

# ISLA DE CALOR Y CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Por

Laura Ángel<sup>1</sup>, Alberto Ramírez<sup>1</sup>, Efraín Domínguez<sup>1</sup>

## Resumen

Ángel L, A. Ramírez & E. Domínguez: Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (131): 173-183, 2010. ISSN 0370-3908.

El planeta en su conjunto viene experimentando durante los últimos años un proceso de calentamiento cuya principal causa señala a la acumulación de los gases de invernadero en la atmósfera. De otro lado, ha sido ampliamente documentado el hecho de la existencia de islas térmicas al interior de las ciudades producto, principalmente, del cambio de suelos cubiertos por vegetación por otros de índole urbana como asfalto, concreto, ladrillos, etc. Sobre el marco anterior, esta investigación evaluó los cambios en la temperatura media, mínima y máxima ocurridos en la ciudad de Bogotá durante los últimos 40 años y evidenció la presencia de una isla de calor que se extiende por la mayor parte de la ciudad, y que supera en cerca de 3°C a la temperatura media de la periferia. Así mismo, se hicieron evidentes períodos de aumento y disminución de la temperatura de la ciudad, cuyas tendencias seculares no son afectadas por el Fenómeno del Niño y que se manifiestan con mayor fuerza en la periferia.

**Palabras clave:** islas térmicas urbanas, calentamiento global, ecología urbana, urbanización.

## Abstract

The planet Earth, as a whole, has experienced a warming process caused principally by the accumulation of atmospheric greenhouse gases. Otherwise, it has been well demonstrated that thermic islands exist inside of cities, essentially as a result of the replacement of forest areas with urban materials such as asphalt, concrete, bricks, etc. Based on this foundation, this research evaluated the minimum, median and maximum temperature changes that occurred in the city of Bogotá over the last 40 years. This research makes evident the presence of a heat island 3°C over the periphery median temperature in most of the city. There were also periods with increases and decreases in city temperatures, not affected in its main tendency by the Niño Phenomena which in contrast affected the periphery.

**Key words:** islas térmicas urbanas, calentamiento global, ecología urbana, urbanización.

---

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

## Introducción

Hace apenas un siglo el 14% de la población mundial vivía en las urbes (**Naciones Unidas**, 2001), en tanto hoy alcanza ya el 50%, si bien en algunos países desarrollados tales cifras se aproximan a 75 y 80%. El crecimiento de la población humana continúa su carrera exponencial a una tasa media de 1% anual, mientras que el crecimiento urbano hace lo propio a una velocidad casi dos veces superior (1,8%) (**Naciones Unidas**, 2004).

Algunas consecuencias de la urbanización incluyen pérdida de áreas verdes, reducción en la captación de gases de carbono, mayor emisión de contaminantes atmosféricos, impermeabilidad de los suelos y almacenamiento de calor en estructuras, superficies y aire, dando origen a las llamadas islas térmicas (**Valor et al.**, 2000; **Grimmond**, 2007). La temperatura urbana, no obstante, es afectada no sólo por condiciones antrópicas como la altura y densidad de las edificaciones y el tipo de superficies, sino por variables naturales relativas a vientos, humedad, precipitación y nubosidad (**Givoni**, 1998).

Con respecto a las emisiones de carbono urbanas, éstas son responsables del 97% del CO<sub>2</sub> antropogénico, de los cuales 60% proviene del transporte y la construcción y 40% del sector industrial (**Svirejeva-Hopkins et al.**, 2004). Por lo anterior, es un hecho que la urbanización constituye un cambio drástico de la naturaleza y ésta incide en los cambios globales (**IPCC**, 2002; **Foley et al.**, 2005).

Como efecto de la contaminación atmosférica de origen antrópico, a partir de 1957 el CO<sub>2</sub> se incrementó de 315 a 362 ppm, lo que representa la principal causa del calentamiento global (**Vitousek et al.**, 1997). Con base en diferentes escenarios simulados y teniendo en cuenta las emisiones de 1991 a 2010, se espera que los niveles de estabilización del CO<sub>2</sub> estén entre 450 y 1000 ppmv (**IPCC**, 2002) y, para tales condiciones, la temperatura del planeta podría incrementarse en aproximadamente 2°C.

De acuerdo con el **IPCC** (2001), el clima de la Tierra está cambiando y la temperatura mundial de la superficie ha aumentando desde finales del siglo XIX; la mayor parte del aumento se ha dado después de 1976, siendo la década de los noventa la más cálida. Este fenómeno aunque global, ha sido más notorio en el hemisferio norte.

En los sistemas urbanos las áreas verdes expresan más sombra, frescura, refugio a la lluvia, humedad y filtración de aire, en contraposición con las edificaciones que son estructuras que almacenan calor (**Oke**, 1989; **Olgyay**, 1998; **Huang et al.**, 2007), lo que conduce a la formación de gradientes térmicos entre las áreas urbanas y rurales.

Estudios realizados por Oke en la ciudad de Vancouver encontraron que las áreas boscosas son hasta 5,5°C más frías que las urbanas, mientras que los parques urbanos verdes son 1,1°C más fríos que las áreas edificadas. Las zonas verdes, por tanto, mitigan los impactos térmicos al interior de las ciudades (**Wong et al.**, 2005), en tanto las zonas industriales en primer término, y las comerciales en segundo, generan los mayores incrementos en las temperaturas (**Jusuf et al.**, 2007).

