

Geotecnología espacial aplicada a la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo en el área urbana de Caracas-Venezuela

Spacial Geotechnology Apply to the Decrease of Vulnerability and Risk in the Urban Area Caracas-Venezuela

Karenia Córdova Sáez

RESUMEN

En las últimas décadas, olas de calor urbano, sequías extremas e incendios forestales se han reportado cada vez con mayor frecuencia, perturbando la dinámica ambiental y la calidad de vida de los habitantes localizados en las ciudades. La intensidad de estos eventos climáticos en las áreas urbanas está relacionada, con la substitución de la cobertura vegetal por superficies secas no evapotranspirativas que alteran el balance radiativo superficial, produciendo en consecuencia, un aumento de la temperatura en las zonas urbanas. Este fenómeno se conoce como *islas térmicas urbanas*, y su intensidad y extensión depende no solo de las propiedades físicas de las coberturas naturales y artificiales presentes en los espacios urbanos, sino también de la estacionalidad, y otros fenómenos como la variabilidad y el cambio climático. Mediante el uso de geotecnologías, en particular utilizando la banda térmica (6-2) del sensor LANDSAT 7 ETM +, es posible observar las variaciones en los patrones de la temperatura superficial y determinar la variabilidad, intensidad y extensión del fenómeno de isla térmica en la ciudad. En el estudio se aborda también, la integración de datos geoespaciales como recurso para identificar las vulnerabilidades y mejorar la gestión del riesgo, así como las estrategias de mitigación del fenómeno de islas térmicas urbanas que pueden adaptarse en el caso de la ciudad de Caracas. Se revisan desde estrategias verdes de mitigación, corredores verdes, techos verdes, fachadas verdes etc., hasta estrategias pasivas o reflectivas de mitigación. Se espera poder contribuir con la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo a la población, asociado a la intensidad y extensión estos fenómenos en el área urbana de la ciudad de Caracas.

Palabras clave: islas térmicas, geotecnologías, áreas urbanas, vulnerabilidad, riesgo

ABSTRACT

In recent decades, urban heat waves, extreme droughts and forest fires have been reported with increasing frequency, disturbing environmental dynamics and quality of life for residents located in cities. The intensity of these weather events in urban areas is associated with the substitution of natural surfaces with dry surfaces, which alter the surface radiation balance, thereby producing a temperature increase in urban areas. This phenomenon is known as urban heat islands, and their intensity and extent depends not only on the physical properties of natural and artificial surfaces present in urban areas, but also with seasonality, and other phenomena such as climate variability and climate change. Using geotechnologies, particularly using the thermal band (6-2) of LANDSAT 7 ETM + sensor, it is possible to observe changes in the patterns of surface temperature variability and determine the intensity and extent of the heat island phenomenon in city. In the study the integration of geospatial data is also addressed as a resource to identify vulnerabilities and improving risk management and mitigation strategies, related to the phenomenon of urban heat

islands that can be adapted in the case of the city of Caracas. Also, green mitigation strategies, like green corridors, green roofs, green facades etc., are revised as well as passive or reflective mitigation strategies. This study is expected to contribute to reducing vulnerability and risk to the population, associated with the intensity and extension of these phenomena in the urban area of Caracas city.

Keywords: heat islands, geotechnologies, urban areas, vulnerability and risk.

Introducción

El manejo de desastres en zonas urbanas supone siempre enfrentar situaciones en extremo delicadas y complejas por el volumen de población e infraestructura que se afecta, así como también, por su impacto económico-social. La afectación de los espacios urbanos por desastres naturales, guarda estrecha relación, no solo con las condiciones físico-naturales de los emplazamientos urbanos, sino también con los patrones históricos de ocupación territorial y los procesos de desarrollo tecno-económicos y socio culturales (Altez, 2003; Cilento, 2002). Esta dinámica se altera frente a la ocurrencia de desastres naturales que afectan profundamente nuestro modo de vida, dejando en ocasiones huellas psico-sociales perdurables, así como también evidencias físico-naturales que alteran el paisaje, la historia y las personas (Canelones *et al.*, 2004).

En Venezuela, la tragedia de Vargas, mostro el poder erosivo y destructivo del agua, luego que tras días de lluvias intensas los suelos saturados en taludes y laderas montañosas comenzaron a ceder, y los ríos y quebradas transformados en poderosos torrentes de barro, lodos y escombros, arrasaban con caseríos, urbanizaciones y centros poblados a su paso, y con ellos, a familias, hogares e historias (Muguerza, 2009; FUNVISIS, 2000).

La traumática experiencia transformo el paisaje costero, avanzando la línea de costa mar adentro, y cambiando la dinámica de los cursos de agua (Muguerza, 2009; Wieczorek *et al.*, 2001). En Caracas, las lluvias también produjeron deslizamientos, torrenteras e inundaciones rápidas que afectaron algunas comunidades del noroeste de la ciudad (Röhl, 1950; Audermard *et al.*, 2000). Las huellas de la erosión, que apporto toneladas de sedimentos arrastrados por las aguas de lluvias y que sepultaron y destruyeron comunidades enteras, fueron visibles durante algunos años en las escarpadas laderas del El Ávila- Güaraira Repano (Wieczorek *et al.*, 2001), el parque nacional localizado en la cordillera de la costa, cuyos flancos constituyen los linderos de la ciudad de Caracas (ladera sur) y de las comunidades vargüenses (ladera norte) figura N°1.

Figura N° 1. Fotografía aérea de la Cordillera de la Costa- Caracas al sur, mar Caribe y Vargas al Norte (arriba)



Fuente: Modelo tridimensional de la orografía del Valle de Caracas, el macizo del Ávila y el Litoral Central, PDVSA (1992)

Esta experiencia fue una campanada de alerta, que demostró la alta vulnerabilidad de los desarrollos urbanos en valles intra-montanos, sobre laderas o en el piedemonte de sistemas montañosos frente a la ocurrencia de eventos hidroclimáticos de mediana a alta intensidad. Ello ciertamente, representa un problema en un país como Venezuela, donde una parte importante de los desarrollos urbanos se localizan, precisamente, en estos espacios geográficos del arco montañoso andino-costero (Amaya, 1999; Cilento, 2002).

