

**IMPACTOS DE LAS ISLAS TÉRMICAS O ISLAS DE CALOR URBANO, EN EL AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA. ANÁLISIS ESTACIONAL COMPARATIVO: CARACAS, OCTUBRE- 2009, MARZO- 2010<sup>1</sup>**

Heat Island Impacts, and Urban Heat Islands in the Environment and Human Health. Comparative Seasonal Analysis: Caracas, October 2009, March 2010

*Karenia Córdova Sáez*

**RESUMEN**

En el primer trimestre del año 2010, la ciudad de Caracas experimentó una intensificación en la temporada de sequía con elevación de las temperaturas ambientales, alta incidencias de incendios forestales, fenómenos de calima y smog intensificados por los incendios de vegetación. Mediante el uso de geotecnologías, en particular utilizando la banda térmica del sensor LANDSAT 7 ETM+, es posible observar las variaciones en los patrones de la temperatura superficial urbana, y determinar la intensidad y extensión de las anomalías térmicas, que podrían estar relacionadas con el aumento de las temperaturas en la ciudad y la incidencia de incendios forestales. Se seleccionaron dos imágenes para octubre-2009, correspondiente al período húmedo y marzo del 2010, correspondiente a finales del período seco. Las imágenes LANDSAT-7 ETM+ analizadas, mostraron importantes diferencias en la temperatura superficial registrada en el área urbana y la zona periurbana, entre las imágenes del período húmedo (octubre-2009) y las del período seco (marzo-2010), registrándose una anomalía positiva de +10°C en marzo de

---

<sup>1</sup> Recibido: 10-03-2011. Aceptado: 12-09-2011.

2010 respecto a octubre de 2009. Los sectores con temperaturas superficiales entre 24 -27°C predominantes en la ciudad durante el período húmedo, pasan a rangos entre 28-31 °C durante el evento de calor de marzo de 2010. Del mismo modo los sectores del oeste y sur oeste de la ciudad con rangos de temperatura entre 28-31 °C y algunas áreas del sur-este, registran un incremento entre 32 a 34°C. Focos de alta temperatura asociados a incendios forestales (42-45°C ó más) se observan con mayor frecuencia en las regiones peri-urbanas que bordean los sectores de bajos ingresos en el oeste y sur-oeste de la ciudad, en tanto que en la imagen de octubre de 2009, las zonas periurbanas registran rangos de temperatura entre 21-23 °C.

**PALABRAS CLAVE:** geotecnologías, anomalías térmicas, clima urbano, calor, isla, Caracas.

\*\*\*\*\*

#### ABSTRACT

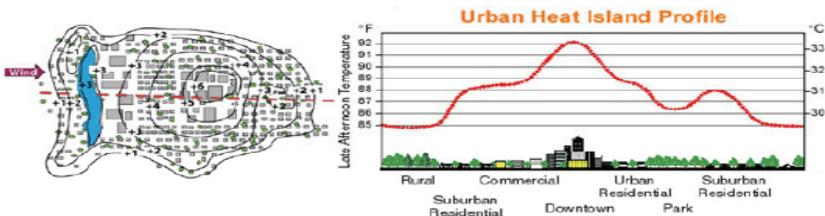
In the first quarter of 2010, Caracas was under an intensification of the dry season with elevated temperatures, high incidences of forest fires, haze and smog phenomena intensified by the smoke from vegetation fires. Using geotechnologies, in particular using the thermal band of LANDSAT 7 ETM + sensor had been possible to observe variations in the patterns of urban surface temperature, and determine the intensity and extent of thermal anomalies that could have been related to increased temperatures in the city and the incidence of forest fires. For the purposes of this study, we selected two images, for October, 2009, for the wet period and March 2010, corresponding to the dry period. The LANDSAT-7 ETM + tested, showed significant differences in surface temperature recorded in urban and peri-urban area, between the images of wet period (October 2009) and the dry period (March 2010), recorded a positive anomaly of +10°C in March 2010 compared to October 2009. The areas with surface temperatures between 24 and 27°C, prevalent in the city during the wet period, passed ranges between 28-3°C during the heat event in March 2010. Also, as the areas of west and southwest of the city with a temperature range of 28-31°C and some areas of south-east, recorded an increase from 32 to 34°C. Pockets of high temperature associated with forest fires (42-45°C or more), were seen more frequently in peri-urban regions bordering low-income sectors in western and south-west of the city, while image in October 2009, peri-urban areas recorded a temperature range of 21-23°C.

**Key words:** geotechnology, thermal anomalies, urban climate, heat island, Caracas.

\*\*\*\*\*

## INTRODUCCIÓN

Las islas de calor o islas térmicas urbanas, se refieren al gradiente térmico que se observa entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o peri-urbana. El patrón espacial clásico de la isla térmica urbana es concéntrico (EPA, 2009), o en forma de domo si observáramos una sección transversal de la ciudad, con más altas temperaturas en las áreas más céntricas o densamente construidas, que descienden progresivamente hacia la periferia (Figura 1). Este patrón o gradiente térmico, se asocia a una progresiva pérdida del entorno vegetal natural, intra y peri urbano, substituyéndolo por superficies impermeables, como el concreto, asfalto, ladrillo y otros materiales de construcción, que alteran el balance hídrico y radiativo superficial, lo que induce, en consecuencia, a un aumento de la temperatura en las áreas urbanas (Chen *et al.*, 2006, EPA, 2009, Córdova, 2011).



**Figura 1.** Perfil típico de la isla de calor.

Fuente: EPA, 2009. Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies.

En los últimos años, a raíz de las cada vez más intensas olas de calor que afectaron importantes ciudades norteamericanas y europeas (2003-2010), el análisis de las islas térmicas urbanas, la caracterización de su intensidad y extensión vertical (atmosférica) y horizontal (superficial) así como de las interacciones entre el dosel urbano y la atmósfera, han tomado un renovado interés en las comunidades de científicos que estudian el ambiente y el clima urbano, debido fundamentalmente a que el impacto de las olas

de calor, se ve magnificado por la formación de la isla térmica en las áreas urbanas (UN-Habitat, 2011).

La caracterización vertical del fenómeno de la isla térmica urbana, depende de una red compleja de estaciones hidroclimáticas, radiómetros y sondeos verticales atmosféricos, que permiten el modelaje de los cambios atmosféricos sobre el medio urbano (EPA, 2009). En los países del ámbito latinoamericano no es frecuente el uso de estas técnicas, debido a la insuficiencia de las redes y el costo de otras opciones de detección. En estos casos, el uso de sensores remotos con banda térmica, ha resultado una opción científica viable para analizar a nivel de superficie, la formación de la isla térmica urbana y estimar la extensión espacial e intensidad del fenómeno (Voogt and Oke, 2003). La ocurrencia de estos eventos de calor, que se intensifican por la formación de la isla térmica urbana, sucede en la mayoría de los casos durante la temporada de verano en las latitudes subtropicales o en la época de sequía en las latitudes tropicales. El aumento de la incidencia de la radiación solar, asociado a las condiciones meteorológicas de la temporada de sequía o de verano (altas presiones, cielos claros), origina también un aumento del calor superficial, que incrementa el nivel de estrés hídrico de la vegetación, la deshidratación del suelo y la sequedad del aire.

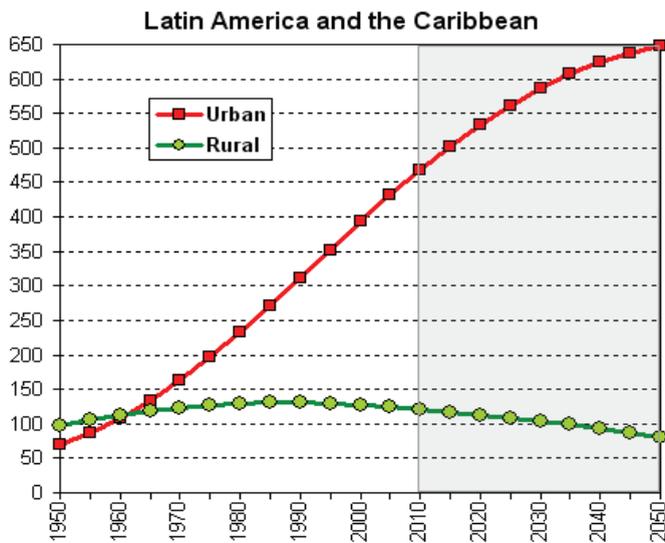
En consecuencia, estos eventos de calor se acompañan también de una alta incidencia de incendios forestales y otros fenómenos atmosféricos como la calima, por el aumento de material particulado en suspensión y la intensificación de la niebla por el humo de los incendios, que ocasiona un incremento en la morbilidad y mortalidad por patologías asociadas al calor, cuadros alérgicos y respiratorios (CDC, 2010).

Según las previsiones de importantes agencias ambientales y climáticas como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC (IPCC, 2007) y la Organización Mundial de Meteorología-OMM (OMM, 2011), la intensificación en la ocurrencia de las olas de calor puede estar vinculada a los efectos del cambio climático, de allí la importancia de monitorear estos eventos, así como la intensidad y extensión de la isla

térmica en las áreas urbanas. En el contexto latinoamericano esta labor reviste particular importancia, debido a que las ciudades en el año 2010, albergaban alrededor del 90% de la población (United Nations, 2009, figura 2).

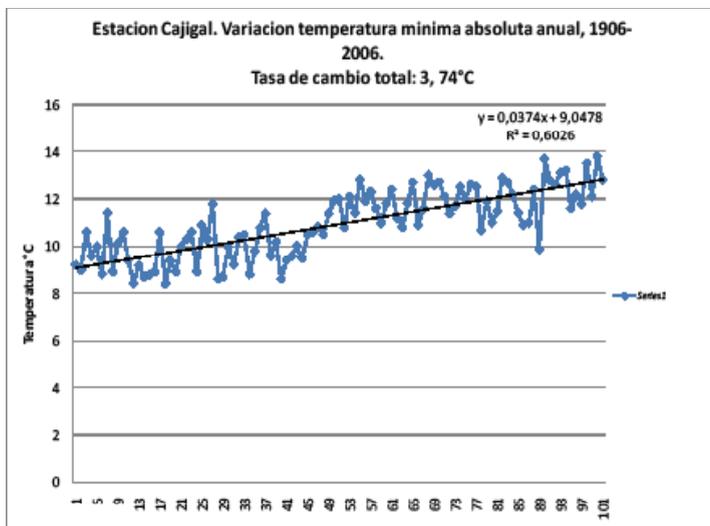
En el caso de Venezuela, para este mismo año, el porcentaje de la población urbana correspondería al 94% de la población total, es decir, que apenas el 6% de la población se localizaría en medios rurales. En la ciudad de Caracas se ha observado además, un creciente aumento en la temperatura, en particular especialmente desde mediados de los años 50 (figura 3). Estos cambios son coincidentes con el período de expansión del desarrollo urbano en la ciudad y constituyen un reflejo de las transformaciones ambientales experimentadas en la ciudad, tendencia que se mantiene de forma sostenida hasta el presente (Delgado, 2004).

Un ejemplo de ello es el aumento sostenido de la temperatura mínima en la ciudad, a consecuencia de la creciente inercia térmica de los materiales de construcción. La tasa de cambio global para la temperatura mínima absoluta en 100 años de registros (1906-2006), en el valle de Caracas de acuerdo al Observatorio Naval Cajigal (Latitud: 10° 30' 25" norte; Longitud: 66° 55' 39" oeste; Elevación: 1035 msnm.); es de + 3,74°C, como se aprecia en la figura 3. Estas perspectivas ponen un acento sobre la urgencia de definir estrategias de prevención, mitigación y control de la dinámica ambiental en las zonas urbanas, donde los cambios socio naturales ocurren con mayor velocidad que en las áreas rurales y afectan a un mayor número de personas.



**Figura 2.** Crecimiento de la población rural y urbana en América Latina.

Fuente: World urbanization prospects: The 2009 revision (United Nations, 2009)



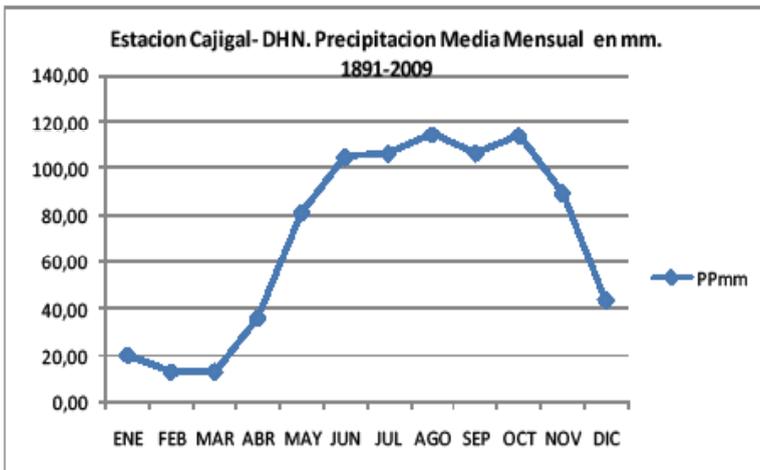
**Figura 3.** Estación Cajigal. Variación anual de la temperatura mínima absoluta.

Fuente: CLICOM. DHN Observatorio Naval Cajigal, 2009

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

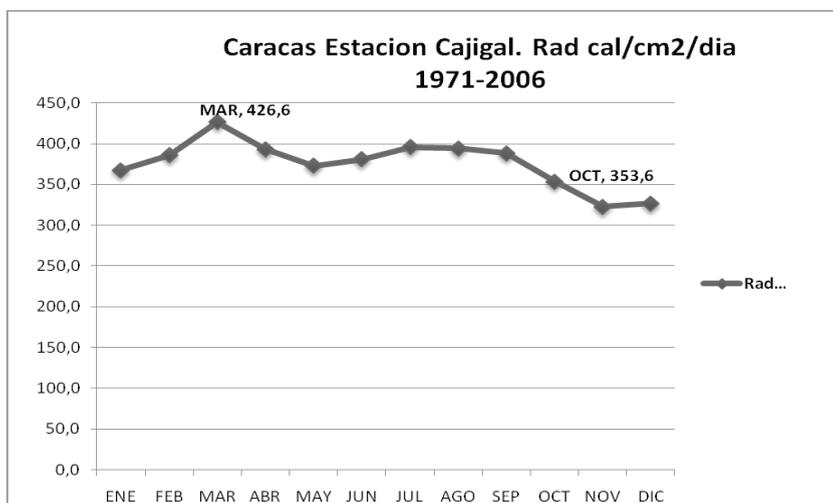
A efecto de este trabajo, se seleccionaron dos imágenes LANDSAT 7 ETM+, correspondientes al final del período húmedo en octubre-2009, y al período seco en marzo del 2010. En la selección temporal de las imágenes se consideró el comportamiento de variables climáticas como la precipitación y la radiación solar incidente (figuras 3 y 4), ya que juegan un papel fundamental en el calentamiento y la mitigación de la temperatura superficial. La formación de eventos de isla térmica superficial de mayor intensidad en el valle de Caracas, suele ocurrir en los meses de marzo y abril, en tanto que durante los meses de lluvia, el fenómeno se expresa con menor intensidad debido al aumento de nubosidad que bloquea la radiación incidente, y a la precipitación que mitiga el calentamiento superficial.

Los datos suministrados por el Observatorio Cajigal (Latitud: 10° 30' 25" norte; Longitud: 66° 55' 39" oeste; Elevación: 1035 msnm.), para una serie de 118 años de registros de precipitación (1891-2009) muestran que, efectivamente el mes de marzo es el mes más seco del año, en tanto que octubre sería uno de los meses más lluviosos (figura 4).



**Figura 4.** Precipitación medial mensual. Estación Cajigal. 1981-2009.  
 Fuente: CLICOM. DHN Observatorio Naval Cajigal, 2009

Los datos de radiación solar en cal/cm<sup>2</sup>/día de la estación Cajigal para 35 años de registros (1971-2006), muestran en cambio, que marzo es el mes con mayor radiación solar incidente y octubre uno de los meses de menor incidencia de la radiación (figura 5). Por lo tanto, al seleccionar imágenes satelitales correspondientes a estos meses, se estarían viendo dos escenarios contrastados, ello permitirá observar precisamente, cuáles serían los sectores en donde prevalece una alta temperatura superficial, aún en el mes de octubre bajo condiciones climáticas que favorecen la mitigación y bajo condiciones inversas en el mes de marzo.



**Figura 5.** Estación Cajigal. Radiación total mensual. 1971-2006.

Fuente: CLICOM. DHN Observatorio Naval Cajigal, 2009

Los valores de temperatura superficial (*Land Surface Temperature-LST*) se derivaron de la banda 6 del infrarrojo térmico (10.44 a 12.42  $\mu$ m), en modo de alta ganancia (*6-2 high gain*), que tiene una resolución espacial de 60 m para LANDSAT 7 ETM+. Para ello, es necesario convertir los números digitales (DN) de la banda térmica, en radiancia espectral ( $L_{\lambda}$ ), utilizando la ecuación (NASA, 2010, Chander and Markham, 2003):

$$\text{Ecuación (1):} \quad LA = GAIN \times 6 \text{ Band DN} + OFFSET$$

(Para LANDSAT 7 ETM+  $L_{\lambda} = 0.0370588 \times 6\text{-}2 \text{ Band DN} + 3.2$ )

Donde:

( $L_{\lambda}$ ): es la radiancia espectral de los píxeles de la banda térmica expresados en  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ,

Gain/DN: es la variación en la función de conversión radiancia/DN según el valor de los píxeles de la imagen,

DN: es el valor de un determinado píxel (0-255), y offset es la intercepción de la función de conversión de radiancia/DN. Los valores de ganancia (Gain) y compensación (Offset o BIAS) pueden ser encontrados en la metadata de la imagen.

Los valores de radiancia para la banda térmica de LANDSAT 7 ETM+, fueron transformados a temperatura superficial radiante en grados kelvin (K) a temperatura de brillo en grados centígrados ( $^{\circ}C$ ), usando las constantes de calibración del *Landsat-7 Science Data User's Handbook*, según la Ecuación 2 (NASA 2010):

Ecuación 2:

$$Ts_{(Landsat)} = K2 / \ln((K1 / L_{\lambda}) + 1) - 273$$

Donde:

$T_s$ , es la temperatura efectiva del satélite en K,  $K1$  y  $K2$  son constantes de calibración (Pre-lanzamiento), para Landsat 7 ETM+:

$$K1 = 666.09 \text{ w}/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m) \text{ y } K2 = 1281.71 K.$$

El bandeado que se observa en las imágenes corresponden a *gaps* o bien omisiones en la recolección de información (*SLC-Off mode*) por problemas de balanceo del sensor LANDSAT 7 ETM+ (USGS, 2011; NASA, 2010). Las imágenes LANDSAT 7 ETM+ ya incorporan correcciones geométricas para compensar el error, lo que permite su uso e integración en un sistema de información geográfica-SIG (USGS 2011; NASA, 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *OLAS DE CALOR Y ANOMALÍAS TÉRMICAS SUPERFICIALES*

La variabilidad en los patrones de la temperatura superficial observada en los espacios urbanos con sensores remotos, es inherente a su heterogeneidad como mosaico urbano (Córdova, 2011; Xian *et al.*, 2006, Correa *et al.*, 2003). Diferentes tipos de coberturas, con características físicas distintas de reflectancia, absortividad, difusividad térmica, y factores como el ángulo de incidencia solar, la orientación respecto al desplazamiento solar, entre otras, son algunas de las causas de estas diferencias (Sosa *et al.*, 2004). La ventaja de este tipo de técnicas respecto a las convencionales, es la posibilidad de cubrir grandes superficies y adicionalmente, integrar datos digitales y vectoriales en un sistema de información geográfica-SIG para realizar análisis complementarios como índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI*), que mide el estrés hídrico de la vegetación y los análisis de detección de cambios, que cuantifican e identifican los sectores donde se verifican los mayores cambios (Córdova, 2011).

En términos de la gestión del riesgo asociado a la ocurrencia de eventos extremos de calor, la producción de mapas térmicos posibilita la identificación de las áreas expuestas a mayor riesgo, y contribuye con el diseño de estrategias de mitigación y/o de atención a la población. Las islas térmicas urbanas suelen asociarse con anomalías superficiales de temperatura, por ello, es primordial su cuantificación y caracterización, ya que son indicadores importantes de cambio, bien sean positivas + o negativas -, es decir, por encima o por debajo de los valores medios

estimados o registrados para la temperatura superficial y tienen impacto inmediato sobre el ambiente y el clima local, como lo ocurrido en el año 2010 en varias regiones del globo (OMM, 2011, Trenberth and Fasullo, 2009).

En el año 2010, importantes anomalías climáticas fueron registradas en todo el planeta. Según las estimaciones de la Organización Mundial de Meteorología-OMM, la década de 2001-2010 es también la más cálida que se tenga registro, siendo el año 2010, uno de los años más cálidos desde 1998 (OMM, 2010, 2011). Ejemplo de ello, fueron las anomalías significativas de temperatura que se registraron al oeste de la Federación Rusa en la región del Volga, el calor trajo consigo severas sequías e incendios forestales, sólo en la ciudad de Moscú, se contabilizaron alrededor de 11.000 decesos por el calor extremo (OMM, 2011).

Las anomalías de temperatura vinculadas a estos eventos extremos en el caso de Moscú, fueron de + 7,5°C para la temperatura del aire en el mes de julio y +12°C para la temperatura superficial, determinada a partir de la observación con sensores remotos y datos colectados en redes terrenas (*Op. cit.*, 2011).

La observación y cuantificación satelital de las anomalías y los cambios observados fue crucial para explicar la intensidad y extensión de los eventos de calor extremo ocurridos en la región del Volga en el verano del 2010, y nuevamente, como en los eventos de calor anteriores ocurridos en Europa en el año 2003, las olas de calor se asocian a importantes anomalías en la temperatura superficial (OMM, 2011) con elevados índices de morbilidad y mortalidad por el calor extremo (Dhainaut *et al.*, 2004), lo que acentúa la importancia de monitorear el comportamiento de la isla de calor superficial en las áreas urbanas. En Suramérica, sequías importantes y mermas en las precipitaciones fueron también registradas durante el primer trimestre del 2010, en la cuenca amazónica, el río Negro registró el nivel más bajo desde 1902. En Venezuela, se reportó el período enero-marzo más seco en más de cien años (OMM, 2011). En todo el país, se observaron importantes mermas en represas, cuerpos de aguas y ríos, y una alta incidencia de

incendios forestales. Caracas fue una de las ciudades donde este fenómeno tuvo particular intensidad. La sequedad del aire, combinado con abundante material particulado en suspensión y los humos de incendios forestales en las zonas peri-urbanas, resultaron en una densa bruma o calima, que aumentó la incidencia de cuadros alérgicos y respiratorios en la ciudad (figura 5).



**Figura 5.** Caracas bajo humo y calima. Sector Los Palos Grandes.

Fuente: El Universal, galería fotográfica, marzo-2010.

Estas circunstancias plantearon la necesidad de analizar las variaciones en la temperatura superficial en Caracas para determinar la existencia de anomalías, considerando las condiciones en la temperatura superficial durante el período húmedo (octubre-2009) que precedieron al pico de la estación seca en el valle de Caracas, en marzo de 2010.

De acuerdo a los resultados derivados de los análisis de imágenes térmicas para el valle de Caracas, en períodos de sequía y lluvia (desde enero del año 2001 a enero del 2011), las anomalías se expresan con mayor intensidad durante la ocurrencia de eventos de calor resultantes de la intensificación del período de estiaje, a consecuencia de la variabilidad

climática ENOS, fenómeno El Niño-La Niña (Córdova, 2011), aunque en los últimos años se le atribuye directamente al cambio climático, el aumento en la intensidad de las olas de calor y los períodos de estiaje en las regiones tropicales y subtropicales (IPCC, 2007; OMM 2010, 2011).

***LA CUANTIFICACIÓN DE LA PRESIÓN CLIMÁTICA Y AMBIENTAL URBANA: EL PATRÓN ESPACIAL DE LA ISLA TÉRMICA EN LA CIUDAD DE CARACAS. CASO DE ANÁLISIS OCTUBRE-2009, MARZO-2010***

La isla térmica superficial en la ciudad de Caracas se expresa espacialmente de modo diferente al patrón clásico de isla térmica atmosférica o vertical, que sigue un patrón concéntrico desde el centro de la ciudad hacia la periferia (EPA, 2009). En este caso, el centro antiguo de la ciudad, que es también el centro fundacional y eje de la actividad pública, muestra temperaturas entre 24-27°C, con excepción de algunos ejes viales como la avenida Bolívar con amplias carpetas asfálticas, los distribuidores al norte y sur de la Av. Baralt y la Av. Fuerzas Armadas hasta el cruce con la Av. Bolívar, que registraron temperaturas más elevadas entre 28-31°C. Esta diferencia se debe fundamentalmente a los efectos modificadores del clima vinculados al relieve y a patrones de circulación local (valle-montaña) que influyen las condiciones observadas sobre todo al norte de la ciudad, situación que se verifica de forma consistente en los diferentes análisis térmicos realizados en la ciudad desde enero de 2001 a enero de 2011 (Córdova, 2011).

Al analizar la relación entre temperatura superficial y densidad del espacio construido, la respuesta térmica es más consistente con el modelo teórico (EPA, 2009), en donde los espacios más densamente ocupados y con menor presencia de vegetación tienen mayor temperatura superficial que las zonas peri-urbanas o menos densamente construidas (Chen *et al.*, 2006, EPA, 2009), aun cuando el gradiente térmico superficial no se exprese de manera concéntrica (Córdova, 2011).

El patrón térmico superficial observado en la ciudad de Caracas es más bien longitudinal, debido a que el desarrollo urbano se concentra en las

zonas bajas del valle y se extiende a lo largo del valle principal y los valles secundarios confinados entre colinas, como se observa en el sur-oeste de la ciudad (figura 6). Los rangos medios de temperatura están en sectores más densamente ocupados localizados en los sectores del oeste y sur-oeste de la ciudad, como fue determinado en estudios previos, estarían entre 28 a 34°C, en tanto que los valores medios de los sectores menos densamente ocupados y con mayor presencia vegetal estarían entre los 24 -27°C (Córdova, 2011).

Este conocimiento previo sirvió de base para establecer las comparaciones entre la situación observada en octubre de 2009 con una imagen del período lluvioso y marzo 2010, en el pico de la estación seca. En marzo del 2010, la ciudad de Caracas experimentó una intensificación en la temporada de sequía con elevación de las temperaturas ambientales, alta incidencias de incendios forestales y fenómenos de calima y smog intensificados por los humos de los incendios de vegetación (figuras 5 y 7).

Las imágenes LANDSAT-7 ETM+ analizadas (octubre-2009 y marzo-2010), mostraron importantes diferencias en la temperatura superficial registrada en el área urbana y la zona peri-urbana entre el período húmedo (figura 6) y el período seco (figura 7), registrándose una anomalía positiva de +10°C en marzo de 2010 respecto a octubre de 2009.

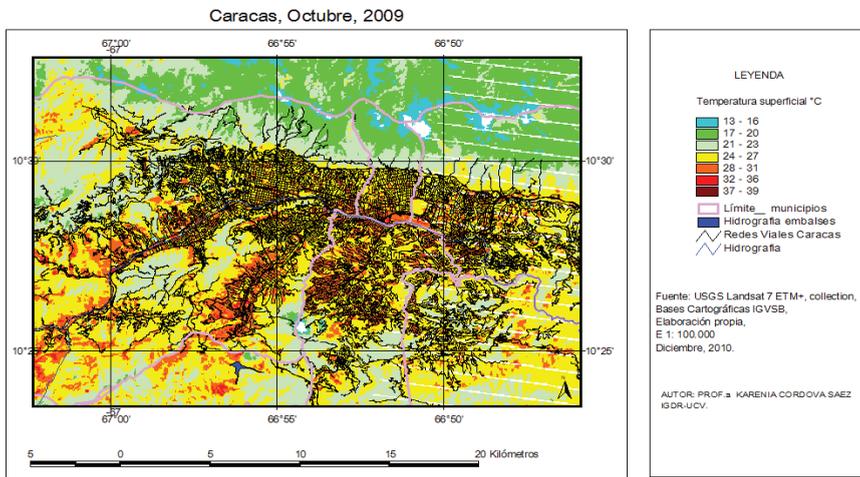
En efecto, al analizar comparativamente los registros de temperatura superficiales obtenidos al procesar la banda térmica en modo de alta ganancia (6-2) para los meses de octubre 2009 y marzo 2010 se observa, que los valores máximos de temperatura superficial en el mes de octubre de 2009 alcanzan hasta los 39°C (figura 6), en tanto que en marzo del 2010 los valores máximos llegan hasta los 49°C (figura 7).

Los sectores con temperaturas superficiales entre 24-27°C predominantes en la ciudad en el período húmedo (figura 6), pasan a rangos entre 28-31°C, durante el evento de calor de marzo de 2010, del mismo modo los sectores del oeste y sur oeste de la ciudad con rangos de temperatura entre 28 -31°C registran un incrementos entre 32 a 36°C (figura 7). Ello supone una situación ambiental y de salud delicada frente a eventos extremos de

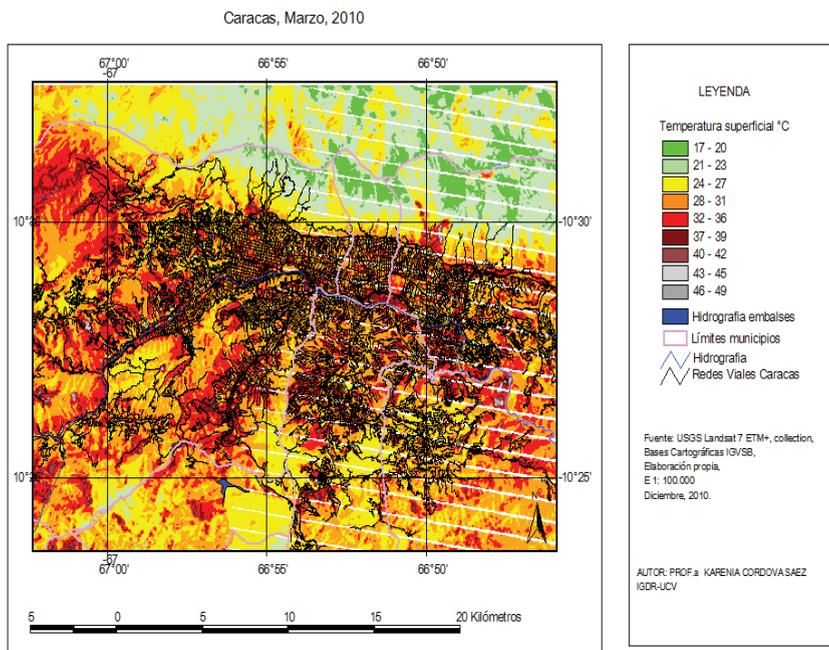
sequias o calor, precisamente en el municipio Libertador (figura 7) donde se concentra la mayor cantidad de población de la ciudad (67%), así como los sectores de más bajos ingresos (Alcaldía Metropolitana, 2010).

En la imagen de octubre de 2009, no se registra ocurrencia de incendios en las zonas periurbanas de la ciudad, los rangos de temperatura observados oscilan entre 21-23 °C en los matorrales deciduos poco intervenidos y entre 24- 27 °C en las zonas de vegetación intervenida recubiertas de gramíneas (figura 6). En marzo de 2010 en cambio, las temperaturas en las zonas periurbanas se incrementan, pasando a rangos entre 24-27°C en los matorrales deciduos y entre 28-31°C en los sectores de vegetación más intervenida o degradadas recubiertos por gramíneas, más próximos a los desarrollos urbanos (figura 7).

Focos de altas temperaturas asociados a incendios forestales (42-45°C ó más), se observan con mayor frecuencia en los espacios peri-urbanos que bordean los sectores de bajos ingresos al nor-oeste y sur-oeste de la ciudad (figura 7). El Parque Nacional El Ávila, una importante área verde que refresca los sectores del norte de la ciudad, también registra importantes aumentos de temperatura entre octubre de 2009 y marzo de 2010.



**Figura 6.** Patrones de temperatura superficial en Caracas, octubre-2009. Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas-Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar-IGVSB

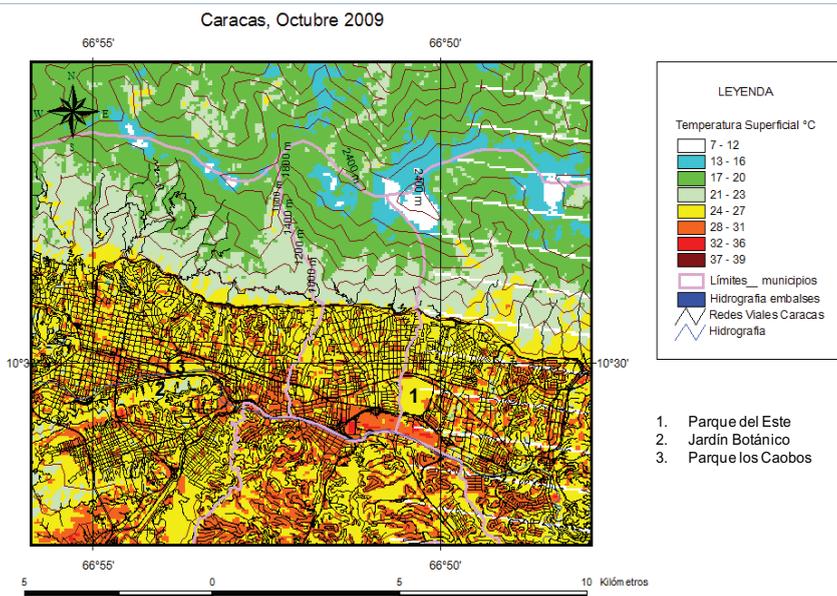


**Figura 7.** Patrones de temperatura superficial en Caracas, marzo-2010.

Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar-IGVSB.

Los sectores de temperaturas más templadas entre 17 y 20°C, que en la temporada húmeda se extienden desde los 1400 msnm hasta los 1800 msnm, experimentan una notable reducción, circunscribiéndose a las partes más altas de la montaña entre los 1600-2400 msnm en marzo de 2010. Rangos de temperaturas inferiores (13-16°C) en los topos de la montaña desaparecen y se observan focos de incendios extensos, en la ladera nor este de la ciudad (Figuras 6 y 7). Un análisis más detallado de las variaciones en los patrones térmicos de la ciudad se realizó en el municipio Chacao (Figuras 8 y 9), que por su localización en el sector nor-este de la ciudad, densidades medias, buen nivel de arborización intra urbana y su proximidad del parque nacional El Ávila-*Guaraira Repano*, goza de un clima fresco y temperaturas superficiales promedios en el rango de 24-27 °C.

En términos generales, las temperaturas que predominan en este sector en octubre de 2009 (figura 8), están entre los 24-27°C, los puntos críticos (28-31°C) se asocian a las carpetas asfálticas de avenidas como la Libertador y Bolívar, distribuidores viales, sectores de baja arborización como los alrededores de la Av. Casanova, C.C El Recreo-Bello Monte Norte y paseos peatonales con caminerías en adoquines de concreto como Sabana Grande (figura 8). Los grandes parques del norte de la ciudad, Los Caobos, Jardín Botánico y Parque del Este, muestran registros entre 24 a 27 °C, sólo en el Jardín Botánico algunas laderas en su parte más alta, muestran valores inferiores entre 21-23°C.



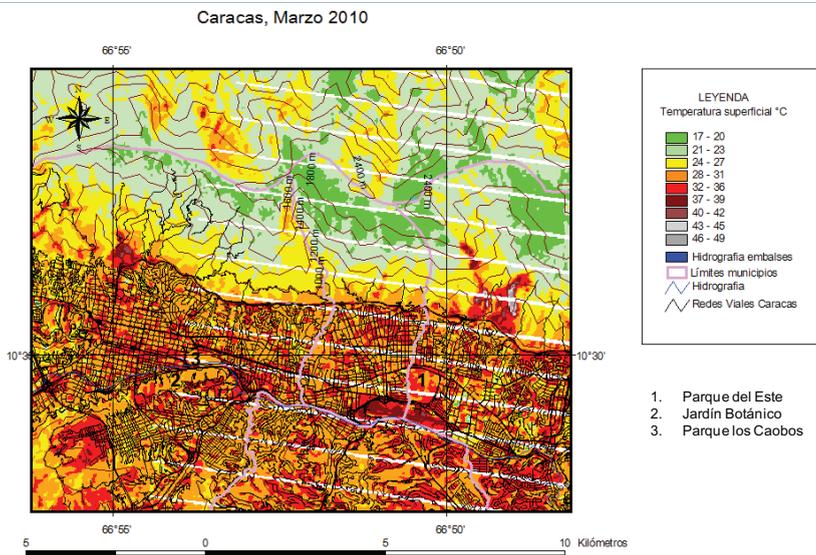
**Figura 8.** Temperatura superficial octubre-2009. Ávila-Municipio Chacao.

Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas-Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar-IGVSB.

La mayor parte del municipio Chacao registra temperaturas entre 24-27°C en octubre de 2009, con algunos puntos críticos con temperaturas entre 28 y 34°C, localizados en el sector industrial de Chacao, las estructuras

de concreto y zonas de estacionamiento de los grandes centros comerciales CCCT y Sambil y el sector de El Rosal al sur de la Av. Francisco de Miranda, la pista del aeropuerto de la Carlota, también registra valores entre 28 y 34°C (figura 8).

Los resultados obtenidos en marzo de 2010 no obstante, superaron con creces las expectativas. Las temperaturas entre 24-27 °C desaparecen del sector centro norte de la ciudad y del municipio Chacao (figura 9), y pasan al rango superior entre 28 a 31 °C, los puntos críticos presentan ahora temperaturas entre 32 a 36 °C y la pista del aeropuerto de la Carlota y el estacionamiento descubierto del CCCT registran valores entre 37-39 °C (figura 9). Las altas temperaturas (28-31°C) se extienden hasta las faldas de El Ávila, en sectores donde normalmente la temperatura varía entre los 21-23 °C y los focos de incendios en la ladera nor-este se reportan sobre los 1400 msnm (figura 9).



**Figura 9.** Temperatura superficial marzo-2010. Ávila-Municipio Chacao.

Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas-Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar-IGVSB.

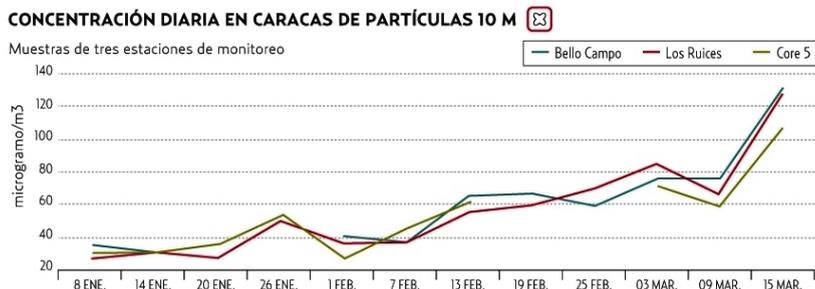
Un signo inequívoco de la presión ambiental, son las temperaturas registradas en las áreas verdes y los parques recreacionales y botánicos del norte de la ciudad en marzo de 2010, estas áreas verdes muestran rangos de temperaturas que oscilan entre los 28-31 °C (figura 9). En el caso del Parque del Este, los espacios abiertos recubiertos de gramíneas deshidratadas, llegan a registrar temperaturas entre 32-36°C (figura 9). La función de mitigación del calor superficial y ambiental que provee la vegetación, se pierde por la condición de deshidratación y la elevada presión hídrica sobre las plantas en estas circunstancias de severas sequías y calor (Liu and Weng, 2008, Córdoba, 2011).

***ISLAS TÉRMICAS URBANAS, OLAS DE CALOR Y RIESGOS PARA LA SALUD: LOS EFECTOS DEL CALOR EXTREMO SOBRE LA SALUD HUMANA***

En marzo de 2010, casi la totalidad de la ciudad muestra anomalías térmicas importantes, los sectores del oeste y sur-oeste de la ciudad en el municipio Libertador, fueron las zonas más afectadas por las altas temperaturas y la ocurrencia de incendios en las zonas peri-urbanas (figuras 7 y 9). Las densas nubes de humo generadas por los incendios forestales producen irritaciones de las mucosas de nariz y ojos, provocando reacciones alérgicas y afecciones respiratorias (OMS, 1999).

Datos de calidad del aire en la ciudad, recolectados por la dirección de calidad ambiental del Ministerio del Ambiente en el primer trimestre del 2010 en las estaciones Bello Campo, los Ruices y Core 5, registran un aumento sostenido en el material particulado en suspensión con un pico en la primera quincena de marzo (figura 10).

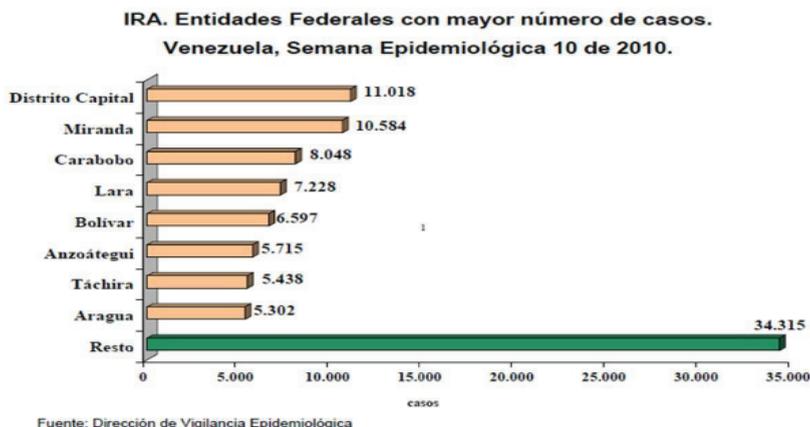
Durante la época de sequía, las altas temperaturas, la baja humedad del aire ambiente y la mayor incidencia de incendios de vegetación, contribuyen a aumentar el material particulado en suspensión, estos materiales se combinan con polen y otros contaminantes productos de las actividades en las áreas urbanas (Perdomo, 2009).



**Figura 10.** Caracas. Concentración diaria de partículas en suspensión, 1er trimestre 2010  
Fuente: Dirección de Calidad Ambiental, Ministerio del Ambiente, Marzo, 2010

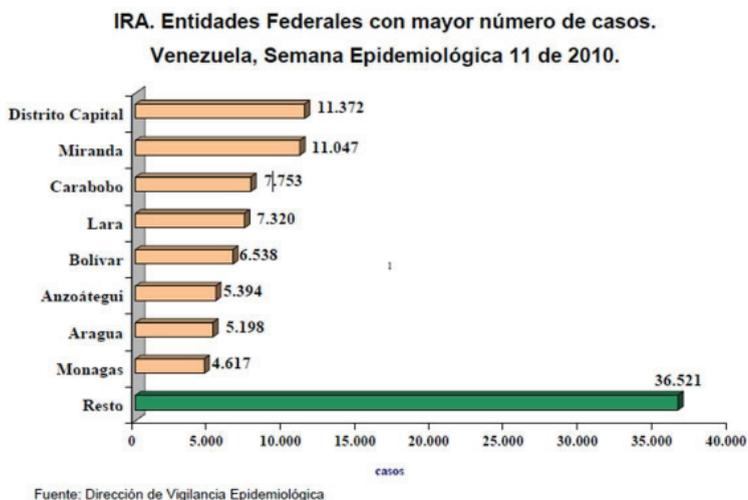
Este material en suspensión, específicamente las partículas entre 1 y 10 micras, pueden viajar grandes distancias transportadas por las corrientes de aire y los vientos, y afectan fundamentalmente a las vías aéreas superiores, ocasionan un incremento en los casos de enfermedades respiratorias, como asma, bronquitis y cuadros alérgicos (Perdomo, 2009).

De igual forma, los registros de casos de enfermedades respiratorias agudas (IRA) para las semanas 10 (07 al 13 de marzo) y 11 (14 al 20 de marzo) del Boletín Epidemiológico del Ministerio del Poder Popular para la Salud (2010), muestran también un incremento en el número de casos por infecciones respiratoria agudas en el Distrito Capital y el estado Miranda, como fuera reportado también por diferentes medios de comunicación durante el mes de marzo de 2010 (figuras 11 y 12).



**Figura 11.** Boletín Epidemiológico, infecciones respiratorias agudas, IRA. Semana 10/2010.

Circunstancias similares de anomalías positivas en  $+10^{\circ}\text{C}$ , también fueron observadas en agosto del 2010 en la ciudad de Moscú y sus alrededores, con una importante elevación en la temperatura del aire y alta incidencia de morbilidad y mortalidad por afecciones bronquiales, asma, cuadros alérgicos e irritación de las mucosas (OMM, 2011). Estas circunstancias son preocupantes, debido precisamente a que la intensidad de los eventos extremos de calor en el planeta ha ido en aumento en las últimas décadas (Arndt, *et al.*, 2010), y se estima que podría aumentar significativamente, tanto en frecuencia, como en intensidad, en el siglo XXI (Meehl y Tebaldi, 2004).



**Figura 12.** Boletín Epidemiológico, Infecciones respiratorias agudas, IRA. Semana 11/2010.

Fuente: Dirección de Vigilancia Epidemiológica. Min. pp para la Salud, marzo, 2010.

Ello significa que los riesgos a la salud derivados del calor extremo se incrementarán, y por las condiciones particulares de la climatología local (la formación de la isla térmica), los espacios urbanos serán particularmente vulnerables a la ocurrencia de estos eventos.

En un estudio recientemente publicado sobre ciudades de América Latina, realizado en Sao Paulo, Santiago de Chile y Ciudad de México, se reportó una asociación importante entre la elevada temperatura y el riesgo de mortalidad (Bell *et al.*, 2008; Ribeiro, 2005).

Las conclusiones generales del estudio señalan que en todas las ciudades estudiadas la población más vulnerable son los ancianos. En Sao Paulo, la ciudad con mayores registros de la temperatura, se demostró una fuerte asociación entre la vulnerabilidad al calor extremo y el nivel educativo, en tanto que en la ciudad de México los resultados mostraron que la población femenina es más vulnerable que la masculina frente a la ocurrencia de eventos extremos de calor (Bell *et al.*, 2008; Ribeiro, 2005).

Por su parte, la agencia federal para el manejo de emergencias-FEMA (2010), afirma que las personas que residen en zonas urbanas tienen un mayor riesgo de sufrir los efectos de una ola de calor prolongada, que los que residen en zonas rurales; también la población más vulnerable son los ancianos, los niños pequeños, los enfermos crónicos y las personas obesas. El calor extremo puede ocasionar diversas afecciones que van desde las quemaduras de piel, calambres, agotamiento, insolación y golpe de calor. Según el CDC (2010) y la FEMA (2010), las patologías por calor excesivo más comunes son:

- *Calambres por calor: espasmos musculares (calambres), transpiración intensa, fatiga, temperatura del cuerpo ligeramente elevada.*
- *Agotamiento por calor: debilidad extrema, agotamiento, cefalea, mareos, náuseas, sudoración profusa, piel fría, temperatura del cuerpo ligeramente elevada, pulso rápido, a veces se desarrolla un estado comatoso (inconsciencia).*
- *Golpe de calor: transpiración interrumpida, piel seca y caliente, cefalea, náuseas, confusión, marcha tambaleante, temperatura extremadamente elevada, colapso, riesgo de muerte.*

Las campañas preventivas, deberán utilizar todos los medios de comunicación social disponibles, radio, prensa y televisión, para llegar al mayor número de habitantes. Las alcaldías, municipalidades, escuelas y centros educativos, también constituyen parte fundamental de la red primaria de apoyo. Preparar a los docentes, distribuir volantes informativos, y dictar charlas informativas a niños y jóvenes, así como a la comunidad educativa extendida, padres, vecinos y familiares, son uno de los mecanismos de prevención más efectivos.

## CONCLUSIONES

En marzo del 2010, se observaron importantes anomalías en las temperaturas superficiales urbanas (+10°C), que se acompañaron de registros

de altas temperaturas ambientales y una elevada incidencia de incendios en las zonas peri-urbanas.

Significativos aumentos de temperatura se observaron en todo el valle de Caracas, inclusive en sectores de menor densidad constructiva y con mayor presencia vegetal. Aún en la zona norte de la ciudad, que se beneficia de la proximidad del Parque Nacional el Ávila y, donde en condiciones normales de la temperatura se mantienen más templadas (24-27°C), se observó un incremento significativo entre 28 y 31°C.

Las áreas verdes peri-urbanas y urbanas, así como los parques recreacionales y botánicos presentaron también altas temperaturas durante el evento de calor de marzo de 2010, lo que implica mayores niveles de estrés (strés) hídrico y sufrimiento vegetal. El papel fundamental que desempeña la vegetación en la mitigación de las altas temperaturas superficiales se pierde por el elevado estrés hídrico vegetal.

Estas condiciones ambientales, se asociaron con la formación de un fenómeno meteorológico, que ocasionó una densa bruma por humos de incendios y otros contaminantes sobre el valle de Caracas, que causó un aumento en los reportes de afecciones alérgicas, bronquiales, e irritación de las mucosas en la población capitalina.