Estudios recientes en New York, Calgary, Vancouver, Montreal y otras ciudades de Europa y Norte América, muestran que la temperatura urbana es 4 a 7°C mayor que la de las áreas rurales vecinas y que hay relación directa (vía exosomática) con el tamaño poblacional. Por demás, se ha incrementado entre 1,5 y 5°C la temperatura nocturna de las grandes ciudades (**Makar et al.**, 2006).

Para la ciudad de Columbia se ha encontrado intensificación y expansión de la isla de calor desde 1967 (**Landsberg et al.**, 1981) y, de manera similar, para San Juan de Puerto Rico se encontró que la temperatura de la ciudad ha incrementado 0.06°C por año durante los últimos 30 años, siendo el área comercial de la ciudad la zona más caliente (**Gonzalez et al.**, 2005). Resultados semejantes se han observado en la ciudad de Shenzhen (China) cuyos efectos en la temperatura no sólo son locales sino regionales (**Chen et al.**, 2006). De igual modo, en Kuwait cada vez son más frecuentes los casos de temperaturas mayores a 50°C, con incrementos entre 0,3 y 0,8°C por año desde 1972, lo que significa no sólo un mayor gasto energético per cápita en aire acondicionado, sino mayor cantidad de equipos que arrojan calor al exterior (**Al-Fahed et al.**, 1997).

A consecuencia del incremento de la temperatura, se ha estimado para Hong Kong bajo el supuesto de incremento de la temperatura en 1°C, que subirá el consumo energético doméstico en 9,2%, el comercial en 3% y el industrial en 2,4%, lo cual representa un costo adicional de HK \$1.6 billones por año (**Fung et al.**, 2006). Al respecto, **Saylor y Muñoz** (1997) han establecido que el consumo de energía está asociado a la temperatura ambiental, y que más del 80% de la energía consumida en Estados Unidos se relaciona con dicha variable.

La ciudad de Bogotá no ha sido ajena al crecimiento poblacional, a la urbanización y a la contaminación atmosférica, así como a la reducción de sus zonas verdes con pérdida de espacios para recreación, esparcimiento, conservación y menoscabo de beneficios ambientales (**Alcaldía Mayor de Bogotá**, 2000; **Preciado et al.**, 2005). Como muchas otras ciudades de Latinoamérica, su desarrollo se dio a partir del centro y con expansión hacia la periferia

siguiendo los desarrollos del ferrocarril y las vías presentes, bajo una continua y manifiesta falta de planeación (Jiménez, 2002). La ciudad expone alta contaminación atmosférica, 60% de la cual se atribuye a los vehículos y el restante 40% a las industrias; a su vez, la zona norte de la ciudad muestra mayor cobertura de zonas verdes que el resto de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000).

Estudios de evaluación de la temperatura realizados por Montealegre (1979) y León (1998), encontraron que la temperatura en Bogotá ha venido aumentando, en tanto Pabón *et al.* (1998) refieren la presencia de una isla de calor que se viene formando desde 1970 en el centro de la ciudad y que se expande hacia el norte. En tal sentido, esta investigación pretende continuar y actualizar los estudios de temperatura del aire sobre la ciudad de Bogotá, con el propósito de constatar los resultados previamente encontrados, así como evaluar posibles variaciones de éstos, a la luz de los procesos de urbanización y expansión de la ciudad.

**Metodología**

La ciudad de Bogotá se encuentra ubicada en el sistema orográfico de los Andes a una altitud de 2650 msnm, con variaciones en el perímetro urbano entre 2550 y 2800 msnm (figura 1). Tiene un área de 163575 has, 74% de las cuales son de suelo rural, 24% de suelo urbano y 2% de suelo de expansión (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010) y cuenta con una población de 7'881156 habitantes en el área urbana (DANE, 2005).

El clima de la ciudad está ampliamente afectado por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) en la cual convergen las masas de aire de los hemisferios norte y sur en inmediaciones de la línea Ecuatorial, la cual se desplaza latitudinalmente dos veces por año causando un régimen pluvial de precipitación con dos máximos que se registran durante Abril-Mayo y Octubre-Noviembre, así como períodos secos durante Enero-Febrero y Julio-Agosto.

La precipitación total anual es cercana a 1000 mm con un gradiente espacial que oscila entre 800 mm en el sur de la ciudad y más de 1000 mm en el extremo nororiental (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010). De otro lado, el sistema de vientos predominante en la ciudad muestra corrientes que ingresan por el oriente y el suroriente y que se dirigen al norte y al noroccidente (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

Para la realización de esta investigación se recabó la información de temperatura media, máxima y mínima de diferentes estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM y de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. Con base en la cantidad de registros presentes y faltantes de dicha información, se eligieron diez estaciones para el análisis estadístico (Tabla 1).



Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas.

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas y características paisajísticas.