Existe además una profusa bibliografía sobre eventos sísmicos en la ciudad de Caracas y en Venezuela, puesto que el país posee un histórico de alta sismicidad, con fuerte impacto sobre las ciudades que se asientan en el arco montañoso andino costero (Grases *et al.*, 1999; FUNVISIS, 2002).

Posteriormente al evento sísmico en julio de 1967 en la ciudad de Caracas, se desarrollaron y aprobaron las normas COVENIN para el desarrollo de edificaciones sismo-resistentes (COVENIN, 2001), que constituyeron un avance significativo en la mitigación y prevención de los impactos ocasionados por los desastres de origen geológico en el país (FUNVISIS, 2002). Actualmente además, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológica-FUNVISIS, desarrolla una importante labor de investigación y monitoreo de la actividad sísmica en el país así como también, actividades informativas y preventivas a través de su portal Web y del programa Aula sísmica (FUNVISIS, 2012).

Como es posible apreciar, la vulnerabilidad de las ciudades emplazadas en ámbitos montañosos es diversa y compleja por la multiplicidad de factores físico-naturales, tecno-económicos y socio-culturales, que afectan y modifican constantemente la relación de estas ciudades consigo mismas y con su entorno (Cilento, 2002; Pérez, 2007). El énfasis de este trabajo sin embargo, se orientará hacia los eventos hidroclimáticos, y más específicamente, hacia los eventos de sequías extremas y olas de calor que pueden afectar los espacios urbanos y que se intensifican por el efecto de Isla térmica Urbana-ITU o Islas de Calor Urbano-ICU. Como ocurrió en el primer trimestre del año 2010 en la ciudad de Caracas, con graves consecuencias ambientales y para la salud de los habitantes de la ciudad (Córdova, 2011b).

Materiales y métodos

En este estudio se seleccionó un juego de imágenes LANDSAT 7 ETM+ correspondientes al mes de marzo, para los años 2001, 2003 y 2010, como se muestra a continuación:

<i>Año</i>	<i>Mes/Día</i>	<i>Path/row</i>
2001	Marzo/14.	p004r053
2003	Marzo/20.	p004r053
2010	Marzo/17	p004r053

Se trabajo con ERDAS 9.1, Arc-Gis 9.2 y Arc-view 3.2, para restituir las imágenes tanto para espectro visible VIS e infrarrojo cercano-NIR (bandas 1,2,3,4,5 y 7), como para el infrarrojo térmico TIR (bandas 6-1 y 6-2), así como procesar y corregir geoméricamente los *subset* de análisis definidos, para el caso de la ciudad de Caracas. En este caso se trabajo con la banda 6 en modo de alta

resolución o alta ganancia (6-2 *high gain*), que permite una mejor resolución en los rangos térmicos.

1. Cálculo de Temperatura Superficial-LST.

Para el análisis térmico se procedió a la transformación de los ND de los píxeles del *subset* en formato .img para la banda térmica (6-2 *high gain*), en radianza o reflectancia utilizando (LA) ecuación (1).

$$\text{Ecuación 1: } LA = GAIN \times DN + OFFSET$$

Donde:

($L\lambda$): Es la radianza 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 radianza/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 radianza/DN.

Los valores de ganancia (*Gain*) y compensación (*Offset*) pueden ser encontrados en la metadata de la imagen. Los valores de radianza para la banda térmica de LANDSAT 7 ETM +, fueron transformados a temperatura superficial radiante en °C centígrados o temperatura de brillo, usando las constantes de calibración del *Landsat-7 Science Data User's Handbook*, según la ecuación.2:

$$\text{Ecuación 2: } Ts (\text{Landsat}) = K2 / \ln((K1 / L\lambda) + 1) - 273$$

Donde:

T_s , es la temperatura efectiva del satélite en K, K_1 y K_2 son constantes de calibración (Pre-lanzamiento), para Landsat 7 ETM +:

$K_1 = 666.09 w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ y $K_2 = 1281.71 K$.

Para obtener la temperatura de superficie (T_s) a partir de la temperatura de brillo se utilizó el algoritmo de corrección monocanal.

$$\text{Ecuación (3): } T_{sup} = (a_6 (1 - C_6 - D_6) + [b_6 (1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6] T_s - D_6 T_a) / C_6 \quad (3)$$

Donde:

T_{sup} es la temperatura de superficie (K),

T_s es la temperatura de brillo (K) de la banda 6 del satélite LANDSAT 7 ETM +,

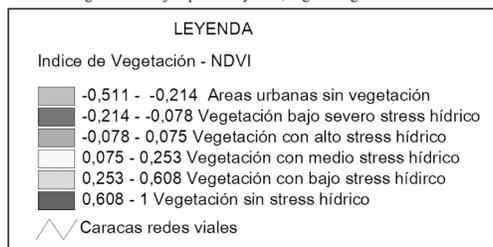
T_a es la temperatura efectiva media atmosférica (K), a_6 y b_6 son constantes para temperatura de superficie entre 273.5 K y 343.5 K. ($a_6 = -67.355351$ y $b_6 = 0.458606$).

2.- Índice de vegetación NDVI

El índice NVDI permite diferenciar con gran precisión la presencia de vegetación, esencial para ayudar a diferenciar las superficies asociadas a áreas deforestadas, suelos compactados, suelos rocosos, áreas degradadas por incendios, vegetación de alta, media y baja densidad, así como para determinar los niveles de estrés hídrico de la vegetación.

De acuerdo con Chuvieco (2007), agregar a las referencias los valores de este indicador oscilan entre -1 y +1, siendo el umbral crítico para coberturas vegetales un valor de NDVI alrededor de 0,1. Valores inferiores a 0,1 indican condiciones de alto estrés hídrico (colores del marrón al crema, figura N° 2), vegetación degradada por quemas y/o deforestación, o coberturas impermeables-

Figura N° 2. Ejemplo de leyenda, según rangos de NDVI.



Fuente: elaboración propia

En el caso de la vegetación en condiciones normales de humedad (color verde pálido al verde hoja, figura N° 2) los valores oscilan entre 0,5 y 0,7 (Chuvieco, 2007). El índice de vegetación normalizado *Normalized Difference Vegetation Index*- NDVI, permite determinar el contenido de agua en la vegetación, según la ecuación 4.

Ecuación 4:

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R}$$

Donde ρ_{IRC} y ρ_R indican la reflectividad en el canal del infrarrojo cercano y en el rojo, respectivamente.

