

**APROXIMACIÓN ESPACIAL A LA DETERMINACIÓN DE LAS ISLAS
TÉRMICAS URBANAS:
UNA CONTRIBUCIÓN METODOLOGICA AL ESTUDIO DE LA
SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN ÁREAS URBANAS DE CLIMAS
TROPICALES**
Karenia Córdova Sáez.

Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Facultad de Humanidades y Educación.
Universidad Central de Venezuela. Edif. C.C Los Chaguaramos, Piso 5, Ofic. 5-2, Caracas, Venezuela,
1041. Tel: 0058212-662-53-18-Fax: 0058212-662-53-28, e-mail: kareniac@cantv.net

RESUMEN.

Los espacios sometidos a mayor “*stress ambiental*”, por la intensidad y la dinámica de los usos que convergen en él, son justamente aquellos en los que se localizan las grandes megalópolis urbanas, los cuales adicionalmente constituyen el hábitat de un contingente creciente de población expuesta igualmente a las condiciones de alta vulnerabilidad ambiental presentes en de estos espacios. El fenómeno de las islas urbanas de calor ha sido abordado en los últimos tiempos por una diversidad de especialistas en estudios urbanos, mas vinculados a los aspectos estructurales y de diseño de la vivienda, y mas recientemente a las condiciones ambientales externas, utilizando información satelitales y recursos de sistemas de información geográficos.

ABSTRACT.

Urban areas has been suffering of high levels of environmental “*stress*” due to the intensity and the dynamic of urban spaces, and the accelerated changes of the land cover uses, that has increased the urban heat island phenomena. These phenomena, affect the human quality life and the surrounding environment. In the past decades, urban heat island has been undertaken by a large diversity of professionals linked to the house design. More recently, a new approach has arisen in which the environmental conditions are monitoring using aerospace and imagery data, combine with geographic information system, to evaluate the evolution, and vulnerability of urban system to this phenomena’s.

INTRODUCCIÓN.

De modo general, podría afirmarse, que los espacios sometidos a mayor “*stress ambiental*” por la intensidad y la dinámica de los usos que convergen en él, sean justamente aquellos en los que se localizan las grandes megalópolis urbanas, los cuales adicionalmente constituyen el hábitat de un contingente creciente de población expuesta igualmente a las condiciones de alta vulnerabilidad ambiental presentes en de estos espacios.

La saturación urbana y la ampliación del espacio construido, han determinado cambios ambientales que si bien inicialmente tenían una incidencia más localizada, o micro-ambiental, hoy en día podría afirmarse que sus efectos se extienden sobre el macro-ambiente urbano,

deteriorando aun más el ya precario equilibrio de los *sistemas ambientales* en estos espacios de alta saturación.

Quizás uno de los efectos más notables de la extensión de estos problemas macro-ambientales urbanos sea la intensificación del fenómeno de las *Islas Térmicas Urbanas*, que acentúa las tendencias de climatización y desarrollo de edificaciones autónomas de ambientes artificiales, que constituyen en sí mismas, un circuito de retroalimentación mas que una solución al problema.

El estudio macro-ambiental de las emisiones térmicas del espacio construido, que genera las llamadas *islas de calor*, o *islas térmicas urbanas*, se ha beneficiado notablemente, en estas ultimas décadas de la tecnología satelital de alta resolución, que ha permitido una ampliación del espectro de técnicas y recursos disponibles para evaluar mas eficientemente y a escalas detalladas este fenómeno urbano.

El objetivo fundamental de este trabajo, es entonces, desarrollar una metodología con herramientas de Sistemas de Información Geográfico (SIG), técnicas de análisis espacial e imaginaria satelital y/o digital, (Landsat Tm7, SPOT, aerofotografías y Orto-imágenes) que contribuya a *determinar espacialmente*, la estructura, intensidad y extensión de los espacios urbanos con potencialidad para desarrollar estas islas urbanas de calor, en el área urbana de Caracas (Fig.1). *Dos aspectos resultan fundamentales en esta determinación: 1- La compresión de la dinámica del balance térmico superficial urbano y 2- la evaluación de las contribuciones térmicas antropogénicas.*

LAS EVALUACIONES MACRO-AMBIENTALES Y SU CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LAS ISLAS URBANAS DE CALOR.