Estación	Ubicación	Características
Aeropuerto de Guaymaral - AtoG	Norte	
Instituto Alberto Merani - IM	Norte	
Jardín Botánico - JB	Central	Urbanización media con gran presencia de áreas verdes a su alrededor; en ocasiones en la periferia.
Aeropuerto P1-2 - Ato	Centro-occidente	
Hda. Las Vegas - HLV	Centro-occidente	
Vivero Venado de Oro - VVO	Centro-oriente	Urbanizada con influencia de los Cerros Orientales.
Doña Juana - DJ	Sur	
Universidad Nacional - UN	Central	
U. Pedagógica - UP	Central	Altamente urbanizada hace tres o más décadas.
INEM Kennedy - IK	Suroccidente	

El análisis de información consistió en pruebas de hipótesis de comparación de promedios (ANOVA) y medianas (Kruskal-Wallis para los casos de heteroscedasticidad), junto con comparaciones múltiples (Tukey) para aquellos resultados con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Zar, 1984; Sokal y Rohlf, 2000; Sheskin, 2003). Para ello se empleó el programa estadístico Kyplot v.2.0. Estas pruebas se aplicaron tanto entre estaciones (espacial) como décadas (temporal) y los resultados se expresaron gráficamente sobre el mapa para mejor comprensión de los mismos. Los análisis se hicieron por separado para las temperaturas media, máxima y mínima (grados Celsius). De otro lado, se realizaron curvas de diferencias integrales para cada estación (Druzhinin *et al.*, 1966) con el propósito de identificar las tendencias históricas en cada una de ellas (Ecuación 1).

$$Y_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - \bar{X}}{S} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

S: desviación estándar

$\bar{X}$ : promedio

Adicionalmente, se empleó el análisis de componentes principales (ACP) para caracterizar y ordenar la temperatura media de la ciudad en las diferentes Estaciones (Kendall, 1975; Chatterjee y Price, 1977; Johnson y Wichern, 1982). Por último se recabó información relativa al crecimiento poblacional (DANE, 2005) y de viviendas de la ciudad la cual se analizó mediante análisis de regresión lineal (Draper y Smith, 1981).

## Resultados y análisis

La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura media mensual para cada una de las estaciones meteorológicas junto con los valores máximos y mínimos para el período 1966-2005. En ellas se observa, por un lado, que la temperatura media prevalece en valores aproximados de 12 a 16 grados según la estación meteorológica, lo que marca una diferencia espacial aproximada de 4°C, destacándose como las más cálidas IM, UP, UN, IK y JB, y como las más frías DJ, VVO y AtoG.

Por otro lado, se observan variaciones térmicas que responden al ciclo anual con los valores más altos, por lo general, durante los meses de Abril, Mayo y Junio, y los más bajos durante Julio, Agosto y Septiembre, resultado que concuerda ampliamente con lo hallado por Montealegre (1979, 1990).

La aplicación del ACP a la media mensual de cada estación vía matriz de covarianza (figura 3), agrupa el 98% de información en el primer componente y alcanza 99% en los dos primeros componentes y las correlaciones entre los meses del año estuvieron todas por encima de 0,937 ( $p < 0,01$ ). Este análisis disoció tres grupos diferentes:

1. Mayor temperatura: corresponde a los valores positivos sobre el eje I e incluye UP, IM, IK, JB y UN, estaciones que fueron previamente referidas como las más cálidas.
2. Menor temperatura: VVO, AtoG, Ato y HLV.
3. Menor temperatura: DJ, esta estación se disoció del grupo anterior por cuanto expresa temperaturas aún más frías durante los meses de Julio y Agosto.

La expresión espacial de estos resultados permite visualizar que los registros de mayor temperatura se localizan en el interior de la ciudad, en tanto las temperaturas menores se localizan en la periferia. Estos resultados sugieren un claro efecto de las construcciones que incrementa la temperatura central de la ciudad y, en contraste, un efecto de refrigeración en los suburbios gracias a la presencia aledaña de extensas zonas rurales. Este patrón expresa un efecto de isla de calor que cumple con las características que dan lugar a éste, el cual ya había sido señalado por Pabón *et al.* (1998). Este fenómeno se explica por las interacciones urbano-urbano en el interior de las ciudades, y urbano-rural en la periferia (Amaya, 2005), por lo que los cambios en el uso del suelo constituyen una variable sustancial en la explicación de los gradientes espaciales de temperatura en las ciudades (Bello, 1995).

Cabe señalar que la estructura del suelo de Bogotá ha sido fuertemente modificada por la expansión del sector terciario por fuera del centro tradicional y por el crecimiento urbano de los municipios aledaños junto con los asentamientos no formales e ilegales en las periferias de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000).

De otro lado, los análisis temporales realizados a partir de las curvas de diferencia integral, permiten observar en la figura 4, las tendencias manifiestas en cada una de las estaciones meteorológicas, haciendo la salvedad de que existen diferencias en el número de años involucrados en cada estación. Se reconoce, como primera medida, que la temperatura media tiene un comportamiento no estacionario en todos los casos, lo que significa que ha habido períodos de calentamiento y enfriamiento.