Los índices de vegetación (NDVI) desarrollados, igualmente para los años 2001-2003, no solo ayudan a interpretar mejor el estado de la vegetación, ya que el índice NDVI permite diferenciar con gran precisión los niveles de estrés hídrico de la vegetación.

3.-Clasificación de uso del suelo

Las clasificaciones son recursos de análisis de imágenes (*image analysis*), que permiten agrupar píxeles con características similares, para formar clases de acuerdo a los valores digitales (*Digital numbers-DN*) o de reflectancia de los píxeles. Estos análisis pueden realizarse de manera automática, semiautomática o dirigida en ERDAS. En el caso de la clasificación semiautomática, el usuario puede definir criterios de búsqueda o rangos de valores para determinados usos, o coberturas. Se utiliza para corregir y ajustar las clasificaciones automáticas en los casos en que el usuario tiene un conocimiento previo del área de estudio (Córdova, 2012; Chuvieco, 2007).

Islas de calor o islas térmicas urbanas: causas, consecuencias e implicaciones en la vulnerabilidad urbana

Las islas térmicas o islas urbanas de calor urbano, se asocian a las variaciones observadas en la temperatura superficial y del aire en las áreas urbanas, como consecuencia de la sustitución

progresiva de la vegetación natural por superficies impermeables, secas y no evapotranspirativas, inherentes a la actividad urbana, como el concreto, asfalto, metales, cerámicos y vidrios. Estas superficies alteran el balance radiativo superficial, produciendo en consecuencia, un aumento de la temperatura superficial y del aire en las zonas urbanas (Oke, 1988), lo que origina un gradiente térmico (vertical: atmosférico y horizontal: superficial) entre las zonas más densamente construidas de las ciudades y su entorno peri-urbano o periferia, que se denomina isla térmica o isla de calor urbano (Oke, 1988; EPA, 2008; Córdova, 2011a, b).

La variación e intensidad de estas islas térmicas urbanas depende no solo de las propiedades físicas de las superficies naturales o artificiales presentes en los espacios urbanos, sino también de la estacionalidad, y otros fenómenos como la variabilidad y el cambio climático (Oke, 1982; EPA, 2008; Córdova, 2011b).

Este fenómeno se expresa con mayor intensidad en la época de verano en las ciudades de latitud subtropical y durante la temporada de sequía en el caso de ciudades de latitud tropical como Caracas. Ello se debe a que durante la temporada de sequía, los factores climáticos y ambientales que contribuyen a mitigar el fenómeno, como la nubosidad, la sombra y la evapotranspiración vegetal y así como las precipitaciones se encuentran fuertemente minimizados, en tanto que se maximizan los factores que acentúan o intensifican el calentamiento superficial, como las horas de insolación, la radiación solar incidente, la ausencia de nubosidad y la evaporación (Córdova, 2012; 2011b).

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 (Córdova, 2012; 2011b). 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 (figura N° 3, Córdova, 2011b; CDC, 2010).

Estas fueron las circunstancias ambientales y climáticas observadas durante el evento de marzo del 2010 en la ciudad de Caracas, durante el cual se presentaron importantes anomalías térmicas superficiales (+10°C), acompañadas de una fuerte incidencia en la ocurrencia de incendios forestales en las zonas peri-urbanas y la formación de una densa bruma o calima que permaneció estacionaria sobre la ciudad durante aproximadamente dos semanas¹ (figura N° 3; Córdova, 2011b).

Durante la ocurrencia de este evento, los servicios médico-asistenciales reportaron un incremento en los cuadros de enfermedades cardio-respiratorias en toda la ciudad, así como una mayor incidencia de afecciones alérgicas (Ministerio del Poder Popular para la Salud: MPPS, 2010).

Figura N° 3. Calima sobre Caracas, Marzo 2010



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

La ciudad y sus habitantes resultaron ser altamente vulnerables a la ocurrencia de estos eventos. Los cuerpos de bomberos, defensa civil y organizaciones no gubernamentales resultaron insuficientes para sofocar los numerosos focos de incendios, que se propagaron rápidamente consumiendo la vegetación deshidratada en la ladera sur del parque nacional El Ávila-Waraira-Repano. Los fuertes vientos de ladera avivaron los focos que alcanzaron hasta los 2000 metros de altitud.² A pesar de que investigaciones posteriores indicaron que el origen del incendio fue intencional, públicamente se señaló en diversas oportunidades los problemas de mantenimiento del corta fuego al igual que en los sistemas hídricos de extinción locales (tuberías y mangueras), haciendo más difícil la labor de protección civil y de los bomberos, y más lento el proceso de extinción de los focos de incendios activos.³ Fue necesario incorporar contingentes y equipo de la guardia nacional para dar apoyo a las labores de extinción, y se solicitó la colaboración a la Federación Rusa, para utilizar los servicios de un hidroavión con mayor capacidad de carga que el helibalde de los helicópteros de la guardia nacional, para refrescar las laderas atacadas por los incendios y prevenir la activación de nuevos focos.⁴ Finalmente el Ministro del Ambiente, Alejandro Hitcher aseguró que el factor humano era el responsable por los incendios, y anuncia la suspensión de las visitas y pernoctas al parque como medida preventiva, para evitar la ocurrencia de nuevos incendios.⁵

Las condiciones ambientales y climáticas que desembocaron en esta situación crítica en marzo del 2010, venían desarrollándose desde diciembre del 2009. Una nota de prensa reseña, que desde el 1ero de diciembre de 2009 hasta el 22 de enero de 2010, habían ocurrido en promedio de cinco incendios forestales semanales.⁶ El Observatorio Naval Cajigal señalaba también en marzo del 2010, que Caracas jamás había sufrido un período de sequía con temperaturas tan altas, al punto que las máximas de diciembre de 2009 y enero, febrero y marzo de 2010 son ya récords absolutos para esos meses: 31.9, 31.9, 34.8 y 34.2 grados centígrados, respectivamente.⁷

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) por su parte, en el reporte sobre el Estado del Clima Mundial del año 2010 (OMM, 2011), señala también que la situación de sequía crítica que afectó al país, constituye el período enero-marzo más seco en más de 100 años, y relacionaban estos cambios con las anomalías globales de temperatura registradas en la primera década del 2000 y con el evento de El Niño en el primer trimestre del 2010 (OMM, 2011).