El fenómeno de las islas urbanas de calor ha sido abordado en los últimos tiempos por una diversidad de especialistas en estudios urbanos, mas vinculados a los aspectos estructurales y de diseño de la vivienda, que a las condiciones ambientales externas. Aun cuando se admite la importancia que aspectos como, la densidad del espacio construido, las variaciones en las coberturas urbanas y las emisiones de gases invernadero, tienen en la determinación de este fenómeno; la complejidad que representa su estudio en el ámbito urbano debido a la heterogeneidad y fragmentación de las coberturas, dificulta con frecuencia, el desarrollo de este tipo de enfoques.

Hoy en día, sin embargo, los sistemas de información geográficos, (SIG), permiten dar cuenta de esta complejidad, basados en informaciones satelitales, aerofotografías, etc., y a través de un abordaje espacial de la dimensión macro-ambiental, que permite integrar los análisis de reflectividad y emisividad de las coberturas, con aquellos vinculados al consumo energético y las emisiones de gases invernadero. (Spatial Análisis).

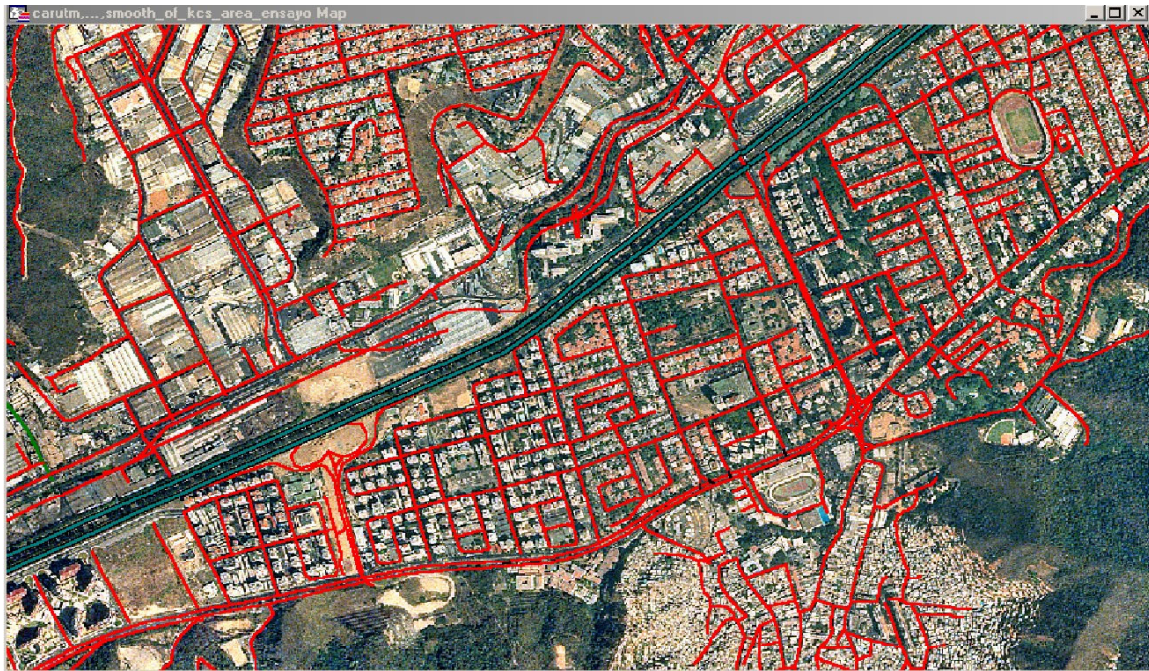


Fig.1
Detalle SIG Coberturas. Sur-oeste de Caracas. Hoja 6847

Fuente: IGDR. Elaboración Propia.