Circunstancias similares de anomalías positivas en +12°C, también fueron observadas en agosto de 2010 en la ciudad de Moscú y sus alrededores, con una importante elevación en la temperatura y alta incidencia de morbilidad y mortalidad por afecciones bronquiales, asma, cuadros alérgicos e irritación de las mucosas.

En un escenario de cambio climático, donde se asume que las olas de calor y los períodos de sequía tenderán a intensificarse, el monitoreo de estos eventos de calor, así como de la formación de la isla térmica superficial con geotecnologías, será fundamental para apoyar el desarrollo de las estrategias de prevención y mitigación que puedan evitar riesgos ambientales y sanitarios severos.

## NOTA

El presente trabajo corresponde al 3er. informe de avances de investigación del trabajo de Tesis doctoral en desarrollo, que abarca el estudio del fenómeno de islas térmicas en el área urbana de Caracas, desde enero de 2001 a enero de 2011.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Metropolitana (2010). *Avance del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020*, Instituto Metropolitano de Urbanismo, Mesa de Análisis, Caracas, Septiembre, 2010. [Online]. Disponible en: <http://imutc.org/portal/> [Consultado en: Febrero, 2011]
- Arndt, D. S., M. O. Baringer, and M. R. Johnson, Eds. (2010). State of the Climate in 2009. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91 (7), S1–S24.
- Bell, Michelle L., O’Neill, Marie S., Ranjit, Nalini, Borja-Aburto, Víctor H., Cifuentes, Luis A., and Gouveia Nelson C. (2008). Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico *Int. J. Epidemiol.* (2008) 37(4): 796-804 first published, online May 29, 2008 doi:10.1093/ije/dyn094
- Centers for Diseases Control and Prevention (CDC). (2010). Calor extremo: guía de prevención para promover su salud y seguridad [Online]: <http://www.bt.cdc.gov/disasters/extremeheat/es/heatguide.asp> [Consultado en: Febrero, 2011].
- Chander, G., Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (11), 2674-2677.
- Chen, X. L., Zhao, M. Z., 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.
- Córdova, Karenia (2011). Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas, *Urban Climate News, ISSUE N° 39* March 2011, pp. 15-21.

- Correa E.N, Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. Asades. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 7, Nº 2, 2003, ISSN 0329-5184.
- Delgado Linero, Manuel G. (2004). Crecimiento de la población y proceso de urbanización en el Distrito Metropolitano de Caracas: efectos ambientales, II Encuentro Nacional de Demógrafos y Estudiosos de la Población [Online] Disponible en: [http://www.somosavepo.org.ve/download/cdt\\_123.pdf](http://www.somosavepo.org.ve/download/cdt_123.pdf), [Consultado en: Julio, 2011].
- Dhainaut, Jean-François; Claessens, Yann-Erick; Ginsburg, Christine and Riou, Bruno. (2004). Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments, *Critical Care* 2004, 8:1-2doi:10.1186/cc2404 [Online] Disponible en: <http://ccforum.com/content/pdf/cc2404.pdf>, [Consultado en: Febrero, 2011].
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009). Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S., [Online] Disponible en: <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm> [Consultado en: Diciembre, 2010].
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2010). Riesgo por Calor. Manual de ayuda, [Online] Disponible en: <http://www.fema.gov/esp/riesgo/calor/index.shtml>, [Consultado en: Diciembre, 2010].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, 104, pp., 2008, Ginebra, Suiza.
- Liu, H. and Weng, Q. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144:199–219.
- Meehl, Gerald and Tebaldi, Claudia (2004). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century, *Science*. 2004 Aug 13; 305(5686):994-7.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud. Dirección de Vigilancia epidemiológica (2010), Boletín Epidemiológico, Publicación Semanal Epidemiológica Nº10 y 11, Caracas, Venezuela. [Online] Disponible en: <http://www.mpps.gob.ve/>, [Consultado en: Julio, 2010].

- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2010). *Landsat-7 Science Data User's Handbook*, Chapter 9 - Calibration Parameter File [Online] Disponible en: [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7\\_Handbook.pdf](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf), [Consultado en: Diciembre, 2010].
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2010). *LANDSAT-7 PROGRAM*, [Online] Disponible en: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat7.html>, [Consultado en: Diciembre, 2010].
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1999). Guías de salud para incendios de vegetación, OMS Ginebra, 1999.
- Organización Mundial de Meteorología (OMM). (2010). *Statement on the status of the global climate in 2009*. N° 1055, 2010, ISBN 978-92-63-11055-8, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de Meteorología (OMM) (2011). *Statement on the status of the global climate in 2010*. N° 1074, 2011, ISBN 978-92-63-11074-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.
- Perdomo, Doris. (2009). Contaminantes aéreos y sus efectos en pacientes alérgicos del Valle de Caracas. *Gaceta Médica de Caracas* 2009; 117(4):274-313. [Online] Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/gmc/v117n4/art03.pdf>, [Consultado en: Julio, 2011].
- Ribeiro Sobral, Helena (2005). Heat island in Sao Paulo, Brazil: Effects on health, *Critical Public Health*, June 2005; 15(2): 147–156.
- Sosa, Maria Eugenia, Siem, Geovanni, Hobaica, Maria Elena. (2004). *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*. Publicación del Instituto de Desarrollo experimental de la Construcción- IDEC, Facultad de Arquitectura y Urbanismo- FAU, Universidad Central de Venezuela- UCV, 160 pp, Caracas Venezuela.
- Trenberth, K. E. and Fasullo, J. T. (2009). *Global warming due to increasing absorbed solar radiation*, *Geophysical Research Letters*, 36, L07706, doi:10.1029/2009GL037527, 2009.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2011). SLC-off Products: Background [Online] Disponible en: [http://landsat.usgs.gov/products\\_slcwoffbackground.php](http://landsat.usgs.gov/products_slcwoffbackground.php) [Consultado en: Junio, 2011].

- United Nations / Habitat (UN). (2011). *Global Report on Human Settlements 2011. Cities and Climate Change*, 68 pp, version en español: ISBN Number: 978-92-1-132330-6, Rio de Janeiro, Brasil.
- United Nations (2009). World urbanization prospects: The 2009 revision. [Online] Disponible en: <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm> [Diciembre, 2010].
- Voogt, J. A., Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. 86, 370-384.
- Weng Q., Liu, H. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environ Monit Assess*, 144:199-219.
- Xian, G., Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 104, 147-156.

\*\*\*\*\*

**Karenia Córdova Sáez**. Licenciada en Geografía Universidad Central de Venezuela (1983). Profesor-Investigador desde 1994 hasta la fecha (Diciembre, 2009) en el Instituto de Geografía y Desarrollo Regional de la Universidad Central de Venezuela-Área de Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable, fundador y Coordinador del Área. Magíster Sc. en Planificación de Sistemas Energéticos, de la Universidad Estadual de Campinas, Sao Paulo, Brasil-1996 y Candidata al Doctorado Facultad de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela-2009-II. Miembro del Comité Académico de la Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio y miembro del Comité Editorial de la Revista Terra, fue designada (Mayo, 2009 - Enero 2011) Directora (E) del Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Correo electrónico: kareniac@gmail.com /cordovak@cantv.net.