Las Geotecnologías: Un recurso para mejorar la gestión del riesgo

La recuperación y el análisis de información científica, posteriormente a la ocurrencia de las situaciones de crisis o desastres son fundamentales, no solo para entender los procesos internos y externos que aumentan la vulnerabilidad y el riesgo en las áreas urbanas, sino también en el diseño de las estrategias de mitigación y control (EIRD, 2008). Uno de los recursos para analizar el evento de marzo de 2010 en la ciudad de Caracas, es la información generada por las plataformas satelitales. Los imágenes satelitales productos de estas plataformas de observación (LANDSAT, ASTER, MODIS, AVHRR IKONOS, SPOT) son recursos de análisis que complementan la información generada por las instituciones locales, y constituyen una fuente confiable de datos ambientales e hidroclimáticos, a partir de la cual recuperar valiosa información para analizar procesos socio-naturales.

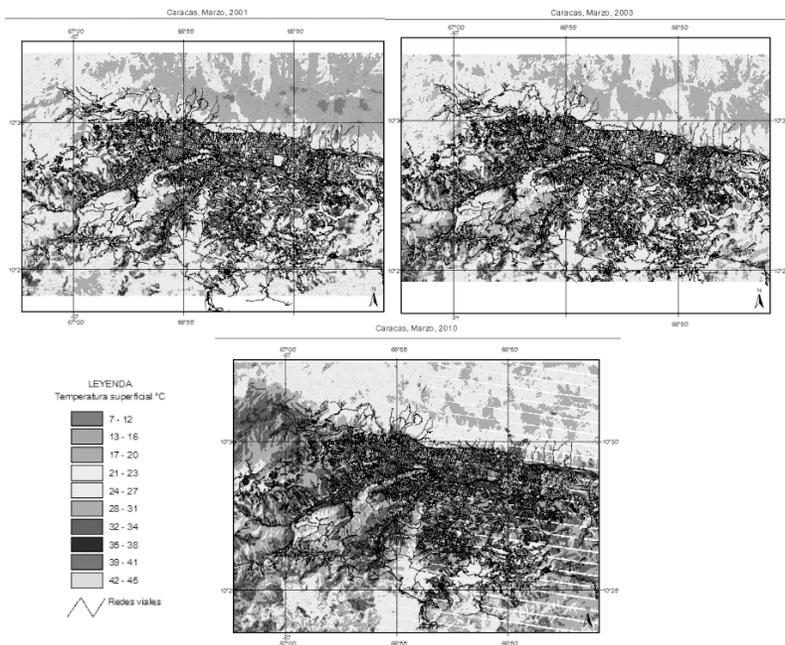
Las Geotecnologías constituyen entonces, el conjunto de tecnologías y métodos de captación y procesamiento de la información geoespacial generada por diferentes sensores, e integrada en bases de datos o plataformas de datos geoespaciales, que permiten la visualización, análisis y gestión de datos geoespaciales con diferentes propósitos. Son recursos de análisis cada vez más utilizados en la gestión territorial y de los recursos naturales, y por ende, es una herramienta que ha revolucionado los estudios geográficos y los diagnósticos territoriales (Doetzer *et al.*, 2008).

Algunos ejemplos de Geotecnologías son los Sistemas de Información Geográfica-SIG, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), las plataforma geoespacial Web como Google Earth, o GLOVIS *Global Visualization Viewer* (GloVis-USGS). Desde esta última, pueden descargarse de forma gratuita imágenes satelitales históricas y actuales, para diversos sensores de observación terrestre (USGS, 2012).

En el caso de este estudio se seleccionaron las imágenes LANDSAT 7 ETM+ *path 004 row 053*, que abarcan el área de estudio correspondiente al mes de marzo del 2010 para analizar el evento de calor y la situación general de estrés ambiental en la ciudad. Estudios precedentes de la temporada de sequía para el mes de marzo en los años 2001 y 2003 y analizando las variaciones estacionales del fenómeno de isla térmica superficial, en el mes de octubre de 2009 respecto a marzo del 2010 (Córdova, 2011a, b), mostraron un aumento progresivo en la intensidad y extensión en el fenómeno de isla térmica en la ciudad, alcanzando un nivel máximo durante el evento de calor de marzo del 2010, categorizado como la peor situación ambiental observada en Caracas, en una década de estudios ambientales con sensores remotos (figura N° 4, Córdova, 2011a, b).

Otros resultados obtenidos en estudios precedentes, demostraron también diferencias entre los sectores del noreste y sureste, y las urbanizaciones del oeste y suroeste de la ciudad, no solo en términos de la densidad de espacio construido, más densificado y con menor presencia de vegetación intra-urbana hacia el oeste y en consecuencia, con rangos de temperaturas superficiales más altos, y menos densificado y con mayor presencia de vegetación intra-urbana y peri-urbana hacia el noreste y sureste, y por ende con rangos de temperaturas superficiales inferiores (Córdova, 2011a, b).

Figura N° 4. Variación histórica de la isla térmica superficial en Caracas, Marzo 2001, Marzo 2003 y Marzo 2010



Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+

Un aspecto novedoso de este trabajo fue la integración de una base de datos catastrales correspondiente al área urbana de Caracas, a los análisis resultantes del procesamiento de la información satelital, en un sistema de información geográfica (Córdova, 2011 b). Con la utilización de este recurso es posible aumentar el nivel de información geoespacial que se obtiene a escala urbana, tanto a nivel parroquial, municipal y comunal, sobre las condiciones ambientales y térmicas de los sectores en los que se localizan las viviendas y comunidades afectadas por las altas temperaturas (figura N° 5).

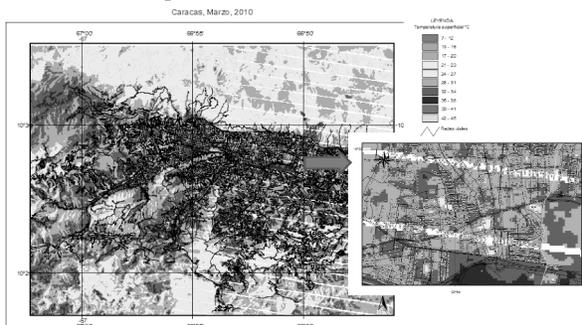
En este ejercicio de integración de datos geoespaciales se utilizó, una base catastral cedida por la alcaldía del municipio Libertador, para propósitos docentes. Esta base no contiene información detallada de población o datos socioeconómicos, solo posee un registro de nombre y tipo de inmueble. Aun así, al aumentar el nivel de resolución gracias a una meticuloso remuestreo geométrico pixel a pixel de la imagen, se puede recuperar información más detallada, que de otra forma no sería visible a escalas regionales de análisis, (Córdova 2011a; figura N° 5).