La tendencia general para las estaciones más céntricas, o que exhiben mayor tiempo de urbanización histórica,

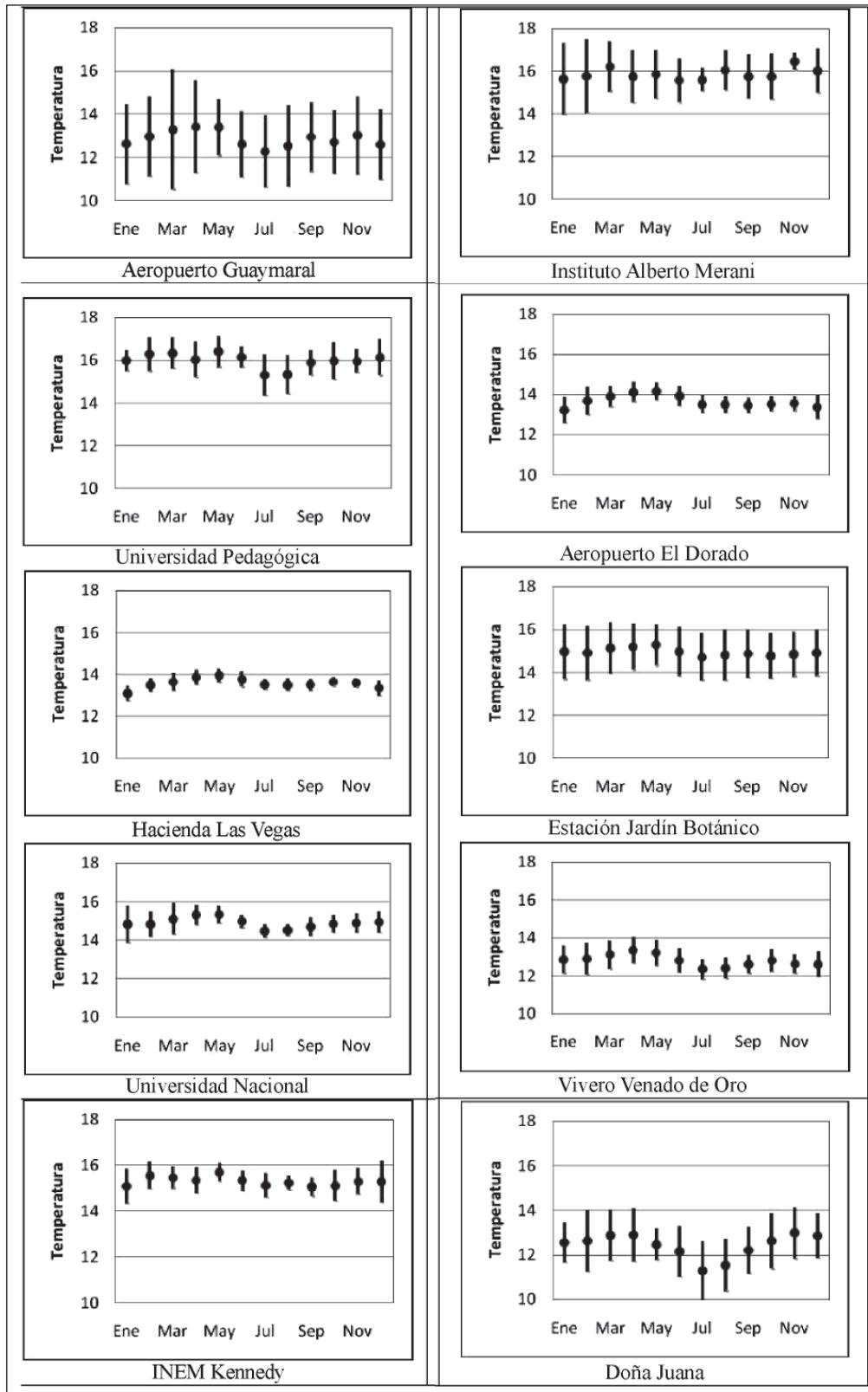


Figura 2. Temperatura media, máxima y mínima mensual para el período 1966-2005.

