

## LOS DISTRITOS SOLARES URBANOS COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

Jonathan Torres<sup>1</sup>, Karenia Córdova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela. Correo: [geog.jonathan.torres@mail.com](mailto:geog.jonathan.torres@mail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela. Correo: [kareniac@mail.com](mailto:kareniac@mail.com)

### RESUMEN

La presente investigación surge de la preocupación de la dependencia energética del Área Metropolitana de Caracas, al no producir su propia energía y no contar con un sistema alternativo y diversificado de generación, no transmite a sus ciudadanos la seguridad energética necesaria para sus actividades y servicios. Por lo tanto, es necesario disponer de varios sistemas de alimentación alterna de energía, estos deben ser autónomos, locales y eficientes, y además deben estar basados en energía no derivada de combustibles fósiles, ni que produzcan gases de efecto invernadero. En esta investigación se consideró la energía solar, ya que tienen el potencial único de fusionarse directamente con la infraestructura y el entorno urbano, por esta razón se sectorizó la ciudad en base a la metodología de los Distritos Solares Urbanos, en base a la cual se estimó el potencial solar, mediante el uso de un sistema de información geográfica y técnicas de análisis espacial, lo que nos permitió construir una base de datos con información geoespacial en formato \*raster compuesta de 259.350 \*pixels con valores en kWh/m<sup>2</sup> por cada celda, que permite ser fusionada con archivos vectoriales. Posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias basada en la distribución *t* de Student, con los datos mensuales de la radiación del *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE) de la NASA (*National Aeronautic Society American*) arrojando una distribución significativa estadísticamente. El resultado de estos procesos generó una base de datos con información geoespacial sectorizada que determina cuáles son las áreas más aprovechables y factibles para generar electricidad mediante el uso de energía solar.

**Palabras clave:** Ciudad, energía solar, gestión del territorio, distritos solares urbanos.

## INTRODUCCIÓN

La población urbana a nivel mundial ha crecido 5 veces desde 1950: de 700 millones a 3.900 millones de personas en 2014. En las ciudades, se produce el 80% del PIB mundial, pero se consume el 80% de la energía global y más del 75% de los recursos naturales siendo responsables de generar más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2014). Sin duda son sistemas que consumen energía y seguirán consumiendo por su crecimiento acelerado, por ello se estima que la demanda de energía mundial va a crecer un 37% hasta el 2040 (AIE, 2014).

Este crecimiento de las ciudades ha generado graves impactos en el ambiente, pero es en ellas, donde se encuentran los centros financieros y económicos más importantes, también el contacto social y cultural diversificado, el talento, la innovación, los mejores trabajos y los servicios. Este proceso de expansión urbana es evidente e inevitable, por lo tanto, si la construcción y mantenimiento de las ciudades es parte de los grandes problemas, también deben ser parte de la solución para generar planes y estrategias enfocadas a la generación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Según el informe *Energy Technology Perspectives 2016* (ETP 2016) y el informe anual de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2014), los edificios urbanos proporcionan espacio útil para autogenerar la electricidad que consumen y un techo solar podría suplir una demanda importante de electricidad para las ciudades. Por lo tanto, la integración de la energía solar como un sistema híbrido que respalde la red eléctrica tradicional, puede ser una estrategia para mitigar las deficiencias energéticas que ocurren en una ciudad donde los hospitales y otros servicios importantes quedan vulnerables a cortes eléctricos de pequeña y gran escala.

De esta manera pensar en la integración de la energía solar como una estrategia de gestión territorial sustentable que va más allá de un servicio básico para la sociedad, también se puede concebir como una visión integral para impulsar el desarrollo territorial y la planificación ambiental en las ciudades, este tipo de estrategia puede contribuir a que las ciudades sean más sostenibles y menos dependientes de otras regiones en materia energética ya que generarían parte de

su energía y podrían responder a contingencias como cortes eléctricos comunes y eventos extraordinarios, siendo estas más resilientes.

Partiendo de que no existe una información detallada de la radiación solar en la ciudad de Caracas, se estimó e interpretó en un mapa con información geoespacial, el potencial solar urbano del Área Metropolitana de Caracas para luego sectorizar la ciudad en unos Distritos Solares Urbanos, que fueron evaluados y ponderados en una matriz geográfica con técnicas de análisis de superposición de mapas para visualizar y calcular los sectores con mayor viabilidad.

El resultado de estas técnicas genera una información geoespacial detallada, que permite conocer la radiación solar en cualquier superficie del AMC a escala urbana, contribuyendo a generar las bases para dirigir las estrategias y proyectos para la inserción de la energía solar, así como también información para ampliar proyectos de ingeniería, urbanos y científicos de energía solar en la ciudad de Caracas.

## 1. DISTRITO SOLAR URBANO

Un Distrito Solar Urbano o una Red Solar Urbana (*Solar District Heating*, SDH), consiste en grandes campos colectores térmicos conectados a edificios o redes de calor de barrios, comunidades o de grandes ciudades. En la actualidad se presenta como uno de los enfoques principales para aumentar la eficiencia energética global de las áreas urbanas, bien por la renovación de los sistemas existentes o por la introducción de nuevos sistemas, como los híbridos con la energía solar fotovoltaica, integrada a la red tradicional de energía eléctrica. A continuación, en la siguiente figura se muestra un esquema de la estructura de un Distrito Solar Urbano:

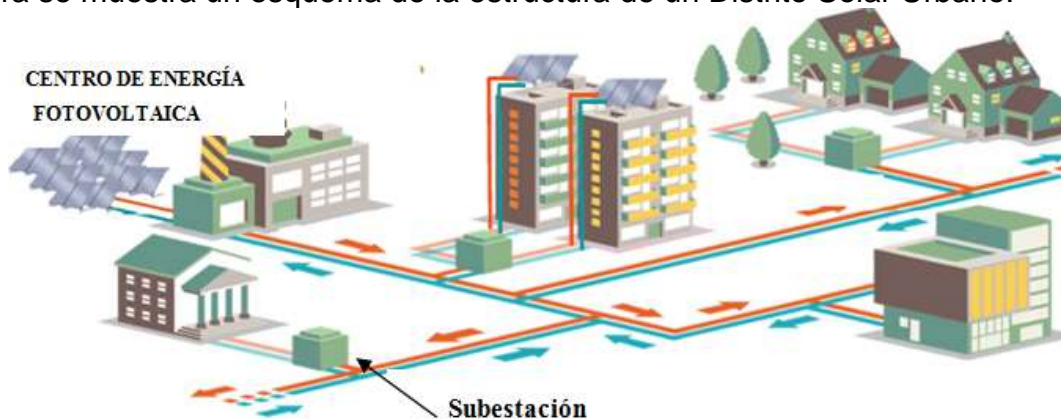


Figura 1: Distrito Solar Urbano o Red Solar Urbana (Solar District Heating, SDH).  
Fuente: Planeamiento Urbano: Solar District Heating. Proyecto SHDplus Tecnalia (2012).

En esta investigación, los distritos fueron delimitados de acuerdo con los macrosectores que componen el AMC, es decir, un total de 35 macrosectores definidos por el Instituto Metropolitano de Urbanismo-Taller Caracas (Instituto IMUTC) en el Plan Caracas 2020. Estos fueron divididos tomando en consideración características de funcionalidad, homogeneidad y uso predominante. Esta delimitación espacial permite orientar y definir la delimitación de los Distritos Solares Urbanos, con los mismos criterios del entorno urbano, al incorporar las consideraciones y lineamientos metropolitanos entorno a las políticas que orientan las actuaciones urbanas, en los municipios y parroquias que conforman el AMC, facilitando de esta forma la gestión del territorio a nivel local y metropolitano. En la siguiente tabla se especifican los Distritos Solares Urbanos:

Tabla 1: Distritos Solares Urbanos

01 El Junquito	08 Avenida Sucre	15 Casco Central	22 Hoyo de la Puerta	29 Los Ruices Boleita
02 Parque Macarao	09 La Yaguara-San Martín	16 San Bernardino	23 Turgua Sabaneta	30 La Urbina
03 Macarao-Las Adjuntas	10 Montalbán-El Paraíso	17 Sabana Grande	24 La Unión-Gavilán	31 Macaracuay
04 Caricuao-Zoológico	11 La Vega	18 Chacao	25 Alto Hatillo-La Lagunita	32 Petare
05 Antímano-Mamera	12 Coche-El Valle	19 Bello Monte-Las Mercedes	26 Los Naranjos-Cementerio	33 Filas de Mariche
06 Catia	13 Fuerte_Tiuna	20 Prados del Este	27 Concreta	34 Autopista Guareñas-Guatire
07 Carretera Vieja	14 Cementerio-Santa Mónica	21 La Trinidad	28 El Cafetal	35 El Ávila

Fuente: Elaboración propia.

## 2. ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL AMC USANDO MODELO POTENTIAL INCOMING SOLAR RADIATION Y SU IMPLEMENTACIÓN CON SAGA GIS

El modelo de *Potential Incoming Solar Radiation*, esta implementado en un sistema de métodos geocientíficos de código libre en SAGA GIS; para generar este proceso se requiere un conjunto de datos de entrada principalmente de información topográfica para construir un Modelo Digital del Terreno (MDT), lo cual permite

obtener elevación, pendiente, orientación superficial, factor de cielo claro y sombreado, que permiten indicar la influencia de los factores de la radiación solar y su estimación espacial. Los otros parámetros son por defecto: la constante solar con  $1367 \text{ W m}^2$ , días del año; hora decimal, alba y puesta del Sol sobre un plano horizontal, longitud del día, latitud geográfica y factor atmosférico. El modelo estima la Radiación Global (Gt) para condiciones de cielo claro para una determinada área, integrando los componentes directos (Gb) y difusos (Gd).