Mientras mayor sea el nivel de detalle y más completa la información de la base catastral asociada a los datos geoespaciales, mayor información podrá recuperarse y será más sencilla la tarea de identificación y análisis de las áreas críticas o de mayor vulnerabilidad, y se facilitará también, el diseño de los programas y estrategias de prevención y mitigación del riesgo (figura N° 5, 6, 7).

En las imágenes 6 y 7 del sector La Floresta en Caracas, se observa la distribución espacial de los patrones térmicos y de las viviendas. Relacionando estas repuestas térmicas con el índice de vegetación NDVI (que permite discriminar entre las superficies impermeables y secas asociadas al desarrollo urbano y la vegetación), se observa, por ejemplo, una correspondencia entre las temperaturas más frescas y la mayor presencia de vegetación, así como entre las carpetas asfálticas de las calles y avenidas y los sectores de mayor densidad urbana con los rangos de temperaturas más altas (figura N° 6 y 7).

Adicionalmente, la asociación de datos demográficos a las bases de datos catastrales, relativos por ejemplo, a la estructura población, en términos de fajas etarias, población activa, población estudiantil, población infantil, población anciana, enfermos crónicos, ingreso familiar, nivel educativo, datos relativos a las condiciones de la vivienda y servicios; ayudaría a identificar los sectores más vulnerables y a definir las prioridades de actuación en casos de emergencia, ya que los ancianos, los niños y los pacientes con enfermedades crónicas son la población más vulnerable en caso de la ocurrencia de estos eventos de calor, que se intensifican en las zonas urbanas por el efecto de isla térmica (CDC, 2010; Córdova, 2011b).

Figura N° 5. Caracas, Marzo 2010. Detalle Sector La Floresta



Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+

Esta información complementaria, puede ser obtenida de bases de datos censales o levantada en cooperación con los consejos comunales, que deben trabajar de forma coordinada con las alcaldías y otras autoridades municipalidades o gubernamentales para definir el plan de emergencia, o el programa local de prevención y/o mitigación según las características de cada sector (EIRD, 2008).

En todo caso el objetivo es demostrar el potencial de análisis de las geotecnologías, como instrumento fundamental de apoyo en la identificación de la vulnerabilidad y el riesgo para las poblaciones frente a la ocurrencia de eventos extremos de calor, como lo sucedido en marzo del 2010 en la ciudad de Caracas (Córdova, 2011b).

Este sería el punto de partida para una gestión territorial y del riesgo urbano más eficiente, frente a la ocurrencia de eventos hidroclimáticos que pueden aumentar en frecuencia e intensidad debido al cambio climático, haciendo cada vez más compleja la gestión pública del riesgo en zonas urbanas (EIRD, 2008; IPCC, 2007).

Figura N° 6. Ejemplos de integración de datos geospaciales y bases de datos catastrales
Análisis de temperatura superficial y NDVI en el Sector de la Floresta y Parque del Este, Caracas Marzo, 2010

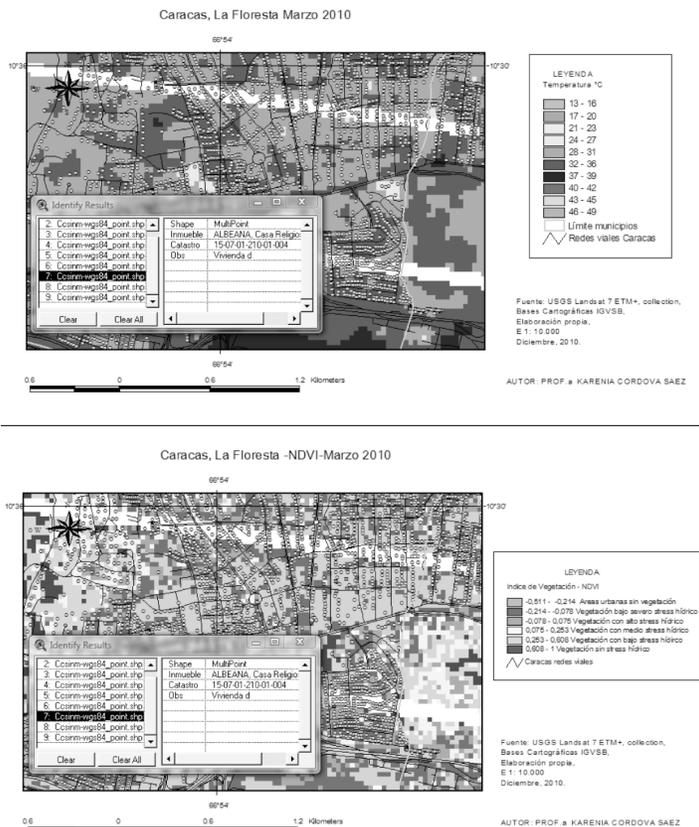
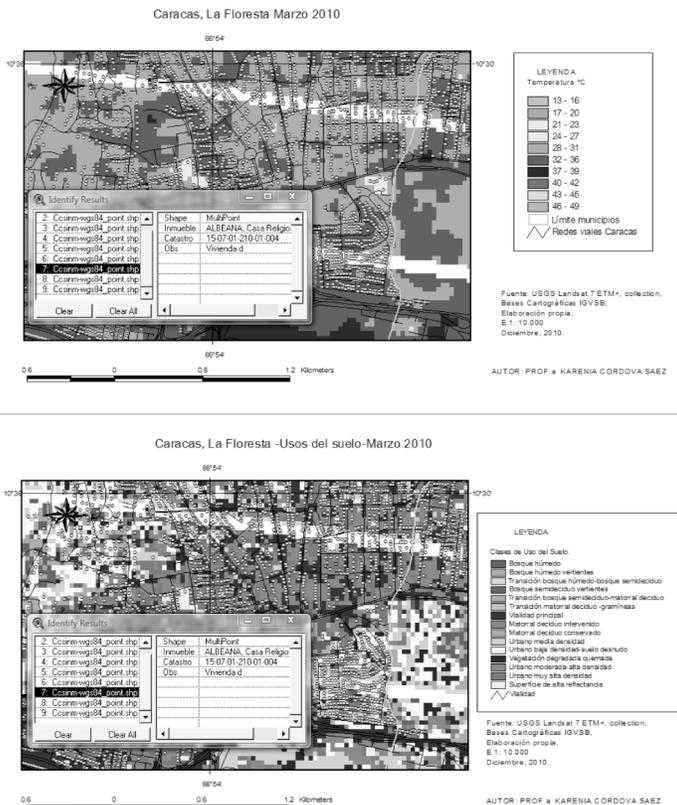