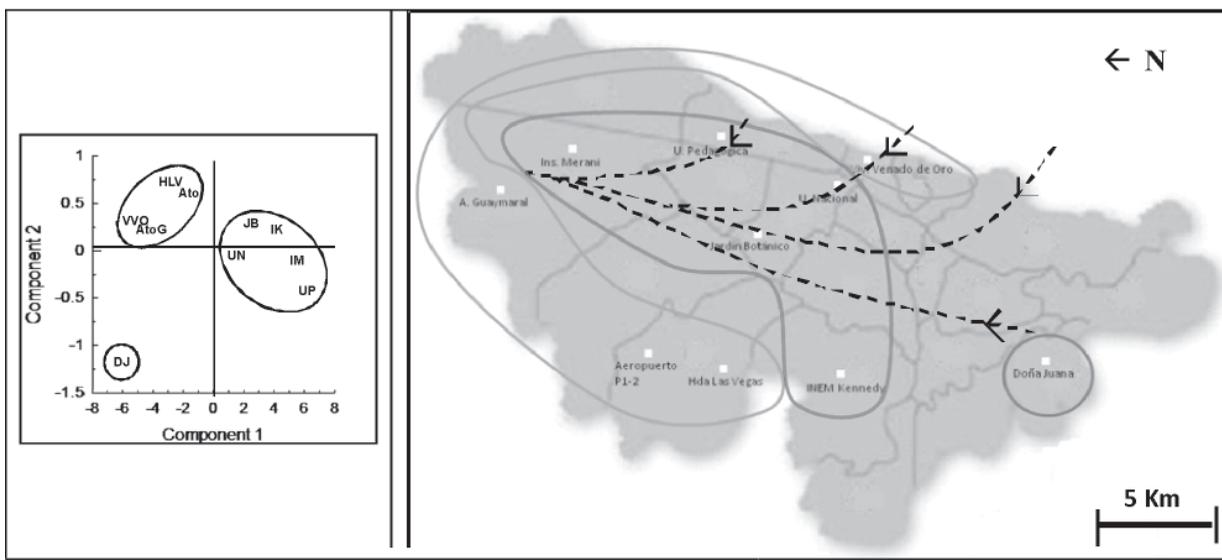


Figura 3. Análisis de componentes principales para las estaciones meteorológicas y espacialización de los resultados (Línea punteada: dirección de los vientos).

muestra reducción de la temperatura durante los 80, estabilidad durante los 90 e incremento durante la década del 2000. Por su parte, en las estaciones sobre los márgenes de la ciudad predomina disminución de la temperatura durante los 80 con incremento o estabilidad durante las últimas dos décadas. En tal sentido, hay más heterogeneidad en lo ocurrido en la periferia respecto al centro de la ciudad y en ello incide la diversidad de patrones climáticos.

Vale notar que para los tres parámetros de temperatura, la mayor cantidad de cambios estadísticamente significativos ocurrieron a finales de los 80 y principios de los 90.

De otro lado, cabe notar que el Fenómeno del Niño genera alteraciones de distinta índole en el clima mundial y en Colombia se manifiesta, de manera particular, con períodos más secos y cálidos que alcanzan hasta 2°C más que los promedios históricos (IDEAM, 2002). La manifestación del Fenómeno del Niño se ha hecho más frecuente, persistente e intensa desde mitad de los años 70 en comparación con períodos de tiempo anteriores (IPCC, 2002). Este estudio muestra que hubo incrementos de temperatura durante los años en que se manifestó este Fenómeno, pero que no modificó las tendencias seculares de aumento o disminución de la variable. El Fenómeno del Niño mostró los ma-

yores efectos en incremento de temperatura durante los años 1997-1998 y 1991-1992, el primero de ellos referido por el IDEAM (2002) como uno de los años con efectos más fuertes; esta Institución también destaca el período 1982-1983, pero los resultados encontrados en esta investigación no respaldan tal afirmación.

Las pruebas estadísticas señalan que el mayor número de cambios significativos en la temperatura media, mínima y máxima de las estaciones de una década a la siguiente, se ha incrementado gradualmente desde la década de los 60 hasta la fecha (figura 5) y, en particular, con incremento de esta variable. Si bien tales resultados están afectados por el número de registros totales de cada estación, la relación entre los cambios significativos positivos y negativos se incrementa de 5 a 7 en la temperatura media, es estable y ligeramente menor a 2 en la mínima y se incrementa de 2 a 12 para reducir después a 5 en la máxima, lo que denota una tendencia neta de aumento de la temperatura de la primera y la última variable. Los resultados de cada prueba estadística mes a mes, en cada estación y entre décadas se exponen en la tabla 2 para la temperatura media. Las estaciones que por regla general mostraron las temperaturas más frías y más cálidas fueron las siguientes:

Década	Menores	Mayores
1976 – 1985	VVO, Ato	AtoG, JB
1986 – 1995	DJ, VVO, HLV, AtoG	Ato, UN, JB, UP
1996 – 2005	DJ, VVO, HLV, Ato, AtoG	UN, IK, JB, IM, UP