ESTRUCTURA Y PROCESAMIENTO DE LAS BASES DE DATOS DIGITALES.

La elaboración de las bases de datos que integran el sistema de información geográfico, a partir de la cual se realizarán los análisis de reflectividad y emisividad, es un proceso complejo que implica el manejo de altos volúmenes de información aun en espacios reducidos, debido no solo a la heterogeneidad de las superficies urbanas, sino también, al alto nivel de fragmentación de las mismas.

Esta situación determinó la búsqueda de metodologías de tratamiento y procesamiento de imágenes, que permitieran recuperar, con mayor nivel de precisión la información relativa a las diferentes coberturas urbanas o usos del suelo. Es conveniente en este momento hacer una distinción, entre coberturas y usos del suelo, ya que el término cobertura se utilizará, para discriminar categorías que describen más la estructura física, que la funcionalidad socio-económica del espacio. Nuestro término de referencia en este caso, es una imagen digital, a partir de la cual nos interesa, en un primer nivel de análisis del estudio, determinar parámetros estructurales-ambientales que influyen en el balance energético físico de las superficies urbanas y en consecuencia, en el balance térmico ambiental urbano.

El procesamiento automático de imágenes tiene ventajas frente a las limitaciones de la percepción humana, debido, justamente, a la estructura misma de las imágenes digitales, ya que estas poseen un arreglo matricial de datos continuos constituidos por píxeles, cuya información es utilizada por los programas de procesamiento, ERDAS, Idrisis, Arc View

Image Análisis 8.0, por ejemplo; para organizar los píxeles en estructuras o polígonos similares, de acuerdo a la información contenida en estos.¹

Este procedimiento automático de procesamiento interno del programa, conocido como ISODATA (en Arc View 8.0) es una técnica iterativa, que es controlada por el número de Iteraciones y el umbral de convergencia entre estas en varias vueltas de iteración de la data categorizada, hasta transformarla sucesivamente en una única clase. Este proceso nos permite obtener una única capa temática de datos asociada, generalmente en formato raster, que luego es convertida en capas vectoriales y/o poligonales, para la elaboración de mapas temáticos.

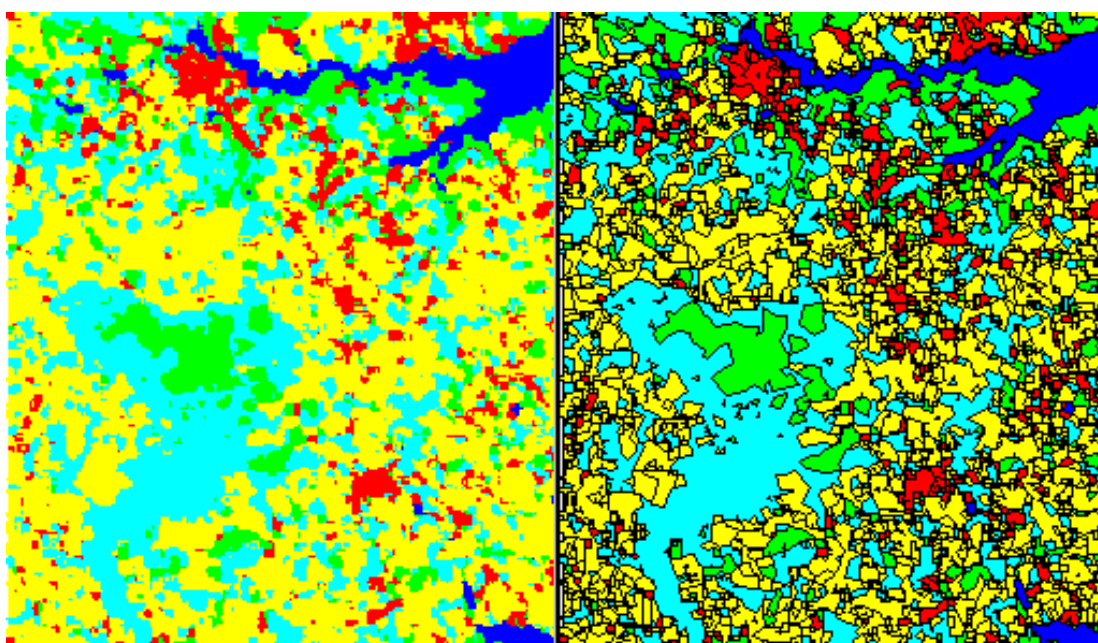


Fig. 3
Clasificación Automática.

