



Título del artículo.

Pautas metodológicas para estudios observacionales de Islas de Calor Urbano.

Título del artículo en idioma Inglés.

Methodological guidelines for observational studies about Urban Heat Islands.

Autores.

José Francisco Cantú Dávila
René Bernardo Cabrera Cruz
Julio César Rolón Aguilar
Robert Pichardo Ramírez
Ricardo Tobías Jaramillo
Alberto José Gordillo Martínez

Referencia bibliográfica:

MLA

Cantú Dávila, José Francisco, René Bernardo Cabrera Cruz, Julio César Rolón Aguilar, Robert Pichardo Ramírez, Ricardo Tobías Jaramillo y Alberto José Gordillo Martínez. "La necesidad de implementar la Educación Ambiental (EA) en el plano de la educación formal". *Tlamati* 5.4 (2014): 70-83. Print.

APA

Cantú-Dávila, J. F., Cabrera-Cruz, R. B., Rolón-Aguilar, J. C., Pichardo-Ramírez, R., Tobías-Jaramillo, R. y Gordillo-Martínez, A. J. (2014). Pautas metodológicas para estudios observacionales de Islas de Calor Urbano. *Tlamati*, 5(4), 70-83.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 31 de Diciembre del 2014

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Pautas metodológicas para estudios observacionales de Islas de Calor Urbano.

José Francisco Cantú Dávila¹

René Bernardo Cabrera Cruz.^{*1}

Julio César Rolón Aguilar¹

Robert Pichardo Ramírez¹

Ricardo Tobías Jaramillo¹

Alberto José Gordillo Martínez²

¹Cuerpo Académico Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable UAT-CA-29. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller". División de Estudios de Posgrado e Investigación. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

²Cuerpo Académico en Ciencias Ambientales UAEHGO-CA-59. Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

*Centro Universitario Tampico-Madero. C.P. 89138. Tel. (01)-833-241-20-00 Ext 3541, Ext 3451 (fax).

*Autor de correspondencia
rcabreracruz@yahoo.com.mx

Resumen.

El fenómeno Isla de Calor Urbano (ICU) ha sido ampliamente estudiado. Su dimensión se ha medido y reportado en cientos de ciudades alrededor del mundo aplicando métodos observacionales que implican la medición comparativa de temperatura urbana y rural, presentando deficiencias en la elección de sitios representativos, el control de los efectos del clima y de la superficie, la forma sincrónica y el número de réplicas de las mediciones, entre otras. En el presente trabajo, se realizó una revisión de 75 estudios de literatura de ICU, publicados en artículos de revistas de reconocido impacto, como *Boundary-Layer Meteorology*, *Journal Applied Meteorology*, *Atmosphere* y *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, libros técnicos de la *World Meteorological Organization*, memorias de congreso y tesis obtenidas de las bases de datos Thomson, Elsevier y EBSCO. De los cuales se seleccionaron 16 artículos; 1 libro de autor de actual reconocimiento en el estudio del fenómeno; 5 documentos técnicos y 3 memorias de congreso. Identificando 9 pautas a seguir para estudios observacionales del fenómeno de ICU, de acuerdo a los criterios de conceptualización, teorización y la observación de campo para establecer parámetros de calidad metodológica en este tipo de estudios y su futura aplicación en la República Mexicana.

Palabras clave: Islas de Calor Urbano, meteorología, temperatura

Abstract.

Urban Heat Island (ICU) is a widely studied phenomenon. Measures of this phenomenon is reported in hundreds of cities around the world; applying observational methods involving quantity of comparative urban and rural temperature, controlling synchronously effects of climate and surface, and replicated measurements, among others. In this paper, a reviewed analysis from 75 studies of ICU related literature was developed, as follows: articles published in journals of recognized impact as *Boundary-Layer Meteorology*, *Journal Applied Meteorology*, *Atmosphere* and *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, technical books from *World Meteorological Organization*, *Proce-*

Como citar el artículo:

Cantú-Dávila, J. F., Cabrera-Cruz, R. B., Rolón-Aguilar, J. C., Pichardo-Ramírez, R., Tobías-Jaramillo, R. y Gordillo-Martínez, A. J. (2014). Pautas metodológicas para estudios observacionales de Islas de Calor Urbano. *Tlamati*, 5(4), 70-83.

edings of Congresses and thesis obtained from databases as Thomson, Elsevier and EBSCO. Documents selected was, as follows: 16 articles; 1 book from an author of actual recognition in the study of the phenomenon; 5 technical papers and 3 proceedings of congresses. Identifying nine guidelines related to observational studies of ICU phenomenon, according to conceptualization, theorization and field observation in order to establish parameters about methodological quality in this type of studies, and its future implementation in Mexico.

Keywords: Urban Heat Island, meteorology, temperature

Introducción

El estudio del fenómeno Isla de Calor Urbano (ICU) ha sido ampliamente desarrollado, medido y reportado en cientos de ciudades alrededor del mundo, principalmente en los países económicamente desarrollados, siendo el indicador más conocido relacionado con la modificación del clima urbano. (Fouillet, Rey, Laurent, Pavillon, Bellec, Ghihenneuc-Jouyau, Clavel, Jougla y Hémon, 2006, Oke; 2006; Stewart, 2011). La mayoría de los estudios se centran en la existencia, magnitud, dinámica y forma de la ICU, ya sea en la atmósfera o en la superficie de una población particular. Las primeras observaciones científicas del fenómeno fueron documentadas en 1818 por Luke Howard, motivado por las observaciones que en la ciudad, las nevadas eran menos intensas que en los alrededores de la ciudad de Londres, Inglaterra, así como los estudios de Emilien Renou en París, en la segunda mitad del siglo XIX y de Wilhelm Schmidt en Viena en el año 1917 (Garland, 2011). De la misma manera, investigadores tales como Parry (1956), Chandler (1962, 1970) y Bohm y Gabl (1978), estudiaron el problema utilizando la metodología de medición comparativa de temperatura urbana y rural.

En los últimos años se ha dado el debate en torno a la aplicación de metodologías para el estudio del problema (Grimmond, 2006; Stewart, 2007). De la misma manera, Oke (2006, 2009), se propone establecer protocolos de investigación recomendando incorporar mediciones de temperatura en meso y micro escala, correspondencia en la escala temporal; así como un diseño experimental que incluya la correcta calibración de instrumentos, su colocación en áreas representativas e inclusión de metadatos con el fin de validar las mediciones. En tanto Stewart (2007), hace una revisión sistemática de la metodología de 190 estudios del fenómeno ICU, mostrando la debilidad científica en cuanto al control de medición y la descripción de la metodología utilizada en estos estudios. Una de las deficiencias más frecuentes consiste en la percepción de la temperatura como una variable fácil de medir, sin considerar que ésta debe medirse en forma sincrónica, con un número suficiente de réplicas, además de que no debe ser afectada por eventos que no sean atribuibles al entorno urbano. Finalmente, se considera que el uso de sistemas de evaluación, al igual que la aplicación de guías y manuales de buenas prácticas, pueden ser una herramienta valiosa para soportar metodológicamente la fase de diseño y orientar a los investigadores en la realización de estudios que den lugar a la certidumbre y a la aplicación de medidas, para que produzcan resultados confiables en el estudio de las ICU.

Es en este contexto es pertinente una revisión de la literatura de estudios de ICU que identifiquen y generen

pautas a seguir para estudios observacionales del fenómeno de Islas de Calor Urbano, de acuerdo a los criterios de conceptualización, teorización y observación de campo para establecer parámetros de calidad metodológica en este tipo de estudios y su futura aplicación en la República Mexicana.

Metodología

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma de Tamaulipas Campus Tampico-Madero, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería, "Arturo Narro Siller" durante el año 2013. Se llevó a cabo una revisión de bases de datos especializados, para seleccionar criterios metodológicos actualizados en el Campo del Estudio Observacional de ICU, a través de las siguientes etapas:

1.- Selección de universo de estudio.

Conformado por trabajos de investigación tales como artículos, tesis, manuscritos, documentos de conferencias y boletines obtenidos de bases de datos tales como Thomson, Elsevier, y EBSCO.

2.- Selección de criterios de análisis.

Que los estudios, en su título o resumen, presentaran claramente la metodología utilizada o aportaciones para la mejora de la calidad metodológica.

Que los estudios se refirieran a la existencia y determinación de la magnitud de la ICU mediante enfoques observacionales, por el modelo de dosel urbano. Este enfoque fue seleccionado debido a que debajo del dosel urbano se genera la mayor parte de la actividad antropogénica.

Que los estudios fueran realizados por investigadores de reconocido nivel internacional en climatología urbana, que aporten a la metodología.

3.- Análisis de la información.

Se identificaron los criterios relevantes para la mejora de los marcos metodológicos y conceptuales en el estudio y manejo del fenómeno de ICU, desde el punto de vista de las ciencias ambientales para la propuesta de un modelo indirecto de estudio.

Resultados y discusión

1. Selección del universo de estudio.

En la tabla 1 se presentan los 75 estudios de ICU, obtenidos de las Bases de Datos Thompson, Elsevier y EBSCO, a los cuales se aplicó la revisión. De ellos 61 fueron artículos de revistas de reconocido impacto, como Boundary-Layer Meteorology, Journal Applied Meteorology,

Tabla 1. Universo de Estudios

Año de publicación	Título	Autor(es)	Tipo de Publicación	Revista o Institución	Fuente
1956	Local temperature variations in the Reading area.	Parry, M.	Artículo	<i>Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.</i>	Thomson
1963	Basic Instrumentation and Measurements for Plant Environment and Micrometeorology	Tanner CB	Artículo	Soils Bulletin 6. Department of Soil Science, University of Wisconsin.	EBSCO
1966	Philosophy of Natural Science.	Hempel, C. G.	Libro	Prentice Hall	Thomson
1970	Meteorological observations in urban areas.	Landsberg, H. E.	Artículo	<i>Meteorological Monographs.</i>	Elsevier
1973	The climate of cities: A review of recent literature.	Peterson JT.	Libro	Climate in Review	EBSCO
1974	Numerical computation of turbulent flows.	Launder, B.E., y Spalding, D. B.	Artículo	Computer Methods in applied Mechanics and Engineering.	Elsevier
1975	Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver.	Oke, T. R., Maxwell G. B.	Artículo	<i>Atmospheric Environment.</i>	Elsevier
1976	The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Atmosphere</i>	Elsevier
1977	Empirical estimation of the urban effects on climate: A problem analysis.	Lowry, W. P.	Artículo	<i>Journal of Applied Meteorology.</i>	Elsevier
1977	The energy balance of urban canyon.	Núñez, M., y OKe, T. R.	Artículo	Journal of Applied Meteorology.	Elsevier
1978	Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies.	Anthes, R., Seaman, N., y Warner, T.	Artículo	Monthly Weather Review	Elsevier
1979	Review of Urban Climatology 1973 – 1976.	Oke, T. R.	Artículo	<i>World Meteorological Organization</i>	Elsevier
1980	Modeling the daytime urban surface energy balance.	Nunez, M., y Oke, T. R.	Artículo	Geographical analysis.	Elsevier
1980	The synoptic climatology of Birmingham's urban heat island, 1965-1974.	Unwin DJ.	Artículo	Weather	Thomson

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
1981	The Urban Climate.	Landsberg, H.E.	Libro	Academic Press	Elsevier
1981	Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparison of scale model and field observations.	Oke, T. R.	Artículo	Journal of climatology.	Elsevier
1982	Urban Topoclimatology	Oke, T. R.	Artículo	Progress in Physical Geography	Elsevier
1982	The energetic basis of the urban heat island.	Oke, T. R.	Artículo	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.	Elsevier
1983	Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8.	World Meteorological Organization	Documento técnico	World Meteorological Organization.	Elsevier
1984	Urban Topoclimatology	Goldreich, Y.	Artículo	Progress in Physical Geography	Elsevier
1987	Urban heat storage derived as energy balance residuals.	Oke, T. R., y Cleugh, H. A.	Artículo	Boundary-Layer Meteorology.	Elsevier
1987	Influence of meteorological conditions on urban/rural temperature and humidity differences for a small city.	Travis DJ, Meentemeyer V, Suckling PW	Artículo	Southeastern Geographer	EBSCO
1987	Development of nested grid, second moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT brush creek data simulation.	Yamada, T., y Bunker, S.	Artículo	Journal of Applied Meteorology.	Elsevier
1988	The urban energy balance.	Oke, T. R.	Artículo	Progress in physical geography.	EBSCO
1989	Orographic influence on urban climate.	Wanner. H., y Fülliger, P.	Artículo	<i>Weather and Climate.</i>	Elsevier
1993	The Goddard cumulus ensemble model.	Tao, W. K., y Simpson, J.	Artículo	Part I: model description. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences.	EBSCO
1994	Methods for handling missing data in research synthesis	Pigott TD.	Documento técnico	The Handbook of Research Synthesis	Elsevier

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
1995	Surface temperature and emissivity at various scales: definition, measurement and related problems.	Becker, F., y Li, L.	Artículo	Remote Sensing Reviews.	EBSCO
1995	Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Progress in Physical Geography.</i>	Elsevier
1996	Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island.	Saitoh, T. S., Shimada, T., Hoshi, H.	Artículo	Atmospheric Environment.	Elsevier
1997	CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area.	Mochida, A., Murakami, S., Ojima, T., Kim, S., Ooka, R., y Sugiyama, H.	Artículo	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.	Thomson
1998	An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling.	Arnfield, A., y Grimmond, C.	Artículo	Energy and Buildings.	Elsevier
1998	Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model.	Reisner, J., Rasmussen, R. J., y Brientjes, R. T.	Artículo	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.	EBSCO
1999	Building canopy model for the analysis of urban climate.	Ashie, Y., Ca, V., y Asaeda, T.	Artículo	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.	EBSCO
1999	Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters	Hafner, J., y Kidder, S.Q.	Artículo	Journal of Applied Meteorology.	Elsevier
2000	Lidar observation of the nocturnal boundary layer formation over Sofia Bulgaria	Kolev, I., Savov, P., Kaprielov, B., Parvanov, O., y Simeonov, V.	Artículo	Atmospheric Environment.	Elsevier
2000	A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models.	Masson, V.	Artículo	Boundary-Layer Meteorology.	Elsevier
2001	Cool surface and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas.	Akbari, H., Pomerantz, M., y Taha, H.	Artículo	Solar Energy	Elsevier

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
2001	A simple single-layer and slab models.	Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y., y Kimura, F.	Artículo	Boundary-Layer Meteorology.	Elsevier
2001	Doing Science: Design, Analysis and Communication of Scientific Research	Valiela, I.	Libro	<i>Oxford University Press: New York.</i>	Thomson
2001	Development of a land surface model part I: application in a mesoscale meteorology model.	Xiu, A., y Pleim, J. E.	Artículo	Journal of Applied Meteorology.	Elsevier
2002	A global version of the PSU-NCAR Meso-scale model.	Dudhia, J., y Bresch, J. F.	Artículo	Monthly Weather Review.	Elsevier
2002	An urban surface exchange parameterization for mesoscale models.	Martilli, A., Clappier, A., y Rotach, M.	Artículo	Journal of Applied Meteorology.	Elsevier
2002	Station exposure metadata needed for judging and improving quality of observations of wind, temperature and other parameters.	Wieringa J, Rudel E.	Documento técnico	World Meteorological Organization	Elsevier
2003	Guidance on Metadata and Homogenization.	Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J.	Documento técnico	World Meteorological Organization	Elsevier
2003	Review two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and the urban heat island.	Arnfield, A.	Artículo	International Journal of Climatology.	Elsevier
2003	Thermal remote sensing of urban climates.	Voogt, J. A., y Oke, T. R.	Artículo	Remote Sensing of Environment	EBSCO
2004	Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings.	Flor, F. S., y Dominguez, S. A.	Artículo	Energy and Buildings.	Elsevier
2004	Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites.	Oke, T. R.	Documento técnico	<i>World Meteorological Organization</i>	Elsevier
2004	Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: Review and new approach.	Unger J.	Artículo	Climate Research	Elsevier

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
2005	Modeling the impact of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementations in two PBL schemes	Fan, H., y Sailor, D. J.	Artículo	Atmospheric Environment.	Elsevier
2005	A simple energy balance model for regular building arrays.	Kanda, M., Kawai, T., Kanega, M., Moriwaki, R., Narita, K., y Hagishima, A.	Artículo	Boundary-Layer Meteorology.	Elsevier
2005	Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux.	Kato, S., y Yamaguchi, Y.	Artículo	Remote Sensing of Environment.	EBSCO
2005	Development of multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: structure of the urban canopy model and its basic performance.	Kondo, H., Genchi, Y., Kikegawa, Y., Ohashi, Y., Yoshikado, H., y Komiyama, H.	Artículo	Boundary-Layer Meteorology.	Elsevier
2005	Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat island of Wrocław, Poland.	Szymanowski, M.	Artículo	<i>Theoretical and Applied Climatology.</i>	Elsevier
2006	Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon outdoor thermal comfort in hot and dry climate.	Ali-Tourdet, F., Mayer, H.	Artículo	Buildings Environment.	Elsevier
2006	A canopy layer model and its application to Rome.	Bonacquisti, V., Casale, G., Palmieri, S., y Siani, A.	Artículo	Science of the Total Environment.	Thomson
2006	Methodology and Results of Calculating Central California Surface Temperature Trends: Evidence of Human-Induced Climate Change?	Christy, J. R., Norris, W. B., Redmond, K., Gallo, K. P.	Artículo	Journal Climate.	Elsevier
2006	The convective heat exchange at exchange at the external surface of buildings.	Cole, R. J., y Sturrock, N. S.	Artículo	Building Environment.	Elsevier
2006	Ground and top of canopy layer urban heat island partitioning on an air bone image.	Goldreich, Y.	Artículo	Remote Sensing of Environment.	EBSCO

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
2006	Progress in measuring and observing the urban atmosphere.	Grimmond, C. S. B.	Artículo	<i>Theoretical and Applied Climatology</i> .	EBSCO
2006	Towards better scientific communication in urban climate.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Theoretical and Applied Climatology</i> .	Elsevier
2006	Urban texture analysis with image processing techniques: winds and dispersion.	Ratti, C., Sabatino, S. D., Britter, R.	Artículo	Theoretical and Applied Climatology.	Elsevier
2006	Modelling of the annual mean maximum urban heat island with the application of 2 and 3D surface parameters.	Unger J.	Artículo	Climate Research	Elsevier
2007	Review of urban climatology in (sub)tropical regions.	Roth M.	Artículo	International Journal of Climatology	Elsevier
2007	Heat island research in Europe – state of the art.	Santamouris, M.	Artículo	Advances in Building Energy Research.	EBSCO
2007	Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950 – 2006	Stewart, I. D.	Memoria	Acta Climatologica et Chorologica	EBSCO
2008	An urban parameterization for a global climate model. Part 1: formulation and evaluation for two cities.	Oleson, K. W., Bonan, B., Feddesma, J., Vertenstein, M., y Grimmond, C. S. B.	Artículo	Journal of Applied Meteorology and Climatology.	Elsevier
2008	All guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings.	Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M.	Artículo	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.	EBSCO
2009	The need to establish protocols in urban heat island work.	Oke, T. R.	Memoria	<i>T.R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment</i>	Elsevier
2009a	A new classification system for urban climate sites.	Stewart, I. D., Oke, T. R.	Memoria	<i>Bulletin of the American Meteorological Society</i> .	EBSCO

Tabla 1. Universo de Estudios (continuación)

Año de Publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente
2009b	Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan.	Stewart, I. D., Oke, T. R.	memoria	<i>Seventh International Conference on Urban Climate.</i>	EBSCO
2011	Towards the modeling of sustainability into urban planning: using indicators to build sustainable cities.	Rosales, N.	Artículo	Procedia Engineering.	EBSCO
2011	Redefining the urban heat island.	Stewart, I. D.	Tesis	The University of British Columbia	Thomson
2013	Precedents reconceived: urban design learning catalyzed through data rich 3-D digital models.	Senbel, M., Girling, C., White, J. T., Kellett, R., y Chan, P. F.	Artículo	Design Studies.	Thomson

Fuente: Elaboración propia.

Atmosphere y Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society; 4 libros de autores reconocidos en el estudio del fenómeno ICU; 5 documentos técnicos de la *World Meteorological Organization* [WMO]; 4 memorias de congresos y 1 tesis.

2. Selección de criterios de análisis.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la aplicación de los 3 criterios de análisis en reportes de estudios de ICU. Se pueden apreciar los datos del año de publicación, título y autores del trabajo, tipo de estudio, revista y base de datos. En cuanto a los resultados de la aplicación de los criterios de selección se muestra que:

De los estudios analizados, 54 muestran claramente la metodología utilizada para la obtención de los resultados mostrados, o bien presentan aportaciones metodológicas al estudio del fenómeno ICU, bajo el enfoque de capa de dosel. De los 54 estudios que cumplen con el primer criterio, 32 de ellos utilizan para el estudio del fenómeno el enfoque de dosel urbano. 25 de ellos corresponde a autores que aportan a la metodología como Tim R. Oke o Iain D. Stewart (véase tabla 2).

3. Pautas metodológicas.

Una vez realizada la revisión de artículos especializados se identificaron 9 criterios metodológicos que un estudio de ICU debe considerar como una buena práctica de rigurosidad científica. Los criterios se resumen a continuación.

Criterio 1: Alineación entre el método y el modelo conceptual, lo cual se refiere a que la prueba de funcionamiento de la investigación está en consonancia con el modelo conceptual de un estudio de ICU de capa de dosel.

La prueba de funcionamiento requerida del modelo de ICU de capa de dosel es la medición de la temperatura superficial del aire en zonas urbanas y rurales. Este modelo está implícito en el análisis histórico de la isla de calor en

Londres de Howrad (1833), pero se desarrolló y sistematizó más formalmente por Oke (1976; 1982; 1988) en la literatura moderna. Este modelo requiere medir la temperatura del aire aproximadamente a la altura refugio, de 1 a 2 m sobre el nivel del suelo o al menos por debajo del nivel del techo, y en los sitios de campo definidos como zonas rurales.

Criterio 2. La claridad en las definiciones operativas de magnitud o intensidad de ICU deben expresarse explícitamente en el informe, o de manera implícita a través de su discusión o presentación de los datos.

Las definiciones operacionales justifican las variables de medición y los sitios de campo utilizados para cuantificar la magnitud de la ICU. Para ello se requieren dos condiciones de una definición operativa: primeramente se debe estipular la ubicación y el número de sitios de campo para cuantificar la magnitud ICU, así como las variables de medición obtenidas en esos sitios.

Criterio 3. Evidenciar las especificaciones del equipo. Estas deben indicarse explícitamente en el informe o de manera implícita mediante la presentación de los datos. Deben incluir el tipo, el montaje y la precisión del dispositivo de medición.

La Organización Meteorológica Mundial [OMM] es inequívoca en su postura sobre la precisión de la medida: "Ninguna declaración de los resultados de una medición está completa si no incluye una estimación de la probable incertidumbre de la magnitud", que normalmente se expresa como el intervalo de valores en el que el valor verdadero de una magnitud difiere del obtenido por el dispositivo de medición (WMO, 1983).

Criterio 4. Detallar adecuadamente los metadatos del sitio en el informe.

Los metadatos incluyen un boceto local o mapa a escala regional o fotografía del área de estudio y uno o más

Tabla 2. Resultados de la aplicación de los criterios de selección.

Año de publicación	Titulo	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente	Criterios de Selección		
						a) Aporte a la Metodología	b) Estudio de Capa de Dosel	c) Prod. por Inv. Reconocidos
1963	Basic Instrumentation and Measurements for Plant Environment and Micrometeorology	Tanner CB	Artículo	Soils Bulletin 6. Department of Soil Science, University of Wisconsin.	EBSCO	✓	✓	✓
1970	Meteorological observations in urban areas.	Landsberg, H. E.	Artículo	<i>Meteorological Monographs.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
1976	The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Atmosphere.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
1977	Empirical estimation of the urban effects on climate: A problem analysis.	Lowry, W. P.	Artículo	<i>Journal of Applied Meteorology.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
1979	Review of Urban Climatology 1973 – 1976.	Oke, T. R.	Artículo	<i>World Meteorological Organization: Geneva. WMO Technical Note No. 169.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
1980	Modeling the daytime urban surface energy balance.	Nunez, M., y Oke, T. R.	Artículo	Geographical analysis.	Elsevier	✓	✓	✓
1981	The Urban Climate.	Landsberg, H.E.	Libro	Academic Press: New York.	Elsevier	✓	✓	✓
1981	Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparison of scale model and field observations.	Oke, T. R.	Artículo	Journal of climatology.	Elsevier	✓	✓	✓
1982a	Urban Topoclimatology	Oke, T. R.	Artículo	Progress in Physical Geography.	Elsevier	✓	✓	✓
1982b	The energetic basis of the urban heat island.	Oke, T. R.	Artículo	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.	Elsevier	✓	✓	✓
1983	Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8.	World Meteorological Organization (WMO).	Documento técnico	World Meteorological Organization. Geneva.	Elsevier	✓	✓	✓
1984	Urban Topoclimatology	Goldrieck, Y.	Artículo	Progress in Physical Geography.	Elsevier	✓	✓	✓

Tabla 2. Resultados de la aplicación de los criterios de selección (continuación)

Año de publicación	Título	Autor (es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente	Criterios de Selección		
						a) Aporte a la Metodología	b) Estudio de Capa de Dosel	c) Prod. por Inv. Reconocidos
1988	The urban energy balance.	Oke, T. R.	Artículo	Progress in physical geography.	EBSCO	✓	✓	✓
1994	Methods for handling missing data in research synthesis	Pigott TD.	Documento técnico	The Handbook of Research Synthesis.	Elsevier	✓	✓	✓
1995	Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Progress in Physical Geography.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
2002	Station exposure metadata needed for judging and improving quality of observations of wind, temperature and other parameters.	Wieringa J, Rudel E.	Documento técnico	World Meteorological Organization. Geneva.	Elsevier	✓	✓	✓
2003	Guidance on Metadata and Homogenization.	Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J.	Documento técnico	World Meteorological Organization. Geneva.	Elsevier	✓	✓	✓
2004	Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites.	Oke, T. R.	Documento técnico	<i>World Meteorological Organization. Geneva.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
2006	Progress in measuring and observing the urban atmosphere.	Grimmond, C. S. B.	Artículo	<i>Theoretical and Applied Climatology.</i>	EBSCO	✓	✓	✓
2006	Towards better scientific communication in urban climate.	Oke, T. R.	Artículo	<i>Theoretical and Applied Climatology.</i>	Elsevier	✓	✓	✓

Tabla 2. Resultados de la aplicación de los criterios de selección (continuación)

Año de publicación	Título	Autor(es)	Tipo de publicación	Revista o institución	Fuente	Criterios de Selección		
						a) Aporte a la Metodología	b) Estudio de Capa de Dosel	c) Prod. por Inv. Reconocidos
2007	Review of urban climatology in (sub)tropical regions.	Roth M.	Artículo	International Journal of Climatology.	Elsevier	✓	✓	✓
2009	The need to establish protocols in urban heat island work.	Oke, T. R.	Memoria	<i>T.R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment.</i>	Elsevier	✓	✓	✓
2009a	A new classification system for urban climate sites.	Stewart, I. D., Oke, T. R.	Memoria	<i>Bulletin of the American Meteorological Society.</i>	EBSCO	✓	✓	✓
2009b	Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan.	Stewart, I. D., Oke, T. R.	memoria	<i>Seventh International Conference on Urban Climate.</i>	EBSCO	✓	✓	✓
2011	Redefining the urban heat island.	Stewart, I. D.	Tesis	The University of British Columbia.	Thomson	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

indicadores cuantitativos de la superficie a escala micro o local de la exposición, la rugosidad o la cubierta en los sitios de campo utilizados para cuantificar la magnitud de la ICU.

Según las directrices de la OMM sobre metadatos climáticos, todas las mediciones meteorológicas deben incluir la especificación de identidad de la estación, la ubicación geográfica, medio ambiente local, la instrumentación, las prácticas de observación, procesamiento de datos y la historia de la estación (Aguilar, Auer, Brunet, Peterson, Wieringa, 2003). Directrices suplementarias de la OMM para mediciones meteorológicas en las zonas urbanas hacen hincapié en que el medio ambiente local y los acontecimientos históricos son especialmente importantes debido a la naturaleza compleja y dinámica de las ciudades (Oke, 2004). Estos pueden ser mediante una ilustración a escala local, regional o mapa (por ejemplo, bosquejo del sitio, o fotografía aérea) del área de estudio y debe reflejar las principales características físicas y culturales de la región, tales como cadenas montañosas, valles, masas de agua, rutas de transporte, las zonas edificadas y otras características del terreno que son relevantes para el clima superficial, local y regional. Posibles indicadores incluyendo el factor de visión del cielo, la relación de aspecto de edificios o

árboles, la cobertura fraccional de superficies construidas y naturales, y la entrada térmica de las superficies construidas o naturales.

Criterio 5. Representatividad de los sitios de campo a escala micro o local.

Requiere que los sitios de campo utilizados para cuantificar la magnitud ICU sean aproximadamente representativos, en los materiales de superficie, la geometría y la actividad humana, de los alrededores a escala local.

Este criterio es primordial. Se espera que los investigadores coloquen los instrumentos de medición a una altura de refugio en zonas donde el "círculo de influencia", sea relativamente homogéneo en cuanto a la cubierta de la superficie, la geometría y la actividad humana. El radio de este círculo es difícil de estimar, ya que cambia con la densidad de la construcción y la estabilidad atmosférica. Sin embargo, la evidencia empírica sugiere que como regla general, el radio no debe ser de más de unos pocos cientos de metros (Chandler, 1964; Oke, 2004; Runnalls y Oke, 2006). En cuanto al nivel de micro-escala el ajuste a micro-escala de un sensor térmico debe ser menor a 100 m en 1 a 2 m sobre el nivel del suelo, mientras que a escala local debe ser entre 100 y 1000m.

Criterio 6. Número suficientemente grande de observaciones repetidas.

El número de réplicas de observaciones en un informe debe ser lo suficientemente grande como para cumplir con los objetivos declarados de estudio y para obtener estimaciones representativas y fiables de la magnitud ICU.

La medición regular y repetida proporciona control sobre la variación al azar, y aumenta la probabilidad de obtener valores representativos de un efecto deseado en un momento y lugar elegido (Valiela, 2001).

Criterio 7. Control pasivo de los efectos del entorno.

Los efectos extraños del clima sobre la magnitud ICU deben ser controlados por diseño experimental. Las variables se deben medir en condiciones climáticas relativamente estacionarias es decir sin la presencia de vientos fuertes que provoquen advección, o de precipitaciones con la finalidad de reducir el riesgo de confusión causado por efectos urbanos como reflectancia, emisividad, y almacenamiento. (Lowry, 1977).

El control pasivo de tiempo se puede lograr a través de los diseños de muestreo preconcebidos o por medio de la selección de datos antes del análisis. La selección de datos excluye las mediciones realizadas durante el clima no estacionario o por lo menos reconoce los efectos del tiempo sobre magnitudes de ICU reportadas

Criterio 8. Control de los efectos de superficie.

Los efectos extraños de relieve de la superficie, como la elevación, carreteras y masas de agua deben evitarse a través del diseño de muestreo, o si no es posible al menos reconocer sus influencias a través de la discusión y aplicar un factor de corrección.

Los efectos de relieve de la superficie, la elevación, y los cuerpos de agua son difíciles de evitar en la mayoría de los estudios ICU (Landsberg, 1970, Wanner y Filliger, 1989). Por lo tanto, los investigadores deben adoptar una estrategia de diseño adecuada para contrarrestar las influencias superficiales no deseadas. El diseño experimental es fundamental para eliminar o evitar que sitios de medición no sean ubicados en laderas, barrancos, acantilados o crestas y no configurarlos en forma perpendicular a superficies alargadas como valles y costas.

Gran cantidad de localidades urbanas y rurales tienen efectos superficiales no deseados que no se pueden evitar; en la que las medidas correctivas de caso se pueden realizar en los datos después de que han sido recogidos. Las técnicas correlacionales pueden mejorar el aislamiento del efecto urbano en terrenos complejos (Goldreich, 1984). Sin embargo, su aplicación tiene graves inconvenientes y deben usarse con precaución, en todo caso, para corregir las estimaciones de la magnitud de ICU.

Criterio 9 Simultaneidad en la medición de las temperaturas.

Este criterio pone de manifiesto la importancia del control de tiempo durante la medición de la ICU. Si las temperaturas utilizadas para cuantificar la magnitud ICU no son sincrónicas, se deben ajustar de manera que lo sean, de lo contrario, la magnitud de la ICU sería inducida.