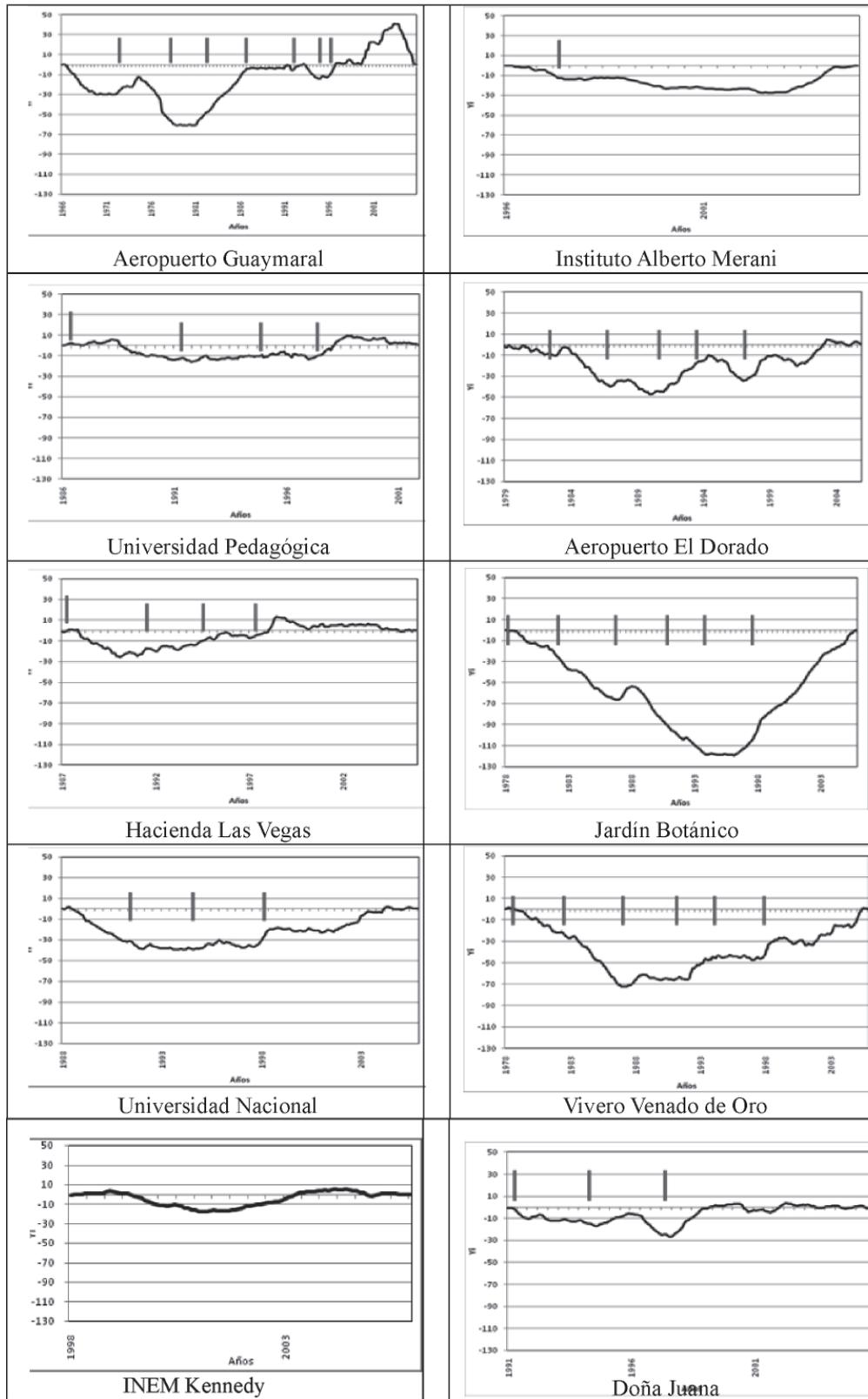


Figura 4. Curvas de diferencia integral para cada estación meteorológica. Las barras verticales señalan presencia del Fenómeno del Niño.

**Tabla 2.** Cambios significativos entre décadas por estación y mes (temperatura media).

Estación										
Mes	VVO	JB	Ato	UP	UN	HLV	IM	IK	DJ	AtoG
<b>Ene</b>		76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 > 96-05					76-85 = 86-95 < 96-05	66-75 = 76-85 < 86-95 = 96-05
<b>Feb</b>	76-85 < 86-95 < 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05		76-85 = 86-95 < 96-05					66-75 = 76-85 < 86-95 < 96-05
<b>Mar</b>	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 > 86-95 < 96-05			76-85 = 86-95 < 96-05					66-75 = 76-85 < 86-95 = 96-05
<b>Abr</b>	76-85 < 86-95 < 96-05				76-85 = 86-95 < 96-05					66-75 = 76-85 < 86-95 = 96-05
<b>May</b>	76-85 < 86-95 < 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05					76-85 = 86-95 < 96-05	66-75 > 76-85 > 86-95; 76-85 > 96-05
<b>Jun</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 < 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 > 96-05			76-85 = 86-95 > 96-05			76-85 = 86-95 < 96-05	66-75 = 76-85 = 86-95 > 96-05
<b>Jul</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 < 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05					76-85 = 86-95 < 96-05	66-75 < 76-85 > 86-95; 76-85 > 96-05
<b>Ago</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05		76-85 = 86-95 > 96-05				66-75 < 76-85 < 86-95 < 96-05
<b>Sep</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05						66-75 T° menor al resto de las décadas; 76-85 < 86-95
<b>Oct</b>	76-85 < 86-95 < 96-05		76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05						66-75 < 76-85 > 86-95; 76-85 < 96-05
<b>Nov</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05	76-85 < 86-95 < 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05					76-85 = 86-95 < 96-05	66-75 < 76-85 > 86-95; 76-85 < 96-05
<b>Dic</b>	76-85 < 86-95 = 96-05	76-85 = 86-95 < 96-05			76-85 = 86-95 < 96-05					66-75 < 76-85 > 86-95; 76-85 < 96-05

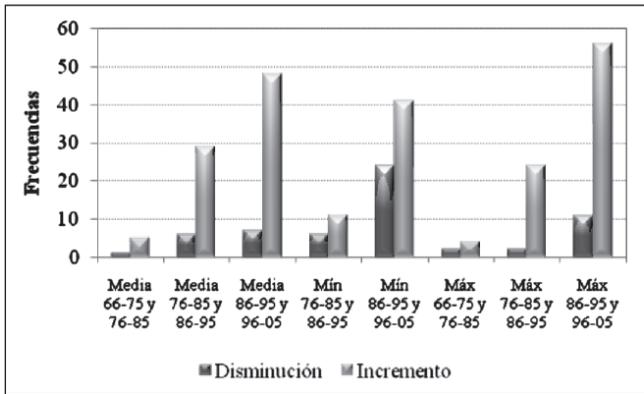


Figura 5. Frecuencia de cambios significativos entre décadas para las temperturas media, mínima y máxima.

