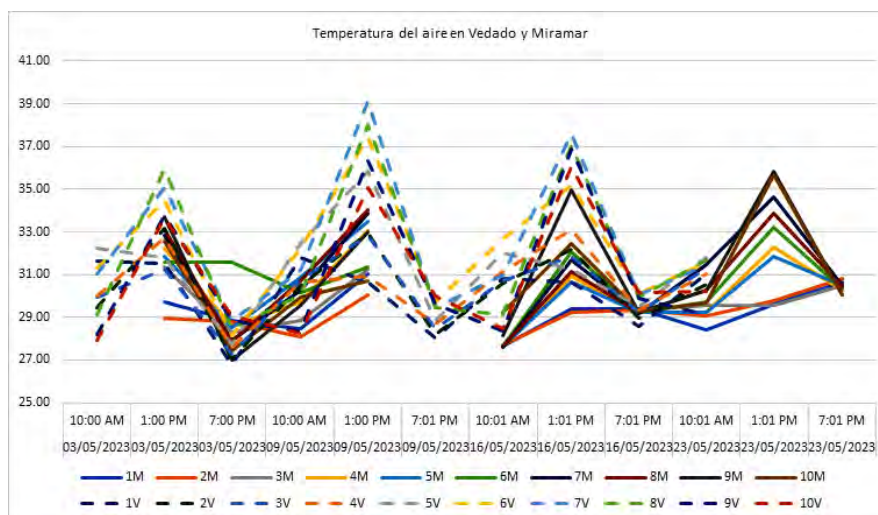


Fig. 6. Temperaturas del aire registradas en El Vedado y Miramar.

similares y diferencias esenciales con vistas a verificar la posible influencia de los diversos parámetros morfológicos en la temperatura exterior.

En La Habana Vieja, los valores de la temperatura del aire (T_a) medidos en los puntos 5 y 6, con diferente orientación son muy similares, e incluso, en el punto fijo tomado como referencia exterior (Figura 7). Ambos parámetros alcanzan valores máximos en el horario del mediodía. Lo mismo sucede la temperatura del aire en los puntos 9 y 10, también con diferente orientación (Figura 8), lo cual pudiera indicar que la orientación no influye de manera determinante en la temperatura del aire exterior en un contexto urbano como La Habana Vieja, donde como consecuencia de la sección de vía (ancho de la calle y altura de los edificios) el ángulo de visión del cielo es reducido.

Aunque la ausencia de vegetación es generalizada en las zonas urbanas compactas como La Habana Vieja, se realizaron mediciones en la Plaza de la Catedral, con ausencia total de vegetación y en un parque con una cobertura de árboles y césped de aproximadamente el 50 %.

En el gráfico de la Figura 9 es posible notar que, aunque al mediodía, cuando el sol incide de forma más perpendicular, la temperatura del aire (T_a) es ligeramente superior en la plaza arbolada, ésta se mantiene más alta durante la noche en la Plaza de la Catedral, como consecuencia del calor absorbido y emitido por la masa construida no protegida del sol.

En los puntos 1 y 4 de Centro Habana, con la misma orientación y altura de los edificios, pero diferente ancho de vía (6 m, y 9 m, respectivamente) (Figura 10), la temperatura es más alta que en el punto de referencia, pero es aún mayor en la vía más ancha y, por tanto, con mayor incidencia de la radiación solar.

Aunque Centro Habana, como morfología urbana compacta, por lo general carece de vegetación, se comparó la temperatura del aire en dos calles de igual orientación y sección, en una de las cuales los vecinos han incorporado plantas en los balcones (P3 y P2, respectivamente). Es posible comprobar que la temperatura permanece más baja en la calle con presencia de vegetación (Figura 11).

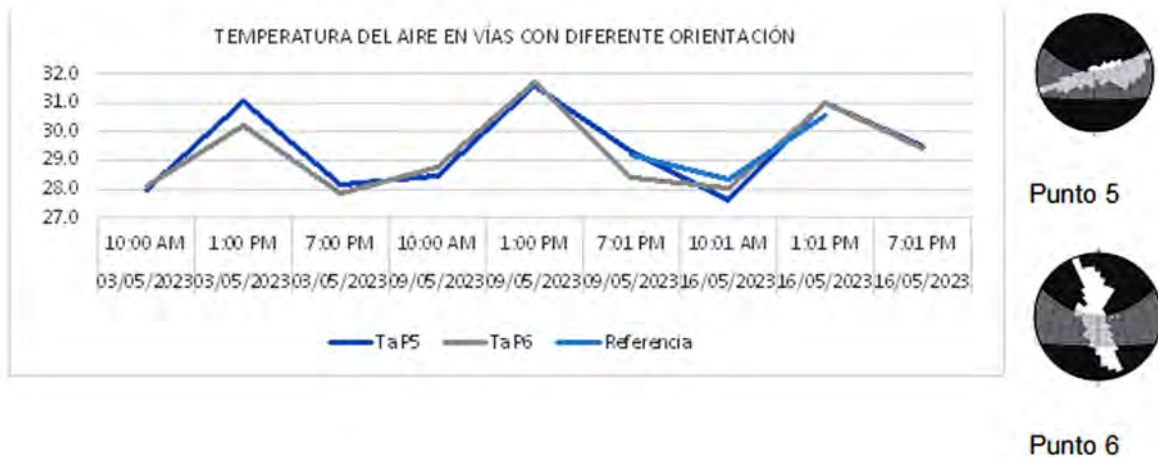


Fig. 7. Temperatura del aire medida en los puntos 5 y 6 ubicados en vías con diferente orientación, y en la referencia externa. Habana Vieja.



Fig. 8. Temperatura del aire medida en los puntos 9 y 10 ubicados en vías con diferente orientación, y en la referencia externa. Habana Vieja.

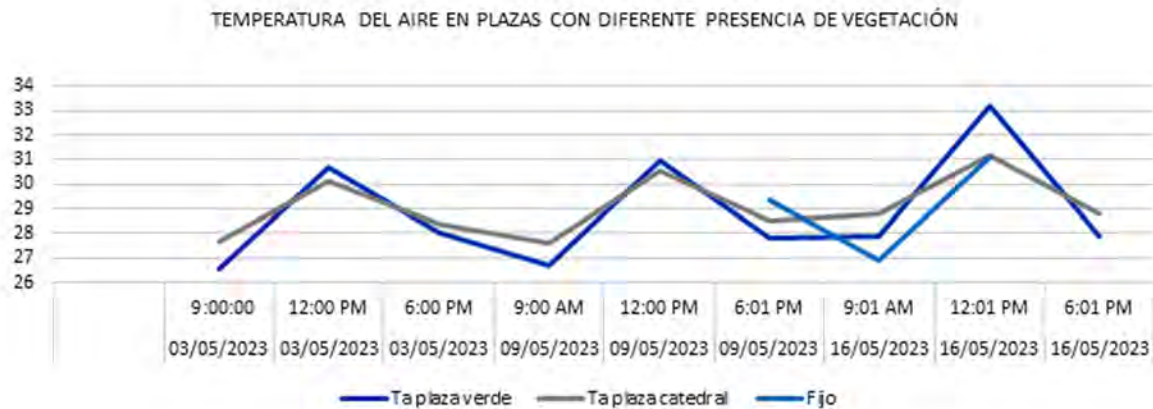


Fig. 9. Temperatura del aire en plazas con y sin presencia de vegetación. Habana Vieja.

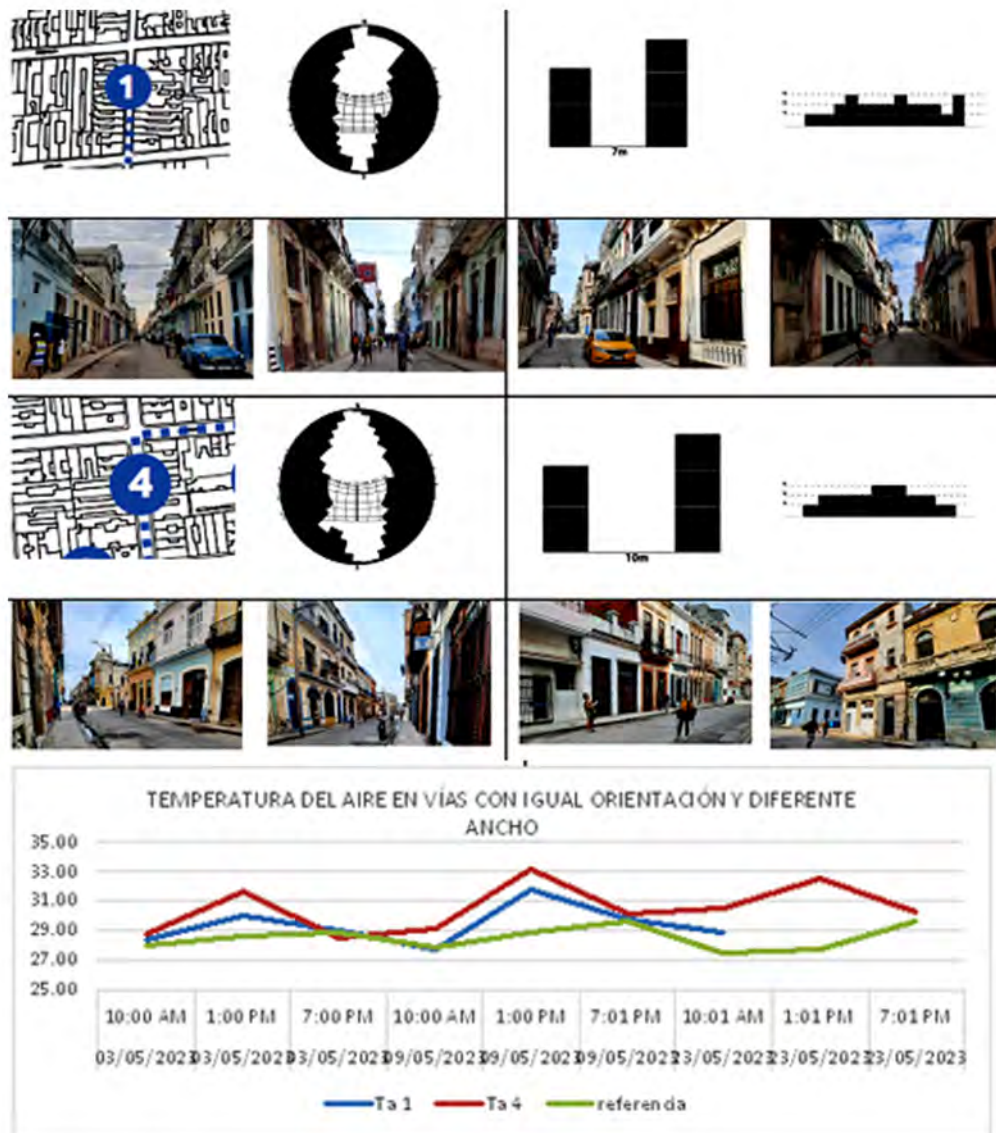


Fig. 10. Temperatura del aire en vías con la misma orientación y diferente ancho. Centro Habana.

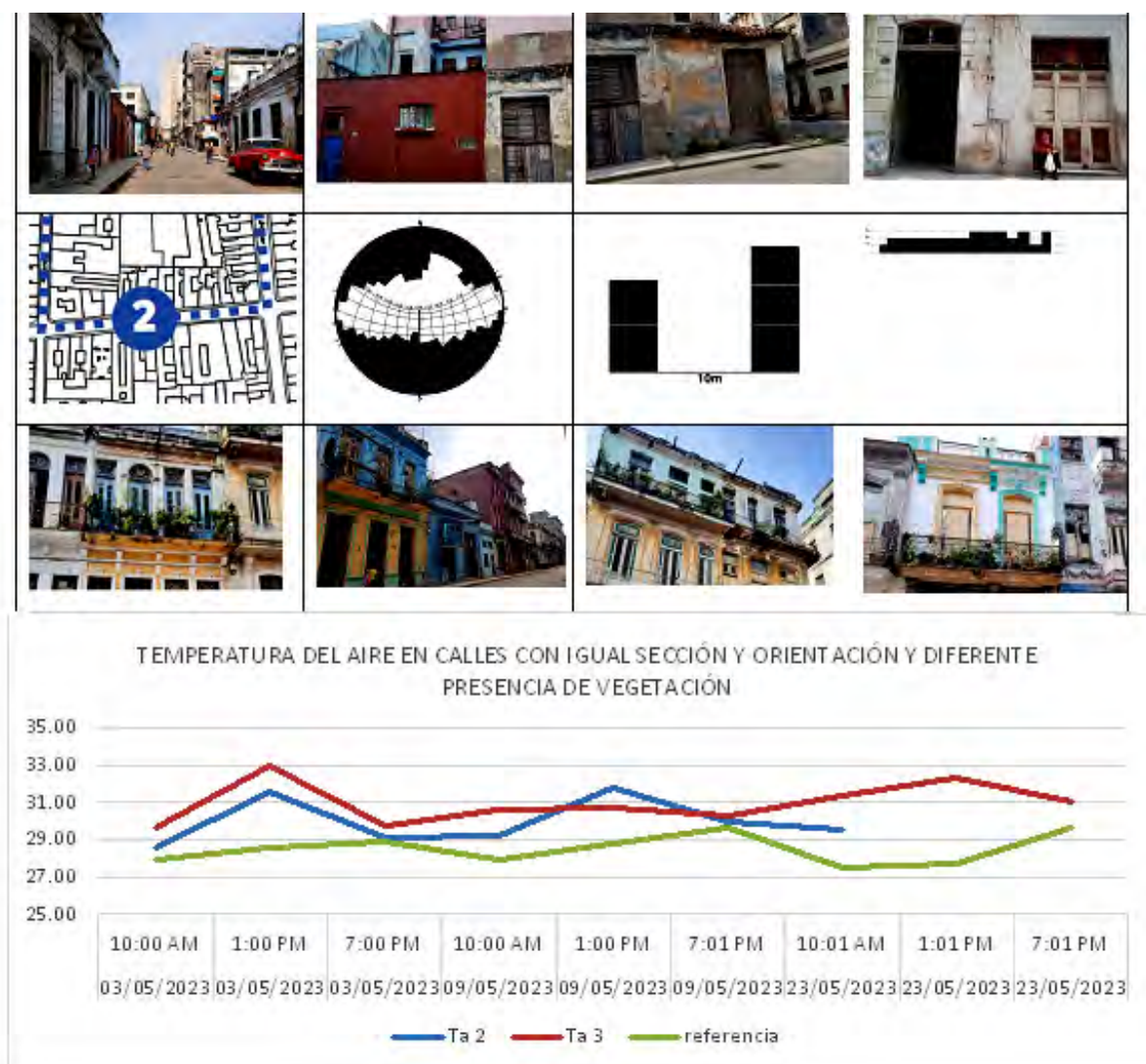


Fig. 11. Temperatura del aire en vías con igual sección y orientación, pero diferente presencia de vegetación (P3 y P9). Centro Habana.

En Marianao, las temperaturas más bajas en todo momento ocurren en el espacio verde con árboles que arrojan sombra, le siguen las vías con orientación cercana al eje Norte-Sur (O₁), que reciben la radiación solar, fundamentalmente en el horario del mediodía, y los mayores valores de temperatura se registran en las vías con orientación cercana al eje Este-Oeste (O₂), que son las que más radiación solar reciben durante el día (Figura 12).

Las mayores temperaturas en El Vedado, superiores a los 37 °C al mediodía se presentan en los puntos 6, 7 y 8, con menor presencia de vegetación (Figura 13). Al mediodía la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima registradas puede alcanzar hasta 9 °C. En el Punto 1, ubicado en un parque arbolado se producen las temperaturas más bajas, lo cual permite confirmar el efecto positivo de la vegetación. Los mayores valores de temperatura se alcanzan en los Puntos

8 y 9, ubicados en vías que carecen de parterre o de árboles en él, como el Punto 7.

Para comprobar la influencia del ancho de la vía en la temperatura del aire exterior, se escogieron los puntos 6 y 8, ubicados en vías con igual orientación y cobertura verde, solo que el punto 8 está en la calle 17, de mayor ancho. Como se observa en la Figura 14, en la calle más ancha la temperatura alcanza valores mayores, con una diferencia de hasta 3 °C. También se compararon las temperaturas del aire en los puntos 6 y 7, con similar sección de vía y cobertura verde (solo cobertura en parterre y jardín, pero ausencia de arbolado), ubicados en vías con orientación perpendicular una con respecto a la otra (Figura 15). La temperatura al mediodía es superior en la vía con orientación en el eje NO-SE (Hasta 2 °C y más), pero suele ser inferior en la mañana e igual en la noche.

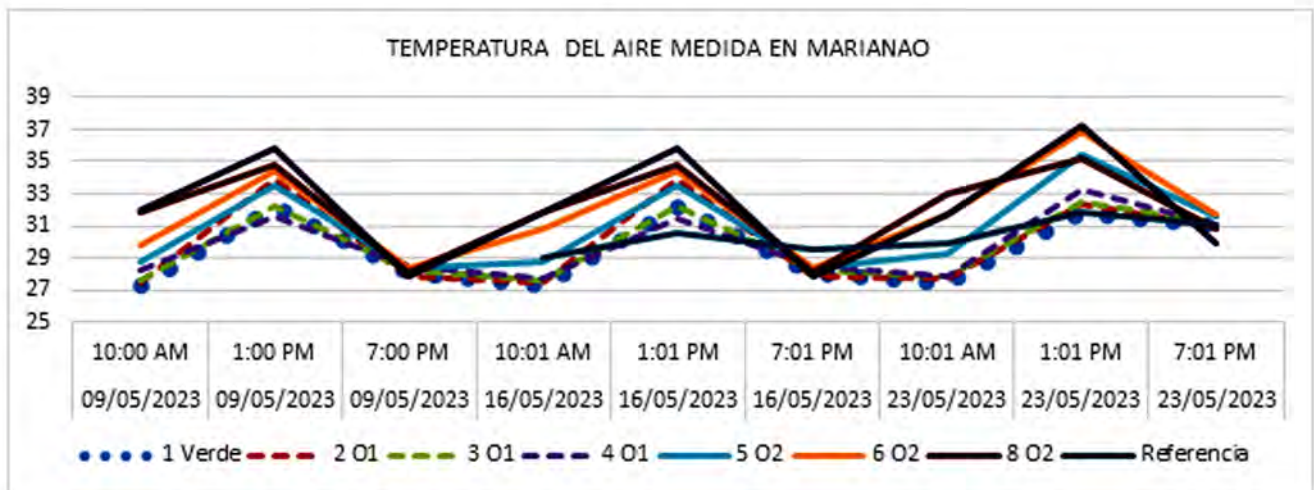


Fig. 12. Temperatura del aire en vías diferente orientación (O1 y O2) y presencia de vegetación (Verde). Marianao.

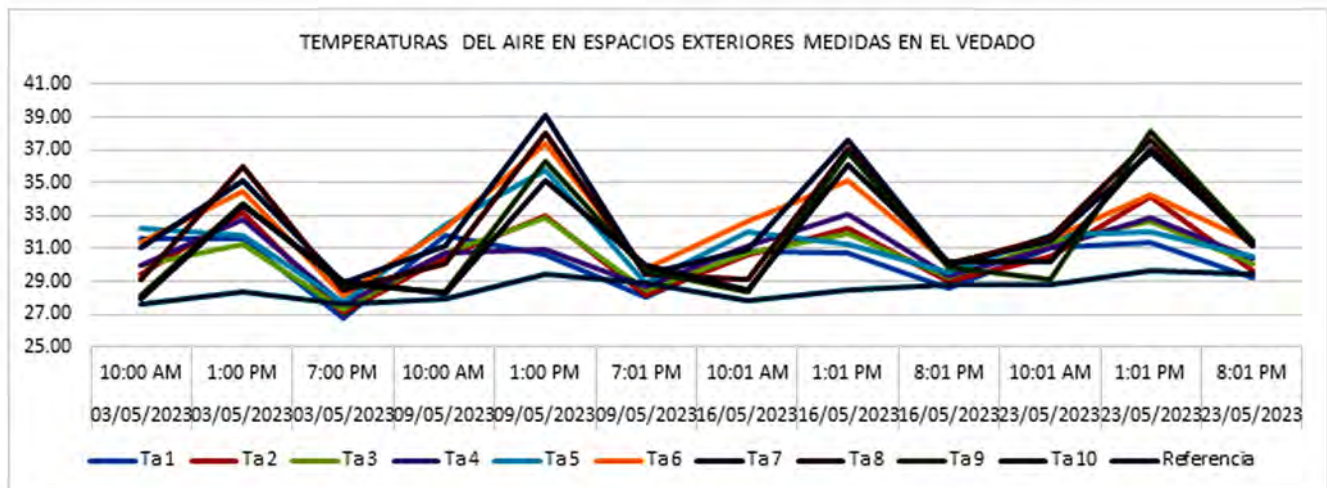


Fig. 13. Temperatura del aire en los 10 puntos monitoreados en El Vedado.

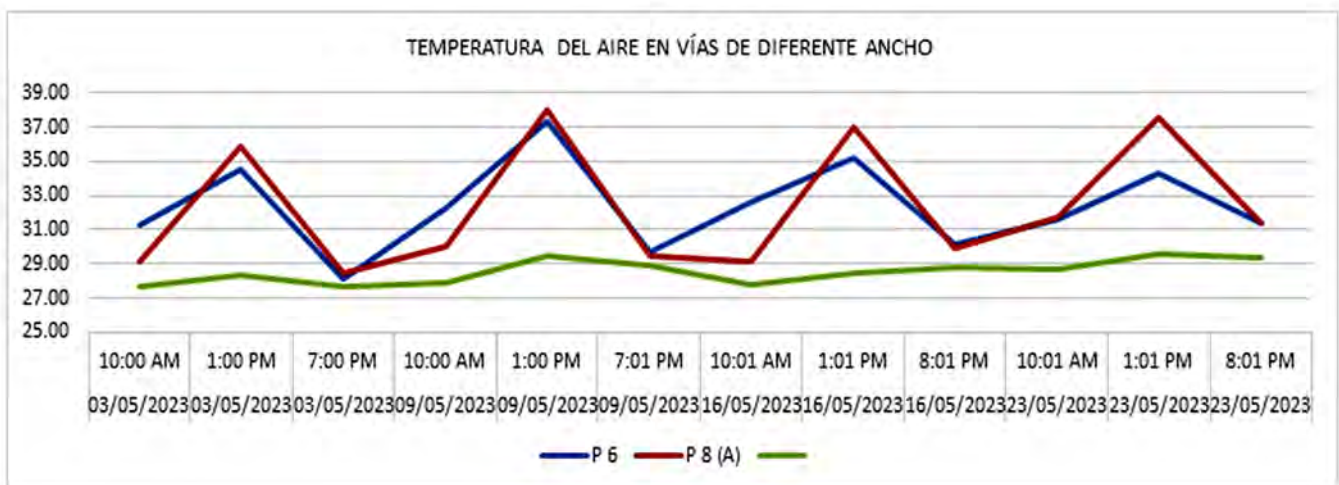


Fig. 14. Temperatura del aire en vías con la misma orientación y similar cobertura verde, pero diferente ancho. El Vedado.

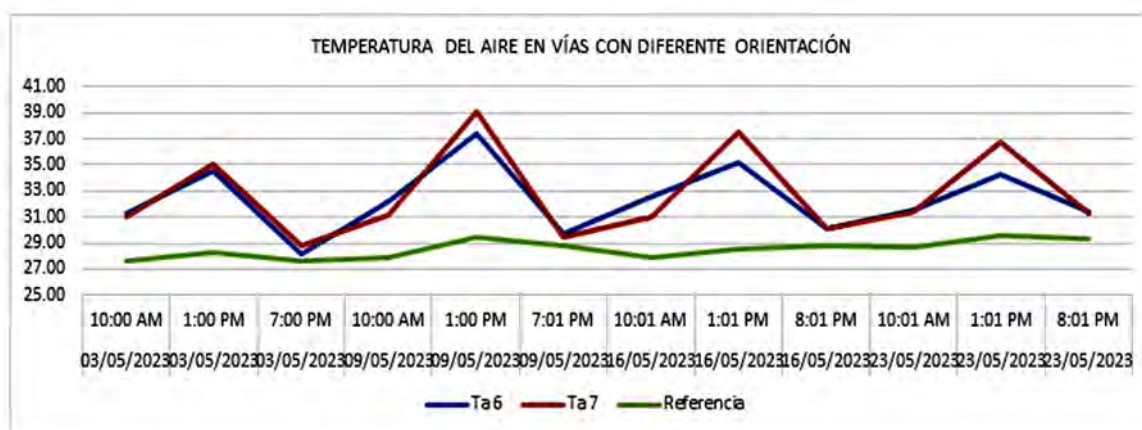


Fig. 15. Temperatura del aire en vías con similar cobertura verde y diferente orientación. El Vedado.

Como era de esperar, las temperaturas más elevadas en Alamar corresponden a la plaza, como espacio abierto, sin vegetación y muy expuesto a la radiación solar, y las menores se registran en el conjunto de edificios tipo FORSA, que se encuentran mucho más concentrados y cercanos que el resto de los bloques repetitivos, con lo cual el acceso al sol y el ángulo de visión del cielo es menor (Figura 16).

5. Conclusiones

Atendiendo a su influencia en el microclima urbano se han identificado 27 tipos morfológicos en La Habana, de ellos, 25 lotificados, uno en formación que no llegó a consolidarse a partir de 1959 y otro de urbanización abierta periférica desarrollado a partir de los años 60, que es el que ocupa una mayor área de la ciudad.

El promedio de altura es muy bajo, de dos pisos de altura, excepto en los nuevos desarrollos periféricos.

En la ciudad tradicional lotificada predomina la morfología semi-compacta, siendo mayoritaria la distancia de 20 m entre fachadas, con jardín y manzanas de 90 m de lado mínimo

y coeficiente de ocupación del suelo de 0.60. Las zonas compactas, con Coeficiente de Ocupación del Suelo de 0.80 ocupan 644 ha, predominando un ancho de vía de 9 m.

La temperatura medida en los tipos morfológicos monitoreados se mantiene entre 2 y 4 grados por encima de la estación meteorológica, excepto en horas de la mañana, comprobándose el efecto de la isla de calor urbana. Los resultados experimentales corroboran los criterios asumidos en la evaluación cualitativa preliminar de los tipos.

Se comprueba la influencia en el microclima urbano de parámetros morfológicos como el ancho de la vía, que es directamente proporcional a la temperatura, y modificadores como la presencia de vegetación, cuya relación con la temperatura es inversa.

La influencia de la orientación se hace más clara en las urbanizaciones semi-compactas, resultando más baja la temperatura en las calles con orientación de su eje cercano a la dirección N-S. Sin embargo, esto es menos evidente en las zonas compactas.

Futuras etapas de la investigación permitirán llegar a resultados más seguros con respecto a la influencia específica en el microclima urbano de cada parámetro morfológico evaluado.

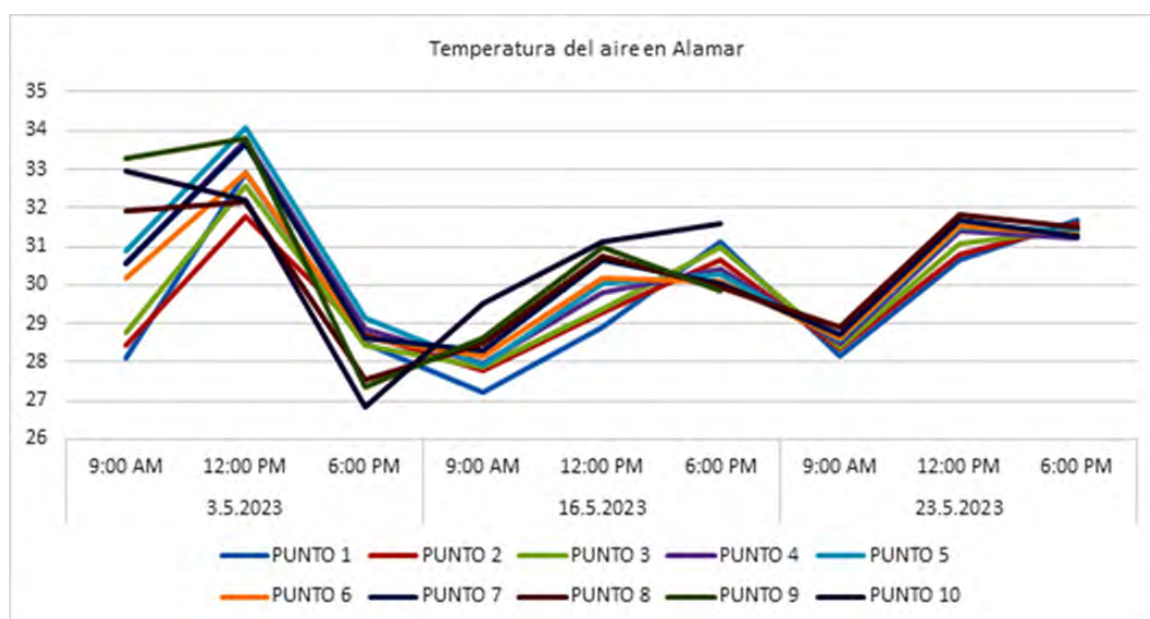


Fig. 16. Temperatura del aire en Alamar.

6. Referencias bibliográficas

- Alfonso, A., G. Díaz y De la Peña, A.M. (2009). *La ciudad compacta: Arquitectura y Microclima* (3.ª ed.). Facultad de arquitectura, Cujae.
- Álvarez López, A. (2004). Cambio climático y microclimas urbanos en ciudades del centro de Cuba. Reflexiones para el planeamiento a través de SIG. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8(1), 111-116. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81614>
- Castillo Valdivia, I. A. (2020). Clima urbano de espacios públicos en Peñalolén: Confort térmico exterior como un caso de injusticia climática. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175847>
- Castro Conrado, Y., Fernández Figueroa, E. y Álvarez López, A. (2015). Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo*, 36 (1), 25-37.
- Chiarito, G. y E. Chiarito (2015). Evaluación de temperaturas urbanas de acuerdo al uso del suelo: Rosario. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/142516>
- Cordero Ordóñez, X. (2014). Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona. Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637?locale-attribute=es>
- Regulaciones Urbanísticas. Ciudad de La Habana. El Vedado. Municipio Plaza de la Revolución.* (2007). Ediciones Boloña: Ediciones Unión.
- Regulaciones Urbanísticas. Ciudad de La Habana. La Habana Vieja. Centro Histórico.* (2009). Ediciones Boloña.
- Fernández Figueroa, E. (2015). *Utopía y Realidad. La rehabilitación de las ciudades cubanas*. Editorial Félix Varela.
- González Couret, D. (2011). Uso del suelo y ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXII (2), 9-15.
- Gelabert Abreu, D (2014). *Vivienda progresiva como solución alternativa para la ciudad de La Habana*. Universidad Internacional de Andalucía: Sevilla.
- Gómez Concepción H., I. Rojas Márquez y J. I. Perén Montero (2021). Una aproximación a los efectos del diseño urbano en el microclima y calidad de espacios urbanos de una ciudad cálida-húmeda. Panamá. *SusBCity*, 3 (1), 31-38. enero – diciembre <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2009>
- González Couret, D. y O. Sánchez Martínez. (2016). Towards a more resilient urban morphology in Havana. PLEA 2016: 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. University of Pomona, Los Ángeles.
- González Couret, D.; N. Collado Baldoquin, G. A de la Paz Pérez y L. A. Rueda Guzmán. (2023). Urban variables for adaptation to global warming in a hot-humid climate. Cuban cities as case study. *Urban Climate* 51, 101633. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101633>
- Guzmán Bravo, F, y et al. J. M. Ochoa de la Torre (2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(2), 52-63. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>
- Martínez Osorio, P., J. Gómez de Faria y P. da Cruz Landim. (2016). Ambiente, temperatura y uso de mobiliarios urbanos en espacios de convivencia abiertos. Conference paper. <https://doi.org/10.5151/engpro-conaerg2016-7032>
- Molar-Orozco, M. N. (2015). Análisis térmico de superficies horizontales en espacios públicos. Plaza Manuel Acuña y de Armas en Saltillo, México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 18, 89-101. <https://www.redalyc.org/journal/4779/477947306006/html/>
- Roco Castillo, F. J (2022). Temperatura superficial y tipologías de diseño urbano-residencial, relación a microescala climática, caso de la Comuna de Renca, como base para lineamientos de diseño urbano sensible al clima. Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189813>
- Sánchez Martínez, O. Usos activos y pasivos del sol y el viento en la vivienda urbana en La Habana. Tesis en opción al grado de Máster en Vivienda Social, CUJAE: La Habana, 2015.
- Schiller, S., J. M. Evans y L. Katzschner (2001). Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño. Estudios en Buenos Aires y Rio Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 2001. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79672>
- Smith Guerra, P. y C. Henríquez Ruíz (2016). Estudio del confort térmico y la calidad climática en el espacio público. Estudio de caso en la ciudad de Chillán, Chile. X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECalicante2016-59>
- Urrutia del Campo. N. y J. Neila González (2020). Bioclimática, mediciones ambientales y uso de los espacios urbanos: Evaluación comparativa en la Plaza de Chamberí, Madrid. *REVISTARQUIS*, 9(1), 1-26. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/revistarquis/article/view/40257>
- Villanueva-Solis, J., A. Ranfla y A. L. Quintanilla-Montoya (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24 <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Zapata Padilla, N. J., M. A. Rosas Lusett y J. A. Espuna Mujica (2017). Confort humano en microclimas urbanos. Calle Miguel Hidalgo, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. *TLATEMOANI. Revista Académica de Investigación*, 8 (25), 119-131. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7277120>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores:

Dania González Couret, conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.

Lázaro Yerandy Morales Camacho, curación de datos, investigación y metodología.

Natali Collado Baldoquin curación de datos, investigación, redacción-revisión.

Dayra Gelabert Abreu, investigación.

Luis Alberto Rueda Guzmán, investigación.

Recibido: 2 de septiembre de 2023

Aceptado: 20 de septiembre de 2023