Ahora bien, con todos los parámetros y datos de entrada preparados, se realizó la corrida del modelo para el año 2017, obteniendo inicialmente el mapa de elevación del terreno y mapa de facto de cielo visible (*Sky View Factor*); insumos principales para el cálculo de radiación directa (Gb) y difusa (Gd) para finalmente obtener un mapa de radiación global anual.

A continuación, la siguiente figura sintetiza todo el proceso realizado para estimar la radiación directa, difusa y global anual del Área Metropolitana de Caracas:

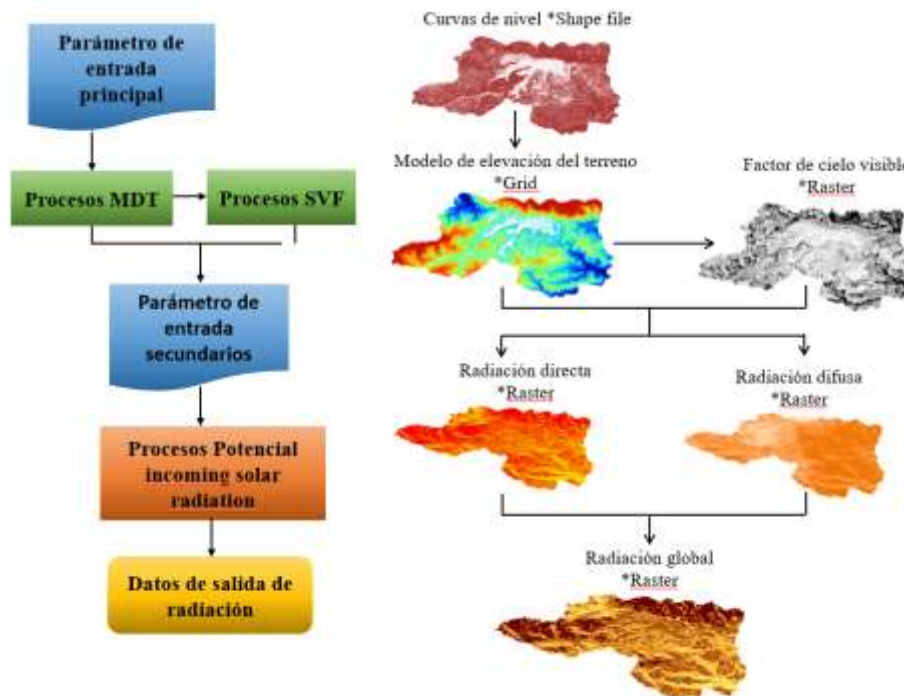


Figura 2: Proceso para estimar la radiación directa, difusa y global anual del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que tanto la radiación directa como la difusa, están contenidas en la radiación total anual, que equivale al número de Horas Sol Pico (HSP), es decir, el área bajo la curva de la irradiancia. En la figura 3 se observa el rectángulo de color azul en el área equivalente, bajo la curva de color rojo, es una curva ideal de irradiancia. Por su parte, la altura de la curva y el rectángulo azul, son igual a  $1000 \text{ W/m}^2$  y el ancho son las HSP. Todo ello representa el número de horas equivalentes en el día, durante las que se obtiene una irradiancia constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ , valor óptimo donde los captadores solares trabajan a máxima potencia.

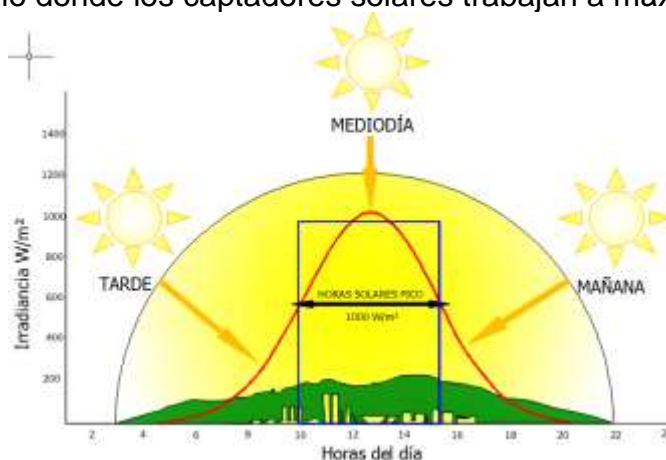


Figura 3: Irradiancia que se reciben en las horas pico Sol del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, a este punto, la irradiación o insolación solar significa la cantidad de energía solar en  $\text{Wh/m}^2$  o  $\text{kWh/m}^2$ , acumulada sobre un área durante un tiempo determinado (horas, días, meses, años); en cambio, la irradiancia solar es la potencia por unidad de área ( $\text{W/m}^2$ ,  $\text{kw/m}^2$ ), está varía durante el día, incrementándose desde el alba, hasta alcanzar su valor máximo alrededor del mediodía y finalmente decrece en el atardecer.

Una vez entendido estos procesos se presentan los resultados de radiación global anual del AMC durante el año 2017, con un valor medio de  $2.072,93 \text{ kWh/m}^2$ ; es decir,  $5,67 \text{ kWh/m}^2$  por día. Sin embargo, este es un valor anual de referencia, en vista que en Venezuela no se disponen de estaciones climáticas que puedan

generar grandes diferencias de radiación solar mensual como en otras latitudes. Por ello, se procedió a realizar el cálculo por mes para analizar y comparar el modelo y validar los datos generados, estos resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1: Radiación total mensual en una superficie horizontal año 2017

(kWh/m <sup>2</sup> /day)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	5.53	5.80	6.70	6.18	6.93	6.04	6.83	6.90	6.01	6.31	5.07	5.33

Fuente: Elaboración propia con base en el Modelo *Potential Incoming Solar Radiation*, SAGA (2017).

El resultado obtenido fue un promedio general de la radiación mensual que arrojo un valor de 6,14 kWh/m<sup>2</sup>, esta disparidad con el promedio anual de 5,67 kWh/m<sup>2</sup>, es debido a que el modelo toma valores para un mes específico, generando un proceso detallado para un rango de días o momento; por el contrario, el proceso anual toma valores complementarios como los equinoccios y los solsticios, esto puede marcar una diferencia en la ejecución de los procesos del programa arrojando resultados con una diferencia de 0,46 kWh/m<sup>2</sup> entre los datos.

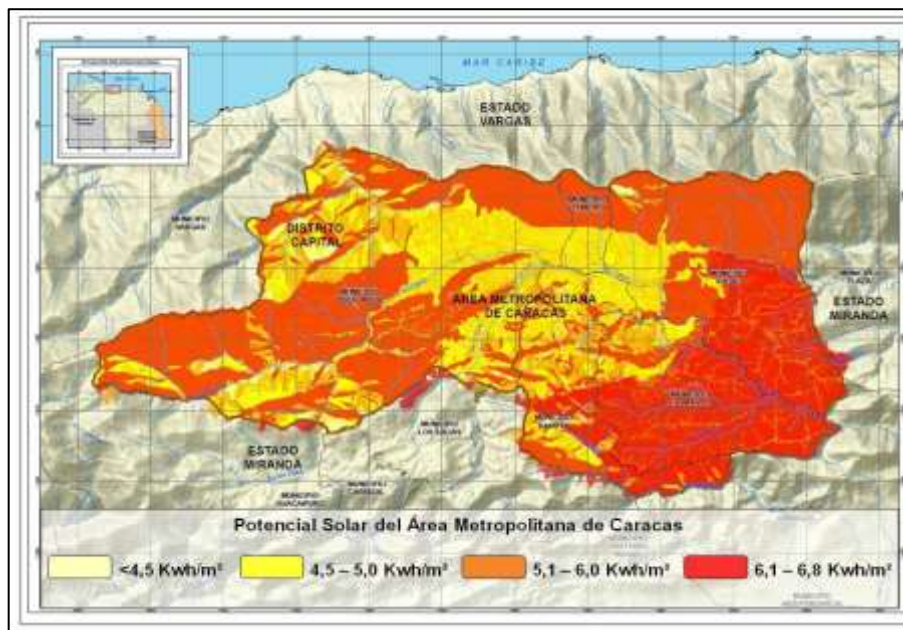


Figura 4: Mapa de Potencial Solar del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Espacialmente, el resultado del mapa de potencial solar señalado en la figura 4, generó una imagen \*raster compuesta de 259.350 \*pixels con valores en kWh/m<sup>2</sup> por cada celda. Indicando que cada \*pixels tiene un valor de radiación superficial que se espacializa a lo largo del AMC, proporcionando una información detallada con valor heterogéneo que permitió determinar la distribución de la radiación según la orientación y la topografía de un lugar o sector determinado.

## 2.1 Análisis y comparación de los resultados

Una vez analizados los datos de radiación solar generados por el Modelo *Potencial Incoming Solar Radiation*, se realizó una comparación con los datos del Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) de la NASA (*National Aeronautic Society American*), proyecto que proporciona datos meteorológicos utilizando información de sistemas satelitales, para estimaciones a largo plazo de media mensual de radiación solar incidente sobre una superficie horizontal para un mes determinado, promediado por un período de 22 años (julio de 1983 a junio de 2005).