Figura N° 7. Ejemplos de integración de datos geospaciales y bases de datos catastrales
Análisis de temperatura superficial y usos del suelo en el Sector de la Floresta y Parque del Este. Caracas Marzo, 2010



Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+

Estrategias de prevención y mitigación que pueden adaptarse en el caso de Caracas

A pesar de la variabilidad, intensidad y extensión del fenómeno de la isla térmica urbana en el caso de la ciudad de Caracas y sus implicaciones para la calidad del ambiente urbano y a la salud de sus habitantes (Córdova, 2011b), las medidas de prevención y mitigación del fenómeno, no resultan tan complejas de aplicar, en comparación con los costos ambientales y económicos de las crecientes demandas de energía para climatización y otras soluciones individuales poco eficientes, y que aumentan además, la generación de gases de efecto invernadero (EPA, 2008; Córdova, 2011a).

Una de las estrategias más importantes, dado el rol fundamental que la vegetación juega en la mitigación del calentamiento superficial (EPA, 2008), es precisamente la preservación de los espacios verdes existentes, parques, plazas, corredores verdes viales, áreas verdes remanentes con restricciones físicas para el desarrollo urbano, etc., y la renovación o implementación de nuevos espacios verdes intra-urbanos, si existiera la posibilidad; como los esfuerzos que adelanta la

Alcaldía Metropolitana de Caracas y el Instituto Metropolitano de Urbanismo, de incentivar proyectos a través de concursos públicos, para transformar al aeropuerto de la Carlota, en un gran parque y centro cultural integrado al Parque del Este (Alcaldía Metropolitana, 2012; EPA, 2008; Córdova 2011 *a, b*). Otras estrategias consisten en utilizar techos vivos o techos verdes (intensivos o extensivos) en edificaciones de planta extensa, para mitigar las altas temperaturas producidas por la inercia térmica de los materiales presentes en los techos, además captar y aprovechar las aguas de lluvia para sistemas de enfriamiento y aguas de limpieza (figura N° 8; Minke, 2004). Estas estrategias mejoran la eficiencia de los aires acondicionados o sistemas centrales de enfriamiento, porque la carga térmica del techo no se transmite al interior de la estructura (EPA, 2008, Sosa *et al.*, 2004; Minke, 2004).

En Caracas existen pocos ejemplos de techos vivos en edificaciones públicas o privadas como el recientemente inaugurado techo verde semi-intensivo en la biblioteca de los Palos Grandes en el municipio Chacao y el techo verde extensivo del Central Madeireinse en la urbanización Sta. Fe (Córdova, 2012), pero si fue posible verificar, con el análisis térmico en marzo del 2010, temperaturas significativamente más bajas que el entorno en algunas edificaciones tipo galpones industriales o comerciales (figura N° 9), aun en el escenario de altas temperaturas superficiales observado en marzo de 2010. Estos patrones térmicos aparentemente se deben a la ausencia de espacio de amortiguación o aislamiento entre el techo y el ambiente interno, en galpones con sistemas de enfriamiento tipo *chiller* como hipermercados, instalaciones comerciales e industriales (Córdova, 2013).

En todo caso es recomendable estudiar esta respuesta térmica para analizar los problemas relacionados con el aislamiento térmico, los puentes térmicos de la estructura y otras variables relacionadas con el diseño y los materiales, ya que el uso de algún tipo de cobertura reflectante o material aislante (tipo termo-acústico), constituye una estrategia de mitigación económica y fácil de implementar en grandes galpones industriales y/o comerciales, así como en complejos residenciales

Figura N° 8 Techos verdes intensivos



Fuente: EPA 2008, Minke, 2004

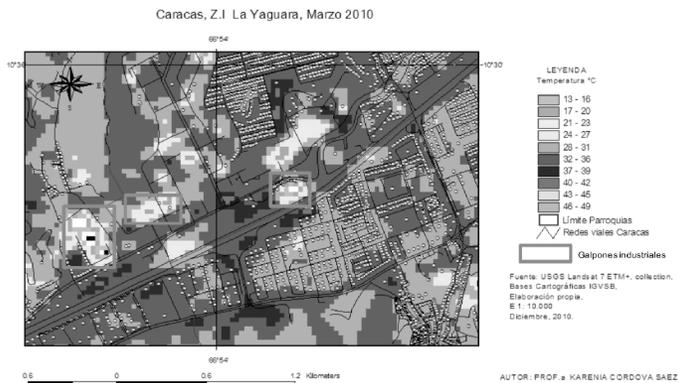
Otras estrategias consisten en incorporar criterios de diseño bioclimáticos en las edificaciones o estrategias de remediación bioclimáticas, para corregir problemas derivados de la carga térmica interna o externa, como las cortinas vegetales, fachadas verdes o en colores claros, el uso de aleros, pérgolas o persianas para regular la entrada de luz y el calor en la vivienda (Sosa *et al.*, 2004).

El tratamiento de amplias carpetas asfálticas de los estacionamientos, utilizando islas arboladas

y mezclas asfálticas con gravas de colores claros, son otras estrategias de remediación, o mitigación que pueden mejorar sensiblemente la respuesta térmica de estas superficies (EPA, 2008).

En todo caso, todas estas prácticas requieren mantenimiento y renovación periódica por lo que adicionalmente constituyen, en una oportunidad para la generación de empleos en actividades vinculadas a las estrategias de mitigación y adaptación en el contexto de los compromisos frente al cambio climático (IPCC, 2007; CEPAL, 2010).