Formato raster
Bmp, jpg, tiff, etc.

Formato SIG:
vectorial /poligonal/ puntual.

Fuente: http://www.udel.edu/johnmack/frec480/480lec_av_image2.html

Al procedimiento anterior también se le conoce como *clasificación automática no supervisada*, (Fig.3) porque los criterios de clasificación son determinados por el programa y no por el investigador de forma directa. Otras formas de clasificación ampliamente utilizadas son la *clasificación supervisada*, donde el investigador establece los criterios y la *semi-automática*, que supone el aprovechamiento inicial de la data espacial generada automáticamente y a partir de aquí realizar verificaciones en campo, comparativamente con

¹ Andrew G.Klein *Unsupervised classification*. Department of Geography.Digital Image processing . Texas, 2001. http://geog.tamu.edu/klein/geog661/lecture_notes/lecture22/lecture22.pdf

la imagen fuente para identificar y/o diferenciar los grupos de categorías definidas por el programa.

Una primera clasificación no supervisada fue realizada en el área de estudio de acuerdo al procedimiento automático anteriormente descrito (Fig. 4). Este procedimiento permitió obtener un mapa temático de categorías discriminadas de acuerdo a sus valores similares de reflectividad, donde fue posible constatar el alto nivel de fragmentación del espacio urbano. Posteriormente, se utilizó la imagen fuente y el conocimiento del área, para realizar una primera identificación de coberturas, agregando aquellas unidades con características espectrales muy similares y que además, pudiesen efectivamente visualizarse en la imagen fuente, como correspondientes a una misma unidad tipo; es decir, unidades de vegetación, y/o áreas con diversos niveles de densidad constructiva, o con diversos niveles de reflectividad.