Se seleccionó la información del SSE para esta comparación y análisis, y no las de la red de estaciones meteorológicas que cubren la ciudad de Caracas porque las mismas arrojan valores muy locales dentro del ámbito urbano y no para la totalidad del AMC, ya que cada una de estas estaciones tiene una serie de características físicas en su entorno que influye significativamente en los registros, como su ubicación, polución, orientación, sombreado, barreras naturales y artificiales que no permiten tomar valores exactos a cielo abierto, por lo tanto, es un dato propio de su localización. La información suministrada del SSE son datos precisos, aunque globales y, en general, contiguos en hora; estas dos características importantes, tienden a generar archivos de datos muy grandes, es decir, para una escala detallada, como la escala urbana, representa datos muy gruesos y homogéneos.

El promedio general para los datos del SSE tiene un valor medio de 5,58 kWh/m<sup>2</sup>, si se compara con los valores mensuales calculados por el modelo *Potential Incoming Solar Radiation* (6,14 kWh/m<sup>2</sup>), la diferencia es de 0,56 kWh/m<sup>2</sup>. Por lo tanto, se procedió a determinar las diferencias de manera estadística con los valores de las dos propuestas, tal como se establece en el siguiente gráfico:



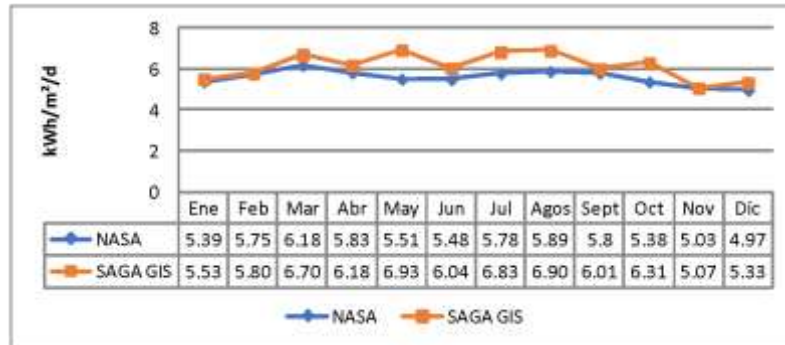


Gráfico 1: Diferencias estadísticas de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base en NASA y SAGA (2017).

Ahora bien, para determinar si existen diferencias entre los valores obtenidos de la NASA con respecto a los generados por SAGA, se realizó una prueba de comparación de medias basado en la distribución *t* de Student, a partir de los datos mensuales de la radiación. De modo que, se empleó el programa PAST versión 2.17C, una vez generados los procedimientos estadísticos se obtuvo como resultado que la distribución *T* de Student es significativa estadísticamente ( $t=-2,65$ ,  $G.L=22$ ,  $p=0,014$ ), esto se puede apreciar de mejor forma en el gráfico de cajas y bigotes que se muestra a continuación:

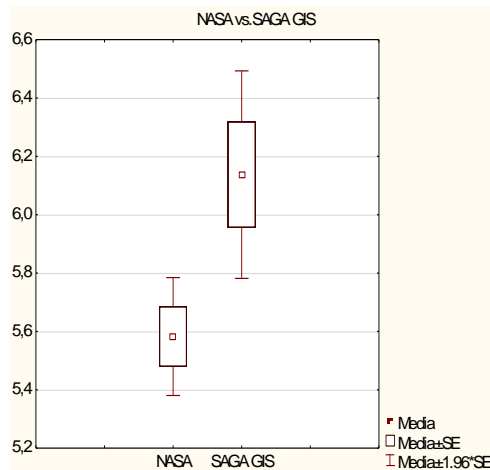


Gráfico 2: Distribución *T* de student de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base a datos de NASA y SAGA, (2017).

Observando que las medias son diferentes de forma significativa, debido a que los datos de la NASA son más homogéneos que los datos arrojados por SAGA. Esto podría explicarse debido a que los datos de la NASA tienen un menor nivel resolución espacial que los datos de SAGA, aunque también puede atribuirse a que el modelo de los datos de SAGA, se originan de un mayor número de variables consideradas dentro del modelo, y representa una gran ventaja de este tipo de técnicas, respecto a los métodos convencionales.

### 3. DISTRITOS SOLARES URBANOS DEL AMC

Los Distritos Solares Urbanos, fueron evaluados según sus distintos elementos y sus factores a través de la integración y síntesis de la información; por lo que fue necesario ponderar las variables mediante una Matriz Geográfica y a través de técnicas de superposición en un SIG de los diversos mapas temáticos que se generaron: entre ellos la densidad poblacional, consumo energético, uso de la tierra, estratos socioeconómicos, vialidad y radiación solar. El resultado de estos procesos generó una base de datos con información geoespacial, que permite identificar las áreas con mayor viabilidad para la instalación de sistemas solares con relación al desarrollo energético territorial. De esta manera, se pudo sectorizar el área de estudio con el fin de determinar cuáles eran los sectores más aprovechables y factibles para generar electricidad mediante el uso de energía solar como se puede ver en el siguiente gráfico:

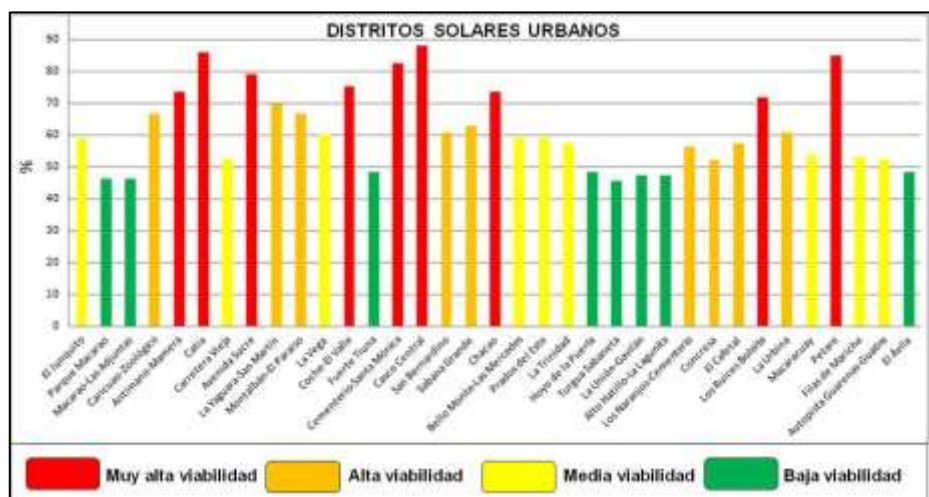


Gráfico 3: Distritos solares y su viabilidad en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que, en un distrito solar se instalan los diversos equipos específicos para cada equipamiento o servicio. Estos equipos están conformados por: captadores de energía, generadores y acumuladores, que deben estar interconectados a la red principal de distribución para finalmente conformar un sistema híbrido, en el caso del AMC, se interconectaría a la red de energía eléctrica tradicional proveniente de termoeléctricas y de la central Hidroeléctrica El Gurí.

Para el AMC, el aprovechamiento de la energía solar es viable en toda el área y en cualquier época del año, aunque se deben tener criterios para favorecer la posibilidad de realizar inversiones de sistemas conectados a la red y a su vez, se pueda prestar mayores beneficios a la ciudad en términos ambientales, económicos y sociales. Como resultado final en la figura 5, se muestra el mapa de los Distritos Solares Urbanos y su viabilidad:

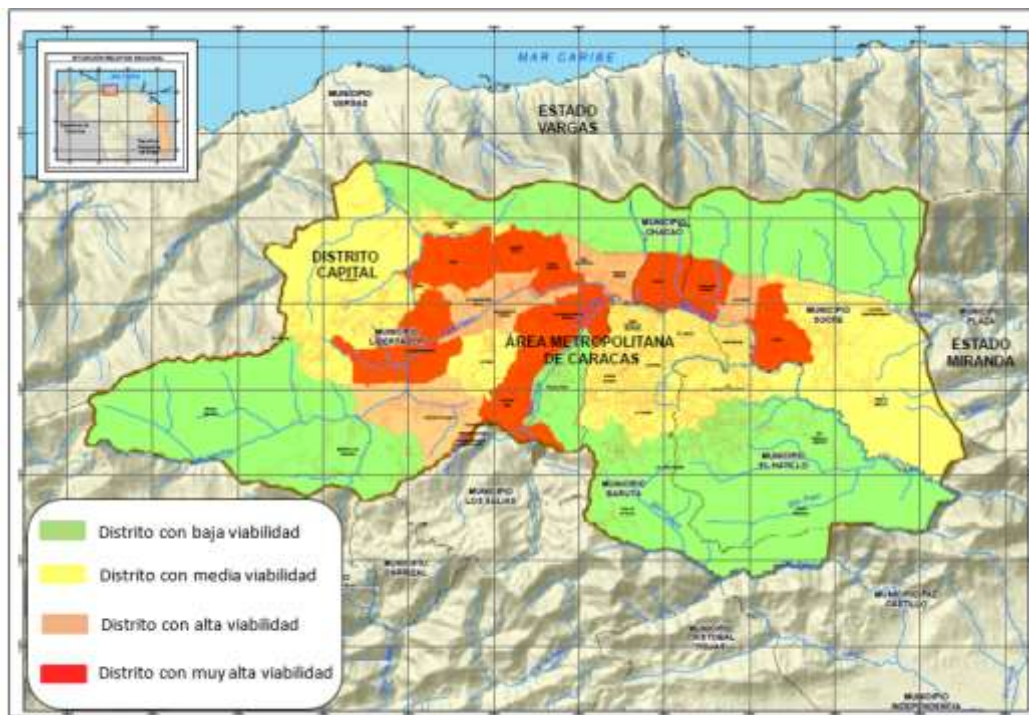


Figura 5: Distritos Solares Urbanos y su viabilidad en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

El resultado del mapa de potencial solar urbano permitirá, para futuras investigaciones, identificar condiciones microclimáticas, calcular la radiación incidente sobre áreas tomando en cuenta la geometría de la ciudad y las sombras proyectadas, así como el potencial de producción de energía eléctrica según los equipos e instalaciones por la radiación recibida en kWh/m<sup>2</sup> día de una instalación, sobre cualquier área de la ciudad. Esta información establece las bases para gestionar proyectos que pueden ser factibles en lugares estratégicos para alimentar las redes del alumbrado público, centros hospitalarios, militares y educativos en la ciudad; contribuyendo a que la ciudad sea menos vulnerable energéticamente y podrá en un futuro ser más resiliente ante eventos extraordinarios.