Figura N° 9. Ejemplos de anomalías térmicas observadas en Galpones industriales



Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+

Incertidumbre y Cambio climático: Monitoreo permanente de los escenarios socio-naturales e hidro climáticos

De acuerdo al último reporte de la OMM sobre el Estado Mundial del Clima en 2011 (OMM, 2012), La temperatura media del decenio 2002-2011, situada en 0,46 °C por encima del promedio del período 1961-1990, coincide con las observaciones sobre el decenio 2001-2010 que fue el más caluroso jamás registrado en el mundo, con una fuerte influencia de los eventos ENSO, en la variabilidad climática global. Eventos extremos de sequías y olas de calor, agobiaron a los Estados Unidos, Europa y el Reino Unido, en tanto que en Colombia, el sureste de Brasil y Australia, fuertes lluvias e inviernos inusualmente intensos provocaron deslaves, inundaciones (OMM, 2012).

Las previsiones del IPCC en su último reporte AR4, apuntan también hacia un aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidroclimáticos en un mundo más cálido, lo cual tendrá sin duda, fuertes impactos sobre las áreas urbanas y la población residente en estos espacios (IPCC, 2007). En el caso de los eventos de sequía y calor en el planeta, en 2011 al igual que en 2010, se registraron sequías extremas en África oriental provocando un desastre humanitario, la región Texas y el norte de México también fueron afectados por una intensa sequía con incendios que destruyeron 13.000 has de vegetación y 1.600 viviendas (OMM, 2012). Frente a estos escenarios cambiantes, la necesidad de monitorear los factores climáticos, la variabilidad climático ENSO y otros eventos de variabilidad, se torna en una necesidad permanente que los estados deben asumir, reforzando la investigación aplicada en estos campos, fortaleciendo la capacitación a todo nivel, así como a las instituciones y equipos que laboran en la gestión del riesgo urbano y en la transferencia de conocimiento a las comunidades (IPCC, 2007; EIRD 2008).

Fenómenos como el de las islas térmicas urbanas, con potencial para provocar situaciones ambientales y sanitarias críticas, como lo sucedió en marzo del 2010 en la ciudad de Caracas, ameritan un monitoreo constante de su evolución con recursos geotecnológicos, además de la información climática generada por la redes hidroclimáticas locales y centros de investigación climáticos regionales o internacionales, particularmente durante la ocurrencia de eventos ENSO-cálidos de intensidad moderada a alta, que tienden a intensificar la temporada de sequía en Venezuela y en la región del Caribe, para anticipar las medidas preventivas necesarias, que permitan un mejor manejo de las situaciones de crisis socio-naturales que puedan presentarse (OMM, 2011; Córdova 2011a).

Conclusiones y recomendaciones

El evento de calor y calima ocurrido en Marzo del 2010 en la ciudad de Caracas, derivó en una de las peores crisis ambientales y amenazó en transformarse en una emergencia sanitaria también, de haberse prolongado la situación de incendios y la ola de calor por unas semanas más. Mediante el uso de información satelital y la integración de datos geoespaciales en un sistema de información geográfica con bases de datos vectoriales y catastrales asociadas, fue posible recuperar información importante, que pueden resultar de gran ayuda en el diseño de las estrategias de gestión del riesgo relacionado a la ocurrencia de estos eventos de sequía y calor, que se intensifican en los espacios urbanos por el efecto de isla térmica, y que de otra forma no serían visibles en los estudios a escalas meso o regionales (1: 100.000 o 1: 250.000).

Finalmente, aunque este ejercicio de integración demostró el potencial de análisis de los recursos geotecnológicos, esta herramienta será más efectiva y de mayor utilidad en la gestión integral del riesgo urbano, cuanto más detallada y completa sea la información asociada, contenida

Referencias bibliográficas

- ALCALDÍA METROPOLITANA (2012). Avance del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020, Instituto Metropolitano de Urbanismo, Mesa de Análisis, Caracas, Septiembre, 2010. Documento en línea. Disponible en http://www.plancaracas2020.com/plan/AvancesdelPlan2020_web.pdf [Consultado en: Agosto, 2012].
- AMAYA, CARLOS (1999). Desarrollo histórico del sistema Urbano Venezolano: Modelos de organización. Revista Geográfica Venezolana, Vol.40 (2)1999, 167-199.
- ALTEZ, ROGELIO (2003). La sismología histórica y la oportunidad transdisciplinaria. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 44(2)2003, 285-302.
- AUDEMARD, F. & RODRÍGUEZ, J. A. c & STOCKHAUSEN, H. (2000). La vertiente Caracas del macizo del Ávila en el espejo del desastre de Vargas de diciembre 99. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. Calamidades Geotécnicas Urbanas con Visión al Siglo XXI, Caracas 7 al 9 de noviembre del 2000, Venezuela. 16 pp.
- CANELONES, Pablo; POCINO, Marisol; DE MACEDO, Marisol; CABRERA, Maira; VILLARINO, Carlos; TERAN-ANGEL, Guillermo; CASTÉS, Marianela (2004). Estrés posttraumático y depresión en respuesta a un desastre natural y su influencia sobre algunos parámetros inmunológicos. Revista PSQUIATRIA.COM. 2004; 8(2). Documento en línea. Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/33210/1/teran_estres.pdf, [Consultado en: Agosto, 2012]
- CENTERS FOR DISEASES CONTROL AND PREVENTION (CDC) (2010). Calor extremo: guía de prevención para promover su salud y seguridad. Documento en línea. Disponible en: <http://www.bt.cdc.gov/disasters/extremeheat/es/heatguide.asp>, [Consultado en: Agosto, 2012]
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL) (2010) Coyuntura laboral en Diciembre de 2010 América Latina y el Caribe. Recuperación del empleo: hacia un modelo sostenible, Documento en línea. Disponible en: http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/42006/2010-957-Boletin_4_WEB-2.pdf[Consultado en: Agosto, 2012]
- CILENTO, ALFREDO (2002) Sobre la Vulnerabilidad urbana de Caracas. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, Vol. 8, Nº 3.
- CÓRDOVA, KARENIA (2011a). Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas, Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 52(2) 2011, 31-46, Documento en línea. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/dspace/bitstream/123456789/34395/1/articulo2.pdf>, [Consultado en: Julio, 2012]

CÓRDOVA, KARENIA (2011b). 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. Revista Terra, Vol. XXVII, N° 42, Julio-Diciembre 2011.