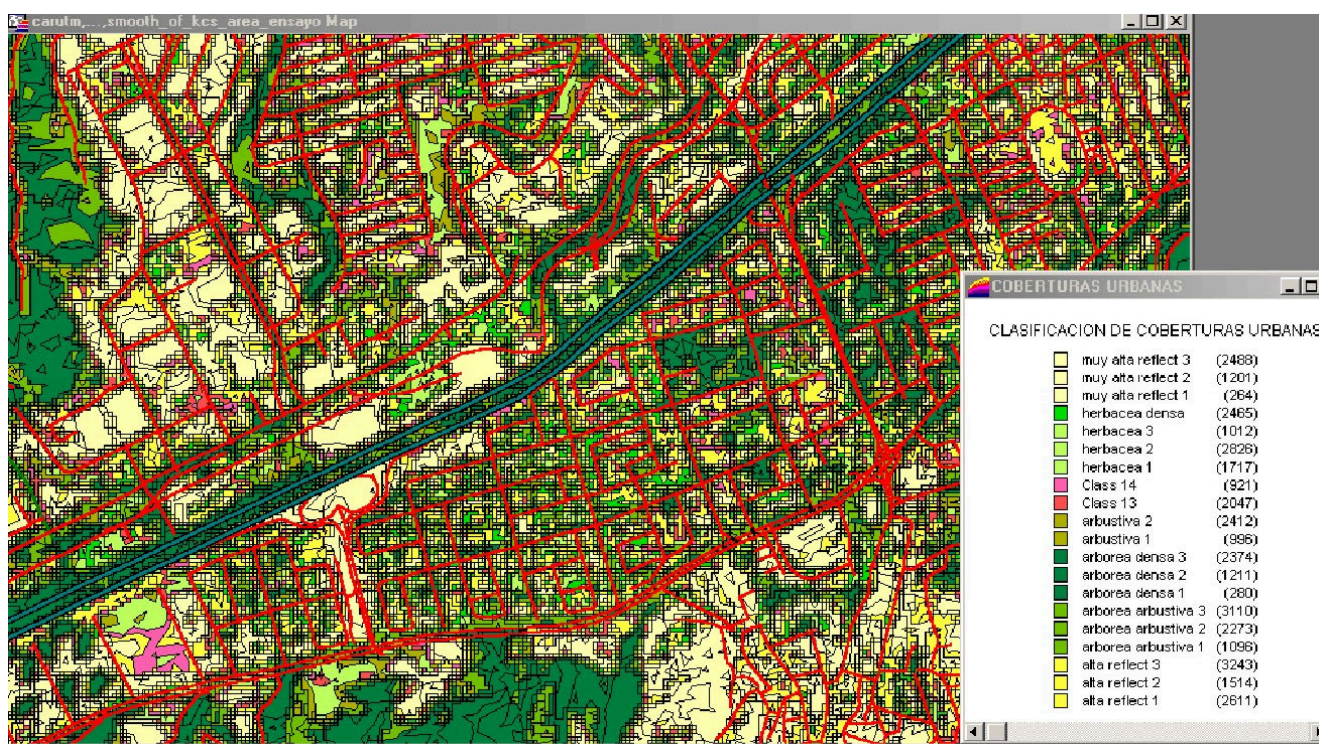


Fig.4
Clasificación de Imagen
Fuente: IGDR. Elaboración Propia

Las modificaciones ambientales físico-estructurales producto de las actividades humanas; que inducen cambios en las coberturas superficiales urbanas y, en consecuencia, en el balance térmico superficial, serán analizadas entonces, con una metodología teórico-empírica mixta, que combina e integra métodos de clasificación automáticos y supervisados, así como la corrección, ampliación y estimación de datos asociados a las categorías.

El modelaje espacial de rangos de reflectividad y emisividad será desarrollado una vez obtenidos estos valores de forma directa e indirecta en los procesos de clasificación y las estimaciones teóricas.

Asumiendo que, de acuerdo a la Ley de Kirchoff la emisividad espectral de un objeto es equivalente a su absorptividad:

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad [\text{Eq.01}]$$

Donde:

ρ = valor reflectividad.

α = valor emisividad.

τ = valor de la transmitancia.

Y que la relación de estas magnitudes es decir; *reflectividad, absorptividad y transmitancia son iguales a 1*², entonces, si conocemos los valores de ρ , podemos asumir que la emisividad espectral será igual.

$$\alpha = 1 - \rho + \tau. \quad [\text{Eq.02}]$$

Considerando que la *transmitancia*³ es prácticamente nula en el infrarrojo térmico, la expresión puede simplificarse indicando, que a esas longitudes de onda, la energía incidente o bien se refleja o bien se absorbe.

$$1 = \rho + \varepsilon. \quad [\text{Eq.03}]$$

Una vez desarrollado el sistema de información geográfico de coberturas (Fig.3), se procede a asignar, de acuerdo a tablas de referencia,⁴ valores promedios de *reflectividad* para las diferentes coberturas urbanas en la base de datos del sistema de información. Esta información permite determinar la emisividad potencial de estas superficies; (Ley de Kirchoff) obteniendo así, valores aproximados de emisividad térmica, que permiten establecer una red espacial de datos a partir de los cuales, por interpolación pueden obtenerse rangos espaciales de emisividad potencial para las distintas coberturas urbanas.

² Chuvieco, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. Capítulo 2, Tema 2.5.

³ Chuvieco, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. Capítulo 2, Tema 2.6.

⁴ Environmental Protection Agency/ Lawrence Berkeley laboratory. Cooling our communities. Chapter 3.