Es necesario destacar que se deben realizar estudios detallados de ingeniería de las condiciones del sistema eléctrico actual para poder iniciar la modernización de las instalaciones y estructuras que permitan insertar las redes complementarias de energía solar. Como también estudios detallados para la evaluación de los sitios o edificaciones en los Distritos Solares para conocer sus condiciones y si cumplen con los requisitos técnicos para el soporte y desarrollo y aprovechamiento de la energía solar.

Finalmente, el resultado de esta investigación deja una herramienta de referencia como es el Mapa de Radiación y de Potencial Solar del Área Metropolitana de Caracas, que puede ser consultado por medio de geoportales; a su vez, esta investigación es un aporte de valor científico y técnico para futuros proyectos y estudios académicos ya que es el primer mapa de Venezuela a escala urbana que aporta información referente para el desarrollo de la energía solar. Del mismo modo, esta metodología puede ser aplicada en cualquier ciudad si cumple con la información básica y los requerimientos para obtener los resultados para la elaboración de un mapa de radiación solar.

#### 5. REFERENCIAS

Agencia Internacional de Energía (AIE), (2014). World Energy Outlook 2014. Extraído el 25 de Septiembre de 2016 de [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014\\_ESSpanish.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014_ESSpanish.pdf)



Avances del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020 (2012). IMUTC, Alcaldía Metropolitana de Caracas.

Energy Technology Perspectives (ETP) 2016. Energy Technology Perspectives Towards Sustainable Urban Energy Systems. Extraído el 15 de noviembre de 2016 de [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016\\_ExecutiveSummary\\_EnglishVersion.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf)

NASA. Surface Meteorology and Solar Energy. Extraído el 28 de julio de 2016 <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

ONU (2014). La situación demográfica en el mundo. Informe conciso, 2014.

SDHplus. (2012). Solar-district-heating. Extraído el 18 de julio de 2016 de <http://solar-district-heating.eu/es/SobreelProyectoSDH.aspx>.

Torres, J. (2018). *La Energía Solar como herramienta de Gestión Territorial en el Área Metropolitana de Caracas*. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

# **APÉNDICE (Presentación)**



LOS DISTRITOS SOLARES URBANOS  
COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN  
TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL  
ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

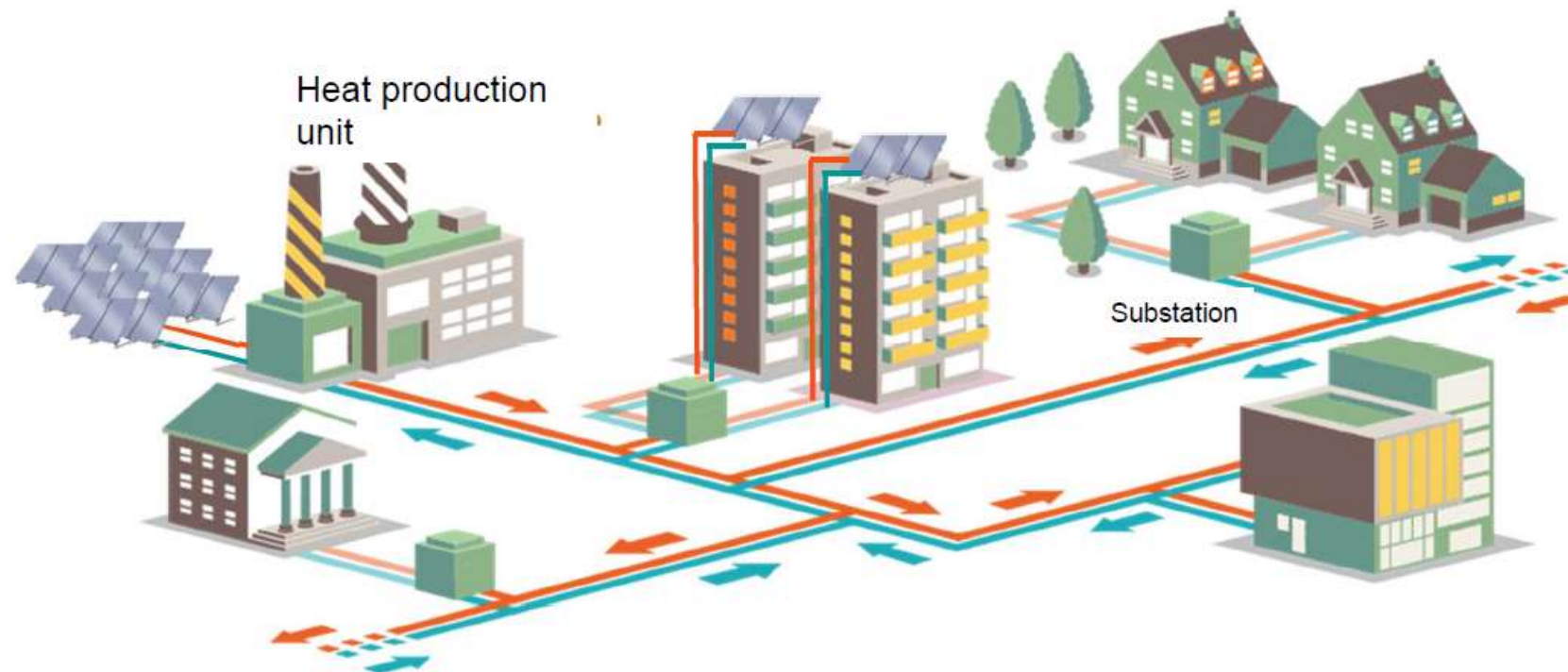
Msc. Jonathan Torres y Dra. Karenia Córdova



- Una ciudad energéticamente autosuficiente, que cumple con los requisitos del desarrollo sustentable ya que aprovecha la energía del Sol, contribuye a la descarbonización, disminuye las emisiones de gas invernadero y cumple con los objetivos de adaptación del cambio climático. (POLIS, 2010)
- Actualmente existen iniciativas y proyectos en varias ciudades del mundo que tienen el objetivo de proveerse de energía solar como fuente alternativa y principal de energía, beneficiosa para la población y al ambiente (POLIS, 2010).
- Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2014), los edificios urbanos proporcionan espacio útil para autogenerar la electricidad que consumen, los techos solares podría cumplir técnicamente un tercio de la demanda de electricidad de las ciudades.
- Dentro de las diferentes tecnologías de energías renovables, los sistemas solares tienen el potencial único de fusionarse directamente con el entorno urbano, pudiendo transformar las ciudades en instalaciones centrales de producción masiva de energía verde (POLIS, 2010).
- ¿En que medida la implementación Distritos Solares Urbanos contribuyen con la gestión territorial sostenible del Área Metropolitana de Caracas?



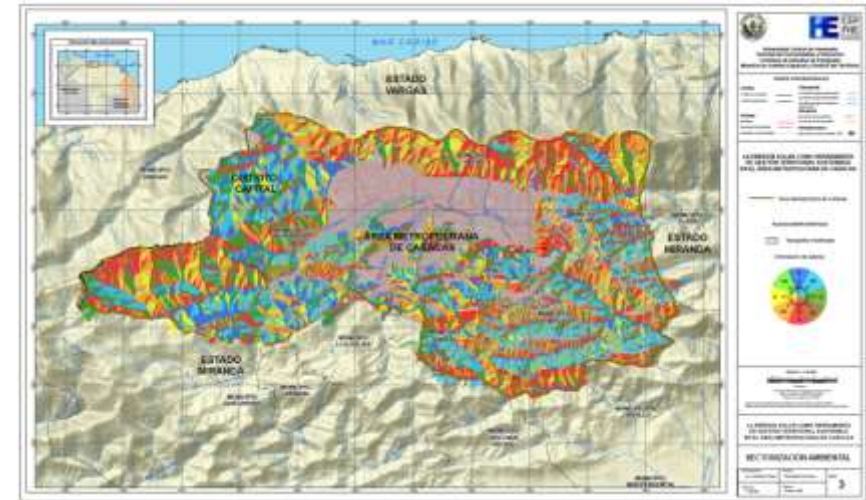
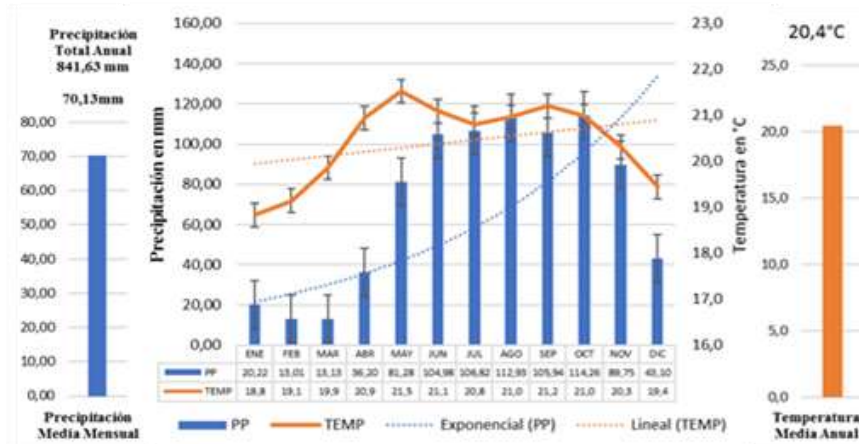
- **Distrito Solar Urbano o una Red Solar Urbana (Solar District Heating, SDH)**, consiste en grandes campos colectores térmicos conectados a edificios o redes de calor de barrios, comunidades o de grandes ciudades. En la actualidad se presenta como uno de los enfoques principales para aumentar la eficiencia energética global de las áreas urbanas, bien por la renovación de los sistemas existentes o por la introducción de nuevos sistemas, como los híbridos con la energía solar fotovoltaica, integrada a la red tradicional de energía eléctrica.