De otro lado, para el período de estudio se reconoce un crecimiento importante de la población junto con el del número de viviendas en las diferentes localidades de Bogotá. Tal como se observa en la figura 6, la ciudad ha experimentado un crecimiento poblacional aproximadamente lineal durante los últimos 60 años, con una tasa cercana a 124.000 habitantes por año, mientras que el número de viviendas ha crecido exponencialmente a una tasa anual aproximada de 5,2%. En tanto la primera variable crece de forma constante, la segunda se incrementa cada año respecto al año anterior, condición que denota la fuerte importancia que ha tenido el proceso de urbanización en los cambios del suelo de la ciudad y su periferia.

Cabe notar que las localidades de Suba, Engativá, Fontibón, Barrios Unidos, Santa Fe, Kennedy y Ciudad Bolívar, muestran todas incrementos agudos de la urbanización a partir de 1993, en tanto Chapinero exhibe un proceso relativamente constante desde la década de los 70. Por lo anterior, puede decirse que salvo esta última localidad (con

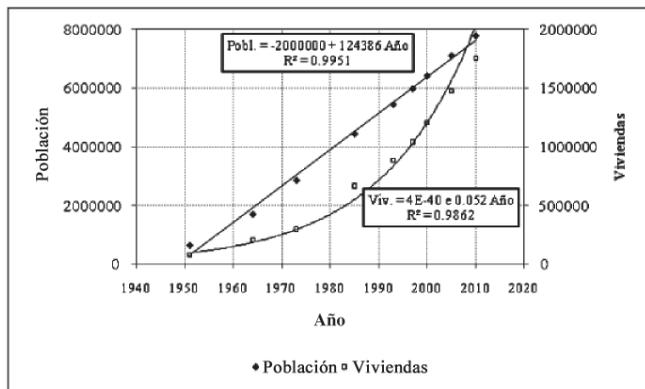


Figura 6. Crecimiento de la población y del número de viviendas durante el período 1951-2010.

presencia de la Estación de la Universidad Pedagógica), el proceso de urbanización se ha dado de forma aproximadamente exponencial en las estaciones meteorológicas restantes, por lo que no hay un factor diferencial incidente de esta variable alrededor de los resultados encontrados.

### Conclusiones

Esta investigación ha evaluado de manera rigurosa los cambios de temperatura ocurridos en la ciudad de Bogotá durante cerca de cuatro décadas. La temperatura del aire en la ciudad al igual que en muchas otras ciudades del mundo, muestra gradientes espaciales así como tendencias temporales diversas que incluyen además, ciclos estacionales.

En tal sentido, se ha encontrado que la parte interna de la ciudad exhibe una temperatura aproximada de 3°C superior a la de la periferia como resultado de la presencia de construcciones e interacciones urbano-urbano en la primera, frente a interacciones urbano-rurales y un mayor componente vegetal en la segunda. Se evidencia entonces, presencia de una isla de calor que se expande no sólo por el centro de la ciudad sino que ha alcanzado el norte y el occidente de la misma.

En lo atinente al tiempo, se reconoce por un lado el ciclo anual que rige a esta variable con los meses más cálidos durante Abril, Mayo y Junio, y los más fríos durante Julio, Agosto y Septiembre; por el otro, se observan tendencias de aumento y reducción de la temperatura que se prolongan por algunos años o incluso décadas y que superan a los efectos del Fenómeno del Niño. Se reconoce de manera particular, incremento en la temperatura del aire durante la última década que no logra explicarse de forma suficiente en el proceso de urbanización, pues éste ha mostrado un comportamiento exponencial a una tasa relativamente constante (5,2%) durante los últimos 50 años, en tanto la temperatura ha mostrado tendencias tanto de aumento como de reducción.

Al respecto, las tendencias positivas y negativas más fuertes en la temperatura del aire se manifiestan en las estaciones meteorológicas ubicadas en la periferia de la ciudad, lo que denota un efecto de amortiguación en las zonas céntricas generado por las propiedades térmicas de los materiales que predominan en vías y construcciones.

Este estudio no llega a dilucidar cuánto del incremento de la temperatura del aire durante la última década, ocurre como resultado de la isla térmica urbana que viene en aumento producto de la re-densificación de la ciudad y cuánto obedece a cambios globales de la temperatura.

## Bibliografía

- Al-Fahed, S., Al-Hawaj, O., Chakroun, W.** 1997. The recent air temperature rise in Kuwait. *Renewable Energy*, 12(1): 83-90.
- Alcaldía Mayor de Bogotá.** 2000. Plan de ordenamiento territorial de Bogotá (POT). Departamento Administrativo de Planeación Distrital, Bogotá.
- . 2007. Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá D.C. Informe anual de calidad del aire de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá.
- . 2010. [www.bogota.gov.co](http://www.bogota.gov.co).
- Amaya, C.** 2005. El ecosistema urbano: Simbiosis espacial entre lo natural y lo artificial. *Revista Forestal Latinoamericana*, 17: 1-16.
- Bello, V.** 1995. La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15: 119-130.
- Chatterjee, S., Price, B.** 1977. *Regression analysis by example*. Wiley, New York.
- Chen, X. L., Zhao, H.M., Li, P.X., Yin, Z.Y.** 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104: 133-146.
- DANE.** 2005. Censos nacionales de población 1973, 1985, 1993 y 2005. Subdirección de Desarrollo Social, Área de Desarrollo Social. Bogotá.
- Drapper, N.R., Smith, H.** 1981. *Applied Regression Analysis*. 2a Ed. Wiley, New York.
- Druzhinin, I.P., Konovalenko, Z.P., Kukushkina, V.P., Khamianova, N.V.** 1966. Escorrentía fluvial y procesos geofísicos (Relaciones, ciclos y predicción). Editor T.L. Zolotarev. Izdatieltso Nauka, Moscow.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K.** 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309: 570-574.
- Fung, W.Y., Lam, K.S., Hung, S.W., & Lee, Y.L.** 2006. Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong. *Energy*, 31: 2623-2637.
- Givoni, B.** 1998. *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Gonzalez, J.E., Luvall, J.C., Rickman, D., Comarazamy, D., Picon, A., Harmsen, E., Parsiani, H., Vasquez, R.E., Ramirez, N., Williams, R., Waide, R.W.** 2005. Urban heat islands developing in coastal tropical cities. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 86: 397-403.
- Grimmond, S.** 2007. Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming. Environmental Monitoring and Modeling Group, Department of Geography, King's College London, Strand, London WC2R 2LS.
- Huang, L., Li, J., Zhao, D., Zhu, J.** 2007. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building and Environment*. doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.025.
- IDEAM.** 2002. Efectos naturales y socioeconómicos del Fenómeno del Niño en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia. Bogotá.
- IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.** 2001. Cambio climático 2001. La base científica. Tercer informe de evaluación. Ginebra, Suiza.
- . 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. H. Gitay, A. Suárez, R.T. Watson, D.J. Dokken (Eds.). Ginebra, Suiza.
- Jiménez, A. M.** 2002. Crecimiento urbano en Bogotá – Expansión o densificación. Tesis de Grado de la Maestría en Planeación Urbana y Regional. Fac. Arquitectura, Pontificia Universidad Javeriana.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W.** 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Jusuf, S.K., Wong, N.H., Hagen, E., Anggoro, R., Hong, Y.** 2007. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 31: 232-242.
- Kendall, M.G.** 1975. *Multivariate analysis*. Hafner Press, New York.
- Landsberg, H. E.** 1981. *The urban climate*. Academic Press, Nueva York.
- León, G.** 1998. Variabilidad y tendencia de la temperatura del aire en las cuatro principales ciudades de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM–, Subdirección de Meteorología, Bogotá.
- Makar, P.A., Gravel, S., Chirkov, V., Strawbridge, K.B., Froude, F., Arnold, J., Brook, J.** 2006. Heat flux, urban properties, and regional weather. *Atmospheric Environment*, 40:2750-2766.
- Montealegre, J. E.** 1979. Análisis estadísticos de algunos parámetros meteorológicos en Bogotá. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras –HIMAT–, Bogotá.
- . 1990. Pronóstico climatológico del estado del tiempo en Bogotá. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras –HIMAT–, Bogotá.
- Naciones Unidas.** 2001. *World urbanization prospects, The 1999 Revision*. New York: United Nations.
- . 2004. *World urbanization prospects: the 2003 Revision*. <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2003/2003wup.htm>.
- Olgay, V.** 1998. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Oke, T. R.** 1989. The micrometeorology of the urban forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 324: 335-349.
- Pabón, J. D., Pulido, S. I., Jaramillo, O., Chaparro, J.** 1998. Análisis preliminar de la isla de calor en la Sabana de Bogotá. *Revista Cuadernos de Geografía*, VII, No. 1-2. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.

- Preciado, J., Leal, R., Almanza, C.** 2005. Historia ambiental de Bogotá, Siglo XX elementos históricos para la formulación del medio ambiente urbano. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Bogotá.
- Saylor, D., Muñoz, J.** 1997. Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the U.S.A.: Methodology and results for eight states. *Energy*, 10: 987-998.
- Sheskin, D.J.** 2003. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. Chapman & Hall, Florida.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J.** 2000. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. Freeman, New York.
- Svirejeva-Hopkins, A., Schellhuber, H.J., Pomaz, V.L.** 2004. Urbanised territories as a specific component of the Global Carbon Cycle. *Ecological Modelling*, 173: 295-312.
- Valor, E., Caselles, V., Coll, C., Sánchez, F., Rubio, E., Sospedra, F.** 2000. Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista de Teledetección*, 14.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J. M.** 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494.
- Wong, N., Yu, C.** 2005. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29: 547-558.
- Zar, J.H.** 1984. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, USA.

Recibido: mayo 27 de 2010.

Aceptado para su publicación: junio 1 de 2010.