BALANCE TÉRMICO ANTROPOGENICO Y SUS INCIDENCIAS EN LA FORMACIÓN DE ISLAS TÉRMICAS URBANAS.

Uno de los aspectos de más difícil determinación en el estudio de las *islas térmicas urbanas*, son las *emisiones térmicas antropogénicas (antrophogenic heat)* es decir, aquellas generadas como subproducto de las actividades humanas.⁵ La diversidad de actividades y funciones que se verifican en el espacio urbano y que generan como subproducto emisiones contaminantes y térmicas son numerosas, existe sin embargo un factor común que nos permite integrar y vincularlas todas estas actividades: *El consumo de energético*.

Toda actividad económica o función de producción en el tiempo y el espacio depende del suministro de fuentes energéticas para poder completarse. Existen, lógicamente, diferencias en la estructura de consumo final energético, que nos permiten categorizar las actividades de acuerdo a intensidades de consumo, en *energo-intensivas* y de *baja intensidad energética*. De modo general podría afirmarse, que las actividades productivas vinculadas a la industria básica, la producción primaria minero extractiva y el sector de transporte son las de *mayor intensidad energética*, en tanto que aquellas vinculadas a los sectores de comercialización, y servicios diversos son de más *baja intensidad energética*.

En los espacios urbanos generalmente predomina una concentración de funciones vinculadas a los sectores de media a baja intensidad energética, comparativamente con las industrias básicas. En el caso específico de Venezuela, los bajos costos históricos de los energéticos, y la inexistencia de políticas que incentiven la eficiencia energética y la conservación a nivel de los consumidores finales, determinan bajos rangos de eficiencia en casi todas las actividades económicas. Estos bajos rangos pueden manifestarse en altos niveles de pérdidas energéticas, fundamentalmente térmicas y en una relación de productividad generalmente desfavorable, en términos de las cantidades físicas procesadas y/o producidas por unidad energética consumida. (Ton/MW, Ton/Bep, Ton/m³, etc.).

Desarrollar un procedimiento para modelar rangos espaciales de pérdida energética a partir de modelos de intensidades de consumo energético, constituye una propuesta metodológica a la aproximación de la problemática compleja de las *emisiones térmicas antropogénicas*, acentuadas por los flujos y actividades urbanas ineficientes y disfuncionales.

Adicionalmente, la concentración de actividades en el espacio urbano, tiende a acentuar las tendencias de densificación y fragmentación del espacio urbano, problematizando aun más los caóticos flujos urbanos. La ineficiencia creciente y el retardo por atascamiento y/o saturación de los flujos funcionales urbanos, constituirán mecanismos de retroalimentación que empeoran constantemente la calidad ambiental, la fragmentación, la segregación y la disfuncionalidad urbana, con un alto costo energético en términos de la pérdida creciente de eficiencia y la disminución del potencial de ahorro y conservación de energía.

⁵ Environmental Protection Agency/ Lawrence Berkeley laboratory. Cooling our communities. Chapter 3.

Avances parciales en la determinación de los rangos espaciales de perdidas energéticas, lo constituye la elaboración de mapas temáticos de intensidades de consumo energético urbano, elaborados a partir de los indicadores de consumo per. Capita⁶ y asociando, este indicador, a las bases de datos de población del sistema de información geográfico (Fig. 5).

Una vez obtenidos los rangos de intensidades de consumo energético, pueden estimarse las emisiones potenciales de gases invernadero, (metodología, OLADE)⁷.

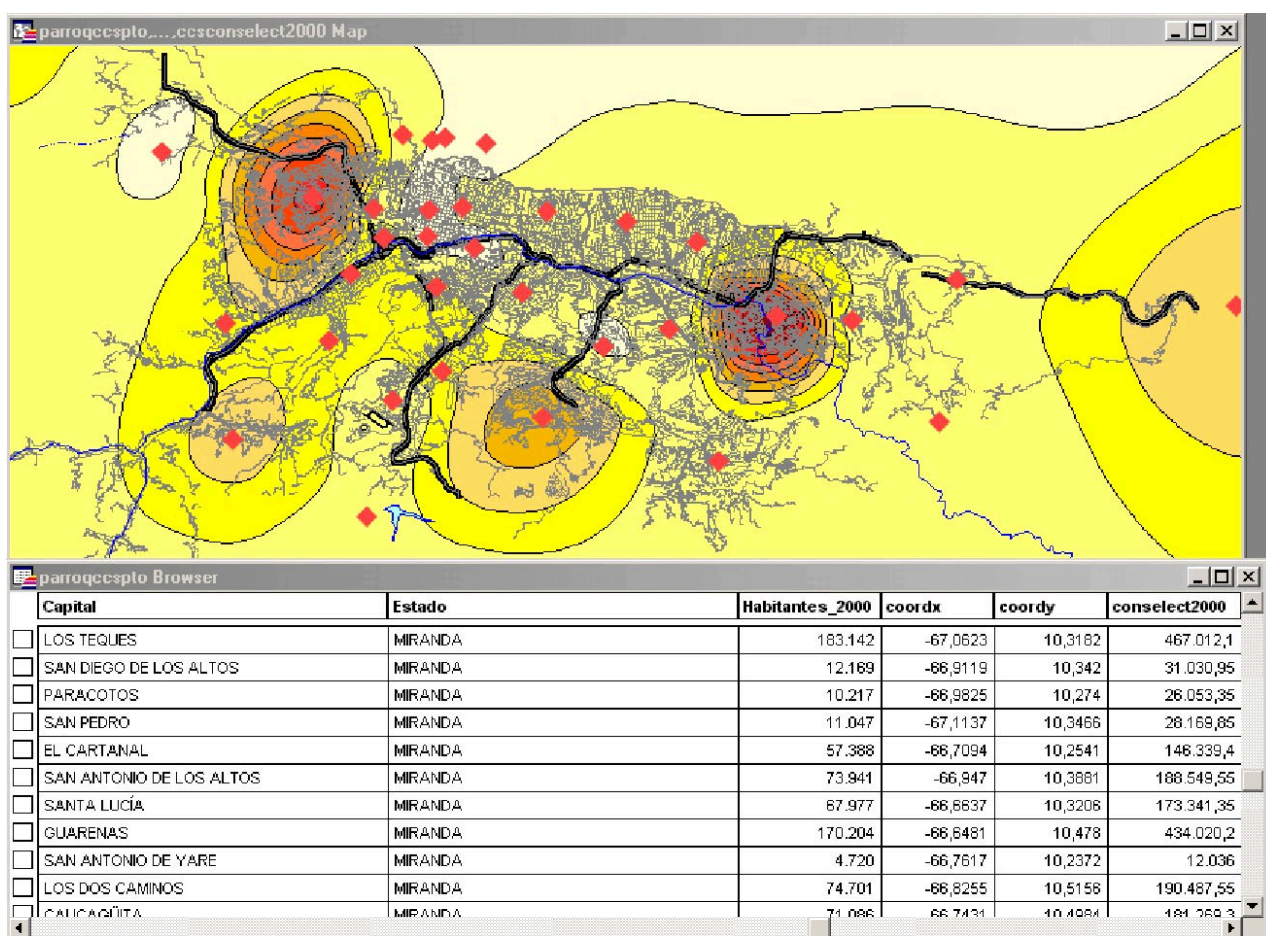


Fig5
Isolneas de intensidades de Consumo Energético Área Metropolitana de Caracas.
BEP/Hab. Año 2000.

Fuente: IGDR. Elaboración Propia.

Estos valores se ingresan en las bases de datos del sistema de información geográfico para constituir las redes espaciales de datos de emisión, a partir de la cual, mediante técnicas de interpolación pueden generarse rangos espaciales de intensidades de emisión para los distintos gases invernadero generados. Otra alternativa en estudio, sería estimar⁸ el diferencial existente

⁶ Venezuela. Sistema de Información Económico-Energético /OLADE 1999.