## Diagnostico Socioambiental del Área Metropolitana de Caracas

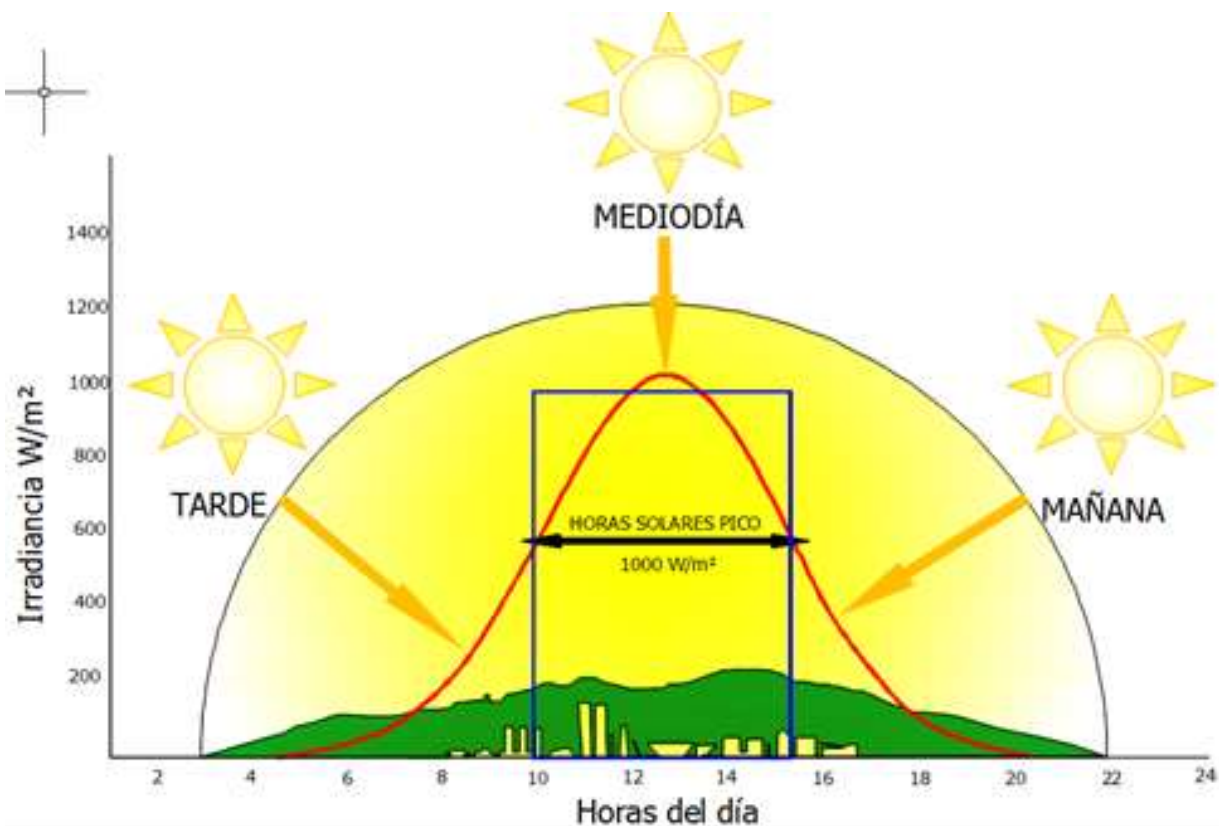
### Variables físico - naturales

### Clima, geología y geomorfología



— Límite del Área Metropolitana de Caracas    📍 Estación Meteorológica

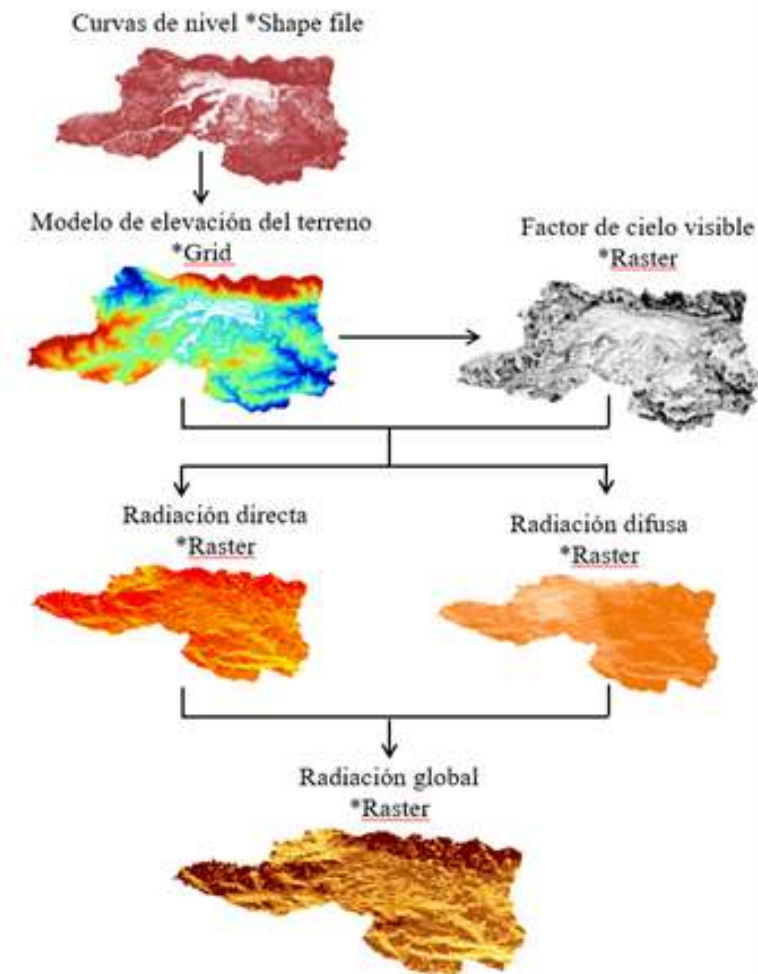
## Modelos de Radiación Solar del Área Metropolitana de Caracas Basados en Sistemas de Información Geográfica

