

# LA ISLA DE CALOR URBANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO A FINALES DEL SIGLO XIX\*

Ernesto Jáuregui Ostos\*\*

## Resumen

A fines del siglo pasado (1895) Manuel Moreno y Anda, climatólogo del Servicio Meteorológico Nacional, señaló los contrastes térmicos entre el centro de la Ciudad de México (en Palacio Nacional) y el Observatorio de Tacubaya, sitio que entonces tenía un carácter rural.

**Palabras clave:** isla de calor, México, D. F.

## Summary

During the last decade of the XIX Century Manuel Moreno y Anda, a climatologist at the Meteorological Office published a paper on the urban/rural thermal contrasts in Mexico City. Using Moreno's temperature data, of the seasonal variation of the urban heat island intensity is described in what was then a small city. Trend analysis of the urban station (at the National Palace) for 11 years shows an increasing trend in the minimum temperature that may be attributed to urbanization.

**Key words:** heat island, tropical cities, Mexico City.

## 1. Introducción

Como es sabido, la climatología urbana estudia las alteraciones que sufre el clima, ocasionadas por el proceso de urbanización. Con la revolución industrial en Europa y Estados Unidos se origina el crecimiento acelerado de las grandes capitales como Londres, París, Berlín y Nueva York. Desde entonces sus habitantes percibieron el aire urbano más denso y turbio, más tibio y seco que el aire del campo vecino.

Ya en 1818 un climatólogo inglés, Luke Howard, publica un libro que resume sus observaciones sobre el clima de Londres, incluyendo el tema de la contaminación del aire por las emanaciones de la ciudad. Al describir en 1820 una tabla de temperaturas del aire de dos lugares, uno dentro y otro en la periferia, Howard pudo determinar que el aire en la ciudad era más tibio en la noche y más fresco en el día que en el campo, atribuyendo dicho fenómeno a la quema de combustible (Landsberg, 1969).

\*Recibido: 30 de abril de 1992.

\*\*Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D. F.

Unos años después, el climatólogo francés E. Renou, en 1855, encuentra diferencias de temperatura (de 1 a 2°C) entre el centro de París y los suburbios, atribuyendo el fenómeno al calor metabólico emanado de los parisinos y de las numerosas chimeneas de la ciudad.

En la última década del siglo y aparentemente ajeno a los descubrimientos de Howard y Renou, el climatólogo mexicano Manuel Moreno y Anda (1899) publica el trabajo titulado "Una comparación de los climas de México y Tacubaya". En dicho trabajo utilizando los datos de dos estaciones, una urbana (del Observatorio Meteorológico Central) y otro rural (el Observatorio Astronómico de Tacubaya), determinó los contrastes ciudad-campo que caracterizan a la llamada **isla de calor urbano**, de 1895-1896.

En el periodo de 1858 a 1910 la capital del país registró un importante desarrollo, su área urbana aumentó cuatro veces (Garza, 1988). Según G. Garza, el crecimiento de la ciudad estuvo asociado entonces a la expansión del sistema de transporte urbano que primero contó con tranvías (de mulas) y luego con los eléctricos.

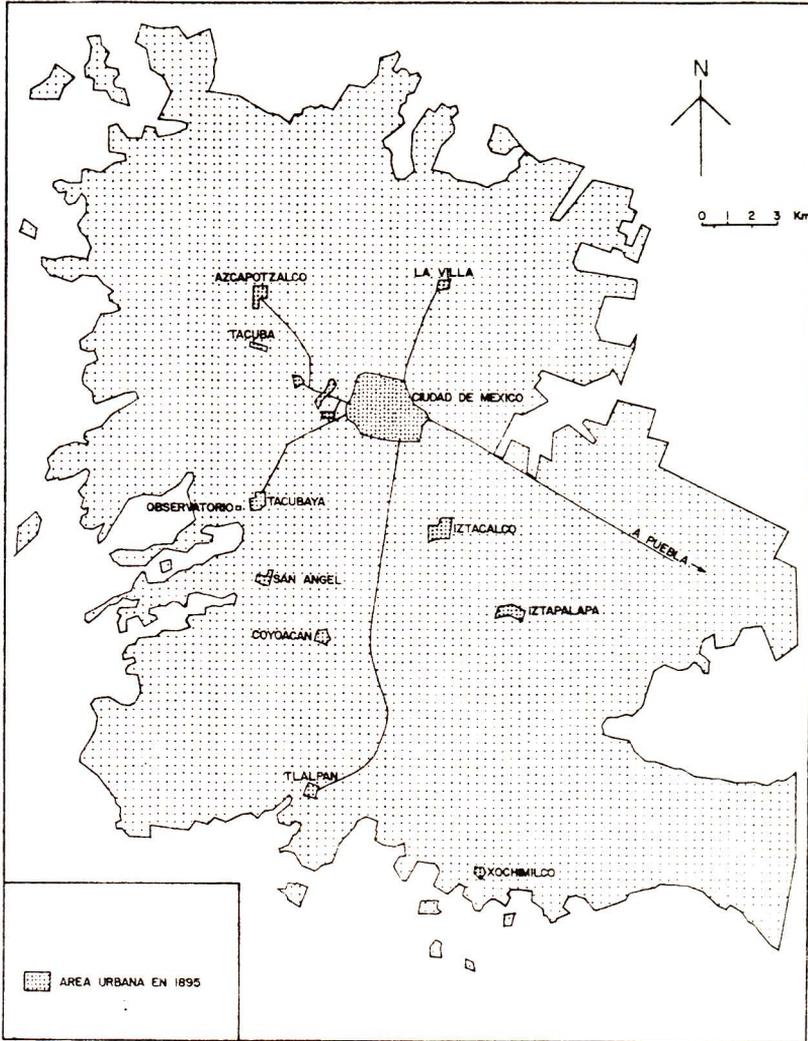
La población de la capital pasó en el periodo mencionado de 185 000 a 471 000 habitantes, lo que implica que entre 1895-1896, de los datos de Moreno, la ciudad contaba con unos 400 000 habitantes y ya concentraba las más importantes fábricas de papel, tabacaleras y de aceites del país (Garza, 1988). La extensión de la ciudad se circunscribía a un cuadrado de unos 4 km de lado (según el plano de Valdéz y Cuervo de 1880) es decir, unos 16 km<sup>2</sup> (figura 1).

Situémonos en la ciudad de México de fin de siglo, cuando el climatólogo Moreno realizó el estudio que nos ocupa.

El observatorio se ubicaba, según lo describe Moreno, en la azotea del Palacio Nacional y los termómetros en "una galería de persianas que corre a lo largo de la pared del edificio". De modo que esta estación se ubicaba, aproximadamente a unas cuatro cuadras al este del centro geométrico del área urbana.

En cambio el Observatorio Astronómico de Tacubaya se encontraba "sobre una de las extensas lomas que formaban la vertiente occidental del Valle de México, a 1 km al W de la ciudad de Tacubaya y a 8 km al WSW de la capital". El termómetro se encontraba "en un pabellón de persianas, doble techo, a dos aguas y emparrillado en el piso que descansa sobre nueve pilastras de ladrillo de 30 cm de altura. El bulbo

de los termómetros a 1.5 m sobre el suelo, siendo la diferencia de altura entre las dos estaciones de 54 m" (figura 1).



**Figura 1.** Área urbana en 1895.

Moreno procede enseguida su trabajo minucioso al comparar los regímenes térmicos de los dos lugares, uno establecido en lo que él llama “el centro de la populosa capital” (es decir, en la azotea del Palacio Nacional), el otro en “pleno campo” que era entonces el Observatorio Astronómico de Tacubaya. Calcula así, para dos años de observaciones,

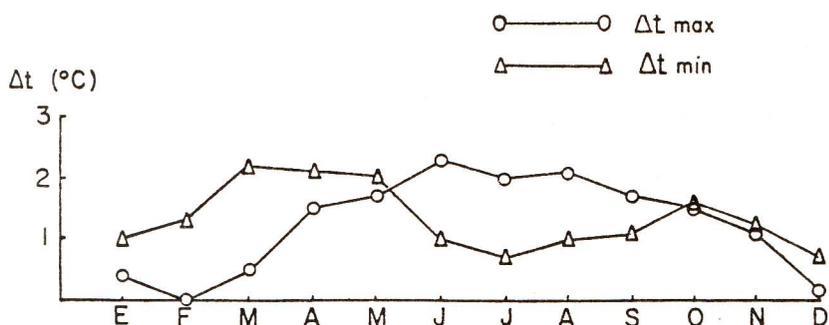
los contrastes térmicos medios mensuales para tres horas del día (7, 14 y 21 horas) y su evolución a través del año, llegando a la conclusión que la temperatura media anual del centro de la ciudad era entonces  $1.4^{\circ}\text{C}$  más alta que en el campo.

Moreno llega a la conclusión de que la diferencia térmica encontrada por él, no puede atribuirse a la mayor altura que tiene Tacubaya (50 m más elevada) pues por esta condición sólo podría reducirse en  $0.3^{\circ}\text{C}$  dicha temperatura, quedando el resto de la diferencia ( $1.1^{\circ}\text{C}$ ) sin una explicación aparente. Esta observación de Moreno nos indica que si bien tenía el conocimiento del concepto del gradiente térmico vertical medio (de  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 180 m, según nos explica) dejó sin explorar las posibles causas del contraste térmico ciudad-campo que observó escrupulosamente.

## 2. La isla de calor

### a) Nocturna

Utilizando los datos de Palacio Nacional (PN) y Tacubaya (TYA) recopilados por Moreno para 1896 se obtuvo la gráfica de la **figura 2** que muestra la variación estacional de las diferencias de temperatura entre los dos sitios. La curva de los contrastes de las temperaturas mínimas representa las diferencias térmicas más altas al final del periodo de enfriamiento nocturno. Se advierte de la gráfica que las diferencias térmicas al amanecer entre el centro de la ciudad (PN) y su entorno (TYA) son positivas (es decir, el aire urbano es más tibio que en el campo) siendo máximas (de  $2^{\circ}\text{C}$ ) en las mañanas de marzo a mayo al final de la estación seca y decreciendo a  $1^{\circ}\text{C}$  durante las mañanas de la época de lluvias.



**Figura 2.** Contraste térmico promedio mensual de las temperaturas máxima y mínima entre Palacio Nacional y Tacubaya en 1896.

Esta variación estacional de la intensidad de la isla de calor nocturna se puede atribuir principalmente a los cambios en la inercia térmica (o admitancia) de los suelos del sitio rural (Tacubaya). Durante la seca (noviembre-abril) la inercia térmica<sup>1</sup> de los suelos en Tacubaya decrece considerablemente (al perder éstos la humedad) respecto de los materiales (asfalto, piedra) de la ciudad cuya inercia térmica permanece sensiblemente invariable en el curso de un año. Según han demostrado Oke *et al.* (1991) mediante modelación, aquellas ciudades rodeadas de vegetación se caracterizan por islas de calor pequeñas (en intensidad) debido principalmente al menor contraste en las admitancias ciudad-campo. Tal es el caso de la ciudad de México a fines del siglo y durante la estación de lluvias. Es entonces cuando el contraste térmico del aire citadino nocturno respecto al del campo es mínimo (de 1°C o menos) según se aprecia en la **figura 2**.

#### b) Diurna

En la misma **figura 2** se muestran las diferencias térmicas (PN)-(TYA) a la hora de ocurrencia de la temperatura máxima (aproximadamente a las 2 pm). A dicha hora la curva de contraste térmico muestra también una variación estacional siendo mayor (de hasta 2°C) durante las lluvias y mínima en los meses secos.

Si bien durante la noche el proceso dominante que da lugar a la isla de calor es la diferencia de la rapidez de enfriamiento nocturno de los materiales de que está hecha la ciudad respecto del suelo rural circundante, el proceso dominante durante el día es probablemente (además del contraste en las admitancias) la mayor captación de radiación solar de las construcciones urbanas, lo que da por resultado una mayor liberación de calor sensible hacia el aire urbano superficial en las primeras horas de la tarde. Durante los meses de invierno la intensidad de la isla de calor en la tarde es pequeña o nula debido, quizá, a que a esas horas los vientos regionales (del Oeste), que son generalmente enérgicos y turbulentos, atenúan la magnitud de las diferencias térmicas ciudad-campo. En resumen, el fenómeno de la isla de calor urbano se observaba ya en la capital del país a finales del siglo XIX, siendo su intensidad media entonces relativamente pequeña (de unos 2°C) en proporción a la extensión que tenía entonces la ciudad capital. En la actualidad la extensión del tejido urbano de la ciudad de México es de unos 900 km<sup>2</sup>, es decir, unas 56 veces más extensa que la de aquellos años, siendo la intensidad media

---

<sup>1</sup>La inercia térmica de un material es igual a la raíz cuadrada del producto de la conductividad térmica, el calor específico y la densidad de dicho material.

Esta variación estacional de la intensidad de la isla de calor nocturna se puede atribuir principalmente a los cambios en la inercia térmica (o admitancia) de los suelos del sitio rural (Tacubaya). Durante la seca (noviembre-abril) la inercia térmica<sup>1</sup> de los suelos en Tacubaya decrece considerablemente (al perder éstos la humedad) respecto de los materiales (asfalto, piedra) de la ciudad cuya inercia térmica permanece sensiblemente invariable en el curso de un año. Según han demostrado Oke *et al.* (1991) mediante modelación, aquellas ciudades rodeadas de vegetación se caracterizan por islas de calor pequeñas (en intensidad) debido principalmente al menor contraste en las admitancias ciudad-campo. Tal es el caso de la ciudad de México a fines del siglo y durante la estación de lluvias. Es entonces cuando el contraste térmico del aire citadino nocturno respecto al del campo es mínimo (de 1°C o menos) según se aprecia en la **figura 2**.

### b) Diurna

En la misma **figura 2** se muestran las diferencias térmicas (PN)-(TYA) a la hora de ocurrencia de la temperatura máxima (aproximadamente a las 2 pm). A dicha hora la curva de contraste térmico muestra también una variación estacional siendo mayor (de hasta 2°C) durante las lluvias y mínima en los meses secos.

Si bien durante la noche el proceso dominante que da lugar a la isla de calor es la diferencia de la rapidez de enfriamiento nocturno de los materiales de que está hecha la ciudad respecto del suelo rural circundante, el proceso dominante durante el día es probablemente (además del contraste en las admitancias) la mayor captación de radiación solar de las construcciones urbanas, lo que da por resultado una mayor liberación de calor sensible hacia el aire urbano superficial en las primeras horas de la tarde. Durante los meses de invierno la intensidad de la isla de calor en la tarde es pequeña o nula debido, quizá, a que a esas horas los vientos regionales (del Oeste), que son generalmente enérgicos y turbulentos, atenúan la magnitud de las diferencias térmicas ciudad-campo. En resumen, el fenómeno de la isla de calor urbano se observaba ya en la capital del país a finales del siglo XIX, siendo su intensidad media entonces relativamente pequeña (de unos 2°C) en proporción a la extensión que tenía entonces la ciudad capital. En la actualidad la extensión del tejido urbano de la ciudad de México es de unos 900 km<sup>2</sup>, es decir, unas 56 veces más extensa que la de aquellos años, siendo la intensidad media

---

<sup>1</sup>La inercia térmica de un material es igual a la raíz cuadrada del producto de la conductividad térmica, el calor específico y la densidad de dicho material.

máxima correspondientemente mayor (de unos  $9^{\circ}\text{C}$ ) (Jáuregui, 1986).

La relación entre la intensidad de la isla de calor y el tamaño de las ciudades ha sido primero señalado por Oke (1973). Posteriormente, Jáuregui (1986) ha examinado dicha relación para las ciudades tropicales. Es evidente que, como señala Oke, el tamaño de la ciudad involucra factores físicos implícitos en el tamaño de la ciudad expresado en forma gruesa por su población. Tales factores pueden ser, por ejemplo, la distancia que sobre el tejido urbano recorre el viento (*fetch*) antes de llegar al sitio de observación, en consecuencia, la acumulación de calor, o el efecto del calor antropogénico o, en fin, la forma y materiales de los edificios y construcciones.

### 3. Efectos de largo periodo de la urbanización sobre la intensidad de la isla de calor

El efecto de la urbanización en el clima de las ciudades es una reducción en la amplitud de la temperatura (véase, por ejemplo, Karl *et al.*, 1988; Jáuregui, 1990). Esta reducción se debe principalmente al aumento de las temperaturas mínimas como puede advertirse en la **figura 3**, que ilustra la variación de las temperaturas (máxima y mínima) para febrero, del observatorio Palacio Nacional y para el periodo 1878-1889. Se advierte una clara tendencia de las temperaturas mínimas a aumentar durante el periodo considerado cuando la ciudad capital comenzó a crecer. A medida que creció el tejido urbano y aumentó la densidad de las construcciones se hizo más lenta también la rapidez de enfriamiento del aire urbano nocturno respecto al aire rural. Por otra parte, las temperaturas máximas que coinciden con el periodo de mayor turbulencia (y mezclado) del aire, dentro y fuera de la ciudad, muestran una ligera tendencia decreciente (aunque no significativa) para el periodo señalado.

De la **figura 3** se desprende también que la rapidez máxima con que se incrementó la temperatura mínima del aire urbano en la capital de 1879 a 1889 y para un mes de septiembre fue de  $0.18^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . Este incremento se reduce considerablemente cuando se examina la tendencia de la temperatura media para dicho mes. En este último caso la rapidez de calentamiento del aire urbano en el periodo señalado es de  $0.08^{\circ}\text{C}/\text{año}$ .

máxima correspondientemente mayor (de unos  $9^{\circ}\text{C}$ ) (Jáuregui, 1986).

La relación entre la intensidad de la isla de calor y el tamaño de las ciudades ha sido primero señalado por Oke (1973). Posteriormente, Jáuregui (1986) ha examinado dicha relación para las ciudades tropicales. Es evidente que, como señala Oke, el tamaño de la ciudad involucra factores físicos implícitos en el tamaño de la ciudad expresado en forma gruesa por su población. Tales factores pueden ser, por ejemplo, la distancia que sobre el tejido urbano recorre el viento (*fetch*) antes de llegar al sitio de observación, en consecuencia, la acumulación de calor, o el efecto del calor antropogénico o, en fin, la forma y materiales de los edificios y construcciones.

### **3. Efectos de largo periodo de la urbanización sobre la intensidad de la isla de calor**

El efecto de la urbanización en el clima de las ciudades es una reducción en la amplitud de la temperatura (véase, por ejemplo, Karl *et al.*, 1988; Jáuregui, 1990). Esta reducción se debe principalmente al aumento de las temperaturas mínimas como puede advertirse en la **figura 3**, que ilustra la variación de las temperaturas (máxima y mínima) para febrero, del observatorio Palacio Nacional y para el periodo 1878-1890. Se advierte una clara tendencia de las temperaturas mínimas a aumentar durante el periodo considerado cuando la ciudad capital comenzó a crecer. A medida que creció el tejido urbano y aumentó la densidad de las construcciones se hizo más lenta también la rapidez de enfriamiento del aire urbano nocturno respecto al aire rural. Por otra parte, las temperaturas máximas que coinciden con el periodo de mayor turbulencia (y mezclado) del aire, dentro y fuera de la ciudad, muestran una ligera tendencia decreciente (aunque no significativa) para el periodo señalado.

De la **figura 3** se desprende también que la rapidez máxima con que se incrementó la temperatura mínima del aire urbano en la capital de 1879 a 1889 y para un mes de septiembre fue de  $0.18^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . Este incremento se reduce considerablemente cuando se examina la tendencia de la temperatura media para dicho mes. En este último caso la rapidez de calentamiento del aire urbano en el periodo señalado es de  $0.08^{\circ}\text{C}/\text{año}$ .

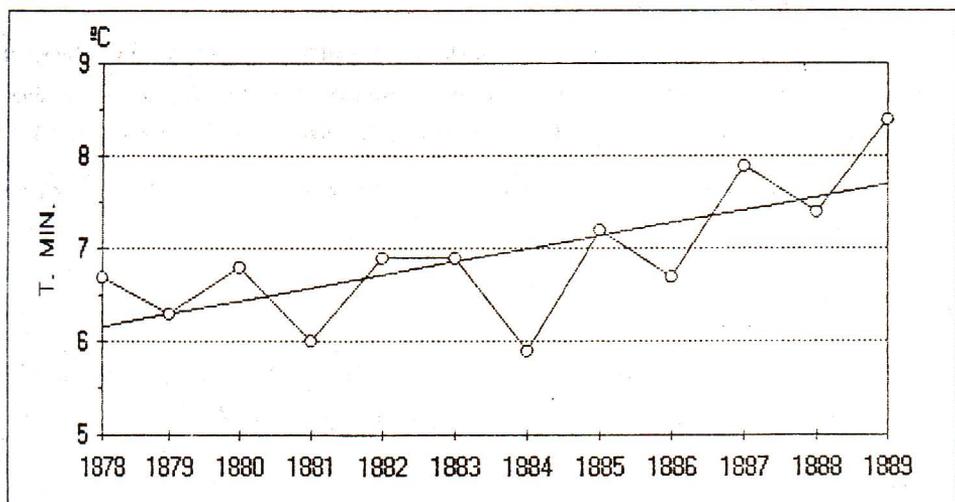
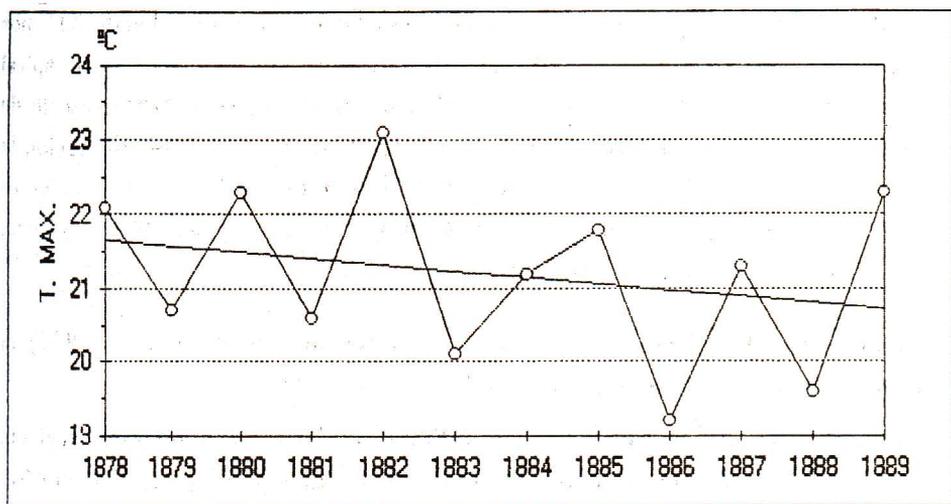


Figura 3. Variación de la temperatura máxima y mínima media para febrero en la estación Palacio Nacional, periodo 1878-1889.

#### 4. Conclusiones

Los estudios de climatología urbana se iniciaron en México a fines del siglo XIX por el climatólogo Moreno y Anda, quien advirtió por primera vez que el aire de la capital mexicana era más tibio que el de un sitio rural, que era entonces el Observatorio de Tacubaya. Esta diferencia térmica persistió aun cuando se tuviera en consideración la diferencia de altitud entre los dos sitios según señala Moreno de Anda. Utilizando los datos de temperatura del trabajo de Moreno y Anda y otros del Servicio Meteorológico, Jáuregui ha derivado los siguientes resultados.

1. La magnitud de la isla de calor urbano era entonces pequeña (de unos  $2^{\circ}\text{C}$ ) en proporción a la extensión de la ciudad.
2. Durante el periodo de 11 años (1878-1889) se advierte una tendencia creciente significativa de las temperaturas mínimas en un mes de secas en Palacio Nacional. Este aumento quizá es el resultado de la urbanización creciente que se registró en dicho periodo.
3. La intensidad de la isla de calor nocturna muestra una variación estacional con un máximo en la estación seca posiblemente originada por los cambios estacionales en la admitancia de los suelos en las áreas rurales circundantes.
4. La isla de calor persistía en la capital durante la tarde siendo mínima en los meses de seca.

#### Reconocimiento

Los datos climatológicos fueron procesados por F. Cruz y E. Romales. A. Estrada realizó los dibujos. El trabajo estenográfico estuvo a cargo de G. Zárraga.

#### Referencias

- Garza, G. (1988), Atlas de la Ciudad de México, Secretaría General de Desarrollo Social, DDF y Colegio de México, pág. 12.
- Jáuregui, E. (1986), The Urban Climate of Mexico City, en Proceedings WMO Technical Conference on Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas, T. Oke (ed.), págs. 63-86.
- Jáuregui, E. (1986), Tropical Urban Climates: Review and Assessment, en Proceedings WMO Technical Conference on Urban Climatology, T. Oke (ed.), págs. 26-45.

- Járegui, E. (1991), Aspects of Monitoring Local/Regional Climate Changes in a Tropical Region, Proceedings of CIES, Tsukuba, Japón.
- Karl, T., H. Díaz y G. Kukla (1988), Urbanization in the US Record, *J. of Climate*, **1**, págs. 1099-1123.
- Landsberg, H. (1969), City Climate, in *World Survey of Climatology, General Climatology*, vol. 1, Flohn (ed.), págs. 229-336.
- Moreno y Anda, M. (1899), Una comparación de los climas de México y Tacubaya, *Boletín Servicio Meteorológico Nacional*, t. II (5), págs. 143-152.
- Oke, T.R. (1973), City Size and the Urban Heat Island, *Atmos. Envir.* **7**, págs. 769-779.
- Oke, T.G., D. Steyn Johnson y D. Watson (1991), Simulation of Surface heat Islands under "ideal" conditions at night, Part II Diagnosis of Causation *Boundary-Layer Meteor.*, **56**, págs. 339-358.
- Renou, E. (1862), Differences de temperature entre Paris et Choisi-le Roi, *Ann. Soc. Meteorol. Frances*, **87**, págs. 346-363.