⁷ Venezuela. Sistema de Información Económico-Energético /OLADE 1999.

⁸ Metodología OLADE. Venezuela. Sistema de Información Económico-Energético /OLADE 1999.

entre el consumo total y la *energía útil*⁹, para obtener el porcentaje relativo de pérdidas energéticas térmicas o emisiones térmicas. Estas informaciones deben complementarse con análisis que proporcionen información sobre la estructura espacial de aquellas áreas con mayor potencial de emisividad, en términos de densidad constructiva y cobertura vegetal, por ejemplo.

CONCLUSIONES:

Algunas reflexiones finales a modo de conclusión, partiendo de la dinámica compleja del ambiente y en consecuencia, de los problemas ambientales, es que sin duda, debido justamente a la complejidad inherente al funcionamiento de estos sistemas, los abordajes múltiples de técnicas, que se complementan e integran en el contexto de un enfoque conceptual marco del proyecto de investigación, son justamente los que mejor permiten la comprensión de esta dinámica, sin ser excluyentes de otras posibilidades de análisis e interpretación.

En esta propuesta de estudio se integran herramientas esencialmente descriptivas, como lo son los Sistemas de Información Geográfico, con técnicas de análisis espacial y enfoques conceptuales, en la determinación de espacios potencialmente susceptibles al desarrollo de islas térmicas urbanas.

El uso de Sistemas de Información Geográfico y técnicas de análisis, constituye sin duda un enfoque valioso, que permite abordar la complejidad y segmentación de los parámetros macro ambientales del ámbito urbano. Los recursos satelitales, y las aerofotografías, proveen de información detallada que facilita la caracterización del espacio urbano, contribuyendo así, a una mejor comprensión, de las relaciones entre las variables ambientales y físico-estructurales que determinan el potencial de formación de estas “*islas urbanas de calor*”.

BIBLIOGRAFÍA.

AKBARI, M, POMERANTZ, AND H.TAHA. (1999). *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*. Heat Island Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. March.

HAIDER. TAHA AND RONAL RITSCHARD. (1992). *Impacts of global climate change on cities: Energy Ozone and surface characteristics*. Lawrence Berkeley National Laboratory. California.

D.M KURN, S.E BREZT, B.HUANG AND H AKBARI. (1994). *The Potencial for reducing air temperatures and energy consumption trough vegetative cooling*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Energy & Environment Division, University of California.

HAIDER TAHA. (1997). *Urban Climates and Heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*. Berkeley National Laboratory, March.

⁹ Aquella que es efectivamente aprovechada en las funciones de producción para generar trabajo.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. (1992). *Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light colored surfacing*. January.

SARA, BRETZ, HASEM AKBARI AND ARTHUR ROSENFELD. (1994). *Practical issues for using solar reflective materials to mitigate urban heat islands*. Lawrence Berkeley National Laboratory. January.

CHUVIECO, EMILIO. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones RIAL.S.A, 2da Edición, Madrid.

ESRI. FREC 480. (2000) *GIS in Natural Resource Management*. ArcView Image Analyst 2 Handbook: Enhancing and Analyzing Images.

http://www.udel.edu/johnmack/frec480/480lec_av_image2.html

ANDREW G.KLEIN (2001). *Unsupervised classification*. Department of Geography.Digital Image processing . Texas.

http://geog.tamu.edu/klein/geog661/lecture_notes/lecture22/lecture22.pdf

JAMES, J.KAY, J.LUVALL, TALLEN, R. FRASER.(2000) *About Thermodynamics of ecosystem and surface temperature*. University of Waterloo, Ontario, Canada.

<http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/>

JAMES J. KAY, T. ALLEN, R. FRASER. (2001). *Can we use energy based indicators to characterize and measure the status of ecosystem, human, disturbed and natural? University of Waterloo, Ontario, Canada*. <http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/>

R. FRASER & JAMES J. KAY. (2000). *Establishing a Role for the thermal Remote Sensing of eco-system: Exergy Analysis*.Dec. <http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/>