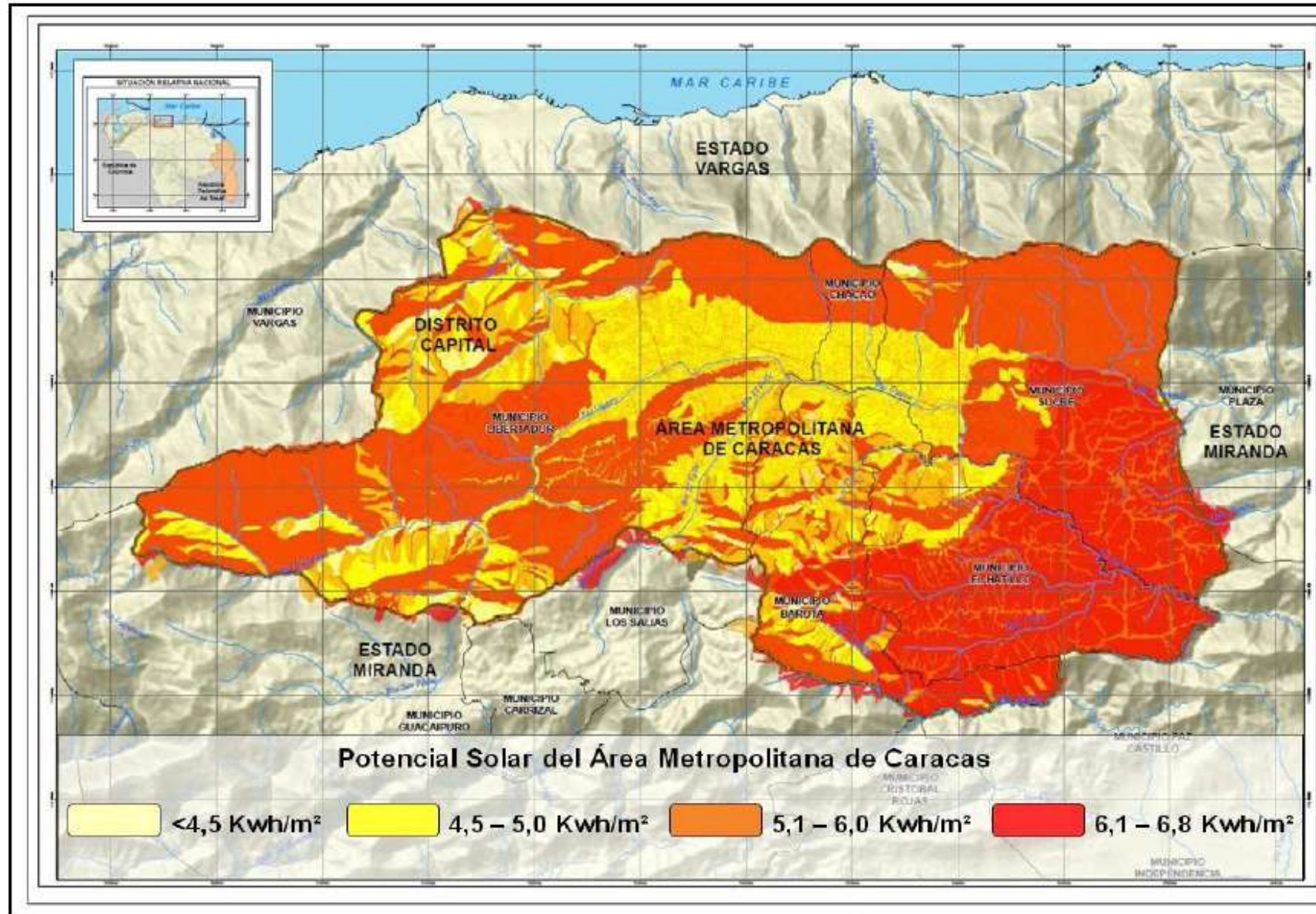


Irradiancia que se reciben en las horas pico Sol del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.



Procesos para estimar la radiación directa, difusa y global anual del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia





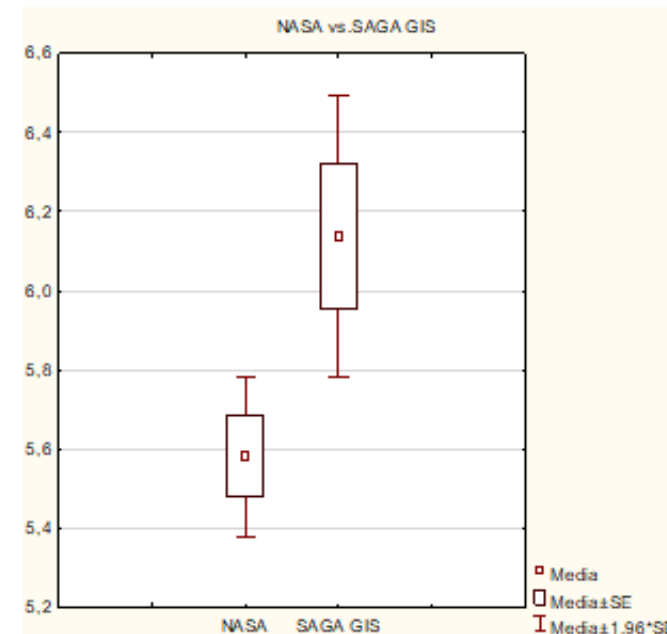
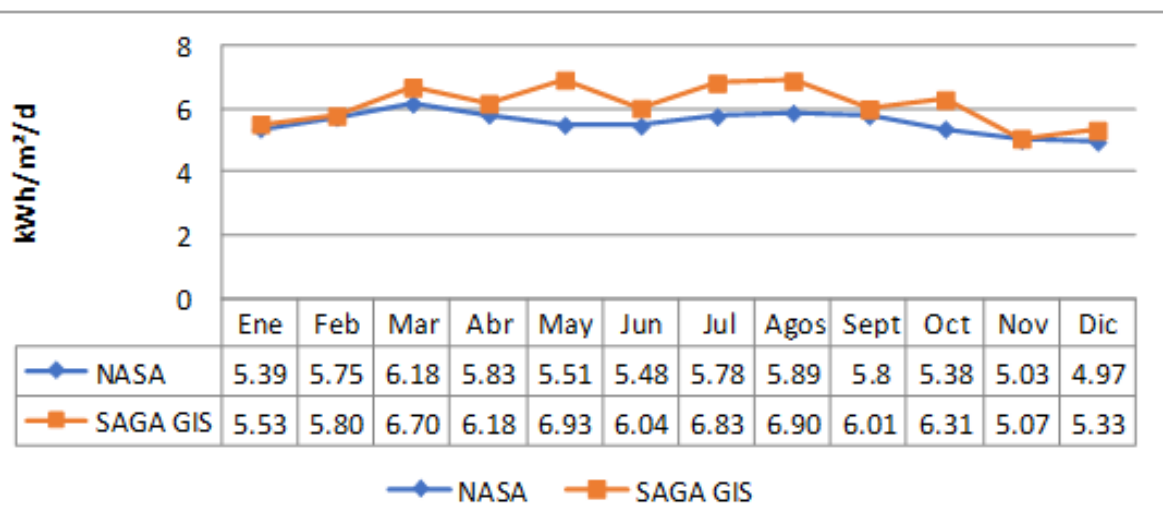
## Análisis y comparación de los resultados

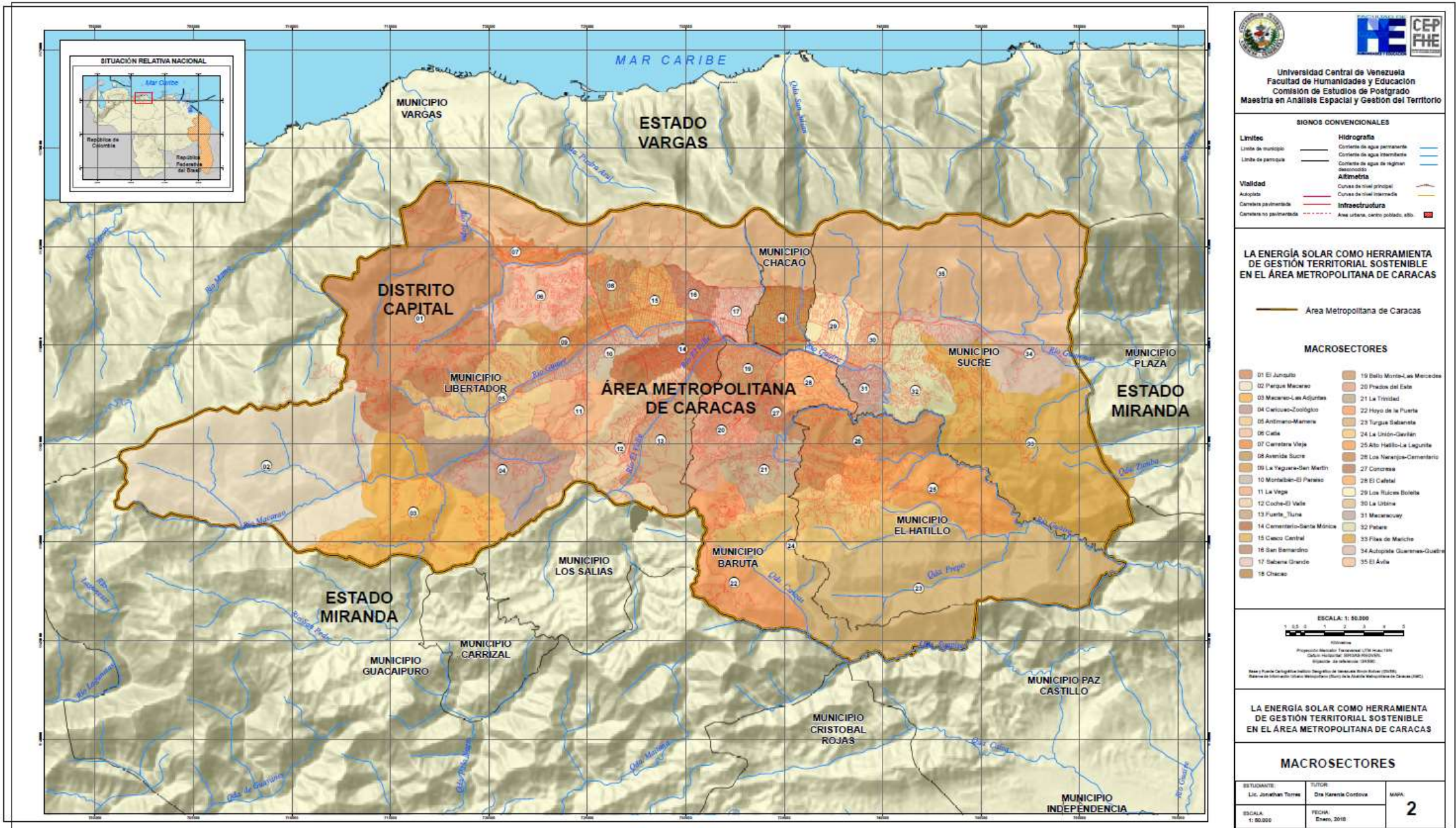
Se realizó una comparación de los Datos del **Modelo Potencial Incoming Solar con los Datos del Surface Meteorology and Solar Energy (SSE)** del proyecto de Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) de la **NASA** (National Aeronautic Society American que contiene una Data de un período de 22 años (julio de 1983 a junio de 2005).

El promedio general para los datos del SSE tiene un valor medio de **5,58 kWh/m<sup>2</sup>**, si se compara con el valor anual calculado por el modelo Potential Incoming Solar Radiation (**6,14 kWh/m<sup>2</sup>**), la diferencia es de **0,56 kWh/m<sup>2</sup>**.

Seguidamente, se realizó una prueba de comparación de medias basado en la distribución t de Student a partir de los datos mensuales de la radiación. se obtuvo como resultado que **la distribución T de Student es significativa estadísticamente (t=-2,65, G.L=22, p=0,014)**.

Por lo tanto, se estima que el conjunto de datos de proyecto del SSE es más homogéneo que los datos arrojados por el modelo de radiación de SAGA. Esto puede deberse a que los datos de la SSE de la NASA tienen un menor nivel de detalle y nivel de resolución espacial que los datos de SAGA, aunque también puede atribuirse a que el modelo de los datos de SAGA-GIS se origina de un mayor número de variables consideradas dentro del modelo

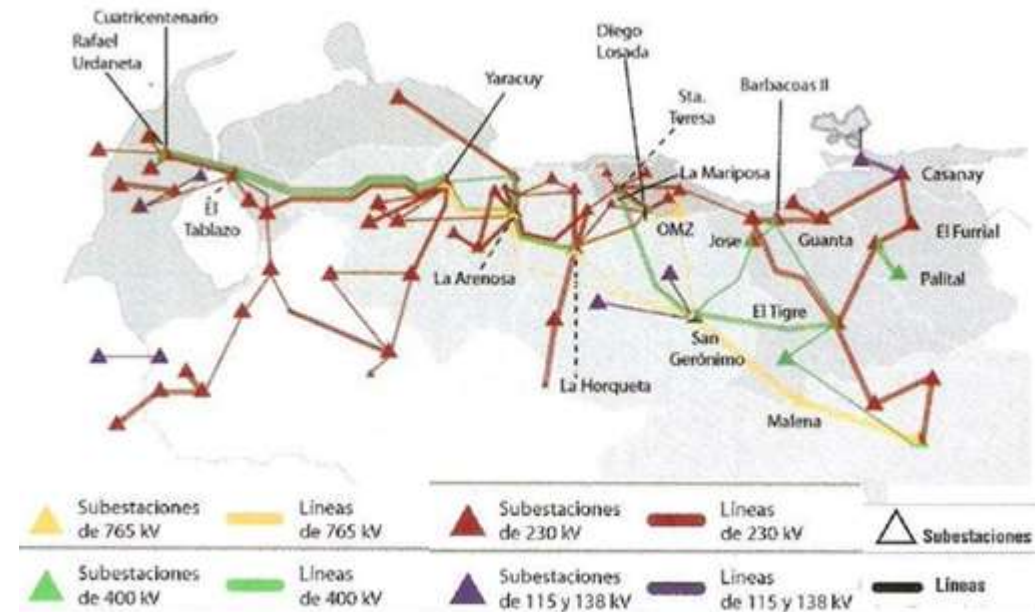
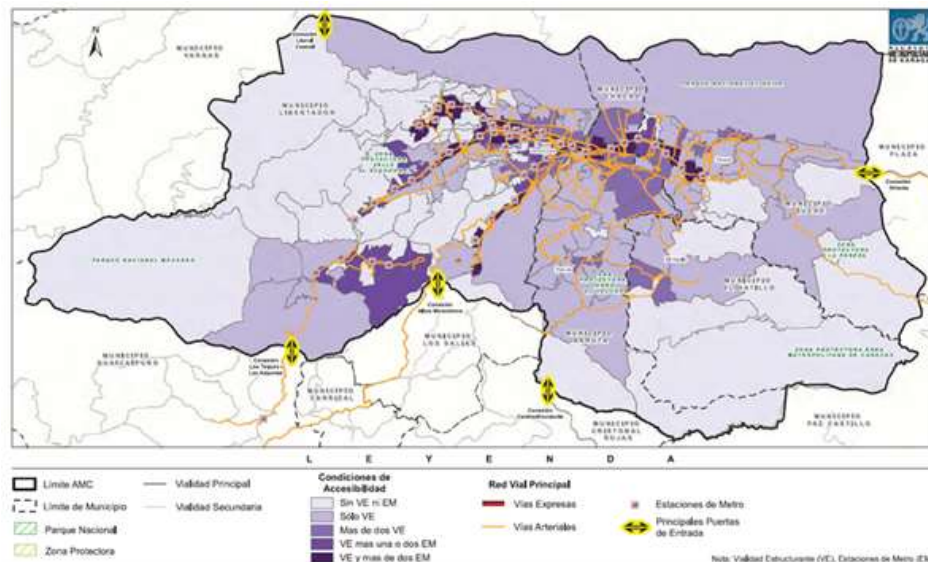




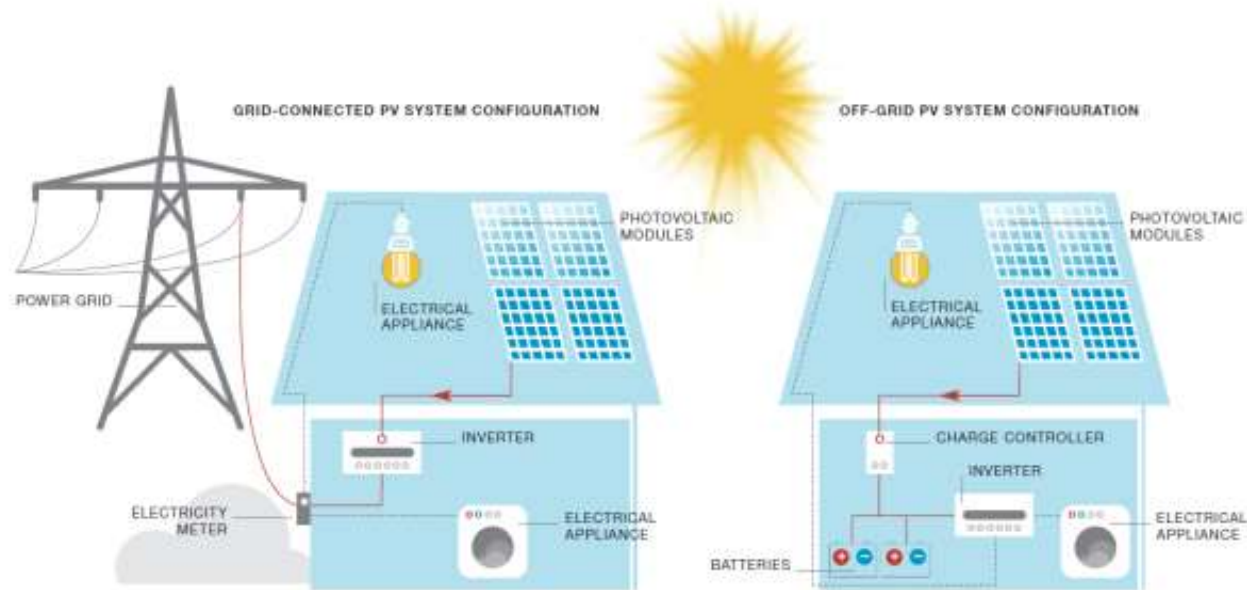
## Diagnostico Socioambiental del Área Metropolitana de Caracas

### Aspectos Socio – Económicos

- Estructura Urbana
- Uso de la Tierra
- Tipología de las viviendas
- Vialidad
- Equipamientos y servicios
- Infraestructura eléctrica
- Densidad poblacional



## Instalaciones de sistemas de energía solar fotovoltaica

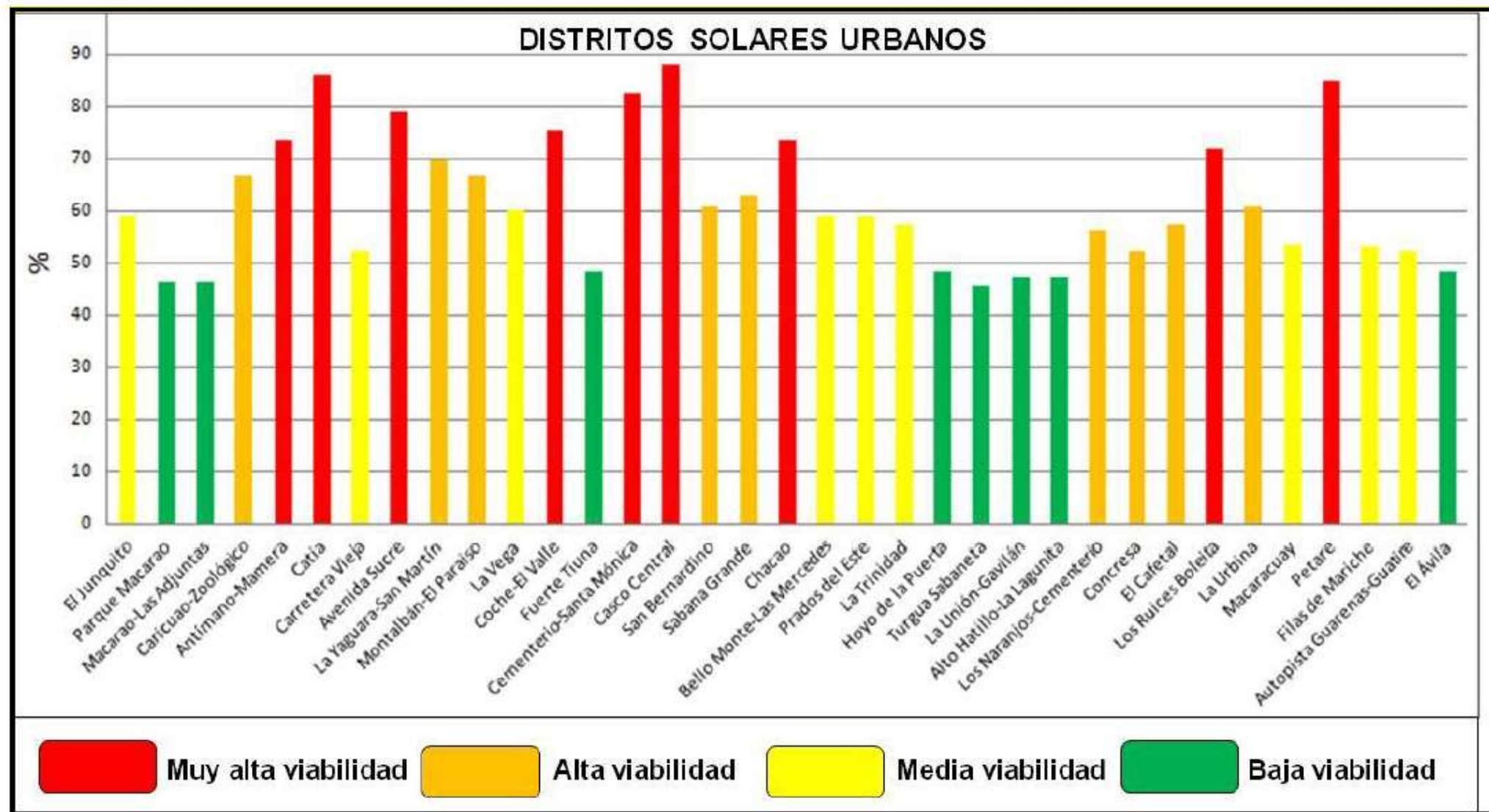


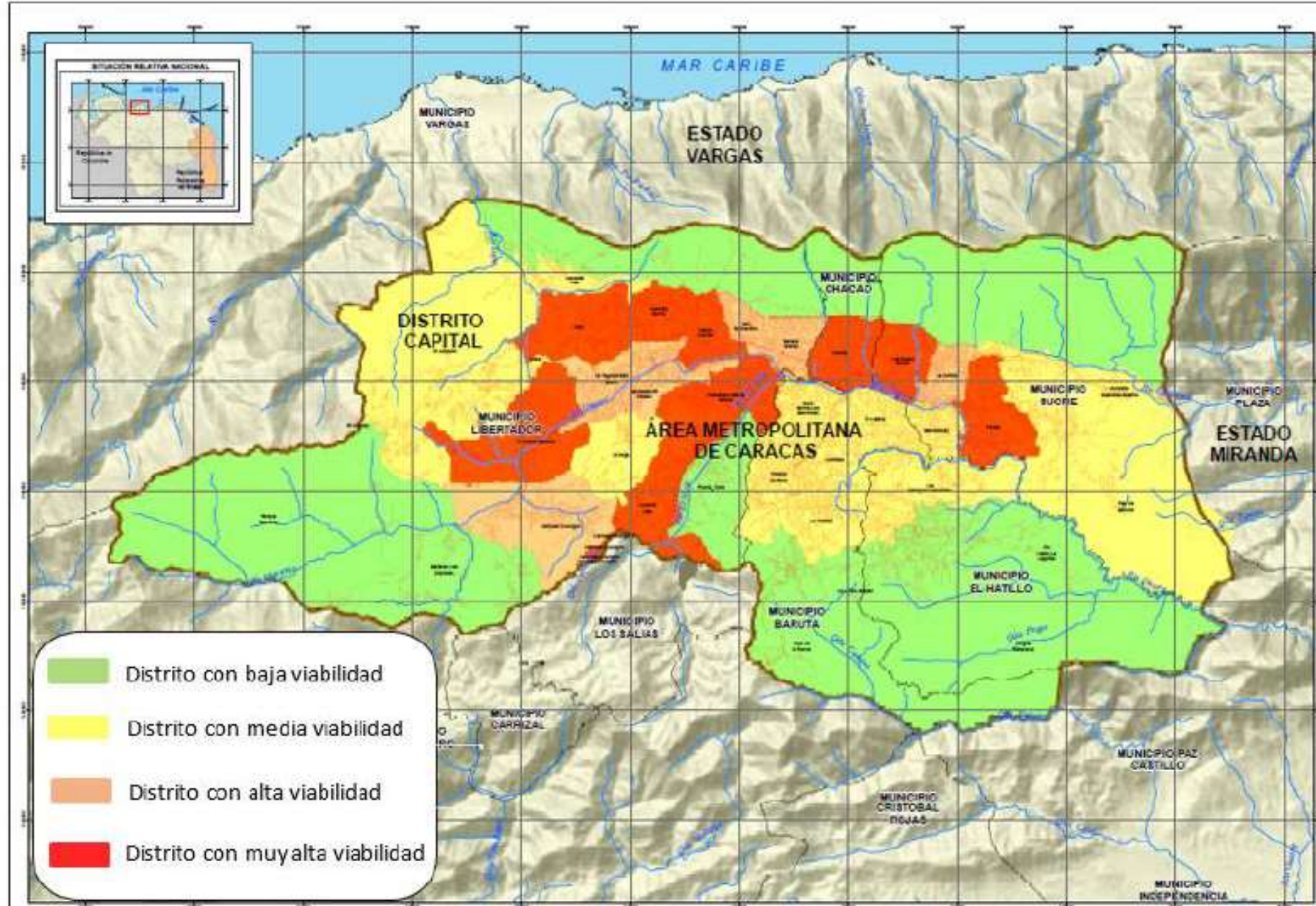
Sistemas conectados a la red y sistema aislado. Fuente: EPIA, 2011.



Hospital Provincial del Huasco en Chile con un sistema de energía solar fotovoltaica conectado a la red. Fuente: EPIA, 2011



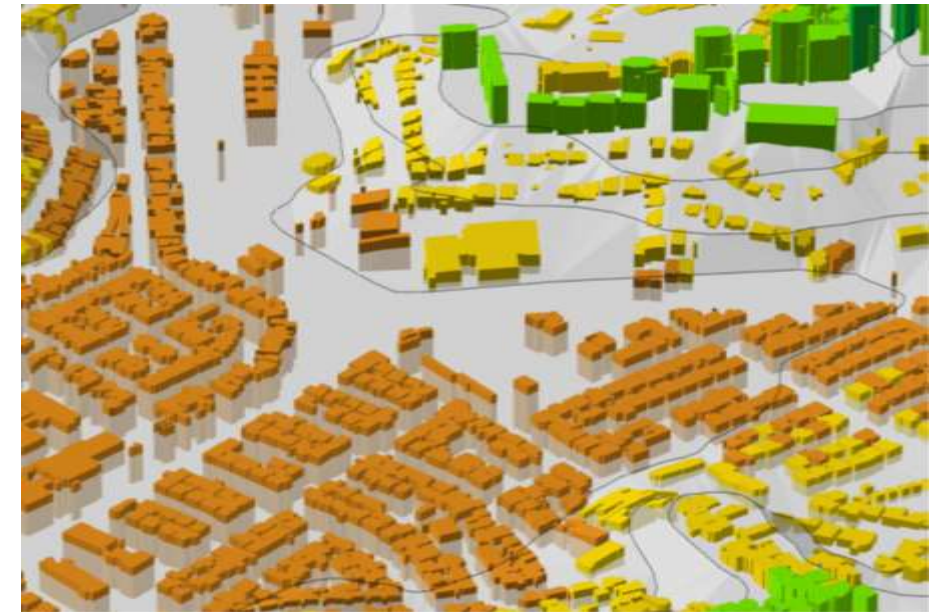




## Sectores aprovechables para la generación de electricidad en el Área Metropolitana de Caracas

### Distritos con muy alta viabilidad

Los Ruices, Boleíta, Antímano-Mamera, Chacao, Coche-El Valle, Avenida Sucre, Cementerio-Santa Mónica, Petare, Catia y el Casco Central.



Modelo 3D del Área Metropolitana de Caracas.  
Elaboración propia

Distrito Solar Casco Central. Fuente: Google Earth.



## Conclusiones y recomendaciones

- El resultado de este análisis tomando la consideración de la ubicación espacial del AMC para aprovechamiento del recurso solar es la orientación Sur; debido a esto los sistemas de captación solar tendrán una eficiencia superior al 75% ya que su radiación anual es superior a los 1.948 Kwh/m<sup>2</sup>/anual.
- Los resultados del modelo de estimación de radiación solar del software SAGA; fueron satisfactorios los mismos se sometieron a un análisis de comparación con los Datos del Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) de la NASA a una prueba estadística de comparación de medias basado en la distribución t de Student a partir de los datos mensuales de la radiación, como resultado se obtuvo que la distribución T de Student es significativa estadísticamente ( $t=-2,65$ , G.L=22,  $p=0,014$ ).
- Los Distritos Los Ruices Boleita, Antímano-Mamera, Chacao, Coche-El Valle, Avenida Sucre, Cementerio-Santa Mónica, Petare, Catia y el Casco Central como los más ideales o con mayor viabilidad para la conformación de sistemas solares híbridos conectados a la red tradicional.
- Dentro de las recomendaciones a nivel de ingeniería se deben realizar estudios detallados de las condiciones del sistema eléctrico actual para poder iniciar un proceso de modernización de las instalaciones y estructuras que permitan acoplar o insertar las energías renovables principalmente la energía solar.
- Finalmente, el resultado de este Trabajo pretende dejar una herramienta de referencia como es el Mapa de Radiación y de Potencial Solar del Área Metropolitana de Caracas; que pueda ser libremente consultada por medio de geoportales aportando un valor científico y técnico para futuros proyectos y estudios académicos ya que es el primer mapa de Venezuela a escala urbana que aporta información referente para el desarrollo de la energía solar.