Conclusiones

En cuanto a la revisión de la literatura de ICU, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que existen pocos estudios que muestran una metodología específica para el estudio del fenómeno ICU, que podría ser consecuencia de omisiones o de un manejo inadecuado de la conceptualización, teorización y la observación de campo. La aplicación de las pautas metodológicas que resultan de este trabajo de investigación, eliminará la manera subjetiva y simplista con que es manejado el concepto magnitud de ICU. Sin embargo, es prudente mencionar que esta revisión se limitó a estudios observacionales bajo el enfoque del modelo de Capa de Dosis Urbano, que es la capa superficial de la atmósfera situada por encima del suelo y por debajo de la línea de techo, en donde se desarrolla y afecta la actividad humana causando problemas de contaminación, salud, confort térmico e incrementando el consumo de energía por enfriamiento.

Referencias

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. y Wieringa, J. (2003). Guidance on Metadata and Homogenization. *World Meteorological Organization: Geneva. WMO Technical Document No. 1186.*
- Arnfield, J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*. 23, 1-26.
- Bohm, R. y Gabl, K. (1978). The urban heat island in dependence of different meteorological parameters. *Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology*. 26, 219-37.
- Chandler, T. J. (1970). Urban climatology. Inventory and prospect. In *Urban Climates – Proceedings of the Symposium on Urban Climates and Building Climatology*, October 1968, Brussels. WMO Technical Note No. 108. World Meteorological Organization: Geneva.
- Chandler, T. J. (1964). City growth and urban climates. *Weather*. 19, 170-171.
- Chandler, T. J. (1962). Temperature and humidity traverses across London. *Weather*. 17, 235-241.
- Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Ghihenneuc-Jouyau, C., Clavel, J., Jougla, E. y Hémon, D. (2006). Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International arch occupation Environ Health*. 80(1), 16-24.
- Garland, L. (2011). *A review of "Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas"*. Taylor & Francis Routledge Psychology Press. Londres, Inglaterra 208p.
- Goldreich, Y. (1984). Urban topoclimatology. *Progress in physical geography*. 8, 336-364.
- Grimmond, C. S. B. (2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and applied climatology*. 84, 3-22.
- Howard, L. (1833). *The Climate of London*. International Association for Urban Climate. Londres, Inglaterra. Dalton: 208p
- Landsberg, H. E. (1970). Meteorological observations in urban areas. *Meteorological monographs*. 11, 91-99.

- Landsberg, H.E. (1981). *The Urban Climate*. New York, Estados Unidos de Norteamérica: Academic Press, 275p.
- Lowry, W. P. (1977). Empirical estimation of the urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of applied meteorology*. 16, 129-135.
- Oke, T. R. (2009). The need to establish protocols in urban heat island work. *T.R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment, 11-15*. Obtenido de: <http://ams.confex.com/ams/89annual/techprogram/paper150552.htm>.
- Oke, T. R. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and applied climatology*. 84, 179-190.
- Oke, T. R. (2004). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. *World meteorological organization: Geneva*. Report 81.
- Oke, T. R. (1995). Classics in physical geography revisited Sundborg A. 1951: Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area. *Progress in physical geography*. 19, 107-113.
- Oke, T. R. (1988). The urban energy balance. *Progress in physical geography*. 12, 471-508.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*. 108, 1-24.
- Oke, T. R., (1979). Review of Urban Climatology 1973-1976. *World Meteorological Organization: Geneva*. WMO Technical Note No. 169
- Oke, T. R., (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*. 14, 269-277.
- Oke, T. R., Maxwell G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric environment*. 9, 191-200.
- Parry, M. (1956). Local temperature variations in the Reading area. *Quarterly journal of the royal meteorological society*. 82, 45-57.
- Runnalls, K. E. y Oke, T. R. (2006). A technique to detect microclimatic inhomogeneities in historical records of screen-level air temperature. *Journal of climate*. 19, 959-978.
- Stewart, I. D. (2007). Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950 – 2006. *Acta Climatologica et Chorologica* 40-41, 111-121.
- Stewart, I. D. y Oke, T. R., (2009a). Conference notebook – A new classification system for urban climate sites. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 90, 922-923.
- Stewart, I.D. y Oke, T. R. (2009b). Classifying urban climate field sites by “local climate zones”: The case of Nagano, Japan. *In Preprints, Seventh International Conference on Urban Climate*. 29 June-3 July, Yokohama.
- Stewart, I.D. (2011). Redefining the urban heat island. Tesis Doctoral, University of British Columbia, 335p.
- Szymanowski, M. (2005). Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat island of Wrocław, Poland. *Theoretical and applied climatology*. 82, 207-224.
- Valiela, I. (2001). Doing Science: Design, analysis and communication of scientific research. *Oxford University Press: New York*.
- Wanner, H., y Filliger, P. (1989). Orographic influence on urban climate. *Weather and climate*. 9, 22-28.
- World Meteorological Organization (WMO). (1983). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. *World Meteorological Organization. Geneva*. WMO 8, 51p.