



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Postgrado



Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio

LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN
TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
CARACAS

Caracas, enero de 2018



CONSTANCIA DE ASIGNACIÓN DEL NÚMERO DE DEPÓSITO LEGAL

Yo, **YENNIS CECILIA SÁNCHEZ FARIÁS**, venezolana, mayor de edad, titular de la cédula de identidad N° 10.799.754, en mi carácter de Jefa Encargada de la División de Depósito Legal, según consta en Providencia Administrativa N° 006-2017 de fecha 02 de mayo de 2017, emanada de la Dirección del Instituto Autónomo Biblioteca Nacional y de Servicios de Bibliotecas en uso de la atribución legal contenida en el Artículo 14° de la Ley de Depósito Legal, en concordancia con los Artículos 31° y 41° del Reglamento de la citada Ley; por medio del presente documento doy constancia que se le ha asignado a el editor / productor: **JONATHAN JOSE TORRES MOLINA**.

TÍTULO DE LA OBRA / PRODUCTO / PRODUCCIÓN	NÚMERO DE DEPÓSITO LEGAL
LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS	MI2018000330

Cabe destacar que el (los) número (s) indicado (s) deberá (n) ser impreso (s) conforme a lo establecido en los Artículos 16°, 17°, 18° y 19° del Reglamento de la Ley de Depósito Legal, y deberá consignar ante la División de Depósito Legal los ejemplares de la obra, producto o producción dentro de los treinta (30) días siguientes a su publicación y antes de su circulación, distribución y venta. En consecuencia dentro del lapso antes citado, deberá remitir un escrito indicando la cantidad de ejemplares que consigna con las especificaciones contenidas en los Artículos 15° y 21° del Reglamento de la Ley de Depósito Legal. El incumplimiento de las obligaciones que impone la Ley de Depósito Legal, acarreará la imposición de una multa conforme a lo previsto en el artículo 11° en concordancia con el Artículo 51° del Reglamento de la citada Ley. El número asignado de Depósito Legal es válido para el año en curso tal y como lo contempla el artículo 31 del Reglamento de la Ley de Depósito Legal. En caso de que el número otorgado no sea utilizado, el mismo deberá ser devuelto por medio de notificación a la División de Depósito Legal, tal y como lo contempla el Artículo 34° del citado Reglamento. Constancia que se expide en Caracas, el día Lunes, 19 de Marzo de 2018.

YENNIS CECILIA SÁNCHEZ FARIÁS



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por: **Licenciado JONATHAN TORRES** Cédula de Identidad N° 14.528.440, bajo el título "**LA ENERGIA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS**", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **MAGÍSTER SCIENTIARUM EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GESTIÓN DEL TERRITORIO**, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 02 de febrero de 2018 a las 10:36 AM., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en la en el aula 15 piso 3 de la dirección de Estudios de Post Grado de la Facultad de Humanidades y Educación, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual **respondió satisfactoriamente** a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió calificarla como **excelente** por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que cumple con la normativa, de acuerdo a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo constituye una valiosa contribución a los estudios sobre la gestión territorial y la estimación del potencial solar urbano, que sirve como herramienta para futuros desarrollos en energías renovables con énfasis en la energía solar, lo que viene a llenar un vacío que existía en materia de la disponibilidad de esta información.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 02 días del mes de febrero año 2018, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como **Coordinadora** del jurado la profesora **Karenia Córdova**.

El presente trabajo fue realizado bajo la Dirección de la Profesora **Karenia Córdova**.

KARENIA CORDOVA
C.I. 4.882.882
Tutora - Coordinadora
Instituto de Geografía y Desarrollo
Regional UCV



GEOVANNI SIEM
C.I. 3.855.656
IDEC-FAU-
UCV

ROBERTO RIVERA
C.I. 9.582.054
Instituto de Geografía y Desarrollo
Regional UCV



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Postgrado



Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio

Trabajo de Grado a ser presentado ante el Comité Académico de la Maestría en Análisis
Espacial y Gestión del Territorio

LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN
TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
CARACAS

Profesor: Tutor: Dra. Karenia, Córdova

Lic. Jonathan Torres

Caracas, febrero de 2018

AGRADECIMIENTO

A mi familia, especialmente a mi madre, a mi hijo Juan Pablo motor de mi vida a quién dedico en totalidad este Trabajo de Grado y en especial agradecimiento a mi compañera, colega y luchadora Bárbara Loreto; sin duda impulsadora de mis logros académicos. A mi tutora Dra. Karenia Córdova, siempre positiva y emotiva para dar grandes ideas, a mis amigos y profesores del Instituto de Geografía y Desarrollo Regional-UCV por su apoyo y colaboración. Al jurado Dr. Roberto Rivera y al Ing. Geovanni Siem, a los compañeros de la oficina de Energías Renovables del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Alcaldía Metropolitana de Caracas, Catedra Sinaxis y a los compañeros de trabajo de Arborea Consultores.

Índice de Contenido

Introducción.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1 El Problema	7
Planteamiento del Problema	7
Objetivos de la investigación.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Justificación.....	15
Delimitación Espacial.....	17
1.2 Marco teórico-referencial	17
Antecedentes de la Investigación	18
Bases Teóricas.....	21
Bases Legales	25
1.3 Marco metodológico.....	28
Tipo y Diseño de la Investigación	29
Técnicas de Recolección de Información y su Procesamiento	30
Recolección de la Información	30
Procesamiento de la información.....	31
Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	33
Fases de la Investigación	35
CAPÍTULO II: DIAGNOSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS	41
2.1 Área Metropolitana de Caracas	41
Macrosectores.....	41
Variables físico - naturales	43
Geología y geomorfología	43
Hidrografía.....	47
Sectorización ambiental.....	49
Clima	54
Variables socio - económicos	61
Población, superficie y densidad.....	61
Estructura urbana	63
Uso de la tierra.....	64
Tipología de las viviendas	67
Equipamientos	67
Vialidad	70
Infraestructura eléctrica	72
CAPÍTULO III. MODELOS DE RADIACIÓN SOLAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS BASADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	78
3.1 Especificaciones técnicas del recurso solar	78
3.2 Carta solar del Área Metropolitana de Caracas	83

3.3 Modelos de radiación solar basados en SIG.....	85
Modelo Potential Incoming Solar Radiation y su implementación SAGA GIS	87
Concepto.....	87
Beneficios.....	88
Procesos.....	88
Generación de datos de entrada.....	89
Generación de datos de salida.....	93
Análisis y comparación de los resultados.....	98
3.4 Integración del mapa de radiación solar a la sectorización ambiental.....	101
CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN DE DISTRITOS SOLARES URBANOS COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE	105
4.1 Distritos solares urbanos como herramienta de gestión territorial sostenible	106
Consideraciones generales.....	106
4.2 Sectores aprovechables para la generación de electricidad en el Área Metropolitana de Caracas.	108
Conclusiones y recomendaciones	130
Bibliografía.....	133
Apéndices	140
Glosario de Términos	140
Anexos.....	144
Anexo IV. 1	144

Índice de Cuadros

Cuadro I.1 :Consumo mundial de energía primaria en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe)	9
Cuadro I.2: Sistema de Variables	32
Cuadro I.3: Datos y fuentes de información	35
Cuadro II.1: Características generales del relieve del Área Metropolitana de Caracas.	47
Cuadro II.2: Unidades hidrográficas del Área Metropolitana de Caracas	48
Cuadro II.3: Dirección del viento y velocidad por meses.....	58
Cuadro II.4: Nubosidad por meses del Área Metropolitana de Caracas.	59
Cuadro II.5: Área Metropolitana de Caracas. Poblacion total por año según municipio.	61
Cuadro II.6: Área Metropolitana de Caracas. Consumo per Cápita Poblacion total según municipio.	74
Cuadro III. 1: Parámetros de entrada en Potential Incoming Solar Radiation	88
Cuadro III. 2: Parámetros de salida en Potential Incoming Solar Radiation.....	91
Cuadro III.3: Insolación promedio mensual en una superficie horizontal año 2017	98
Cuadro III.4: Incidente de insolación promedio mensual en una superficie horizontal, 1983-2005.....	99
Cuadro IV.1: Ponderación de las variables a utilizar en la matriz geográfica	108
Cuadro IV.2: Eficiencia de los módulos fotovoltaicos.	114

Índice de Figuras

Figura I.1: Distrito Solar Urbano o Red Solar Urbana (Solar District Heating, SDH). Fuente: Planeamiento Urbano: Solar District Heating, Prouecto SHDplus Tecnalía (2012).	22
Flujograma I.1: Etapas del proceso investigativo flujograma metodológico. Fuente: Elaboración Propia.	39
Figura II.1: Rasgos geológicos y geomorfológicos del valle de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base en Montero et al, 2008.....	44
Figura II.2: Modelo de relieve de valle aledaño a frente montañoso. Fuente: Elaboración propia con base en Hurlimann, 2004.....	45
Figura II.3: Vertiente sur del Macizo del Ávila, falla de Tacagua-El Ávila y Asociación Metasedimentaria del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con información de Singer, 2000.....	46
Figura II.4. Unidades hidrográficas del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con propia con base en Arbórea Consultores Ambientales, 2015.	49
Figura II.5: Rosa de los vientos de ocho direcciones. Fuente: Elaboración propia con base en Arbórea Consultores Ambientales, 2015.....	51
Figura II.6: Representación gráfica de recepción de radiación solar en ambas laderas (solana y umbría) de una montaña. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura II.7. Distribución de la dirección del viento en Porcentajes (%). Fuente: Elaboración propia con base en Windfinder, observaciones tomadas en el periodo 2012-2017 y respaldada con datos de la Estación Meteorológica La Carlota Serial 0544.....	58
Figura II.8: Ubicación de las estaciones meteorológicas Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Fuente: Elaboración propia con datos de Inameh e imagen satelital Google Earth.	61
Figura II.9: Uso generalizado del suelo del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base a información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.	66
Figura II.10: Mapa vial del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base a información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.	71
Figura II.11: Mapa del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Fuente: Elaboración propia con base a Corpoelec.....	72
Figura II.12: Mapa de consumo energético por Macrosectores del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base a información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.	75
Figura III.1: Espectro electromagnético. Fuente: EPIA, 2011.....	79
Figura III.2: Radiación Global o total, radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie. Fuente: Blasco (2017).....	80
Figura III.3: Irradiancia que se reciben en las horas pico Sol del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura III.4: Ángulos formados por la posición del Sol: Azimut solar y altitud solar. Fuente: Perpiñan (2009)	82
Figura III.5: Carta solar de Fisher-Mattioni o esteográfica del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base al programa on-line BPA de la Universidad de Oregon.	83
Figura III.6: Carta solar cilíndrica del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base al programa on-line BPA de la Universidad de Oregon.	84
Figura III.7: Grid (Mapa de elevación) del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia	90
Figura III.8: Mapa de factor de cielo visible del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura III.9: Insolación directa del AMC. Fuente: Elaboración propia.	94

Figura III.10: Insolación difusa del AMC. Fuente: Elaboración propia.	95
Figura III.11: Insolación total kWh/m ² del AMC. Fuente: Elaboración propia.	96
Figura III.12: Histograma de insolación total del AMC. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura III.13: Proceso para estimar la radiación directa, difusa y global anual del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura III.14: Distribución T de student de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base en NASA Surface meteorology and Solar Energy y Modelo Potential Incoming Solar Radiation, SAGA, (2017). .	100
Figura III.15: Valores de radiación para cada ladera por cada mes del año y su cálculo anual. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura III.16: Geoproceso de análisis espacial. Fuente: Elaboración propia.	102
Figura IV.1: Sistemas conectados a la red y sistema aislado. Fuente: EPIA, 2011.	107
Figura IV.2: Hospital Provincial del Huasco en Chile con un sistema de energía solar fotovoltaico conectado a la red. Fuente: EPIA, 2011.	107
Figura IV.3: Distrito Solar Casco Central. Fuente: Google Earth.	120
Figura IV.4: Distrito Solar vista 3D Casco Central. Fuente: Google Earth.	121
Figura IV.5: Distrito Solar Catia. Fuente: Google Earth.	122
Figura IV.6: Distrito Solar Petare. Fuente: Google Earth.	123
Figura IV.7: Distrito Solar Chacao. Fuente: Google Earth.	124
Figura IV.8: Distrito Solar Sabana Grande. Fuente: Google Earth.	125
Figura IV.9: Distrito Solar San Bernardino. Fuente: Google Earth.	126
Figura IV.10: Distrito Solar Bello Monte-Las Mercedes. Fuente: Google Earth.	127
Figura IV.11: Distrito Solar El Cafetal. Fuente: Google Earth.	128
Figura IV.12. Distrito Solar Alto Hatillo-La Lagunita. Fuente: Google Earth.	129

Índice de Gráficos

Gráfico I.1: Evolución del precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino (en \$/Wp) entre 1977 y 2015. Fuente: Bloomberg New Energy Finance, 2015.	13
Gráfico II.1: Morfografía del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración Propia.	52
Gráfico II.2: Orientación de laderas del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración Propia con base en Arbórea Consultores Ambientales, 2015.	54
Gráfico II.3: Caracas, estación Cagigal Serial 0531. Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1891-2008. Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 201.	56
Gráfico II.4: Caracas, estación La Carlota Serial 0544 . Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1955-1990. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 201.	56
Gráfico II.5: Caracas, estación UCV Serial 0539. Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1973-2003. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.	57

Gráfico II.6: Caracas, estaciones Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Radiación en Cal/cm ² . Fuente: Elaboración propia con datos de la Comandancia General de la Armada, Dirección de Hidrografía y Navegación, Inameh. Observatorio Cagigal, Estación Cagigal, La Carlota y UCV.	59
Gráfico II.7: Caracas, estaciones Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Radiación en kWh/m ² /día. Fuente: Elaboración propia con datos de la Comandancia General de la Armada, Dirección de Hidrografía y Navegación, Inameh. Observatorio Cagigal, Estación Cagigal, La Carlota y UCV.	60
Gráfico III.1: Diferencias estadísticas de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base en NASA Surface meteorology and Solar Energy y Modelo Potential Incoming Solar Radiation, SAGA (2017).....	99
Gráfico IV.1: Superficie de techos m ² en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con información digital del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Funvisis, 2009.....	111
Gráfico IV.2: Demanda energética MWh/hab/a el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.....	112
Gráfico IV.3: Oferta energética MWh/m ² /a en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia	114
Gráfico IV.4: Oferta energética MWh/m ² /a y demanda MWh/hab/ en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.....	115
Gráfico IV.5: Equipamientos por macrosector en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia ..	117
Gráfico IV.6: Distritos solares del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.	118

Índice de Mapas

Nro. 1: Área de estudio	146
Nro. 2: Macrosectores.....	147
Nro. 3: Sectorización ambiental.....	148
Nro. 4: Uso de la tierra.....	149
Nro. 5: Potencial solar del Área Metropolitana de Caracas.....	150
Nro. 6: Distritos solares urbanos del Área Metropolitana de Caracas.....	151
Nro. 7: Propuestas de uso de energía solar para el Área Metropolitana de Caracas.....	152

Resumen

La presente investigación surge de la preocupación por las complejas relaciones en las ciudades de Venezuela sobre materia energética, específicamente en el Área Metropolitana de Caracas, que es dependiente energéticamente de otros estados venezolanos, así como muchas ciudades de la región latinoamericana. Una ciudad dependiente de un centro principal de producción de energía como Caracas, es vulnerable en matriz energética por no disponer de un sistema alternativo que permita un desempeño eficiente con una diversificación de la energía, esto no permite a la ciudad tener seguridad energética para sus habitantes, sus actividades y servicios. Por lo tanto, es necesario disponer de varios sistemas de alimentación alterna de energía, como plan o respaldo independiente del servicio actual; este debe ser autónomo, local y eficiente, que además debe estar basado en energía que no disponga de combustibles fósiles y que produzcan gases de efecto invernadero, como las energías renovables. En esta investigación se consideró la energía solar fotovoltaica ya que tienen el potencial único de fusionarse directamente con el entorno urbano; el objetivo principal, es aprovechar la capacidad de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar para desarrollar una propuesta para la implementación de Distritos Solares Urbanos. Se interpretó la estimación del potencial solar urbano mediante el uso de un sistema de información geográfica y de análisis espacial con la finalidad de analizar y establecer su potencial solar; elaborándose nuevas estrategias que contribuyen a una transición energética sostenible, permitiendo obtener información base mediante un mapa de consulta e interactivo de potencial solar.

Palabras clave: ciudad, energía solar fotovoltaica, gestión del territorio, Distritos Solares Urbanos.

Summary

The present investigation arises from the concern about the complex relationships in the cities of Venezuela regarding energy, specifically in the Metropolitan Area of Caracas, which is energy dependent of other Venezuelan states, as well as many cities in the Latin American region. A city dependent on a main center of energy production such as Caracas, is vulnerable in an energy matrix for not having an alternative system that allows an efficient performance with a diversification of energy, this does not allow the city to have energy security for its habitants, its activities and services. Therefore, it is necessary to have several alternative power supply systems, such as plan or backup independent of the current service; this must be autonomous, local and efficient, which must also be based on energy that does not have fossil fuels and that produce greenhouse gases, such as renewable energies. In this research, photovoltaic solar energy was considered since it has the unique potential to merge directly with the urban environment. The main objective is to take advantage of the power generation capacity from solar energy to develop a proposal for the implementation of Urban Solar Districts. The estimation of the urban solar potential was interpreted through the use of a geographic information system and spatial analysis in order to analyze and establish its solar potential; Developing new strategies that contribute to a sustainable energy transition, allowing to obtain base information through a query and interactive map of solar potential.

Keywords: city, photovoltaic solar energy, land management, Urban Solar Districts.

Introducción

La energía tiene una gran trascendencia en el mundo, es imprescindible para el desarrollo económico y social de las ciudades. Actualmente más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), desde 1950 la población urbana mundial ha crecido 5 veces: de 700 millones a 3.900 millones de personas en 2014 (ONU, 2014), se espera que ascienda a 6.300 millones para 2050; actualmente se estima que ocho de cada diez habitantes de América Latina y el Caribe viven en alguna ciudad o zona urbana.

La economía impulsada desde las ciudades produce el 80% del PIB mundial, son también centros masivos de consumo con el 60 a 80% de la energía global y más del 75% del consumo de recursos naturales, siendo responsable de generar más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2014). Más allá de ser lugares donde la gente vive, trabaja y se entretiene, son sistemas que consumen energía y seguirán consumiendo con una propensión voraz, la Agencia Internacional de la Energía (AIE), estima que la demanda de energía mundial va a crecer un 37% hasta 2040 (AIE, 2014).

Las regiones con más riqueza son las más urbanizadas, es donde se consume mayor energía per cápita, debido a que la riqueza, la urbanización y el uso de la energía tienden a crecer de forma simultánea (CEPAL, 2009). La Organización para la Cooperación al Desarrollo Económico o (OCDE) estima que las ciudades usan la mayor parte del flujo energético y consumen 82% de toda la producción de gas natural, 76% de todo el carbón y 63% de todo el petróleo (OCDE, 2008).

Consecuentemente, estas metrópolis procesan materiales, expulsan desechos y energía residual, principalmente en forma de calor y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); si no se aplican nuevas políticas y estrategias, en las próximas décadas existe el riesgo de alterar de forma irreversible la base ambiental que proporcione una prosperidad económica sustentable. Según las perspectivas medioambientales de la (OCDE, 2008), se prevé que las emisiones mundiales de GEI aumenten un 37% y un 52% en 2050, pudiendo ocasionar un aumento considerable de la temperatura mundial por encima de los niveles preindustriales, del orden de 1,7-2,4°C. Esto conllevaría un incremento de las olas de calor, las sequías, las tormentas e

inundaciones, con el consecuente daño a infraestructuras claves y a las cosechas, y también la extinción de un considerable número de especies animales y vegetales.

Sin duda, el crecimiento urbano ha generado graves impactos en el ambiente y se acentúa con la crisis energética que estamos coexistiendo, el cambio climático y el proceso de urbanización son inseparables, se yuxtaponen (ONU, 2014). Si la construcción y mantenimiento de las ciudades es parte de los grandes problemas, también son parte de la solución para disminuir las emisiones de GEI y adaptarse al cambio climático; por ello, a partir de la base de que hay que conocer el medio y el clima urbano para plantear las estrategias y gestionar los recursos de una manera sustentable; se entendería la manera en que funcionen las ciudades y sus sistemas, para luego diseñarlos acertadamente, asimismo permitirá avanzar en el logro del bienestar humano.

La planificación y gestión de una ciudad es una ardua labor, que sin duda está sometida a variables muy complejas, que suman una fuerza resultante que componen la vida de la ciudad y el bienestar de los ciudadanos. Sin embargo, en la actualidad han aparecido problemáticas mucho más complejas, entre ellas la segregación social, el transporte, la gestión de los desechos sólidos, la infraestructura, la seguridad y destacando como punto central de esta investigación el sector de la energía, que para su producción y demanda es una de las principales generadoras de emisiones de GEI.

Debido al aumento de los GEI y la necesidad de generar energía, se promueve una serie de consideraciones de gran relevancia a nivel mundial en materia de energía y ambiente, por lo tanto se acentúa considerablemente las negociaciones internacionales sobre el cambio climático y las estrategias para la adaptación y transformación de la generación y consumo de la energía, optando por las energías renovables como principal aliado, que ha invadido a todas las disciplinas y en este sentido tiene total actualidad el presente trabajo de investigación.

Por lo tanto, la integración de las energías renovables es el principal objetivo para ser una herramienta de gestión territorial sustentable, punto central en esta investigación; en este caso enfocado a la energía solar como un elemento de la gestión y ordenamiento territorial, que va más allá de un servicio básico para la sociedad, siendo necesario una visión integral para impulsar el desarrollo territorial y mejorar la planificación ambiental y estratégica que buscan las ciudades a escala mundial, con el fin de ser sostenibles y resilientes para la adaptación al cambio climático global.

Dicho esto, al tomar en cuenta que el Área Metropolitana de Caracas es dependiente energéticamente de otros estados, no cabe duda que es necesario disponer de un sistema de alimentación alterno eléctrico como respaldo independiente del servicio eléctrico actual; que sea independiente, autónomo, local y eficiente, basado en energía no contaminante.

Por lo planteado, esta investigación tiene como objetivo general, la elaboración de una propuesta para la implementación de Distritos Solares Urbanos como herramienta de gestión territorial sostenible en el Área Metropolitana de Caracas; estos distritos están delimitados según los macrosectores que componen el Área Metropolitana de Caracas (AMC) y fueron sujetas a modelos de análisis en forma de imágenes conceptuales y matemáticos, aplicando el método de la matriz geográfica, donde se relacionaron las variables (población, radiación solar, consumo de energía, superficie de techos, oferta de energía solar, vialidad y equipamientos), para así obtener una síntesis, que permitió conocer una imagen formal y abstracta de las zonas con mayor o menor potencial.

Posteriormente, se crearon los Distritos Solares Urbanos con la finalidad de elaborar propuestas que permitan a la ciudad la implementación de la energía solar de forma eficiente y que la ciudad de Caracas sea menos vulnerable energéticamente; de esta manera, alcanzar el objetivo de la investigación. En el Trabajo de Grado está planteado el desarrollo de 4 capítulos, para lograr la comprensión del lector, estas se describirán a continuación:

El Capítulo I explica el planteamiento y justificación del problema, los objetivos a cumplir tanto el general como los específicos, sustentado con el marco teórico de la investigación desarrollando principalmente los siguientes tópicos: antecedentes de la investigación, bases teóricas y bases legales. Consecuentemente se expone el enfoque metodológico y las diversas etapas que se llevaron a cabo para lograr los objetivos propuestos.

Por otro lado, en el Capítulo II, se elaboró un diagnóstico socio-ambiental del Área Metropolitana de Caracas, demostrando que es necesario conocer aspectos naturales, técnicos, económicos, sociales y políticos que conforman la ciudad. De esta manera, se conocieron los escenarios enfocados a la realidad y saber cuál es el nivel de precisión entre los componentes naturales, humanos y artificiales que influyen en un lugar específico.

Seguidamente en el Capítulo III, explica el comportamiento y la posición aparente del Sol, los diferentes tipos de radiación, la importancia de conocer la variable Hora Solar Pico (HSP); para

luego determinar la radiación solar en el Área Metropolitana de Caracas con el uso de los Sistemas de Información Geográfica específicamente con el software SAGA GIS versión 5.1 el Modelo Potential Incoming Solar Radiation. Estos resultados se sometieron a una prueba de comparación de medias con los datos proporcionados del Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) del proyecto de Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) de la NASA (National Aeronautic Society American), este análisis estadístico se realizó basado en la distribución t de Student a partir de los datos mensuales de la radiación con el programa PAST versión 2.17C.

Para finalizar este capítulo se usó la herramienta de estadísticas zonales en el software Qgis 2.18.7 (Las Palmas) para generar un mapa de potencial solar con la superposición de los polígonos de la Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas generando 4.987 polígonos con información de radiación solar.

El Capítulo IV, se explica de manera general el sistema híbrido eléctrico con energía solar fotovoltaica y se realiza la aplicación del método matriz geográfica, obteniendo los resultados para determinar los Distritos Solares Urbanos, para así poder generar propuestas enfocadas a los sectores aprovechables para la generación de energía y electricidad en el Área Metropolitana de Caracas.

Culminando con la construcción de un mapa solar para el Área Metropolitana de Caracas que permitió arrojar información detallada para la elaboración de próximos proyectos de ingeniería enfocado a la instalación de energía solar, como también información para el diseño bioclimático y las conclusiones que establecen recomendaciones para el desarrollo de próximos proyectos investigativos vinculados con la energía solar y las ciudades.

Es importante destacar que, el Trabajo de Grado forma parte de la comunidad práctica y conocimiento mediante la estrategia V.I.D.E.O. de la Cátedra SINAXIS Caracas, siendo este un mecanismo para implementar la gobernanza ambiental mediante la planificación en donde se desarrollan diferentes proyectos académicos vinculados a un plan estratégico ambiental en donde participan distintos actores sociales que tienen como interés en común el conocimiento del espacio geográfico.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 El Problema

Planteamiento del Problema

Durante las últimas décadas, el consumo de energía en el mundo ha aumentado de forma sostenida, principalmente por el incremento de la población mundial, el desarrollo industrial y la mejora de las condiciones de vida de los países (Yndurain, 2005).

En los últimos años América Latina mostró un crecimiento económico importante, es la región más urbanizada del planeta, en un contexto en el que su población se duplicó, pasó de 280 millones de personas en 1970 a 565 millones en 2008, con cuatro de las 20 ciudades del mundo con más de 10 millones de habitantes y 55 de las 414 ciudades con más de un millón de habitantes (ONU, 2014).

En estas 55 ciudades habitan 183 millones de personas, un tercio del total de los habitantes de Latinoamérica, esta proporción es superior a la del grupo de países más desarrollados. Asimismo, el estilo de desarrollo de la región muestra efectos colaterales negativos principalmente en las áreas urbanas erosionando las bases de sostenibilidad, acrecentando los niveles de contaminación atmosférica y deterioro de los diversos activos naturales; además, se están construyendo sociedades con alta vulnerabilidad ante diversos impactos, uno de los más elementales son los efectos climáticos, ligado a una matriz productiva y un consumo excesivo que presenta altos niveles de GEI (ONU,2014).

América Latina experimentó una intensa explosión urbana, de forma que la población de sus ciudades casi se duplicó en 30 años. Ese fenómeno fue, en gran parte, resultado del rápido crecimiento económico y del atractivo de las urbes para la población rural. El proceso de urbanización de Venezuela inició entre los años 1920 y 1930 debido a la nueva actividad y el espectacular desarrollo de la economía e industria petrolera que proviene de una creciente y alta demanda de países con un desarrollo y crecimiento económico.

Este proceso ocurre en un país con una sociedad plenamente rural y técnicamente atrasada; con una economía de exportación de café y cacao (Negrón, 1986); consecuentemente, entre los años 1930 y 1940 el país contó con buenas posibilidades debido a los ingresos petroleros y una sociedad organizada, iniciando de esta manera las mejoras en las áreas urbanas. El país asimila un dinamismo económico en las ciudades principales, y tiene a Caracas como su principal metrópolis, esto favoreció en los años 1950 la implementación de modelos de industrialización en el sector del petróleo que había comenzado a dominar todos los demás sectores económicos del país, beneficiando el origen y proceso de urbanización.

Sin embargo, la producción agrícola comenzó a disminuir drásticamente, este repentino aumento de la atención al petróleo y el abandono del sector agrario trascendió a Venezuela a pasar de un país rural a meramente urbano (Negrón, 2013). Durante las siguientes décadas las estrategias territoriales estuvieron dirigidas con la antítesis de contrarrestar las tendencias hacia la urbanización y las aglomeraciones, con un resultado negativo descuidando las políticas para el desarrollo urbanístico, trayendo como consecuencia un crecimiento desordenado de las ciudades con distorsiones y asentamientos informales.

A finales de 1980, inicia un proceso de reformas políticas considerables para enfrentar los problemas urbanos, pero tales políticas no tuvieron los méritos suficientes y se convirtieron en ordenanzas y zonificación muy vulnerables por la dinámica y creciente urbanización.

En la actualidad como muchas ciudades de América Latina, trascendió la marginalidad ecológica o características urbanas degradadas, como uno de los problemas mayores de todas las ciudades venezolanas, alcanzó su máxima complejidad en aquellas que presentan topografías más accidentadas; en ellas, se expresa en la insuficiencia de servicios urbanos básicos y las dificultades para su dotación, densidades excesivamente altas, segregación física del resto de la ciudad e inseguridad en todos sus aspectos, mientras que su causa fundamental está asociada a actuaciones urbanísticas erradas y asentamientos de manera informal, estas aglomeraciones autoconstruidas son comúnmente conocidas como barrios, favelas, villas y comunas, representan el 30,8% de la población urbana de América Latina (ONU, 2014). Actualmente, la postura de adaptación de estos patrones urbanos es su integración a la ciudad y para lograrlo es necesario planificar y ejecutar importantes intervenciones.

Venezuela en el contexto de la energía tiene importantes recursos energéticos, según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, 2011) cuenta con la reserva de petróleo más grande del mundo certificada, con casi 300.000 millones de barriles de petróleo pesado y extra pesado. La mayor parte de estas reservas se encuentran en la Faja Petrolífera del Orinoco, también tiene grandes yacimientos de gas natural ubicándose como el octavo país del mundo con mayores reservas probadas de gas natural y el primero en América Latina.

La explotación de los hidrocarburos en Venezuela ha sido, sin duda, un factor muy importante en el crecimiento acelerado que experimentó en los últimos 50 años; pero esto no es seguro que seguirá siendo así en el futuro, por lo tanto, es primordial impulsar y cambiar las políticas en materia energética, que depende drásticamente de la exportación de los hidrocarburos. Se debe pensar en una nueva planificación estratégica para nuestras ciudades y una nueva economía que disminuya la dependencia de los hidrocarburos y contribuir en la transición hacia una matriz de producción de energía limpia para cumplir con los compromisos regionales de América Latina y del mundo.

El cuadro I.1, aporta los datos del consumo de energía primaria en el mundo para el decenio 2004-2014, es importante destacar que la distribución de los valores referidos al consumo mundial de energía no ha variado significativamente en cuanto a la diversificación de las fuentes. El mayor consumo de energía sigue siendo proveniente de los combustibles fósiles, para el año 2014 alcanzó una cifra de 4.211,1 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), cifra que ha ido en progresivo aumento en el referido decenio.

Cuadro I.1 :Consumo mundial de energía primaria en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe)

Año Fuente	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Carbón	2.914,5	3.122,4	3.278,0	3.457,5	3.500,1	3.451,9	3.611,2	3.777,4	3.798,8	3.867,0	3.881,8
Petróleo	3.870,8	3.919,3	3.958,9	4.017,3	3.999,0	3.922,9	4.041,8	4.085,4	4.133,2	4.179,1	4.211,1
Gas	2.435,6	2.505,3	2.577,9	2.675,4	2.751,0	2.679,1	2.879,7	2.943,8	3.017,8	3.052,8	3.065,5
Nuclear	624,7	626,4	634,9	621,7	619,4	614,0	626,2	600,7	559,6	563,7	574,0
Renovables	75,7	84,9	95,1	108,2	123,5	142,2	168,0	205,6	242,9	283,0	316,9
Total	9.921,3	10.258,3	10.544,8	10.880,1	10.993,0	10.810,1	11.326,9	11.612,9	11.752,3	11.945,6	12.049,3

Fuente: Elaboración modificada con base en BP Statistical Review of World Energy- (2015)

Por su parte, también aumentó el consumo de carbón, de 2.914,5 Mtoe para el año 2004, y alcanzó para el año 2014 un total de 3.881,8 Mtoe. En cuanto al consumo de gas, para el año 2004 tenía 2.435,6 Mtoe y en el año 2014 cerró con una cifra de 3.065,5 Mtoe. A diferencia del

consumo de energía nuclear, que en el decenio 2004-2014 descendió de 624,7 Mtoe a 574,0 Mtoe. Esto es debido a las nuevas políticas que reconocen los grandes riesgos que tiene esta tecnología, principalmente desde lo acontecido en el accidente nuclear de Fukushima I el 11 de marzo de 2011, en el cual se liberaron grandes emisiones de gases radiactivos provocado por los desperfectos en las instalaciones en la planta ocasionados por el terremoto y tsunami de Japón oriental, constituyendo uno de los mayores desastres medioambientales de la historia reciente.

En cuanto a las energías renovables, su consumo aumentó significativamente de 75,5 Mtoe en el año 2004 a 316,9 Mtoe en el año 2014; sin embargo, es una cifra poco significativa en comparación con las otras fuentes; en la generación de energía alcanzó cuotas de registro de consumo mundial de energía primaria de 2,5%. Por lo tanto, se espera en los próximos años un gran incremento del uso de las energías renovables.

La región de América Latina y el Caribe tiene la matriz energética más limpia del mundo, con el segundo mayor potencial técnico de energía hidroeléctrica, aproximadamente el 20% con 700 GW según la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2014). Venezuela cuenta con un potencial hidroeléctrico de grandes proporciones según la Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec, 2016), además de tener un parque de generación que asciende a unos 24.000 megavatios (MW) de capacidad instalada y está conformado por un significativo número de infraestructuras, localizadas en su mayoría en la región de Guayana, donde funcionan los complejos hidroeléctricos más grandes del país, encabezadas por Central Hidroeléctrica Simón Bolívar (Guri) con una capacidad instalada de 10.000 megavatios (MW), ofreciendo más del 62% del potencial eléctrico a toda la Nación.

El otro 35% de la generación de electricidad proviene de plantas termoeléctricas, que trabaja con combustible dual (Gas natural o Diesel mediano) y casi un 3% corresponde al sistema de generación distribuida, conformada por grupos electrógenos. Esta distribución de generación de la energía eléctrica es una debilidad del sistema eléctrico nacional debido a su alta dependencia; en el caso de la hidroelectricidad la ubicación geográfica del parque de generación hidroeléctrica al Sur del país requiere de largos sistemas troncales de transmisión para llevar la electricidad hacia el centro y centro-occidente, por lo que una falla en estas instalaciones afecta cuantiosamente el servicio.

Además, se toma en cuenta los efectos del cambio climático en el suministro de agua de las centrales hidroeléctricas existentes y de los nuevos proyectos, aumentando considerablemente la vulnerabilidad del sistema eléctrico nacional, según el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC para América Latina y el Caribe (IPCC, 2014) se ve afectada además por diversos fenómenos climáticos que incluyen la zona de convergencia intertropical, el sistema monzónico de América del Norte y del Sur, el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur, las oscilaciones del océano Atlántico y los ciclones tropicales. Esos fenómenos influyen en la región e inciden de forma importante sobre las proyecciones climáticas, y traen consigo más lluvias y sequías para América Latina, consecuentemente reduciendo y aumentando la vulnerabilidad del potencial de generación hidroeléctrica en América Latina.

Sin embargo, no se ha logrado diversificar ni cambiar las políticas actuales para la generación de energía aún contando con grandes potencialidades y oportunidades para la explotación de energía renovable no convencionales como la eólica, biomasa, geotérmica y energía solar; estas oportunidades de energía renovable son oscurecidas por la gran dependencia de los hidrocarburos y los subsidios de la energía en Venezuela que en términos económicos se traduce en un regalo para los habitantes e invita a el gasto descontrolado de la energía.

Debido a todo lo expuesto, es primordial entender que las ciudades son sistemas que tienen un elevado dinamismo y son polos con grandes fuerzas de atracción que demandan y generan procesos con múltiples complejidades por sus rasgos y características que la definen como únicas en lo social, político, económico, cultural y territorial. Por lo tanto, no pueden ser sometidas a la planificación convencional, es necesario asociarla y analizar su comportamiento a partir de lo particular a lo general a un nivel metropolitano.

La metrópoli es diferente de la gran ciudad convencional, para su análisis como en su gestión y control es ineludible incorporar enfoques y metodologías innovadoras; en la ciudad de Caracas como en otras ciudades de Venezuela, la densidad poblacional crece constantemente como también las necesidades de las sociedades actuales, esto provoca un incremento acelerado del consumo de energía eléctrica y ocasiona que el servicio eléctrico en el país se tope en la necesidad de aumentar su capacidad y el suministro de energía. Sin embargo, la planificación para la ampliación del sistema no se ha efectuado acorde con el crecimiento y las nuevas

demandas, esto sin mencionar los efectos del cambio climático que nos ha llevado en una situación desfavorable trayendo graves consecuencias.

Considerando el problema del sistema eléctrico de estos últimos años y posibles en los próximos, que con mayor seguridad requerirá más demanda que la carga actual para satisfacer las necesidades de los ciudadanos; es necesario disponer de un sistema de alimentación eléctrico de respaldo, independiente del servicio eléctrico actual. Este sistema independiente se puede lograr, recurriendo a la energía solar, aunque este tipo de sistema requiere una elevada inversión inicial, pero a largo plazo es económica y amigable con el ambiente.

El sistema de energía solar fotovoltaico es modular y escalable y ha tenido grandes avances en las grandes urbes a nivel mundial, por lo tanto destacar y promover el uso de estas energías para aprovechar las bondades de esta tecnología en el Área Metropolitana de Caracas puede ser factible en lugares estratégicos para alimentar las redes del alumbrado público, centros hospitalarios, militares y educativos, de esta manera la ciudad de Caracas será menos vulnerable energéticamente y podrá en un futuro ser más resiliente a futuros eventos extraordinarios.

Actualmente existen iniciativas y proyectos 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). Mediante el uso de energía solar no solo se pretende utilizar una energía segura y doméstica sino también aumentar el bienestar de los ciudadanos crear ciudades energéticamente autosuficientes.

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 reducción para frenar el cambio climático; a su vez, desarrolla nuevas oportunidades de empleo y creación de riqueza local. (POLIS, 2010)

Las perspectivas de futuro y las nuevas concepciones de las ciudades del mañana están adquiriendo cada vez más importancia a todos los niveles, por lo tanto, es necesario realizar estudios previos pormenorizados de las condiciones del microclima urbano, analizando factores como la captación de energía solar, de forma activa y pasiva, que engloba varios factores, entre ellos, por ejemplo la radiación solar en los diferentes meses del año; la cuantificación de necesidades térmicas, las temperaturas, la isla de calor urbana, entre otros. El análisis de estos

elementos conducirá a una serie de conclusiones que nos permitirá realizar un diagnóstico preciso y establecer qué estrategias se han de seguir.

A todo esto, la reducción de costes de la producción de energía solar favorecerá su expansión, los avances tecnológicos ya han permitido que la energía solar sea rentable en regiones especialmente soleadas. El instituto alemán Frunhofer especializado en energía solar (ISE, 2016), asegura que en las próximas décadas se convertirá en una energía muy barata. En el siguiente gráfico se puede observar como ha disminuido considerablemente los precios de desde 1977 al 2015.

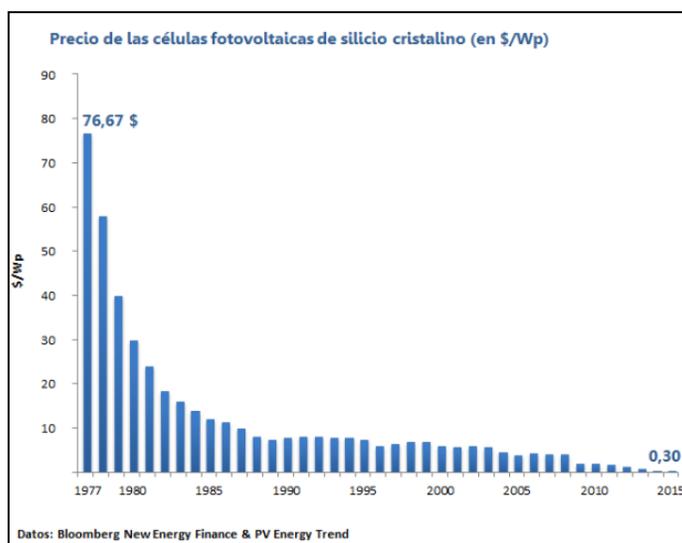


Gráfico I.1: Evolución del precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino (en \$/Wp) entre 1977 y 2015. Fuente: Bloomberg New Energy Finance, 2015.

En función de lo expuesto, y basado en los diversos problemas antes descritos, utilizar los conocimientos de los factores climáticos como el potencial solar y orientarlos hacia una concepción urbana respetuosa, como medio para mejorar la calidad de vida de las personas, no solo beneficia a los habitantes de la propia ciudad, sino a una escala más amplia, ya que los principales problemas ambientales afectan a escala global, pero tienen solución a escala local. 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, un techo solar podría cumplir técnicamente un tercio de la demanda de electricidad de las ciudades. Y esos edificios ofrecen un potencial importante y demanda para el despliegue de las tecnologías más eficientes, como ventanas y dispositivos de ahorro energético. En tal sentido, se posibilita una gama muy amplia y variables

de soluciones energéticas, adecuada a escalas locales, contribuyendo en todas las formas necesarias con la solución de insuficiencias energéticas.

La relación e integración de las energías renovables a los procesos de planificación y ordenamiento territorial surge a partir de la necesidad de contar con energía eléctrica confiable y limpia para nuestra ciudad. Por ello, esta investigación pretende sugerir un instrumento de planificación ambiental y estratégica para el desarrollo territorial vinculante con el Área Metropolitana de Caracas. Valorar y determinar el potencial de las energías renovables en cada territorio, se convierte en una oportunidad y desafío para promover procesos de transformación mejorando las condiciones actuales.

Todas estas estrategias tienen como fin lo expresado al comienzo de este capítulo: generar espacios urbanos donde prime la eficiencia energética y el bienestar social, haciendo un uso responsable de los recursos disponibles. Por lo tanto, se propone en esta investigación, la implementación de Distritos Solares Urbanos como estrategia de gestión territorial en el Área Metropolitana de Caracas y se plantea responder la siguiente interrogante:

¿En qué medida la implementación de Distritos Solares Urbanos contribuyen con la gestión territorial sostenible del Área Metropolitana de Caracas?

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Desarrollar una propuesta para la implementación de Distritos Solares Urbanos como estrategia de gestión territorial sostenible en el Área Metropolitana de Caracas, mediante el análisis socioambiental y la determinación del potencial solar urbano utilizando herramientas geomáticas para analizar la variabilidad espacial de las condiciones socio-naturales y del potencial solar en la ciudad de Caracas.

Objetivos Específicos

1.- Diagnosticar la situación socioambiental del Área Metropolitana de Caracas para determinar el potencial natural y los requerimientos para el desarrollo de la energía solar.

2.- Determinar el potencial solar urbano a través del uso de herramientas de geomática y de análisis espacial en el Área Metropolitana de Caracas.

3.- Determinar a partir de los macrosectores urbanos, como estrategia diagnóstica, los sectores aprovechables para la generación de electricidad con energía solar en el Área Metropolitana de Caracas.

4.-Establecer una propuesta para la implementación de Distritos Solares Urbanos, como herramienta de gestión territorial sostenible en el Área Metropolitana de Caracas.

Justificación

Este proyecto se enfoca para su distinción y puesta en práctica por parte de los decisores correspondientes, una serie de consideraciones que justifican su implementación, debido a la importancia que reviste. Estas consideraciones se enumeran a continuación:

El planeta recibe del Sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kilovatio-hora (kWh) y se estima que aproximadamente el 40% es aprovechable; representa varios cientos de veces la energía que se consume en el mundo (Agencia de Protección

Ambiental, 2012). La energía solar es una fuente limpia, inagotable y pasible de utilizarse en muchos sitios del planeta.

Para los próximos años se espera un aumento considerable en el consumo mundial de energía, básicamente por el incremento de la población en el planeta y, además, por el acceso a mayores niveles de consumo y bienestar en países hasta hace poco en vías de desarrollo (Yndurain, 2005). Por lo tanto, es necesario adecuarse a los requerimientos que esta situación conlleva.

Las ciudades, a nivel mundial, son las mayores causantes de esta crisis ambiental, ya que consumen ingentes cantidades de energía y materia. La población del planeta está experimentando el deterioro del ambiente, el cambio climático, el calentamiento global y las emisiones de carbono, y todo ello impacta la matriz energética prevaleciente (López, 2006).

Es necesario elaborar propuestas de nuevas ciudades, independientes y autónomas en donde se elimine el desequilibrio existente entre la sociedad y la naturaleza, y el desequilibrio entre lo que consumen y generan energéticamente. De acuerdo con lo establecido por las Naciones Unidas (1998), se debe promover el desarrollo sostenible y trabajar en la reducción de las emisiones de GEI.

La crisis actual de los sistemas energéticos es coherente con el modelo y paradigma de desarrollo de la humanidad, por su condición depredadora de los recursos naturales, basada en rentabilidad acelerada e ilimitada; Venezuela esta inmersa en esa situación.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), incluye disposiciones de orden ambiental, y consagra el derecho y el deber de cada generación de proteger y mantener el ambiente, a fin de garantizar el equilibrio ecológico y el máximo bienestar de todos los seres vivos.

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). Debido a la gran variedad de formas y funciones, los paneles solares (termicos y fotovoltaicos) tienen propiedades excepcionales para ser utilizados en todo tipo de edificios y de morfologías urbanas. Dicho esto, la forma de las construcciones y de las superficies en cuestión es decisiva tanto para el rendimiento solar activo y pasivo. Por lo tanto, la energía solar está estrechamente

ligada a la forma, a la función y a la distribución de los edificios, más que ninguna otra fuente de energía renovable.

Por ello, se requiere procedimientos detallados de investigación, proyectos y planes solares para garantizar que este potencial en la región y en ciudades venezolanas se incluyan y avancen de esta manera los nuevos modelos económicos, ambientales y de energía que están surgiendo en los últimos años.

Delimitación espacial

El área de estudio en donde se enmarca el proyecto de Trabajo de Grado es el Área Metropolitana de Caracas ubicada al centro norte de Venezuela y de América del Sur, en los 66° 56' de longitud Oeste y 10° 24' de latitud Norte, específicamente al centro norte del Venezuela. Su división político territorial la conforma el Distrito Federal al Oeste integrado por el único municipio Bolivariano Libertador con 37.641,55ha y al Este los correspondientes del estado Miranda: Baruta 9.493,40, Chacao 1.931,75ha, El Hatillo 11.320,21ha y Sucre con 17.275,49. El AMC limita por el Norte y al Oeste con el estado Vargas, por el Este con el municipio Plaza del estado Miranda y al Sur con los municipios Paz Castillo, Guaicaipuro, Carrizal y Los Salias. Ver mapa 1.

1.2 Marco teórico-referencial

Con el objetivo de entender cuáles son los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación, y además contar con una base de energía limpia de respaldo y una nueva prospectiva energética y sostenible para el Área Metropolitana de Caracas, es conveniente precisar los estudios que respaldan la presente investigación, las cuales sirven de base para conocer las variables y enmarcar la problemática planteada. Bajo esta premisa, se hace necesario contextualizar en primer lugar, la energía dentro de un enfoque geográfico adecuado de manera general, para luego ir a detalle en lo que se refiere a este tipo de sistema de energía renovable como lo es la energía solar.

Conocer los estudios y las investigaciones en especial las vinculadas con la energía solar, permite vincular dentro de un contexto académico su relación con el Análisis Espacial y la Gestión del Territorio, comprender los distintos factores geográficos y sus potencialidades como la radiación solar, la morfología del terreno y la estructura urbana de la ciudad permiten analizar y orientar a nuevas estrategias que pueden intervenir en la planificación de las ciudades y su transición energética es una de las principales tareas de gran importancia en este estudio.

Antecedentes de la Investigación

Muchas de las ciudades del hemisferio norte, y países como Alemania, España y Estados Unidos, están trabajando actualmente con la implementación y uso de la energía solar, aunque lo realmente impresionante en la búsqueda de antecedentes es la gran cantidad de iniciativas y proyectos que buscan adoptar el uso de energías renovables para las ciudades. Algo que se empieza a ver en mayor medida alrededor del mundo, y luego de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015, XXI Cumbre de París (COP21) contra el cambio climático, donde se llegaron a importantes acuerdos y compromisos, entre los antecedentes cabe destacar dentro de la energía y lo urbano las siguientes investigaciones y herramientas académicas:

Páez (2009) aporta en la construcción de las referencias teóricas en el tema energético y urbano, examinando la decadencia de la producción petrolera mundial y mexicana, presentando un modelo urbano pospetróleo e identificando si en México existen condiciones institucionales y capacidad gubernamental para instrumentar el modelo de ciudad propuesto, el cual se construyó analizando la energética social, transiciones energéticas, la sustitución del petróleo, el concepto de ciudad sostenible, los desafíos de la sostenibilidad social, la teoría urbana y trabajos que tratan aspectos urbano-energéticos.

Barrantes et al., (2013) los sistemas de generación fósil existentes en el marco mundial de generación eléctrica, a través de sus diversas fuentes y contribución porcentual en la totalidad de la generación eléctrica. Analizado las estrategias y tendencias de sustitución de la generación con base en combustibles fósiles, no solo a la sustitución de la planta por otra totalmente nueva, sino también a la sustitución parcial de tecnología o mejoras en sitio, o a la sustitución de su

capacidad de generación por otra unidad generadora, cerca del punto de aporte al Sistema Eléctrico Nacional. De estas alternativas se establecen los parámetros óptimos de funcionamiento, así como los costos y requisitos técnicos de implementación.

Dentro de las experiencias a nivel tecnológico, se especifican las siguientes:

Huellasolar (2012) es una plataforma abierta española, una herramienta para el análisis de la energía solar en entornos urbanos, que ofrece una estimación de los datos de radiación sobre cualquier punto de las principales ciudades de España. Se ofrecen datos de radiación directa y difusa en condiciones de cielo despejado en todos los casos y datos de radiación global. El atlas de la radiación solar permite seleccionar entre el mapa de soleamiento urbano habitual y mapas de radiación en edificios. Además, se puede elegir el mes del año a visualizar permitiendo una visión de la intensidad de radiación recibida en kWh/m² día o mes seleccionado.

SolarGis (2010) es una aplicación informática con un equipo de investigadores y empresas asociadas a nivel mundial, esta herramienta ofrece la estimación de la radiación solar en planos situados en terrenos complejos y en entornos urbanos. El proyecto plantea diseñar una herramienta informática para calcular la radiación solar incidente sobre cualquier punto en un plano 3D, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas, topográficas, los obstáculos circundantes y el material de la misma envolvente. Al conocer la radiación sobre la fachada y la cubierta se puede diseñar más eficientemente el sistema de calentamiento de agua por energía solar y se pueden calcular las ganancias térmicas en el interior del edificio. Esto permite tener un sistema de más adecuado a las necesidades del consumo y hacer uso de elementos que permitan controlar la radiación incidente de tal forma que no se presenten ni sobrecalentamientos ni subenfriamientos. La herramienta es de gran utilidad en la fase de diseño de edificios pues permite saber desde las primeras instancias los requerimientos energéticos tanto a nivel de calefacción como de consumo de agua caliente sanitaria e iluminación.

Mapdwell Solar System (2015) es una plataforma abierta de herramientas creado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts, que manejan y prueban información de prácticas sustentables, proporcionando datos precisos a la comunidad para su uso diario. El objetivo fundamental de Mapdwell es entregar una herramienta que permita a la comunidad tomar decisiones informadas sobre cómo incorporar prácticas sustentables en sus vidas, a través de la sensibilización de la comunidad, el acceso a la información sobre la eficiencia energética y el

desarrollo inteligente. Determina la pendiente, la forma y la orientación para la construcción de los techos; simula la irradiación solar que recibiría con base a datos meteorológicos históricos; considera las barreras físicas como vegetación y los edificios circundantes; además de calcular el potencial de generación de energía solar.

En cuanto a algunos antecedentes prácticos en relación a experiencias a nivel urbano, distinguen las siguientes:

Ciudad de Victoria-Gasteiz, España, (POLIS, 2010) estudio del potencial solar para la instalación de energía solar fotovoltaica y térmica/energía fotovoltaica. Se realizó la identificación del potencial solar a escala local (en julio de 2006), en varias zonas (21) para la instalación de energía solar térmica y /o fotovoltaica, en cubierta de edificios (públicos y privados) y en terrenos urbanos y rurales. Las técnicas utilizadas son instalaciones de energía solar fotovoltaica y combinada (Fotovoltaica-Térmica).

Western Harbour Malmo, Suecia (POLIS, 2010) se realizó la identificación del potencial solar en el Distrito Puerto Occidental (desde julio de 2001). Las técnicas usadas son fotovoltaicas, paneles solares térmicos, instalaciones de almacenamiento subterráneo de masa térmica y turbina eólica, edificios con eficiencia energética, energía renovable, 100% producción local.

Isla de Madeira; Portugal (POLIS, 2010) realizó la identificación del potencial solar, en el período de 2002-2005; este proyecto estuvo dedicado a la maximización de la incorporación de las energías renovables y uso racional de la energía en las islas de la Macaronesia, y a promover e incrementar la diversificación de la energía sostenible, previniendo el consumo de energía para convertirse en un obstáculo para el desarrollo de las islas. Teniendo esto en cuenta, se realizaron varios estudios para evaluar el potencial de la isla de Madeira para la adopción de las energías renovables. Uno de estos estudios fue la evaluación del potencial de energía solar en la Región Autónoma de Madeira, y se llegó a la conclusión de que existe un enorme potencial para la adopción de las tecnologías solares, tanto térmicas y fotovoltaicas.

Ciudad de Norderstedt; Alemania (POLIS, 2010) se realizó el proyecto “concepto de energía para la reducción de CO₂ a través de la planificación urbana”, en donde a través de la planificación urbana, restauración, suministro de energía eficiente, y el uso de energías renovables (incluida la energía solar), se planteó el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ de calefacción, el concepto de análisis energético del volumen edificado y el abastecimiento de

energía pública. Basándose en este análisis, el concepto define las opciones para medidas de reacondicionamiento, incluyendo el uso de energías renovables en toda la ciudad de Norderstedt. Su eficiencia operacional es fundamental como medidas de referencia. La metodología basada en el SIG, incorpora la posibilidad de información a través de los mapas generados y a continuación poder definir las prioridades. Las técnicas adaptadas son todas las energías renovables para calefacción y fotovoltaicas.

Bases Teóricas

En esta sección, se profundizan las bases teóricas claves acerca de cómo son y qué magnitud abarcan las áreas de conocimiento del sistema de energía solar urbana, especialmente por ser unas de las perspectivas del futuro y las nuevas concepciones de las ciudades del mañana, por lo tanto, están adquiriendo cada vez más importancia a todos los niveles y se hace imperioso saber cuáles son las implicaciones inherentes a tales sistemas y cómo se contextualizan al ser un elemento estructurador de desarrollo en los distintos niveles de escala del espacio geográfico.

La energía ha sido definida como elemento único, universal, transversal y común a todas las cosas mediante el cual se puede comprender la dinámica del mundo. Se manifiesta en tres estados: fuerza o capacidad de producir trabajo, materia (puede adoptar los estados sólidos, líquidos, gaseosos y plasmáticos) ya que ocupa un lugar en el espacio y en el tiempo, e información porque es transmisible y permite dirigir una acción física o sociocultural, es decir, permite la existencia de la retroalimentación negentrópica dentro de un sistema (León, 2009).

La energía es de gran importancia para el crecimiento, el desarrollo y el progreso; sin ella, sería imposible la luz (natural y artificial), la generación de electricidad, el ruido, el viento, la fotosíntesis, hasta la vida misma (León, 2009). Pardo (2006) observó que los recursos energéticos de las sociedades estaban limitadas por sus características organizativas e incluso sus valores y sus creencias; destaca la importancia de fortalecer el papel de los municipios en la resolución de sus problemas energéticos, este punto es fundamental para este trabajo de grado, que se desarrollará en el Área Metropolitana de Caracas, de forma que se pueda garantizar la eficiencia energética de la misma, así como también la independencia, la descentralización y evitar la sobresaturación de los sistemas energéticos principalmente.

Entre otros elementos fundamentales, territorialmente se debe señalar la importancia de la disposición de espacios pertinentes para captar la energía solar, mediante la generación de distritos solares, siguiendo criterios energéticos para instalar entre otras, granjas de energía solar en las periferias de las ciudades; por lo que, se requiere de una decisiva acción pública para la información y concientización ciudadana para lograr cambios en los estilos de vida (Páez, 2009).

Siendo importante destacar que, 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 actualmente existentes o por la introducción de nuevos sistemas. A continuación, en la siguiente figura se muestra un bosquejo de lo que se comprende como Distrito Solar Urbano:

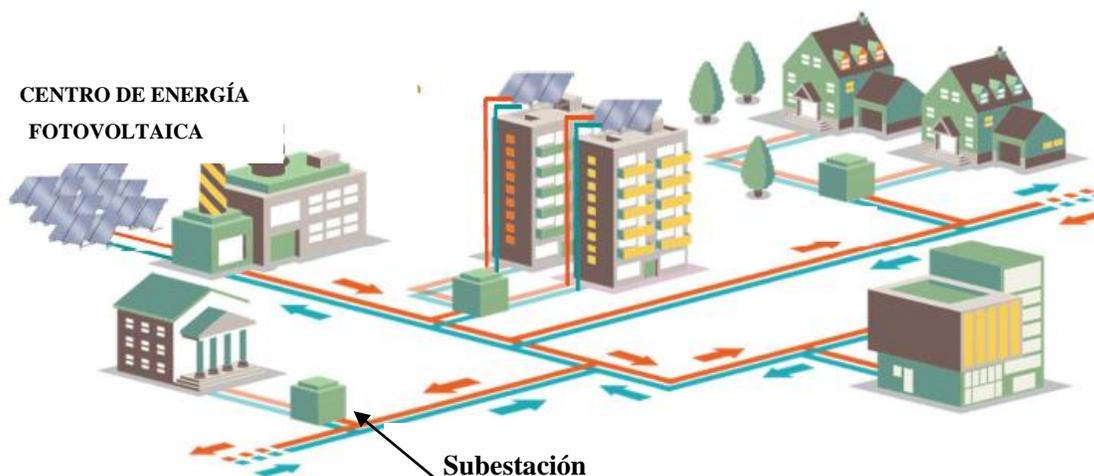


Figura I.1: Distrito Solar Urbano o Red Solar Urbana (Solar District Heating, SDH). Fuente: Planeamiento Urbano: Solar District Heating. Proyecto SHDplus Tecnalia (2012).

Actualmente, las redes eléctricas (principalmente en Venezuela), están diseñadas y en funcionamiento desde la mitad del siglo pasado (donde los principales centros de producción estaban lejanos de las poblaciones); éstas deben de ser rediseñadas para convertirse en redes más efectivas y robustas, de forma que puedan soportar las necesidades futuras (tanto desde el punto de vista de los consumidores como de las características de las centrales basadas en energías

alternativas). Por lo tanto, se debe pensar en la modernización de la red actual y la infraestructura de las ciudades respaldada con energías renovables, en este caso la energía solar se adapta al concepto urbanizador como también existe una estrecha relación entre urbano-energía, esto lo fundamentan Huang & Chen (2005), en la teoría integrada de la interdependencia del flujo energético y el desarrollo urbano.

Así como también, se debe considerar, las consecuencias derivadas de la transformación y del uso de la energía, que han presentado una serie de problemas ambientales entre los que destacan, la emisión de contaminantes proveniente entre otros de la combustión y que liberan compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, metales pesados partícula y hollines; principalmente en las aglomeraciones urbanas y los grandes focos industriales, este hecho ha generado contaminación urbana en las grandes ciudades (Menéndez, 2001). Lo importante en destacar es que, en la construcción y desarrollo de los modelos urbanos han ignorado las consideraciones energéticas, es decir, las ciudades no se establecieron en función de la energía que demandan y de la energía que producen, debido a que la obtención de la energía ha tenido un bajo costo económico, no ha impuesto limitaciones físicas y no ha existido algún impedimento sobre las estructuras urbanas (Sassin, 1982).

Es por ello que, la integración de la energía renovable en las redes existentes plantea retos importantes, para abordar estas cuestiones será necesario hacer cambios normativos e introducir un enfoque holístico en la forma en que los usuarios finales y sus redes gestionan el uso de la energía. Algunos países como Italia y Corea del Sur han adoptado nuevos modelos de distribución que promueven la gestión de la demanda para aumentar la eficiencia energética y permitir la introducción de la energía renovable.

Estos conceptos requieren de un nuevo sistema de distribución que responda la demanda de energía y un cambio en el concepto actual de la red unidireccional; es decir, lograr que las redes sean más inteligentes, rentables y confiables. Una red inteligente (Smart Grid) es una red de transporte y distribución de energía eléctrica que tiene la capacidad de entender, asimilar, elaborar información y utilizarla adecuadamente, haciendo un uso intensivo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (Smart Grids y la evolución de la red Eléctrica, 2011).

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) define las redes inteligentes como: “Una red inteligente es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y otras tecnologías avanzadas

para controlar y gestionar el transporte de electricidad, a partir de todas las fuentes de generación, con el fin de satisfacer la demanda variable de electricidad de los usuarios finales. Las redes inteligentes coordinan las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de red, usuarios finales y actores del mercado eléctrico para utilizar todas las partes del sistema de la manera más eficiente posible, reduciendo al mínimo los costos y el impacto ambiental mientras se aumenta al máximo la fiabilidad, resistencia y estabilidad del sistema” (IEA, 2011).

Del mismo modo, el Instituto Coreano de Redes Inteligentes (KSGI, por sus siglas en inglés) establece que una “red inteligente se refiere a una red de próxima generación que integra la tecnología de la información a la red eléctrica existente para optimizar la eficiencia energética a través del intercambio bidireccional de información eléctrica, en tiempo real, entre los proveedores y los consumidores” (Jeju SGTB, 2012).

La tecnología de las redes inteligentes en una visión prospectiva mejorará la integración y la capacidad de las energías renovables, como la energía solar en una infraestructura de red existente y nueva, es decir, es fundamental para lograr una transición energética eficiente. Las redes inteligentes con una implementación de energía solar, contribuye a generar menos emisiones de GEI, permite coordinar planes de riesgo, vulnerabilidad, seguridad energética y adaptación al cambio climático como también creará nuevos puestos de trabajo en la industria eléctrica.

Con base en esto, y lo establecido en el urbanismo ecológico de Rueda (1999), permiten observar un conjunto de variables que conforman a las ciudades actuales y a su vez, comprender los problemas propios de las ciudades; este enfoque, se centra en la resolución de los nuevos retos actuales y preexistentes, con un conjunto de instrumentos de carácter legal, económicos y administrativos a un nuevo *statu quo*. Es así que este trabajo de grado se enmarca en el ámbito del metabolismo urbano desde el enfoque del fisicalismo, integrando los flujos metabólicos de la ciudad para el desarrollo de la autosuficiencia energética con captación de energías renovables y la generación e instalación de dispositivos que actúen como pasivos para el ahorro y la eficiencia energética.

Estas bases teóricas presentadas y los antecedentes descritos fundamentarán la propuesta contenida en este trabajo, cuyo marco se expone en el análisis del espacio geográfico, las

potencialidades naturales y el entorno urbano con el apoyo tecnológico de los Sistemas de Información Geográfica y así de esta manera construir el desarrollo de una propuesta de ordenación territorial para la implementación de redes y Distritos Solares Urbanos en el Área Metropolitana de Caracas.

Bases Legales

Las bases legales se enmarcan en la investigación a lo referente a la teoría legal, el sustento y complemento avalado por diversas investigaciones previas, definiciones, leyes, reglamentos que permite los derechos culturales y educativos, que el Estado venezolano reconoce.

Por lo tanto, constituyen un conjunto de documentos de naturaleza legal que sirven de testimonio referencial y de soporte a la investigación. Por medio de estas bases, hacemos referencia que nuestra investigación se desarrollará dentro de los términos constitucionalmente legales. A continuación, se mencionan las de mayor importancia para la presente investigación:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela: en el Capítulo VI, de los derechos culturales y educativos, el Artículo 110° menciona que el Estado reconocerá el interés público de la tecnología, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos para el desarrollo socioeconómico del país. Para el fomento de dichas actividades, el Estado se compromete destinando recursos necesarios y con la creación del sistema nacional de ciencia y tecnología y exige que el sector privado aporte recursos para las mismas.

También el Estado debe garantizar que todo lo mencionado se cumpla. Por otro lado, en el Capítulo IX, referido a los derechos ambientales, el Artículo 127° explica el derecho y el deber de la sociedad de proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y de las próximas generaciones:

“Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica”

Ley Orgánica del Ambiente: esta ley, según su Artículo 1º, tiene por objeto establecer los principios rectores de la gestión ambiental en el marco del desarrollo sostenible como derecho y deber de la sociedad y del Estado. El Artículo 23º rezan algunos lineamientos para la planificación ambiental:

- La conservación de los ecosistemas y el uso sustentable de éstos asegurando su permanencia.
- La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potencialidades y las limitaciones de los recursos naturales, así como el desarrollo, transferencia y adecuación de tecnologías compatibles con el desarrollo sustentable.

En el Capítulo III del mismo título, se hace referencia a los demás elementos ambientales, donde se hacen especificaciones para la gestión integral de la atmósfera, la cual debe conservar la calidad al máximo y que se ve constantemente afectada por los gases de efecto invernadero producidos durante la extracción energética convencional.

En el Artículo 75º explica que la autoridad nacional ambiental estimulará los estudios y la investigación sobre el ambiente, promoviendo los proyectos de diferentes instituciones nacionales e internacionales que tengan vocación ambientalista. Estos proyectos son descritos en el Artículo 76º como proyectos dirigidos a conocimiento de los ecosistemas, sus potencialidades, beneficios ambientales y limitaciones para orientar el uso sustentable de las poblaciones con potencial económico.

Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico: esta Ley tiene por objeto, según su Artículo 1º, establecer las disposiciones que regularán el sistema eléctrico y la prestación del servicio eléctrico en el territorio nacional, así como los intercambios internacionales de energía, a través de las actividades de generación, transmisión, despacho del sistema eléctrico, distribución y comercialización, en concordancia con el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional y el Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación.

La Ley aplica a todos los elementos del sistema eléctrico, desde el administrador y prestador del servicio, hasta los usuarios y las organizaciones que intervienen en dicha dinámica. Esta Ley

es aplicable en todo el territorio nacional. El Artículo 5° declara los principios rectores para la prestación del servicio eléctrico:

1. Soberanía tecnológica.
2. Sustentabilidad ambiental.
3. Ordenación territorial.
4. Integración geopolítica.
5. Uso racional y eficiente de los recursos.
6. Diversificación del uso de las fuentes de energía primarias.
7. Utilización de fuentes alternativas de energía.
8. Corresponsabilidad social.

En la definición de términos señala que:

La autogeneración y el proceso mediante el cual un usuario genera energía eléctrica para suplir parcial o totalmente los requerimientos de sus instalaciones y un sistema independiente es parte del Sistema Eléctrico Nacional, conformado por instalaciones no conectadas al mismo, destinadas a la prestación del servicio en zonas no servidas.

Su Artículo 40°, relacionado al apoyo de las instituciones de educación y centros de investigación exige que el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica y el operador y prestador del servicio deberán colaborar con las instituciones de educación superior en las pasantías, trabajos de grado, tesis, entre otros, afines al sector eléctrico.

Con relación a la generación en sistemas independientes:

- Artículo 44°. El operador y prestador del servicio eléctrico es el encargado de la instalación y operación de las plantas de generación en sistemas independientes, dándose prioridad al empleo de fuentes alternativas de energía y de bajo impacto al ambiente, de conformidad con el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional y demás normas vigentes.
- Artículo 46°. Los interesados en establecer instalaciones para la autogeneración, con una capacidad igual o superior a dos megavatios (2 MW), deberán solicitar ante el Ministerio

del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica la correspondiente habilitación, de conformidad con el procedimiento y términos establecidos en la normativa que regule esta materia.

Reglamento General de la ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico: tiene por objeto desarrollar las disposiciones contenidas en la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico, constituido por las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización y despacho del sistema eléctrico, la regulación de las personas que intervienen en la prestación de este servicio, la seguridad integral y las empresas mixtas para la construcción de obras, producción de bienes y servicios que sirven de insumo a la industria eléctrica; así como la sustentabilidad ambiental y el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Para este caso, se destacan los artículos:

- Artículo 34°. Todo nuevo desarrollo de infraestructura deberá cumplir con las regulaciones en materia de uso racional y eficiente de la energía, que a su vez deberá estar armonizado con los principios y normas jurídicas ambientales.
- Del título I, el Capítulo VI está relacionado al uso inteligente de la energía y el Capítulo VII está dedicado en su totalidad a las disposiciones para la sustentabilidad ambiental donde se puede resaltar el Artículo 41°. El Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica, velará porque todas las actividades a ser desarrolladas en el sector eléctrico se ejecuten conforme a las regulaciones ambientales que apliquen a cada caso.

Actualmente Venezuela no cuenta con una Ley que regule, controle y sustente de manera concreta el uso de las energías renovables, pero durante el desarrollo de esta investigación se pudo conocer el interés de promover e impulsar desde la oficina de energías renovables del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica un cuadro normativo y de leyes que respalden el desarrollo de estas tecnologías.

1.3 Marco metodológico

Durante la elaboración de la presente investigación, se hace necesario que las relaciones a estudiar, así como los resultados a esperar en relación con el problema investigado, además de

los nuevos conocimientos que se pretenden situar, reúnan las condiciones de validez y fiabilidad, así como, objetividad y validez interna. Por lo tanto, se requiere delimitar los procedimientos metodológicos, a través de los cuales se intentan dar resultados, respuestas y finalmente consideraciones a las interrogantes de la investigación.

En consecuencia, a lo antes expuesto, la presente investigación determina el momento tecnológico que sitúa en detalle el conjunto de métodos, técnicas y herramientas que se emplearán en el proceso de recolección de los datos requeridos en la investigación propuesta. En este sentido, se desarrollarán importantes aspectos en relación al tipo de estudio y a su diseño de investigación, por lo tanto, se establece en primer lugar una revisión de las investigaciones en la temática de la energía solar en zonas urbanas, a manera de antecedentes, referencial y marco teórico, para luego entrar en el estudio de los conceptos fundamentales que se relacionan con el potencial solar, el espacio urbano y su respectivo análisis.

Seguidamente, para contextualizar el estudio de la energía solar, se establecen los parámetros para la gestión de la información utilizada para cumplir con cada objetivo de la investigación, esta posee una metodología adaptada a sus necesidades, es decir, para cada apartado dentro de la investigación se ha diseñado una metodología en específico que contempla procedimientos, técnicas de recolección, procesamiento y análisis de la información.

Tipo y Diseño de la Investigación

La presente investigación, se realizó a un nivel descriptivo y correlacional, ya que pretende, en primer lugar, seleccionar una serie de cuestiones, que se mide y recolecta información de cada variable de interés para cumplir con los objetivos del estudio midiendo el grado de asociación entre las diversas variables. En otra perspectiva de la investigación, es exploratorio para nuestra región, debido a que el presente tema o problema de investigación es poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas y no se ha abordado anteriormente, lo cual servirá de orientación a estudios posteriores.

Por su parte, el diseño de la investigación es transversal, debido a que la mayor parte de la información requerida es de un tiempo determinado con el propósito de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Técnicas de Recolección de Información y su Procesamiento

Recolección de la Información

Para la recolección de la información, se utilizaron técnicas acordes a los objetivos de esta investigación, especialmente tanto en función de las variables consideradas como a las escalas de trabajo empleadas, en este caso se empleará la recopilación documental. Las fuentes de los datos recolectados serán de tipo primario y secundario, siempre y cuando la utilidad que contengan permita generar análisis efectivos y adecuados a los propósitos establecidos. Las clases de documentos recopilados para su posterior análisis son:

a) *Documentos escritos*: el material bibliográfico que se consultó fue de fuentes oficiales diversas para la obtención de los datos, entre las fuentes impresas se tienen libros, síntesis estadísticas, documentos, investigaciones previas, cartografía temática, entre otros, y para las fuentes electrónicas: documentos en línea, bases de datos de instituciones. Entre los organismos a ser consultados, cabe destacar: el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB), el Instituto Nacional de Estadística (INE), Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh) y del Servicio de Meteorología de la Aviación, la Alcaldía Metropolitana de Caracas, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

A través de todo proceso de investigación, análisis profundo de las fuentes documentales, se utilizaron las técnicas de observación documental, presentación, analítica, resumen y análisis crítico. A partir de las fuentes de los documentos escritos se iniciará una búsqueda y observación a fin de extraer la información útil para el estudio que se está realizando. Para el manejo de las fuentes documentales se aplicarán técnicas operacionales para el manejo de los datos y la información requerida para la investigación: subrayado, fichaje, bibliográficas, citas, notas de referencias bibliográficas, presentación de cuadros, gráficos e ilustraciones y otras.

b) *Documentos estadísticos o numéricos*: la investigación se encuentra enmarcada temporalmente en un escenario reciente (años 2001-2030 y datos censales del 2011 con sus respectivas proyecciones). Para un análisis profundo se tratará de captar la realidad estudiada con fuentes estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE), de la misma manera se aplicarán las técnicas de recolección, considerando esta última como el proceso de comunicación a través

del diálogo directo con preguntas abiertas; este instrumento estará diseñado con el fin de recolectar la naturaleza de los datos que se desean recoger en función de la investigación.

c) *Documentos cartográficos:* en la información cartográfica se aplicaron técnicas para la elaboración de la expresión temática: digitalización y escaneo de material físico, para la representación y análisis: con el fin de captar información valiosa para los análisis, de la misma manera la información espacial se puede almacenar en una base de datos, que puede ser extraída con el fin de la investigación aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) , que permitirá la elaboración de mapas más dinámicos e interactivos pudiendo ser manipulados digitalmente.

d) *Información recolectada en campo:* para el trabajo de campo la observación simple no estructurada es la más indicada para este estudio, ya que permitirá constatar visualmente, aquellas características resaltantes del medio que han sido detectadas por otras técnicas de recolección de información. Se elaborarán entrevistas a un grupo de especialistas y académicos que nos permita conocer las expectativas de la energía solar como una herramienta de gestión territorial sostenible en el Área Metropolitana de Caracas, igualmente a las organizaciones, instituciones y entes gubernamentales.

Procesamiento de la información

1. Clasificación de los datos por codificación y tabulación con el fin de agruparlos de manera práctica para procesar gran cantidad de información mediante tablas, gráficos y esquemas. A su vez obtener proporciones, porcentajes y coeficientes de ponderación.

2. Procesamiento de datos espaciales mediante Sistemas de Información Geográfica, se emplearán los paquetes informáticos Arcgis 10.3, QGIS 2.18, SAGA GIS 5 (System for Automated Geoscientific Analyses).

3. Series cronológicas con el objeto de estudiar comportamientos a futuro de los fenómenos determinados y la demanda de energía, es importante realizar cálculos de tendencia mediante la proyección, uso de la tierra y el crecimiento de la población. Las variables utilizadas para la realización de esta investigación se detallan en la siguiente página en el cuadro I.2:

Cuadro I.2: Sistema de Variables

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	INDICADOR
1. Diagnosticar socio-ambientalmente la sostenibilidad energética del Área Metropolitana de Caracas.	Social	Uso de energía en los hogares kWh
		Producción anual y mensual de energía kWh
		Población total N° hab
	Económico	Uso de energía per cápita
		Uso de la tierra
Ambientales	Emisiones de GEI	
2. Determinar el potencial solar urbano a través del uso de herramientas de geomática y de análisis espacial en el Área Metropolitana de Caracas.	Unidades de relieve	Superficie (ha)
	Orientación de laderas	Ángulo 0° o 360°
	Pendiente	%
	Temperatura media anual y mensual	°C
	Radiación solar diaria, mensual y anual	Kwh/m ² y W/m ²
3. Establecer a partir de la potencialidad solar urbano, los sectores aprovechables para la generación de electricidad en el Área Metropolitana de Caracas.	Densidad poblacional	(hab./Km ²)
	Superficie de techos por macrosector	m ²
	Consumo de energía eléctrica por macrosector	MW
	Oferta de energía solar por macrosector	MW
	Vialidad	Autopista, avenida, calle y carretera
	Servicios y equipamientos	Centos de salud, centros de educación, instituciones gubernamentales, industrias, bomberos.

Fuente: Elaboración Propia.

Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para evaluar el potencial solar de una ciudad, se requiere definir una metodología que agrupe una gran variedad de datos, es necesario recopilar la información necesaria referente a las condiciones meteorológicas estadísticas, morfología del terreno y la estructura urbana del área de interés; ya que todas estas variables afectarán al modelo de potencial y aprovechamiento de la energía.

El desarrollo fundamental de esta metodología es entregar una herramienta que permita tomar decisiones sobre cómo incorporar prácticas sustentables con base al aprovechamiento del potencial solar, acompañado con la eficiencia energética y el desarrollo inteligente. Esta investigación tiene el propósito entre otros resultados de generar una cartografía solar urbana que almacene una información dinámica y configurable sobre la incidencia de la radiación solar sobre la trama urbana y su morfología. Permitiendo conocer las horas del Sol o sombras recibidas y las horas a las que esto ocurre.

Actualmente es posible encontrar diversos mapas urbanos de captación solar en línea (Huellasolar, SolarGis y Mapdwell), en general son ciudades del hemisferio norte de países como Alemania, España y Estados Unidos. Estos mapas muestran resultados muy bondadosos de forma general, ya que disponen de una cantidad de información actualizada y de fácil acceso, además de estudios de captación de radiación solar con tecnología Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) que son de altos costos y requieren un procesamiento computacional significativo, estas condiciones son escasamente existentes en países en desarrollo del hemisferio sur. Por esta razón se plantea la siguiente metodología basada en la realidad de nuestras ciudades descritas a seguir:

Se utilizará el software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), un sistema de métodos geocientíficos de código libre y gratuito desarrollado por el Instituto de Geografía de la Universidad de Hamburgo, Alemania, en el se ejecutarán una serie de procesos en conjunto a la información de la topografía del AMC, lo cual permite obtener información de elevación, pendiente, orientación superficial, factor claro del cielo, sombreado y la radiación solar.

Muchas de las condiciones geomorfológicas de un territorio influyen considerablemente en la cantidad de radiación solar directa sobre la superficie terrestre, para ello se han considerado las siguientes unidades morfográficas: topes, filas, terrazas y laderas. Esta información es

suministrada por el estudio de Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas año 2015, donde se identifican en forma única y precisa un catastro ambiental con un código único y la orientación de las filas y laderas, según una rosa de los vientos de ocho sectores. Con este insumo significativo se procede a generar un mapa de radiación solar detallado que permitirá analizar las zonas de solana y umbría de las laderas y cuál de ellas tiene mayor radiación solar durante el día con los modelos geoestadísticos de los Software SAGA.

Consecuentemente, a través de la superposición de diversos mapas que se generarán en la investigación: entre ellos densidad poblacional, consumo energético, uso de la tierra, formaciones urbanas, estratos socioeconómicos, uso de la tierra, vialidad, sectorización urbana, geomorfología, orientación de filas y laderas, sectorización ambiental, radiación solar, modelo 3D de las unidades morfológicas de la ciudad y potencial solar, se procederá a generar un mapa de potencial solar urbano del Área Metropolitana de Caracas. Este proceso se concebirá con las diferentes herramientas de análisis espacial de los paquetes informáticos ArcGis, QGIS, y SAGA GIS.

El resultado del mapa de potencial solar urbano permitirá, identificar condiciones microclimáticas, calcular la radiación incidente sobre puntos y áreas tomando en cuenta la geometría de la ciudad y las sombras proyectadas, conocer cuál sería el potencial de producción de energía eléctrica y la radiación recibida en kWh/m² día de una instalación, sobre cualquier área de la ciudad y la distribución de radiación global recibida en cada sector. Esta información establece las bases para integrar los ordenamientos al entorno, gestionando eficazmente los recursos, y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

Finalmente, se estructura los posibles escenarios que nos permitirán valorar la factibilidad del uso de la energía solar para disminuir la dependencia de energía eléctrica en el Área Metropolitana de Caracas. Parte de este análisis es obtener el conocimiento exhaustivo de las condiciones morfo-tipológicas de las unidades de análisis urbano y las recomendaciones generales de los sistemas de acondicionamiento pasivo y activo (térmico y fotovoltaico) en áreas potenciales en la ciudad, el beneficio de reducir la huella ecológica urbana, la rehabilitación ecológica y encontrar una identidad singular con las actuaciones del urbanismo bioclimático y Ecobarrios.

De esta manera, se evaluarán las ventajas, oportunidades y debilidades así como también la considerable propuesta de la diversificación energética para la ciudad en relación a los compromisos internacionales para reducir las emisiones de GEI y el Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015, XXI Cumbre de París (COP21), con el fin de facilitar herramientas para el manejo eficiente de la energía y enfrentar las políticas ineficientes socioeconómicas y ambientales de nuestra región. La descripción de los datos y fuentes de información que se requieren para los métodos y el análisis se pueden detallar en el cuadro I.3:

Cuadro I.3: Datos y fuentes de información

Datos	Fuente
Radiación Solar	Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) del proyecto de Prediction of Worldwide Energy Resource (Power) de la NASA (National Aeronautic Society American)
Cartas 6747 I SE, 6847 IV SO, 6847 IV SE, 6847 I SO, 6747 II NO, 6747 II NE, 6847 III NO, 6847 III NE, 6847 II NO, 6747 II SO, 6747 II SE, 6847 III SO, 6847 III SE, 6847 II SO a escala 1:25.000	Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (Igvsb).
Estaciones meteorológicas La Carlota, Cajigal y UCV	Inameh y del Servicio de Meteorología de La Aviación.
Datos socioeconómicos	Instituto Nacional de Estadística (INE)
Consumo de energía eléctrica	Corporación Eléctrica Nacional, Corpoelec y la Organización Latinoamericana de Energía Olade
Sectorización ambiental	Gerencia de Ambiente, Alcaldía Metropolitana de Caracas
Base cartográfica digital e información urbana.	Sistema de Información Urbano Metropolitano (SIUM) de la Alcaldía Metropolitana de Caracas (AMC).

Fuente: Elaboración Propia.

Fases de la Investigación

Fase I. Obtención y procesamiento de datos

a) Recolección de datos: esta actividad contempla la obtención de datos en los distintos organismos que manejan información de indicadores, estadísticas cartográfica o alfanumérica

imprescindibles para la evaluación y análisis de la energía solar en el Área Metropolitana de Caracas.

b) Trabajo de campo: se examinó, comparó y actualizó la información mediante la observación directa de la información obtenida de las distintas áreas que se engloban en la presente investigación, y además permiten constatar las diferentes condicionantes. Del mismo modo en el trabajo de campo se elaborarán entrevistas a las instituciones, grupo de especialistas y académicos que nos permita conocer las expectativas de la energía solar como una herramienta de gestión territorial sostenible en el Área Metropolitana de Caracas.

c) Procesamiento de los datos: en esta etapa los datos obtenidos tanto de gabinete como de campo serán sometidos a una organización y sistematización que incluye: elaboración de tablas, gráficos, cartografía digital, matrices, compilación de imágenes y demás procedimientos que ayudarán al posterior análisis.

Fase II. Análisis y descripción del área de estudio

Una vez procesada la información obtenida, se procederá a elaborar su análisis, la cual permitirá la comprensión de los distintos datos, agentes y elementos que intervienen en los diferentes y amplios procesos geográficos, económicos y ambientales que se desarrollan.

A través de una descripción geográfica general del Área Metropolitana de Caracas y su funcionamiento espacial en relación con la energía eléctrica, con base en los conocimientos adquiridos en las etapas anteriores, se procederá a la construcción de una serie de consideraciones generales de tipo geográfico-ambiental-energético que suministren una descripción inicial del área de estudio considerada, facilitando la comprensión del sistema eléctrico.

Fase III. Desarrollo de la Investigación:

a) Descripción del sistema eléctrico del Área Metropolitana de Caracas y su funcionamiento espacial: a través de la información documental suministrada por Corpoelec se procederá a elaborar un diagnóstico detallado del sistema y proyecciones a su vez conocer el plan eléctrico de la nación y su visión con las energías renovables.

b) Etapa de evaluación físico natural y urbana: la caracterización físico natural que se presentará tendrá como objetivo central la definición de criterios para conocer las

potencialidades y debilidades, se tomarán trabajos básicos claves entre ellos la sectorización ambiental (Arborea Consultores, 2015) que permitirán obtener una visión global del área. Seguidamente se contrastarán los estudios base con información obtenida a través de la interpretación de imágenes de satélite e interpretación de mapas topográficos y temáticos, como también información sobre variables climáticas e información ambiental que describe la orientación de las laderas, de esta manera se correlacionará toda la información para lograr una evaluación físico natural del área de estudio. Posteriormente, se analizarán las variables urbanas que definen el AMC, la población, tipología de viviendas, vialidad, sistema eléctrico, equipamientos y servicios y como estas están distribuidas espacialmente en los Macrosectores urbanos (Plan Estratégico Caracas-2020, 2012), que representan una distribución espacial y delimitación urbana permitiendo que estas mismas características espaciales conformen los Distritos Solares Urbanos.

c) Procesamiento y estimación del potencial solar: siguiendo la metodología pautada en la investigación la construcción de un Modelo Digital del Terreno, mapa de factor del cielo visible, orientación de laderas y uso de la información del estudio de Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas. Consecuentemente y a partir del análisis de todas estas variables y el procesamiento de la información con los módulos de radiación solar del software SAGA se obtienen unos datos de especial interés, con el fin de identificar zonas con mayor potencial de aprovechamiento de la radiación solar, en diferentes espacios y tiempos para el Área Metropolitana de Caracas.

d) Etapa de evaluación de los factores socioeconómicos: los factores del medio socioeconómico garantizarán conocer la participación activa de la población en el diseño de los proyectos de desarrollo, el beneficio de la población, el impacto del proyecto sobre las comunidades, las posibles modificaciones o transformaciones del medio que generen y permitirá elaborar estrategias integradas, que considerará a todo el conjunto de los factores ambientales, la cual permitiría la justa armonía entre las necesidades y políticas para el desarrollo.

En esta etapa se hace el filtrado de los datos recolectados, a fin de contar solo con los datos realmente necesarios para analizar la información; a su vez, esta fase procesa la información mediante la realización metodológica que permita la generación de tablas, cuadros, gráficos,

mapas temáticos, entre otros resultados que faciliten la visualización práctica del problema investigado.

Fase IV. Determinación de resultados de la investigación

En esta cuarta fase, se procede a explicar y analizar las características más resaltantes del potencial solar urbano; una breve prospectiva de cómo favorecería la implementación, los efectos sobre el sistema urbano y la transformación potencial de los patrones del uso de la tierra en la economía local. Además, se generará una serie de premisas concluyentes que intenten demostrar los beneficios de la energía solar y la propuesta en términos económicos para la gestión del territorial del Área Metropolitana de Caracas.

Fase V: Transcripción, Presentación y defensa del Trabajo de Grado, publicación del mismo.

La última fase de la investigación, la constituye una serie de procesos de revisión y corrección, tanto por parte del investigador como por parte del tutor y el asesor académico. Una vez corregida, la etapa final la constituye la presentación ante el jurado calificador y su divulgación respectiva.

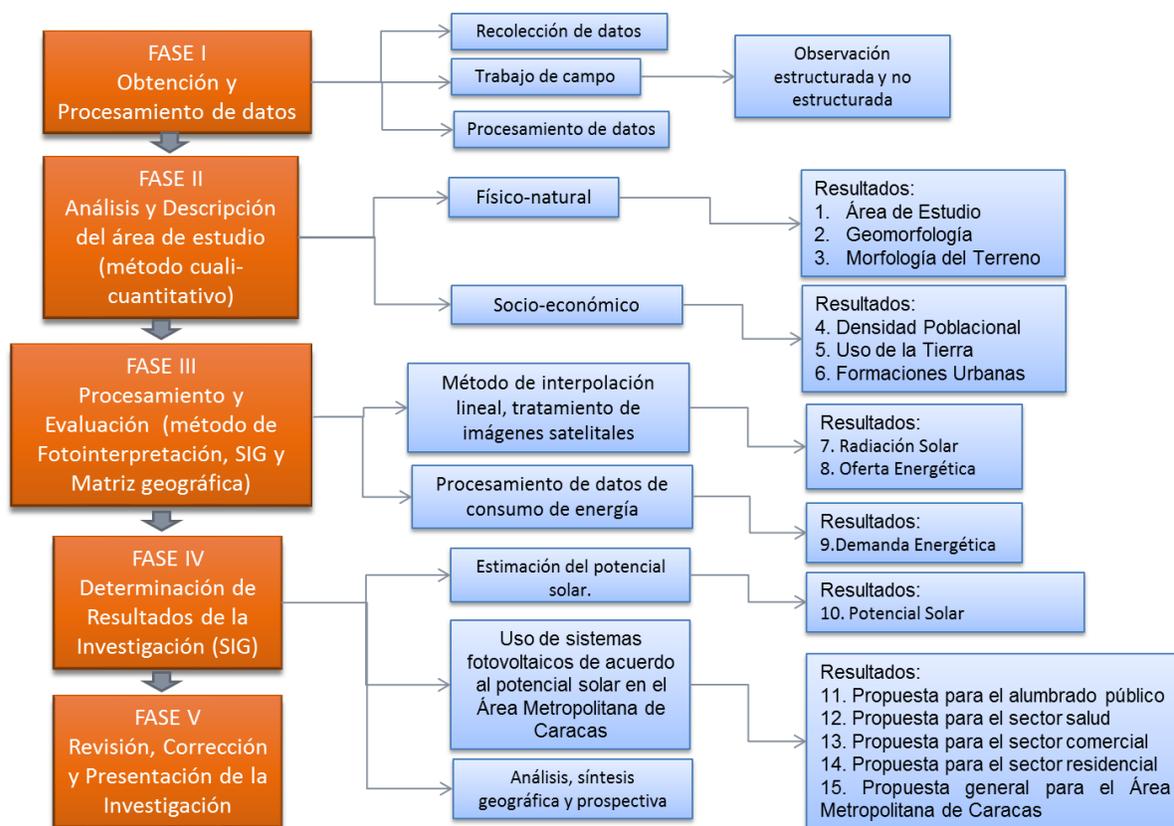
En el marco del trabajo de grado se esperan obtener los siguientes resultados:

1. Favorecer al conocimiento para los múltiples usos de la energía solar, como herramienta de gestión territorial sostenible para la ciudad de Caracas. Del mismo modo, permitirá comprender la filosofía del urbanismo bioclimático, para así contribuir con la planificación urbana y la implementación de nuevas ordenanzas, fundamentadas en criterios ambientales.
2. Análisis físico natural del Área Metropolitana de Caracas:
 - Mapa 1. Área de estudio.
 - Mapa 2. Macrosectores del Área Metropolitana de Caracas
 - Mapa 3 Sectorización Ambiental del AMC (Orientación de laderas, filas y topes).
2. Información referente a las actividades socioeconómicas, formaciones urbanas del Área Metropolitana de Caracas.
 - Mapa 4. Uso de la tierra.
3. Potencial Solar Urbano del Área Metropolitana de Caracas.
 - Mapa 5. Potencial solar del Área Metropolitana de Caracas.

4. Uso de sistemas fotovoltaicos de acuerdo al potencial solar en el Área Metropolitana de Caracas.

- Mapa 6. Distritos Solares Urbanos del Área Metropolitana de Caracas.
- Mapa 7 Propuesta de uso de energía solar para el Área Metropolitana de Caracas.

A modo de síntesis se presenta el siguiente flujograma para la mejor comprensión de las etapas de investigación:



Flujograma I.1: Etapas del proceso investigativo flujograma metodológico. Fuente: Elaboración Propia.

*CAPÍTULO II. DIAGNOSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL ÁREA
METROPOLITANA DE CARACAS*

CAPÍTULO II: DIAGNOSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

La comprensión del medio donde se pretende la instalación de infraestructura para la captación y el aprovechamiento de energía solar es una de las actividades como calcular la radiación y evaluar el potencial solar de un lugar determinado. Por ello, para describir entender y proyectar se necesita considerar la interacción entre múltiples factores y variables que conforman el ambiente, es decir, se ha hecho necesario caracterizar el área de estudio para determinar y visualizar tanto a las variables del medio físico, los aspectos socioeconómicos y ambientales que son condicionantes para la instalación de la infraestructura para el aprovechamiento de la energía solar que es el propósito de este capítulo. Dicho lo anterior, se describen a continuación.

2.1 Área Metropolitana de Caracas

Macrosectores

Para entender la dinámica poblacional y de empleo del AMC, así como para analizar el comportamiento de variables como equipamientos y servicios por zonas de la ciudad, el área se dividió en 35 macrosectores, (ver Mapa 2) que serán la división con la que se fundamentará este Trabajo de Grado. Estos macrosectores, fueron divididos en sectores de acuerdo a características de funcionalidad, homogeneidad y uso predominante semejante: en total resultaron 177, con superficie variada dependiendo de la complejidad del área (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Así los sectores de menor superficie corresponden a zonas más complejas en cuanto a usos del suelo y morfología, que son difíciles de agrupar con las áreas vecinas; por su parte, los sectores de mayor superficie se corresponden con los grandes espacios poco ocupados y las grandes áreas de los parques nacionales El Ávila y Macarao. Se definieron las siguientes categorías de sectores, de acuerdo con el rol predominante que se le identifica dentro de la ciudad:

- Centros de primer, segundo y tercer orden: con actividades centrales tales como, gobierno, bancos, comercio y servicios de escala metropolitana. Además, contienen vivienda multifamiliar de alta densidad.
- Centro de primer orden: Casco central de Caracas.

- Centro de segundo orden: Catia, La Castellana, CCCT y Cubo Negro, Prados del Este, CC Concreta, Torre Humbolt, La Trinidad y Petare. Avenidas: Nueva Granada, Roosevelt, La Victoria, y Blandín en Chacao.
- Centro de Tercer Orden: Antímano – UCAB; Casco La Vega; La Bandera; El Hatillo y Santa Paula.
- Corredores de primer, segundo y tercer orden: polígonos organizados a lo largo de vías estructurantes, casi siempre con estaciones de metro, que contienen principalmente actividades centrales con fuerte presencia de empleo en comercio, oficinas, gobierno y servicios metropolitanos.
- Corredor de primer orden: Sabana Grande, Av. Francisco de Miranda; corredor Bello Monte-Las Mercedes.
- Corredor de Segundo Orden: Av. Sucre de Catia; Av. San Martín; Los Chaguaramos - Santa Mónica; Av. Andrés Bello – Libertador.
- Corredor de Tercer Orden: Coche - El Valle; Av. Páez de El Paraíso.
- Zona industrial: áreas con predominio de la actividad industrial y de almacenamiento. Telares Palo Grande, Carapita, La Yaguara, Turmerito, Casco Central Sur, Boleíta Norte, Los Ruices Sur, La Urbina Industrial, Mesuca, La Dolorita.
- Equipamientos mixtos: áreas con predominio de equipamientos urbanos de escala metropolitana con otras actividades mixtas, puerto La Carlota, militar.
- Diferentes modalidades del uso residencial: unifamiliar, multifamiliar con o sin mezcla de otros usos.
- Áreas desocupadas con presencia de otros usos como viviendas en construcción, uso residencial, uso industrial, entre otros.

La delimitación espacial de estos macrosectores permiten orientar y definir con los mismos criterios del entorno urbano la delimitación de los Distritos Solares Urbanos por tener las consideraciones y lineamientos metropolitanos en torno a las políticas que orientan a las actuaciones urbanas y están cumplen en gran medida la división de municipios y parroquias que conforman el AMC facilitando la gestión del territorio a nivel local y metropolitano. Una

vez entendido como esta sectorizado el AMC en el contexto urbano, se aborda el entorno del físico natural.

Variables físico - naturales

La geografía física del Área Metropolitana de Caracas se describe en grandes unidades naturales, que tienen características propias y representan un comportamiento diversificado que ofrece oportunidades para las diferentes formas de ocupación del territorio; para lograr un adecuado aprovechamiento de esa variedad geográfica, es necesario conocer e interpretar el territorio y analizarlo para planificar un mejor nivel de desarrollo. Por esta razón, es requirió describir, caracterizar y analizar estos componentes dentro de los atributos físicos inmersos en la topografía, litología, drenaje y el bioclima para gestionar la realidad urbana físico-ambiental que abarca el AMC. Sin embargo, dentro de estos atributos la variable de radiación solar tiene un papel transcendental para esta investigación, y su medición para estudios detallados son exiguos o inexistentes.

Desde esta perspectiva, se describe y analiza el medio físico natural y su interrelación con la radiación solar donde la morfografía con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales, según su ubicación, altura, orientación y pendiente, juegan un papel importante en el sombreado natural o artificial con las estructuras urbanas asentadas en las mismas; así como también, parte de las interacciones que actúan con la morfografía del terreno son los flujos de intercambio como el agua, vientos, servicios ambientales, energía, emisiones, residuos sólidos y descarga de aguas residuales, estos últimos los analizaremos someramente en este estudio. En este contexto, puede decirse que existe una similitud entre la biosfera y las urbes entre intercambio de sustancias y que disipan energía, donde convergen un conjunto de fenómenos que pueden agruparse en un cierto número de subsistemas: el medio físico, biológico, la sociedad, la economía, la producción y la tecnología, estudiando el origen de los recursos y el flujo de los desechos.

Geología y geomorfología

El Área Metropolitana de Caracas, se asienta sobre las unidades geológicas Peña de Mora, Las Brisas, Las Mercedes, Antímano y Tacagua, correspondientes al Holoceno y Pleistoceno del Cuaternario temprano y tardío, con una distribución de depósitos aluviales arenolimosos con intercalaciones de arcillas orgánicas, resultantes de acumulaciones por desbordamientos y

explayamientos del sistema local principal de drenaje dominado por el río Guaire; este curso de agua escurre a lo largo el corredor de obras de comunicación vial más importante de la ciudad, como lo es la autopista Francisco Fajardo, principal vía expresa de Caracas (ver figura II.1). Desde el punto de vista de la Geomorfología, el AMC abarca valles, formas de piedemonte, depresiones alveolares y colinas, con un relieve semiplano, inclinado y muy inclinado entre los 1.200 - 2.600 m.s.n.m, y pendientes en el rango de 10 – 30 %, aunque muy localmente alcanzan hasta 60 %, características del relieve de la Serranía del Litoral.

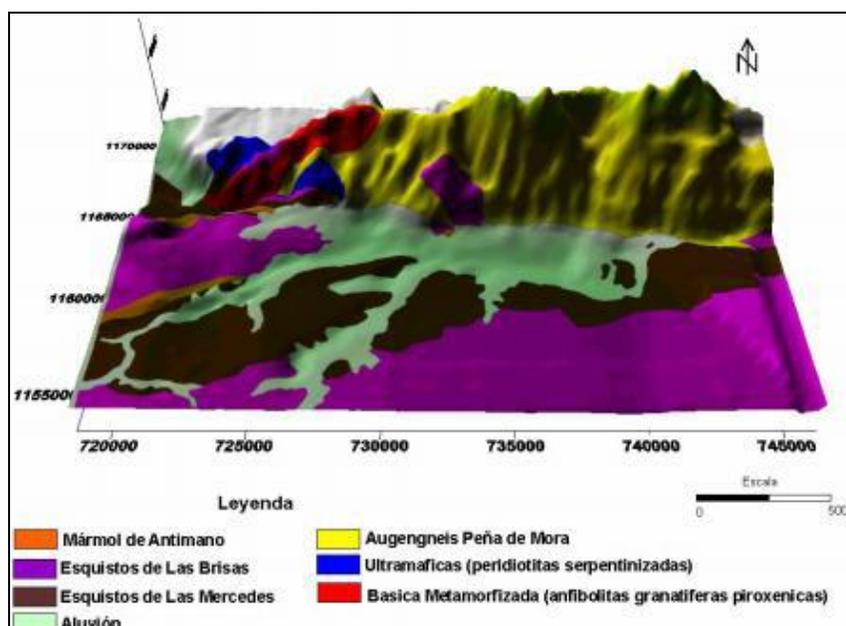


Figura II.1: Rasgos geológicos y geomorfológicos del valle de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base en Montero et al, 2008.

Observando que, la Serranía del Litoral forma parte de la Cordillera de la Costa (Sistema montañoso del Caribe), provincia fisiográfica del centro-norte y nororiente costero de Venezuela. La cadena montañosa de la ciudad la integran rocas de la Asociación Metamórfica del Macizo del Ávila, el cual comprende varias elevaciones abruptas con desnivelaciones considerables (p. e., picos de Ávila, Occidental, Oriental, Göring y Naiguatá, todos sobre los 2.000 m.s.n.m.). Las filas montañosas están separadas del sistema colinoso por una semifosa tectónica donde se ha constituido posteriormente el valle de Caracas. En muchos casos, estas colinas y lomas de Caracas son, por su clasificación altitudinal y morfológica, estribaciones montañosas bajas y están ubicadas al este, oeste y sur del valle de Caracas, alcanzando altitudes entre 1.200 y 1.500

m.s.n.m. Están constituidas por una litología metamórfica mesozoica, extendiéndose en forma más o menos paralela al gran horst o pilar tectónico del Ávila-Naiguatá.

Una representación aproximada de la conformación del paisaje del valle de Caracas puede ser ilustrada con el modelo que se presenta a continuación:

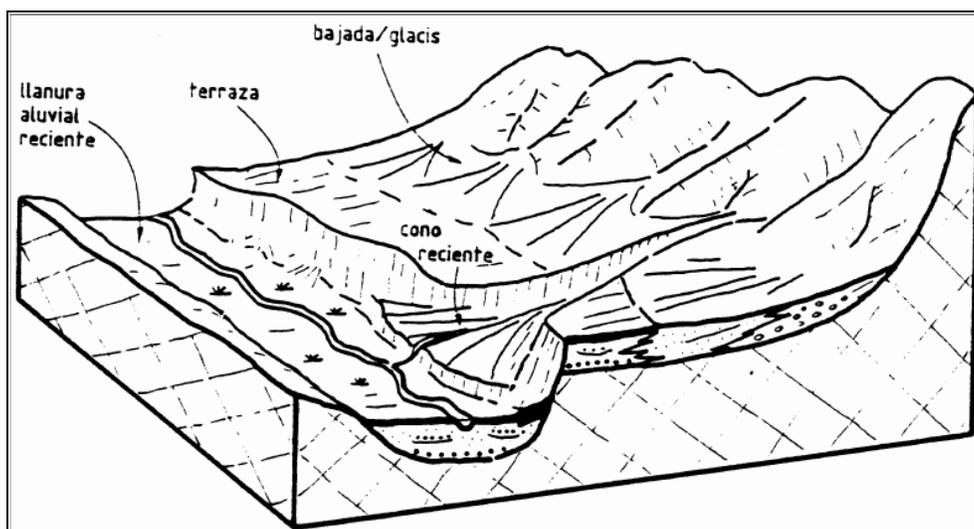


Figura II.2: Modelo de relieve de valle aledaño a frente montañoso. Fuente: Modificado con base en Hurlimann, 2004.

Como resultado de los procesos geomorfológicos del Holoceno el AMC de Caracas ha sido labrado por el río Guaire, el río Valle y su red de tributarios que han formado estrechos vallecitos intracolinarios e intramontanos, los cuales con frecuencia tienen control estructural y conducen los excesos de agua a través de ejes de drenaje con régimen de escurrimiento muy alterado en la actualidad por los procesos de urbanización.

El valle de Caracas cubre unos 76 km², con una extensión en sentido Este - Oeste de aproximadamente 14 km desde Propatria, al Oeste, hasta Petare, en el Este. La altura del fondo del valle oscila entre 890 – 900 msnm.; el ensanchamiento máximo ocurre entre las urbanizaciones San Bernardino y El Paraíso, 4 km en sentido Norte – Sur, Montero et al. (2008). La red de drenaje ha depositado capas de sedimentos en forma de terrazas fluviales, pero también existen acumulaciones heterométricas de tipo coluvio-torrencial en forma de conos de deyección, abanicos de explayamiento y fondos lacustres menores originados por represamientos antiguos de los torrentes que nacen en la serranía del Ávila. Los materiales reflejan las litologías de las

la influencia del relieve como uno de los factores principales que determina la variabilidad espacial de la radiación. La altura, la pendiente, la orientación y las sombras producidas por entidades topográficas influyen en la cantidad de energía solar que se recibe en diferentes ubicaciones. A manera de resumen, en el cuadro II.1 se muestran las características generales del relieve:

Cuadro II.1: Características generales del relieve del Área Metropolitana de Caracas.

Geología	Geomorfología	Relieve	Pendiente
Unidades geológicas Peña de Mora, Las Brisas, Las Mercedes, Antímano y Tacagua correspondientes a las unidades del Holoceno y Pleistoceno del Cuaternario temprano y tardío, con una distribución de depósitos aluviales.	Entorno de valles, valles largos y estrechos, depresiones de forma alargada, valles en “V” intramontanos, formas de piedemonte, depresiones alveolares y colinas.	Variado: Muy inclinado, inclinado y semiplano 1.200 – 2.600 m.s.n.m.	10 – 30 % Localmente hasta 60 %

Fuente: Elaboración propia.

Hidrografía

El Área Metropolitana de Caracas está emplazada dentro de la cuenca principal del río Tuy que nace al pie y al Sur del pico Codazzi en la cordillera de la Costa a unos 2.426 m.s.n.m., desciende hacia el Sur pasando por Tovar de Aragua (Colonia Tovar) hasta que llega al surco orográfico que constituye la prolongación de los Valles del Aragua por el Este. Sigue este surco hasta penetrar en la garganta que lo comunica con los Valles del Tuy, donde recibe diversos afluentes (Guaire, Charallave, entre otros); de nuevo penetra una garganta, la de Aragüita para entrar en la llanada de Barlovento desembocando en el Mar Caribe (Vila, 1976).

De acuerdo con estudio realizado por la Arbórea Consultores Ambientales C.A. contratado por la Gerencia Ambiental de la Alcaldía Metropolitana de Caracas en el año 2015, el colector principal de agua del AMC es el río Guaire subcuenca del río Tuy, que nace en el Parque Nacional Macarao, sus afluentes principales aguas arriba son el río San Pedro y el río Macarao (microcuencas), el río Guaire recibe gran parte de sus tributarios por la margen izquierda de las quebradas del Ávila y del río El Valle que viene del embalse de La Mariposa y la quebrada La Guairita que se le unen en su margen derecha. Al Este del Área Metropolitana de Caracas drena el río Guarenas también subcuenca del río Tuy, que de igual manera recibe de las quebradas del

Ávila por la margen izquierda, de esta manera el río Guaire y el río Guarenas actúan como los principales cauces directos dentro del AMC, tributarios del río Tuy. Al Oeste drena la cuenca de la quebrada Tacagua con un comportamiento aislado de la cuenca del río Tuy, que de igual manera desemboca en el Mar Caribe, la conforman las microcuencas la quebrada La Muerte, Topo, Blandín, Ojo de Agua y El Pauji. A continuación, en el cuadro II.2 se muestra la jerarquía de las unidades hidrográficas que confluyen directamente en el AMC:

Cuadro II.2: Unidades hidrográficas del Área Metropolitana de Caracas

Hoya	Cuenca	Sub-Cuenca	Micro-cuenca
Mar Caribe (Centro Oriental)	Río Tuy	Río Guaire	Río Macarao
			Qda. Conoropa o Petare
			Qda. Mamera
			Qda. Nigual
			Qda. Boquerón
			Qda. Lira o Guanasna
			Qda. El Algodonal
			Qda. El Rosario
			Qda. Yaguara
			Qda. Chaguaramas
			Qda. Caroata
			Qda. Helechal
			Qda. Catuche
			Río San Pedro
			Qda. Anauco o Cotiza
			Qda. Caricuao
			Qda. Honda
			Qda. La Vega
			Qda. Las Canoas
			Río El Valle
	Qda. Maripérez		
	Qda. Baruta		
	Qda. La Florida		
	El Cafetal		
	Qda. Chacaito		
	Qda. La Guairita		
	Qda. Blandín o Seca		
Qda. EL Hatillo			
Qda. Sebucán			
Qda. Tismare			
Qda. Agua de Maíz			
Qda. El Cedral			
Qda. Tócome			
Qda. Soapire			
		Río Guarenas	Qda. Agua Salada
			Qda. El Encantado o Puerto Escondido
			Qda. Caiza
			Qda. Agua Amarilla
			Qda. La Pereza
			Qda. Seca o Zumba
	Río Tacagua	Qda. La Muerte	
		Qda. Topo	Qda. Peonías
			Qda. Tabacal
		Qda. Blandín	
		Qda. Ojo de Agua	
		Qda. El Pauji	

Fuente: Elaboración propia con base en Arbórea Consultores Ambientales, 2015.

A continuación, se representa las unidades principales de cuenca y subcuenca del valle de Caracas:

de Caracas que finalmente se materializo, mejoro y ejecuto por el equipo técnico de Arborea Consultores para la Gerencia de Ambiente de la Alcaldía Metropolitana de Caracas hasta un 67,35 %, sin embargo para fines de esta investigación se termino de interpretar el 32,65% restante para poder cubrir en su totalidad el área estudiada.

La morfografía de la sectorización ambiental se refiere a las unidades fisiográficas siguientes:

- Topos, que hacen referencia a las partes más altas y relativamente aisladas o diferenciales de las elevaciones del relieve; conforman una topografía visible en pequeñas cumbres, picos o cimas de los cerros, colinas y serranías en el área de estudio. Su atributo va en función de sectores que presentan las máximas elevaciones en la periferia de una unidad hidrográfica; se pondera el área de la curva de nivel de mayor elevación, expresándola en metros cuadrados (m^2) o en hectáreas (ha).
- Filas principales, son aquellas crestas o partes elevadas del relieve, alineadas y de anchura variable; las más extensas se prolongan en forma de serranías que suelen constituir divisorias de aguas entre unidades hidrográficas; por su parte, las filas secundarias, aquellas crestas alineadas, por lo general, menos elevadas, de las que se desprenden o derivan de las filas principales. El atributo que asocia a ambas filas, es a partir del trazado de la línea de cresta de las filas y de la conformación de las estribaciones adyacentes, se delimitan las formas que definen cada una de las filas, con ayuda de las curvas de nivel, sectorizándolas con base en su orientación lo más aproximadamente fiel a su disposición natural.
- Laderas, son aquellos espacios inclinados laterales comprendidos entre la cresta y los valles o vaguadas adyacentes; tienen pendiente y topografía que depende tanto de sus rasgos geológicos (litología, fallas, plegamientos) como del tipo de erosión y modelado morfodinámico que las afecta (deslizamientos, erosión en cárcavas y surcos, soliflucción, erosión subsuperficial, coladas de barro, aludes torrenciales, etc).
- El atributo es la Orientación de Laderas, que va en función de la posición hacia la cual se orienta la declinación de un sector respecto al Norte geográfico, es decir corresponde al azimut, pudiéndose expresar en grados o preferiblemente en orientaciones geográficas; se consideran ocho (8) orientaciones de la rosa de los vientos, de acuerdo al siguiente criterio:

*Norte (N) todas las áreas orientadas hacia el Norte, incluyendo aquellas comprendidas entre los $337,5^{\circ}$ y los $22,5^{\circ}$;

*Noreste (NE) todas las áreas orientadas hacia el Noreste, incluyendo aquellas ubicadas entre los $22,5^{\circ}$ y los $67,5^{\circ}$;

*Este (E) todas las áreas orientadas hacia el Este, incluyendo aquellas comprendidas entre los $67,5^{\circ}$ y los $112,5^{\circ}$;

*Sureste (SE) todas las áreas orientadas hacia el Sureste, incluyendo aquellas comprendidas entre los $112,5^{\circ}$ y los $157,5^{\circ}$;

*Sur (S) todas las áreas orientadas hacia el Sur, incluyendo aquellas comprendidas entre los $157,5^{\circ}$ y los $202,5^{\circ}$;

*Suroeste (SW) todas las áreas orientadas hacia el Suroeste, incluyendo aquellas ubicadas entre los $202,5^{\circ}$ y los $247,5^{\circ}$;

*Oeste (W) todas las áreas orientadas hacia el Oeste, incluyendo aquellas comprendidas entre los $247,5^{\circ}$ y los $292,5^{\circ}$; y

*Noroeste (NW) todas las áreas orientadas hacia el Noreste, incluyendo aquellas ubicadas entre los $292,5^{\circ}$ y los $337,5^{\circ}$.

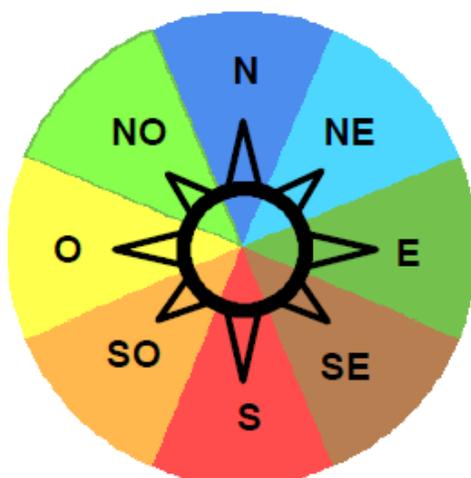


Figura II.5: Rosa de los vientos de ocho direcciones. Fuente: Elaboración propia con base en Arbórea Consultores Ambientales, 2015.

La sectorización ambiental es una herramienta eficiente y práctica para la planificación y ordenación del territorio por disponer de una geobase de datos estructurada en un sistema de información geográfica (SIG), que contiene una diferenciación de los sectores o unidades físico territoriales caracterizadas principalmente por las unidades hidrográficas y la morfografía del terreno, además de un código único alfanumérico para cada sector que permite diferenciar los mismos facilitando el análisis espacial, la toma de decisiones en lo referente a planeación urbana, ambiental, catastral, de seguridad, redes de servicios, recreación, entre otros.

Es por ello que, en esta investigación permitió conocer las bondades y restricciones del terreno del AMC con 62.024,82 ha que representa el 79,86% de las unidades morfográficas de laderas, topes y filas y 15.638,61 ha refiriendo al restante 20,14% que representan las áreas planas, terrazas y valles. Tal como se evidencia en el siguiente gráfico:

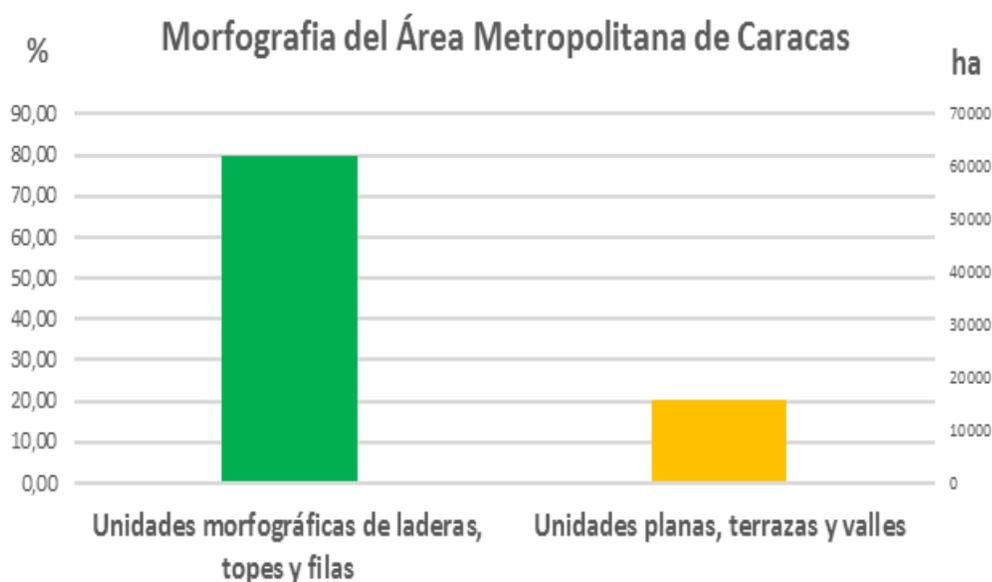


Gráfico II.1: Morfografía del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración Propia.

Conocer la morfografía en especial las laderas y su orientación, es un factor importante para interpretar el comportamiento de la radiación solar, debido a que en las mismas se crean contrastes climáticos y de exposición local entre las solanas y las umbrías; siendo las solanas aquellas laderas de una zona montañosa que reciben mayor cantidad de radiación solar en un momento específico, y las umbrías aquellas que en ese mismo momento específico, reciben menor cantidad de radiación solar, tal como se observa en la siguiente figura:

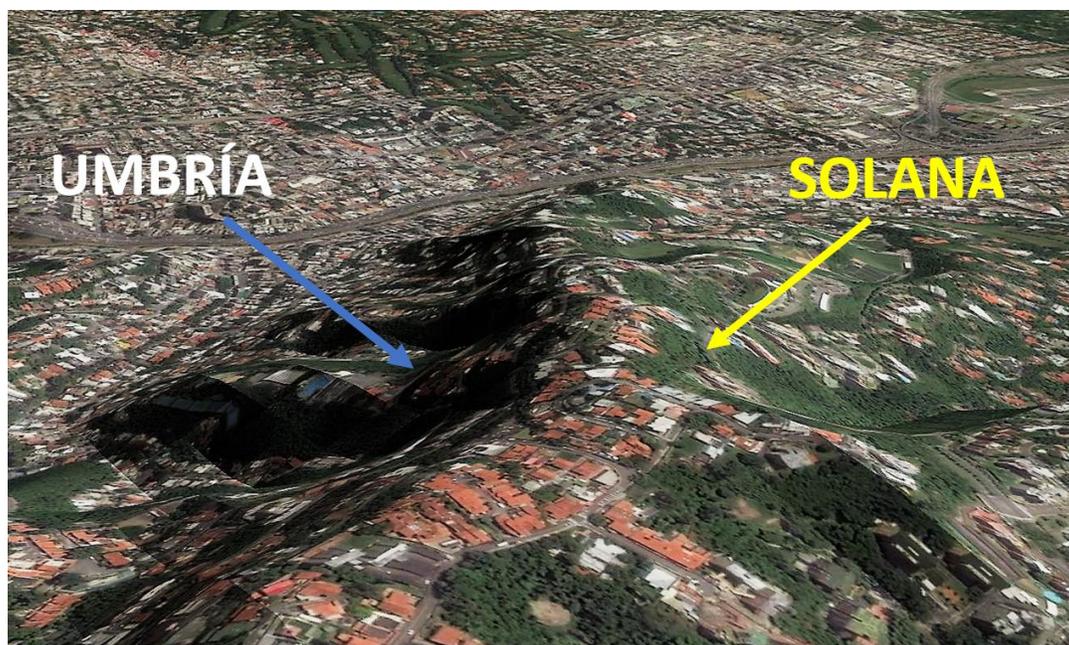


Figura II.6: Representación gráfica de recepción de radiación solar en ambas laderas (solana y umbría) de una montaña. Fuente: Elaboración propia.

En el Área Metropolitana de Caracas, debido a su ubicación geográfica en el hemisferio Norte, las laderas que reciben mayor cantidad de radiación solar, son las que se encuentran orientadas al Sur; y las que reciben menor cantidad de radiación solar, se encuentran orientadas al Norte. Como se puede ver en el gráfico 2, la distribución de la orientación de las laderas en el AMC tiene un predominio de 16,68% orientadas al Suroeste significando 10.343,01 ha, seguidas por las laderas orientadas al Sureste con 9.650,33 ha que representa el 15,56% y las orientadas al Sur 8.260,05 ha constituyendo el 13,32%, las laderas orientadas al Norte representa el 10,88% lo que equivale a 6.309,32 ha, seguido de las orientadas al Noreste con 8.186,62 ha equivaliendo a 13,20% y Noroeste con 7.589,10 ha representando el 12,23%, las orientadas al Este con 6.697,85 ha constituyendo el 10,80% y finalmente las laderas orientadas al Oeste con 4.988,55 ha, representando el 8,04%.

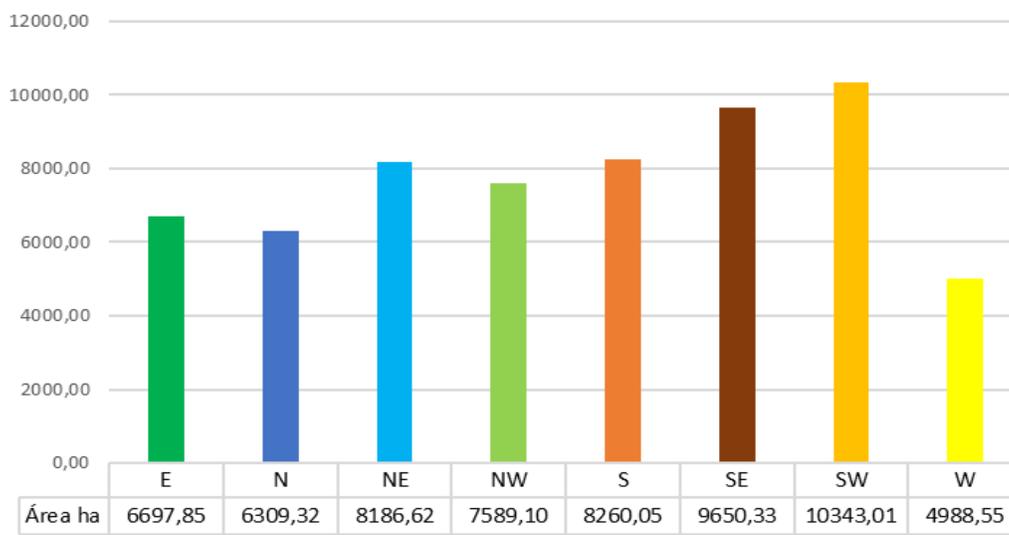


Gráfico II.2: Orientación de laderas del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración Propia con base en Arborea Consultores Ambientales, 2015.

Al conocer la morfografía y la orientación natural de las variables físicas, permite inferir e interpretar a grueso modo las superficies con mayor exposición solar, las de mayor sombreado y las áreas que reciben una radiación de plano, en el siguiente capítulo se abordará con más detalle esta información con respecto a la radiación y el potencial solar. En el Mapa 2 de la Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas, se puede detallar la orientación de las filas y las laderas y su distribución.

Clima

El clima del Área Metropolitana de Caracas está estrechamente relacionado con su localización geográfica, por estar situado al Norte de Venezuela en el flanco Sur de la Cordillera de la Costa, cuya vertiente Norte se ubica frente al Mar Caribe. La cercanía del mar, la acción de los vientos alisios de dirección Norte-Noreste y de los contralisios de dirección Sur-Sureste, cuyo encuentro conforma la denominada Zona de Convergencia Intertropical y, además la influencia orográfica de la Cordillera de la Costa, determinan y modulan el comportamiento del clima y de los distintos elementos meteorológicos.

Adicionalmente, otros factores que influyen en la ocurrencia de las lluvias en el AMC, son las perturbaciones tropicales (ondas del este, depresiones, tormentas tropicales y huracanes) provenientes del Océano Atlántico, además de las situaciones meteorológicas provenientes del

Norte del continente, entre las cuales tenemos las vaguadas y los restos de frentes fríos. La condición urbana de la ciudad de Caracas como sus alrededores, constituida principalmente por viviendas, vialidad, áreas comerciales e industriales, motivan por su estado de asfalto y concreto que las masas circundantes se calienten y por efectos de convección el aire asciende, produciéndose lluvias convectivas.

En el Área Metropolitana de Caracas la precipitación media anual varía entre 830 y 1.100 mm, correspondiendo a un clima lluvioso tropical de sabana Awi según Köppen. Los valores más bajos se presentan en el Oeste de la capital y aumentan hacia el Sur-Este en dirección a Baruta y el Hatillo y este comportamiento puede ser considerado como estacional, ello implica que las precipitaciones abarcan un lapso bien definido en el año (Marteló, 2003) que comúnmente es denominado “invierno” de manera informal en Venezuela. La “estación” húmeda, que incluye algo más del 70 % de las precipitaciones anuales, inicia en mayo y se extiende hasta noviembre; es en este lapso que ocurre el 86 % de las lluvias (desde abril hasta noviembre). El lapso seco suele extenderse efectivamente a lo largo de 5 meses, entre diciembre y abril, como se puede apreciar en los climogramas de las estaciones La Carlota, Cagigal y UCV (gráfico II.3, II.4 y II.5) que fueron seleccionadas para analizar el clima y comparar los valores de la radiación solar del AMC, estos datos no cuentan una base actualizada hasta el año 2017 por las precarias condiciones que tienen las estaciones meteorológicas y el mal manejo de los datos en los últimos años, por lo tanto se toman estos valores para la validación del modelo y simulación de potencial solar en los sistemas de información geográfica.

Los valores de temperatura en el valle de Caracas se mantienen sin grandes variaciones relativas durante la mayor parte del año, con una media de 20,9°C, siendo la media máxima correspondiente a mayo, con promedio de 22,0°C; la temperatura media más baja ocurre en enero, cuando es de 19,3°C, lo que equivale a una oscilación media anual (isotermicidad) de 2,7°C. Los valores extremos medios anuales registrados para el período estudiado de las estaciones Cagigal, La Carlota y UCV (gráfico II.3, II.4 y II.5) son de 18,8 °C como mínima en enero para la estación Cagigal y mayo con la máxima 21,5 °C con un promedio de temperatura media anual de 20,4°C, la estación La Carlota tiene como mínima en el mes de enero con 20,2°C y la máxima con 23,2 en el mes de mayo con un promedio de temperatura media anual de 21,94°C, finalmente la estación UCV con 22,6°C media anual, la mínima con 20,9°C en el mes de enero y la máxima en el mes de abril con 24,1°C.

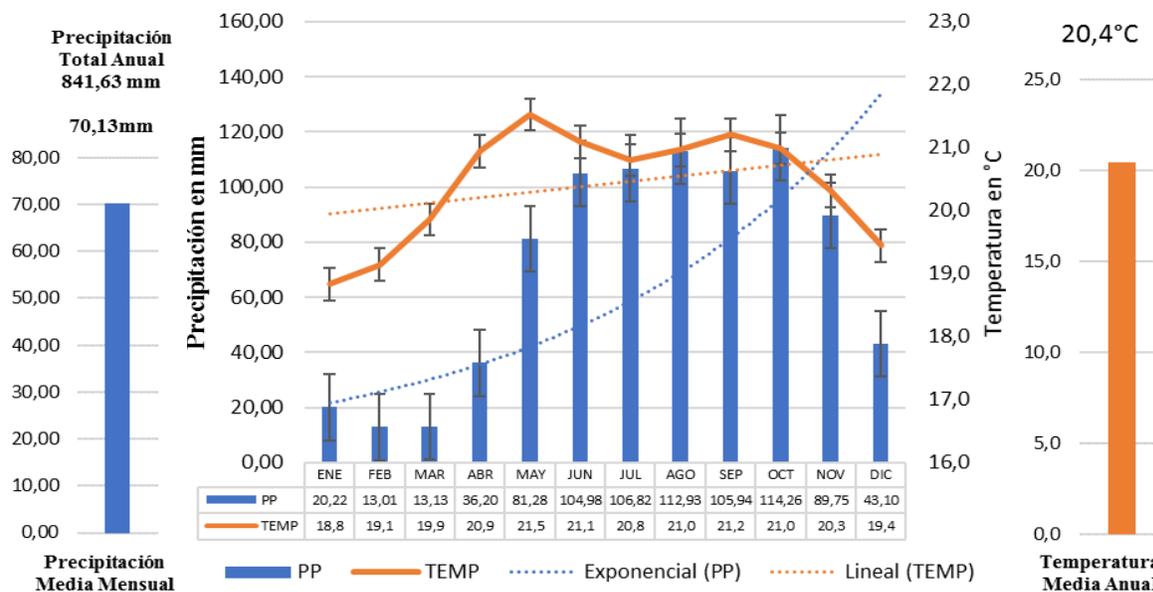


Gráfico II.3: Caracas, estación Cagigal Serial 0531. Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1891-2008. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.

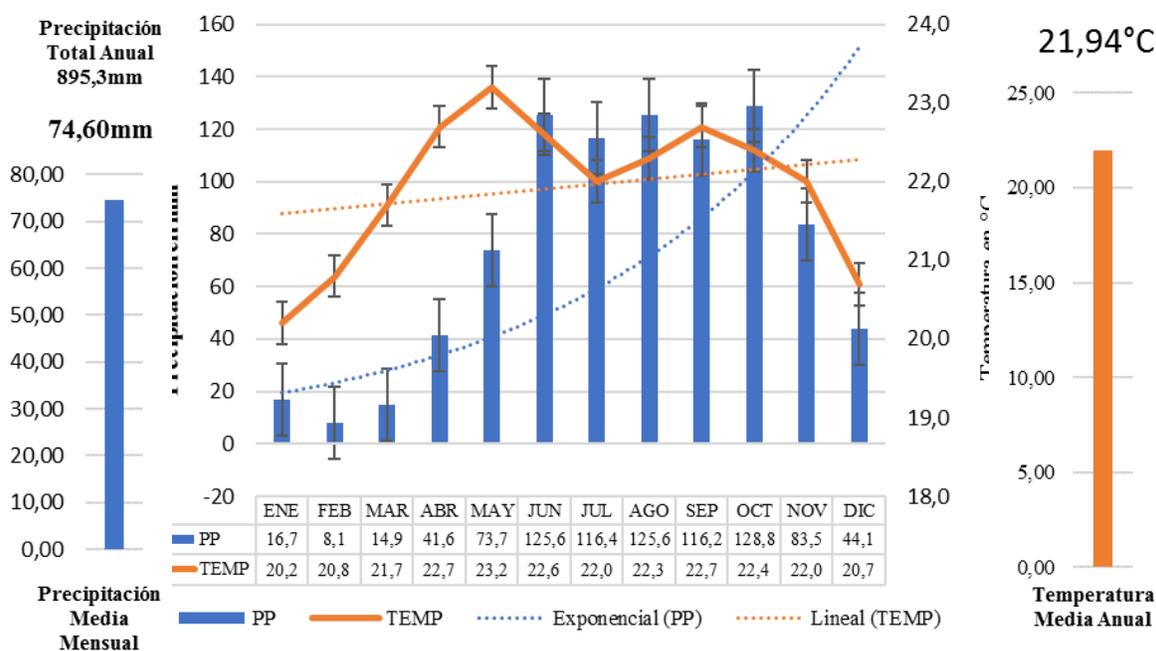


Gráfico II.4: Caracas, estación La Carlota Serial 0544. Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1955-1990. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.

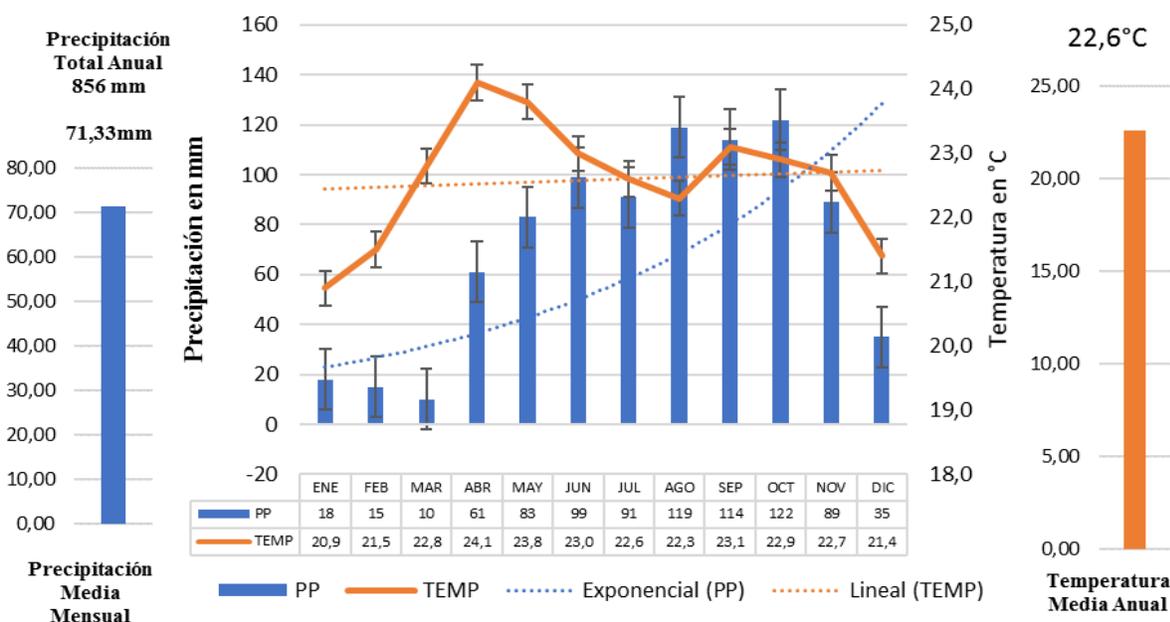


Gráfico II.5: Caracas, estación UCV Serial 0539. Temperatura (°C) y precipitación media mensual (mm), período 1973-2003. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.

Respecto a la variación mensual de la evaporación en Caracas, registros de las estaciones Observatorio Cagigal, Petare-Caurimare y Universidad Simón Bolívar (Ccs—USB), indican que es en marzo cuando sucede el pico mensual de evaporación. En Cagigal se alcanza el más elevado, con 163 mm, seguido por la estación Petare-Caurimare con 153 mm y la estación Ccs—USB con 147 mm. Anualmente, en Caracas la evaporación alcanza una máxima de 1.606 mm en Observatorio Cagigal y una mínima de 1.444 mm/año en las estaciones Petare—Caurimare y Ccs—USB.

Por su parte, la variable vientos en Venezuela tiene un comportamiento bien marcado por la influencia de los vientos Alisios tropicales del Norte y los del Sur, en la ciudad de Caracas por su cercanía a la zona costera estos vientos Alisios vienen del Este – Suroeste que se originan de constante en Barlovento. Estas masas de aire que circula en la ciudad de Caracas se distribuyen en todo el valle y las masas de aire actúan con una dinámica en el valle generando unos corredores de ventilación con un predominio del 17,1% dirección Este-Sureste, 16,7% dirección

Este como se puede detallar en la figura II.7. La velocidad promedio de estos vientos es de 4 km/h con una variación en los meses de abril y junio con 6 km/h ver cuadro II.4.

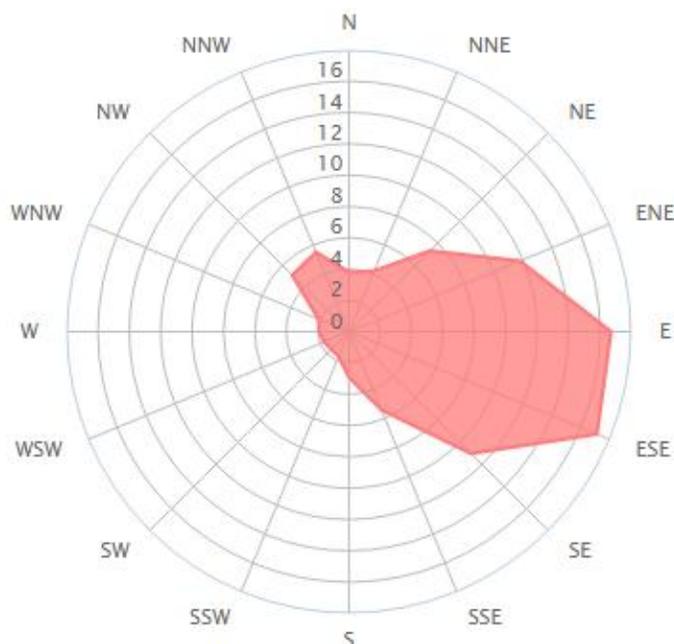


Figura II.7. Distribución de la dirección del viento en Porcentajes (%). Fuente: Elaboración propia con base en Windfinder, 2017. Observaciones tomadas en el periodo 2012-2017 y respaldada con datos de la Estación Meteorológica La Carlota Serial 0544

Cuadro II.3: Dirección del viento y velocidad por meses

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Dirección del viento dominante	←	↗	←	↗	←	↗	↗	←	↗	↗	←	↗	↗
Velocidad media del viento (km/h)	4	4	4	6	4	6	4	4	4	4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia con base en Windfinder, observaciones tomadas en el periodo 2012-2017 y respaldada con datos de la Estación Meteorológica La Carlota Serial 0544.

Unas de las variables climatológicas relevantes para el uso de la energía solar es la nubosidad, conocerla es necesario para poder implementar o proyectar las tecnologías a desarrollar. El comportamiento de la cobertura nubosa del Área Metropolitana de Caracas es de categoría nublado con valores entre 5 y 7 octavos de cielo con nubes, con una media anual de 5 octavos valores estimados de las estaciones Meteorológicas Cagigal y La Carlota, tal como puede observarse en el siguiente cuadro:

Cuadro II.4: Nubosidad por meses del Área Metropolitana de Caracas.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
La Carlota Serial 0544	5	5	5	6	6	7	6	6	6	6	6	5	6
Cagigal Serial 0531	4	4	4	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5
MD	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5

Fuente: Elaboración con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011. Periodo 1955-1990.

Seguidamente, se considera de gran relevancia la variable radiación para esta investigación, por ser la que influye y acciona la energía solar en todos sus componentes; para este elemento se utilizaron datos del Observatorio Cagigal la estación meteorológica de La Carlota y la estación UCV (gráfico II.6). Al respecto, en marzo el parámetro alcanza el pico mensual de la media en Cagigal, con 427 Cal/cm². En la estación La Carlota el máximo mensual ocurre en agosto, con 433 Cal/cm² y para la UCV ocurre en el mes de julio con 463 Cal/cm². Los promedios anuales son de 376 Cal/cm² en Cagigal, 398 Cal /cm² en La Carlota y 417 Cal/cm² en la UCV.

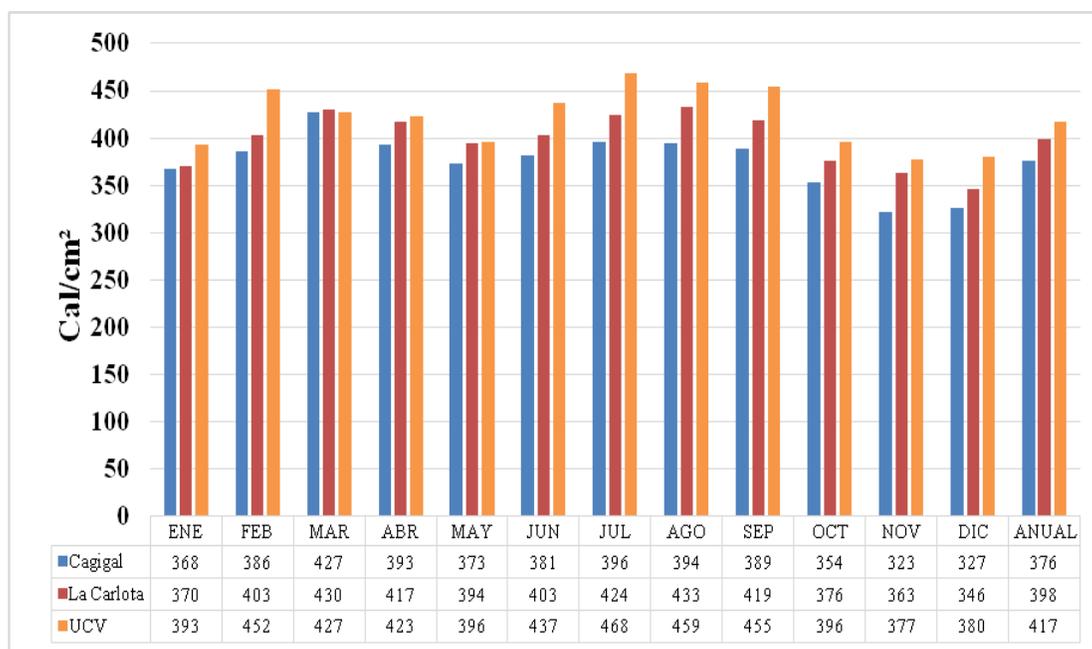


Gráfico II.6: Caracas, estaciones Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Radiación en Cal/cm². Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.

Para efectos de este Trabajo de Grado es pertinente realizar unas conversiones de Cal /cm² a kWh/m²/día para estimar y proyectar a los diferentes datos relacionados con energía solar, de manera de poder tener concordancia con los mapas elaborados en la investigación estos valores se muestran en el gráfico II.7, a continuación:

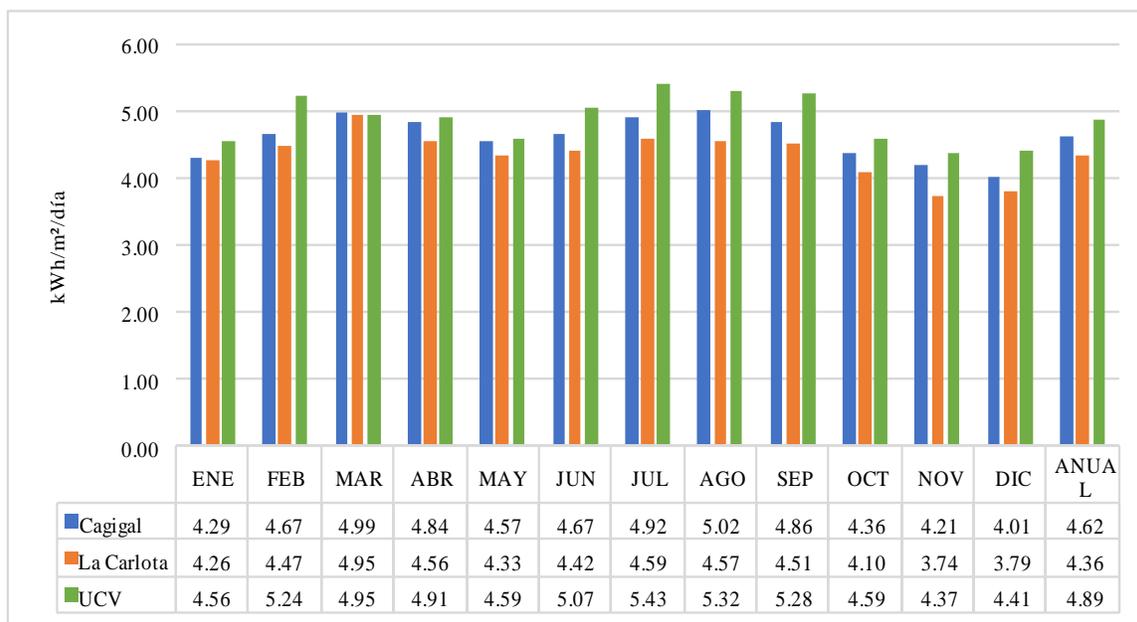


Gráfico II.7: Caracas, estaciones Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Radiación en kWh/m²/día. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.

Las estaciones meteorológicas antes estudiadas son las que tienen un registro histórico más confiable con respecto a la radiación solar, aunque cada una tiene características físicas en su entorno que influye significativamente, como su ubicación, polución, orientación, sombreado y/o barreras naturales como artificiales que no permiten tomar valores exactos a cielo abierto, por lo tanto es un dato propio de su localización que puede cambiar de manera significativa o no en otro lugar si las características de su entorno son diferentes; sin embargo, permiten comparar los valores de la radiación solar del AMC y para tener una referencia general de un sector como también se puede validar un modelo o simulación de potencial solar que se detallará muy exhaustivamente en el siguiente capítulo.



Figura II.8: Ubicación de las estaciones meteorológicas Cagigal (0531), La Carlota (0544) y UCV (0539). Fuente: Elaboración propia.

Variables socio - económicos

Población, superficie y densidad.

Para el año 2010, la población estimada del Área Metropolitana de Caracas (AMC) era de 3.220.540 habitantes distribuidos de la siguiente manera: municipio Libertador (65,4%), Sucre (20,3%) Baruta (9,8%), Chacao (2,2%) y el Hatillo (2,2%) del total de la población del AMC. Tal como puede observarse en el siguiente cuadro:

Cuadro II.5: Área Metropolitana de Caracas. Poblacion total por año según municipio.

Municipio	2010		2015		2020	
	Habitantes	%	Habitantes	%	Habitantes	%
Libertador	2.103.404	65,31%	2.131.710	64,90%	2.157.862	64,73%
Baruta	318.412	9,89%	330.626	10,07%	339.142	10,17%
Chacao	71.411	2,22%	70.713	2,15%	69.142	2,07%
El Hatillo	70.757	2,20%	75.916	2,31%	80.463	2,41%
Sucre	656.556	20,39%	675.680	20,57%	686.855	20,60%
AMC	3.220.540	100,00%	3.284.645	100,00%	3.333.487	100,00%

Fuente: Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020 con base al INE Proyecciones de población 2000-2050.

Es importante destacar, de acuerdo con los datos reflejados en el cuadro anterior que con los nuevos desarrollos que se están construyendo en el municipio El Hatillo, su población puede alcanzar los 150.000 habitantes en 2020; además que, el Área Metropolitana de Caracas inicia la década superando ligeramente los 3 millones de habitantes y actualmente se estima que ya ha sobrepasado los 3,2 millones. En el caso venezolano las evidencias acumuladas durante el período 1981-2000 han revelado que el AMC ha venido perdiendo su grado de primacía (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Un aspecto que caracteriza la estructura demográfica de la ciudad es que está relacionado con los grupos de edades; la población adulta mayor (mayores de 60 años) está ganando importancia relativa ya que crece a una tasa promedio anual muy por encima del 3%, al punto que representan el 13% de la población metropolitana y la tendencia al envejecimiento seguirá profundizándose en los años por venir. De acuerdo con el Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020, la cifra de la población menor de 15 años habrá disminuido, esto tiene implicaciones sobre la estructura de la demanda de bienes y servicios; así como también, la población infantil decreciente va asociada a una menor presión sobre la demanda de educación inicial y de educación básica, de atención en salud materno-infantil, entre otros.

De igual modo, una población adulta mayor multiplicándose a gran ritmo supone una gran presión sobre bienes y servicios orientados a la satisfacción de las necesidades propias de este grupo etario; destacando que el AMC tiene el promedio de hijos por mujer más bajo del país. La frecuencia de nacimientos entre mujeres de 15 a 19 años es todavía considerable, particularmente si se discrimina por estrato social y a nivel de las parroquias que integran el territorio metropolitano.

Por otra parte, en cuanto a las densidades por macrosectores; las mayores se ubican en el Oeste de la ciudad, en el municipio Libertador, particularmente en Catia, con 243 hab/ha, Montalbán- El Paraíso con 229 hab/ha, y La Vega con 222 hab/ha, la Av. Sucre, que incluye a la urbanización 23 de Enero, con una densidad neta de 371 hab/ha, seguido por el sector Casco Central con 330 hab/ha. Por su parte, los sectores con densidades bajas se ubican principalmente en el Este de la ciudad, repartidos entre los municipios Baruta, Chacao y Sucre, destacando los sectores: Los Ruíces – Boleíta, con 97 hab/ha, donde existe un fuerte predominio del uso industrial, y Chacao con 81 hab/ha. Los nuevos desarrollos del municipio El Hatillo y Baruta

posiblemente incrementen las densidades de algunos sectores (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Estructura urbana

El crecimiento de la ciudad de Caracas estuvo originado en principio a partir de su centro principal (casco central), continuando hacia sus centros secundarios ubicados principalmente sobre el eje oeste-este del valle donde se encuentran: Antimano, Catia, Chacao, Petare; hacia el Sur, El Valle y Coche, y hacia el Sureste, Baruta y El Hatillo. La demanda creciente de espacios comerciales y de oficina está asociado al crecimiento poblacional, conjuntamente con la puesta en funcionamiento del Metro de Caracas que originó además que el centro se ampliara hacia el Este, agrupando diferentes centros hasta conformar el gran corredor de actividades eje Catia - Casco Central - Plaza Morelos - Plaza Venezuela - Sabana Grande - Chacaíto - Chacao - Altamira - Los Palos Grandes, que además tienen como ejes viales las avenidas Urdaneta-Bolívar - Libertador- Francisco de Miranda y la Línea 1 del Metro de Caracas. Internamente, la población del AMC se distribuye de manera desigual en su territorio, siendo los sectores más poblados de la ciudad: Petare al Este, en el municipio Sucre, y en el Oeste, Catia y Casco Central en el municipio Libertador (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

La estación Plaza Venezuela se convirtió en el centro geográfico de la ciudad, en donde convergen las Líneas 1, 3 y 4 del Metro de Caracas; este uno de los puntos de mayor movilidad de personas de la ciudad, sumado a la vinculación con la línea ferroviaria que conecta la capital con los valles del Tuy. Por lo tanto, la expansión de áreas predominantemente residenciales se ha realizado hacia el Norte, Sur, Este y Oeste de ese eje, bajo diversas modalidades: urbanizaciones de viviendas unifamiliares y multifamiliares, privadas o públicas, como las del extinto Banco Obrero, luego INAVI (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Todo esto dentro, de alguna manera ha tenido el control de ordenanzas de zonificación y otras normativas conexas; paralelamente se encuentran las áreas de asentamientos informales conocidos como barrios, ubicados en los sectores periféricos del Este, Oeste y Suroeste, donde se estima que habitan cerca de 1.442.458 habitantes, lo que representa el 45% de la población total del AMC (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012). Estas zonas son las que más crecen en población, para el año 1990, contaban con 1.056.179 habitantes, lo que significa un incremento por el orden del 30% para el periodo 1990-2010 (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

El Plan Sectorial de incorporación a la estructura urbana de las zonas de barrios del Área Metropolitana de Caracas y de la Región Capital (sector Panamericana – Los Teques), elaborado para el extinto Ministerio del Desarrollo Urbano, en 1994, denominó los grandes sectores de barrios como Unidades de Planificación Física, para efectos de sus estudios y propuestas, en total se establecieron 24 para toda el AMC, las más representativas, por su extensión dentro de la ciudad, son Catia Noreste, Petare Norte, Catia Oeste, Petare Sur, Antímamo y La Vega; en este se presenta un conjunto de actuaciones para todas las zonas de barrios de Caracas, conducentes al mejoramiento progresivo de las condiciones ambientales, urbanas y de tenencia de la tierra, homologando así la situación habitacional de los habitantes de los barrios con los del resto de los venezolanos (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Finalmente, el AMC tiene muy poca posibilidad de expandirse horizontalmente, por lo que se hace necesario evaluar su estructura urbana para identificar las factibilidades de densificación, así como de creación de espacios públicos, equipamientos y nuevas vialidades.

Uso de la tierra

Del total del área de estudio, de los cinco municipios 77.663 hectáreas, el 40% correspondiente a 31.332,62 hectáreas (313,32 Km²), se encuentra ocupado con uso urbano, siendo la densidad bruta aplicada sobre la mancha urbana de 102 hab/ha, que equivale a 10.278 hab/Km². El 21% de su territorio podría ser potencialmente urbanizable, previos estudios de sus condiciones naturales; el resto corresponde a Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, entre los que destaca el Parque Nacional El Ávila, límite Norte, y el Parque Macarao, al Oeste, así como la Zona Protectora, al Sur (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012).

Los suelos vacantes o áreas de expansión, son los terrenos del AMC que pudieran ser susceptibles de ser urbanizados, los cuales totalizan 8.900 hectáreas distribuidas fundamentalmente entre los municipios: Libertador, El Hatillo y Sucre. En el municipio Libertador existen aproximadamente unas 3.173 hectáreas localizadas en la zona periférica de la poligonal urbana, zonificadas como áreas adyacentes sin variable urbanas fundamentales asignadas, que eventualmente pudieran ser consideradas como desarrollables, previa elaboración de los estudios de factibilidad técnica para designarles una reglamentación adecuada.

En el municipio de El Hatillo existen 3.914 hectáreas potenciales, reglamentadas de acuerdo con la Ordenanza de Zonificación del Sureste (1983), como Áreas de Oferta (AO) o de Reglamentación Especial; este instrumento está siendo objeto de revisión con la elaboración del Plan de Desarrollo Urbano Local de El Hatillo. Por su parte, el municipio Sucre tiene un total de 1.813 hectáreas localizadas en el extremo este de la ciudad y reglamentadas por la Ordenanza de Zonificación del Sector Los Mariches (G.M. del Distrito Sucre s/n 16 de febrero de 1982).

Estos terrenos se encuentran en zonas naturales con fuertes pendientes e inestabilidad geológica, sin ningún equipamiento urbano y con precaria conexión vial con el área urbana consolidada. No obstante, los cálculos preliminares indican que estas áreas pudieran albergar unos 253.000 habitantes, lo que equivale a unas 57.340 familias, reiterando que es de obligatorio cumplimiento la elaboración de estudios técnicos a detalle para precisar las estimaciones de poblaciones adecuadas.

Así como también, dentro del AMC existen áreas urbanas que a pesar de tener condiciones favorables en cuanto a pendientes, estabilidad geológica, buena accesibilidad por vías estructurantes y transporte público, y una reglamentación adecuada, se encuentran en estado de deterioro urbano o con un desarrollo por debajo de las potencialidades que admite la regulación, por lo que pudieran ser objeto de planes de renovación urbana, que permitieran mejorar las condiciones urbanas, consolidar sus características de centralidades urbanas y absorber más población a partir de un proceso de densificación, algunos sectores identificados dentro de esta situación son: Casco Central, Avenida Sucre, Casco de Catia, Avenida San Martín, San Agustín del Norte, Avenida Andrés Bello, La Florida, Boleíta, Chacao y casco histórico de Baruta.

Otros sectores han experimentado procesos de cambios o sustitución de usos importantes que han impactado notablemente en la calidad del paisaje urbano y en la dinámica de las zonas debido a la localización de equipamientos urbanos de carácter metropolitano como clínicas e institutos de educación superior, y servicios especializados que han generado algunas economías de escala soportadas por una estructura urbana y una normativa que no se adecúa a las nuevas demandas de espacio, servicios e infraestructura física. Estos sectores deben ser objeto de evaluación en el marco de sus planes de desarrollo urbano municipales para actualizar sus respectivas reglamentaciones. Entre ellas se mencionan diversas urbanizaciones como Santa Mónica – Los Chaguaramos, San Bernardino, Av. Andrés Bello, Las Palmas, La Campiña,

Chuafo, La Trinidad, La Floresta, Altamira, La California Sur, entre otras. Lo antes expuesto se puede observar en la figura II.9 del uso generalizado del suelo y el Mapa 4 se puede observar a una escala más detallada.

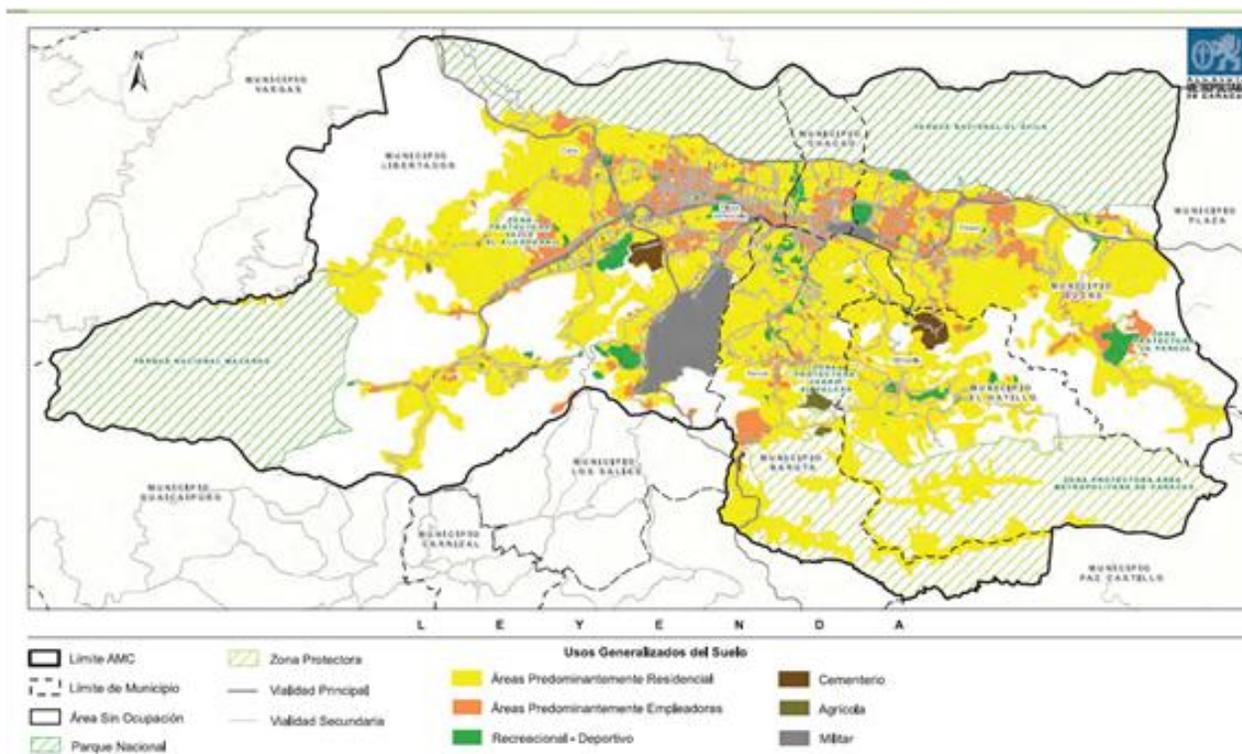


Figura II.9: Uso generalizado del suelo del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base en información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.

Dentro de la dinámica urbana de la ciudad también se observa que zonas con características particulares están siendo objeto de un proceso continuo de cambio de uso promovido por los órganos competentes que están a cargo de su administración, sin que estos cambios estén concertados con los gobiernos municipales y metropolitano que pudiesen estar relacionados con la jurisdicción de los territorios que ocupan, es el caso de los terrenos de Fuerte Tiuna y la Base Aérea La Carlota competencia del Ministerio del Poder Popular para la Defensa y el Ejecutivo Nacional, la transformación progresiva de las zonas predominantemente industriales como La Yaguara y Boleíta, y la expansión de los asentamiento informales en zonas de reserva protegida de suelo y ecosistemas.

Tipología de las viviendas

El último Censo de población y vivienda de 2001 determinó que para la fecha existían un total de 777.500 viviendas en el AMC, con un índice promedio de ocupantes por vivienda de unos 4,4 hab/viv, inferior al promedio del país, pero también repartido de manera desigual en la ciudad. La tipología de vivienda predominante son apartamentos en edificio (43,19%), seguido de vivienda unifamiliar tipo casa (41,41%) y en tercer lugar, la vivienda tipo Quinta o Casaquinta (5,38%). Esto representa un estimado de 5242,91ha de superficie de techos de las viviendas del AMC según información de microzonificación sísmica de Funvisis.

Uno de los aspectos más importantes relacionados con la vivienda es el déficit habitacional que se entiende como el número de núcleos familiares y no familiares que no poseen vivienda y, en caso de tenerlas, éstas están en condiciones inaceptables; actualmente, representa uno de los principales problemas de la ciudad junto con la inseguridad y la prestación de servicios básicos.

De acuerdo con información provista por la Cámara Venezolana de la Construcción, el déficit habitacional bruto del AMC estimado para el primer trimestre del 2011 es de 377.070 unidades de viviendas; la construcción de vivienda de gestión pública en la ciudad es atendida fundamentalmente por el gobierno central aun cuando es una competencia que, de acuerdo a la Constitución Nacional, corresponde también a los otros niveles de poder: regional y municipal. Actualmente, existen diversos organismos centrales, regionales y municipales que están llevando a cabo diferentes programas de desarrollo de vivienda sin que exista una política pública definida y sin la coordinación de los recursos técnicos, económicos y administrativos para ofrecer soluciones estructurales a la problemática de la vivienda urbana.

Equipamientos

En cuanto a educación, en el AMC funcionan cerca de mil planteles de educación básica distribuidos en forma más o menos equitativa entre las zonas residenciales; así, el 70% de los planteles se ubican en el municipio Libertador, el 16% en Sucre, el 9% en Baruta, el 4% en Chacao y el 2% en El Hatillo. Si bien el 47% del total de los planteles localizados dentro del AMC son de dependencia pública, la relación porcentual de dependencia de los planteles por municipios es diferente.

El municipio Chacao tiene el mayor porcentaje de planteles privados (62%), mientras los municipios Sucre y Libertador tienen los mayores porcentajes de planteles públicos 65% y 47%, respectivamente; Baruta y El Hatillo muestran proporciones inversas público - privadas de 35% - 65%. En cuanto al ciclo diversificado, predomina la oferta de planteles privados en relación con los públicos, a excepción del municipio Libertador, donde se contabiliza aproximadamente un 5% de planteles públicos con relación a los privados.

Esto da cuenta de cierta desatención de los organismos públicos en atender este nivel de educación, teniendo que ser cubierta por el sector privado; el AMC cuenta con una oferta de educación superior que atiende no sólo a la población de la ciudad, sino también una proporción nada despreciable de la demanda nacional, con una amplia oferta de carreras universitarias e institutos de educación superior, destacan la Universidad Central de Venezuela, la Universidad Simón Bolívar, la Universidad Metropolitana, la Universidad Santa María y la Universidad Católica Andrés Bello, entre otras.

Por su parte, lo referente a salud, el servicio de hospitalización es especializado en comparación con otras ciudades del país, y atiende la demanda de los cinco municipios que componen la ciudad, además de la población de la región metropolitana y del interior del país; esta situación disminuye la capacidad de estos hospitales para los habitantes de la capital. El sistema de salud está compuesto por el sector público (8.455 camas funcionales, 72% del total de camas) y por el privado (3.259 camas hospitalarias, 28% del total de camas).

La capacidad hospitalaria del AMC está representada por 33 hospitales, de los cuales 27 se localizan en el municipio Libertador, y los otros 6 entre los municipios Sucre, Baruta y Chacao; funcionan 125 clínicas privadas que suplen los déficits del sistema público, cuya calidad ha desmejorado considerablemente en los últimos años. El AMC cuenta con 2,64 camas públicas por cada 1.000 habitantes, siendo el índice normativo de 3 camas por cada 1.000 habitantes; al agregarle las camas privadas, el indicador se eleva a 3,79 camas por cada 1.000 habitantes.

El servicio asistencial, tanto de hospitales, clínicas y ambulatorios, se concentra en el municipio Libertador, donde habita 66% de la población de la ciudad, el resto de la ciudad, donde habita el 44% de la población se haya prácticamente desatendida del servicio público. Mientras el municipio Libertador tiene 3,62 camas por cada 1.000 habitantes, el resto de los municipios, en su conjunto, tiene apenas 0,97 camas por cada 1.000 habitantes. Es conveniente

aclarar que no todas las camas funcionales están operando y el servicio público como tal presenta serias deficiencias.

En cuanto a los mercados municipales, en el AMC se identificaron 14 mercados municipales, 11 ubicados en el municipio Libertador, uno en Chacao y dos en Sucre; los municipios Baruta y El Hatillo carecen de instalaciones destinadas a mercados municipales. También existen mercados populares o ambulantes ubicados en diferentes áreas de la ciudad, algunos se instalan diariamente, otros lo hacen una vez a la semana.

En el municipio Libertador, los mercados municipales se rigen por la Ordenanza Municipal de Abastecimiento y Mercadeo, publicada en Gaceta Municipal, el 12- 5-97, cada mercado de este municipio tiene su administración, directiva, son entes descentralizados del poder municipal, controlados por la junta parroquial. Los mercados del municipio Libertador son: Mercado Mayor de Coche, mercados de Quinta Crespo, Guaicaipuro, Catia, Cohecito, El Cementerio, La Pastora, La Veguita, Macarao, San José y San Martín. En Chacao, la alcaldía se encarga directamente de la administración de su mercado municipal, recientemente construido; en el municipio Sucre, la conducción de los mercados (Petare y Mesúca) está a cargo de la Dirección de Salud de la Alcaldía; en todos los municipios del AMC la demanda de superficie destinada a mercados municipales supera a la oferta existente.

Por su parte, alberga equipamientos culturales emblemáticos, como el complejo cultural Teatro Teresa Carreño, inaugurado en 1983 con capacidad para 2.900 personas, donde funcionan dos salas, la Ríos Reyna y la José Félix Ribas, además de otras instalaciones de soporte a la actividad cultural. También se encuentra establecida en la ciudad, el Aula Maga de la UCV, así como los teatros Nacional y Municipal, en el centro de Caracas. Cuenta con museos de arte, de Ciencias; la Biblioteca Nacional, todos ubicados en el municipio Libertador. En el resto de la ciudad se localizan equipamientos que sirven de soporte a la actividad cultural, aunque de menor relevancia que los mencionados.

Finalmente, en cuanto a los cementerios, el AMC cuenta con cinco cementerios de carácter público, tres localizados en el municipio Libertador y uno en El Hatillo. Además, cuenta con dos cementerios privados, uno en el municipio Libertador y otro, en el municipio El Hatillo.

Vialidad

El esquema vial de la ciudad se origina en una trama reticular del período colonial, que hoy día se conoce como casco fundacional, a partir del cual la ciudad se fue extendiendo incorporando los centros poblados inmediatos como Chacao, Petare, Baruta y El Hatillo. La trama vial se conformó a partir de las mallas de urbanizaciones residenciales relativamente aisladas, integrándose de manera no planificada, hasta alcanzar las dimensiones actuales, tal crecimiento ha ido afectando la estructura urbana y vial del conglomerado AMC.

La red vial principal de la ciudad está constituida predominantemente por vías Este-Oeste, debida a la forma del valle de Caracas; Las principales autopistas y avenidas están dispuestas en esa dirección, y son las que tienen mejores características geométricas y de sección transversal. Las vías Norte-Sur son deficientes, escasas y las que existen no tienen las características físicas ni de trazado que presentan las vías Este-Oeste (Morais, 2004).

La jerarquización del sistema vial metropolitano permite conectar la ciudad con las poblaciones circunvecinas y con el resto del país (red regional), las cuales se convierten en el área de la ciudad en la estructura principal de la red vial urbana. La red vial interurbana del AMC está constituida por las vías citadas a continuación, acorde a la clasificación del Ministerio del Poder Popular para Transporte y Comunicaciones en:

- Troncal 001 (Autopista Regional de Centro o Autopista Caracas-Valencia): parte del Distribuidor El Pulpo en la ciudad de Caracas, saliendo del AMC en el Peaje de Tazón, comunicándola con el occidente del país y los llanos.
- Troncal 009 (Autopista Gran Mariscal de Ayacucho): parte del Distribuidor El Pulpo, atraviesa la ciudad de Caracas, saliendo del AMC por el Distribuidor Metropolitano, comunicándolo con el oriente del país.
- Local 001-Miranda (Carretera Panamericana): parte de la Autopista Valle Coche y conduce a los “Altos Mirandinos”, comunicando con la Troncal 001 en el Peaje Las Tejerías.
- Local 002-Distrito Capital (Autopista Caracas-La Guaira): parte de la ciudad de Caracas en la rampa de bifurcación de la Troncal 001 a la altura de El Valle y Fuerte Tiuna en dirección hacia el Distribuidor La Araña. Comunica el AMC con el Estado Vargas, donde se localizan el Puerto de La Guaira y el Aeropuerto Internacional “Simón Bolívar” (Maiquetía).

- Local 004-Miranda (Carretera Petare-Santa Lucía): parte de Petare al Este de la ciudad de Caracas, se dirige a los Valles del Tuy, pasa por el centro poblado de Santa Lucía llega a Santa Teresa del Tuy y continúa hacia el Parque Nacional Guatopo hasta que intercepta a la Troncal 012. Comunica el AMC con los Valles del Tuy y permite la comunicación con el oriente del país.
- Local 005-Distrito Capital (Antigua Carretera Caracas-La Guaira): parte de la Avenida Sucre en el AMC y finaliza en el Aeropuerto Internacional de “Simón Bolívar”. Comunica el AMC con el Estado Vargas.
- Local 012-Miranda (Carretera Vieja Petare-Guarenas): parte de Petare y comunica el AMC por el este con Guarenas y Guatire, permitiendo la conexión con el oriente del país.

Las autopistas Francisco Fajardo y Valle-Coche interconectan la ciudad con el sistema vial nacional, estas vías además canalizan los movimientos internos de tipo expreso de la ciudad, con ello la movilidad del Área Metropolitana de Caracas se ve afectada por un tráfico de paso, que requiere entrar y salir de la ciudad para continuar los viajes regionales.

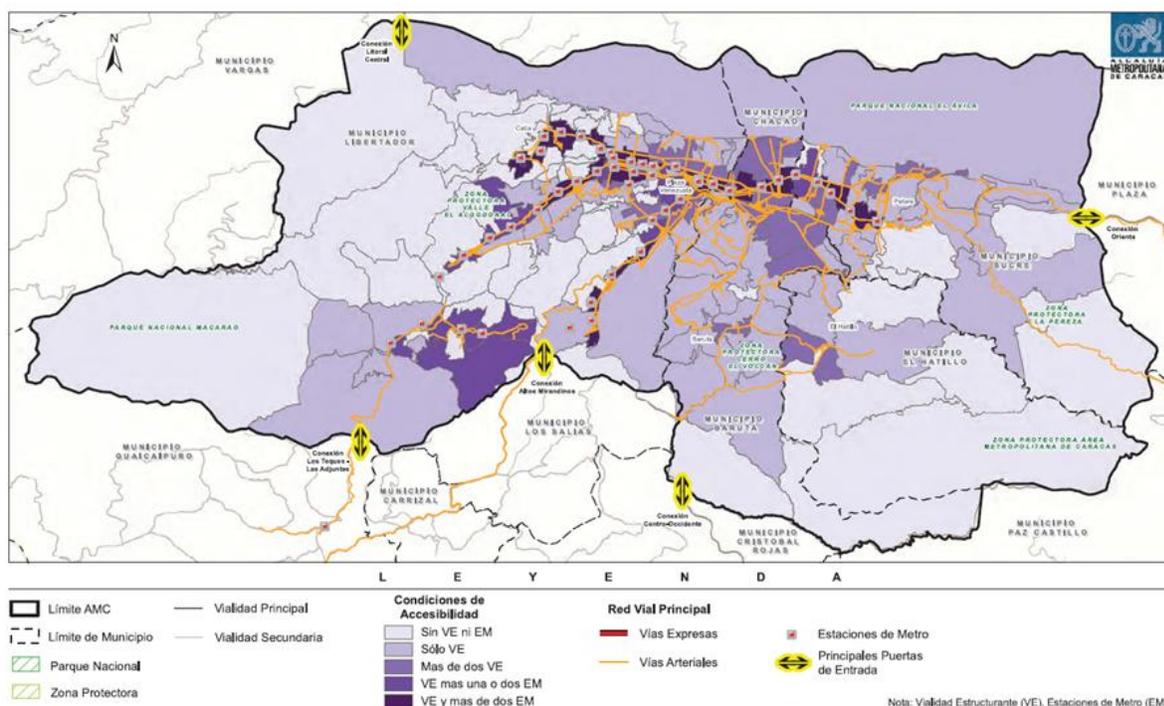


Figura II.10: Mapa vial del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base en información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.

Infraestructura eléctrica

La Ley Orgánica del Servicio Eléctrico (G.O. N° 39.573) aprobada el 14 de diciembre de 2010, en su artículo 8 establece: "El Estado, de acuerdo a la competencia que le establece la Constitución de la República, por razones de seguridad, defensa, estrategia y soberanía nacional, se reserva las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, a través del operador y prestador del servicio, así como la actividad de despacho del sistema eléctrico, a través del Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica." En Caracas, el organismo responsable de proveer el servicio de electricidad es Corpoelec adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica.

La electricidad que sirve a la ciudad procede de dos tipos de fuentes: la hidroeléctrica, suministrada por Macagua y Guri a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN), y un conjunto de plantas termoeléctricas generadoras ubicadas básicamente en los estados Vargas y Miranda. (Ver figura 13). El parque eléctrico se desarrolló hacia el Norte del país donde se concentra la actividad económica y comercial, Venezuela es uno de los países que depende en más de un 50% de la potencia hidroeléctrica, pero de igual manera es el tercer productor mundial de energía hidroeléctrica destinada a consumo doméstico y posee la tercera central hidroeléctrica del mundo.

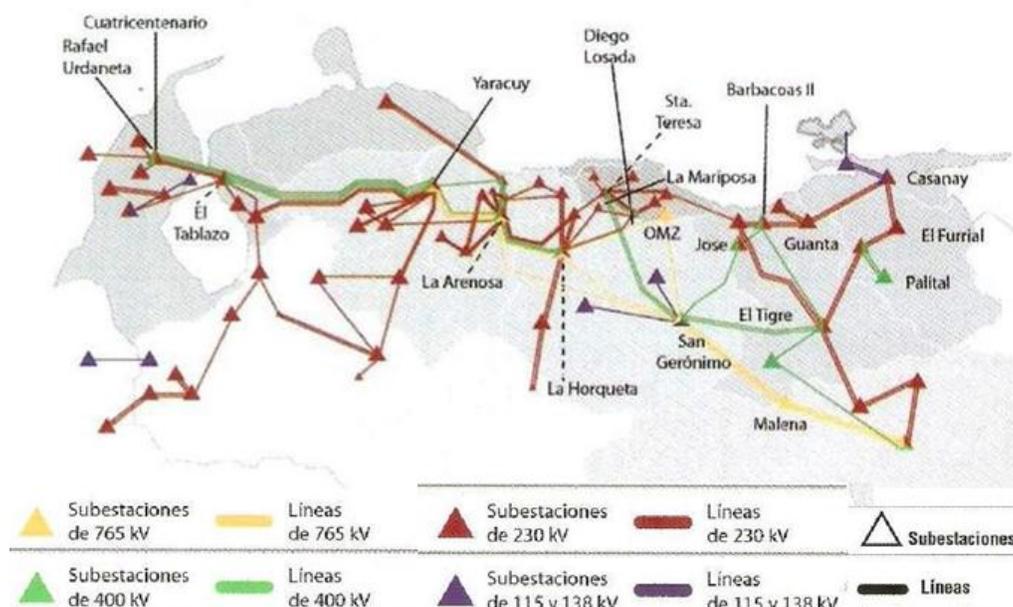


Figura II.11: Mapa del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Fuente: Elaboración propia con base en Corpoelec.

La capacidad potencial instalada al 2010 era de 2.260MW, con una disponibilidad promedio del parque térmico a marzo de 2011 del 65%, es decir 1.470 MW. Esto para cubrir una demanda de 2.051 MW, lo que implica un déficit de 581MW que amerita con frecuencia que se deba comprar energía al SIN para hacer frente a la demanda de la ciudad. La red de transmisión está constituida básicamente por líneas de 230 KV y 69 KV. El sistema 230 KV recibe inyección desde dos subestaciones del sistema interconectado nacional: Sur (Oscar Machado Zuloaga) y Santa Teresa. Además, se cuenta con la generación propia en las plantas Complejo Ricardo Zuloaga y Oscar Augusto Machado.

Las líneas de transmisión aéreas tienen un total de 1.492,8 km instalados, mientras que el cableado subterráneo tiene 937,5 km, complementado con 125 subestaciones de transferencia. En cuanto a distribución, para el año 2008, la Gran Caracas tenía 6.025 km de líneas aéreas, 3.517 km de cables subterráneos, 133 subestaciones con una capacidad de distribución de 14.850MW; para el cierre de ese mismo año, las pérdidas de energía representaban el 12,88%. Uno de los principales factores que incide en la calidad del servicio son los retrasos que ha habido para la incorporación de nuevas plantas de generación, es el caso de la Planta La Raíza y Planta El Sitio.

El proyecto original de la primera contemplaba la instalación de dos turbinas a gas que llegarían a generar 200MW, los trabajos de instalación comenzaron en 2005, y las turbinas llegaron al país en 2006, sin embargo ante la incapacidad del Estado para suplir la demanda de gas requerido para su funcionamiento, el proyecto se paralizó.

En el año 2009, el proyecto se retoma con algunas modificaciones como la incorporación de tres unidades Pratt Whitney alimentadas con combustible dual (diesel y gas) de 60MW cada una. Por su parte, la Planta El Sitio actualmente en construcción en la Hacienda El Sitio en los Valles del Tuy, contempla la instalación de tres bloques de generación en ciclo combinado de 540MW cada una para generar 1.620 MW, compuestos por turbinas de gas y de vapor.

Requiere además del desarrollo de la subestación elevadora en 230 MW ubicada en la planta de generación, la subestación El Castaño de 230 KV, la ampliación de la subestación Curupao y aproximadamente 30 Km de líneas de transmisión de 230 KV para su conexión al sistema de transmisión. Como consecuencia de los retrasos en estos proyectos, y el déficit de generación de la electricidad, Corpoelec adquirió dos gabarras generadoras para ser instaladas en Tocoa

(Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas) que llegaron al país en agosto de 2010. Cada una tiene una capacidad de generación de 171 MW, en total 342 MW.

Requieren para funcionar 2 millones de litros de diesel y un litro de agua desmineralizada por cada litro de combustible para incrementar la eficiencia y disminuir las emisiones atmosféricas. Debido a la falta de instalaciones de interconexión, aún no han podido ser acopladas al sistema de Tocoa. Con respecto al componente de comercialización del sistema, para el año 2008 la EDC tenía 1.187.553 de contratos activos de los cuales los usuarios residenciales representan 88,05%, los comerciales 10,55% y los industriales 1,40%. Para mejorar el sistema de cobranza, la empresa ha implementado diversos planes con la instalación de medidores pre-pago y colectivos, logrando servir más de 11.000 familias.

En la actualidad no se puede adquirir información detallada del consumo per cápita por sectores y municipios, así como la demanda y oferta en el sector eléctrico debido a circunstancias y temas de seguridad nacional. Sin embargo, en el año 2016 Corpoelec estimó el consumo per cápita del venezolano fue de 4.179 kilovatios hora (kW/h) por habitante, pero la Organización Latinoamericana de Energía OLADE la estima en 3.098 kilovatios hora (kW/h) por habitante, dato que se usará para este Trabajo de Grado. En el siguiente cuadro se puede observar el consumo per cápita en kilovatios hora (kW/h) por habitante en cada municipio del AMC.

Cuadro II.6: Área Metropolitana de Caracas. Consumo per Cápita Población total según municipio.

Municipio	kW/h por habitante	
	Habitantes	%
Libertador	7.031.267.270	66,13%
Baruta	1.017.259.280	2,33%
Chacao	248.134.310	9,57%
El Hatillo	294.591.918	2,77%
Sucre	2.041.439.492	19,20%
AMC	10.632.692.270	100,00%

Fuente: Elaboración propia con base a consumo per cápita de OLADE

Es importante destacar que los resultados de este cuadro son un estimado con datos de población del INE y el consumo detallado por centros de salud, centros comerciales, hoteles e industrias no se reflejan por lo ya antes mencionado. De modo que, podemos hacer un

acercamiento general por el consumo de la población por municipio, donde el municipio Libertador lidera con una demanda de 66,13% triplicando al municipio Sucre que le sigue con 19,20%, Chacao con 9,57% y los municipios El Hatillo y Baruta con 2,77% y 2,33% respectivamente.

Defino una vez los Macrosectores del Área Metropolitana de Caracas y su población podemos estimar y analizar el consumo energético por macrosector, ver figura II.12:

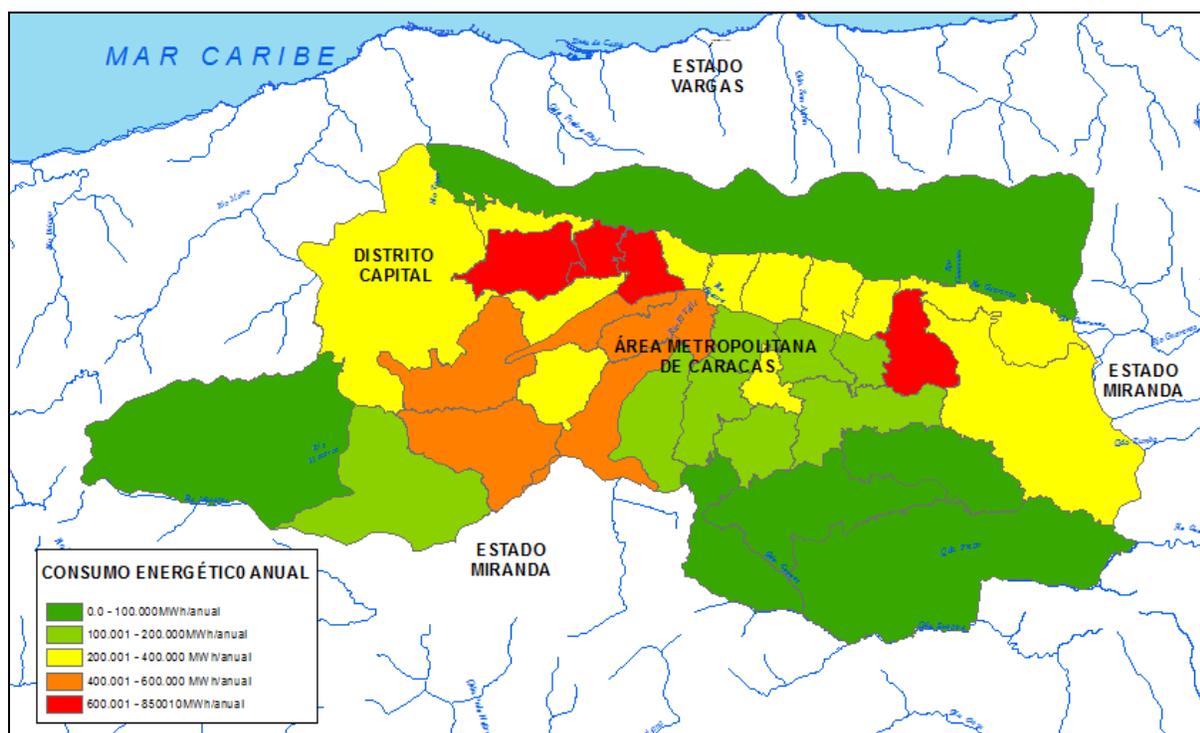


Figura II.12: Mapa de consumo energético por Macrosectores del Área Metropolitana de Caracas.
Fuente: Elaboración propia con base en información del SIUM de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.

Como se puede observar, el consumo energético del AMC es mayor en las zonas populares Catia, Petare, Av. Sucre y Casco Central debido a la mayor densidad de población, le sigue los macrosectores Antimano-Mamera, Caricuao, Coche, Valle, Moltalbán, El Paraiso, Santa Mónica, El Cementerio, los de medio o menor consumo, San Bernardino, Sabana Grande, Chacao, Los Ruices, Boleita, La Urbina, Concreta, La Yaguara y bajo consumo La Trinidad, Bello Monte, Las Mercedes, El Cafetal, Macaracuay. Y Prados del Este. Debido a que no pudo ser posible obtener la información detallada por centros comerciales, industrias y otros servicios por lo tanto este análisis solo puede ser considerado a nivel residencial,

En términos generales es importante conocer la localización y el emplazamiento de las variables urbanas que interactúan en los macrosectores del AMC, de esta manera se puede analizar las interrelaciones y como se pueden gestionar los recursos para cada una de ellas y cuales son prioritarias. Una de estas variables con mayor prioridad son los centros de salud, que de manera general deben disponer de un sistema de respaldo de energía eléctrica confiable, los hospitales y clínicas dentro de un Distrito Solar pueden contar un sistema inteligente para eventos extraordinarios o cuando ocurran problemas técnicos con el sistema tradicional eléctrico; así estos equipamientos de gran importancia para los ciudadanos no serán tan vulnerables y podrán continuar sus servicios aminorando los riesgos por falta de energía eléctrica para iluminación, refrigeración, calefacción y funcionamiento de los equipos hospitalarios.

De igual manera los equipamientos y servicios como protección civil y bomberos deben contar con este respaldo y las instalaciones de seguridad y defensa. Así como también, es importante contar con un respaldo de iluminación para las principales redes viales del entorno urbano como son las autopistas, las principales avenidas y calles. Esta variable de vialidad se caracterizó con la finalidad de conocer cuantos Kms se emplazan en cada uno de los macrosectores, permitiendo analizar y localizar los servicios más importantes cerca a las principales redes de vialidad.

*CAPÍTULO III. MODELOS DE RADIACIÓN SOLAR DEL ÁREA
METROPOLITANA DE CARACAS BASADOS EN SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*

CAPÍTULO III. MODELOS DE RADIACIÓN SOLAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS BASADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para la implementación, el diseño y la instalación de una estructura de captación solar en cuanto al aprovechamiento de la energía y el manejo de los modelos computacionales de radiación solar, es imperioso conocer el comportamiento del Sol y la radiación disponible; así como también, las transformaciones que sufre al incidir sobre la atmósfera, de modo que es indispensable manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación. Por lo tanto, se hizo obligatorio indicar las siguientes definiciones, en vista que de esta manera, se podrá abordar las especificaciones técnicas del recurso Sol que se desarrolla a lo largo del presente capítulo.

3.1 Especificaciones técnicas del recurso solar

El Sol al igual que la Tierra, fue producto de un conjunto de gases incandescentes que al girar vertiginosamente provocó que los gases más pesados se fueran al centro, quedando los más livianos en el exterior; éste genera energía mediante la transformación constante en su núcleo, convirtiendo los átomos de hidrógeno en átomos de helio. Tiene una forma esférica a causa de su lento movimiento de rotación, tiene un leve achatamiento polar, siendo atraído hacia el centro del objeto por su propia fuerza gravitatoria (EPIA, 2011).

Por su parte, la radiación solar no es más que el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas (ver figura III.1), lo que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre; son de diferentes frecuencias y por lo general, el 50% de lo que llega a la superficie terrestre está entre los rangos de longitud de onda de 0.4 (μm) y 0.7 (μm), pudiendo ser detectadas por el ojo humano, es decir es la luz visible; el otro 50% corresponde a la parte infrarroja del espectro y la ultravioleta.

La radiación solar se expresa en términos de exposición radiante o irradiancia; entendiéndose a la irradiancia como una medida del flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea como energía/área-tiempo y cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2). Por su parte, la exposición radiante es la medida de la radiación solar, en la cual la radiación solar es

integrada en el tiempo como energía/área y cuya unidad es el kWh/m² por día (si es integrada en el día).

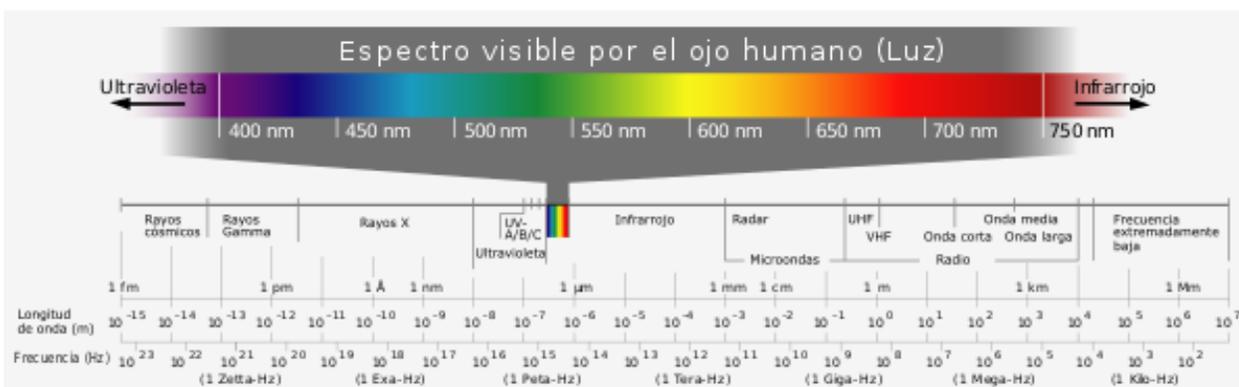


Figura III.1: Espectro electromagnético. Fuente: EPIA, 2011.

Ahora bien, la constante solar es la magnitud exacta de la potencia de la radiación solar; de gran relevancia para el desarrollo de este trabajo, ya que este no es más que la cantidad total de energía solar que atraviesa en un minuto una superficie perpendicular a los rayos incidentes con un área de 1 cm², que se encuentra en la distancia media existente entre la Tierra y el Sol. El valor es alrededor de 2 cal/cm² min.

Es importante destacar que, la intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmosfera; por lo que, es indispensable controlar en cada momento el valor de la constante solar, debido a que solo una modificación de 1 % de la misma podría ocasionar una variación de uno o dos grados en la temperatura del planeta. Expresada en otras unidades y el valor que usa el modelo de radiación solar con base a la escala del World Radiation Reference Centre (WRRC), es de 1367 W/m².

Con respecto a lo antes mencionado, la radiación solar (G) se ve modificada por los fenómenos de absorción y dispersión (atenuación atmosférica) previamente nombrados. En la figura III.2 se puede observar este fenómeno; la radiación solar se separa al alcanzar una superficie en tres tipos o componentes:

1. Radiación directa (G_b), la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa; estos rayos permiten el más óptimo aprovechamiento para aplicaciones térmicas controladas .

2. Radiación difusa (G_d), es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica, esta radiación difusa es la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul; puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor.

3. Radiación terrestre o reflejada (G_r), es aquella que proviene “rebotada” de la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del llamado coeficiente de reflexión de la superficie o “albedo”; que es un importante componente del balance radiativo superficial, y se refiere al porcentaje de radiación (onda corta) que una superficie refleja del total de la energía que incide sobre ella, bien sea esta natural o artificial. En el espacio urbano los valores de albedo de las superficies son variables (Córdova, 2012), son únicamente las superficies verticales las que reciben esta radiación porque las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada.

4. Radiación Global o total ($G_t = b + d + r$), es la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie.

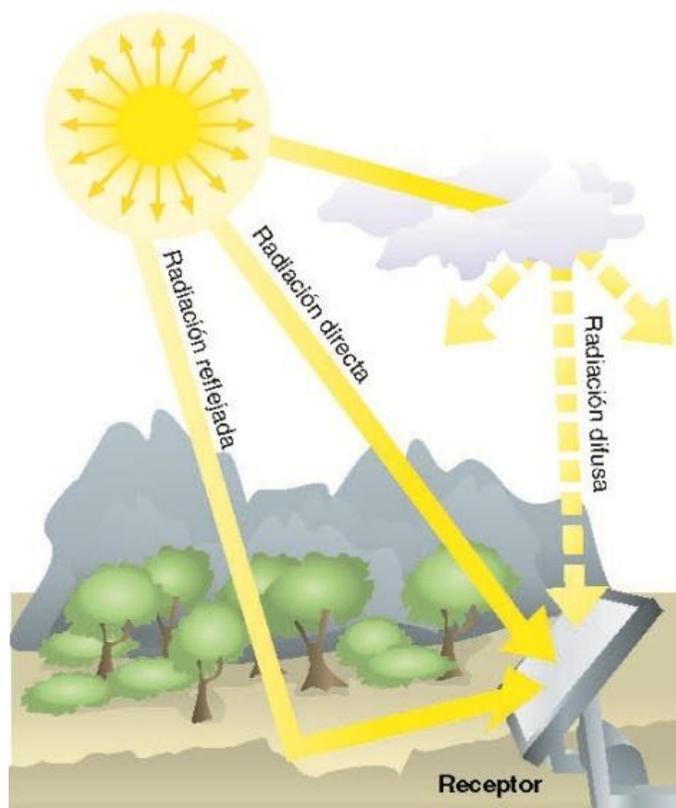


Figura III.2: Radiación Global o total, radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie. Fuente: Blasco (2017)

Es importante resaltar que, la irradiación o insolación (Wh/m^2), es el área bajo la curva de la irradiancia; como se observa en la figura III. 3, el rectángulo de color azul tiene un área equivalente al área bajo la curva de color rojo, que es una curva ideal de irradiancia; la altura de la curva y el rectángulo azul es igual a 1000 W/m^2 y el ancho son las Horas Sol Pico (HSP). Esto representa el número de horas equivalentes en el día durante en el que se obtiene una irradiancia constante de 1000 W/m^2 , valor óptimo o ideal para el trabajo de los captadores solares donde trabajan a máxima potencia.

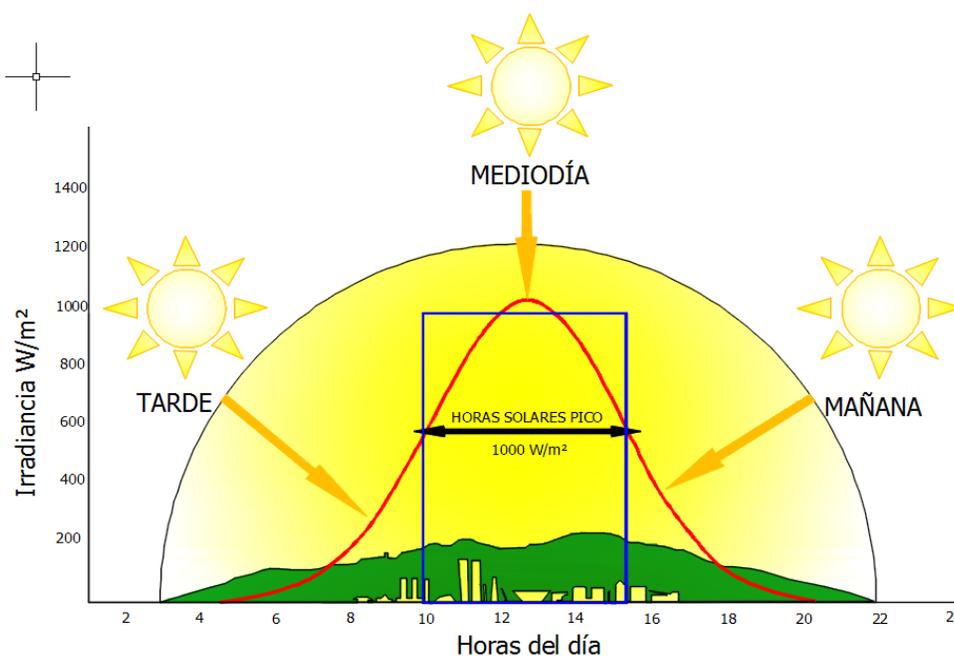


Figura III.3: Irradiancia que se reciben en las horas pico Sol del Área Metropolitana de Caracas.
Fuente: Elaboración propia.

La forma de presentar los datos de radiación en HSP, se debe a que el proceso para el cálculo que se realiza en el caso de las instalaciones para el uso de energía solar, como por ejemplo la fotovoltaica; ellos emplean este concepto que simplifica el cálculo de las prestaciones energéticas y la potencia nominal de los paneles, principalmente porque los fabricantes de los captadores o placas solares trabajan con esta medida sobre la base de una irradiancia de 1000 W/m^2 o 1 kW/m^2 , que es igual a 1 Hora Sol Pico (HSP).

En conclusión, a este punto la irradiación o insolación solar significa la cantidad de energía solar en (Wh/m^2 o 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 (W/m^2 , kw/m^2) que varía durante el día, incrementándose desde el alba hasta alcanzar su valor máximo alrededor del mediodía y finalmente decrece en el atardecer.

En otro orden de ideas, es importante destacar que la posición del Sol depende de la ubicación de un punto de la Tierra (latitud y longitud), la hora del día y la época del año, este movimiento aparente del Sol causado por la rotación de la Tierra alrededor de su eje se puede definir por los siguientes ángulos (ver figura III. 4): 1. Azimut solar (α): expresada en grados de 0 a 360 tomando como posición inicial el Norte y su medición es en sentido de rotación de las agujas del reloj. 2. Altitud solar (Φ): es el ángulo vertical que se forma entre el horizonte y el Sol y sus valores oscilan de 0 a 90 grados.

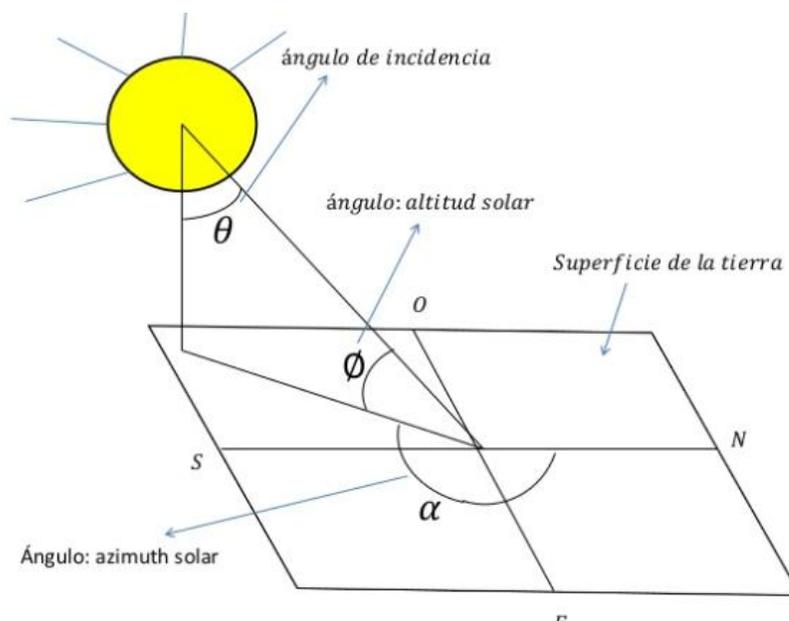


Figura III.4: Ángulos formados por la posición del Sol: Azimut solar y altitud solar.

Fuente: Perpiñan (2009)

Sin embargo, el ángulo de incidencia θ , no es una medida de la posición del Sol, está relacionado con la altitud solar y los dos proporcionan información sobre la orientación de la luz solar entrante en un objeto o estructura. Para obtener estos ángulos se acude a la carta solar que se explica a continuación.

3.2 Carta solar del Área Metropolitana de Caracas

La carta solar constituye la representación gráfica de las trayectorias aparentes del Sol en un diagrama que representa su posición sobre un lugar determinado, en función de una latitud específica se puede obtener el ángulo solar y azimut correspondiente logrando elegir fechas diferentes y a diferentes horas. Existen dos tipos de cartas solares, que son:

1. La tradicional de Fisher-Mattioni o esteográfica que se basa en un sistema de coordenadas angulares donde el radio representa la Altura Solar y los ángulos el Azimut que se mide desde el Sur (0°) al Norte (180°), en este sistema de coordenadas se representan los meses y las horas en función de la Altura Solar y el Azimut para una determinada latitud; la intersección entre la curva de la fecha (día 21 de cada mes) y el punto de la hora solar real, nos indica la Altura Solar en los círculos concéntricos y el Azimut desde el alba y el ocaso en el borde de la carta, (Instituto de Tecnologías Educativas. Ministerio de Educación, Gobierno de España) (ver figura III. 5).

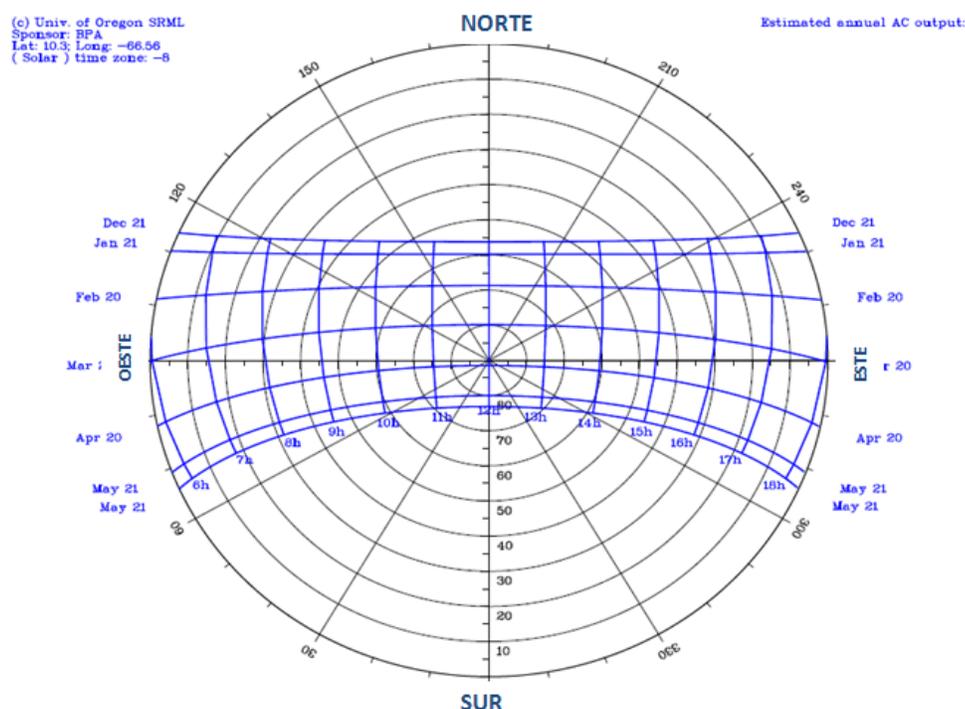


Figura III.5: Carta solar de Fisher-Mattioni o esteográfica del Área Metropolitana de Caracas.
Fuente: Elaboración propia con base en programa on-line BPA de la Universidad de Oregon.

2.. Las cartas solares cilíndricas son las más comúnmente utilizadas para representar “mapas de sombras”, ellas muestran el recorrido aparente del Sol en un cilindro, en este caso, el Azimut y

la Altura Solar se despliegan rectangularmente en la malla, en el eje de las abscisas con orientación angular horizontal y en la ordenada la elevación angular (ver figura III.6).

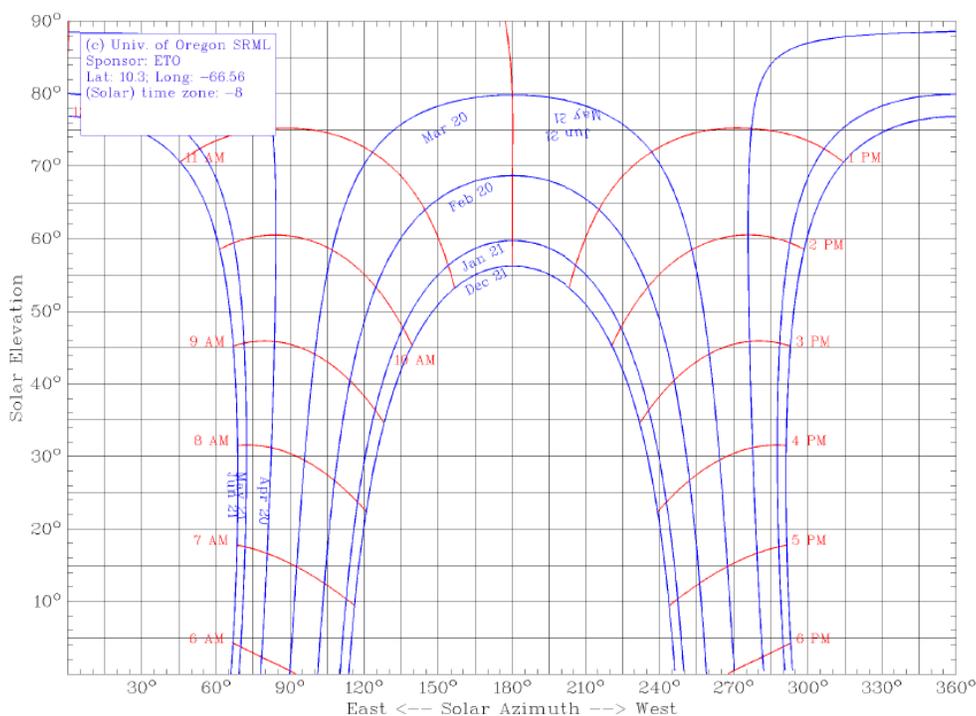


Figura III.6: Carta solar cilíndrica del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con base en programa on-line BPA de la Universidad de Oregon.

Una vez visualizadas las trayectorias del Sol en cada día del año, la carta permite encontrar fácilmente, en cualquier día del año a cualquier hora, la posición del Sol, que se determina con dos ángulos: el primero, desde cuál dirección (orientación cardinal) llegan los rayos solares (azimut solar); y el segundo, cuál inclinación tienen dichos rayos respecto del suelo, (altura solar). De esta manera, las líneas que indican la hora “solar”, es decir, la posición del Sol cada hora, tomando como referencia el mediodía solar, que es la posición intermedia y más alta del sol sobre su órbita diurna, y que se señala como las 12.

El Área Metropolitana de Caracas, por estar localizada en el hemisferio Norte siempre recibe de manera directa en números de horas de Sol teóricas (con cielo despejado) la radiación desde el Sur, esto influye también en función de la orientación a la que esté expuesta una u otra ladera, como también la fachada de un edificio, casa o estructura; por lo tanto, se puede diferenciar claramente el número de horas de sol a la que está expuesta.

Según las cartas solares para el medio físico, las laderas con orientación Norte reciben una baja radiación solar, solo con un ángulo favorable en las primeras horas y al final del día; en las laderas orientadas al Noreste y Noroeste hay un mayor número de horas de Sol, en la ladera Noreste recibe radiación mayormente en las mañanas desde el amanecer, a diferencia con las laderas Noroeste presentando un efecto sombra (Noreste-solana y Noroeste-umbría), este fenómeno ocurre de forma inversa por la tarde hasta el ocaso, las laderas Noroeste reciben mayor radiación en las tardes y las Noreste menos.

En las laderas con orientación Oeste, el soleamiento alcanza la mitad de las horas de día, en las laderas con orientación Este se tienen las mismas horas de Sol que en el Oeste pero todas por la mañana presentando unas adecuadas condiciones de insolación. En las laderas Sureste la mayor parte de las horas de Sol se producen por la mañana, en las laderas Suroeste recibe el mismo número de horas de Sol que en las laderas Sureste, aunque en este caso la mayor parte de las horas de Sol se producen por la tarde; finalmente, las laderas con orientación Sur recibe casi la totalidad del número de horas de Sol, es decir, esta es la mejor orientación para recibir radiación solar y cualquier estructura con fines de captación solar debe estar en esta orientada a esta dirección.

3.3 Modelos de radiación solar basados en SIG

Para la comprensión y realización de los diferentes análisis que permitió explicar las variaciones espaciales de los factores de radiación solar en el Área Metropolitana de Caracas, fue necesario diagnosticar y determinar el conjunto de variables expuestas en el capítulo anterior. Siguiendo lo expresado por Pereira, Angelotti & Sentelhas, (2000), establecen que la incidencia de radiación en la superficie terrestre, es el resultado de complejas interacciones de energía entre la atmósfera y la superficie; a escala global, los gradientes de radiación son causados por la geometría de la tierra y sus movimientos de rotación y traslación alrededor del Sol, en escalas regional y local, el terreno (relieve) es el principal factor que altera la distribución de radiación; la variabilidad en la altitud, la inclinación de la superficie, la orientación y la sombra se expresan por las características del terreno y crean fuertes gradientes locales.

Lo fundamental de estas variables, es que son útiles en una base de datos espaciales, sobre todo si son basadas en uno o varios modelos de radiación solar, integrados en sistemas de

información geográfica (SIG). Estos modelos proporcionan estimaciones rápidas, costo-eficientes y exactos para el buen manejo del recurso Sol en cuanto a la generación de energía solar; por lo tanto, se abordó el potencial natural a través del medio físico, el cual requiere sólo de algunos parámetros de entrada obligatorios con información digital; siendo una de ellas y la más importante la topografía del lugar y su localización exacta, estas permiten por medio de herramientas de análisis espacial del SIG, generar un Modelo Digital del Terreno (MDT), que posteriormente con otros procesos crean información referida a: la inclinación, la pendiente, el aspecto y los efectos de sombreado.

Dentro de los otros parámetros de entrada que se calculan internamente en el sistema se encuentra la declinación solar, como también valores que pueden ser reemplazados por ajustes explícitamente definidos para adaptarse a las necesidades específicas del usuario, tales como:

- Turbidez atmosférica,
- Albedo de tierra,
- Componentes difusos del índice de cielo claro,
- Cálculo de la irradiación durante todo el día desde el amanecer hasta la puesta del Sol.
- Potencial para un día o período específico del año.

Estos procesos permiten alcanzar un conocimiento detallado del recurso solar y a su vez, generar el *Mapa de Radiación Solar del área de estudio (ver mapa 4)*, lo que proporcionó herramientas para conocer en detalle las zonas potenciales para el aprovechamiento energético, así como también, tener a la mano información sustancial para el desarrollo de la industria solar fotovoltaica y térmica. Generando bases para la diversificación de la matriz energética del área de estudio, aportando información para otros estudios vinculados con el monitoreo y adaptación del cambio climático.

Los modelos computacionales desarrollados para realizar la estimación de la radiación solar; se pueden clasificar en modelos estadísticos y modelos físicos. Los primeros, utilizan formulaciones empíricas entre medidas de radiación incidente y condiciones locales y, por lo tanto, presentan validez restringida a la región estudiada; por su parte, los modelos físicos son válidos para cualquier región del planeta como el método planteado, ya que determinan la solución numérica de la ecuación de transferencia radiactiva por medio del modelado de los

procesos radiactivos que ocurren en la atmósfera (Martins, Pereira & Echer, 2004). Este último es el usado en esta investigación.

El modelado de las interacciones entre radiación solar y constituyentes atmosféricos depende del conocimiento de parámetros atmosféricos como la cantidad de nubes presentes y la concentración de los constituyentes atmosféricos como aerosoles, vapor de agua, ozono y otros gases atmosféricos (Martins, Pereira & Echer, 2004). Algunos modelos computacionales trabajan sobre la base de sistemas de información geográfica (SIG), como el modelo R.sun de Grass GIS y Potential Incoming Solar Radiation (SAGA-GIS).

(Guimarães, 2014) establece que los sistemas SIG presentan no sólo las capacidades de representación de la información georreferenciada, sino que también permiten analizar y manipular de forma eficiente los grandes volúmenes de información que derivan de los modelos numéricos. La evolución hacia resultados más realistas y mayor capacidad de análisis puede contribuir a enaltecer públicamente las ventajas de la utilización de sistemas solares y también en medidas de planificación energética.

Ahora bien, fue necesario realizar una revisión bibliográfica minuciosa, además de la comparación de estudios en otras latitudes y estudios de los diferentes softwares en sistemas de información geográfica; para el desarrollo de este estudio se utilizó el modelo Computacional *Potential Incoming Solar Radiation (Potencial de Radiación Solar)* de la plataforma SAGA GIS, que conjunto con la comparación de resultados obtenidos por la NASA, como también los datos de las estaciones meteorológicas Cagigal, La Carlota y UCV, mostró mayor fiabilidad en los resultados obtenidos para la estimación de la radiación solar del AMC y la estimación de su potencial solar urbano.

Modelo Potential Incoming Solar Radiation y su implementación SAGA GIS

Concepto

El cálculo del Potential Incoming Solar Radiation, esta implementado en el software de código abierto SAGA GIS (Sistema de Análisis Geocientíficos Automatizados), el diseño y la descripción de la metodología fue implementada por Bohner y Antonic (2009), estos autores reconocieron tres (3) factores que influyen en la variabilidad de la radiación solar:

1. La orientación relativa de la Tierra en relación con el Sol.

2. Las nubes y otros elementos atmosféricos como la turbidez atmosférica.
3. La topografía.

Beneficios

En el modelo es posible calcular los componentes de la energía solar: radiación directa, difusa y global a cielo claro, y cielo completamente encubierto, es decir, no teniendo en cuenta la variación espacial y temporal de las nubes; siendo especialmente adecuado para grandes áreas con terrenos complejos, porque todos los parámetros solares se pueden definir como mapas matriciales, el mismo puede ser fácilmente utilizado para cálculos a largo plazo en escalas diferentes. Además, que, el modelo en cuestión trabaja de dos maneras: 1- Calcula para un tiempo determinado, un ángulo de incidencia solar [grados] y los valores de irradiación solar [Wm²]. 2- Las sumas diarias de horas de radiación solar [kwh.m²] se calculan dentro de un día definido, como también para una cantidad de días específicos, un mes o un año.

Procesos

Los procesos ejecutados y el manejo del conjunto de datos de entrada desarrollados utilizan la información topográfica contenida en un Modelo Digital del Terreno (MDT), lo cual permitieron obtener los índices topográficos tales como: elevación, pendiente, orientación superficial, factor claro del cielo, sombreado y coordenadas geográficas. Estos parámetros de entrada indican la influencia de los factores de la radiación solar y su estimación espacial, en el cuadro siguiente se presentan los parámetros de entrada para Potential Incoming Solar Radiation:

Cuadro III. 1: Parámetros de entrada en Potential Incoming Solar Radiation

Parametro	Tipo de entrada	Descripción	Unidad	Intervalos
<i>Elevación</i>	Grid (Raster)	Elevación	Metros	0 – 8900
<i>Sky View Factor (*)</i>	*Grid (Raster)	Factor de cielo visible	Sin dimensiones	0 – 1
<i>Lat</i>	valor único	latitud	Grados decimales	-90 – 90
<i>Day</i>	valor único	Número de días	Sin dimensiones	0 – 366
<i>Time</i>	valor único	tiempo solar	horas decimales	0 – 24

Fuente: Elaboración propia (*) Parámetros opcionales

Como se detalla en el cuadro anterior, el único parámetro obligatorio para ejecutar este modelo es el parámetro de Elevación en archivo *Grid, que es un formato de almacenamiento de datos *raster que se diferencian en enteros y puntos flotantes. Los *Grids de tipo entero para representar datos discretos y *Grids de punto flotante para representar datos continuos, en este modelo el *Grid que utilizamos es de punto flotante.

Para generar el *Grid de tipo flotante se debe disponer las curvas de nivel del AMC en archivo *Shape File, seguidamente se procesan dentro del software SAGA para generar el archivo *Raster Grid de Elevación que permite construir el Modelo Digital del Terreno (MDT), conocido como una simulación 3D de una topografía de un área terrestre. De esta manera, se procede a generar los mapas básicos para el modelo.

Los otros parámetros son opcionales, en el caso de disponer la información de dichas variables se proceden a ejecutar los modelos para cada parámetro. En este caso solo se dispone la información (MDT) para estimar *Sky View Factor* (Factor de cielo visible), parámetro importante que representa los lugares que tienen obstrucción por la topografía que puede ser el resultado de la "auto-sombra" por la propia pendiente (sombreado) o de terreno adyacente y su medida se cuantifica con la relación entre la irradiancia difusa en un punto dado y la de una superficie horizontal sin obstrucciones. Este parámetro varía desde el valor 1 para la superficie del terreno completamente sin obstrucciones como superficies horizontales y paisajes planos o picos a el valor 0 para la superficie de tierra completamente obstruida, Dozier y Frew (1990).

Los otros parámetros son por defecto entre ellos se encuentra: la Constante Solar con 1367 W m², los 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 radiación global (Gt) para condiciones de cielo claro para una determinada área integrando los componentes directos (Gb) y difusas (Gd).

Generación de datos de entrada

Para la generación de datos de entrada se procedió a construir un archivo *grid de Elevación con las curvas de nivel del AMC en archivo *Shape File (ver figura III.7). Este archivo *raster fue utilizado como base para ejecutar internamente en el software los parámetros de entrada como *Sky View Factor* (Factor de cielo visible), tal como se observa a continuación:

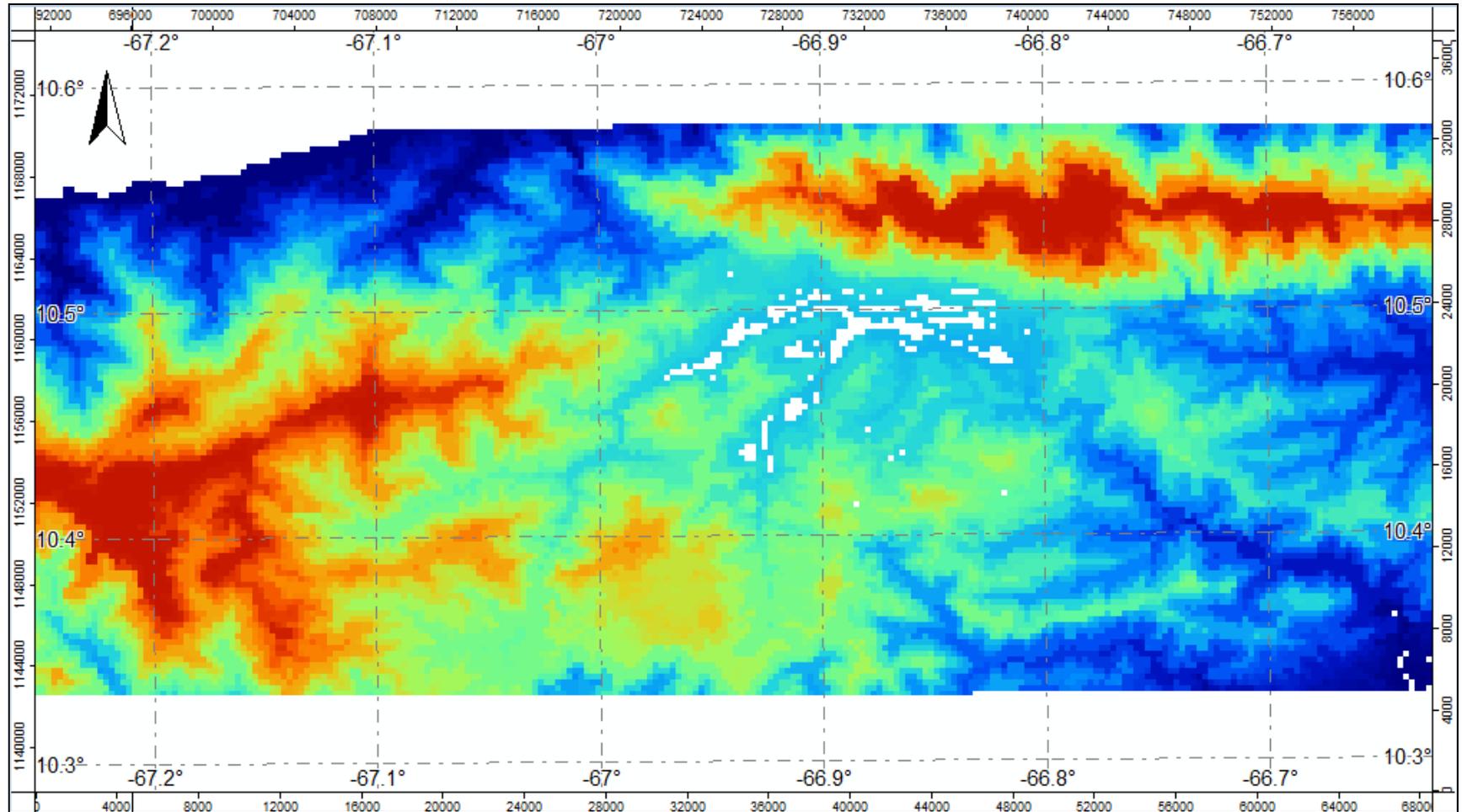


Figura III.7: Grid (Mapa de elevación) del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se generó *Sky View Factor*, este factor permitió analizar la exposición solar con vista del cielo en el AMC determinando las áreas con terreno sin obstrucciones como en el valle, los picos y topos, de tal forma que la radiación solar entrante en estos lugares correspondiente es de mayor cuantía (valor 1). En los lugares donde el valor desciende al valor cercano a 0 son los lugares que presentan las superficies obstruida como laderas muy cercanas entre sí, debido al resultado de las auto-sombras de la topografía adyacente y por ello la energía solar entrante de radiación disminuye paulatinamente. Ver figura III.8.

El resultado de la auto-sombra por la propia pendiente (sombreado) o de terreno adyacente, tiene un valor medio de 0,95, representando una gran extensión de superficie sin obstrucción; esto es debido a que las geoformas que dibujan el paisaje del urbano del AMC, no son tan abruptas y cercanas entre sí predominando un amplio valle y zonas planas. Las zonas obstruidas con poca visibilidad se pueden detallar en áreas muy abruptas con depresiones fluviales y encajadas como en las quebradas del Waraira Repano (Parque Nacional El Ávila).

Ahora bien, con todos los parámetros y datos de entrada preparados, se realizó la ejecución del modelo *Potential Incoming Solar Radiation* para un año, obteniendo como resultado los siguientes parámetros de salida.

Cuadro III. 2: Parámetros de salida en *Potential Incoming Solar Radiation*

Parametros	Descripción	Unidades
Direct Insolation	Insolación directa	kWh/m ²
Diffuse Insolation	Insolación difusa	kWh/m ²
Total Insolation	Insolación total equivale al número de horas Sol pico	kWh/m ²
Duration of Insolation	Duración de la insolación	Horas

Fuente: Elaboración propia.

Generación de datos de salida

El modelo *Potential Incoming Solar Radiation*, se ejecutó con dos (2) parámetros obligatorios, el mapa de elevación del terreno y un parámetro opcional *Sky View Factor*; posteriormente, se generó un mapa de insolación directa anual en un archivo *raster de rejillas en formato nativo de SAGA (*.sgrd), tal como se observa en la figura III.9; con una media de 4,92 kWh/m², predominando la influencia de los ángulos de iluminación, que incluye auto-sombreado por la propia pendiente.

En las laderas con orientación Norte y Noreste, con valores entre los 3 kWh/m² y las laderas con orientación Sur y Sureste, demuestran las máximas de radiación solar directa (insolación) con valores que sobrepasan los 4,5 kWh/m² (ver figura III.9).

Por otra parte, se obtuvo el mapa de insolación difusa anual (ver figura III.10), con una media de 0,75 kWh/m², indicando que la irradiancia está siendo obstruida principalmente por topografía local. Por lo tanto, se registran menores cantidades de radiación en las tierras bajas como, los valles encajonados y áreas abruptas donde fluyen las quebradas con 0,7 kWh/m²; en contraste, la mayor radiación difusa se obtiene en las áreas donde predominan las laderas, topes y filas con orientación Sur o Sureste con valores superiores a 1 kWh/m².

Es importante destacar que, tanto la insolación directa como la difusa la contienen la insolación total anual (ver figura III.11), que equivale al número de horas Sol pico; con un valor promedio para el AMC de 5,67 kWh/m² y una desviación standar de 0,28 kWh/m². En la figura III.12, se pudo analizar el histograma con la frecuencia de los valores en kWh/m por cada *pixels con un total 259.350 celdas en la imagen *raster generada. 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

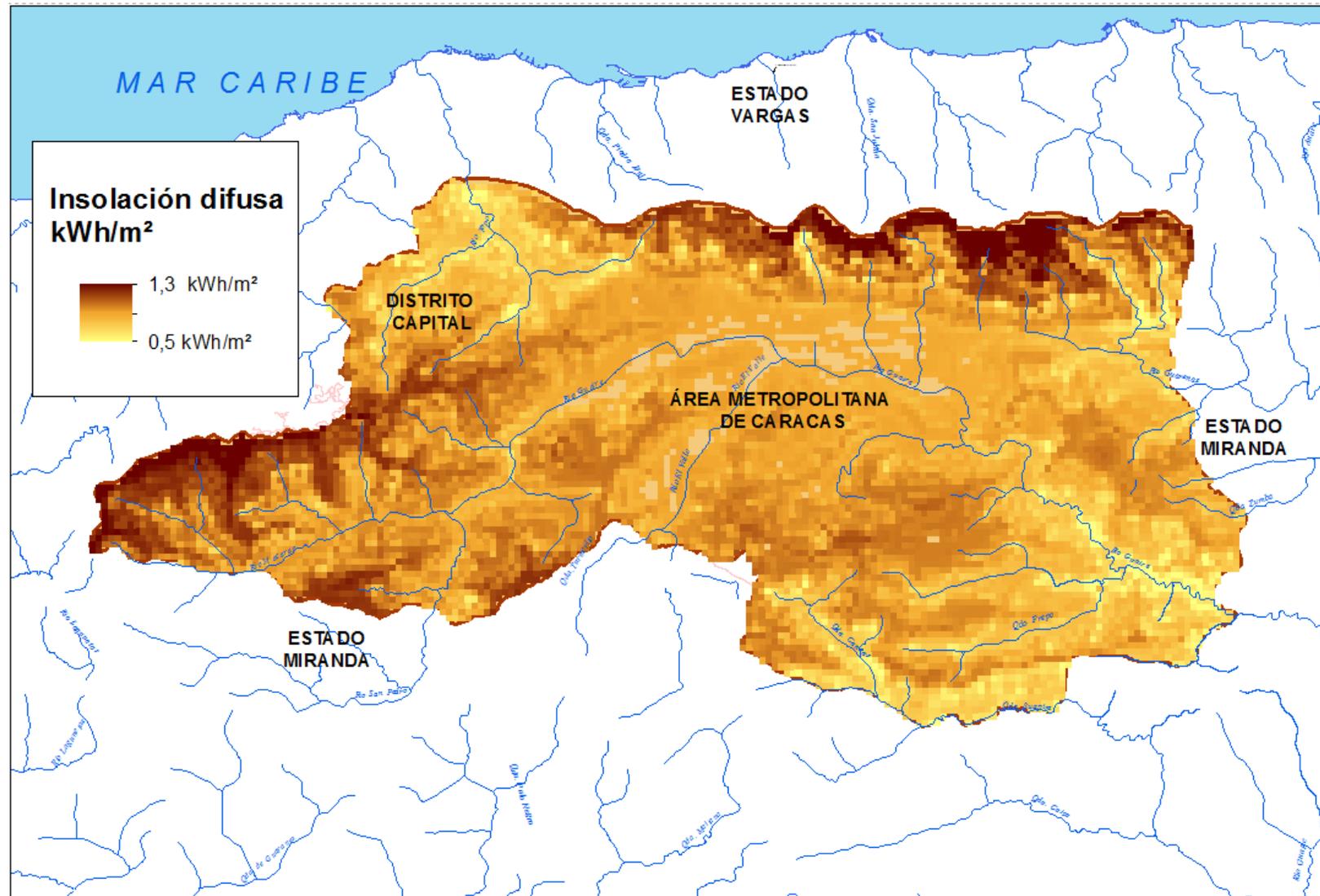


Figura III.10: Insolación difusa del AMC. Fuente: Elaboración propia.

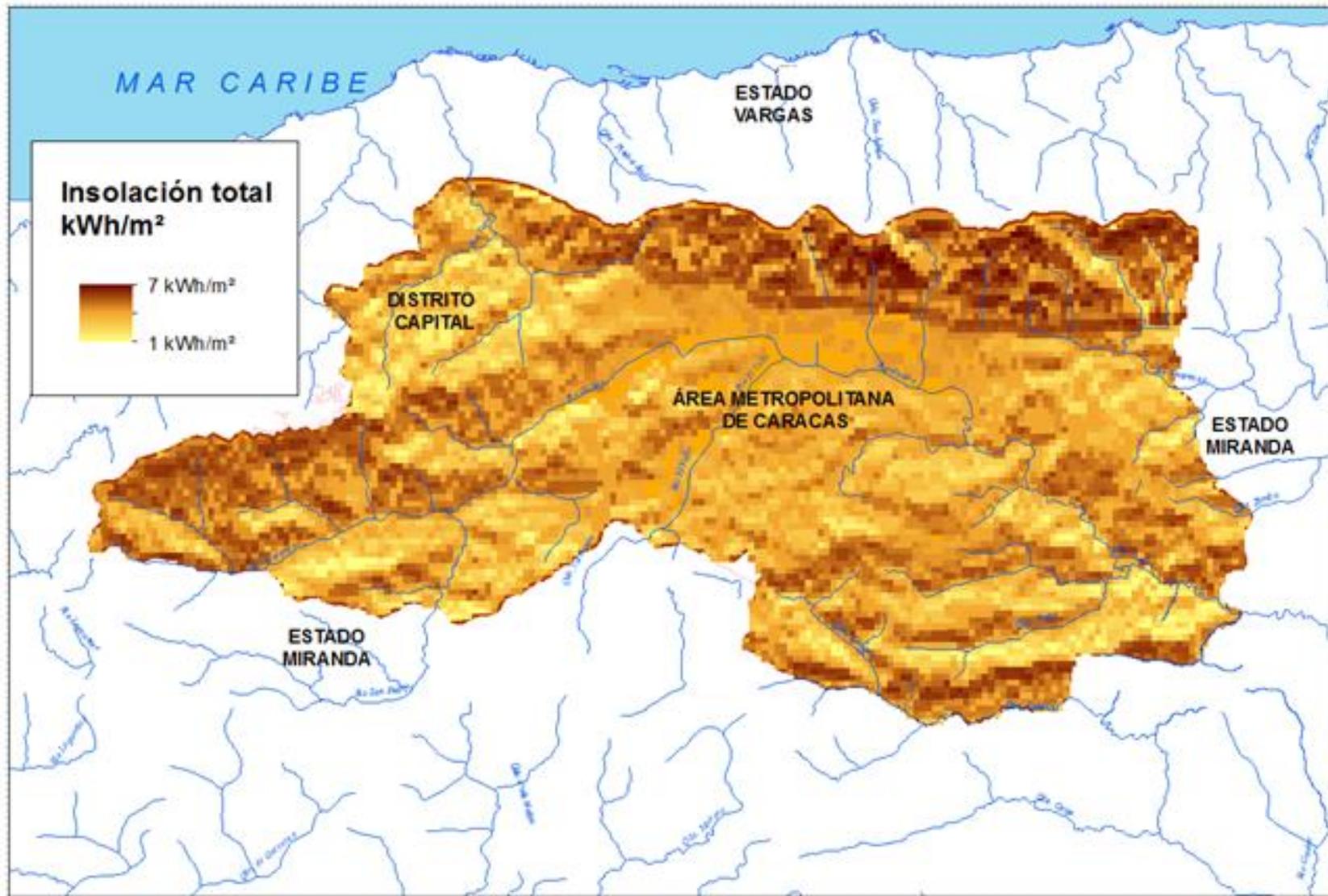


Figura III.11: Insolación total kWh/m² del AMC. Fuente: Elaboración propia.

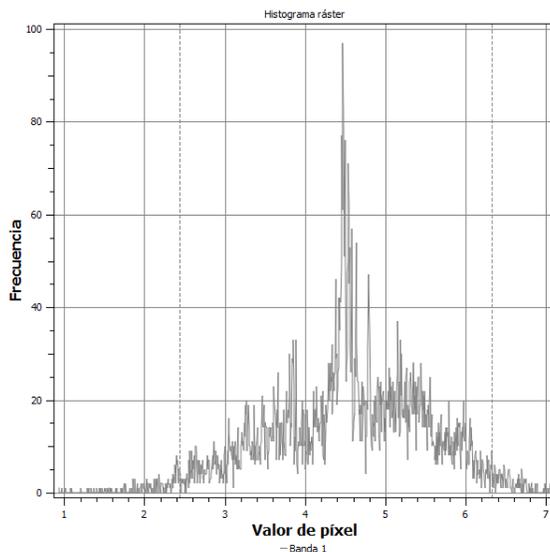


Figura III.12: Histograma de insolación total del AMC. Fuente: Elaboración propia.

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

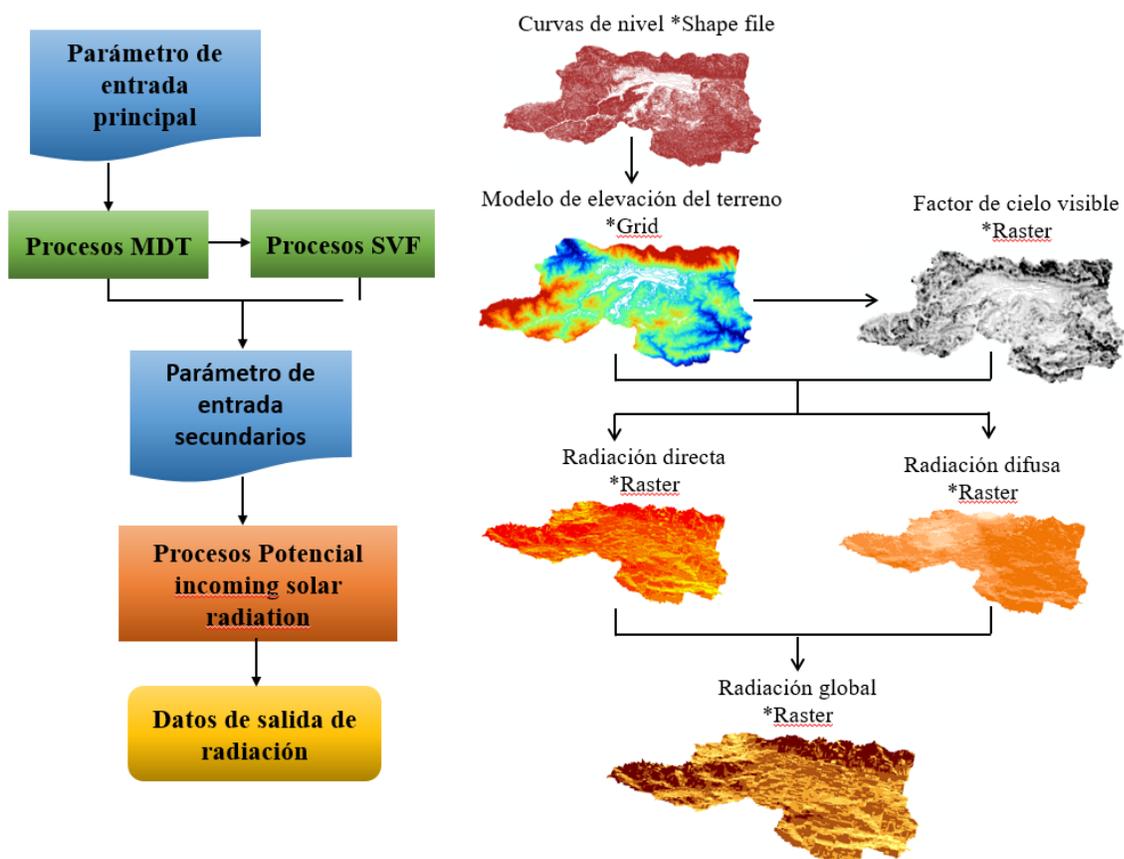


Figura III.13: Proceso para estimar la radiación directa, difusa y global anual del Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Esta información de radiación global anual permitió obtener la radiación total que recibe el AMC durante el año 2017, con valor medio de 2.072,93 kWh/m²; es decir, 5,67 kWh/m² por día. Sin embargo, este es un valor de referencia, en vista que en Venezuela no se dispone de periodos o estaciones con condiciones climáticas marcadas que puedan generar grandes diferencias significativas de radiación solar mensual. Por lo tanto, 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 III.3: Insolación promedio de radiación total mensual en una superficie horizontal año 2017

(kWh/m ² /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 arrojó un valor de 6,14 kWh/m², esta disparidad con el promedio anual de 5,67 kWh/m², es debido a que el modelo aplica el análisis y 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/m² entre los datos.

Análisis y comparación de los resultados

Una vez analizados los datos de radiación solar generados por el Modelo Potencial Incoming Solar Radiation de SAGA, se pretende realizar una comparación 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), este proyecto proporciona datos meteorológicos utilizando información de sistemas satelitales para aportar estimaciones de datos a largo plazo de los flujos de energía solar en regiones donde las mediciones sobre la superficie son muy escasas o inexistentes.

El SSE se basa en una cobertura de datos solares y meteorológicos, con una información de la cantidad media mensual de la radiación solar total incidente sobre una superficie horizontal en la superficie de la tierra para un mes determinado, promediado por un período de 22 años (julio de 1983 a junio de 2005). Cada valor promedio mensual se evalúa como el promedio numérico de los valores de 3 horas para el mes dado.

Sin embargo, estos datos son precisos, aunque globales y, en general, contiguos en hora; estas dos características importantes, tienden a generar archivos de datos muy grandes que pueden ser intimidantes para los usuarios comerciales, es decir, para una escala detallada representa datos muy gruesos y homogéneos. En el siguiente cuadro se puede observar los datos suministrados por SSE.

Cuadro III.4: Incidente de insolación promedio mensual en una superficie horizontal, 1983-2005.

(kWh/m ² /day)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	5,39	5,75	6,18	5,83	5,51	5,48	5,78	5,89	5,8	5,38	5,03	4,97

Fuente: Elaboración propia con base en NASA Surface meteorology and Solar Energy (2017).

El promedio general para los datos del SSE tiene un valor medio de 5,58 kWh/m², si se compara con el valor anual calculado por el modelo Potential Incoming Solar Radiation (5,68 kWh/m²), la diferencia es mínima. Por lo tanto, se procedió a determinar las diferencias de manera estadística, con los valores de las dos propuestas formuladas, tal como se establece en el siguiente gráfico:

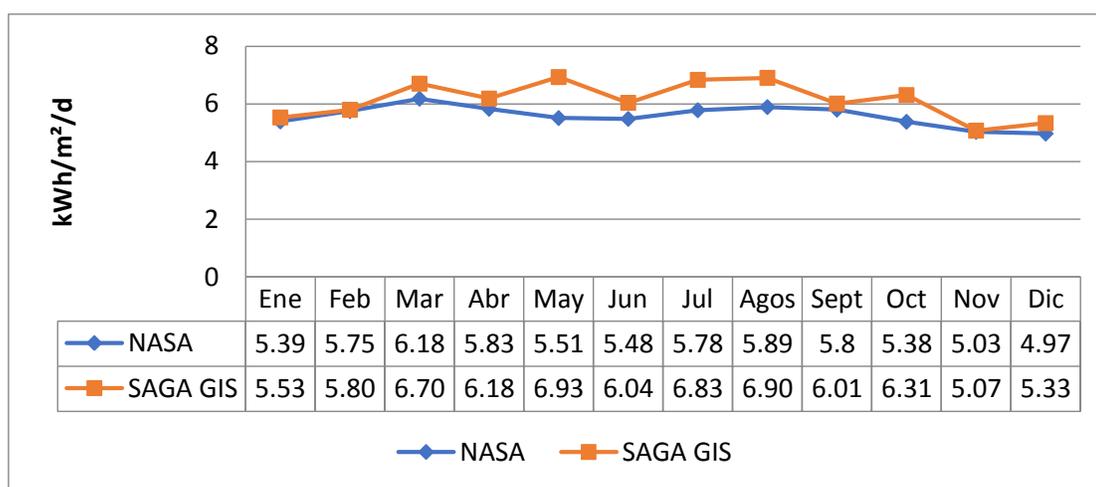


Gráfico III.1: Diferencias estadísticas de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base en NASA Surface meteorology and Solar Energy y Modelo Potential Incoming Solar Radiation, SAGA (2017).

Ahora bien, para determinar si existen diferencias entre los valores de obtenidos de la NASA, con respecto a los generados por el programa 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:

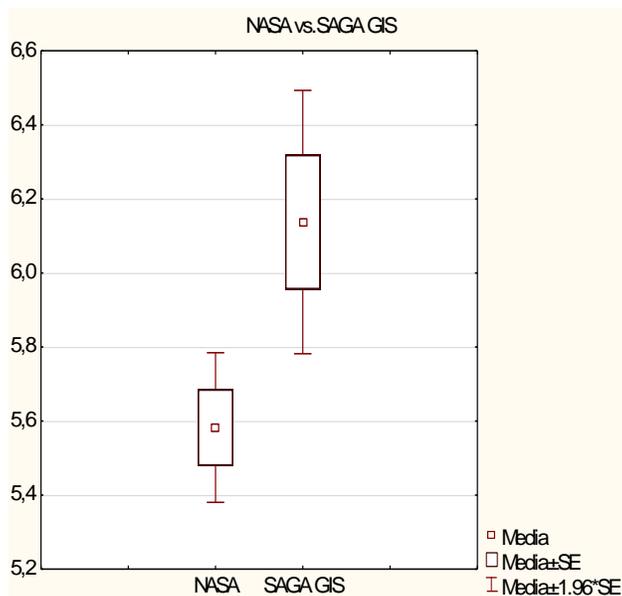


Figura III.14: Distribución T de student de los modelos NASA y SAGA GIS. Fuente: Elaboración propia con base en NASA Surface meteorology and Solar Energy y Modelo Potential Incoming Solar Radiation, SAGA, (2017).

En el gráfico anterior, se pudo apreciar 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 a que los datos de la NASA tienen un menor 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 y representa una gran ventaja de este tipo de técnicas, respecto a los métodos convencionales (estacionales analógicas, muestreo puntual o por transectas).

Por lo tanto, SAGA GIS permitió la posibilidad de cubrir grandes superficies y adicionalmente, integrar datos digitales y vectoriales en un sistema de información geográfica, siendo la razón fundamental en la escogencia de este modelo para la producción de los productos finales de este Trabajo de Grado.

3.4 Integración del mapa de radiación solar a la sectorización ambiental

Una vez ya calculado la radiación global anual del AMC, se procedió a generar un mapa de potencial solar detallado (ver mapa 5), obteniendo información espacial y estadística, delimitada por cada ladera, fila y topo, con un total de 4.987 sectores; en el caso de las laderas en el AMC se generó información de 4.630 sectores con valores de radiación para ladera, por cada mes del año y su cálculo anual, tal como se refleja en la siguiente figura.

SECTORIZACION_SOLAR_AMC														
Orientació	ENERO	FEBRER	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTIEMB	OCTUBR	NOVIEMBR	DICIEMBRE	ANUAL	
SW	3.54	3.68	4.21	3.83	4.25	3.69	4.18	4.26	3.75	3.98	3.23	3.42	4.74	
N	5.16	5.38	6.18	5.66	6.31	5.48	6.2	6.3	5.52	5.84	4.72	4.97	4.76	
NE	4.54	4.83	5.69	5.34	6.05	5.3	5.98	6	5.15	5.3	4.19	4.37	4.78	
NE	3.76	4.02	4.78	4.51	5.15	4.52	5.1	5.08	4.34	4.43	3.48	3.6	4.8	
NW	4.2	4.51	5.39	5.16	5.92	5.21	5.87	5.83	4.93	4.98	3.88	4.01	4.8	
S	5.22	5.31	5.9	5.19	5.61	4.8	5.47	5.69	5.16	5.68	4.73	5.08	4.8	
NW	4.15	4.71	6.11	6.44	7.85	7.06	7.89	7.54	5.81	5.36	3.94	3.93	4.83	
NW	4.48	4.89	5.99	5.91	6.92	6.14	6.89	6.75	5.55	5.45	4.17	4.27	4.87	
NW	4.81	5.1	6	5.6	6.34	5.54	6.26	6.28	5.41	5.59	4.43	4.62	4.92	
N	3.08	3.48	4.4	4.51	5.4	4.84	5.41	5.21	4.17	3.92	2.92	2.9	4.95	
S	5.21	5.32	5.95	5.3	5.77	4.96	5.65	5.84	5.24	5.71	4.72	5.05	4.98	
NW	3.44	3.84	4.85	4.98	5.94	5.29	5.94	5.76	4.58	4.32	3.24	3.27	4.99	
NE	4.81	5.07	5.93	5.52	6.23	5.44	6.15	6.18	5.35	5.55	4.42	4.62	5.01	
N	4.79	5.15	6.16	5.86	6.72	5.91	6.66	6.62	5.62	5.69	4.43	4.58	5.02	
SE	4.89	4.98	5.52	4.86	5.24	4.49	5.13	5.32	4.84	5.32	4.43	4.76	5.05	
NW	4.58	4.92	5.89	5.62	6.45	5.67	6.39	6.36	5.38	5.43	4.24	4.38	5.05	
S	6.48	6.45	6.9	5.76	5.99	5.05	5.8	6.19	5.88	6.8	5.82	6.36	5.06	
NW	4.86	5.24	6.31	6.03	6.93	6.11	6.88	6.82	5.77	5.8	4.51	4.64	5.06	
E	4.6	4.88	5.74	5.37	6.09	5.33	6.01	6.03	5.18	5.35	4.24	4.42	5.08	
E	6.24	6.57	7.66	7.1	8	6.98	7.89	7.95	6.9	7.18	5.74	6.01	5.08	
W	4.89	5.12	5.9	5.42	6.05	5.26	5.96	6.04	5.29	5.56	4.48	4.71	5.09	

Figura III.15: Valores de radiación para cada ladera por cada mes del año y su cálculo anual.

Fuente: Elaboración propia.

Para definir el valor para cada sector ambiental, se utilizó la herramienta estadísticas zonales, esta permite calcular diversos estadísticos para una o varias zonas previamente definidas, con base en los datos de una imagen *ráster, en este caso se utilizó la imagen de Radiación Global como dato de entrada y la capa de vectores *shape file de la Sectorización Ambiental del AMC.

La herramienta de estadísticas zonales analiza cada celda del*ráster, y devuelve el resultado en una tabla que contiene los valores estadísticos para una zona determinada definida por cada polígono delimitados por la capa de *shape file de la Sectorización Ambiental. Este proceso genera por resultado un valor de salida simple para cada polígono, es decir, la imagen *ráster genera información para cada uno de los 4.987 polígonos definidos, de acuerdo al tipo de datos de entrada que se pueden calcular son los siguientes:

1. Mayoría Máximo.
2. Valor medio Mediana.
3. Mínimo Minoría.
4. Rango Desviación estándar.
5. Suma Variedad

Por último, el valor estadístico tiene que ser relacionada con el identificador vinculante con la capa vectorial para unir la información al *shape file de la Sectorización Ambiental, se procedió a realizar una unión de la información con el proceso *join*, que permite unir dos tablas por medio de un identificativo común (ID). De esta manera, cada polígono o sector delimitado tiene información estadística, para efectos del Trabajo de Grado se tomó el valor medio como resultado final de radiación global en los sectores ambientales definidos. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este geoproceso de análisis espacial:

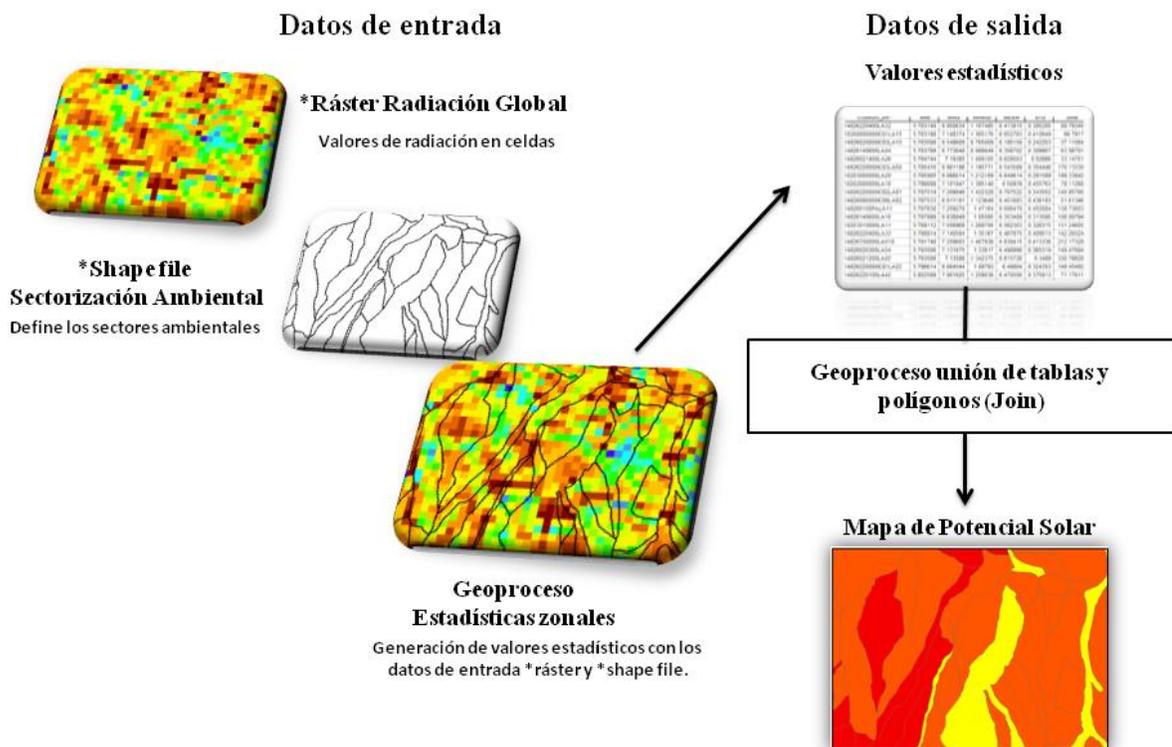


Figura III.16: Geoproceso de análisis espacial. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de este geoproceto estadístico, las superficies en su entorno natural como el Waraira Repano sin un desarrollo urbano tiene 62.024,82ha que representa el 79,86% del AMC; estas superficies reciben una alta insolación con un promedio de 6,2 kWh/m², esto es debido a que prácticamente no tienen obstrucciones artificiales y reciben una gran cantidad de radiación directa. Sin embargo, las áreas restantes del AMC que representa las áreas urbanizadas que se encuentran en la zona de valle, pero con menor insolación tienen un promedio de 4,88 kWh/m², donde la variable de turbidez atmosférica disminuye la radiación directa considerando la radiación difusa y reflectiva con una mayor incidencia.

Finalmente, con esta información detallada a un nivel de escala manejable para entornos urbanos y ambientales, el mapa resultante de potencial solar (Mapa 5), demuestra el comportamiento natural según la posición del Sol, la orientación de las laderas, su exposición y horas de insolación para sintetizar las horas pico Sol que se generan en cada sector ambiental del AMC. Aunque no existen diferencias marcadas en los valores de radiación solar en cuanto al entorno geográfico de la ciudad, por estar situada en una región tropical del globo terráqueo con excelentes niveles de radiación, es importante conocer estos valores de forma detallada para tener datos manejables para el cálculo de infraestructuras para el aprovechamiento de energía solar y poder implementar, diseñar e instalar las mismas; así como también, tener datos a la mano para la planificación y elaboración de propuestas para una transición energética de la ciudad, este tema será abordado en el siguiente capítulo.

*CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN DE REDES Y DISTRITOS
SOLARES URBANOS COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN
TERRITORIAL SOSTENIBLE*

CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN DE DISTRITOS SOLARES URBANOS COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE

Los Distritos Solares Urbanos pueden contribuir a reducir los riesgos que enfrenta el sector energético, disminuyendo la vulnerabilidad energética y dependencia a un sistema de energía con mayor resiliencia. Así como también, crean sistemas energéticos eficientes, sostenibles y diversificados, contribuyendo de manera significativa al desarrollo socioeconómico sin sacrificar la seguridad y la prosperidad futuras en pos de ganancias a corto plazo. En consecuencia, esto representa numerosos beneficios: 1- Autosuficiencia energética debido a la producción local y el consumo local de energía solar (beneficio ambiental), una ciudad sustentable; 2- 100 % de uso de energías renovables (energía solar generada en el distrito), beneficiando además al ambiente; 3- Posibilidad de suministrar energía incluso cuando el suministro energético de la red principal se halla interrumpido (circuitos designados); 4. Igualar el suministro energético dentro del distrito (beneficio social)

En términos generales, esta es una visión urbana pospetróleo, algunas de las recomendaciones presentadas ya son realidad en varias ciudades del mundo moderno que pretenden alinearse con las exigencias y las nuevas tecnologías, como también con una conciencia energética o ambiental y por los elevados costos de los combustibles fósiles o por la escasez de recursos. Sin embargo, el modelo que se presenta pretende servir de guía para adaptar los sistemas urbanos a las nuevas condiciones energéticas y ambientales, aunque debe hacerse a través de políticas concretas, con instrumentos legales, con esquemas de financiamiento y fiscalización.

Por lo tanto, la necesidad de contar con servicios descentralizados y de comenzar a visualizar a las ciudades como ciudades sustentables, permite repensar y comenzar a generar elementos que contribuyen entre otras, en la disminución de dependencia de una única fuente energética. Por lo tanto, es necesario la determinación de los sectores aprovechables para la generación de electricidad en el Área Metropolitana de Caracas, mediante la vinculación e interrelación de las variables físico-naturales con los aspectos socioeconómicos que conforman un entorno determinado; a través del cual se identifican las zonas con mayor o menor potencial, que corresponden posteriormente a la creación de los Distritos Solares Urbanos.

4.1 Distritos solares urbanos como herramienta de gestión territorial sostenible

Consideraciones generales

Antes de considerar la gestión del territorio, es importante precisar que dependiendo de la forma de aprovechar la radiación que llega del Sol se distinguen dos tipos de energía solar: 1- Energía Solar Fotovoltaica: La radiación solar se utiliza exclusivamente para generar corriente eléctrica a través de paneles fotovoltaicos; 2- Energía Solar Térmica: La radiación solar se utiliza fundamentalmente para obtener calor por medio de colectores solares, aunque también puede generarse electricidad a partir de vapor, su aplicación más generalizada es complementar la producción de agua caliente sanitaria o calefacción.

Estas formas de aprovechamiento no tienen nada que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación, por lo que son tratadas separadamente, en función del objetivo previsto en este Trabajo de Grado se trabajó específicamente con la Energía Solar Fotovoltaica, aunque los valores aportados en el mapa de radiación solar son de igual consulta para la energía solar térmica.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del Sol en energía eléctrica. En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos: 1- Instalaciones aisladas de la red eléctrica, en donde la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda; 2- Instalaciones conectadas a la red eléctrica, en donde están las centrales fotovoltaicas, en las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica, 3- Los sistemas fotovoltaicos híbrido en edificios o industrias, conectados a la red eléctrica, en los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica.

Por otra parte, los módulos fotovoltaicos utilizados en estos casos son los mismos que los empleados para instalaciones aisladas de la red; la diferencia fundamental radica en los tipos de convertidores utilizados; además, las instalaciones conectadas a la red no incluyen baterías a menos que estén instaladas para planes de contingencia, prevención y administración de desastres (ver figura IV.1).

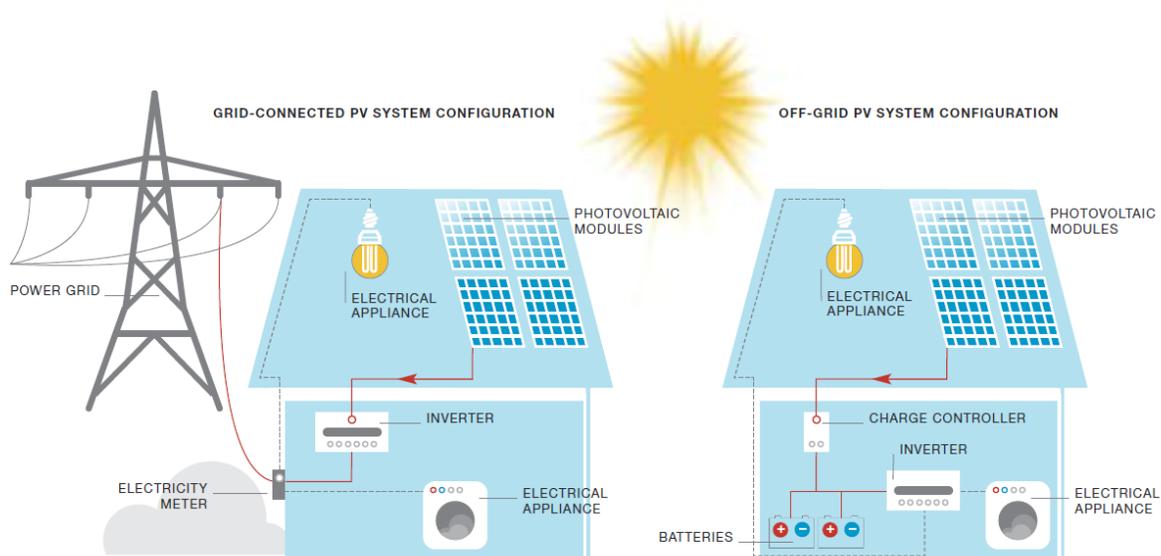


Figura IV.1: Sistemas conectados a la red y sistema aislado. Fuente: EPIA, 2011.

En cuanto a la relación de las aplicaciones conectadas a la red en edificios, el hecho más significativo es el desarrollo de un tipo de módulos solares con diferentes grados de transparencia, que pueden ser integrados en fachadas y cubiertas de edificios y que generan energía eléctrica, tal como se observa en la siguiente figura:



Figura IV.2: Hospital Provincial del Huasco en Chile con un sistema de energía solar fotovoltaico conectado a la red. Fuente: EPIA, 2011.

Una vez conocida el sistema y la tecnología a niveles generales se pretende a continuación determinar los Distritos Solares y elaborar propuestas energéticas con miras a una gestión del territorio de manera sustentable.

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

Para la identificación de los sectores aprovechables para la generación de electricidad en el Área Metropolitana de Caracas, principalmente se tomaron los macrosectores descritos en el Capítulo II por presentar una distribución espacial y delimitación urbana ya específica a estudios posteriores que permite ser adaptada a esta investigación, seguidamente se evaluaron distintos elementos y factores determinantes, a través de la integración y síntesis de la información que permitió determinar las interrelaciones existentes; por lo que fue necesario ponderar las variables que conforman a la Matriz Geográfica (Anexo IV.1); recordando que cada una de estas variables fueron definidas y descritas en los capítulos anteriores.

Cuadro IV.1: Ponderación de las variables a utilizar en la matriz geográfica

Radiación global anual (kWh/m²/a)	30 (%)
< 204,46	7,50
205,46 - 409,93	15,00
410,93 - 615,39	22,50
> 616,39	30,00
Superficie de los techos (m²)	20 (%)
< 982.804,74	5,00
982.805,74 - 1.965.610,48	10,00
1.965.611,48 - 2.948.416,22	15,00
> 2.948.417,22	20,00
Demanda Energética (MWh/a)	15 (%)
< 212.003,41	3,75
212.004,41- 424.007,82	7,50
424.008,82- 636.012,23	11,25
> 848.016,64	15,00
Oferta Energética (MWh/m²/a)	15 (%)
< 243.425,16	3,75
243.426,16- 486.851,33	7,50
486.852,33- 730.277,50	11,25
> 973.703,67	15,00
Tipos de vialidad (n)	12 (%)
Carretera	3,00
Calle	6,00
Avenida	9,00
Autopista	12,00
Equipamientos (n)	8 (%)
<2	2,00
3-4	4,00
4-5	6,00
>6	8,00

Fuente: Elaboración propia.

Observando que el mayor porcentaje corresponde a la radiación global anual con un 30%, seguido de superficie de techos 20%, demanda energética 15%, oferta energética 15%, tipo de vialidad 12% y equipamientos 8%, sumando un total de 100%. Es importante destacar que, la objetivación que fundamenta la ponderación de las variables se basa en lo siguiente:

- Mientras mayor sea el valor de la radiación global por metro cuadrado ($\text{kWh/m}^2/\text{a}$) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.
- Mientras mayor sea la cantidad de metros cuadrado de la superficie de los techos (m^2) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.
- Mientras mayor sea el valor de la demanda energética (MWh/hab) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.
- Mientras mayor sea el valor de la oferta energética ($\text{MWh}/\text{m}^2/\text{a}$) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.
- Mientras de mayor categoría tengan los tipos de vialidad (carretera, calle, avenida, autopista) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.
- Mientras de mayor cantidad de equipamientos (centros de salud, educativo, centros comerciales, gubernamental, hoteles, industrial, bombero, bombero, protección civil) de los macrosectores, mayor será el porcentaje de ponderación.

Es por ello que, se procederá a continuación a analizar la ponderación de cada una de las variables que fueron usadas y que permiten tener una mejor comprensión de los criterios utilizados:

Radiación Global Anual tiene una ponderación de 30%, debido a que el objetivo del Trabajo de Grado se está considerando la energía solar como la fuente principal para la generación de electricidad, está dividida en cuatro rangos que son: 1- Para aquellos macrosectores que tienen una radiación global anual por metro cuadrado $< 204,46 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ se le asignó 7,50 del porcentaje. 2- Para aquellos macrosectores que tienen una radiación global anual por metro cuadrado entre 205,46 a 409,93 $\text{kWh/m}^2/\text{a}$ se le asignó 15,00 del porcentaje. 3- Aquellos

macrosectores que tienen una radiación global anual por metro cuadrado entre 410,93 a 615,39 kWh/m²/a se le asignó 22,50 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen una radiación global anual por metro cuadrado > 616,39 se le asignó 30% del porcentaje.

Debido a que la radiación en el Área Metropolitana de Caracas es superior a los 1.948 Kwh/m²/anual los sistemas solares tendrán una eficiencia superior al 75%, (IDEA, 2006), por ello todos los macrosectores tienen el máximo porcentaje (30%).

Superficie de techos tiene una ponderación de 20%, está dividida en cuatro rangos que son: 1- Para aquellos macrosectores que tienen una superficie de techos por metro cuadrado < 982.804,74 m² se le asignó 5,00 del porcentaje. 2- Para aquellos macrosectores que tienen una superficie de techos por metro cuadrado entre 982.805,74 a 1.965.610,48 m² se le asignó 10,00 del porcentaje. 3- Aquellos macrosectores que tienen una superficie de techos por metro cuadrado entre 1.965.611,48 a 2.948.416,22 m² se le asignó 15,00 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen una superficie de techos por metro cuadrado > 2.948.417,22 m² se le asignó 20% del porcentaje.

Los macrosectores con mayor cantidad de superficie de techos son Catia, Casco Central y Petare, estos macrosectores tienen una alta densidad de viviendas, sin embargo, aunque tienen el máximo valor, no todas las superficies son aptas y presentan dificultades técnicas en su mayoría para un sistema solar híbrido, de igual modo aplica este criterio para todos los sectores, por lo tanto, se debe hacer un estudio una vez seleccionados los lugares para calcular la superficie útil, disponible y efectiva. En la siguiente figura se muestra la distribución de la superficie de techos del AMC:

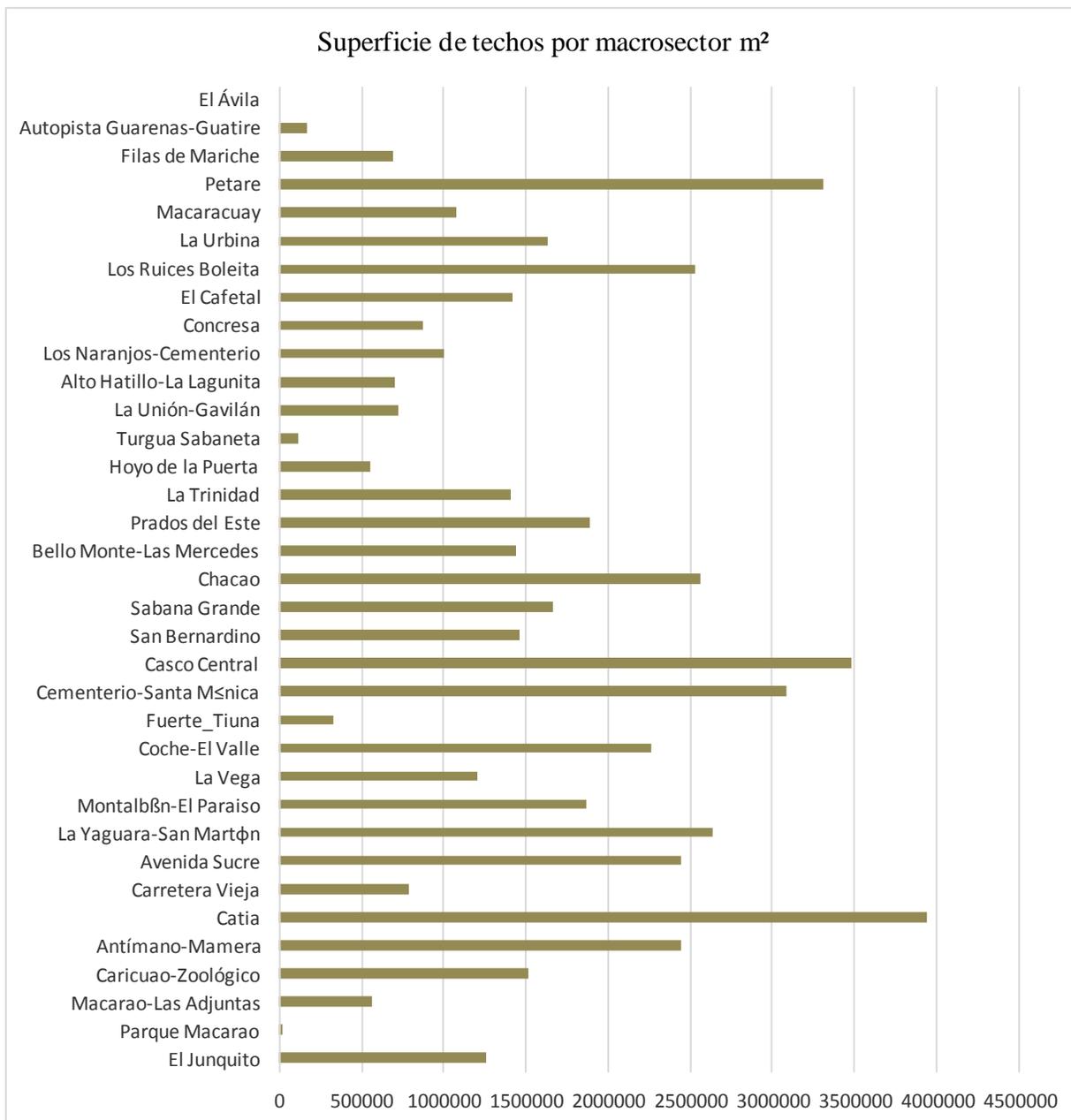


Gráfico IV.1: Superficie de techos m² en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia con información digital del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Funvisis, 2009.

Demanda energética tiene una ponderación de 15%, está dividida en cuatro rangos que son:

- 1- Para aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual de < 212.003,41 megavatio-hora MWh/hab/a se le asignó 3,75 del porcentaje.
- 2- Para aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual entre 212.004,41 a 424.007,82 MWh/hab/a se le asignó

7,50 del porcentaje. 3- Aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual entre 424.007,82 a 636.012,23 MWh/hab/a a se le asignó 11,25 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen una demanda energética anual > 636.013,23 MWh/hab/a se le asignó 20% del porcentaje.

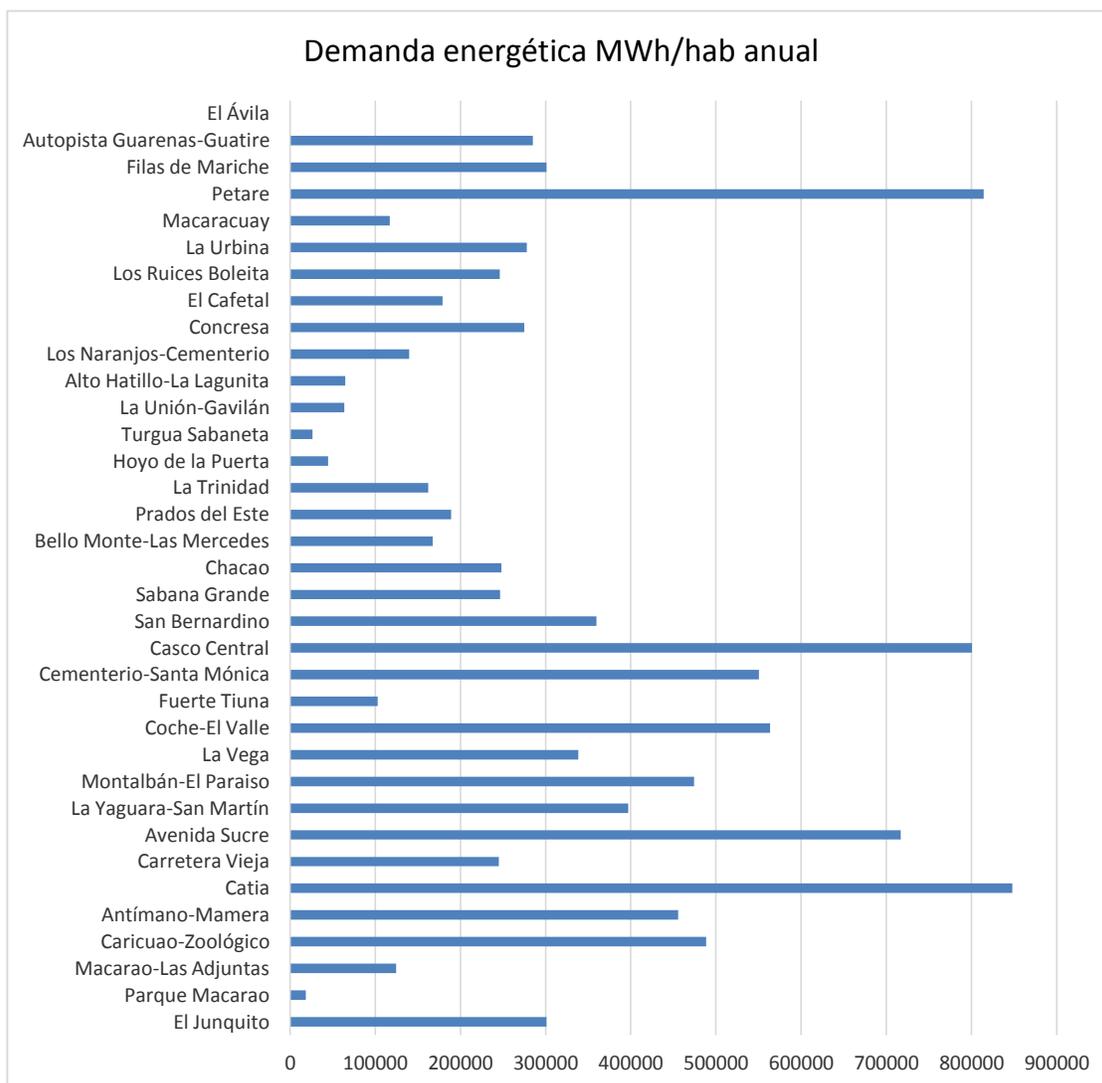


Gráfico IV.2: Demanda energética MWh/hab/a el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia

La demanda energética del AMC como se señaló en el Capítulo II la lidera el municipio Libertador, de igual manera se observa que los macrosectores que están ubicados en ese

municipio como Catia demanda un 7,98% con 848.018,63 MWh/hab/a y el Casco Central demandan un 7,54% con 800.526,29 MWh/hab/a. El macrosector Petare del municipio Sucre en la segunda posición demanda 7.67% con 814.355,77 MWh/hab/a; es decir se refleja la demanda según la población por cada macrosector.

Oferta energética tiene una ponderación de 15%, está dividida en cuatro rangos que son: 1- Para aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual de < 243.425,17 MWh/m²/a se le asignó 3,75 del porcentaje. 2- Para aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual entre 243.426,17 a 486.851,33MWh/m²/a se le asignó 7,50 del porcentaje. 3- Aquellos macrosectores que tienen una demanda energética anual entre 486.852,33 a 730.277,50 MWh/m²/a se le asignó 11,25 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen una demanda energética anual > 973.703,67 MWh/m²/a se le asignó 20% del porcentaje.

En un sistema fotovoltaico conectado a la red, la energía total anual producida para cada tecnología de módulos fotovoltaicos en una superficie determinada se calcula con la fórmula de (Wiginton, Nguyen y Pearce, 2010):

$$E = I_{md} * 365 * e * A_{pv} * PR$$

E = Energía anual.

I_{md} = Media diaria de la irradiación solar global (kWh/m²día).

e = Eficiencia de los módulos fotovoltaicos.

APV = Superficie de tejado disponible.

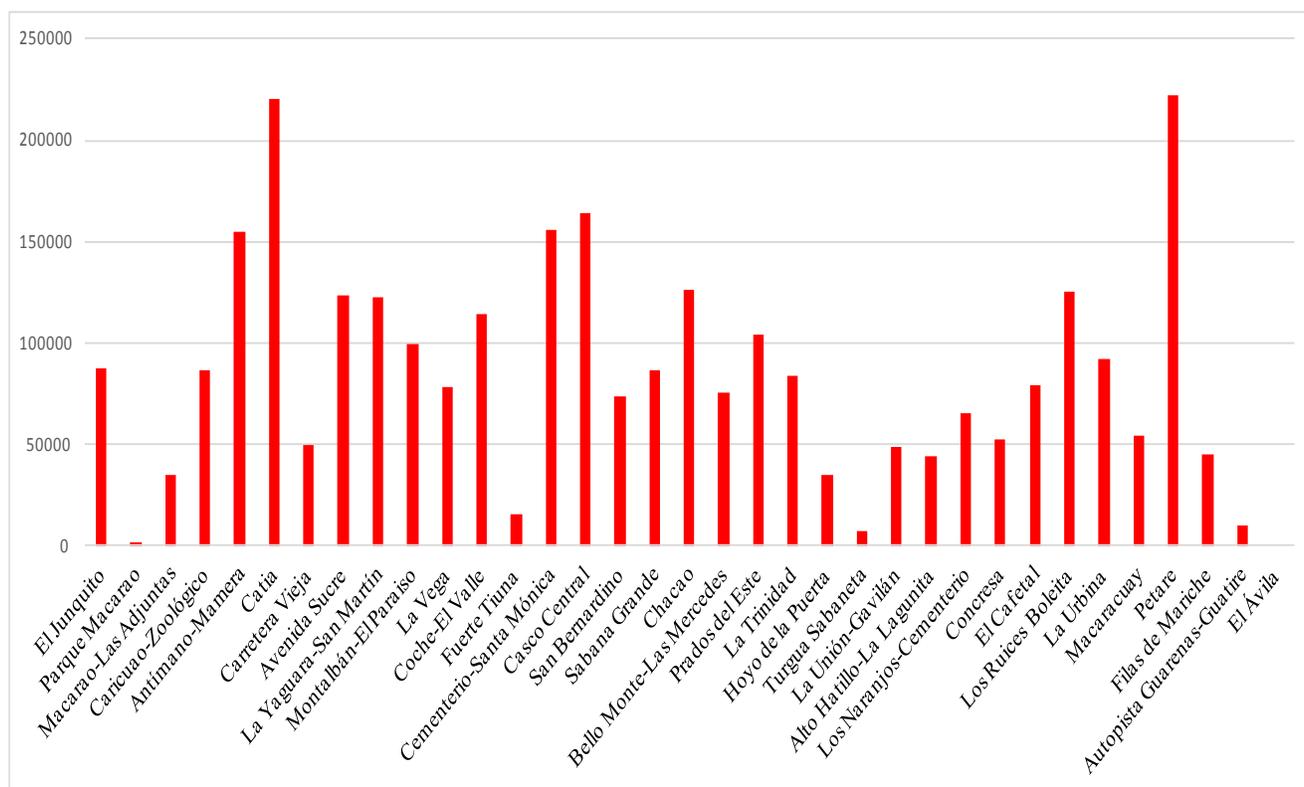
PR= Performance Ratio

La eficiencia de los módulos fotovoltaicos se estimó con el modelo de cristal de silicio-monocristalino con 16%, (0,16), este es el más usado en el mercado en cuanto eficiencia y tecnología. En la Tabla IV.I se puede observar los diferentes módulos y su eficiencia. Además de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, hay un coeficiente que evalúa la calidad de una instalación fotovoltaica independientemente de la inclinación y orientación de los módulos y “Performance Ratio” (PR), este coeficiente tiene un valor por defecto 80% (0,8) incluye factores como las pérdidas por la dependencia de la temperatura, la eficiencia del cableado, pérdidas por presencia de suciedad en la instalación, eficiencia energética del inversor u otros.

Cuadro IV.2: Eficiencia de los módulos fotovoltaicos.

TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS		EFICIENCIA
Cristal de silicio	Si-monocristalino	16%
	Si-multicristalino	15%
Lámina delgada	CIS (cobre/Indio/Seleniuro)	11%
	Te Cd (Teluro/Cadmio)	10,5%
	Silicio amorfo	6%

Fuente: Elaboración propia con base en Ávila, 2014.



esta información arrojada requerirá un análisis para evaluar si estas viviendas con estos sistemas pueden satisfacer la demanda de energía eléctrica de la población y poder inyectar excedentes a la red tradicional. Ver el siguiente gráfico:

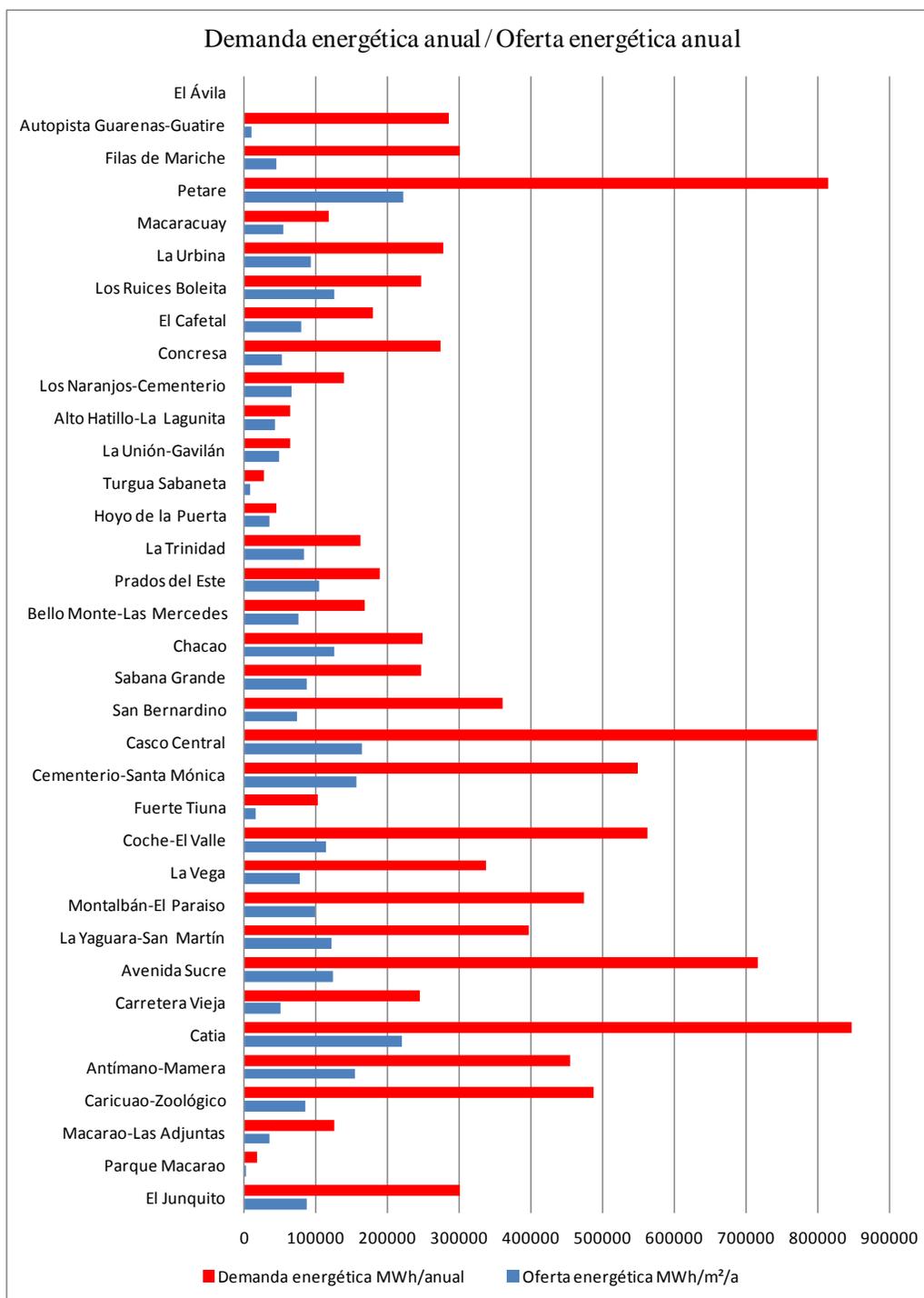


Gráfico IV.4: Oferta energética MWh/m²/a y demanda MWh/hab/ en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

Los datos y la gráfica permiten señalar que solo el 37,14% de los macrosectores podrán autosatisfacer sus necesidades con solo energía solar si los captadores de energía en los techos

llegan a trabajar al 100%, esto demuestra, 1- Que el consumo per cápita por habitante es muy alto. 2- Que es necesario un sistema híbrido conectado a la red. 3- Que se necesita una gran extensión de territorio dentro o fuera del AMC si se plantea una instalación generadora de energía solar fotovoltaica o térmica para poder suministrar una gran cantidad de energía a la metrópoli.

Tipos de vialidad tiene una ponderación de 12%, está dividida en cuatro rangos que son: 1- Para aquellos macrosectores que tienen vialidad de tipo carretera se le asignó 3,00 del porcentaje. 2- Para aquellos macrosectores que tienen vialidad de tipo calle se le asignó 6,00 del porcentaje. 3- Aquellos macrosectores que tienen vialidad de tipo avenida se le asignó 9,00 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen vialidad de tipo autopista se le asignó 12,00 del porcentaje. En el AMC lo cubren las cuatro (4) tipologías en un 71,42%, es decir hay un alto predominio de cobertura vial y en 27 de los 35 sectores se emplaza parte de una Autopista como la tipología más alta.

Equipamientos tiene una ponderación de 8%, está dividida en cuatro rangos que son: 1- Para aquellos macrosectores que tienen < 2 se le asignó 2,00 del porcentaje. 2- Para aquellos macrosectores que tienen 3 - 4 se le asignó 4,00 del porcentaje. 3- Aquellos macrosectores que tienen entre 5 – 6 se le asignó 6,00 del porcentaje. 4- Los macrosectores que tienen > 6 se le asignó 8,00 del porcentaje.

Esta ponderación no toma la cantidad de equipamientos en un macrosector sino la presencia de ellos, sin embargo no se encuentran diferencias en los cálculos, donde el Casco Central tiene todos los equipamientos con más de 84 instalaciones, verificando su importancia en el AMC como centro neurálgico de la ciudad factor económico, político y cultura, siguiéndole el macrosector Chacao con 51, superando al Casco Central en Centros Comerciales, dentro de ellos se destacan El Sambil y el CCCT que demandan una gran cantidad de energía para sus operaciones, les sigue el Cementerio-Santa Mónica con 48 instalaciones o equipamientos con numerosos centros de salud y centros educativos y Los Ruices-Boleita con 34 con una alta cantidad de centros de educación. En el siguiente gráfico se puede detallar la comparación entre macrosectores y su cantidad de equipamientos y servicios.

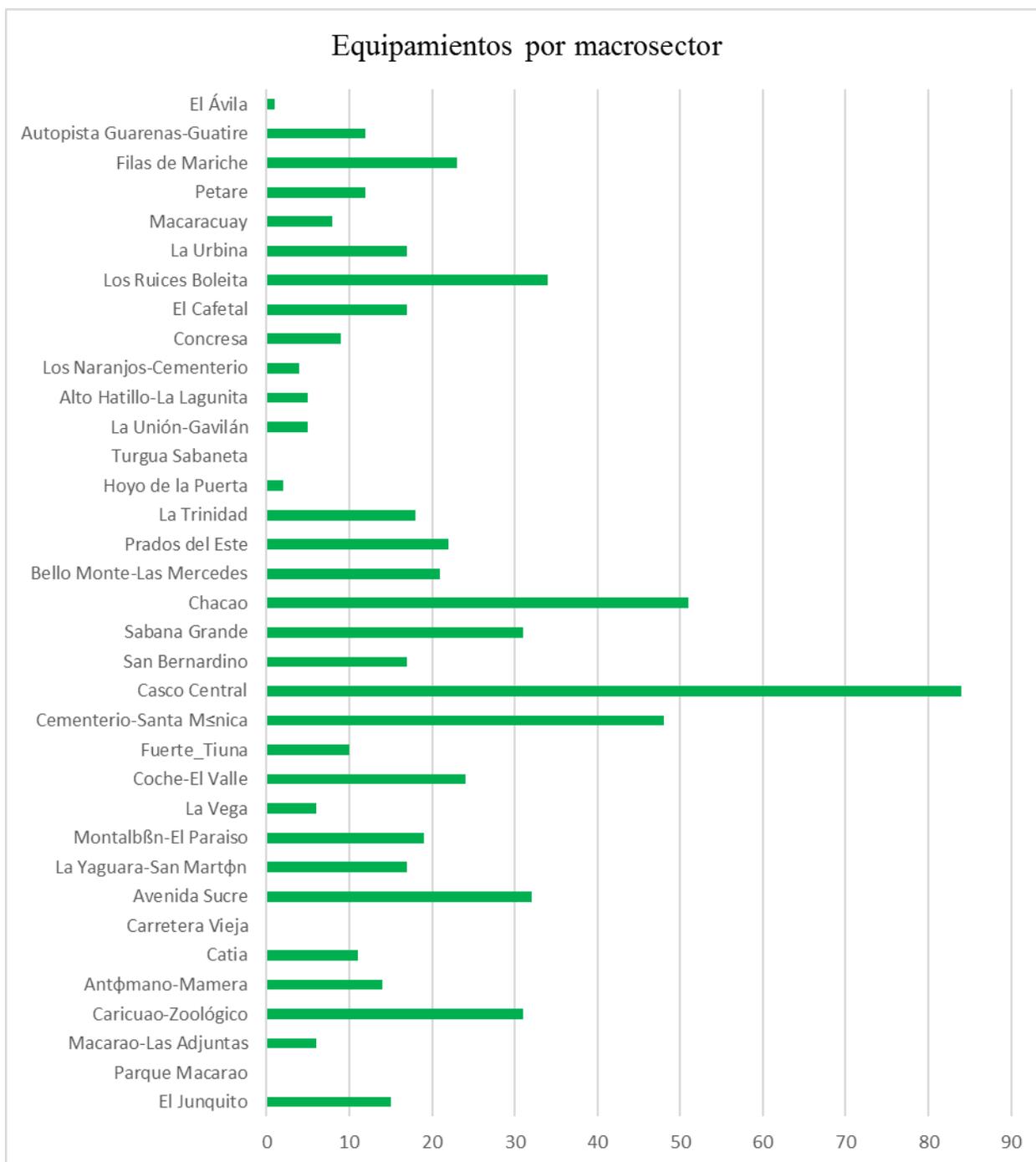


Gráfico IV.5: Equipamientos por macrosector en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, una vez definidos los criterios utilizados en el llenado de la matriz geográfica (Anexo IV.1) de esta investigación, se procedió a determinar los distritos solares del Área

Metropolitana de Caracas; de esta manera, se pudo sectorizar el área de estudio con el fin de determinar cuáles eran los más aprovechables, factibles para generar electricidad mediante el uso de energía solar (ver mapa 6). Destacando que, en un distrito solar se instalan los diversos equipos específicos para cada equipamiento o servicio seleccionado, 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 Área Metropolitana de Caracas, se interconectaría a la red de energía eléctrica tradicional proveniente de termoeléctricas y la central Hidroeléctrica El Guri..

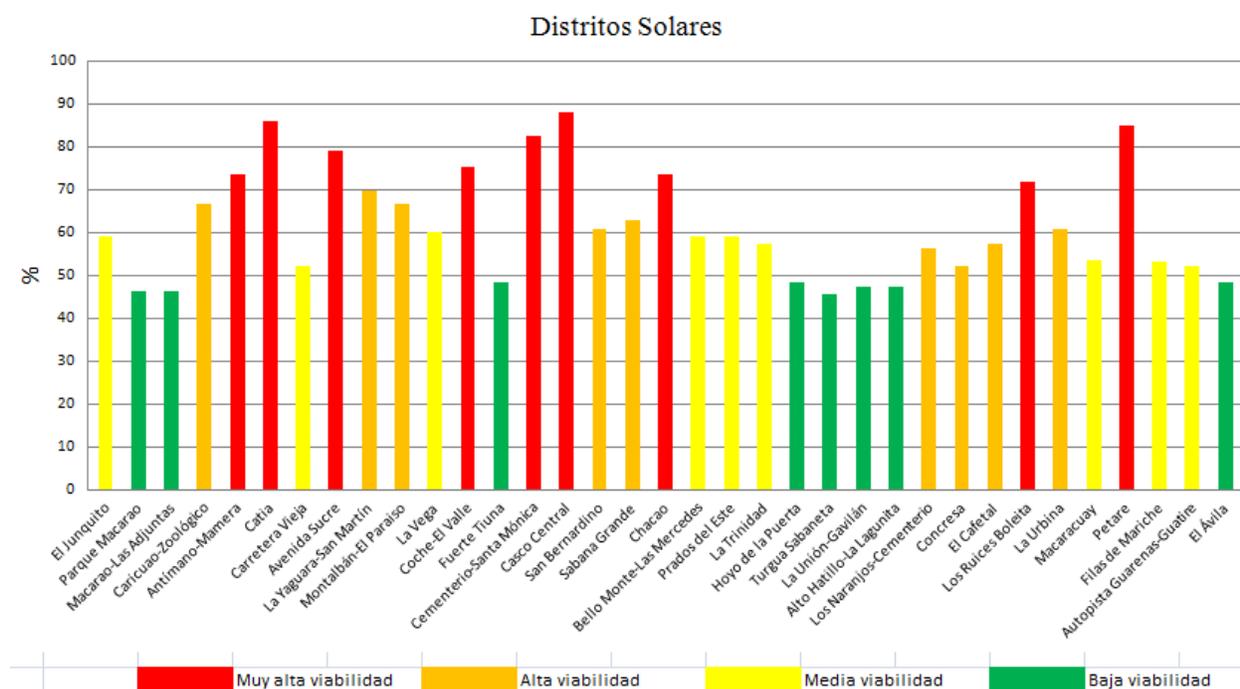


Gráfico IV.6: Distritos solares y su viabilidad en el Área Metropolitana de Caracas. Fuente: Elaboración propia.

La matriz arroja los resultados en una base de datos con información espacial, que corresponde a las áreas viables para la instalación de sistemas solares con relación al desarrollo energético territorial, en el cual se muestra de manera más específica y detallada, los distritos viables para la inversión en sistemas solares en el mapa 6, favoreciendo la transición hacia un nuevo modelo energético diverso y sostenible.

Para el AMC, el aprovechamiento de la energía solar es viable en toda el área y en cualquier época del año, pero se debe tener criterios para favorecer la posibilidad de realizar inversiones de

sistemas conectados a la red y pueda prestar mayores beneficios a la ciudad en términos ambientales, económicos y sociales. El método realizado ayuda a definir aquellas zonas del territorio que reúnan las mejores condiciones y utilización de estas energías, denominadas áreas con disponibilidad real idóneas para una transición energética y de esta manera establecer un orden de prioridad para el desarrollo de los distritos seleccionados y puedan adaptarse a las nuevas tecnologías, porque el sistema actual necesita modificaciones y puedan estar conectadas a una red híbrida.

Como se observa en el mapa 6 de los Distritos Solares Urbanos del Área Metropolitana de Caracas, que es un territorio competitivo con muy alta demanda y buena oferta energética, en términos urbanos tienen vitalidad importante y equipamientos significativos a escala local, regional y nacional; así pues de esta manera, se puede afrontar la competencia del mercado y garantizar al mismo tiempo la viabilidad medioambiental, económica, social y política, donde se pueden aplicar análisis lógicos del uso del espacio y esta competitividad territorial orienta el sentido de las transformaciones del territorio.

En este orden los Distritos con muy alta viabilidad son

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

El Distrito con mayor puntuación corresponde al Casco Central de la ciudad donde se encuentra las instituciones importantes del estado, centros de salud, educación, hoteles y cuerpo de bomberos. Ver figura 3 y 4.

El Casco Central y su red vial principal Av. Bolívar cuenta con un sistema de iluminación de energía solar fotovoltaica, pero también representa un sistema poco eficiente en cuanto a costos, beneficios y mantenimiento, debido al sistema que fue instalado es para áreas aisladas y no un sistema conectado a la red. La idea central es, tener menos puntos débiles y contar con áreas en los techos para instalar celdas fotovoltaicas e inyectarlos a la red tradicional, si se trata de alumbrado público se plantea un centro de acumulación de energía para suministrar la energía eléctrica en las horas de la noche.



— Límite del Distrito Solar Urbano

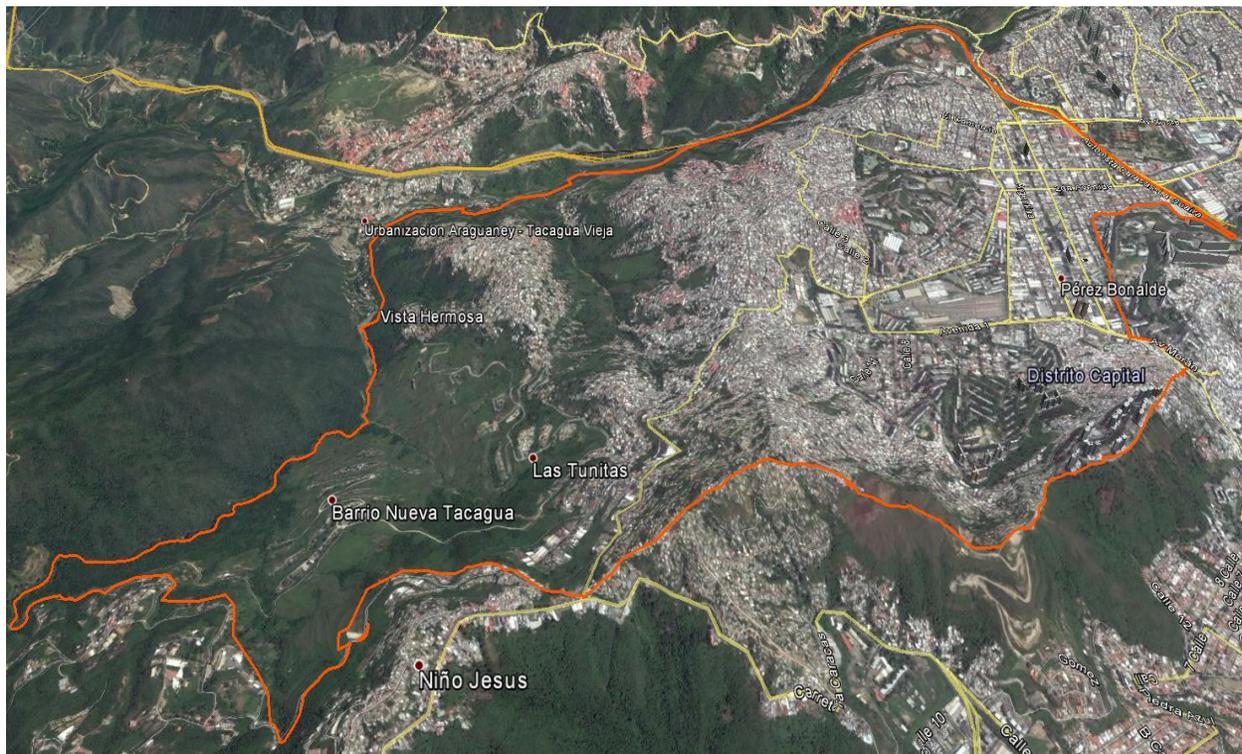
Figura IV.3: Distrito Solar Casco Central. Fuente: Google Earth.



Figura IV.4: Distrito Solar vista 3D Casco Central. Fuente: Google Earth.

De esta manera, la energía almacenada en acumuladores fluye cuando la ciudad sufre una baja de energía eléctrica tradicional durante las emergencias debido a que son vulnerables en particular los relacionados con los desastres o evento extraordinarios, lo que podría traducirse en semanas o meses sin energía, paralizaría las actividades de socorro y provocaría retrasos en la recuperación, en cambio estas líneas de distribución pueden continuar suministrando energía a equipamientos y servicios fundamentales para la atención de este tipo de eventos. Así, se maximizará el uso de la energía solar y se suministrará energía de la red a circuitos designados (hospitales, bomberos, escuelas, centros gubernamentales, autopistas y avenidas principales, cargadores de teléfonos celulares, etc.).

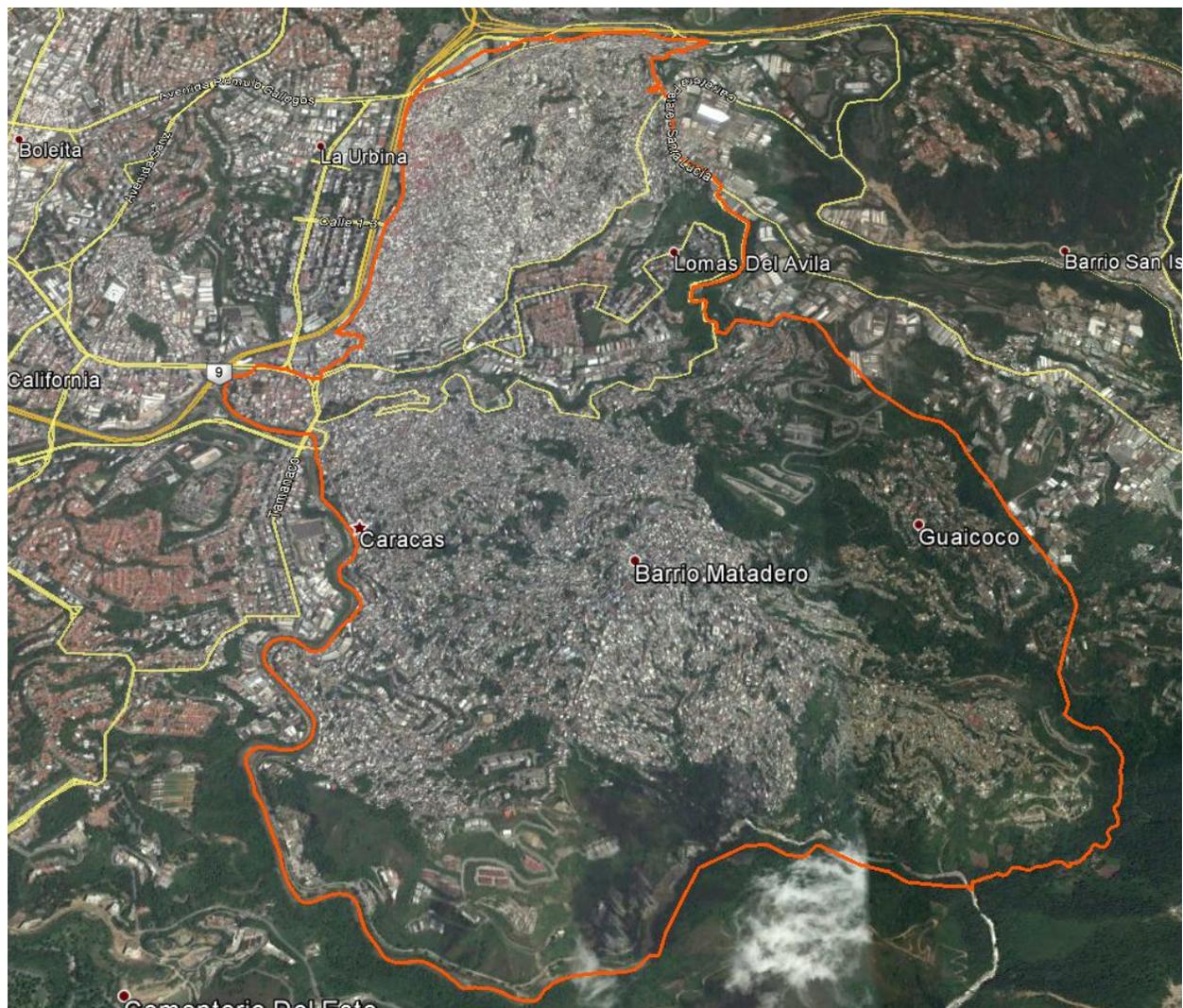
En el caso de las zonas populares de Caracas, como antes fue descrito, presentan una gran densidad de población que las coloca como los macrosectores de mayor consumo per cápita del Área Metropolitana de Caracas, sin embargo, no cuentan con un urbanismo que favorezca a una fácil transición sin una transformación y cambios en el urbanismo. que sin duda ayudarían a la inclusión social y prestaría grandes beneficios a la población.



— Límite del Distrito Solar Urbano

Figura IV.5: Distrito Solar Catia. Fuente: Google Earth.

El Distrito Catia y Petare como se puede observar en las imágenes, presentan diferencias en cuanto a su distribución urbana, Catia tiene mayor cobertura vial y su configuración urbana es mixta en cuanto a edificaciones y zonas de barrios, en cuanto Petare su conformación es casi en su totalidad barriadas y las políticas para cada una de ellas deben ser dirigidas de forma diferente.

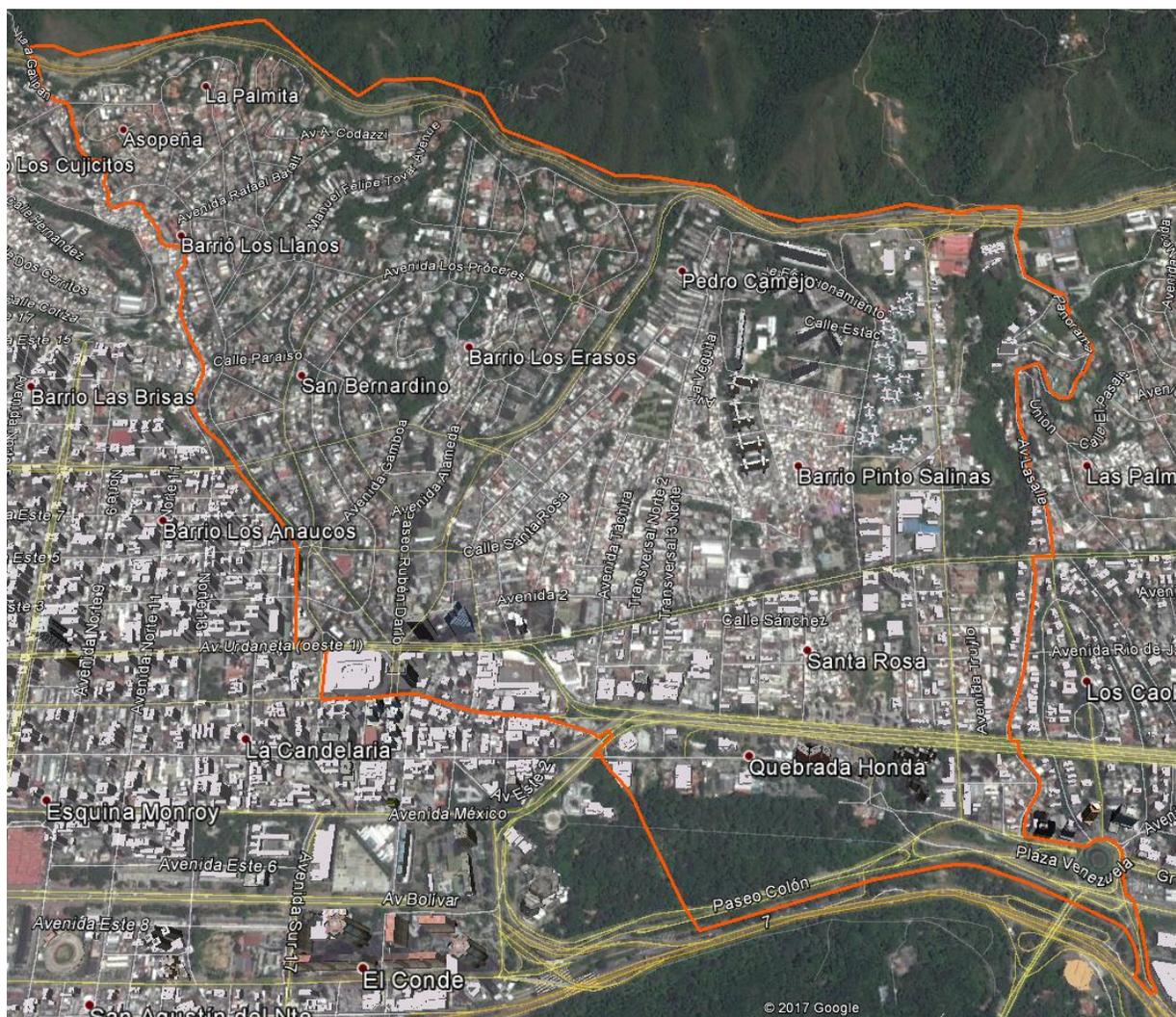


— Límite del Distrito Solar Urbano

Figura IV.6: Distrito Solar Petare. Fuente: Google Earth.

El Distrito Solar Chacao, es uno de los más importantes por su gran cantidad de servicios y donde se albergan los principales centros financieros, los hoteles más lujosos de la ciudad y los centros comerciales más importantes. Por su morfografía urbana y tipología es uno de los más viables para el diseño de estas propuestas.

En el Distrito San Bernardino se emplaza una clase media comercial con importantes edificios y oficinas gubernamentales como centros financieros. San Bernardino tiene varios espacios públicos como la Plaza Urdaneta, Plaza Candelaria, el centro cultural de la Plaza de los Museos y el Parque Los Caobos. También cuenta con una gran variedad de centros de salud importantes destacando el "Hospital de Clínicas Caracas" cerca de la Comandancia General de la Armada y las oficinas centrales del Ministerio de Energía Eléctrica. Debido al tipo de equipamientos de salud que tiene el Distrito resulta de interés este tipo de propuestas para la implementación de energía solar con respaldo a la red.



— Límite del Distrito Solar Urbano

Figura IV.9: Distrito Solar San Bernardino. Fuente: Google Earth.

Por su parte, los Distritos con media viabilidad son: Carretera Vieja, Concreta, Autopista Guarenas-Guatire, Filas de Mariche, Macaracuay, Los Naranjos-Cementerio, El Cafetal, La Trinidad, El Junquito, Bello Monte-Las Mercedes, Prados del Este y La Vega. Dentro de estos Distritos podemos destacar el Distrito Bello Monte-Las Mercedes, estas urbanizaciones son mayoritariamente comercial y empresarial, resaltando los centros comerciales Paseo Las Mercedes y El Tolón, Sus principales vías de acceso son la Autopista Francisco Fajardo, Autopista Prado del Este, Avenida Río de Janeiro y la Avenida Principal de Las Mercedes; también se sitúan múltiples colegios, academias, hoteles como el Intercontinental Tamanaco y como espacio público la Plaza Alfredo Sadel,



Figura IV.10: Distrito Solar Bello Monte-Las Mercedes. Fuente: Google Earth.

atractivas para incluir este tipo de tecnologías en ciertas localidades. Un ejemplo de estos Distritos es Alto Hatillo-La Lagunita.

Este Distrito tiene baja densidad poblacional, pero esta se caracteriza por ser de estratos altos y medios, los desarrollos de las urbanizaciones de este sector tienen un potencial para generar propuestas residenciales de energía solar en conjunto al alumbrado público. En el conjunto de equipamientos tiene diversos centros de educaciones como varios centros comerciales y se localiza ubica una de las principales canchas de golf del país (Lagunita Country Club).



Figura IV.12. Distrito Solar Alto Hatillo-La Lagunita. Fuente: Google Earth.

Gestión territorial sostenible del área metropolitana de Caracas

Con una representación espacial de los Distritos Solares Urbanos se generaron unas propuestas descritas en el mapa 7, de esta manera se favorece al análisis y a la toma de decisiones en cuanto al ordenamiento territorial como técnica administrativa; mediante el cual se podrán generar nuevas políticas de ordenamiento territorial sostenible, en donde deben estar implicadas todas aquellas instituciones que integren dichas políticas. La finalidad es, encontrar una lógica de innovación y cooperación con otros Distritos Solares que puedan formarse, y así diversificar el sistema eléctrico y comenzar a funcionar como una red inteligente.

Conclusiones y recomendaciones

La energía sin duda es trascendental en el mundo, y es necesario para el desarrollo económico y social de las ciudades, es un elemento único, universal, transversal y común que ejerce la dinámica de todas las cosas, motivo por el cual requiere ser estudiada con detalle, manejada y planificada debido a que casi toda la energía como los combustibles fósiles que mueven el mundo urbano es finita. Sin embargo, el Sol es un recurso infinito una ventana de cada día llena de posibilidades con solo pocos estudios y grandes avances científicos, tecnológicos y de ingeniería que han logrado una mínima parte de su aprovechamiento.

En esta investigación se abordó una serie de relaciones con los elementos que componen el Área Metropolitana de Caracas, físicos y socioeconómicos que tienen una dinámica que modelan el comportamiento de la ciudad. El estudio de estas variables permitió comprender como es la distribución espacial y como inciden la radiación solar en una morfografía como la del AMC, con 62.024,82 ha que representa el 79,86% de las unidades morfográficas de laderas, topes y filas y unos 15.638,61 ha refiriendo al restante 20,14% correspondiente a las áreas planas, terrazas y valles.

Una ciudad con una morfografía con gran cantidad de laderas requiere un estudio de observación detallada por el comportamiento de sombras y obstrucciones topográficas, ya que hay horas específicas de radiación según la orientación de estas laderas ocurriendo la dinámica de horas de solana y umbría. El resultado de este análisis tomando la consideración de la ubicación espacial del AMC con relación a la Tierra y su hemisferio, es que la incidencia de los rayos solares y la mejor ubicación para aprovechamiento del recurso solar es la orientación Sur y su potencial solar no se ve influenciado por estaciones marcadas como en otras latitudes; 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/m²/año.

Además, se estableció la dinámica del AMC en cuanto a su morfografía y sus relaciones socioeconómicas, por lo que fue necesario comprender las especificaciones técnicas del recurso Sol para poder desarrollar los procedimientos y mecanismos necesarios para ejecutar el modelo de estimación de radiación solar del software SAGA; estos resultados fueron satisfactorios en cuanto la cantidad de información manejable con los Sistemas de Información Gráfica.

Sin embargo, el manejo de la información generada por el software SAGA es más detallada y manejable, incluso se puede diferenciar la radiación por laderas ubicando las laderas con orientación Sur como las más expuestas a radiación solar. Así mismo, la libre manipulación de estos datos permitió hacer un procedimiento geoestadístico, y adaptarlo a la Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas arrojando un total de 4.987 sectores con información de radiación solar mensual y anual y se elaboro un mapa de potencial solar.

Con estos resultados se procedió a realizar la matriz geográfica para determinar por medio de los macrosectores del AMC cuales tienen mayor potencial en cuanto a oferta, demanda, población, vialidad, superficie de techos, equipamientos y con los resultados de este análisis se definió los Distritos Solares Urbanos. El resultado de esta matriz dio a conocer a los Distritos Los Ruices Boleita, Antímano-Mamera, Chacao, Coche-El Valle, Avenida Sucre, Cementerio-Santa Mónica, Petare, Catia y el Casco Central los de mayor viabilidad para su conformación; estos distritos se diferenciaron en cuanto a las necesidades y potencialidades, en ellos se elaboran una serie de propuestas para la implementación de la energía solar fotovoltaica como sistemas híbridos conectados a la red tradicional.

La inserción de esta tecnología y la elaboración de las propuestas tuvieron como idea fundamental preparar a la ciudad a la transición energética y el pronto manejo acertado de la energía solar, estas propuestas tienen un enfoque general de la gestión del recurso solar; ya que la implementación a nivel técnico debe ser procesada por un estudio de ingeniería, a nivel conceptual de diseño y detalle para la ejecución del proyecto. Es decir, la evaluación del potencial solar, así como las condiciones particulares de la ordenación territorial en las zonas donde se emprenderán las inversiones, constituyen elementos claves como parte del proceso de preinversión y los estudios de prefactibilidad, en función de brindar los argumentos e información necesaria en el proceso de toma de decisiones para trazar una estrategia en el desarrollo de las redes y los Distritos Solares Urbanos.

Los Distritos Solares Urbanos, pueden contribuir a la gestión territorial sostenible del Área Metropolitana de Caracas por sus características y delimitación espacial, ya que cada una tiene un potencial y un enfoque diferente se pueden conocer y administrar de forma eficiente los recursos y proyectos de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones tanto técnicas como económicas.

Se recomienda que, el Estado cree las bases legales y reglamentos para poder iniciar estos tipos de proyectos, como también un gran interés a nivel político; sin estas bases que sustente las energías renovables, no se podrá iniciar a elaborar proyectos que enrumben al país a diversificar su matriz energética.

En cuanto a la colocación de energía fotovoltaica en áreas urbanas, se requiere un detallado análisis multicriterio de una gran cantidad de variables asociadas a entidades espaciales y no cabe duda de que los Sistemas de Información Geográfica responden adecuadamente a las necesidades de este tipo de estudios; estos pueden ayudar a fomentar el mercado de las energías renovables, además de impulsar las políticas que faciliten el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas.

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.

Del mismo modo se deben realizar estudios detallados para la evaluación de los sitios o edificaciones con mayor potencial en los macrosectores para conocer sus condiciones y si cumplen con las normas o requisitos técnicos para el soporte y desarrollo eficiente para la captación y aprovechamiento de la energía solar.

Finalmente, el resultado de este Trabajo de Grado deja 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 y aporte 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 mínimos para obtener resultados satisfactorios para la implementación de Distritos Solares Urbanos o la elaboración de un mapa de radiación solar.

Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental (2012). *Energía Solar en la Ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.
- Agencia Internacional de Energía (AIE), (2014). Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014_ESSpanish.pdf [Recuperado 2016, Septiembre 25].
- Alcaldía Metropolitana de Caracas, (2015). Proyecto de Sectorización Ambiental del Área Metropolitana de Caracas. Desarrollado por Arborea Consultores Ambientales para la Gerencia de Ambiente.
- Barrantes Vásquez, E., Escalante Rodríguez, E. & Hernández Vindas, A. (2013). *Propuesta de Sustitución a Nivel Nacional de Plantas Generadoras de Electricidad con base en Combustible Fósil*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciado en Ingeniería Eléctrica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería.
- Batty, M., & Marshall, S. (2009). *Centenary Paper The Evolution of Cities: Geddes, Abercrombie and The New Physicalism*. *Town Planning Review*, 80(6), 551-574. <http://online.liverpooluniversitypress.co.uk/doi/abs/10.3828/tpr.2009.12> Recuperado 2016, Septiembre 2016.
- Blasco, G. (22, julio de 2017). Estimación de la radiación solar. Calculationsolar. Recuperado de: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2#>
- Boehner, J., Antonic, O. (2009): Land Surface Parameters Specific to Topo-Climatology. in Hengl, T. & Reuter, H.I. [Eds.]: *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications*.
- Bosque, J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Rialp. S.A.
- Bloomberg New Energy Finance, 2015. Recuperado: https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar.

BP Statistical Review of World Energy (2015). *BP Statistical Review of World Energy June 2015*. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf> [Recuperado 2016, Agosto 15].

Cepal (2009), La economía del cambio climático en América Latina y El Caribe, Síntesis 2009.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999, 30 de diciembre). Gaceta Oficial de la República, N° 36.860. [Extraordinaria], Marzo 24, 2000.

Cordova K. (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.

Corpoelec (2016) Disponible en: <http://www.corpoelec.gob.ve/generaci%C3%B3n> [Recuperado 2016, Julio 10].

Delgado, J. (1996). Determinación del Riesgo Geográfico en Barrios emplazados en vertientes. En "La Cuestión de los Barrios". Monte Ávila Editores Latinoamericana.

Dozier J.; J. Frew, 1990: Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital terrain data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 28,963-969

Energy Technology Perspectives (ETP) 2016. Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf. [Recuperado 2016, Noviembre 15].

European Photovoltaic Industry Association (EPIA), 2011. Solar Generation 6. Solar photovoltaic electricity empowering the World. EPIA.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE. Photovoltaics Report (2016). Disponible en: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> [Recuperado 2016, Noviembre 05].

Guimarães, S. Mapeamento do potencial solar em ambiente urbano, Universidade de Lisboa, 2014.

Huang S., & Chen C., (2005). *Theory of Urban Energetics and Mechanisms of Urban Development*". Revista Ecological Modelling. N° 189.

Huellasolar, (2012). Disponible en: <http://www.huellasolar.com/> [Recuperado 2016, Julio 23].

Hurlimann, 2004. Morphological and geological aspects related to large slope failures on oceanic islands The huge La Orotava landslides on Tenerife, Canary Islands.

IPCC (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf [Recuperado 2016, Julio 08]. IPCC (2014). *El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica? Resumen ejecutivo.*

Jeju SGTB. 2012a. Smart Grid Overview. <http://smartgrid.jeju.go.kr/eng/contents/index.php>,
Jeju smart grid test bed.

Ley Orgánica del Ambiente. (2006, 22 de diciembre). Gaceta Oficial N° 5.833 [Extraordinaria], Diciembre 22, 2006.

Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. (2001, 16 de agosto). Gaceta Oficial N° 5.568 [Extraordinaria], Diciembre 31, 2001.

León, J. (2009): El Ambiente: Paradigma del Nuevo Milenio. Caracas, Venezuela. Editorial Alfa. Revista Nueva Sociedad, Nro. 75, 23-32. Recuperado de: http://nuso.org/media/articles/downloads/1225_1.pdf

López Cózar, J. (2006). Manuales de Energía Renovables. Energía Solar Térmica. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). Madrid- España, octubre 2006.

Mapdwell. (2015). Work with the sun. Disponible en: <https://www.mapdwell.com/es/company> [Recuperado 2016, Junio 09].

- Marteló, M.T. (2003). La Precipitación en Venezuela y su Relación con el Cambio Climático. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología-Dirección de Cuencas Hidrográficas del MARN.
- Martins, F.; Pereira, E.; Echer, M. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física vol.26 no.2 São Paulo 2004.
- Massiris, A., 2005: Fundamentos conceptuales y metodológicos del ordenamiento territorio. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Editorial Jotamar Ltda..122 pp
- Mendez Muñiz, J., Cuervo García, R., Energía Solar Fotovoltaica. FC Editorial. 2007
- Menéndez Pérez, E. (2001). Energías Renovables, Sustentabilidad y Creación de Empleo. Una Economía Impulsada por El Sol. Fundación 1° de Mayo. Editorial Catarata. Madrid-España.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección General de Cuencas. Dirección de Hidrología y Meteorología del año 2011.
- Monroy, M. (2001). Claves del Urbanismo Bioclimático. Disponible en: : <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/ambiente/03-MasterUrb+Paisaje/2002-Acond-Ambiental-urbano/Documentacion/Urbanismo%20BIOCLIMATICO-present.PDF> [Recuperado 2016, Junio 26].
- Montero Ramón Luís, YÁNEZ Carlos E. & BOLÍVAR Víctor J. 2008. Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas dela región nor-central del valle de Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Moráis, A. L. (2004). Análisis de la situación actual de los servicios urbanos del Área Metropolitana de Caracas. Sistema de Transporte. Alcaldía Metropolitana de Caracas.
- NASA. Surface Meteorology and Solar Energy. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

Naciones Unidas (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> [Recuperado 2016, Julio 08].

Negrón, Marco (1996), “La planificación urbana local y el contexto metropolitano”, Urbana, vol. 1 N° 19, Caracas.

Negrón, Marco (2013), “*Del país rural al metropolitano*”, en vv. aa., Nuevas ideas para viejos problemas, Caracas, Fundación Venezuela Positiva.

OCDE (2008) (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (2008). *Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030. Resumen en español. Environmental Outlook to 2030, París*.

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

OPEC Annual Statistical Bulletin (2011). Disponible en: https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/ASB_2010_2011.pdf. [Recuperado 2016, Diciembre 18].

Solargis-Team (2010) Disponible en: <http://solargis.com/>. [Recuperado 2016, Junio 09].

Páez García, A. (2009). *Sostenibilidad Urbana y Transición Energética: Un Desafío Institucional*. (Tesis para optar por el grado de Doctor en Urbanismo). Universidad Nacional Autónoma de México. México Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/suyte/oc.pdf> [Recuperado 2016, Agosto 18].

Pardo, M. (2006). “*Hacia una sociología de la energía*”. Cuadernos de Energía 11, 16-19.

Pereira, R. Angelocci, L., Sentelhas P. Meteorología Agrícola. Piracicaba, São Paulo, 3ª edição, 2000.

Perpiñan, O. (2009) Geometría Solar. Recuperado en: <https://es.slideshare.net/oscarperpinan>.

Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020. IMUTC, Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012.

POLIS, 2010. *Planificación Solar Urbana a Nivel Local*. Programa Energía Inteligente Europa. Disponible en: http://www.polis-solar.eu/IMG/pdf/spanish_version_manual_v2.pdf [Recuperado 2016, Julio 08].

Reglamento General de la ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (2000, 14 de diciembre). Gaceta Oficial de la República, N° 5.510. [Extraordinaria], Diciembre 14, 2000.

Rueda Palenzuela, S. (1999). *Modelos e Indicadores para Ciudades más Sostenibles*. Documento de Trabajo, realizado en el marco del Taller sobre Indicadores de Huella y Calidad Ambiental Urbana. Fundació Fórum Ambiental. Barcelona, España. Recuperado de: <http://www.forumambiental.org/pdf/huella.pdf>

AUDEMARD F. & A. SINGER. (2000) El alud torrencial del 06 de Septiembre de 1987 en la cuenca del río El Limón, al norte de Maracay, Venezuela septentrional.(pre-print) 23 p.

Smart Grids y La Evolución de la Red Eléctrica (2011). Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones de España. Recuperado:http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf

Sassin, W. (1982). "Urbanization and the Global Energy Problem". Human and Energy Factores in Urban Planning: A Systems Approach. Editado por Laconte, P., Gibson, J., y Rapoport, A. The Hague. Martinus Nijhoff. Presentado por Advanced Study Insitute de la North Atlantic Treaty Organization.

SDHplus. (2012). Solar-district-heating. Recuperado <http://solar-district-heating.eu/es/SobreelProyectoSDH.aspx> [Recuperado 2016, Julio 08].

Using the USGS Landsat 8 Product. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. URL: <http://landsat.usgs.gov>. Page Contact Information: Ask Landsat. 9/08/13.

VILA, M-A. 1976a. Diccionario de tierras y aguas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. Caracas.

Yndurain, F. (2005). Energía: Presente y Futuro de las Diversas Tecnologías. Documento de Trabajo, Academia Europea de Ciencias y Artes. Madrid, España. Recuperado de: http://www.academia-europea.org/pdf/energia_presente_y_futuro_de_las_diversas.pdf.

Winfinder (2010) Disponible en: <https://es.windfinder.com/windstatistics/caracas> [Recuperado 2016, Septiembre 19].

Wiginton, L.K., Nguyen, H.T., Pearce, J.M. (2010): “Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy”. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, pp. 345-357.

Apéndices

Glosario de Términos

Análisis Espacial: conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos, en los que se considera de alguna manera, sus características espaciales. Tal descripción centra toda su atención en el manejo dado a los datos geográficos (Bosque 1992).

Gestión del Territorio: proceso y estrategia de planificación, de carácter técnico-político, con el que se pretende configurar en el largo plazo una organización del uso y ocupación del Territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo, Se concreta en planes que expresan el modelo territorial de largo plazo que la sociedad percibe como deseable y las estrategias mediante las cuales se actuará sobre la realidad para evolucionar hacia dicho modelo (Massiris, 2005).

Electricidad: el flujo de carga que pasa por un conductor cuando existe una diferencia de tensión entre los extremos de ese conductor. La energía eléctrica se genera a partir del calor de una turbina de gas o de vapor o a partir del viento, los océanos o las cascadas, o se produce directamente a partir de la luz solar mediante un dispositivo fotovoltaico o químicamente en una pila de combustible. Al tratarse de una corriente, la electricidad no puede almacenarse y requiere alambres y cables para su transmisión. Dado que la corriente eléctrica fluye inmediatamente, la demanda de electricidad debe corresponderse con una producción en tiempo real (IPCC, 2011).

Energía: la energía ha sido definida como elemento único, universal, transversal y común a todas las cosas; mediante el cual se puede comprender la dinámica del mundo. Se manifiesta en tres estados: fuerza o capacidad de producir trabajo, materia (puede adoptar los estados sólidos, líquidos, gaseosos y plasmáticos) ya que ocupa un lugar en el espacio y en el tiempo, e información porque es transmisible y permite dirigir una acción física o sociocultural, es decir, permite la existencia de la retroalimentación neguentrópica dentro de un sistema (León, 2009).

Energía Renovables: es cualquier forma de energía de origen solar, geofísico o biológico que se renueva mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización. Se obtiene de los flujos continuos o repetitivos de energía que se producen en el entorno natural y

comprende tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, y la energía térmica oceánica, así como combustibles renovables tales como la biomasa (IPCC, 2011).

Energía solar: energía obtenida mediante la captación de la luz o el calor del Sol, que se transforma en energía química mediante una fotosíntesis natural o artificial o mediante paneles fotovoltaicos y se convierte directamente en electricidad. Los sistemas de energía solar por concentración usan lentes o espejos para captar grandes cantidades de energía solar y concentrarla en una superficie más reducida. Las altas temperaturas resultantes pueden poner en funcionamiento una turbina de vapor o utilizarse en procesos industriales que exigen temperaturas elevadas. La energía solar directa es la energía solar tal y como llega a la superficie de la Tierra antes de que quede almacenada en el agua o el suelo (IPCC, 2011).

Energía Solar Térmica: es la energía solar directa que se utiliza para producir calor, con exclusión de la energía solar por concentración. La energía solar activa necesita de equipos como paneles, bombas y ventiladores para captar y distribuir la energía. La energía solar pasiva se basa en técnicas de diseño estructural y de construcción que permiten utilizar la energía solar para calentar, refrigerar o iluminar edificios por medios no mecánicos (IPCC, 2011).

Fotovoltaica (tecnología): tecnología que permite convertir directamente la energía luminosa en energía eléctrica mediante el desplazamiento de electrones en dispositivos de estado sólido. Las láminas delgadas de materiales semiconductores se denominan células fotovoltaicas (IPCC, 2011).

Colector solar: instrumento que convierte la energía solar de un fluido en circulación en energía térmica (calor) (IPCC, 2011).

Radiación solar: luz y energía térmica irradiada por el Sol con longitudes de onda que van desde la ultravioleta a la infrarroja. La radiación que llega a la superficie puede ser absorbida, reflejada o transmitida. La radiación solar global consiste en la radiación directa (que llega a la Tierra en línea recta) y la radiación difusa (que llega a la Tierra tras ser dispersada por la atmósfera y las nubes) (IPCC, 2011).

Irradiación solar: potencia solar que incide en una superficie (W/m^2). La irradiación depende de la orientación de la superficie, que en ciertos casos es especial: a) superficie perpendicular a la

radiación solar directa; b) superficie horizontal respecto del suelo o paralela al suelo. Por pleno Sol se entiende la irradiación con una intensidad de aproximadamente 1.000 W/m² (IPCC, 2011). De esta manera se señala la importancia del concepto del Día Solar Promedio, que se entiende como las horas de luz solar por día equivalentes en función de una irradiación constante de 1 kW/m², y que permite una evaluación más eficaz de los rendimientos energéticos. Las radiaciones solares incidentes son de 3 tipos: directa, difusa y reflejada. Méndez (2007) define la radiación directa como la recibida desde el Sol sin que se desvíe su paso por la atmósfera; la radiación difusa como la que sufre cambios en su dirección debidos a la reflexión y la difusión, y finalmente la reflejada o Albedo, que es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo y otras superficies próximas. También recalca que, aunque las tres anteriores son componentes de la radiación total, la radiación directa es “la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas” (Méndez p. 31).

Urbanismo Bioclimático: se puede definir como la planificación integral de un territorio con sus infraestructuras y edificios para crear un hábitat cómodo para la vida comunitaria y privada. Este diseño a gran escala implica la elección de una ubicación apropiada y una correcta adaptación del entorno próximo y los volúmenes edificados al clima del lugar y a sus variaciones estacionales y diarias, considerando como factores ambientales fundamentales la temperatura y humedad del aire, el viento y, sobre todo, el soleamiento. (Monroy, 2001).

Red solar urbana: consiste en grandes campos de colectores solares térmicos conectados a edificios o redes de calor de barrios, comunidades o de grandes ciudades. Estos campos son integrados bien en espacios libres o las propias azoteas de los edificios. (Solar District Heating in Urban Planning), (SDHplus, 2012).

Desarrollo sustentable: la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió el desarrollo sustentable como el "desarrollo" que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades

Sostenibilidad energética: o también llamada sustentabilidad energética es definida por el World Energy Council - WEC, como el equilibrio entre tres dimensiones principales: la seguridad energética, la equidad social, y la mitigación del impacto ambiental. El desarrollo de sistemas de energía estables, accesibles y ambientalmente aceptables desafía soluciones simples.

Estos tres objetivos son un "trilema" que requiere de complejas interconexiones entre sectores público y privado, entre gobiernos y entes reguladores, entre la economía, los recursos nacionales disponibles, las normativas legales vigentes, las preocupaciones ambientales y el comportamiento individual y colectivo de las sociedades.

Anexos

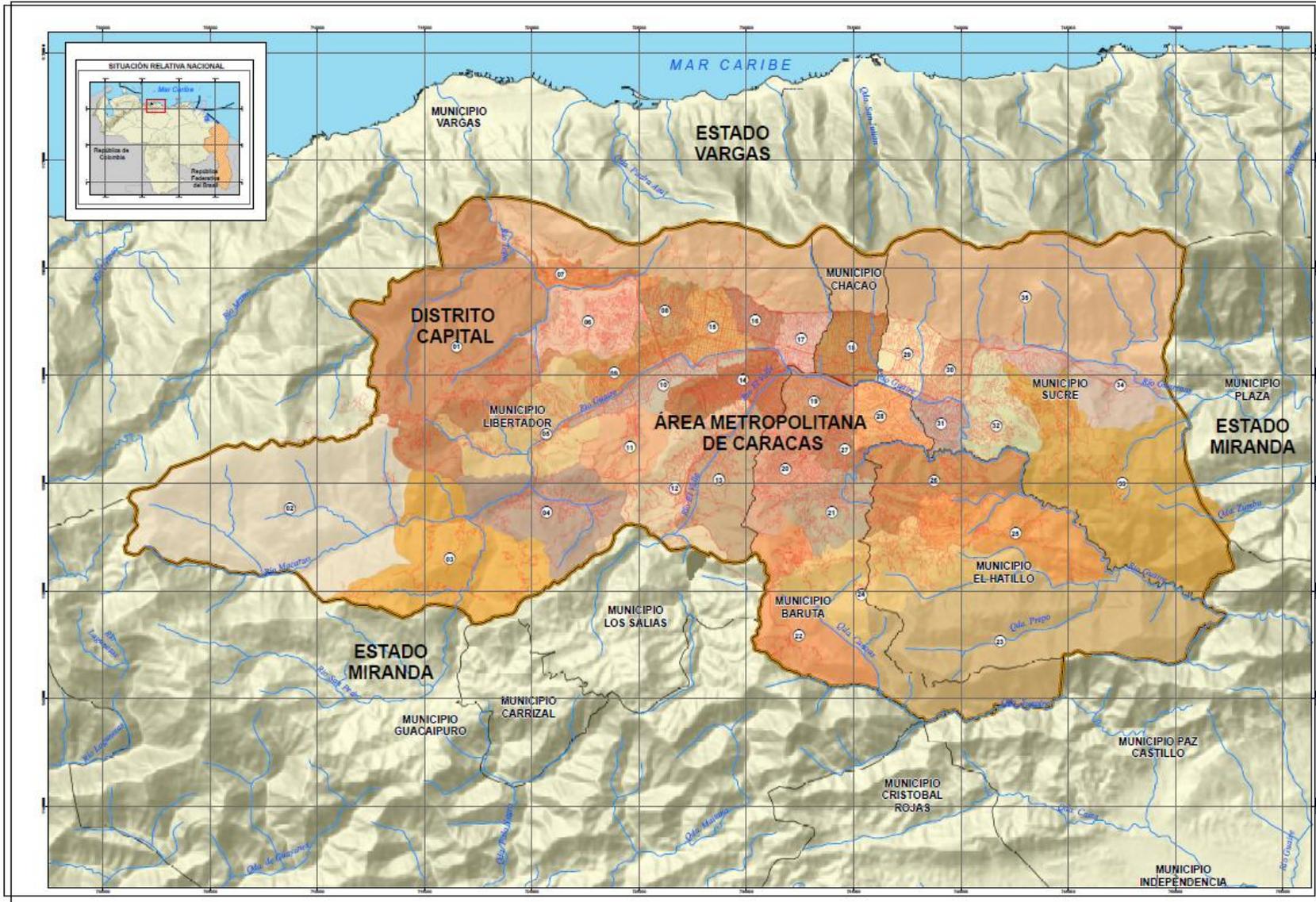
Anexo IV. 1

MACROSECTORES	Radiación global anual	Superficie de los techos	Demanda energética	Oferta energética	Tipos de Vialidad				Equipamientos								Distritos Solares		
					Autopista	Avenida	Calle	Vialidad General	Centro de Salud	Educacional	Centros comerciales	Gubernamental	Hotels	Industrias	Bombos	Protección civil			
01	El Junquito	2399.87	1259941.87	300911.84	87082.54	0.46	0.00	171.55	188.73	1	2	4	0	10	0	0	0	0	59.00
02	Parque Macarao	2263.85	21132.63	18296.79	1377.82	0.00	0.00	15.40	15.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.50
03	Macarao-Las Adjuntas	2135.83	565305.01	124654.23	34772.92	0.00	0.00	83.56	90.82	1	9	2	2	0	1	0	0	0	46.50
04	Caricuao-Zoológico	1978.32	1511369.35	488412.09	86111.20	1.05	12.91	96.11	114.01	8	46	9	6	0	6	1	1	1	66.75
05	Antipmano-Mamera	2189.91	2450087.80	455700.31	154525.57	8.65	5.69	93.61	116.07	4	14	0	3	1	5	0	1	1	73.50
06	Catía	1939.26	3947327.95	848018.64	220461.37	8.32	16.68	135.58	170.61	4	22	3	4	0	0	0	0	0	86.00
07	Carretera Vieja	2209.47	782583.90	245250.07	49797.90	11.99	0.00	32.79	51.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.25
08	Avenida Sucre	1748.85	2446510.51	717019.71	123222.92	3.55	9.77	76.96	98.76	2	1	25	3	0	2	0	0	0	79.25
09	La Yaguara-San Martín	1611.65	2638289.17	396977.72	122457.53	6.55	24.12	83.72	125.14	3	21	5	3	0	5	1	0	0	69.75
10	Montalban-El Paraíso	1846.91	1865763.14	474350.27	99241.57	13.83	47.13	42.19	120.69	7	53	8	3	1	0	0	0	0	66.75
11	La Vega	2255.70	1199449.54	338382.15	77921.26	0.00	2.02	50.06	53.26	2	8	1	2	0	1	0	0	0	60.00
12	Coche-El Valle	1754.41	2266805.77	563557.18	114535.00	13.31	19.35	91.10	148.16	10	42	3	6	0	4	1	0	0	75.50
13	Fuerte_Tiuna	1671.70	322951.61	102875.29	15548.49	11.17	0.52	90.80	110.79	3	6	1	6	0	0	0	0	0	48.50
14	Cementerio-Santa Mónica	1755.18	3082110.86	550272.96	155798.48	12.88	77.75	91.83	198.99	21	54	10	9	1	5	1	1	1	82.50
15	Casco Central	1638.41	3483119.79	800526.30	164355.13	4.06	93.95	32.58	140.98	10	63	11	49	9	3	1	1	1	88.25
16	San Bernardino	1739.98	1465030.33	359628.23	73414.71	6.49	43.62	22.44	85.42	8	25	2	5	1	0	1	0	0	61.00
17	Sabana Grande	1809.84	1664033.83	246433.51	86735.05	9.08	61.22	23.84	100.91	5	29	9	8	7	1	1	0	0	63.00

18	Chacao	1704.64	2562261.84	248134.31	125790.68	11.87	76.93	36.28	153.59	7	51	18	16	8	1	1	0	73.75
19	Bello Monte-Las Mercedes	1806.13	1445131.04	167254.82	75170.65	4.04	30.61	58.48	102.07	8	32	4	7	2	0	0	0	59.25
20	Prados del Este	1916.40	1887707.18	189204.15	104187.01	5.19	48.37	83.09	150.89	10	18	12	0	0	0	0	0	59.25
21	La Trinidad	2073.81	1403489.89	162316.61	83824.64	1.04	19.91	84.40	113.81	4	21	7	5	0	1	1	0	57.25
22	Hoyo de la Puerta	2202.02	551949.43	44577.12	35003.55	8.85	2.96	45.47	63.28	1	2	1	0	0	0	0	0	48.50
23	Turgua Sabaneta	2433.50	108634.36	26450.72	7613.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	45.50
24	La Unión-Gavilón	2340.87	722189.37	63722.76	48687.97	0.00	5.96	97.56	101.30	1	4	2	2	0	0	0	0	47.50
25	Alto Hatillo-La Lagunita	2153.90	704323.95	64772.98	43690.85	0.00	23.50	69.53	102.12	1	6	3	0	0	0	1	0	47.50
26	Los Naranjos-Cementerio	2246.84	1005587.70	139645.45	65070.46	0.00	29.52	92.71	137.33	0	5	4	0	0	0	0	0	56.25
27	Concresa	2073.51	872259.64	274845.27	52088.87	2.60	10.99	34.47	53.02	1	7	6	1	0	0	0	1	52.25
28	El Cafetal	1937.25	1420157.10	179061.30	79234.38	0.57	54.90	50.92	109.01	4	17	11	0	1	0	1	0	57.25
29	Los Ruices Boleita	1710.30	2535297.86	246321.98	124879.99	9.82	51.81	30.23	120.75	3	44	15	10	1	5	0	0	71.75
30	La Urbina	1953.34	1633868.99	277989.74	91915.29	9.28	29.89	50.15	101.30	2	28	8	2	2	2	1	0	61.00
31	Macaracuay	1745.96	1072834.73	116992.87	53946.05	2.01	39.52	35.52	80.55	1	14	5	1	0	1	0	0	53.50
32	Petare	2326.17	3316658.16	814355.77	222195.38	0.00	7.82	103.42	122.39	3	27	5	1	1	2	0	0	85.00
33	Filas de Mariche	2270.75	693953.79	300911.84	45382.92	6.90	0.00	85.00	115.49	1	17	2	3	2	15	0	0	53.25
34	Autopista Guarenas-Guatire	2094.03	162008.08	284867.30	9770.40	18.06	7.78	45.33	92.00	0	8	4	1	1	6	0	0	52.25
35	El Avila	2317.75	0.00	0.00	0.00	5.40	2.13	50.54	67.35	0	0	0	0	0	0	1	0	48.50

Fuente: Elaboración propia.








Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Posgrado
Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio

SIGNOS CONVENCIONALES

Límites Límite de municipio: ——— Límite de parroquia: ———	Hidrografía Corriente de agua permanente: ——— Corriente de agua intermitente: ——— Corriente de agua de régimen atípico: ——— Altiplanicie: ——— Curvas de nivel primario: ——— Curvas de nivel intermedia: ———	Viabilidad Autopista: ——— Carretera pavimentada: ——— Carretera no pavimentada: - - - - -	Infraestructura Área urbana, centro poblado, etc.: ■
--	--	--	--

LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

— Área Metropolitana de Caracas

MACROSECTORES

01 El Junquito	19 Bello Monte-Las Mercedes
02 Parque Macarao	20 Piedras del Este
03 Macarao-Las Adjuntas	21 La Trinidad
04 Caricuao-Zoatigüero	22 Hoyo de la Puerta
05 Arriero-Alfaro	23 Turques Sabana
06 Cacha	24 La Unión-Guárdia
07 Camanera Vieja	25 Alto Hatillo-La Lagunilla
08 Avenida Sucre	26 Los Naranjos-Cementerio
09 La Yaguajay-San Martín	27 Conzales
10 Montalbán-El Páramo	28 El Cardal
11 La Vega	29 Los Rucos-Bolivia
12 Coche-El Valle	30 La Urbina
13 Fuerte Tunjuy	31 Macaracuay
14 Cementerio-Santa Mónica	32 Petare
15 Casco Central	33 Fílas de Mariche
16 San Bernardino	34 Autopista Guarema-Guarema
17 Sabana Grande	35 El Ávila
18 Chacao	

ESCALA: 1: 80.000

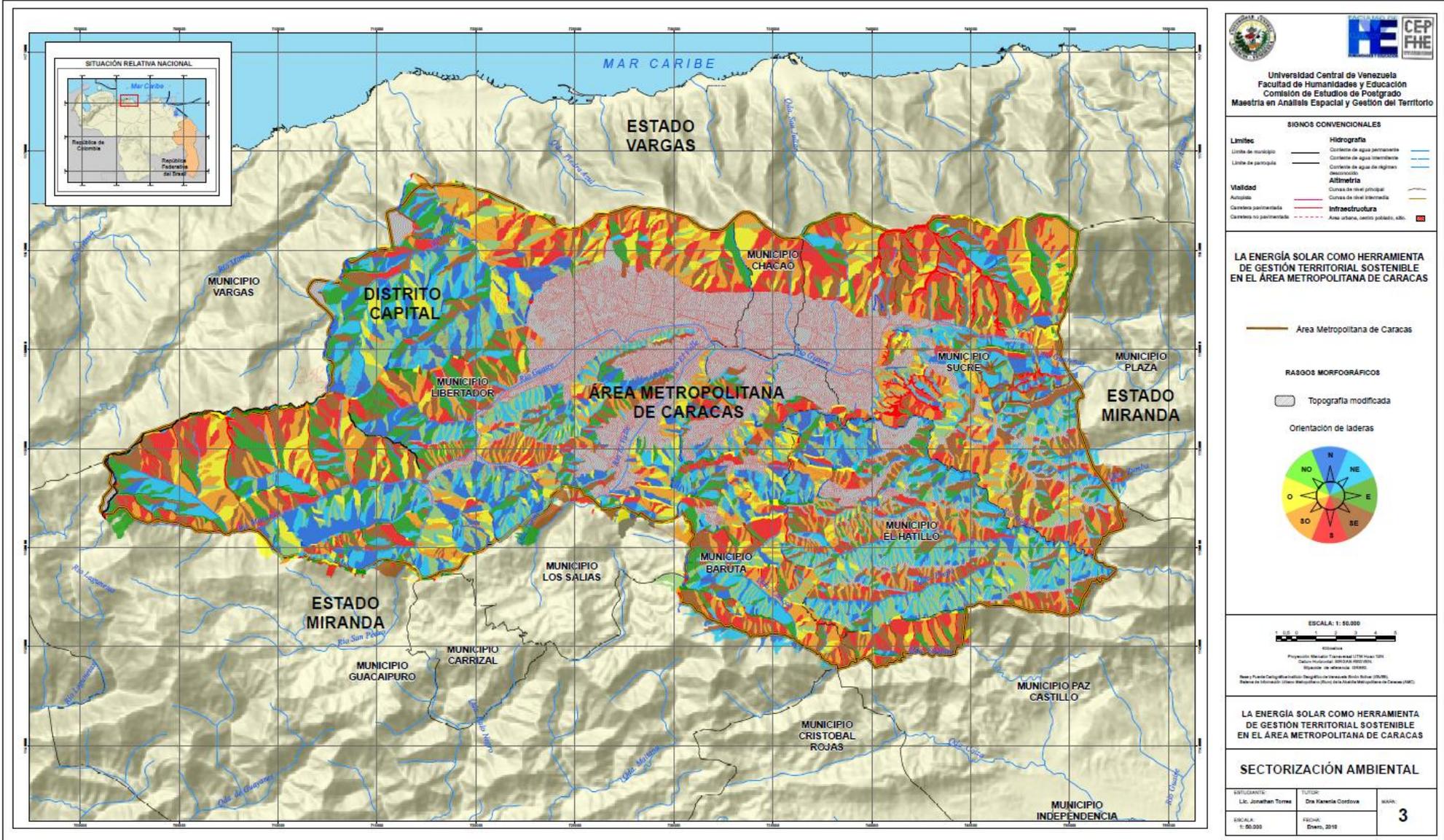


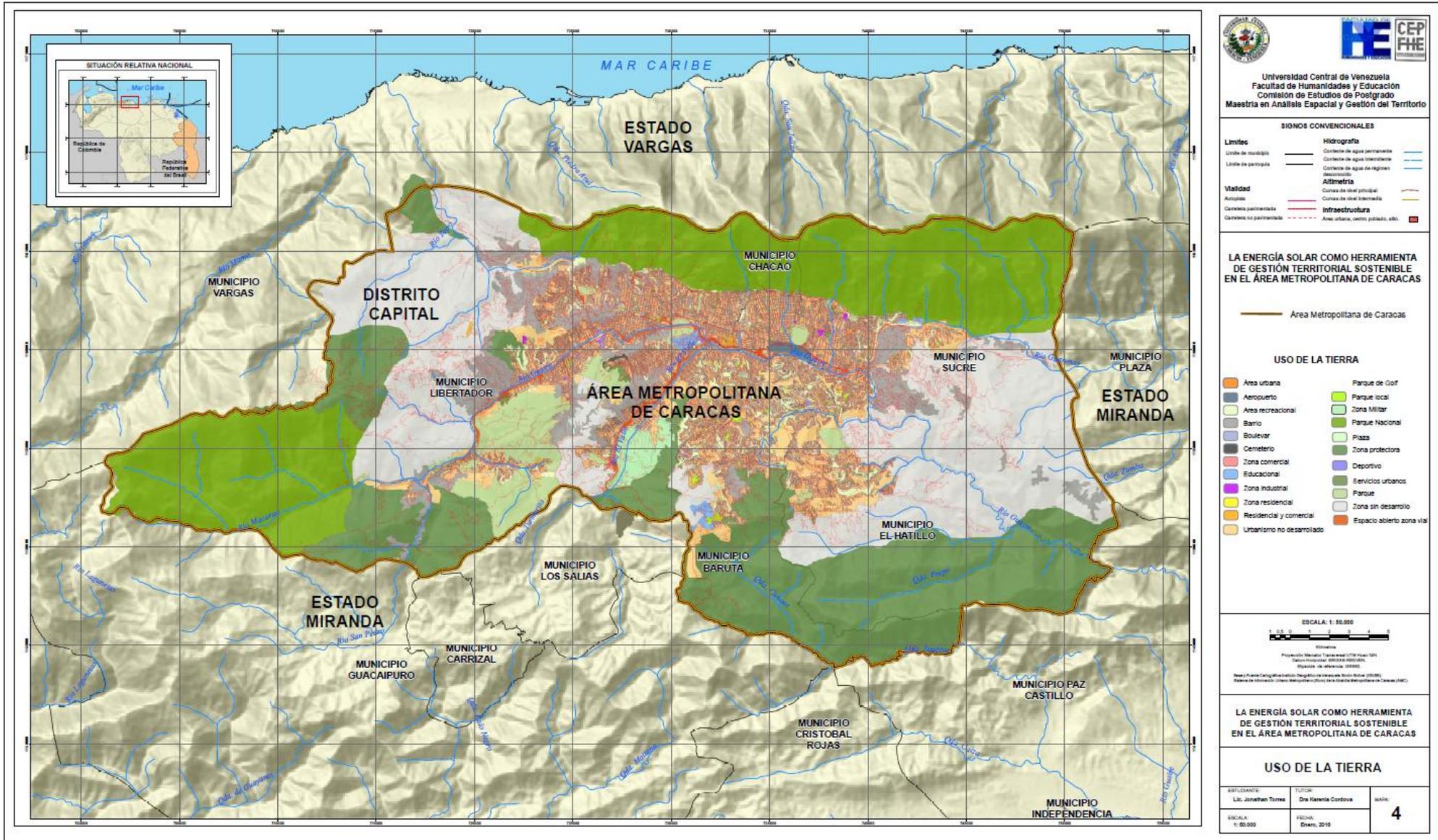
Autoría:
 Proyección: Sistema "Universal Transverse Mercator" (UTM) - Zona 18N
 Datum: WGS 84
 Fuente de datos: IGN, IGN
 Fuente de datos: IGN, IGN

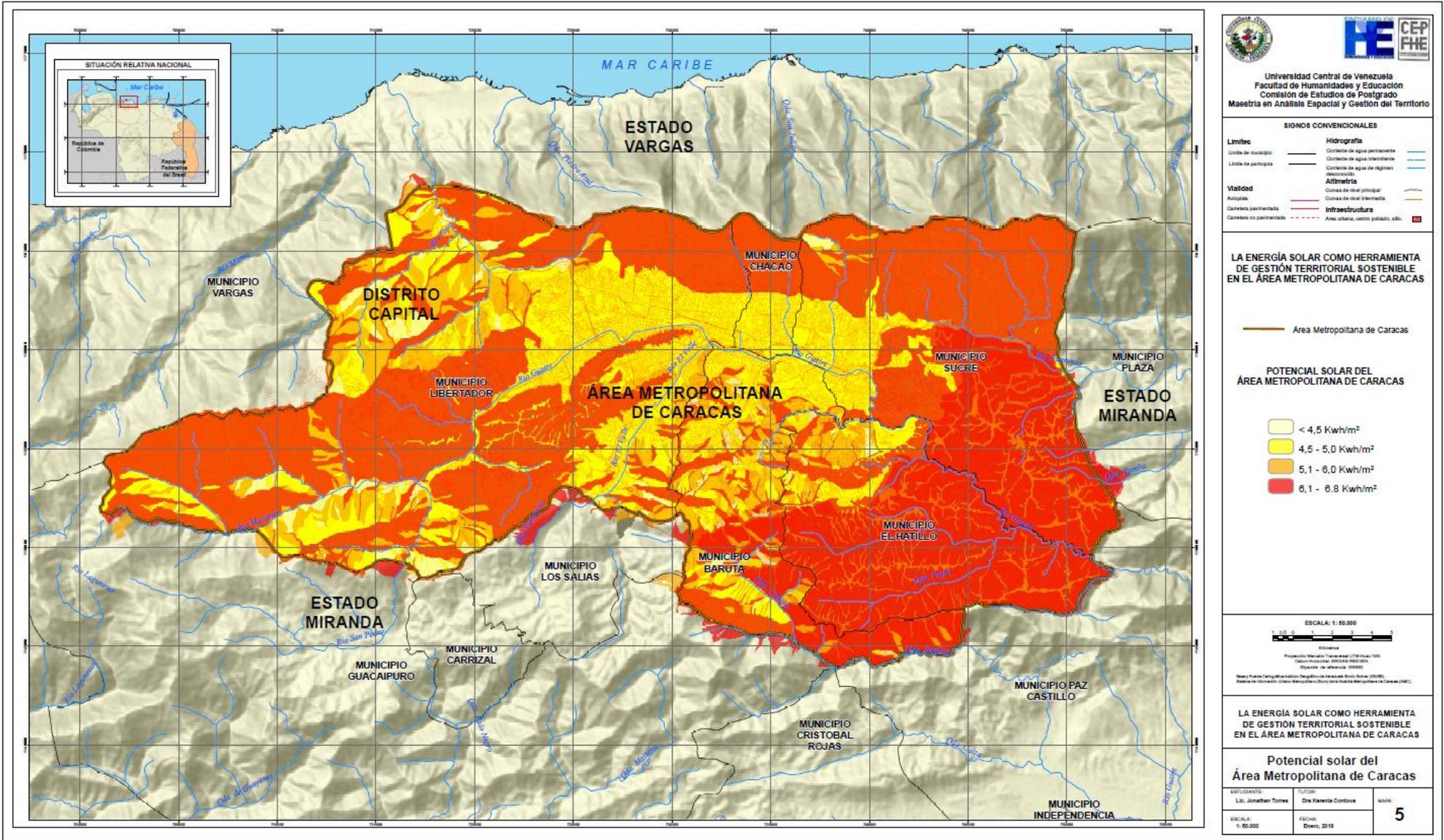
LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

MACROSECTORES

ELABORADO: Lic. Jonathan Torres	TUTOR: Dra. Karolina Córdova	NºPÁG: 2
ESCALA: 1: 80.000	FECHA: Enero, 2018	







Universidad Central de Venezuela

 Facultad de Humanidades y Educación

 Comisión de Estudios de Postgrado

 Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

Limites	Hidrografía
Limite de municipio	Corriente de agua permanente
Limite de parroquia	Corriente de agua intermitente
	Corriente de agua de régimen desbordado
Validad	Altimetría
Curvas de nivel principal	Curvas de nivel intermedia
Carreteras pavimentadas	Infraestructura
Carreteras no pavimentadas	Área urbana, casco urbano, villa

LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

Área Metropolitana de Caracas

POTENCIAL SOLAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

< 4,5 Kwh/m²
 4,5 - 5,0 Kwh/m²
 5,1 - 6,0 Kwh/m²
 6,1 - 6,8 Kwh/m²

ESCALA: 1: 50.000

Proyección: Mericaur Transversa UTM Zona 18N
 Datum: Mericaur 1988
 Sistema de Referencia: UTM
 Fuente: Datos Cartográficos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGV)
 Base de Datos: Datos de Información Geográfica de Venezuela Simón Bolívar (IGV)

LA ENERGÍA SOLAR COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

Potencial solar del Área Metropolitana de Caracas

ESTUDIANTE: Lic. Jonathan Torres TUTOR: Dra. Karolina Cordova MAQUETA: 5

ESCALA: 1: 50.000 FECHA: Enero, 2018