CÓRDOVA, KARENIA (2012). Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas. Una contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas. Tesis Doctoral presentada ante la Universidad Central de Venezuela para optar al Grado Académico de Doctor en Arquitectura, FAU-UCV, Caracas, Diciembre, 2012, pp.274.

CÓRDOVA, KARENIA (2013). Evaluación de patrones térmicos en edificaciones de planta extensa en la ciudad de Caracas, con recursos geotecnológicos. In-extenso en el libro de las XXI Jornadas de Investigación del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción-IDECA-FAU-UCV, Caracas, Junio, 2013.

DOETZER ROSOT, MARÍA A; DA LUZ, Juliana; CRUZ, Pablo; ROSOT, Nelson C.; MALHEIROS DE OLIVEIRA, Yeda M. (2008). Las geotecnologías como herramienta para el ordenamiento territorial: Estudio de caso en un bosque de Araucaria en el sur de Brasil. Revista Forestal Latinoamericana - Vol. 023 (2) - N°44.

EIRD (2008). La gestión del riesgo de desastres hoy. Contextos globales, herramientas locales. Documento en línea. Disponible en: <http://www.eird.org/gestion-del-riesgo/index.html>, [Consultado en: Agosto, 2012]

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -EPA. (2008) Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S, Documento en línea. Disponible en: <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>, [Consultado en: Agosto, 2012]

FUNVISIS (2000) Aludes torrenciales en los sistemas montañosos de Venezuela: ¿Imprevisibles? Audemard M, Franck A. FUNVISIS, Venezuela. Documento en línea. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/ponencias/2000_10CVG_FAM.pdf, [Consultado en: Agosto, 2012]

COVENIN (2001) COVENIN 1756-2001: Edificaciones Sismo-resistentes. Documento en línea. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/covenin1756_2001.pdf, [Consultado en: Agosto, 2012]

FUNVISIS (2002). La Investigación Sismológica en Venezuela. FUNVISIS, Caracas-Venezuela. ISBN 980-6069-11-0.

FUNVISIS (2012). Programa Aula Sísmica, Documento en línea. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/prog_aula_sismica.php [Consultado en: Agosto, 2012]

GRASES J.; ALTEZ, R. y LUGO, M. (1999). Catálogo de sismos sentidos o destructores: Venezuela, 1530/1999. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales/Facultad de Ingeniería, UCV, Edit. Innovación Tecnológica. Caracas. 654 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (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.

MINKE, GERNOT (2004). Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Editorial Fin de Siglo, ISBN 9974-49-323-4.

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA SALUD (2010). Dirección de Vigilancia epidemiológica, Boletín Epidemiológico, Publicación Semanal Epidemiológica N°10 y 11, Caracas, Venezuela. Documento en línea. Disponible en: <http://www.mpps.gob.ve/>, [Consultado en: Agosto, 2012]

MUGUERZA ARMADA, Alejandro (2009). Aguas Arriba del Flujo Torrencial. Un análisis Geotécnico-Meteorológico de la tragedia de Vargas. Documento en línea. Disponible en: <http://spancold.es/Archivos/DHM-AMA-AguasArribaEsp.pdf>, [Consultado en: Agosto, 2012]

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.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE METEOROLOGÍA (OMM) (2012). Statement on the status of the global climate in 2011. N° 1085, 2012, ISBN 978-92-63-31085-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.

OKE, T. R (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1-24.

OKE, T. R. (1988). The urban energy balance. Progress in Physical Geography, 12, 471-508.

PÉREZ, SORAYA (2007). La Vulnerabilidad de las Ciudades de Montaña como expresión de Insostenibilidad. ÁGORA-Trujillo. Venezuela. ISSN 1316-7790-AÑO 10- N° 20-JULIO-DICIEMBRE-2007.

PETROLEOS DE VENEZUELA SOCIEDAD ANONIMA (PDVSA) (1992) "Imagen de Venezuela. Una visión espacial". Editorial Arte, ISBN 980-259-475-X, 1era Edición, Caracas, Venezuela.

RÖHL, E. (1950). Los diluvios en las montañas de la cordillera de la costa. - Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Venezuela, 38: 1-28.

SINGER, A. (1977) Acumulaciones torrenciales catastróficas, de posible origen sísmico, y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte oriental del Valle de Caracas. Primer Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas, 1974, s/n. También Geos 22:64-65.

SOSA, MARIA E, SIEM, Geovanni, HOBACA, María E (2004). Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico. Publicación del Instituto de Desarrollo experimental de la Construcción-IDECA, Facultad de Arquitectura y Urbanismo- FAU, Universidad Central de Venezuela-UCV, 160 pp, Caracas Venezuela.

USGS (2012). Global Visualization Viewer (Glo-Vis) Documento en línea. Disponible en: <http://glovis.usgs.gov/> [Consultado en: Agosto, 2012]

WIECZOREK, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A. and Blair, J. L. (2001) "Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation" Open file report ofr-01-0144. Documento en línea. Disponible en: <http://geology.cr.usgs.gov/pub/openfile-reports/ofr-01-0144/> [Consultado en: Agosto, 2012]

■ Notas de Prensa

¹ <http://medelhi.wordpress.com/2010/03/17/densa-bruma-blanquecina-de-nombre-calima-cubre-caracas-y-otras-ciudades-venezolanas/>

² <http://medelhi.wordpress.com/2010/03/22/ardio-el-avila-de-cabre-mas-de-30-hectareas-quemadas-en-el-waraira-repano/>

³ <http://www.noticias24.com/actualidad/noticia/148767/se-propaga-incendio-en-el-avila-a-nivel-de-sebucan/>

⁴ <http://informe21.com/actualidad/hidroavion-ruso-sobrevolara-parque-nacional-avila-mitigar-sequia>

⁵ <http://www.laprensademonagas.info/Articulo.aspx?aid=13631>

⁶ http://www.eluniversal.com/2010/01/22/ccs_art_hay-cinco-incendios_1732334.shtml

⁷ http://registro.eluniversal.com/2010/03/20/ccs_art_la-sequia-mas-caluro_1803577.shtml

■ Karenia Córdova Sáez

Licenciado en Geografía Universidad Central de Venezuela (1983). Profesor Asociado, Investigador desde 1994 hasta la fecha, 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, *Magister Sc.* en Planificación de Sistemas Energéticos, de la *Universidad Estadual de Campinas*, Sao Paulo- Brasil, y Doctora en Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV.