

POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN CENTRAL RAP-E



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
GRUPO DE INVESTIGACION XUÉ
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN



2020



Convenio Interadministrativo 080 de 2019. Región Administrativa y de Planeación Especial RAP-E – Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Director RAP-E:

- Doctor Fernando Florez Espinosa

Supervisor Convenio:

- Ingeniero Jorge Eduardo Aya Rodríguez

Responsable del eje de Infraestructura, transporte, logística y servicios públicos.



Equipo Técnico:

- Alejandro Hurtado Beltrán
- Alejandra Patarroyo
- César Andrés Rincón Triana
- Felipe Cruz Espitia
- Juan David Salinas
- Luis Antonio Gutiérrez
- Jaime Adrián Matéus Ramírez
- Wendy Katherine Villarraga Clavijo
- Oscar Daniel Guerrero Mora
- José Alexander Ovalle Murcia
- Heguar Stins Goyeneche Mendivelso

Equipo Específico:

- Angel Miguel Ocaciones Monroy

Coordinadora Grupo/Semillero de Investigación:

- Nubia Marcela Rodríguez

Director Interno Proyecto de Pasantía:

- Ingeniero Hernando Acuña Carvajal

Director Grupo/Semillero de Investigación:

- Ingeniero Andrés Escobar Díaz

CONTENIDO

SIGLAS Y ABREVIATURAS	9
INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEORICO	13
1.1. EL SOL	13
1.2. RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE	14
1.2.1. RADIACIÓN DIRECTA (HB)	15
1.2.2. RADIACIÓN DIFUSA (HD)	15
1.2.3. RADIACIÓN GLOBAL (H)	15
1.3. RADIACIÓN SOLAR	16
1.4. ENERGÍA SOLAR	17
1.5. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
2. MODELOS DE NEGOCIO CON ENERGÍA SOLAR	18
2.1 CONCEPTOS	19
2.1.1 CAPEX (CAPITAL EXPENDITURE)	19
2.1.2 OPEX (OPERATIONAL EXPENDITURES)	19
2.1.3 LA TASA INTERNA DE RETORNO – TIR	19
2.1.4 VALOR PRESENTE NETO – VPN	19
2.1.5 COSTOS NIVELADOS DE ENERGÍA - LEVELIZED COSTS OF ENERGY (LCOE)	19
2.2 ENGINEERING PROCUREMENT CONSTRUCTION – EPC	20
2.2.1 VENTAJAS DEL MODELO EPC	22
2.3 POWER PURCHASE AGREEMENT – PPA	23
2.3.1 VENTAJAS DEL MODELO PPA	24
2.4 LEASING	25
2.4.1 VENTAJAS DE MODELO LEASING	26
2.5 RENTING	27
3. PANORAMA INTERNACIONAL	28
3.1. DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LA RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL [1]	28
3.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO	29
3.2.1. ADICIONES DE CAPACIDAD INSTALADA EN SISTEMAS FV EN EL MUNDO	29
3.2.2. CAPACIDAD ACUMULADA A NIVEL MUNDIAL	31
3.3. DISTRIBUCIÓN EN LATINOAMÉRICA DEL RECURSO SOLAR	37
3.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA MERCADO EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE	38
3.4.1 CAPACIDAD ELÉCTRICA DE SUDAMÉRICA CON FNCER	39
3.4.2 GENERACIÓN ELÉCTRICA CON FNCER	40
3.4.3 CAPACIDAD ELÉCTRICA CON FNCER EN SUDAMÉRICA	41

4. PANORAMA EN COLOMBIA **41**

4.1. DISTRIBUCIÓN EN COLOMBIA DE LA RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL	41
4.2. DISTRIBUCIÓN EN COLOMBIA DEL BRILLO SOLAR	44
4.3. PROMEDIO DE DÍAS AL MES SIN BRILLO SOLAR EN COLOMBIA	46
4.4. REGISTRO DE PROYECTOS FV EN COLOMBIA	46
4.5. FASE DE PROYECTOS SOLARES FV	48
4.6. VIGENCIA DE PROYECTOS, CANTIDAD Y CAPACIDAD REGISTRADA.	48
4.7. ENTRADA EN OPERACIÓN	49
4.8. SISTEMAS DE ENERGÍA FV, OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA	51
4.9. PROYECTOS FOTOVOLTAICOS, CAPACIDAD DE GENERACIÓN	52
4.9.1. CAPACIDAD MAYOR O IGUAL A 100 MW	52
4.9.2. CAPACIDAD MAYOR A 50MW Y MENOR A 100 MW	53
4.10. BARRERAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FV	54
4.11. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE PROYECTOS EN ENERGÍA SOLAR FV	54
4.11.1. EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	54
4.11.2. IMPACTOS EN RENTABILIDAD POR INCENTIVOS DE LA LEY 1715 DE 2014	55
4.11.3. RENTABILIDAD - PROYECTOS SOLARES FV RESIDENCIALES Y COMERCIALES	57
4.11.4. RENTABILIDAD – PROYECTOS SOLARES FV A GRAN ESCALA	59
4.11.5. ANÁLISIS EXTERNALIDADES	60
4.11.6. ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS MACRO DE INCENTIVOS	62
4.11.7. COSTOS EN INCENTIVOS	63
4.12. ESTRATEGIAS PARA EL CRECIMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FV EN EL SIN.	67
4.13. POTENCIAL – PROYECCIONES, ENERGÍA SOLAR FV EN TECHOS URBANOS	68
4.13.1. BOGOTÁ D.C.- APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR CON SISTEMAS FV EN TECHOS URBANOS	69
4.13.2. PRINCIPALES CIUDADES DEL PAÍS - SISTEMAS FV EN TECHOS URBANOS	73
4.14. ESCENARIOS PARA EL PAÍS EN SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR FV	78
4.15. PROYECTOS RELEVANTES EN FUNCIONAMIENTO	80
6.15.1 GRANJAS SOLARES	80
6.15.2 TECHOS SOLARES	82

5. PANORAMA REGIÓN CENTRAL **86**

5.1. REGISTRO DE PROYECTOS FV EN LA REGIÓN CENTRAL RAP-E	87
5.1.1 PROYECTOS REGISTRADOS POR DEPARTAMENTO	88
5.1.2 VIGENCIA DE PROYECTOS POR AÑO	88
5.1.3 VIGENCIA POR DE PROYECTOS POR DEPARTAMENTO DE LA REGIÓN CENTRAL RAP-E	89
5.1.4 FASE DE LOS PROYECTOS VIGENTES	90
5.1.5 ENTRADA EN OPERACIÓN	91
5.2. CAPACIDAD DE GENERACIÓN EN LA REGIÓN CENTRAL RAP-E, PROYECTOS MAYORES A 50 MW	92
5.2.1 CAPACIDAD MAYOR A 100 MW	93
5.2.2 CAPACIDAD MAYOR O IGUAL A 50 MW Y MENOR A 100 MW	93
7.3 PROYECTOS RELEVANTES EN FUNCIONAMIENTO LA REGIÓN CENTRAL RAP-E	94
7.3.1 GRANJAS SOLARES	94
7.3.2 TECHOS SOLARES	95

7.4	PROYECTOS SOLARES COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA	99
7.4.1	PROYECTOS FAZNI	99
7.4.2	PERS EN LA REGIÓN CENTRAL RAP-E	100
7.4.3	PROYECTO JERUSALÉN MUNICIPIO ECO-SOSTENIBLE	105
7.4.4	PROYECTOS OCAD PAZ	106
6.	MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA	106
6.1.	METODOLOGÍA	107
6.1.1.	CALIBRACIÓN	107
6.1.2.	EVALUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	108
7.	POTENCIAL SOLAR FV EN LA REGIÓN CENTRAL	112
7.1.	SENSORES	112
7.2.	RADIACIÓN SOLAR GH EN LA REGIÓN CENTRAL RAP-E	116
7.3.	RADIACIÓN SOLAR GH EN BOGOTÁ D.C.	119
7.4.	RADIACIÓN SOLAR GH EN CUNDINAMARCA	123
7.5.	RADIACIÓN SOLAR GH EN TOLIMA	126
7.6.	RADIACIÓN SOLAR GH EN META	129
7.7.	RADIACIÓN SOLAR GH EN BOYACÁ	132
7.8.	BRILLO SOLAR	135
8.	RESULTADOS	136
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
10.	BIBLIOGRAFIA	143
11.	IMPORTANCIA DE REFERENCIAS	147
12.	ENTIDADES Y ACTORES	149
13.	REGULACIÓN Y NORMATIVA	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Metodología del Estudio.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2 Características del Sol. Fuente [1]	13
Tabla 3 Lugares con Registros Máximos y Mínimos en el Mundo. Fuente [1]	29
Tabla 4 Países con mayor demanda energética cubierta con sistemas FV. Fuente	31
Tabla 5 Registros Máximos y Mínimos de Radiación Solar en Latinoamérica. Fuente [1]	37
Tabla 6 Registro de Valores Máximos, Altos y Mínimos de Radiación Solar Global en Colombia. Fuente [1]	42
Tabla 7 Comportamiento de la Radiación Solar Global por Regiones. Fuente [1].....	44
Tabla 8 Promedio Anual Multianual de Brillo Solar. Fuente [1]	44
Tabla 9 Brillo Solar Espacio Temporal. Fuente [1]	46
Tabla 10 Capacidad Instalada en Colombia al mes de agosto de 2019. Elaboración propia. Fuente [14] [13]	50
Tabla 11 Principales barreras para las FNCER en Colombia. Fuente	54
Tabla 12 Costos de Instalación de Energía Solar Fotovoltaica en Colombia.....	55
Tabla 13 Precios Sistema Tradicional vs LCOE Sistemas Solares FV año 2014. Fuente [12]	57

Tabla 14 Factores Asumidos para Instalación de Sistemas FV. Fuente [12]	58
Tabla 15 Escenarios Posibles de generación con energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales y un comercial. Fuente [12]	59
Tabla 16 Valor de externalidades para Energía Solar FV. Fuente [12]	61
Tabla 17 Cuadro Rentabilidad de Proyectos FNCER	67
Tabla 18 Información considerada para Bogotá D.C. Fuente [12]	69
Tabla 19 Datos para cálculo de potencial por estrato. Fuente [12]	70
Tabla 20 Potencial Económico basado en factores de interés de área residencial utilizable	73
Tabla 21 Datos Base para Estimación Potenciales en Techos Urbanos. Fuente [12]	74
Tabla 22 Distribución del Área Según Clasificación del Suelo. Fuente [12]	75
Tabla 23 Potencial de Generación en Techos Urbanos. Fuente [12]	77
Tabla 24 Distribución de Potencial por Sectores de la Economía. Fuente [11]	77
Tabla 25 Distribución de Potencial por Ciudad y Sector de la Economía. Fuente [12]	78
Tabla 26 Proyecciones de Crecimiento en Sistemas Solares FV Bajo Dos Escenarios. Fuente [12]	78
Tabla 27 Proyección de Capacidad Instalada en Techos al año 2030. Fuente [12]	78
Tabla 28 Proyectos Solares en Techos. Elaboración Propia. Fuente [36]	86
Tabla 29 Resultado Jornadas de Calibración Sensores. Fuente [1]	107
Tabla 30 Sensores Evaluados para la Elaboración del Atlas. Fuente [1]	108
Tabla 31 Sensores para Medición de Radiación	115
Tabla 32 Nivel de Radiación Solar HMDA que incide en la Superficie de la Región Central. Elaboración Propia	118
Tabla 33 Distribución de Área Según Nivel de Radiación	124
Tabla 34 Nivel de Radiación Solar HMDA que incide en la Superficie del Tolima. Elaboración Propia	127
Tabla 35 Distribución de Área según Radiación en el Meta. Elaboración Propia	130
Tabla 36 Distribución de Área según Radiación en	133
Tabla 37 Niveles de Radiación. Elaboración propia	137
Tabla 38 Relevancia de las Fuentes de Información	148
Tabla 39 Entidades y Actores Relevantes. Elaboración Propia	155
Tabla 40 Regulación y Normativa en FNCER y Energía Solar FV. Elaboración Propia	158

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Radiación Solar Global En el Mundo	29
Mapa 2 Radiación Solar Global Latinoamérica. Fuente [5]	38
Mapa 3 Distribución Espacio Temporal de la Radiación Solar Global Horizontal Medio Diario Anual [1] .	43
Mapa 4 Distribución Espacio Temporal del Brillo Solar Medio Anual. Fuente [1]	45
Mapa 5 Sensores Utilizadas para el Atlas. Fuente [1]	111
Mapa 6 Sensores Utilizados para Medir La Radiación en la Región Central. Fuente [1]	114
Mapa 7 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en la Región Central. Elaboración Propia Fuente [1]	117

Mapa 8 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Bogotá DC. Elaboración Propia [1]	120
Mapa 9 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Cundinamarca. Elaboración Propia Fuente	123
Mapa 10 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Tolima. Elaboración Propia Fuente	127
Mapa 11 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en el Meta. Elaboración Propia Fuente	129
Mapa 12 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Boyacá	132
Mapa 13 Brillo Solar en la Región Central. Elaboración Propia [1].	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa del Documento	11
Ilustración 2 Regiones principales del Sol. Fuente [1]	14
Ilustración 3 La Radiación Solar. Fuente [1]	16
Ilustración 4 Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar. Elaboración Propia. Fuente [1].	17
Ilustración 5 El efecto fotovoltaico en una celda fotovoltaica. Fuente [1]	18
Ilustración 6 Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [2]	21
Ilustración 7 Actores en Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [2]	21
Ilustración 8 Comportamiento de Modelo EPC. Fuente [2]	22
Ilustración 9 Ventajas de Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [6]	22
Ilustración 10 Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [6]	23
Ilustración 11 Actores en Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [6]	24
Ilustración 12 Ventajas Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [6]	24
Ilustración 13 Comportamiento de modelo PPA. Fuente [2]	25
Ilustración 14 Modelo General de Leasing. Elaboración Propia. Fuente [6]	26
Ilustración 15 Actores Modelo Leasing. Elaboración Propia. Fuente [6]	26
Ilustración 16 Ventajas de Modelo Leasing. Elaboración Propia. Fuente [6]	27
Ilustración 17 Comportamiento del Modelo de Negocio Leasing. Fuente [6]	27
Ilustración 18 Comportamiento de Modelo Renting: Fuente [6]	28
Ilustración 19 Capacidad Instalada a Nivel Mundial. Fuente [2]	30
Ilustración 20 Distribución de Capacidad Instalada por Principales Mercados en el Mundo .Fuente [10]	31
Ilustración 21 Capacidad Global de Energía Solar FV por región y por país 2008 - 2018.Fuente [10]	32
Ilustración 22 Top Diez de Países en Adiciones y Capacidad de Energía Solar FV. Fuente[10]	33
Ilustración 23 Adiciones de Capacidad de Energía Solar FV a Nivel Global, 10 Principales Países y el Resto del Mundo. Fuente [11]	35
Ilustración 24 Proyectos Solares FV Registrados en los tres primeros trimestres de los últimos tres años. Fuente [13]	47
Ilustración 25 Total de Capacidad en MW Registrada por Año. Fuente [13]	47
Ilustración 26 Proyectos FV por fase periodo 2016 - 2019.Fuente [13]	48
Ilustración 27 Proyectos y Capacidad Vigente a nivel Nacional. Fuente [13]	49
Ilustración 28 Entrada en Operación de sistemas FV. Elaboración Propia. Fuente [13]	50
Ilustración 29 Proyectos Registrados Mayores a 100 MW, reporte semana 32 del año 2019 UPME. Elaboración Propia	52

Ilustración 30 Proyectos con capacidad mayor o igual a 50 MW y Menor a 100 MW. Elaboración Propia	53
Ilustración 31 Costos Nivelados de Energía de Solar FV y el resto del mundo.[3]	55
Ilustración 32 Impacto de Incentivos en proyectos Solares FV en diferentes escalas. [3]	56
Ilustración 33 Flujo de Impuestos con diferentes incentivos para un proyecto de energía solar FV. Fuente [12]	56
Ilustración 34 Curvas de Producción y Demanda para una instalación Residencial FV. Fuente [3]	58
Ilustración 35 Internalización de la externalidad de cambio climático en una instalación fotovoltaica. Fuente[12]	60
Ilustración 36 Proyección al año 2030 desarrollo de proyectos de en FNCER. Fuente [12]	62
Ilustración 37 Costo Total descontado de Incentivos. Fuente [12]	63
Ilustración 38 Porcentaje de Gasto Público en Incentivos. Fuente [12]	64
Ilustración 39 Valor en beneficios a ser obtenido con proyectos FNCER Descontando Externalidades. Fuente [12]	65
Ilustración 40 Comportamiento Costo de Incentivos vs Valor de Externalidades. Fuente [12]	66
Ilustración 41 Líneas de Acción. Fuente [3]	67
Ilustración 42 Distribución de área potencial por estrato. Fuente [12]	69
Ilustración 43 Distribución de Potencial Económico por Estrato. Fuente [12]	70
Ilustración 44 Predios Unifamiliares por Estrato	71
Ilustración 45 Potencial Económico por Estrato y su Número de Predios Unifamiliares y Supuesto de Capacidad Instalada	71
Ilustración 46 Cantidad de Predios en Propiedad	72
Ilustración 47 Potencial Económico en Predios Propiedad	72
Ilustración 48 Cantidad de área disponibles en techos urbanos principales ciudades. Fuente [12]	74
Ilustración 49 Distribución de área según clasificación del Suelo. Fuente [12]	75
Ilustración 50 Potencial de Generación en Techos Urbanos de las principales Ciudades. Fuente [12]	76
Ilustración 51 Distribución de Potencial por Clasificación de Suelo. Fuente [12]	77
Ilustración 52 Proyecciones de Crecimiento en instalaciones de energía solar FV para Colombia hasta el año 2030	79
Ilustración 53 Comparativo Proyecciones 2030 vs Potenciales 10 % Techos. Fuente [12]	79
Ilustración 54 Proyectos Sobresalientes en Operación. Elaboración Propia	81
Ilustración 55 Proyectos Sobresalientes en Operación. Elaboración Propia	82
Ilustración 56 Indicadores de la RAP-E a Nivel Nacional. Elaboración Propia. Fuente [13]	87
Ilustración 57 Cantidad de Proyectos Registro de proyectos en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [13]	87
Ilustración 58 Proyectos Registrados en la Región Central por Departamento. Elaboración Propia. Fuente [13]	88
Ilustración 59 Proyectos Registrados vs Proyectos Vigentes en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [13]	89
Ilustración 60 Vigencia de Proyectos por Departamento. Elaboración Propia. Fuente [13]	90
Ilustración 61 Proyectos Vigentes por Fases. Elaboración Propia. Fuente [13]	91
Ilustración 62 Entrada en Operación de proyectos Vigentes en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [13]	92

Ilustración 63 Participación de la Región Central RAP-E en proyectos superior a 50 MW. Elaboración Propia. Fuente [13]	93
Ilustración 64 Metodología Atlas Fuente [1]	108
Ilustración 65 Distribución de Estaciones por Departamento. Fuente.....	114
Ilustración 66 Cantidad de Estaciones por entidad. Fuente [1].....	115
Ilustración 67 Distribución en Área de Radiación Solar Global en la Región Central. Elaboración Propia	118
Ilustración 68 Distribución de área según radiación que incide en Bogotá DC. Elaboración Propia.....	121
Ilustración 69 Distribución de área según nivel de radiación en suelo rural y urbano. Elaboración propia	121
Ilustración 70 Distribución de área según radiación incidente en Cundinamarca. Elaboración Propia ...	124
Ilustración 71 Distribución en Área de Radiación Solar Global en el Tolima. Elaboración Propia.....	127
Ilustración 72 Distribución de Área según radiación que incide en el Meta. Elaboración Propia	130
Ilustración 73 Distribución de Área según Radiación que incide en Boyacá. Elaboración Propia.	133
Ilustración 74 Geovisor Características Energéticas RAP-E. Elaboración Propia	136
Ilustración 75 Distribución de Área en la Región Central RAP-E de acuerdo a nivel de radiación. Elaboración Propia	137
Ilustración 76 Distribución de Área según Radiación que incide en la Región Central y su concentración por Departamento. Elaboración Propia.....	138
Ilustración 77 Distribución de Área según Radiación que incide en la Región Central y su concentración por Departamento. Elaboración Propia	139
Ilustración 78 Distribución de Área según Radiación que incide en la Región Central y su concentración por Departamento de los niveles Bajo y Muy Bajo. Elaboración Propia	140

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Radiación Directa. Fuente [1]	15
Ecuación 2 Radiación Global. Fuente [1]	15
Ecuación 3 Modelo Ångström-Prescott Relación Radiaciones. Fuente [1].....	111

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANH - Agencia Nacional de Hidrocarburos

ANLA - Agencia Nacional de Licencias Ambientales

ANM - Agencia Nacional de Minería

BID - Banco Interamericano de Desarrollo.

CAR - Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

CEPAL - Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe

CO² - Dióxido de Carbono

CORPOBOYACA - Corporación Autónoma de Boyacá

CREG - Comisión de Regulación de Energía y Gas.

DNP - Dirección Nacional de Planeación

EPC - Engineering Procurement & Construction - Ingeniería, Proceso y Construcción

ERNC - Energías Renovables No Convencionales

FN CER - Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

FV - Fotovoltaica

IAE - Agencia Internacional de Energía.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IPSE - Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las ZNI

MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MGS - Media Global Solar Horizontal

MINHACIENDA - Ministerio de Hacienda y Crédito Público

MINMINAS - Ministerio de Minas y Energía

OLADE - Organización Latinoamericana de Energía

OMM - Organización Meteorológica Mundial

PPA - Power Purchase Agreement - Acuerdo de Compra de Energía

RAP-E - Región Administrativa y de Planeación Especial

SGC - Sistema Geológico Colombiano

SIN - Sistema interconectado nacional.

UPME - Unidad de Planeación Minero Energética

ZNI - Zonas No Interconectadas

INTRODUCCIÓN

La demanda energética en el mundo aumenta cada vez más por diversas causas, entre las más relevantes esta la automatización de procesos agrícolas y de diferentes industrias que antes eran realizadas por personas, el aumento de dispositivos de uso personal para las telecomunicaciones, el cambio en el sector transporte en especial el terrestre, la disminución de reservas de los energéticos tradicionales como el carbón, el petróleo y sus derivados y otros. Lo anterior crea la necesidad de buscar fuentes de energía renovable que además generen el menor impacto posible en el medio ambiente, ya que el cambio climático y otras afectaciones a los recursos naturales son causados en gran medida por las emisiones de los energéticos tradicionalmente utilizados.

Como resultado surge un proceso a nivel global conocido como “Transición Energética” que ya muestra importantes resultados en países desarrollados y que en el resto del mundo toma gran importancia al punto estar en las principales políticas de estado, Colombia desde hace algunos años ha incluido en su planeación objetivos y metas para incentivar e implementar las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) que además de reemplazar las convencionales se convierte en la mejor opción para energizar las zonas del país que no reciben el servicio público de energía eléctrica por diversas razones, entre las que se destaca el no estar cerca del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Es por esto que en el presente documento se muestra el Potencial de Energía Solar para la implementación de Sistemas Fotovoltaicos en la Región Central RAP-E, analizando variables económicas, ambientales, normativas, legislativas, las ventajas, desventajas y oportunidades en un contexto Mundial, Latinoamericano, Nacional hasta llegar a la Región Central RAP-E y a los departamentos que la componen, en este nivel de detalle se localizan las zonas con mayor disponibilidad de recurso solar que servirá de insumo en la evaluación y factibilidad de proyectos con esta fuente de energía.

De los resultados y conclusiones de este trabajo se puede nombrar el conocer la gran cantidad de recurso solar del que dispone Colombia gracias a su posición geográfica frente a otras naciones que tienen menos potencial pero paradójicamente poseen más capacidad instalada con esta fuente de energía, se describen también los principales modelos en la implementación de esta tecnología, pero sobre todo el resultado del principal objetivo de la investigación y es la ubicación de las zonas con mayor radiación solar global en la Región Central RAP-E que se traduce en potencial energético, objetivo que se alcanzó gracias a los estudios realizados por la UPME e IDEAM para este fin, publicados en 2017 en el Atlas de Radiación Solar, finalmente se sugieren algunas formas de aprovechar este recurso en la ciudades y en el suelo rural.

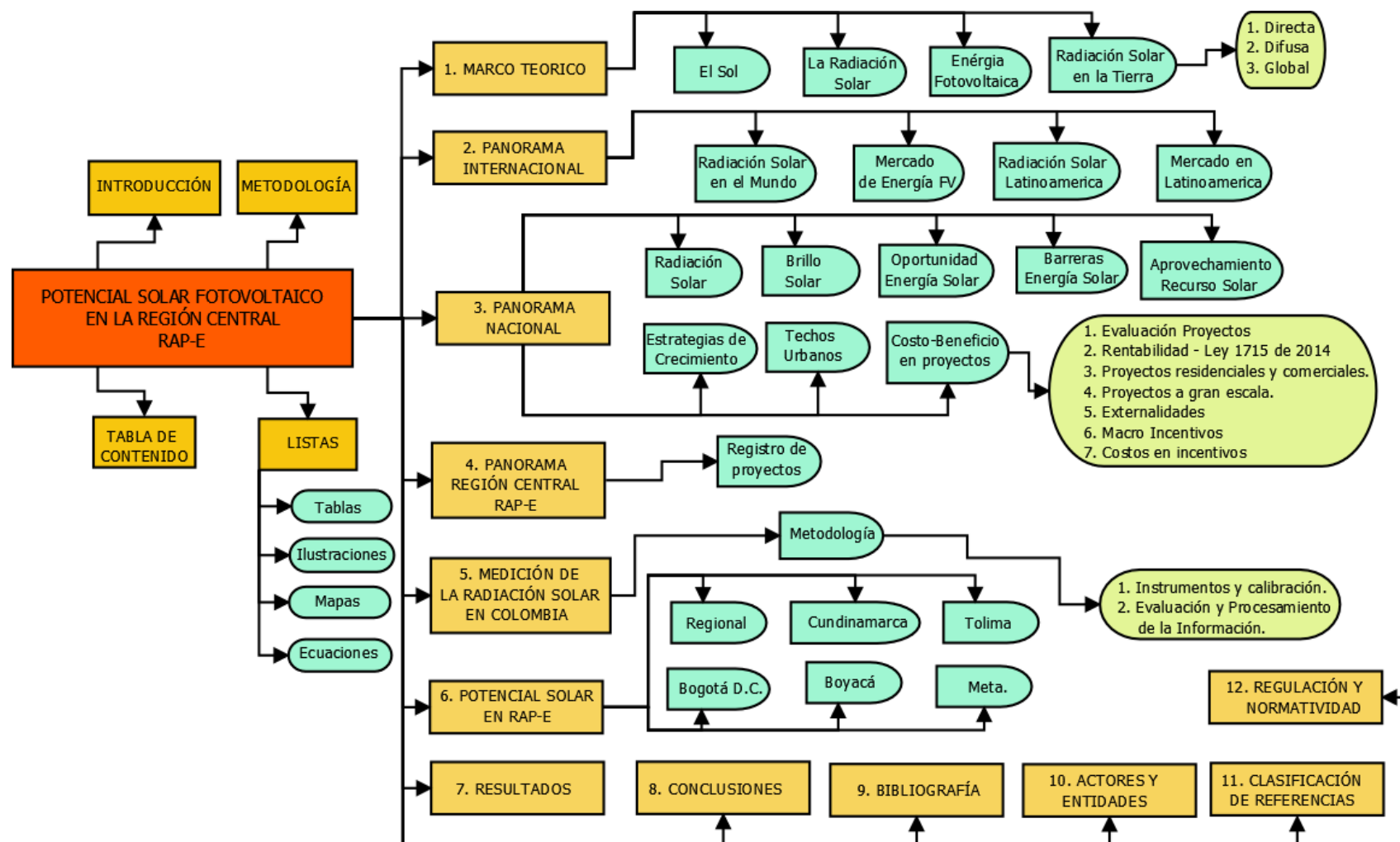


Ilustración 1 Mapa del Documento

METODOLOGIA			
Información	Búsqueda	i.	Se realiza búsqueda de información sobre la temática de la energía solar fotovoltaica de fuentes confiables como instituciones académicas y entidades públicas o privadas a nivel nacional e internacional.
		ii.	Se solicita información e indicadores con asesoría especializada a entidades como la UPME, IDEAM, entidades Catastrales, ANLA, Ministerio de Minas, Gobernaciones, etc.
		iii.	Se buscan fuentes geográficas como geo visores, shape, wms, kmz, etc., que pueden brindar información en la determinación del potencial solar FV.
	Selección	i.	De acuerdo a la confiabilidad se realiza una primera depuración de datos y fuentes.
		ii.	Luego se evalúa la temporalidad de los datos, escogiendo la más vigente.
		iii.	La selección de los datos geográficos se realiza de acuerdo a si es editable o no.
Procesos	Análisis	i.	Se leen los informes y estudios, se resume lo más relevante para entender desde un contexto internacional hasta llegar al regional y municipal el estado de la energía solar fotovoltaica.
		ii.	Se analiza información buscando que sean cifras e indicadores que muestren de manera clara y concreta los aspectos y comportamientos del estado y mercado de la energía solar FV.
		iii.	El análisis de información geográfica es el componente más importante para determinar el potencial Fotovoltaico, ya que mediante geoprocesos se localizan potenciales de radiación y las variables que influyen en la factibilidad de un proyecto FV en la Región Central.
	Resultados	i.	Mediante salidas graficas (mapas) se muestra el potencial de energía solar FV, las limitaciones ambientales, aspectos catastrales y de ordenamiento territorial.
		ii.	Se realizan tablas y graficas estadísticas que muestren los análisis establecidos en el presente trabajo.
		iii.	Se dejará a disposición de la Región Central archivos geográficos en formato editable de los resultados obtenidos.
		iv.	Todo se consolida en un informe que muestra las dinámicas de energía solar en el mundo, el país y especialmente en la Región Central donde adicionalmente se relacionara el potencial FV.
		v.	Se pondrán a disposición de la comunidad en general los resultados mediante software geográfico.

Tabla 1 Metodología del Estudio.

1. MARCO TEORICO

1.1. El Sol

El sol es la estrella más cercana a la tierra y es la principal fuente de calor y luz de nuestro planeta, se formó hace aproximadamente 4.600 millones de años, contiene el 99% de toda la materia del Sistema Solar, todos los planetas del sistema solar giran a su alrededor debido a la fuerte atracción gravitatoria que ejerce. El sol está compuesto en un 71 % por Hidrogeno, 27 % de Helio y 2% de otros elementos más pesados [1]:

Datos del Sol		Composición Química	
Masa (Kg)	1.989 x 10 ³	Hidrogeno	92.1%
Masa (Tierra=1)	332830	Helio	7.8%
Radio Ecuatorial (Km)	695000	Oxigeno	0.061%
Radio (Tierra=1, equivalente a 6367 Km aproximadamente)	108.97	Carbono	0.030%
Gravedad en la Superficie (Tierra=1)	28	Nitrógeno	0.0084%
Densidad	1.41	Neón	0.0076%
Periodo Rotacional (Días)	25 -36	Hierro	0.0037%
Edad (Miles de Millones de Años)	4.5	Silicio	0.0031%
Energía Radiada por su superficie (kW/m ²)	63000	Otros	0.0015%
Energía Emitida en Kilovatios por Segundo	3.96x10 ²³		
Temperatura Media en la Superficie (Kelvin)	5800		

Tabla 2 Características del Sol. Fuente [1]

A continuación, se describe la estructura del sol, la cual está compuesta por seis partes principales *Ilustración 2*.

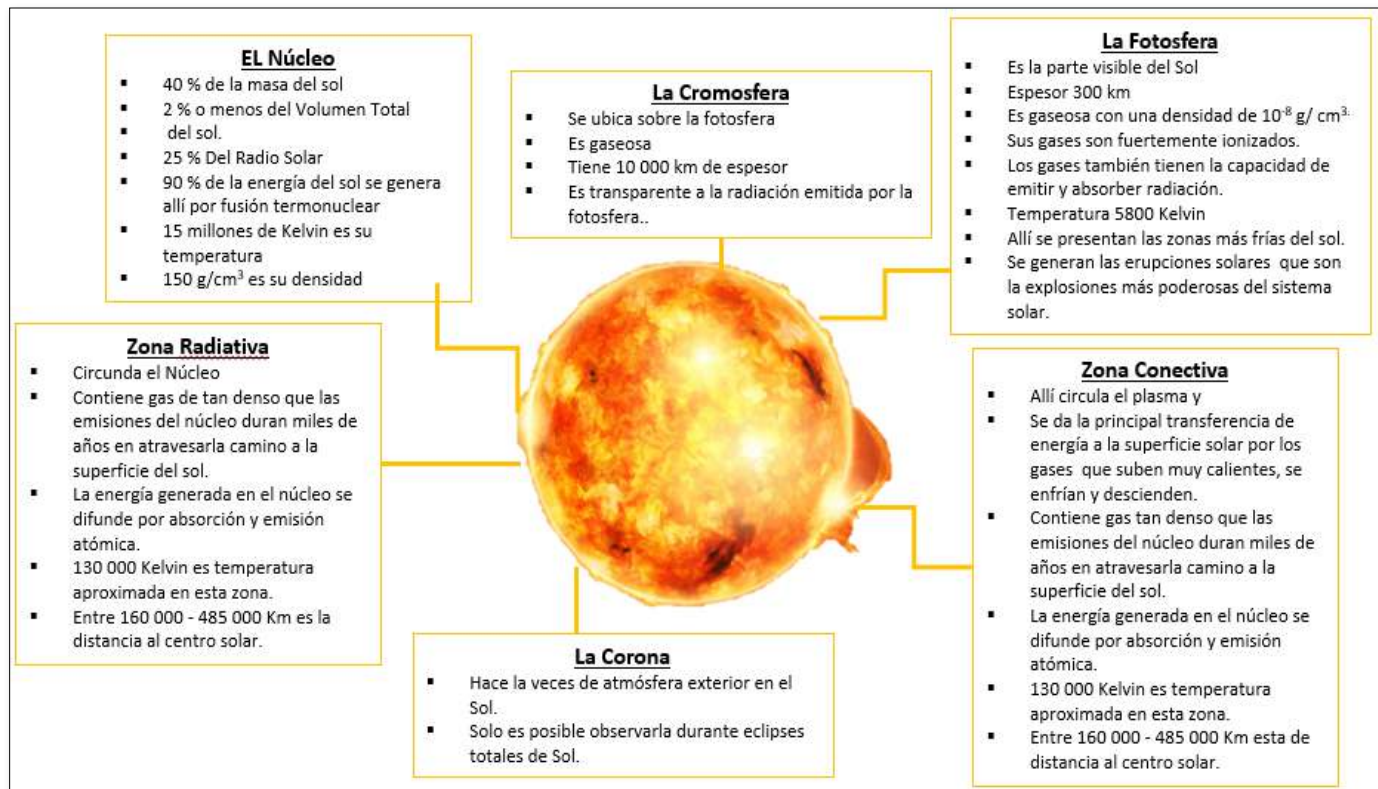


Ilustración 2 Regiones principales del Sol. Fuente [1]

1.2. Radiación Incidente sobre la Superficie Terrestre

La disponibilidad de energía solar en la tierra depende de diferentes factores, entre los más relevantes están:

- La Nubosidad
- Presencia de aerosoles
- Época del año
- Duración del día astronómicamente.
- Elevación del sol en el horizonte
- Horas de brillo Solar efectivo
- Transparencia de la atmosfera,
 - ✓ Coeficiente de extinción
 - ✓ Transmisividad

A pesar de estos condicionantes la disponibilidad de energía solar en la tierra es muy grande, para hacernos una idea la energía solar que incide en la tierra al año es equivalente aproximadamente a 160 veces la energía de las reservas mundiales de energía fósil, o comparable con 15 000 veces la energía usada por año de plantas hidráulicas, de los combustibles fósiles y nucleares [1].

La radiación total que incide en la tierra al año es de 173 000 Teravatios aproximadamente, de esta el 30 % correspondiente a 51 900 Teravatios se refleja al espacio exterior, el 70 % restante es decir 121 100 Teravatios calientan los océanos, (47 %) la atmósfera y la superficie terrestre, un 23 % se absorbe en la evaporación de agua [1]. Luego de los diferentes procesos

de atenuación que sufre la radiación solar, la que finalmente pasa a la tierra se clasifica en tres tipos [1]:

1.2.1. Radiación Directa (H_b)

Es la radiación solar que no sufre difusión ni reflexión y llega directamente a la superficie terrestre, La ecuación para su cálculo es la siguiente:

$$H_b = I' = I \sen h$$

Donde

I' = *Componente Vertical de la radiación solar directa sobre una superficie horizontal*

h = *la altura del Sol sobre el horizonte*

I = *Intensidad de la radiación directa sobre la superficie normal a los rayos solares*

Ecuación 1 Radiación Directa. Fuente [1]

1.2.2. Radiación Difusa (H_d)

Es la cantidad de energía solar que desde todos los lugares de la atmosfera incide sobre una superficie horizontal esto debido a que interactúa con las nubes y con partículas que encuentra en su trayectoria a la tierra cuando pasa por la atmosfera. La cantidad de radiación solar difusa diaria es la que se registra entre las seis de la mañana y seis de la tarde, sus valores están entre los 300 y 5.500 Wh/m² al día. Este tipo de radiación es bueno para las plantas ya que mejora el proceso de fotosíntesis [1].

La radiación difusa depende de los siguientes factores.

- i. **Nubosidad:** La radiación difusa aumenta con la presencia de capas de nubes blancas delgadas.
- ii. **Partículas** A mayor cantidad de partículas sobre la atmosfera mayor el nivel de radiación difusa, es decir que Aumenta con la contaminación.
- iii. **Altura sobre el nivel del Mar:** A mayor altura sobre el nivel del mar menor la cantidad de radiación difusa, esto debido a que disminuye el espesor de las capas difusoras en la atmosfera.
- iv. **Altura solar sobre el horizonte** A mayor altura del sol sobre el horizonte mayor el nivel de radiación difusa.

1.2.3. Radiación Global (H)

Es toda la radiación que llega a la Tierra, se mide en un ángulo de 180 grados, componente vertical de la radiación directa más radiación difusa, su aporte depende de la transparencia de la atmosfera, la nubosidad y la altura del sol. La radiación solar diaria es el total de la energía solar en el día, sus valores están entre los 300 Wh/m² y 9500 Wh/m² [1].

Su cálculo se realiza por el flujo de radiación global por unidad de área y tiempo sobre la superficie horizontal expresado de la siguiente forma:

$$H = I \sen h + H_d = H_b + H_d$$

Ecuación 2 Radiación Global. Fuente [1]

1.3. Radiación Solar

La radiación solar es una emisión en onda corta, se genera en el núcleo del sol por fusión nuclear de hidrogeno, también es emitida por la superficie solar. La emisión se da sobre un espectro de diferentes longitudes de onda con una cantidad de energía para cada longitud. Cuando la radiación solar pasa por la atmosfera se debilita por los siguientes fenómenos [1]:

Difusión:

La radiación viaja en línea recta, sin embargo, los gases y partículas en la atmosfera desvían esta energía, esto ocurre cuando un fotón afecta un obstáculo cambiando la dirección del recorrido del fotón, la dispersión depende de la longitud de onda, inversamente proporcional, así entre más pequeña la longitud de onda mayor será la dispersión. La dispersión es la explicación de la radiación difusa que consiste en como un cuerpo sin luz solar esta iluminada. La dispersión de la luz es la descomposición en colores, esta sigue el orden de los colores del arcoíris según su longitud de onda, el color rojo tiene la longitud de onda más larga y el violeta la más corta [1].

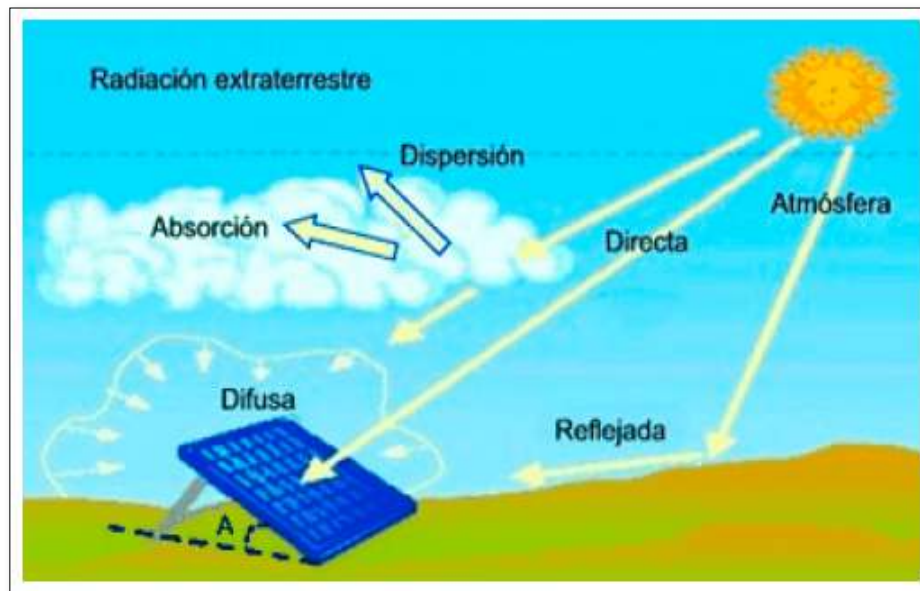


Ilustración 3 La Radiación Solar. Fuente [1]

Reflexión:

También llamada albedo, esta reflexión es de aproximadamente un 30 % del total de la energía, la cual se pierde, cabe aclarar que esta no intervine en el calentamiento de la atmosfera. La reflexión cambia de un lugar a otro y de un instante a otro, depende de varios factores como inclinación de los rayos solares, partículas en el aire, cobertura nubosa y naturaleza de la superficie [1].

Absorción por las moléculas de gases y partículas en suspensión:

Un determinado gas absorbe energía cuando la frecuencia vibracional molecular del gas es similar a la frecuencia de la radiación electromagnética. Luego de que el gas absorbe energía esta se transforma en aumento de la temperatura debido al movimiento molecular interno [1].

Compuesta por diferentes tipos de gases la atmosfera absorbe la energía para diferentes longitudes de onda, siendo transparentes para algunos rangos del espectro.

La atmosfera tiene un poder de absorción significativo de radiación ultravioleta emitida por el sol gracias al ozono, también se destaca su capacidad de absorber la radiación infrarroja la cual procede de la tierra, esto gracias al vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso [1].

Estos procesos son de vital importancia para la tierra, por ejemplo, la absorción de radiación infrarroja permite que en el planeta tierra exista vida, ya que este proceso permite que la tierra almacene mayor cantidad de energía cerca de la superficie lo que se conoce como efecto invernadero natural que registra una temperatura de 33°C más alta que si la Tierra no tuviera atmosfera, la cual estaría por el orden de los -18 °C [1].

El vapor de agua tiene un poder de absorción 5 mayor al de cualquier otro gas, esto contribuye a la regulación de la temperatura en la troposfera, donde se desarrolla la vida. Cuando la radiación solar alcanza la superficie terrestre esta se absorbe o se refleja. La radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de onda larga, esto hace que se transmita calor a la atmósfera por el fenómeno anteriormente descrito [1].

Se dice que la atmosfera es transparente a la radiación visible y por esta razón llega a la tierra, esto se da ya que en la atmosfera total ningún gas tiene efectividad en la absorción de gran cantidad de radiación solar en longitudes entre 0,3 y 0,7 μm [1].

1.4. Energía Solar

Las tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de la energía solar se clasifican en:

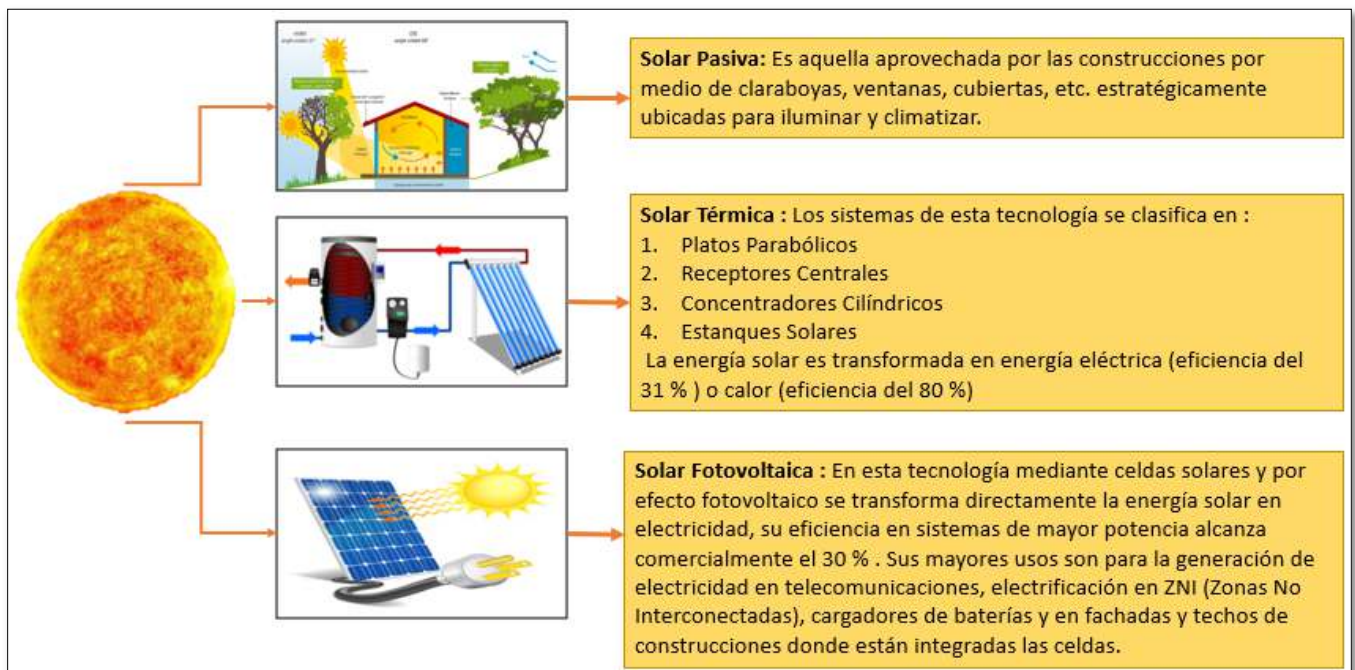


Ilustración 4 Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar. Elaboración Propia. Fuente [1]

La energía solar se puede aprovechar de dos maneras para la generación de electricidad:

Sistema Fotovoltaico (PV): Transforma la radiación solar en electricidad. Su aprovechamiento va desde pequeñas celdas fotovoltaicas (mW) para calculadoras u otros dispositivos pequeños, luego sistemas individuales para construcciones (W) y puede llegar a ser aprovechada hasta (MW) en grandes centrales eléctricas [1].

Sistema Térmico: Con la concentración de energía solar se calienta un fluido para producir vapor, que luego se utiliza para alimentar una la turbina de un generador eléctrico [1].

1.5. Energía Solar Fotovoltaica

El efecto fotovoltaico es un fenómeno que se presenta con la unión de dos materiales semiconductores, un material tipo P (Aceptor) de electrones y otro material tipo N (Donor), los materiales tienen una base de cristal de silicio dopado, adicionando átomos del grupo V(Donor) o el grupo III (aceptor), a estos materiales los fotones de luz originan un flujo de electrones desde el material N al P lo que genera un voltaje entre los dos materiales [1].

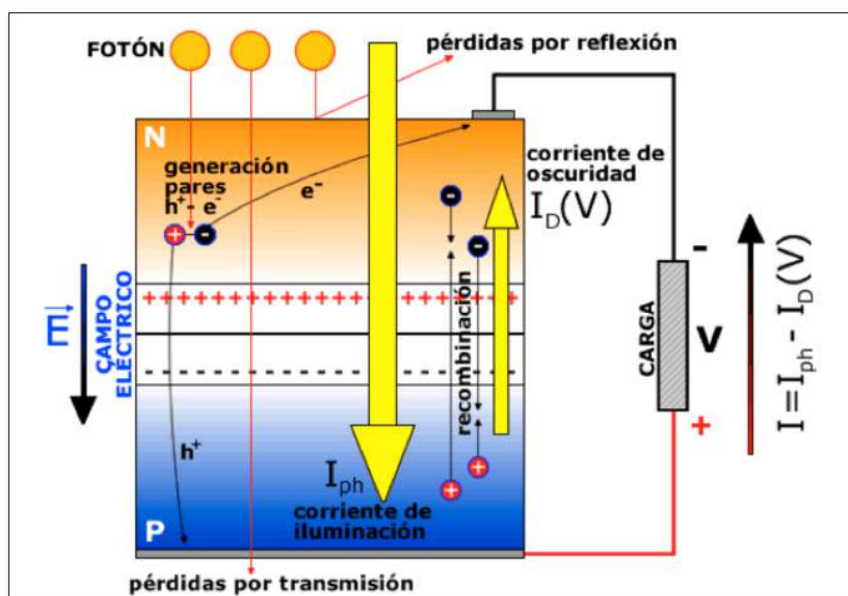


Ilustración 5 El efecto fotovoltaico en una celda fotovoltaica. Fuente [1]

En resumen, la energía solar fotovoltaica es la transformación de los fotones de la radiación solar en electricidad, para tal fin se crearon las celdas o células circulares o cuadradas fotovoltaicas, estas tienen diferentes formas y tamaños las cuales se agrupan de acuerdo a la necesidad. Una celda puede generar una potencia eléctrica de un vatio, se fabrican para crear módulos por lo general de 10, 20 y 40 celdas, y si la necesidad requiere mayor generación de electricidad se generan arreglos, que consiste en el agrupamiento de 10 módulos en adelante [1].

2. MODELOS DE NEGOCIO CON ENERGÍA SOLAR

El implementar tecnología con sistemas fotovoltaicos tiene entre sus limitantes los altos costos por factores como los equipos e insumos, la mano de obra calificada, conocimiento de la normativa y tramites de cada lugar para legalizar su funcionamiento, además de esto el mantenimiento del sistema y el tiempo de retorno de la inversión que es muy amplio.

Esto no solamente sucede en Colombia, en todo el mundo se presenta la misma problemática, es por esto que para mejorar y aumentar el acceso a esta tecnología existen varios modelos de

negoció, son los mismos para gran parte del mundo y logran ajustarse a la legislación según el lugar donde se implemente, a continuación, se relacionan y explican algunos términos a tener en cuenta y luego se detallaran los modelos más populares.

2.1 Conceptos

2.1.1 CAPEX (CAPital EXpenditure)

Traducido al español es “*Gasto de Capital*” corresponde a la inversión inicial para la gestión del proyecto o financiación utilizada por empresas para adquirir activos físicos o actualizar activos actuales. Tienen dos modalidades: los gastos de mantenimiento, que son los activos que la empresa compra con el fin de ampliar la vida útil de los activos existentes, la segunda modalidad se conoce como gastos de expansión, que corresponde a los activos nuevos que se adquieren con fin de hacer crecer la empresa [2].

2.1.2 OPEX (OPERational EXpenditures)

O “*Gastos Operacionales*” son los costes recurrentes de un producto o sistema, se pueden considerar OPEX los costes de los empleados y los gastos de instalaciones, como el alquiler [2].

En conclusión, CAPEX son inversiones importantes en bienes que se deprecian a lo largo de la vida útil del activo y figuran en el balance de situación y OPEX figuran en la cuenta de ganancias y pérdidas y se relaciona directamente con gastos concurrentes [2].

2.1.3 La Tasa Interna de Retorno – TIR

Es la medida relativa de rentabilidad o tasa de interés que ofrece una inversión. Es la medida porcentual de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto [3].

2.1.4 Valor Presente Neto – VPN

Indicador útil para determinar la viabilidad de una inversión o proyecto ya que permite medir su rentabilidad. Esta medida se obtiene restando la inversión inicial con el valor presente de flujos de dinero que se proyectan recibir en el futuro. Con el análisis de este indicador se puede conocer cuál es el rendimiento que como mínimo se debe ganar sobre un proyecto [4].

2.1.5 Costos Nivelados de Energía - Levelized Costs of Energy (LCoE)

Es la metodología que permite realizar la comparación entre diferentes tecnologías para la generación de energía, para esto se cuantifica el costo unitario de la electricidad generada (kWh) durante la vida útil del sistema, lo que permite de manera inmediata una comparación con el costo de diferentes tecnologías y considera la generación total de energía eléctrica en la vida útil del sistema. Además, tiene en cuenta que en el costo de instalación se debe aplicar la tasa de interés a la inversión y el flujo de efectivo en el tiempo de construcción del sistema [5].

El Costo Total Nivelado (CTNG) es el resultado de la suma del Costo Nivelado de Inversión (CNI), que es igual al costo generado durante el tiempo de construcción y el costo de producción, el cual se genera durante la vida útil del sistema, este incluye el Costo Nivelado de Combustible (CNC) y el Costo Nivelado de Operación y Mantenimiento (CNO&M) [5].

$$\text{Inversión inicial} + \text{Mantenimiento} + \text{Operación} + \text{Dinero}$$

El cálculo del LCoE también puede modificarse en función de las siguientes variables [5]:

- La degradación pronosticada del sistema (suministrada por el fabricante).
- Eficiencia del Sistema (suministrada por el fabricante)
- Costo asociado a la entrega de energía (ejemplo: distancia del centro de consumo)
- Potencia de la planta y factor de capacidad
- El “TAXLIFE” que es el peso de los impuestos a lo largo de la vida útil del sistema.

2.2 Engineering Procurement Construction – EPC

Por su traducción al español este sería el modelo “*Ingeniería Adquisición Construcción*”, consiste en la venta del proyecto por medio de un contrato conocido como “Turn Key Project” o “Proyecto Llave en Mano”, en este se especifica el costo total del proyecto (\$/kWp) y su alcance. El contratista tiene las obligaciones de:

- ❖ Ingeniería de detalle del Proyecto.
- ❖ Compra, Importación y suministro de los equipos y material necesario como:
 - ◆ Paneles solares
 - ◆ Inversores
 - ◆ Cables
 - ◆ Estructuras
 - ◆ Transformadores
 - ◆ Material de construcción
- ❖ Instalación y puesta en marcha en los términos acordados.

Aunque no se constituye como una obligación es recomendable firmar con la misma empresa que ejecutó el EPC el contrato O&M (Operación y Mantenimiento). También se sugiere en esta modalidad de negocio firmar una póliza de cumplimiento con la empresa contratista con una cláusula de rendimiento (PR) [6].

El cliente asume el riesgo de funcionamiento del sistema; el riesgo de la ingeniería, construcción y Puesta en Marcha la asume la empresa contratista que también se encarga de hacer el procedimiento legal para acceder a los beneficios de la Ley 1715 de 2014 y para la conexión del sistema con el organismo regulatorio (CREG-030-de 2018) y puede servir como garantía de pago. Para proyectos de gran escala desarrollan pruebas para evaluar el diseño llamadas FAT (Fabric Assesment Test) y para evaluar la instalación pruebas SAT (Site Assesment Test).

Dependiendo de donde provenga el capital para el desarrollo del proyecto se da la relación D/E, cuando el capital es propio (Equity) y/o con capital prestado (Debit).

La estructura del modelo EPC se muestra en la *Ilustración 6*

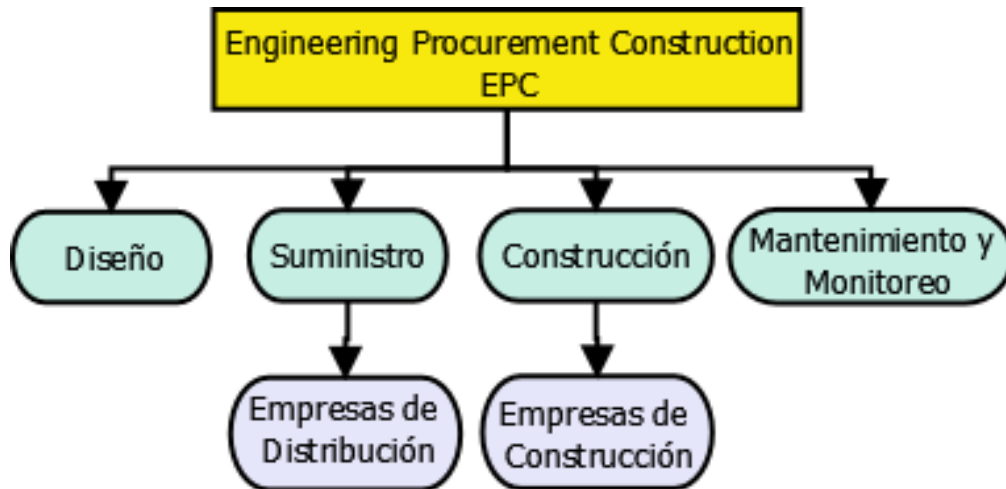


Ilustración 6 Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [6]

Los actores involucrados este modelo de negocio son básicamente 3:

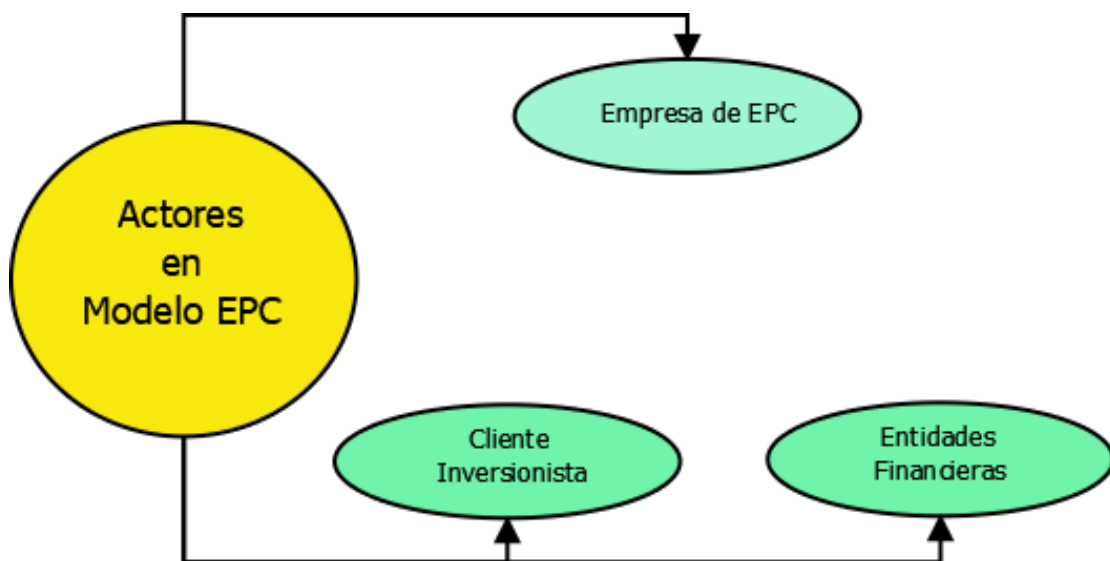


Ilustración 7 Actores en Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [6]

El comportamiento del modelo EPC se muestra en la *Ilustración 8*:

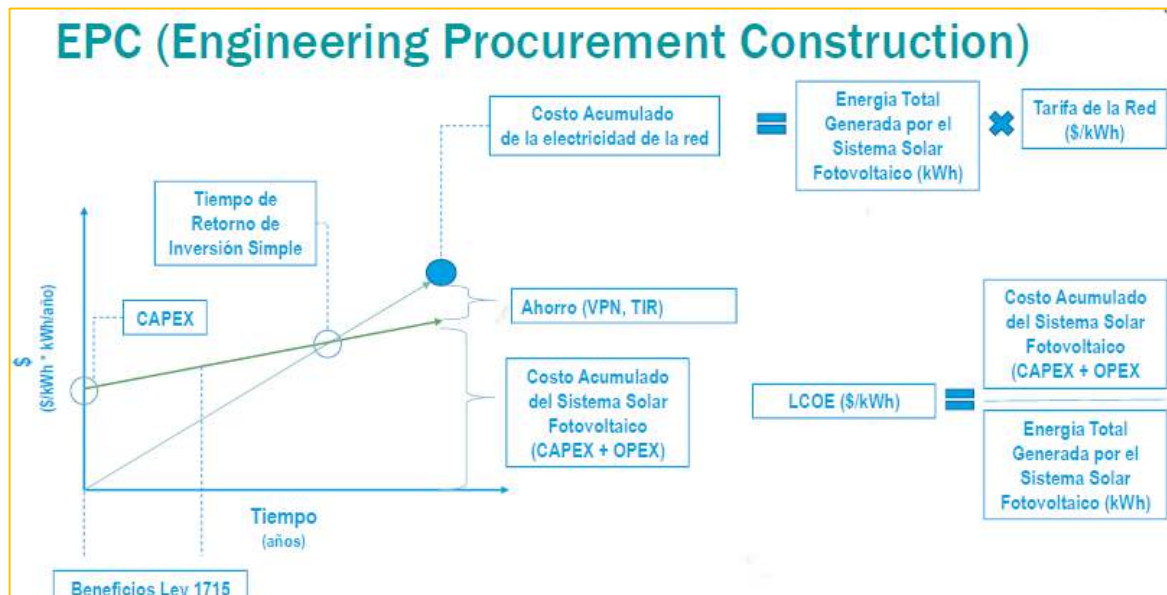


Ilustración 8 Comportamiento de Modelo EPC. Fuente [6]

2.2.1 Ventajas del modelo EPC

En el siguiente diagrama se muestran las ventajas con un modelo EPC para sistemas FV.



Ilustración 9 Ventajas de Modelo EPC. Elaboración Propia. Fuente [7]

2.3 Power Purchase Agreement – PPA

Al español traduce “*Acuerdo de Compra de Energía*” en este modelo los clientes pagan por lo kWh consumidos donde se garantiza un precio competitivo y/o más bajo que el de red y tarifas estables en el tiempo por la capacidad generada por el sistema FV, la empresa de energía solar invierte en la construcción del sistema y toman los beneficios de la Ley 1715 de 2014 y los transfiere a sus clientes por medio de las tarifas [6] [8]. La duración de este contrato esta entre los 15 a 20 años, si es una empresa de servicios públicos no paga IVA. Algunos aspectos adicionales a tener en cuenta en este modelo son:

- ❖ Se puede acordar pago por energía generada (“take or pay”) y/o por energía consumida.
- ❖ Se debe definir el dueño de excedentes producidos, este caso se da cuando la demanda de energía es menor a la generación del sistema FV.
- ❖ Entre más largo el plazo del contrato menor será la tarifa PPA.
- ❖ Al final del contrato se puede definir el dueño del activo.

La estructura general de este modelo se muestra en la *Ilustración 10*

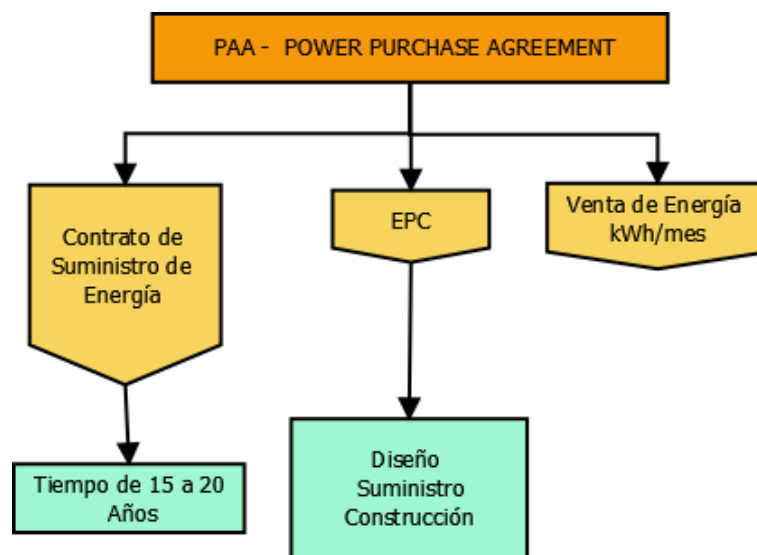


Ilustración 10 Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [7]

Los actores que intervienen en el modelo PPA se relacionan a continuación, donde cabe recordar que los bancos de segundo piso son aquellos de fomento, tienen el propósito de fortalecer sectores de la economía y solucionar problemáticas de financiamiento regional o municipal y promocionar actividades de desarrollo y creación de empresas. No tienen contacto directo con los clientes, canalizan recursos a través de intermediarios para sus consumidores [9] [10].

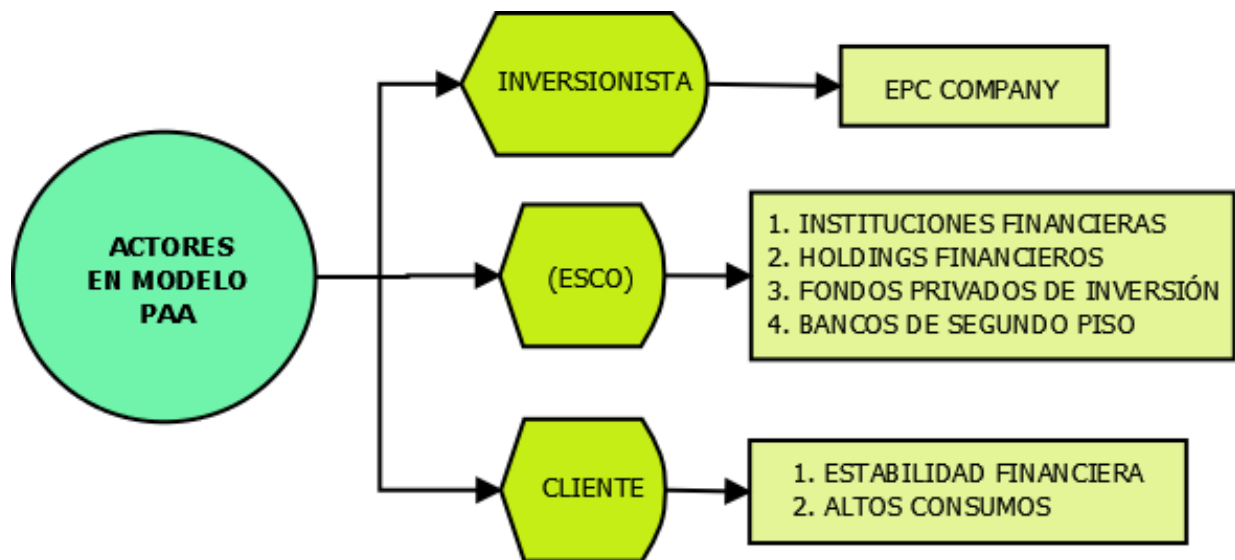


Ilustración 11 Actores en Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [7]

2.3.1 Ventajas del modelo PPA

Las ventajas de adquirir un modelo PPA para sistemas FV son:



Ilustración 12 Ventajas Modelo PPA. Elaboración Propia. Fuente [7]

El comportamiento financiero del costo de energía en el tiempo con el modelo de negocio PPA se muestra en la Ilustración 13

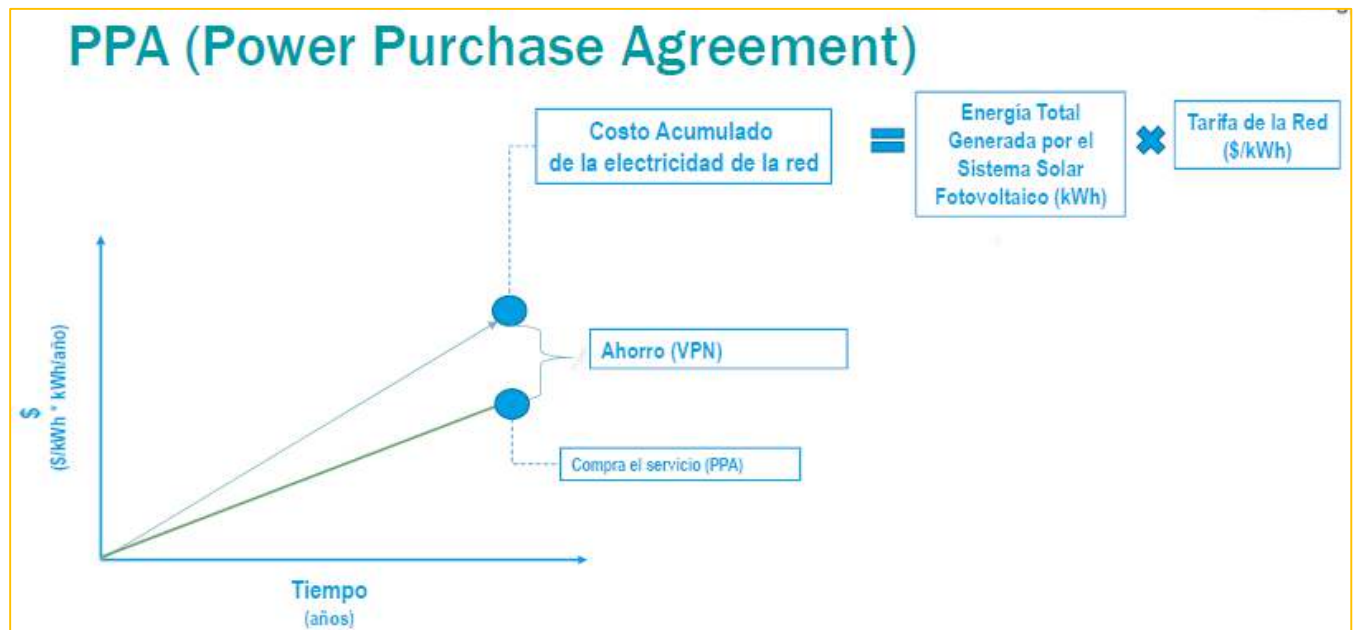


Ilustración 13 Comportamiento de modelo PPA. Fuente [6]

2.4 Leasing

Este modelo de negocio permite que el cliente pague una cuota mensual “Leasing Verde” o “Arrendamiento Verde” por los costos del sistema sin importar la capacidad de generación de este. Se hace por medio de un contrato que por lo general va desde 7 hasta 10 años, donde se establece el canon mensual (sin el pago de IVA), a más duración del contrato menor es la cuota mensual. El cliente del leasing recibe los beneficios de la Ley 1715 de 2014 solo si en el contrato se especifica que va a adquirir el sistema de manera irrevocable, al final del contrato el activo queda a nombre del usuario por un 1% del costo del bien.

Si la demanda de energía es menor a la capacidad de generación del sistema, los excedentes son de propiedad del cliente. La estructura general para esta modalidad de negocio es la siguiente:

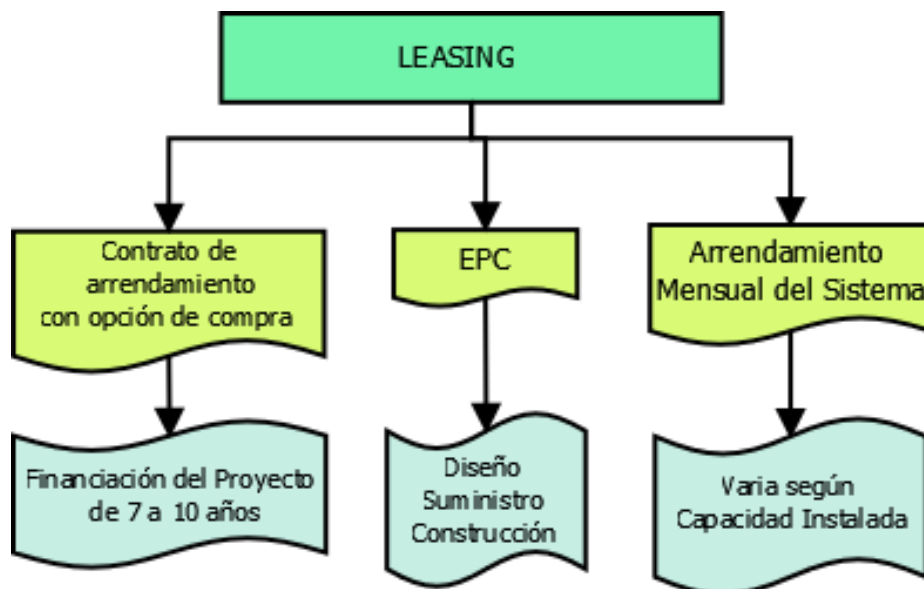


Ilustración 14 Modelo General de Leasing. Elaboración Propia. Fuente [7]

En este modelo el inversionista son las entidades financieras (ver Ilustración 15)

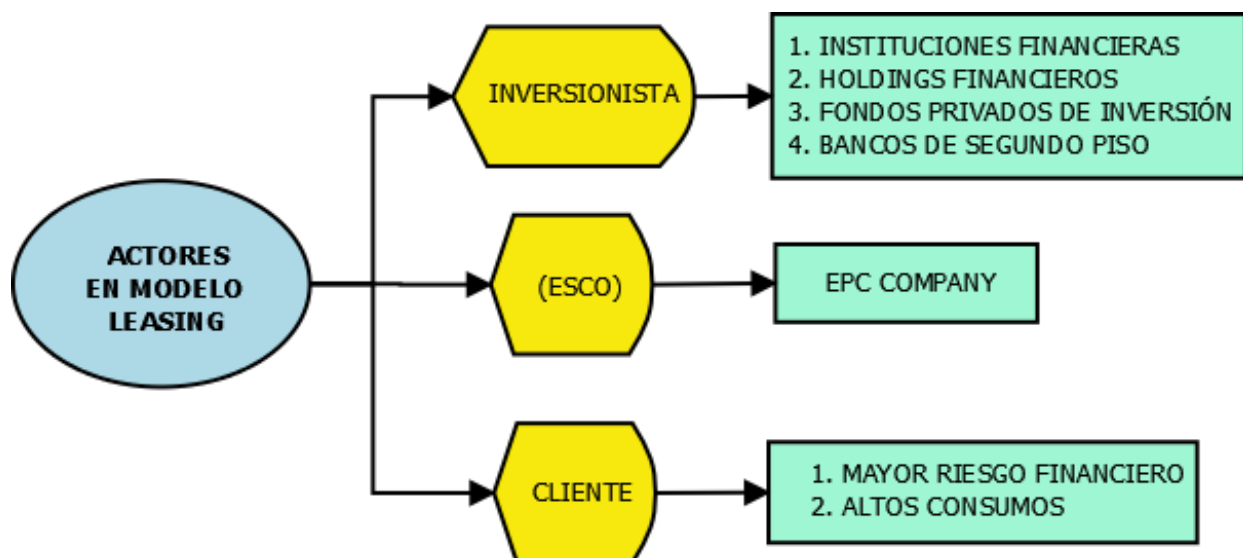


Ilustración 15 Actores Modelo Leasing. Elaboración Propia. Fuente [7]

2.4.1 Ventajas de Modelo Leasing



Contratos a Corto Plazo



Reducción en Tarifas de Energía luego que finalice el contrato



Terminando el contrato el activo pasa a ser propiedad del cliente.



Menos Emisiones de CO_2

Ilustración 16 Ventajas de Modelo Leasing. Elaboración Propia. Fuente [7]

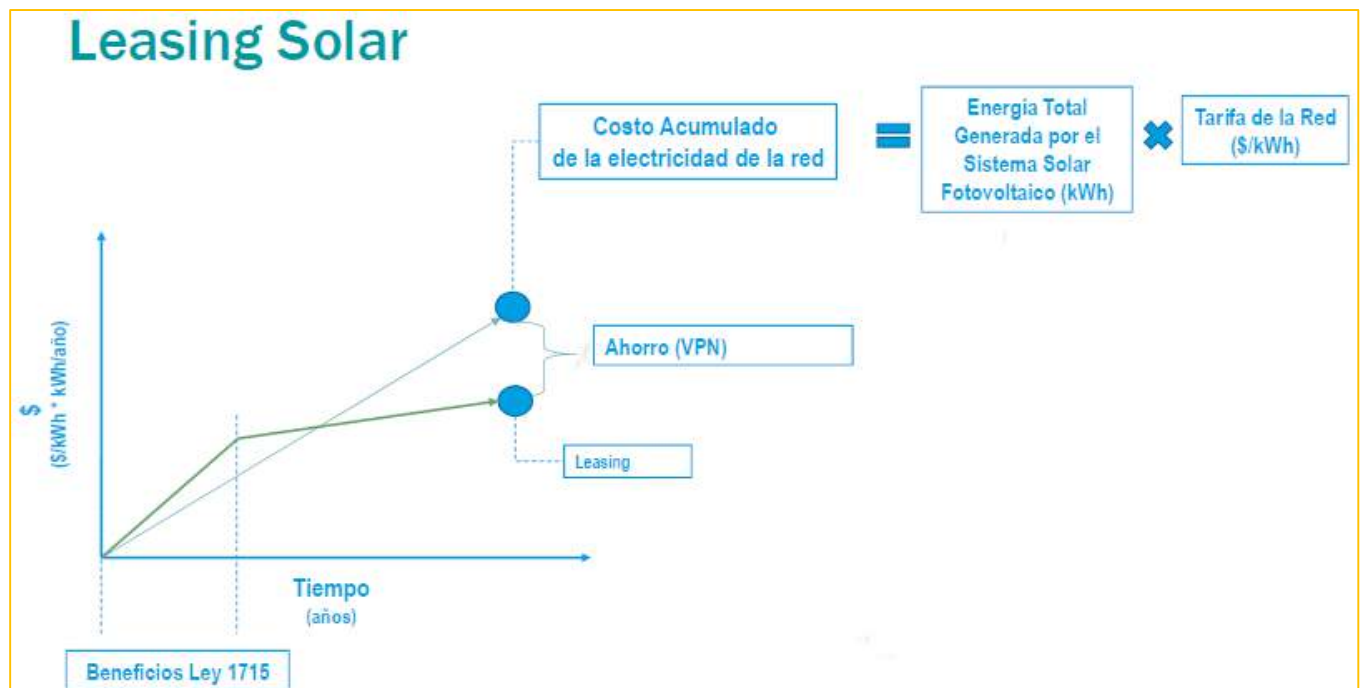


Ilustración 17 Comportamiento del Modelo de Negocio Leasing. Fuente [7]

2.5 Renting

En este modelo los clientes pagan un alquiler tecnológico por el costo del sistema sin importar la capacidad de generación del sistema. Se realiza por medio de un contrato que por lo general está entre los 5 y 10 años, y se establece un canon mensual a pagar donde se debe evaluar el pago del IVA [7].

Los propietarios del sistema reciben los beneficios de la Ley 1715 de 2014 y los transfieren a los clientes con un canon de arrendamiento menor y más competitivo. Los excedentes de energía son del cliente y al finalizar el contrato existe la opción de que el usuario adquiera el sistema [7].

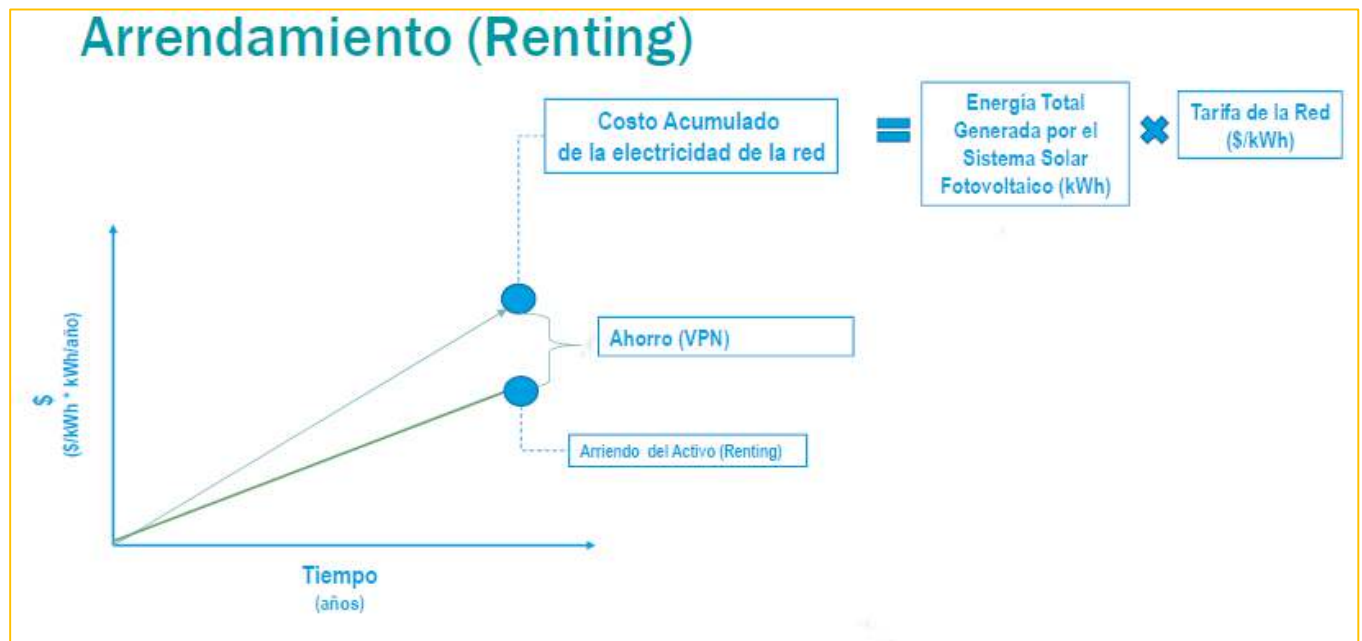


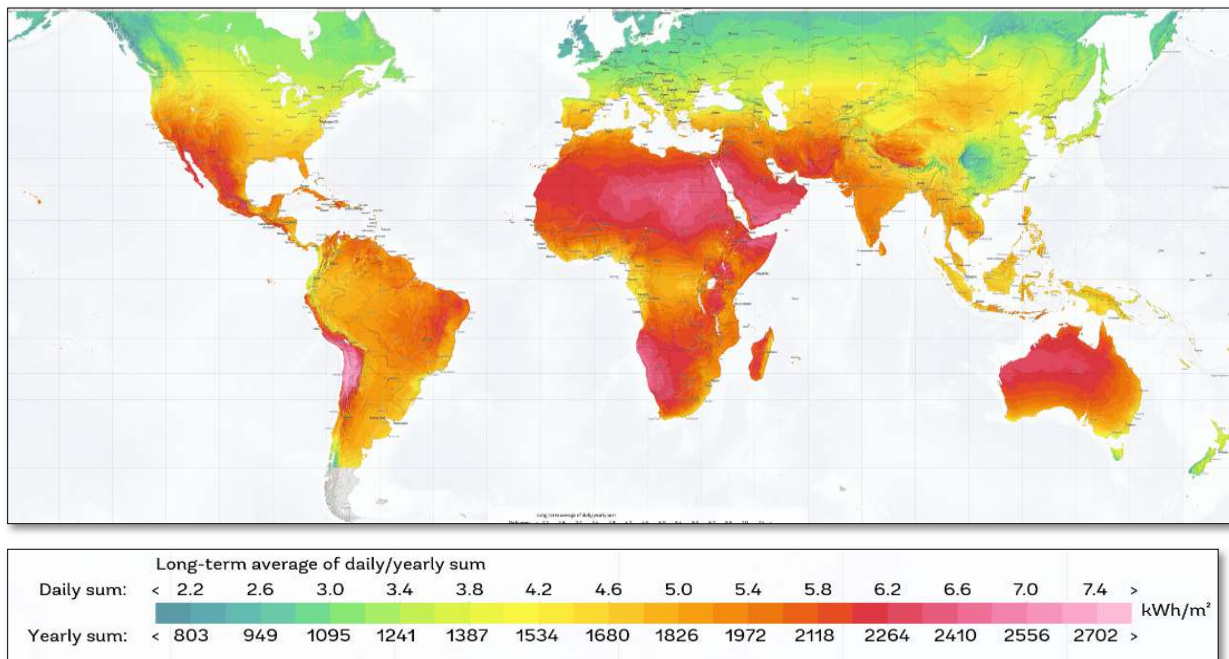
Ilustración 18 Comportamiento de Modelo Renting: Fuente [7]

3. PANORAMA INTERNACIONAL

3.1. Distribución Mundial De La Radiación Global Horizontal [1]

La distribución del recurso solar depende de la posición relativa y el movimiento de la Tierra respecto al sol, por estas razones los polos reciben menos radiación solar en comparación con el Ecuador, y en lugares donde se presentan estaciones se dispone de más radiación en verano que en invierno.

La media global se encuentra entre los 3.9 kWh/m² y 4.0 kWh/m². Los lugares del planeta Tierra que tienen los mayores niveles de radiación solar global horizontal se presentan donde no hay nubosidad y su latitud está entre los 15 y 30 grados, ya que principalmente en verano los rayos solares llegan de manera más perpendicular que en el resto del mundo. En los polos durante la noche polar de cada hemisferio la radiación puede llegar a cero [1].



Mapa 1 Radiación Solar Global En el Mundo.

En la *Ilustración 19* se relacionan los lugares en mundo donde se registran los valores máximos y mínimos de radiación solar

Nivel de Radiación	Lugar	Radiación Diaria (kWh/m ²)	Radiación Promedio Anual (kWh/m ²)
Máximo	Sahara, Norte de África	6.8 - 7.2	2500 - 2600
	Atacama, Chile		
Mínimo	Islas Brumosas del Ártico	1.3	480
	Polos	0	-

Ilustración 19 Lugares con Registros Máximos y Mínimos en el Mundo. Fuente [1]

3.2. Energía Solar Fotovoltaica en el mundo

La energía solar fotovoltaica es la de más rápido crecimiento siendo la opción más competitiva en generación de electricidad, con cada vez mayor cantidad de países que instalan sistemas a escala de gigavatios además de la diversificación y expansión en sectores residencial, comercial y de servicios públicos [11]. Dos factores que influyen en el crecimiento de este mercado es el aumento en la compra corporativa de energía solar FV y el autoconsumo que en Europa y Estados Unidos impulsaron la implementación de nuevos sistemas distribuidos.

3.2.1. Adiciones de Capacidad Instalada en Sistemas FV en el Mundo

Al año 2017 aumentó la instalación a nivel mundial de capacidad de energía solar FV en 98 GW aproximadamente, se agregó más capacidad de esta fuente de energía que de cualquier otro tipo, se realizaron más instalaciones de energía FV que las sumatorias netas de la capacidad de los combustibles fósiles y energía nuclear combinadas; en promedio, se instalaron más de 40.000 paneles solares por cada hora del año [12]. Para el 2018 el incremento en el mercado de energía solar fotovoltaica fue de 25 %, que corresponde a más de 100 GW para completar un total de 505 GW de capacidad instalada acumulada a nivel mundial [11].

Entre los años 2007 a 2018 el incremento promedio anual fue de 69.25 %, este se concentra en mercados de naciones como China, India, Estados Unidos, Japón, Turquía, Alemania, Australia, el Reino Unido, República de Corea y Brasil respectivamente, cabe mencionar que el mercado en China en 2018 disminuyo lo cual fue compensado por Europa y los mercados emergentes que aumentaron su demanda estimulados principalmente por la disminución de precios de esta tecnología [11] [12].

En 2018 por lo menos 11 países completaron más de 1 GW de capacidad acumulada llegando a un total de 32 países con esta capacidad, frente 29 el año inmediatamente anterior [11], en la Ilustración 20 se muestra el comportamiento de capacidad instalada de energía solar fotovoltaica entre los años 2007 - 2018 a nivel global.

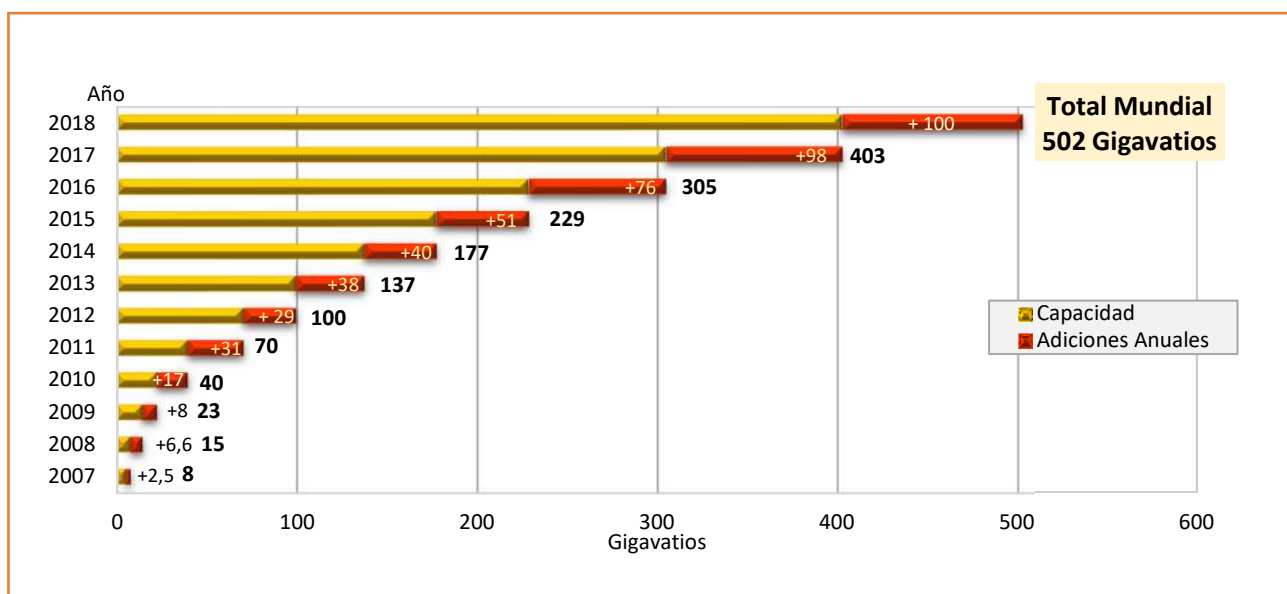


Ilustración 20 Capacidad Instalada a Nivel Mundial. Fuente [2]

A 2017 la energía solar FV fue la principal nueva fuente de energía en países como China, India, Japón y los Estados Unidos. En el año 2016 China aumento en un 50 % la instalación de sistemas FV, en India se duplico, lo que hizo que Asia como desde hace 5 años concentrara el 75 % de las adiciones en capacidad instalada a nivel mundial [12]. El mismo comportamiento se presentó para 2018 a pesar de presentar disminución en los tres principales mercados del continente asiático (China, India y Japón), China paso de representar el 54 % de las adiciones en 2017 a 45 % en 2018; después de Asia se encuentra América como el continente con mayores adiciones [11].

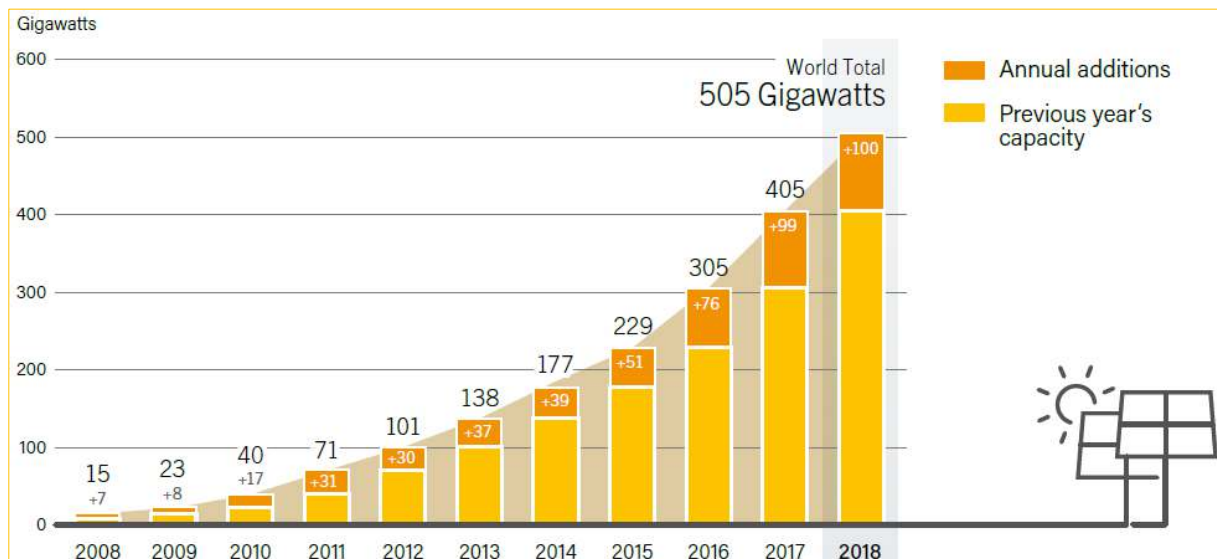


Ilustración 21 Distribución de Capacidad Instalada por Principales Mercados en el Mundo .Fuente [11]

En el año 2017 el 84 % de las adiciones de capacidad instalada a nivel mundial se concentraba en los mercados de China, India, Japón, Estados Unidos y Turquía, para 2018 estos mismos mercados con excepción de Turquía que fue desplazado por Australia pasaron a concentrar un 75 % de las adiciones mundiales, seguidos de Alemania, México, la República de Corea, los Países Bajos y ahora Turquía que paso a este segundo grupo y del cual salieron países como Reino Unido y Brasil en el 2018 [12][11].

3.2.2. Capacidad Acumulada a Nivel Mundial

La capacidad acumulada al año 2018 la lideran China, Estados Unidos, Japón, Alemania, India e Italia. En general las razones del crecimiento del mercado de sistemas solares FV se pueden nombrar [12]:

- Los incentivos, regulaciones y normativas gubernamentales que estimulan el crecimiento del uso de las FNCER.
- Países en desarrollo se presentan un gran aumento de competitividad y demanda de energía solar para la generación de energía eléctrica.
- En tercer lugar, se encuentra el aumento de la conciencia en la necesidad de mitigar el cambio climático disminuyendo la contaminación, en especial las emisiones de CO₂.
- La iniciativa de algunos países de producir su energía eléctrica a partir de la fuente solar.

Varios países cubren una parte considerable de la demanda con este recurso [12], de los cuales se pueden destacar:

País	% De Demanda Cubierta con Energía Solar FV
Honduras	12.1 %
Italia	8.2 %
Grecia	8.2 %
Alemania	7.7 %
Japón	6.5 %

Ilustración 22 Países con mayor demanda energética cubierta con sistemas FV. Fuente

China

Representa más de la mitad de la fabricación y demanda de sistemas FV, en el año 2017 en este país la energía solar FV paso al primer lugar como nueva fuente de capacidad de energía, se agregó más capacidad de energía FV que toda la que se agregó a nivel mundial con esta tecnología en el año 2015. Llegando a final del 2017 a un total instalado de 131 GW aproximadamente y en 2018 alcanzando 176.1 GW superando las proyecciones a 2020 que estimaron 105 GW de capacidad instalada [11] [12].

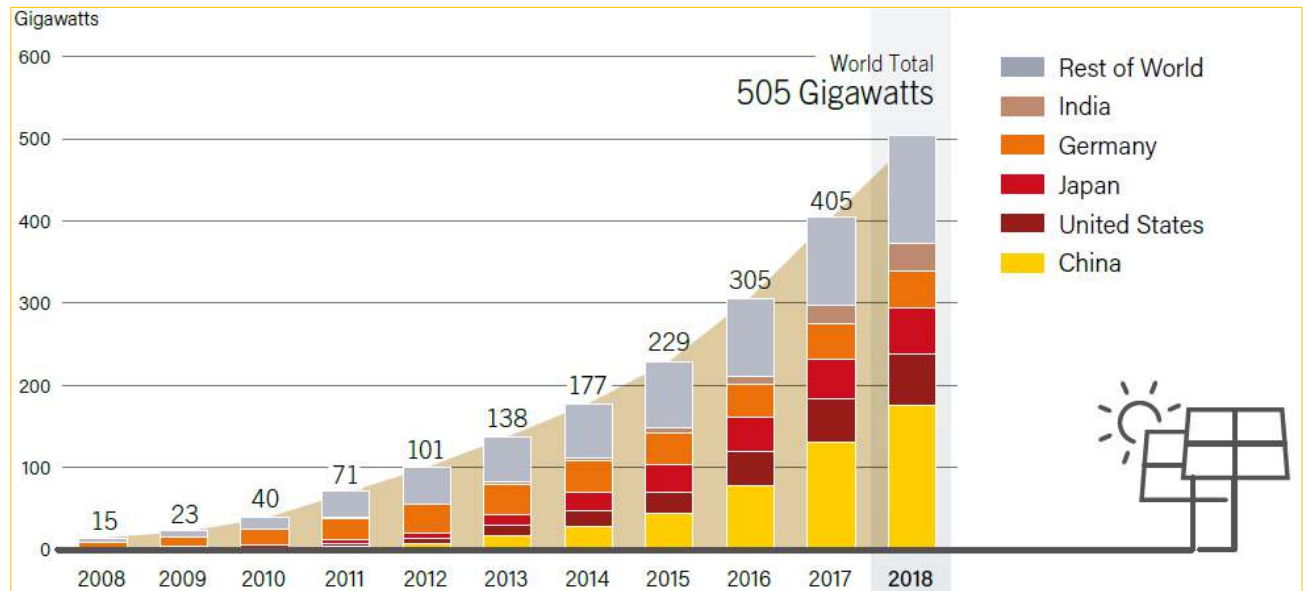


Ilustración 23 Capacidad Global de Energía Solar FV por región y por país 2008 - 2018. Fuente [11]

Además de los incentivos del gobierno y los grandes proyectos centralizados, la capacidad instalada en techos para autoconsumo tuvo un incremento que paso de 4.2 GW en 2016 a 19.4 GW en el año 2017 y para 2018 aunque registro una disminución del 15 % respecto al año inmediatamente anterior la escala de los proyectos fue superior a lo esperado teniendo en cuenta el desmonte por parte del gobierno central de algunos subsidios a esta tecnología. En 2017 China generó un 79 % más de energía solar FV (118 TWh) que en 2016 equivaldría al 1.9% aproximadamente de generación eléctrica de todo el país [12].

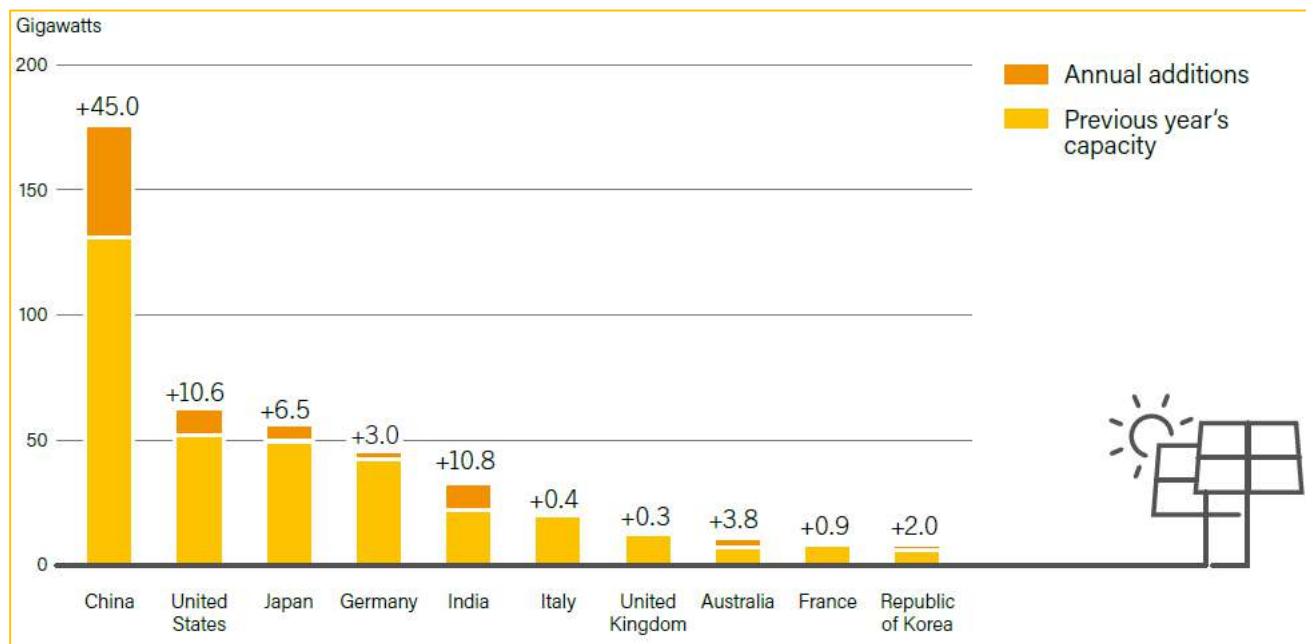


Ilustración 24 Top Diez de Países en Adiciones y Capacidad de Energía Solar FV. Fuente[11]

Estados Unidos

El segundo país a nivel mundial en agregar más capacidad instalada de energía solar FV, en 2017 con 10.6 GW para llegar a un total de 51 GW y en 2018 agrego una capacidad igual a la de 2017 alcanzando un total de 62.4 GW, es la principal nueva fuente de capacidad de generación de energía, aclarando que la diferencia respecto al primero es muy amplia. En varios estados la energía solar FV alcanzo el 10% o más de penetración, California fue el que agrego más capacidad con 5.2 GW en 2017 y 3.4 GW en 2018 que además ha sido el primer estado en ordenar instalaciones FV en todas las viviendas nuevas a partir de 2020, enseguida se encuentra Texas con 1 GW en 2018, California del Norte con 1 GW en 2017 y 0.9 GW en 2108 y La Florida con 0.35 GW [11] [12].

En el año 2017 el mercado estadounidense se contrajo un 30 % respecto al año 2016, esto debido a varios factores entre los cuales se destacan los siguientes [12]:

- Retrasos en interconexión
- Desaceleración de los mercados en proceso de maduración incluido el mercado del estado California.
- Aumento en el precio de los equipos solares FV debido a decisiones federales sobre la importación de los mismos.
- Incertidumbre Política, por las mismas causas que estimularon la subida de costos en los equipos.

Esta desaceleración también se refleja en instalaciones residenciales con una disminución del 16% (2.2 GW), para 2018 se recuperó y creció un 7%, en servicios públicos se registró una disminución de 40% (6.2 GW) para 2017 y 8% en 2018. En los no residenciales las políticas de plazos de fin de año impulso el crecimiento en un 28 % respecto al año 2016 (hasta 2.1 GW) [12], en general para el año 2018 el mercado estadounidense se estabilizo.

Las compras de energía solar en los años 2015 y 2016 en Estados Unidos fueron impulsadas por políticas estatales; mientras que para el año 2017 la adquisición de proyectos a gran escala fue impulsado por servicios voluntarios y corporativos. Por otra parte, las empresas de servicios eléctricos solicitan revisión o eliminación de políticas de apoyo como la medición neta, otras buscan el incremento de sus utilidades invirtiendo basados en las ganancias que produce la generación de energía solar FV con Gas Natural [12].

En el año 2017 se puso en línea una capacidad de más de 6.2 GW, 2.3 GW estaba en construcción y 14.6 GW se contrataron por medio de acuerdos de compra de energía [12]. En 2018 las empresas firmaron un total de 13.2 GW de acuerdos de compra de energía solar por el modelo PPA, los compradores industriales y comerciales adicionaron una capacidad de 153 MW [11] [12].

India

Ocupa el quinto puesto en capacidad acumulada a nivel mundial, para 2017 se posicionaba en el tercer lugar de adiciones agregando 9.1 GW y llegando a 18.3 GW, en el año 2018 pasa al segundo lugar con adiciones por el orden de 10.8 GW, acumulando un total de 32.9 GW. Sin embargo en el comparativo de los años 2017 y 2018, en este último se presentó una disminución de instalación de sistemas FV debido a varios factores como la disposición de tierra, limitaciones de transmisión, fallas en el esquema de licitación e incertidumbre por los impuestos sobre bienes y servicios [11] [12].

Desde el año 2014 los grandes proyectos solares FV en la India han sido impulsados por políticas del gobierno nacional y de algunos estados además de la caída en los costos de los equipos, esto ha hecho que en 2017 los grandes proyectos representen el 91 % de las adiciones de energía solar FV [12].

Los sistemas solares FV en techos es impulsado por el gobierno y los sectores industrial y comercial que buscan bajar el valor de sus facturas de consumo eléctrico. Las instalaciones en techos es el sector de más rápido crecimiento, sin embargo, su capacidad instalada es muy pequeña en este mercado, para 2017 se agregaron un total de 0.8 GW para llegar a un total de 1.7 GW, en 2018 se registró crecimiento, sin embargo, no fue significativo lo que hace pensar que no se alcanzara la meta propuesta por el gobierno de los 40 GW al año 2022. Este mercado también presenta importantes limitaciones en el crecimiento del mercado por ejemplo los usuarios residenciales tienen restricción económica a los sistemas FV debido a los costos, los sectores industrial y comercial tienen problemas a la hora de vender sus excedentes de energía ya que las empresas de distribución estatales se niegan a comprarlos y en varios estados está prohibida la medición neta [12].

En el último trimestre de 2017 el mercado FV se desaceleró a causa de las faltas de infraestructura de transmisión en el Norte y Sur del país, además del incremento en los costos de los paneles y la incertidumbre causada por la posibilidad de nuevos aranceles sobre las importaciones de equipos, para el año 2018 las inversiones habían caído un 27 %, aun así sigue siendo la que más capacidad adiciona, India apunta a tener una capacidad instalada de 100 GW al año 2022 [11] [12].

Japón

Ocupa el tercer lugar en adiciones a nivel mundial con 6.5 GW instalados en 2018 para una capacidad total mayor a 56 GW, mercado que se contrajo en el año 2016, 2017 (13 %) y 2018

(13 %) debido entre otras a la reducción en la demanda de proyectos a gran escala causado por la reducción en el FIT nacional, los altos precios en la generación de energía solar, escasez de tierra, restricciones de red , altos costos laborales, además de presentar baja participación en licitaciones ya que hay muchos obstáculos para hacerlo. A nivel residencial también presentó un comportamiento negativo por cuarto año consecutivo hasta 2017, sin embargo, este región del mercado registra aproximadamente un total de 1GW de nuevas capacidades instaladas con una mejor tendencia para el 2018. Para contrarrestar el comportamiento del mercado en los últimos años comenzó a reducir costos en licitaciones para sistemas iguales o mayores a 2 MW. La energía solar FV para 2018 representó el 6.5% del total de generación eléctrica frente a un 5.7 % en el 2017 , 4.8 % en el 2016 y 2.7 % en 2015 [11] [12].

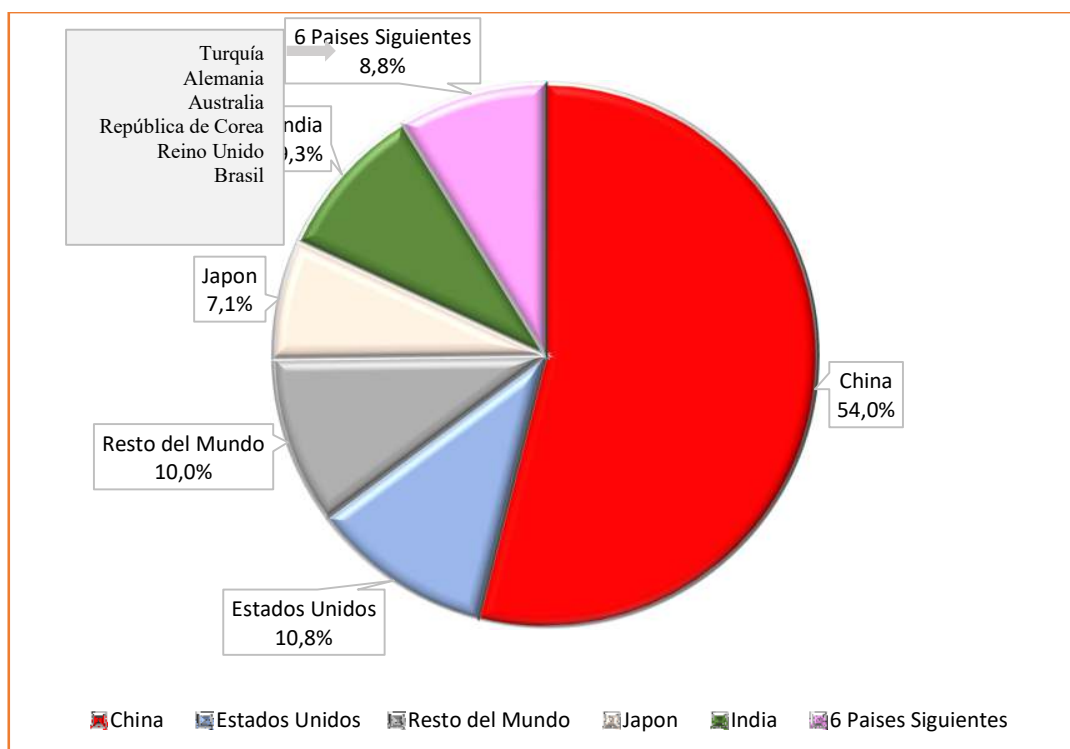


Ilustración 25 Adiciones de Capacidad de Energía Solar FV a Nivel Global, 10 Principales Países y el Resto del Mundo. Fuente [12]

A finales de 2018 Turquía instaló 1.6 GW y logró una capacidad total acumulada de 5.1 GW superando el objetivo nacional para 2023, que comparado con su adición a 2017 estas disminuyeron un 37.5% aproximadamente. La República de Corea agregó más de 2 GW para un total de 7.9 GW [11] [12].

En otras zonas de este continente la demanda de energía solar FV se ve limitada ya que las políticas de gobierno subsidian los combustibles fósiles lo que no hace atractivas otras opciones para los usuarios [12]. Sin embargo, en 2018 otros países en Asia ingresaron al mercado de la energía fotovoltaica con una capacidad instalada superior a 0.5 GW, entre estos se destacan Taipéi Chino, Pakistán y Malasia, el mercado tailandés ha presentado desde 2017 un crecimiento en sistemas de techos para autoconsumo y Armenia en ese mismo año ingreso al mercado de la energía solar con la instalación de tres plantas de gran escala [12].

En medio Oriente el progreso en este mercado se reflejó en el año 2017 e inicios de 2018, los países al ver estos resultados aumentaron sus expectativas respaldados también en la caída de los precios de la tecnología solar FV [12].

- Emiratos Árabes Unidos se instaló la segunda planta a gran escala de la región con una capacidad de 200 MW.
- Jordania instaló el proyecto más grande en el mundo en una zona de refugiados con capacidad de 12.9 MW además de estar gestionando otros proyectos de gran envergadura.
- Arabia Saudita licitó un proyecto de 300 MW en 2017 y en 2018 planea lanzar licitaciones con capacidad de 3.3 GW.

Europa

La Unión Europea agregó 6 GW en 2017 para un total acumulado de 108 GW de capacidad instalada, en 2018 adicionó 9.7 GW de las cuales 8.3 GW están conectados a la red es decir un 36% más en relación con las adiciones del 2017 fueron conectadas a la red, es decir que en capacidad acumulada la UE alcanza un total de 118 GW, esta región está dependiendo cada vez menos de los incentivos de gobierno y gracias a la baja en los costos de los equipos el mercado de sistemas solares de autoconsumo en techos y en tierra aumentó considerablemente al igual que las licitaciones. En varios países de la UE como España, Portugal, Italia y Reino Unido se vienen desarrollando importantes proyectos a escala de servicios de energía solar FV [11] [12].

Los principales mercados europeos registraron crecimiento respecto al año 2016 con excepción del Reino Unido, de esta región además se puede destacar lo siguiente[12]:

- Reino Unido en el año 2017 en adiciones de capacidad no logró el resultado que esperaba y las nuevas instalaciones cayeron un 54 % respecto a 2016 a causa del cierre de la ventana de certificados renovables y la reducción en FIT para nuevas instalaciones. Para 2018 sigue su comportamiento negativo ya que las adiciones fueron de menos de 0.3 GW.
- Alemania adicionó 1.7 GW en 2017, cifra que se ubicó debajo de lo proyectado por el gobierno (2.5 GW) y completo un total de 42.4 GW. A finales de 2018 Alemania tenía instalados más de 1.7 millones de sistemas solares FV donde más de la mitad de los sistemas nuevos se instalaron con almacenamiento y más de 120 mil sistemas estaban en operación.
- Francia en los años 2017 y 2018 agregó 0.9 GW,
- Los Países Bajos adicionó 0.9 GW en 2017, para 2018 adicionó 1.4 GW y alcanzar un total de 4.3 GW en capacidad acumulada, de la adición en 2018 más del 40% corresponden a instalaciones residenciales, en el sector comercial las adiciones aumentaron un 90% respecto al 2017.
- En España aumentaron en 145% las instalaciones para finales de 2016, especialmente en sistemas de autoconsumo ubicados en techos, además de dar una licitación y asignar más de 3.5 GW de capacidad en proyectos futuros.
- Rusia por su parte agregó 115 MW y llegó a un total de 250 MW a 2017.
- En Australia el creciente mercado de la energía solar logró que se agregaran 1.3 GW en 2017 para una capacidad total de 7.2 GW, para 2018 la cifra de triplicó a 3.8 GW

llegando a un total acumulado de 11.1 GW esto motivado por el incremento de los precios de la energía eléctrica para usuarios residenciales y comerciales que aprovecharon el mejor comportamiento en costos para sistemas FV. El mercado residencial represento el 64 % de las nuevas instalaciones. Para 2018 el valor de la energía solar FV logra ser más bajo que el de electricidad de red y más de 2 millones de hogares y negocios cuentan con sistemas FV en sus techos.

A finales de 2018 la capacidad en funcionamiento a nivel mundial era suficiente para producir 640 TW de electricidad por año o 2.4 % de la generación anual de electricidad global [11].

América representa el 14.5 % aproximadamente del mercado mundial al 2018

3.3. Distribución en Latinoamérica del Recurso Solar

A nivel de Latinoamérica los valores máximos de radiación solar global horizontal se presentan en el desierto de Atacama en Chile y los valores mínimos en el extremo sur del continente en Argentina [1].

Nivel De Radiación	Lugar	Radiación Diaria (Kwh/M²)	Radiación Promedio Anual (kWh/m²)
Máximo	Atacama, Chile	7.0 - 7.2	2555 - 2600
Mínimo	Extremo Sur, Argentina	2.0 - 2.5	730 - 915

Ilustración 26 Registros Máximos y Mínimos de Radiación Solar en Latinoamérica. Fuente [1]



Mapa 2 Radiación Solar Global Latinoamérica. Fuente [5]

3.4. Energía Solar Fotovoltaica Mercado En Latinoamérica y El Caribe

América Latina y el Caribe aún no tienen una representación muy significativa en el mercado mundial de energía solar FV, aunque se presenta un crecimiento a buen ritmo por la disponibilidad del recurso y por la presencia de importantes empresas de todo el mundo que tienen la firme convicción de un crecimiento masivo. A finales de 2017 por medio de licitaciones se adjudicó una buena cantidad de capacidad para países como México, Argentina, Chile y Brasil, la mayor parte de la capacidad instalada ha sido por el modelo PPA a gran escala, sin embargo los sistemas de energía solar distribuida han tenido un crecimiento importante en México y Brasil donde la medición distribuida y los costos de la energía eléctrica en sistema tradicional han hecho de esta tecnología una muy buena opción [12].

El país mejor ubicado en adiciones al año 2018 en la región es México, que logro entrar al top diez a nivel mundial, agrego más de 2.7 GW en comparación con los 285 MW en 2017,

aumentando cinco veces su capacidad total a 3.4 GW, esto se dio principalmente por la conexión a la red de varios proyectos de gran capacidad por subastas en modelo PPA y un aumento significativo en proyectos distribuidos bajo el esquema de medición neta.

Chile es el segundo país en la región con mayor capacidad acumulada con un total de 2.6 GW de los cuales se adicionaron 0.7 GW en año 2017 y 0.5 GW en 2018, la mayoría del mercado en este país se encuentra en proyectos de gran escala bajo el modelo PPA que en su mayoría están destinados a minería y a otros grandes consumidores.

Por otro lado, se encuentra Brasil que es el segundo país en Latinoamérica después de Chile en lograr una capacidad instalada de energía solar FV superior 1 GW, lo que le permitió ubicarse en el décimo puesto a nivel global para la capacidad agregada en el 2017. En 2018 supero los 0.5 GW en capacidad acumulada por sistemas distribuidos, de los cuales 0.4 GW se adicionaron en ese mismo año, en total Brasil adiciono una capacidad de 1.1 GW en el 2018 alcanzando un total acumulado de 2.4 GW, estas adiciones se dieron principalmente por el aumento de incentivos por parte del gobierno central.

El acceso al financiamiento sigue siendo la limitante más grande en el mercado latinoamericano, debido a la inestabilidad monetaria y a las tasas de interés. La opción más utilizada para superar estos obstáculos ha sido los bonos verdes que además de Colombia también han sido emitidos por Chile, Argentina, Perú y Uruguay [13]. La mayor parte de la capacidad instalada en América Latina de proyectos de gran escala se realizan mediante el modelo PPA.

3.4.1 Capacidad Eléctrica de Sudamérica con FNCER

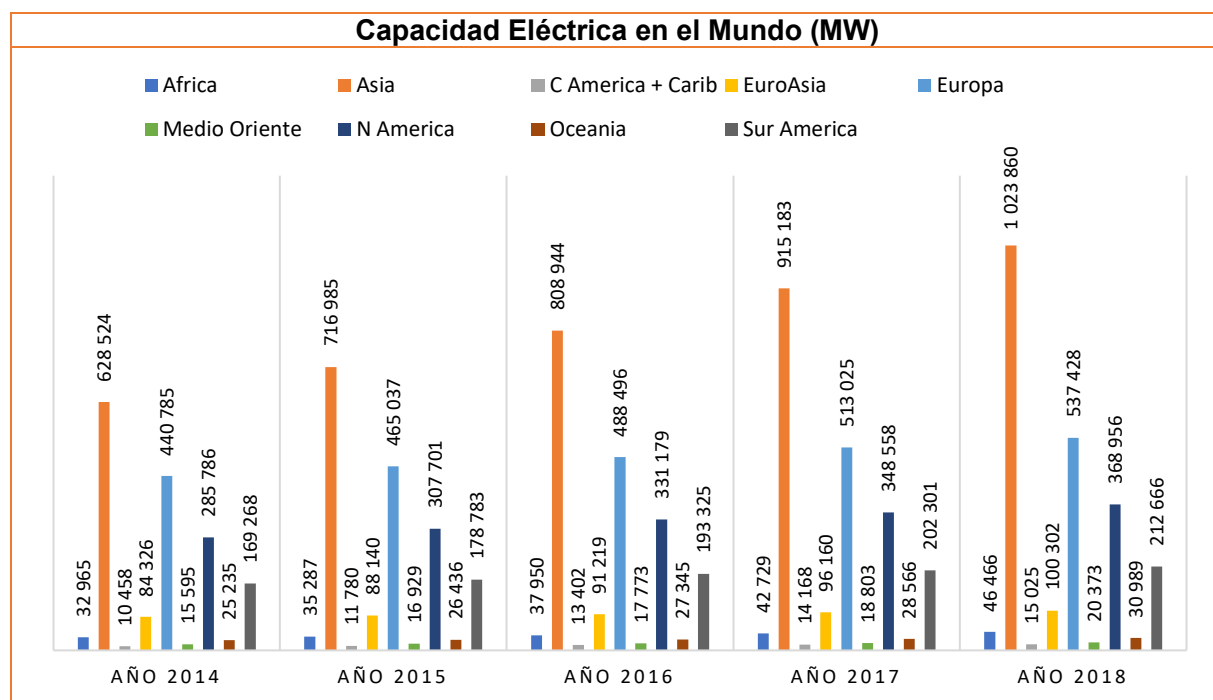


Ilustración 27 Capacidad Eléctrica en Mundo. Elaboración Propia Fuente [14]

Como se observa en la *Ilustración 27* la capacidad eléctrica con FNCER en Sudamérica al año 2018 registra 212.666 MW aproximadamente, un comportamiento regular en los últimos 4 años si se tiene en cuenta la regularidad de los incrementos en todo el mundo. El continente asiático

encabeza la capacidad con FNCER desde el 2014 hasta la fecha donde ha ampliado del 37% al 43% en el 2018 su participación en este análisis, Europa y Norte América se ubican en el 3 y 4 lugar, luego esta Sudamérica con una participación en la capacidad total del 9,03% al año 2018, donde al analizar los 4 años pasados ha venido cediendo ya que en el 2014 representaba el 10% de la capacidad mundial [14].

3.4.2 Generación Eléctrica con FNCER

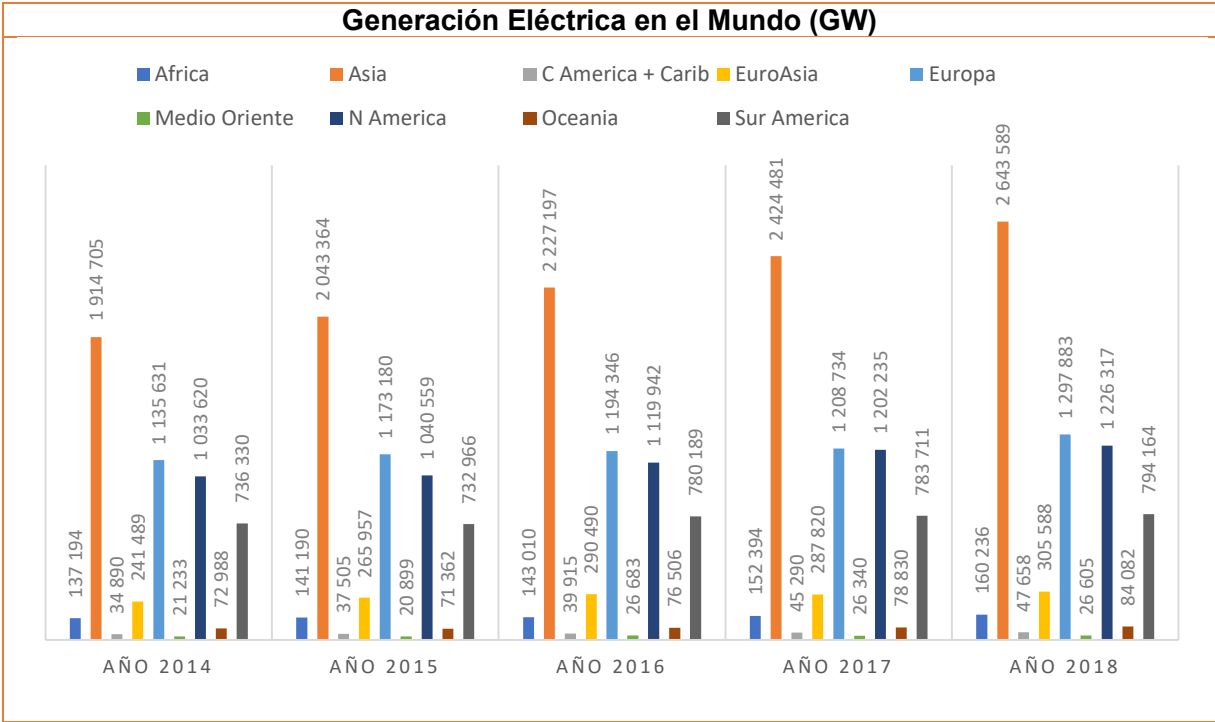


Ilustración 28 Generación Eléctrica en Mundo. Elaboración Propia Fuente [14]

La generación eléctrica con FNCER tiene el mismo comportamiento que la capacidad, es liderado por Asia con un promedio de participación en los últimos 5 años del 38% en la generación con FNCER y luego se encuentra Europa y Norte América, estos dos últimos con una diferencia mucho menor respecto a la capacidad, Sudamérica por su parte se encuentra en el cuarto lugar con 794 GW y representa en al año 2018 un 12% del total de generación con FNCER en el mundo [14].

3.4.3 Capacidad Eléctrica con FNCER en Sudamérica

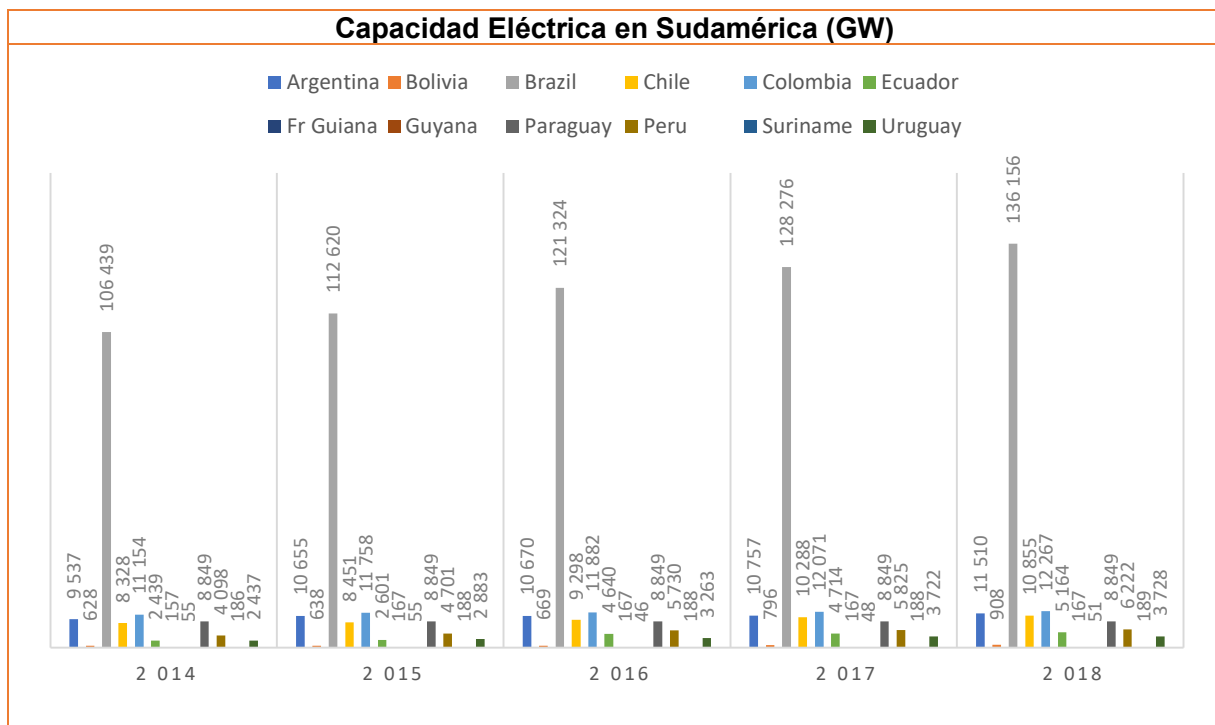


Ilustración 29 Capacidad Eléctrica con FNCER Sudamérica. Elaboración Propia. Fuente [14]

4. PANORAMA EN COLOMBIA

Colombia en 2017 adjudicó el primer parque solar con una capacidad de 9.8 MW, se ubica en un lugar donde antes funcionaba una planta energética a base de carbón, el país busca diversificar sus fuentes de energía que en gran medida depende de generación hidroeléctrica [12].

4.1. Distribución en Colombia de la Radiación Global Horizontal

La ubicación geográfica de Colombia en la zona ecuatorial hace que el país reciba gran cantidad de energía solar con disponibilidad a lo largo del año con diferentes variaciones, ventaja frente a los países que tienen estaciones climatológicas, donde la disponibilidad es limitada de acuerdo a la estación [1].

A nivel mundial las zonas con mayor disponibilidad de recurso solar se encuentran en África, Asia, el Mediterráneo y Australia, sin embargo en Suramérica se presentan buenos niveles de radiación, encontrándose por encima de la media mundial, y además teniendo como ventaja que los países ecuatoriales entre los que se encuentra Colombia no hay estaciones por lo que a lo largo del año tiene buena disponibilidad de radiación solar, Colombia cuenta con un promedio de 4,5 kWh/m²/d, por encima del promedio mundial de 3,9 kWh/m²/d, y con un mayor potencial que países con gran capacidad instalada como Alemania que apenas cuenta con un promedio de radiación de 3.0 kWh/m²/d [15].

A continuación, se relacionan de manera general las zonas con los máximos, altos y mínimos niveles de radiación solar global en el país, la distribución no es homogénea y en un mismo departamento se pueden registrar valores altos y mínimos en diferentes zonas, algunas de las

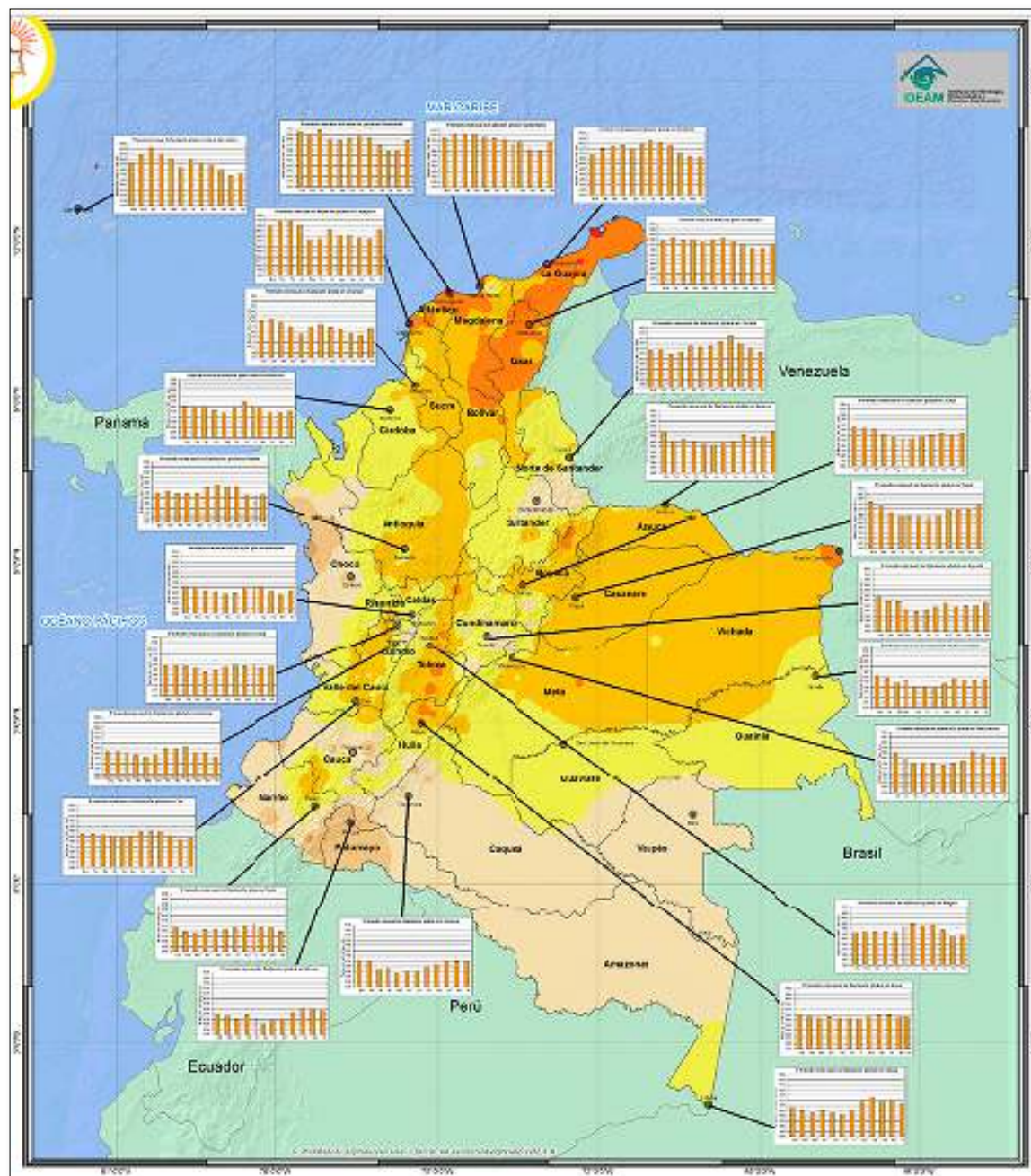
razones es nuestra topografía que es muy cambiante y los diferentes microclimas en las partes más altas [1] (Ver Ilustración 30):

Radiación Global Promedio Diario Anual Multianual			
Nivel De Radiación	Lugar		(kWh/m²)
Máximo	Guajira	Centro y Norte	Mayor a 5.5
Alto	Islas de San Andres, Providencia y Santa Catalina		Entre 4.5 - 5.4
	Vichada		
	Arauca		
	Meta		
	Casanare		
	Zonas de la Región Caribe		
	Zona comprendida entre el Norte del Cauca, de Norte a Sur del Valle del Cauca hasta el eje cafetero		
	Boyacá	Centro y Norte	
	Cundinamarca	Occidente	
	Tolima	Centro y Oriente	
	Huila	Norte	
	Antioquia	Norte, Sur y Oriente	
	Santander	Suroriente	
	N. Santander	Norte	
Nariño	Norte		
Mínimos	Chocó	Occidente	Menor a 3.5
	Putumayo	Occidente	
	Cauca	Oriente	
	Nariño	Oriente, Sur, Noroccidente	
	Caquetá	Pequeñas Zonas	
	Hula		
	Cundinamarca		
	Quindío		
	Boyacá		
	Santander		

Ilustración 30 Registro de Valores Máximos, Altos y Mínimos de Radiación Solar Global en Colombia. Fuente [1]

El registro de radiación máximo se encuentra en Norte de la Guajira, una zona desértica sin mucha nubosidad caracterizada por los largos periodos secos durante el año, todo lo contrario, sucede en las zonas con los registros más bajos de radiación solar como el Chocó donde se presenta la mayor registro de precipitación a lo largo del año, siendo en el país y el mundo unos de los lugares con mayor índice de lluvias, la nubosidad está presente a lo largo de todo el año [1].

La distribución espacio-temporal de radiación global media recibida en superficie en el año presenta variaciones por las condiciones propias del país, a partir del *mapa 3* se logra definir el comportamiento de altas y bajas de radiación en meses, detallado en la tabla 5 [1].



Mapa 3 Distribución Espacio Temporal de la Radiación Solar Global Horizontal Medio Diario Anual [1]

Región		Registro De Radiación Promedio		Comportamiento
		Alta	Baja	
Caribe		Febrero Julio Agosto	Abril Mayo Septiembre Octubre Noviembre	Bimodal
Andina		Enero Febrero Julio Agosto	Abril Mayo Octubre Noviembre	Bimodal
Pacífica	Norte	Mediados del Año	Inicios y Finales del Año	Monomodal
	Resto	Marzo Abril Mayo Agosto Septiembre	Junio Julio Noviembre Diciembre Enero	Bimodal
Amazonía	Sur	Mediados de año	Inicios y Fin de año	Monomodal
	Resto	Inicios y Fin de año	Mediados de año	Monomodal
Orinoquía		Inicios y Fin de año	Mediados de año	Monomodal

Ilustración 31 Comportamiento de la Radiación Solar Global por Regiones. Fuente [1]

4.2. Distribución en Colombia del Brillo Solar

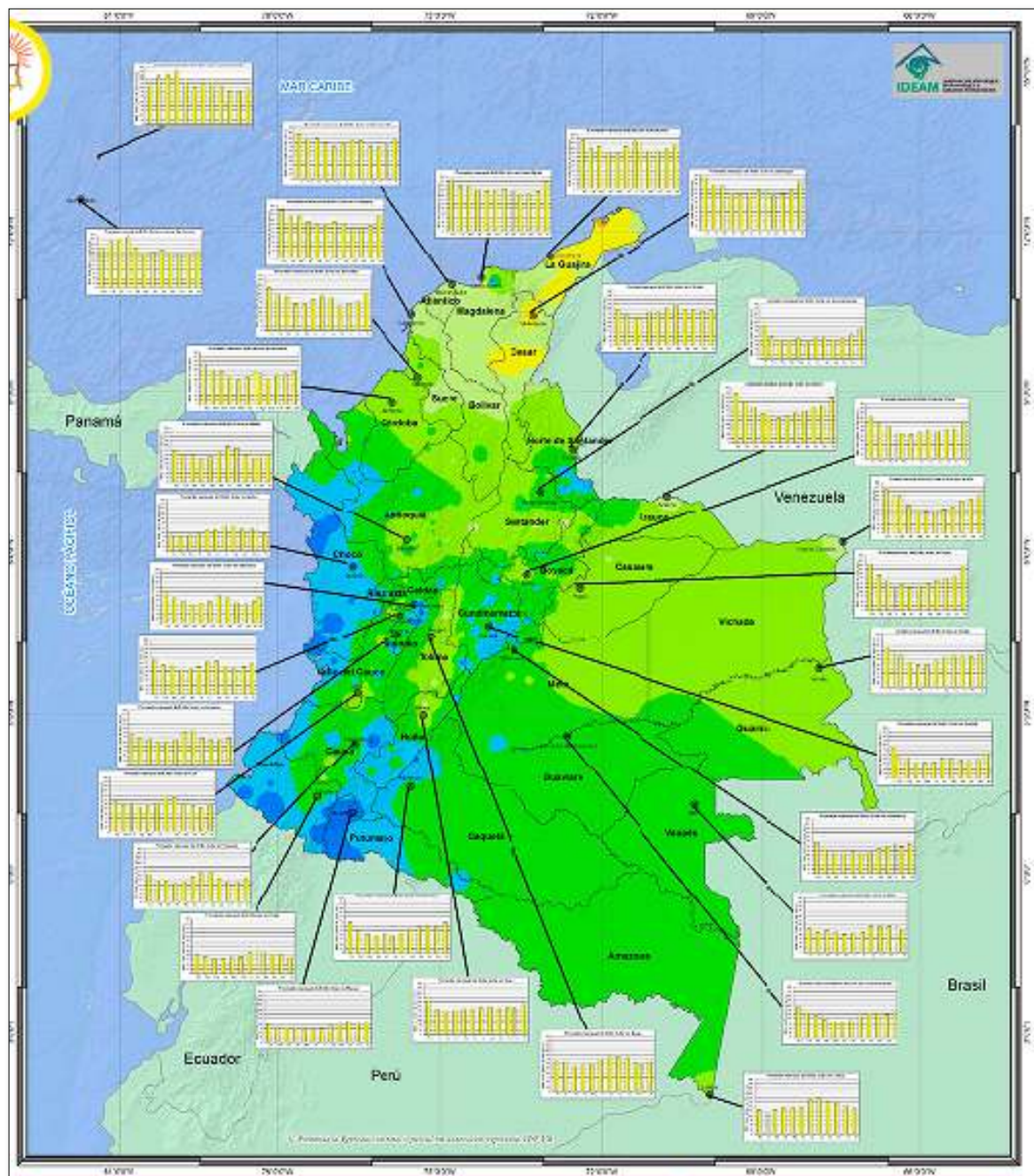
El Brillo Solar es la cantidad de sol efectivo durante el día, es decir el tiempo durante el cual la superficie terrestre es irradiada por la Radiación Solar Directa, la OMM (Organización Meteorológica Mundial) define la duración del Brillo Solar en un periodo determinado como la sumatoria de subperiodos con irradiancia solar directa igual o mayor a 120 W/m². A partir del Brillo solar también es posible conocer la cantidad de Radiación Solar [1].

A partir del mapa nacional de promedio anual multianual de horas de Sol al Día (hSd) se logra identificar el comportamiento de esta variable en el territorio, destacando lo siguiente en la *Ilustración 32* [1]:

Radiación Global Promedio Diario Anual Multianual			
Región	Descripción	hSd	Registros
Caribe	Zonas de la Guajira y el Norte del Cesar.	Entre 7 - 9	Máximo
	Centro y el Norte restante	Entre 6 - 7	Medios y Altos
	Sur	Entre 4 - 6	
Orinoquia	Vichada y Arauca dos Sectores pequeños	Entre 6 - 7	
	Resto de la Región	Entre 5 - 6	
Andina	Santanderes, Tolima, Huila y Antioquia en pequeñas zonas	Entre 6 - 7	
	Santanderes, Antioquia, Boyacá, Hula y Tolima, en sectores más pequeños Cundinamarca, Eje Cafetero, Cauca, Valle del Cauca y Nariño.	Entre 5 - 6	
	Pequeños sectores de Chocó, Nariño y Putumayo	Entre 2- 3	Mínimos

Ilustración 32 Promedio Anual Multianual de Brillo Solar. Fuente [1]

El municipio en Colombia que registra mayor promedio de brillo solar es Uribia, ubicado en el departamento de la Guajira, con 8.4 hSd, y el municipio con el menor promedio de Brillo Solar es Totoró ubicado en el departamento del Cauca, con 1.6 hSd [1].



Mapa 4 Distribución Espacio Temporal del Brillo Solar Medio Anual. Fuente [1]

En el análisis espacio temporal durante el año y en base al *Mapa 4* a nivel regional del comportamiento solar se destaca lo siguiente:

Región	Brillo Solar		Comportamiento
	Alto	Bajo	
Caribe	Enero Julio Agosto	Mayo Octubre Noviembre	Bimodal
Andina	Enero Febrero Julio Agosto	Abril Mayo Octubre Noviembre	Bimodal
Pacífica	Mediados del Año	Inicios y Finales del Año	Monomodal
Amazonia	Suroriente	Mediados de año	Monomodal
	Resto	Inicios y Fin de año	Monomodal
Orinoquia	Inicios y Fin de año	Mediados de año	Monomodal

Ilustración 33 Brillo Solar Espacio Temporal. Fuente [1]

4.3. Promedio de días al mes Sin Brillo Solar en Colombia

La intensidad de la radiación solar disminuye en épocas de invierno debido a nubosidad, esto hace necesario que la infraestructura para el aprovechamiento del recurso solar deba tener un respaldo ya sea con almacenamiento de energía con baterías o con plantas de otras fuentes de energía como gasolina, diésel, etc. Por esta razón se miden los días al mes sin brillo solar, los cuales se calculan contabilizando y promediando los días al mes en los cuales el brillo solar presentara un rango entre 0.0 y 0.5 hSd [1].

A partir de los datos de los sensores para la medición del Brillo Solar se generó un mapa con el promedio anual multianual del número de días al mes sin brillo solar, de esta información se destaca [1]:

- Maicao en el departamento de la Guajira es el municipio con el menor promedio de días al mes sin brillo solar, 0.25 días.
- Totoró en el departamento del Cauca es el municipio con el mayor promedio de días al mes sin brillo solar, 10.97 días.
- Los promedios más bajos de días al mes sin brillo solar (menores a 2 días) se presentan en zonas de la región Caribe, amplias zonas de los valles interandinos, el nororiente de la Amazonia, el oriente, centro y occidente de la Orinoquia, Sel norte de Nariño y sur del Amazonas, Cauca y Caquetá.
- Los promedios más altos de días al mes sin brillo solar se registran al sur de la región andina, occidente de la Amazonia y principalmente en zonas muy grandes de la región Pacífica.

4.4. Registro de proyectos FV en Colombia

La energía solar fotovoltaica en Colombia se ha venido posicionando en los últimos años, aunque a un ritmo más lento respecto al mercado mundial, a partir del año 2017 se observa un incremento muy importante en el registro de proyectos de esta tecnología. Cabe aclarar que estas cifras corresponden a proyectos inscritos en la UPME de los cuales por diversas razones muchos no llegan a su ejecución, sin embargo, son datos importantes para tener una referencia del crecimiento de este sector del mercado energético.

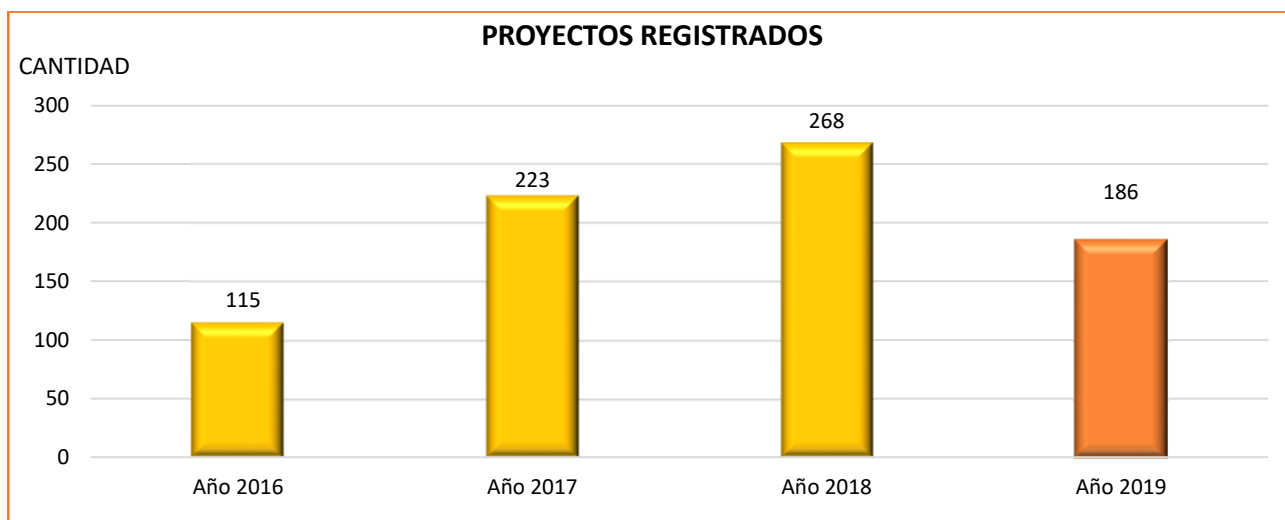


Ilustración 34 Proyectos Solares FV Registrados en los tres primeros trimestres de los últimos tres años. Fuente [16]

Para el caso de estudio se toman en cuenta los 4 últimos años incluyendo lo corrido del 2019, en la *Ilustración 34* se puede observar que desde 2016 cuando había 115 proyectos se presenta un aumento en un 94 % para 2017 con 108 proyectos más; de 2017 a 2018 el incremento fue de 20 % con 45 proyectos adicionales y hasta agosto de 2019 se van 187 proyectos, para un total de 792 proyectos registrados entre los años 2016 hasta lo corrido de 2019.

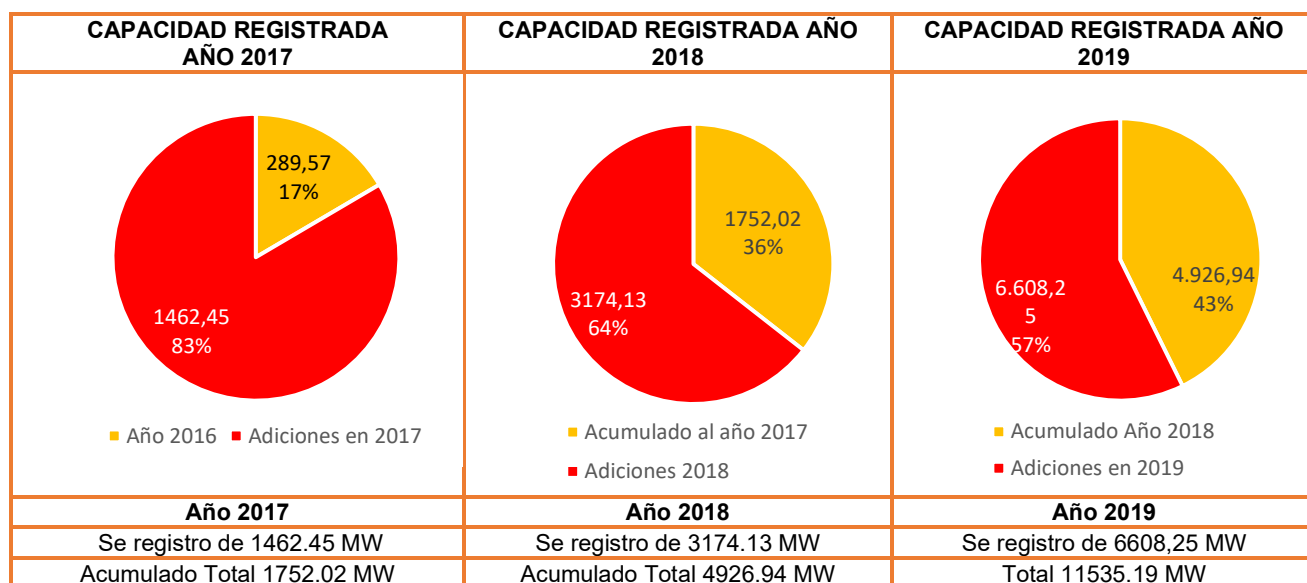


Ilustración 35 Total de Capacidad en MW Registrada por Año. Fuente [16]

Comparando el número de proyectos registrados y la capacidad de generación de estos, se puede ver que en 2016 suman 289.57 MW; en 2017 1.462 MW, es decir 5 veces la capacidad registrada en 2016. En 2018 3.2 GW, es decir 2 veces lo registrado el año anterior. Y que al tercer trimestre de 2019 se ha registrado 6.61 GW, lo que quiere decir que faltando 3 meses para terminar el año ya se duplico lo registrado en 2018, llegando a un total acumulado de 12,38 GW en capacidad registrada para proyectos con energía solar FV, pero como se mencionó anteriormente muchos de estos proyectos no llegan a ser ejecutados.

De esta información se concluye que se está pasando a proyectos de mayor escala, ya que disminuye la cantidad, pero aumenta la capacidad a instalar, algunas de las razones para este comportamiento son las siguientes:

- La adopción de la energía solar fotovoltaica en empresas e instituciones que tienen capacidad económica suficiente para implementar medianos y grandes proyectos con el fin de suplir la demanda energética en sus modelos de producción.
- Más claridad en el acceso y procedimientos para incentivos y legalización de proyectos.
- La llegada de empresas extranjeras con experiencia en la implementación de sistemas FV.

4.5. Fase de Proyectos Solares FV

De acuerdo a la normativa de la UPME en las resoluciones 143 de 2016, 0638 de 2007 y 0520 de 2007 se definen 3 fases previas para la ejecución de proyectos con FNCER, cada una de estas se basa en el cumplimiento de requerimientos, cuando se termine con la primera fase el promotor del proyecto deberá solicitar pasar a la siguiente fase hasta llegar a la tercera y tener el aval para la ejecución del proyecto. A continuación, se relaciona la cantidad proyectos fotovoltaicos por fase en los 4 últimos años.

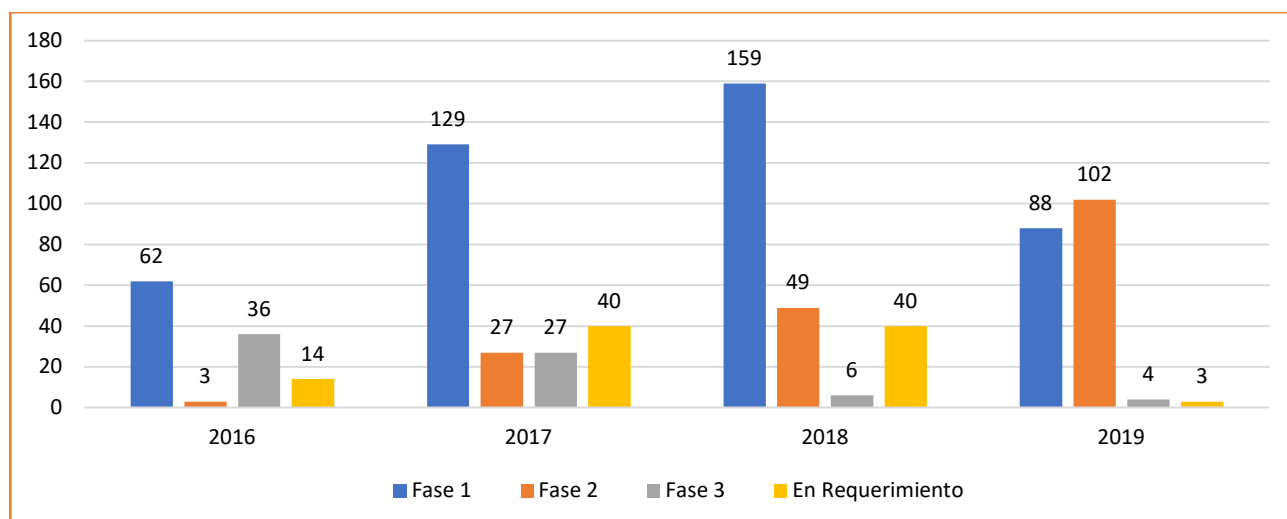


Ilustración 36 Proyectos FV por fase periodo 2016 - 2019. Fuente [16]

Como se observa gran cantidad de proyectos queda en la fase 1, seguido de fase 2, lo que hace entender mejor porque de la cantidad registrada a la fecha no se ha llegado ni al 50 % instalado, aunque los motivos puntuales se desconocen del porque no completan el proceso se puede afirmar que la falta de claridad y lo engorroso de los diferentes procesos hace que en muchos casos los proyectos no lleguen a feliz término.

4.6. Vigencia de Proyectos, Cantidad y Capacidad Registrada.

De los 792 proyectos fotovoltaicos registrados, 367 no se encuentran vigentes, los 424 restantes suman una capacidad total de 9.603 MW, (ver Ilustración 37), en 2017 de los 223 proyectos registrados por una capacidad de 1.462 MW, solo 47 siguen vigentes con capacidad de 278 MW, es decir solo el 19% de la capacidad registrada sigue vigente. Para 2018 de los 268 proyectos registrados con una capacidad de 3.17 GW, siguen vigentes 194 por una capacidad de 2.77 GW, vigente el 87% de la capacidad registrada para este año. En 2019 de los 186 proyectos 3 ya no

están vigentes y la capacidad bajo de 6,60 GW a 6,54 GW, ha disminuido el 1% de la capacidad registrada.

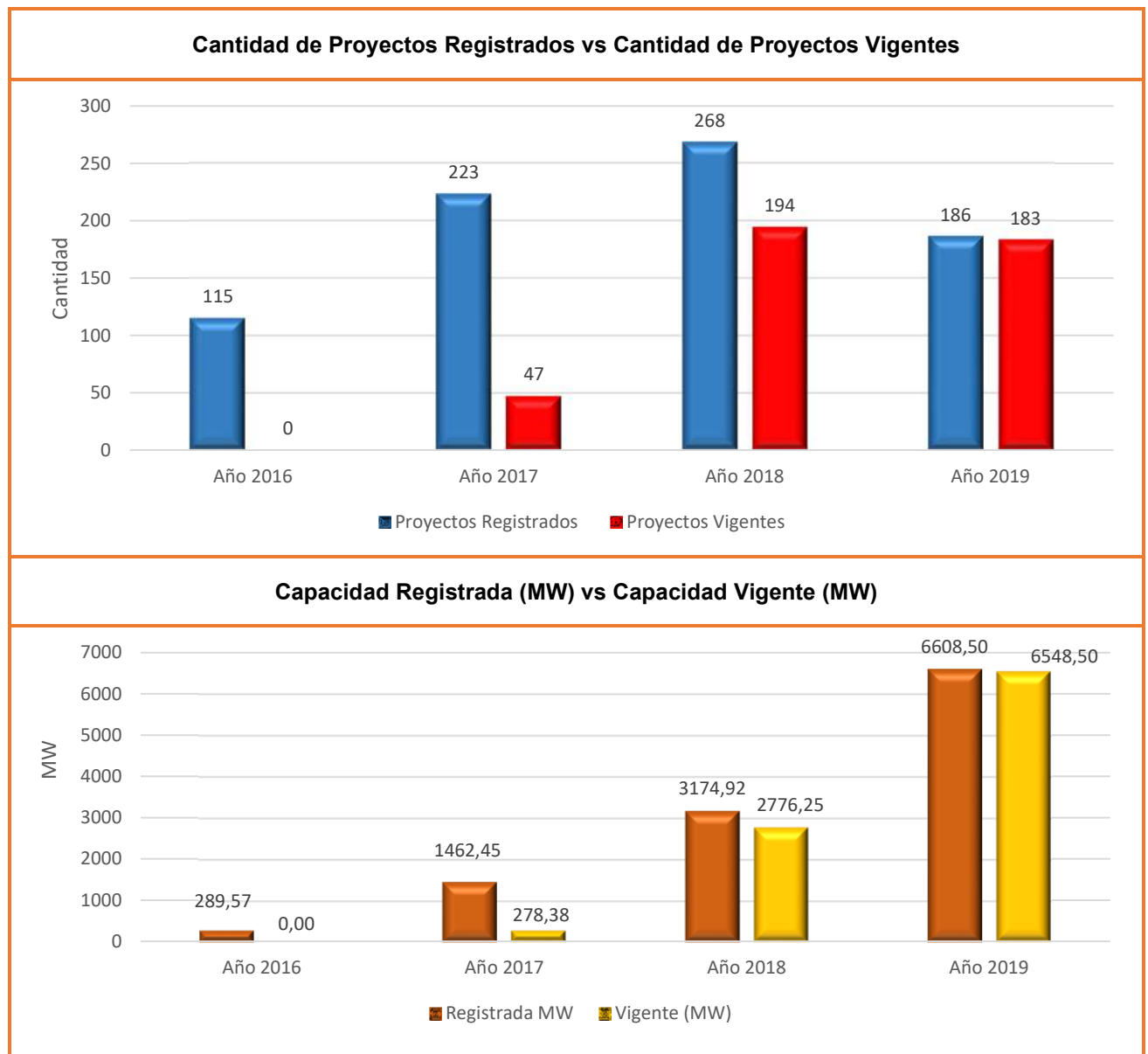


Ilustración 37 Proyectos y Capacidad Vigente a nivel Nacional. Fuente [16]

4.7. Entrada En Operación

Los 424 proyectos FV vigentes tienen registrada una fecha para su entrada en operación, de acuerdo a los datos hasta la semana 32 de 2019 entre 2017 y 2025 iniciaran su funcionamiento así:

Cantidad de Proyectos a Entrar en Operación por Año	Capacidad de Generación a Entrar en Operación por Año
---	---

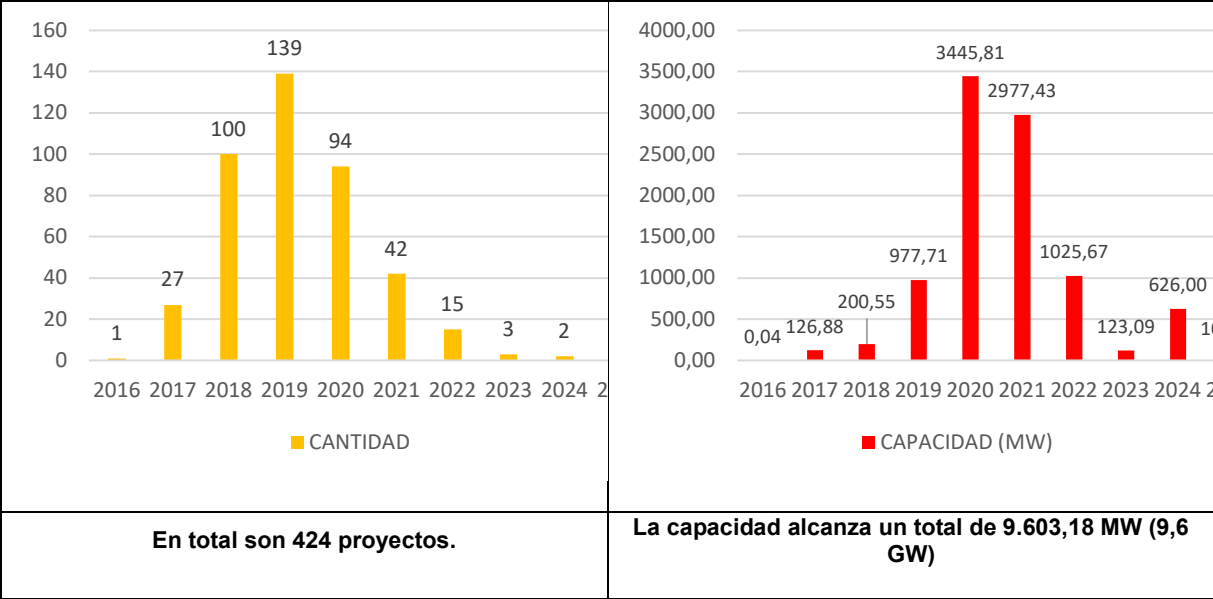


Ilustración 38 Entrada en Operación de sistemas FV. Elaboración Propia. Fuente [16]

A partir de la *Ilustración 38* se puede observar el comportamiento de la entrada en operación de proyectos por cada año, llegando a un total acumulado de 9063,18 MW entre los años de 2016 a 2025, así para 2017 iniciarían su funcionamiento 27 proyectos con una capacidad de 126,88 MW que representan un 1,32% de la capacidad total acumulada, para 2018 entrarían en operación 100 proyectos, casi 4 veces la cantidad del año anterior, con una capacidad de 200,55 MW que representan el 2,1% de la total acumulada, sin embargo esta capacidad no alcanza a duplicar la del año anterior, por lo que se puede inferir que la escala de generación de energía disminuyó respecto a los proyectos de 2017.

Para 2019 se tiene presupuestado entraran en operación 139 proyectos, es decir 39 más que el año anterior, por una capacidad de 977,71 MW (0,98 GW) y representa el 10,18% de la capacidad total acumulada, en este año se puede identificar el aumento en capacidad de generación por proyecto ya que equivale a 4,5 veces la que entraría en operación el año anterior, pero en cantidad de proyectos el incremento fue de 0,4 veces. Para el año 2020 hasta el momento se espera entren en operación 94 proyectos por una capacidad de 3445,81 MW (3.45 GW) equivalen al 35,88% de la acumulada total, aunque la cantidad es menor que la de los dos años anteriores su capacidad de generación es más de 3,5 veces la del año 2019, esto debido a granjas solares que registran gran capacidad de generación.

Para el año 2025 estarán en operación como mínimo 424 proyectos.	Para el año 2019 se proyecta entre en operación una capacidad de 977 MW aproximadamente.	En realidad, hay instalada una capacidad 108 MW, 11% de lo proyectado para 2019.
--	--	--

Ilustración 39 Capacidad Instalada en Colombia al mes de agosto de 2019. Elaboración propia. Fuente [17] [16]

Los años de 2021 a 2025 concentran el 50% de los 9,06 GW de capacidad acumulada que se espera entre en operación, no se detalla año a año ya que esta cifra tendrá grandes cambios, por el aumento de proyectos que todos los días se siguen registrando, así como la no ejecución de muchos de estos. De hecho, para lo que resta de 2019 y el año que viene estos datos cambiarán. Aun así, por el comportamiento mundial y en especial de América Latina se espera que la capacidad instalada con sistemas fotovoltaicos siga en crecimiento.

Los datos anteriormente descritos son basadas en el registro de proyectos ante la UPME, pero la realidad de capacidad instalada con sistemas fotovoltaicos es otra ya que hasta agosto de 2019 en Colombia hay instalados 108 MW aproximadamente de los 977 MW que se esperaba entraran en operación con sistemas fotovoltaicos y el 80 % aproximadamente corresponde a una Granja Solar llamada El Paso, ubicada en el municipio del Paso departamento del Cesar. [16] [17]

4.8. Sistemas de Energía FV, oportunidad para Colombia

Después de la energía eólica la energía solar es la segunda de las fuentes renovables avanzadas en tener mayor auge en el mundo, con una capacidad instalada de 139 GW a 2013 su producción representa entre el 0.85 % y el 1% de la demanda mundial de electricidad, la capacidad instalada de energía solar para presente un incremento promedio anual del 55 % aproximadamente en los últimos 5 años en el 2013 la capacidad instalada de energía registro de 39 GW frente a 35 GW de energía Eólica [15].

Un factor determinante en el aumento de sistemas fotovoltaicos es que, desde hace 10 años, pero sobre todo en los últimos 4, los costos de implementación fotovoltaicos han disminuido de manera considerable. El uso de energía solar fotovoltaica se estima desplazara los sistemas de plantas de generación térmicas, las cuales tienen un mayor impacto ambiental, ya que los factores de emisiones con sistemas solares fotovoltaicos se encuentran en 50 kg CO₂ eq/MWh mientras las plantas que funcionan con combustibles fósiles se encuentran en valores mayores a 450 kg CO₂ eq/MWh [15].

Se considera un nicho de oportunidad la energía solar fotovoltaica con la posibilidad de realizar un aporte significativo al sector energético nacional gracias al comportamiento a la baja de los precios de esta tecnología que en este momento permite que el costo de energía resulte competitivo con algunas tarifas pequeñas del mercado de energía eléctrica en el sector comercial y residencial [15]. Dos factores importantes para considerar la generación de energía solar fotovoltaica como una oportunidad es que mediante la ley 1715 de 2014 se establece entre otros [15]:

1. La posibilidad de entregar los excedentes a la red energética, lo que significara un ahorro y/o un ingreso para quien invierta en este tipo de proyectos.
2. El modelo de créditos para pequeños sistemas de autogeneración que utilicen las FNCER.

A nivel mundial y por supuesto en Colombia las políticas y normativas sobre las FNCER se encaminan a la democratización del mercado de la energía, donde además de usuarios se puede participar como productores y vendedores de energía [15].

Las ZNI (Zonas No Interconectadas) son una gran oportunidad para el crecimiento de los sistemas fotovoltaicos y las otras FNCER, ya que las políticas de gobierno tienen dentro de sus prioridades la implementación de este tipo de energías en las ZNI (*Ley 697 2001, "Promover el uso de las FNCER en las ZNI"*) y (*PROURE 2010 -2015: Lograr como mínimo un 20% de participación de las FNCER en la capacidad instalada en ZNI a 2015 y 30 % a 2020*), objetivo que para 2015 no se cumplió y que se espera que para 2020 si se alcance, basados en los registros del IPSE donde el 44% de los proyectos en ejecución para 2014 tiene que ver con las FNCER con un 29% de la inversión en este sector [15].

4.9. Proyectos Fotovoltaicos, Capacidad de Generación

El aprovechamiento del recurso solar en el país se viene fortaleciendo en los últimos años por factores que favorecen la ejecución de proyectos con esta tecnología, desde el año 2017 hasta octubre de 2019 los proyectos más sobresalientes a nivel nacional ya sea por su capacidad instalada o por el impacto social y ambiental son:

4.9.1. Capacidad Mayor o Igual a 100 MW

De acuerdo a información de la UPME al mes de agosto de 2019 hay registrados 30 proyectos con una capacidad instalada o a instalar igual o mayor a 100 MW, de estos el más destacado se encuentra en Cimitarra, Santander con 700 MW, se espera que inicie operación en diciembre del año 2021. En segundo y tercer lugar se tienen 2 proyectos con una capacidad de 600 MW y 400 MW, el primero ubicado en Maicao, Guajira y el otro en Ponedera, Atlántico, su operación está planeada para octubre de 2024 y junio de 2020 respectivamente. Los 27 proyectos restantes van de una capacidad de 261 MW a 100 MW (Ver Ilustración 40).

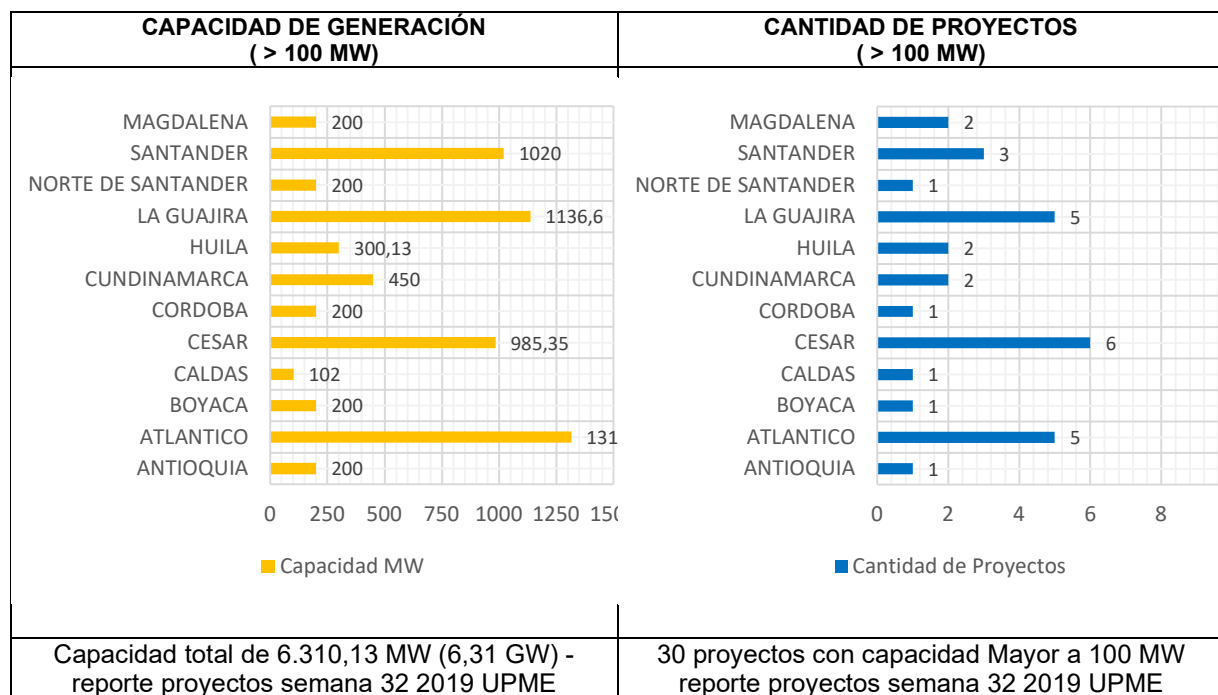


Ilustración 40 Proyectos Registrados Mayores a 100 MW, reporte semana 32 del año 2019 UPME. Elaboración Propia

En el departamento de Atlántico hay registrados 5 proyectos con una capacidad total de 1.316,05 MW, de estos se destaca el Parque Solar Fotovoltaico Guayepo, ubicado en el municipio de Ponedera, con una capacidad de 400 MW, se espera entre en operación a mediados del año 2020, los otros 4 proyectos tienen una capacidad promedio de 230 MW.

Teniendo en cuenta la capacidad registrada, en segundo lugar, está el departamento de La Guajira, los 5 proyectos en este departamento suman un total de 1.136 MW, cuyo proyecto más destacado es el Parque Solar Cuestecitas ubicado en el municipio de Maicao con una capacidad de 600 MW, su entrada en operación se tiene programada para octubre del año 2024, los 3 proyectos restantes tienen una capacidad promedio de 145 MW.

El departamento de Santander registra un total de 1.020 MW con 3 proyectos, de estos el más destacado es Sebastosol con 700 MW, ubicado en el municipio de Cimitarra, se espera que entre en operación para diciembre del 2021, los otros dos proyectos tienen un promedio de 160 MW.

Otros departamentos destacados son Cesar con 6 proyectos y Cundinamarca con 2 proyectos que suman 985 MW y 450 MW de capacidad, se destaca el Parque Solar Fotovoltaico El Copey con 240 MW ubicado en el municipio de el Copey, Cesar y Proyecto Ambalema con 250 MW ubicado en el municipio de Beltrán, Cundinamarca. Su entrada en operación esta para enero de 2020 y diciembre de 2019 respectivamente.

4.9.2. Capacidad Mayor a 50MW y Menor a 100 MW

2.487,56 MW suman los 32 proyectos con una capacidad de generación de entre 50 y 100 MW, 7 se localizan en el departamento de la Guajira, todos en el municipio de San Juan del Cesar, cada uno con más de 90 MW, suman 669 MW y representan más del 26% del total de capacidad para este tipo de proyectos. Luego está el departamento del Cesar con 4 proyectos, suman 300 MW, representan el 12% de la capacidad, el que más se destaca registra una capacidad de 90 MW, los otros 3 están entre los 60 y 80 MW. Los departamentos de Boyacá, Tolima y Valle del Cauca tienen 3 proyectos cada uno, donde al menos 1 es de 99 MW por cada entidad territorial, representan el 10,4%, 9,6 y 9% respectivamente en el total de capacidad. Cordoba y Santander con 2 proyectos cada uno, representan el 13%, los más destacados se encuentran en los municipios de Chinú y Montería, en Cordoba, cada uno con 99 MW.

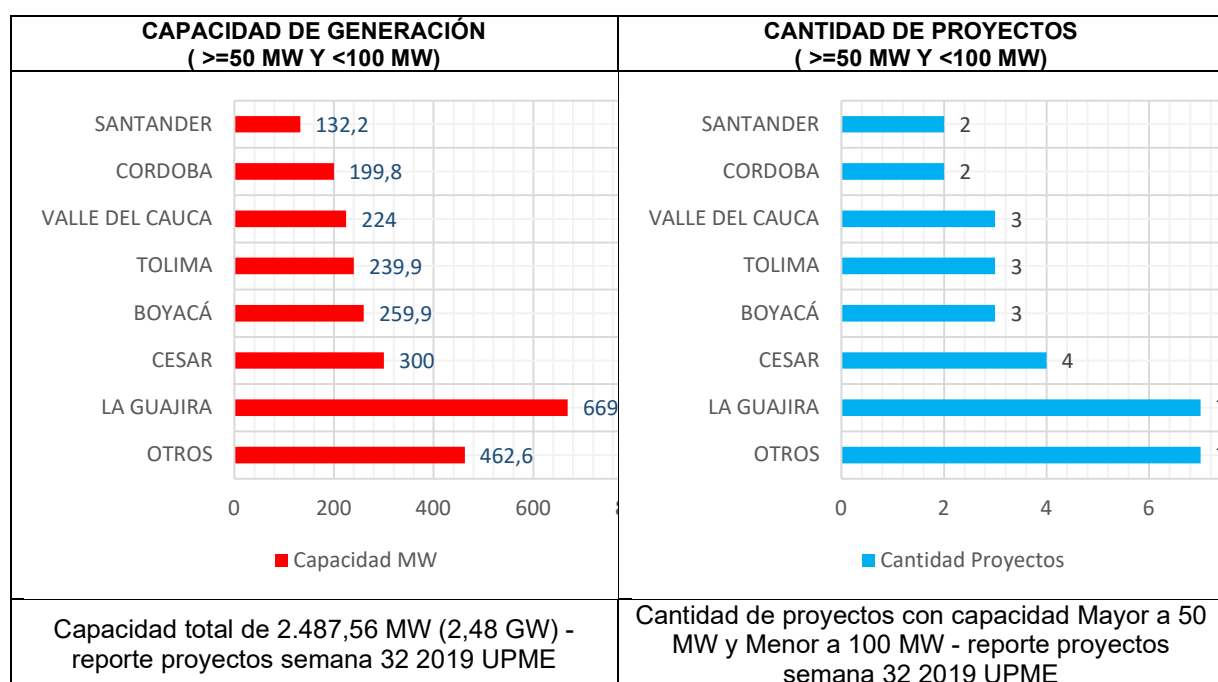


Ilustración 41 Proyectos con capacidad mayor o igual a 50 MW y Menor a 100 MW. Elaboración Propia

En otros se encuentran 7 departamentos que tienen un solo proyecto de este tipo, entre todos suman 462 MW, equivalentes a más del 18% en el total de la capacidad, de este grupo se distinguen 3 proyectos, el primero en el departamento de Caldas municipio de la Dorada con 83 MW, el segundo está en el Huila, municipio de Hobo con 90 MW y el tercero en el Meta con 79 MW, los otros 5 proyectos no pasan de 70 MW.

4.10. Barreras en la implementación de Sistemas FV

La ley 1715 quita algunas de las barreras más importantes para las FNCER en Colombia, sin embargo, de deben tener en cuenta que existen más las cuales se nombran las más relevantes a continuación:

Tema	Descripción	Prioridad
Venta de Excedentes	No era posible vender los excedentes de energía a la red, luego de la expedición de la Ley 1715 de 2014 esta barrera deja de existir, ahora para que sea efectiva se debe reglamentar, proceso que toma un tiempo considerable teniendo en cuenta los esfuerzos conjuntos de los agentes distribuidores del SIN para cumplir con sus obligaciones de recibir y comercializar los excedentes.	1
Política	De alta importancia ya que el estado tiene el gran compromiso de incentivar el desarrollo y asumir los retos técnicos de implantación junto con los agentes del SIN. En la ley 1715 se consideran muchos de los aspectos a mejorar en política, sigue siendo una barrera ya que no se ha reglamentado de manera clara para la generación distribuida a pequeña escala y con FNCER solar fotovoltaica. Es importante promover el conocimiento de redes inteligentes en busca de mejorar el papel que cumplen los usuarios en el SIN.	2
Requerimientos Técnicos	Falta definir estándares de calidad y requerimientos técnicos para la adquisición, configuración instalación y conexión al SIN de sistemas ya sean grandes o pequeños en generación con energía solar fotovoltaica. Otros aspectos técnicos en componentes de seguridad y aseguramiento de la calidad, que luego de ser establecidos deben ser estandarizados a nivel nacional.	3
Información sobre Potenciales	Establecer el potencial solar en lugares específicos para la generación de energía, ya que no tiene certeza sobre estos que además sirven al momento de desarrollar proyectos se logre estimar los impactos sobre las redes de distribución.	
Financiación	El sistema financiero colombiano no cuenta con productos o planes orientados a los mercado o sectores para la financiación en desarrollos de generación distribuida con energía solar fotovoltaica.	
Redes Inteligentes	Hasta el año 2014 no se había planteado ningún proyecto para el desarrollo de redes inteligentes, lo que limita el crecimiento de los sistemas de generación con FNCER.	

Ilustración 42 Principales barreras para las FNCER en Colombia. Fuente

4.11. Análisis Costo Beneficio de proyectos en Energía Solar FV

4.11.1. Evaluación de Proyectos de Energía Solar Fotovoltaica

Para evaluar el costo de los proyectos en energía solar fotovoltaica, se definen tres categorías, donde los proyectos a gran escala consideran el costo de interconexión a líneas de alto voltaje, además se determinó la generación eléctrica anual bruta con el promedio de radiación solar global para Colombia (4.5 kWh/m^2), tres capacidades instaladas de 3 kWp 500 kWp y MWp y correcciones por pérdidas y otros con un factor de rendimiento de 0.84, los valores para Colombia incluyen IVA y aranceles, estos datos son obtenidos a partir de cotizaciones en Colombia.

En la *Ilustración 43* se puede ver que los costos de instalación son similares a los de Estados Unidos; según el documento de referencia, son más altos que en la mayoría de los países con

industria fotovoltaica desarrollada, en conclusión, para el año 2015 la energía fotovoltaica aun no es competitiva en nuestro país.

Tamaño	Mínimo (USD/W instalado)	Promedio (USD/W instalado)	Máximo (USD/W instalado)	EE.UU. (USD/W instalado)
Gran Escala	2.7	3.2	3.8	3.0
Comercial	2.7	3.4	4.8	3.9
Residencial	2.6	4.8	7.2	4.7

Ilustración 43 Costos de Instalación de Energía Solar Fotovoltaica en Colombia

Con el fin de comparar el costo nivelado de energía solar fotovoltaica para Colombia y el comportamiento internacional se relaciona el valor global de la base de datos del NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables) de Estados Unidos. Donde se observa que en el país tienden a ser más altos los costos que los valores globales, sin embargo se encuentran dentro de un rango comparable [15].

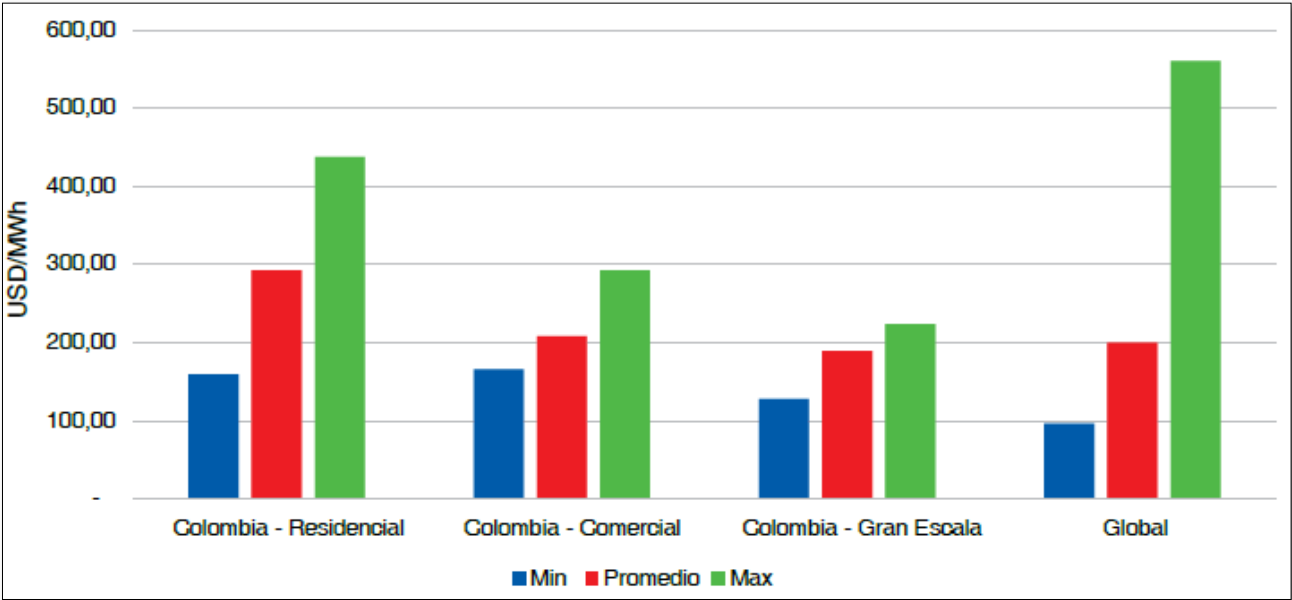


Ilustración 44 Costos Nivelados de Energía de Solar FV y el resto del mundo.[3]

4.11.2. Impactos en Rentabilidad por Incentivos de la Ley 1715 de 2014

Se consideran tres escalas a analizar residencial, comercial y de gran escala para medir el impacto de los incentivos, los resultados se pueden ver en la *Ilustración 45* , donde los incentivos en el caso residencial llevan el TIR de -2% hasta el -0.9%, lo que quiere decir que ninguno de los casos es rentable ya que el TIR esperado es del 4% , la persona que se hace a un proyecto residencial no tiene las mismas capacidades de inversión que una empresa, y la tasa de retorno es parecida a la inflación [15].

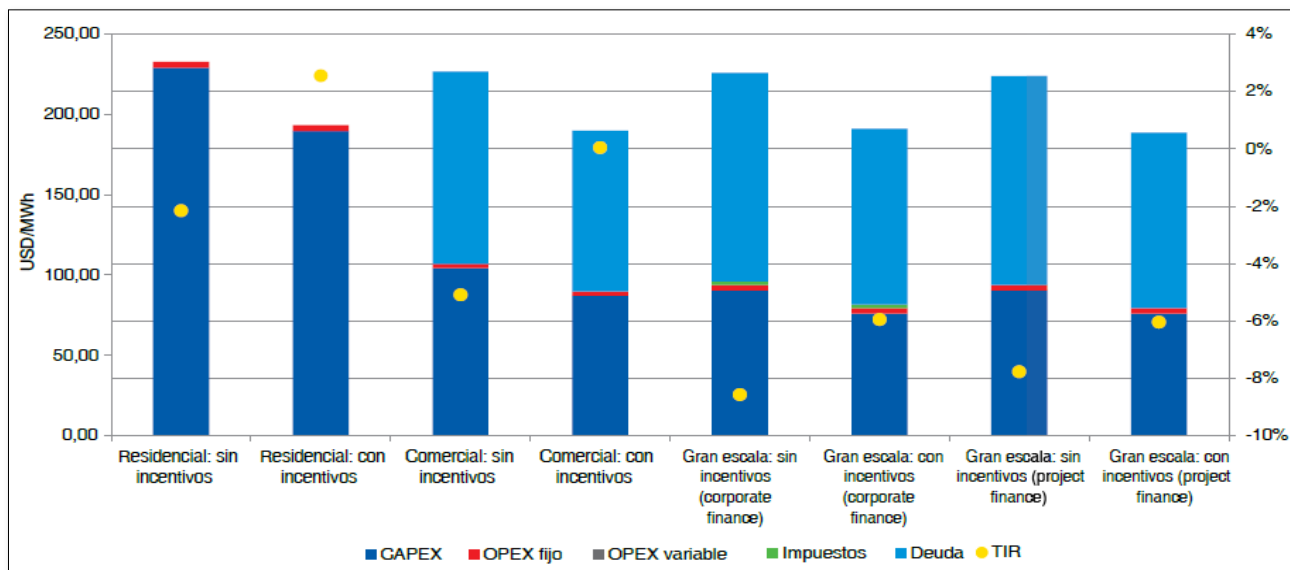


Ilustración 45 Impacto de Incentivos en proyectos Solares FV en diferentes escalas. [3]

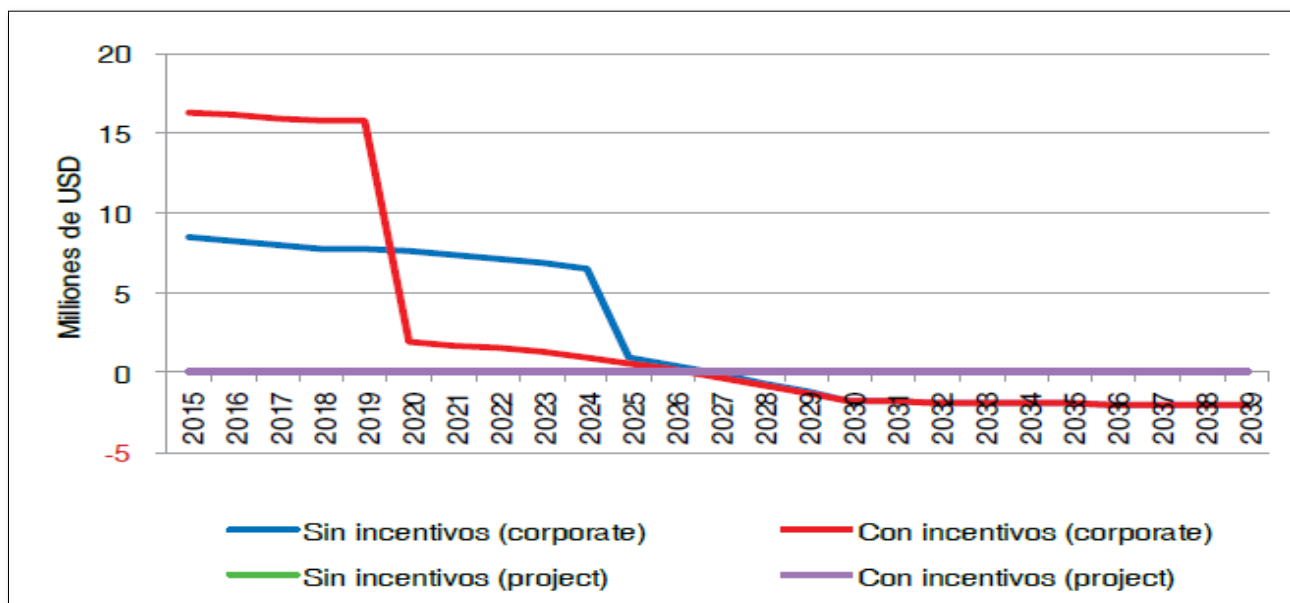


Ilustración 46 Flujo de Impuestos con diferentes incentivos para un proyecto de energía solar FV. Fuente [15]

En el caso comercial se asume que tiene el comportamiento de una gran empresa en el costo de capital al utilizar la deuda, y esto es la causa de no tener buenos resultados en la TIR, con incentivos -3.1% y sin incentivos -5.1% [15].

En el caso de gran escala se consideran cuatro escenarios teniendo en cuenta que la instalación sería para generación y venta al mercado mayor, seguido de la aplicación de impuestos e incentivos tributarios. En rentabilidad los proyectos presentan pérdidas para los primeros 12 años sin importar si el modelo de financiamiento es corporativo o por proyecto. Para el modelo de financiamiento por proyecto acumula las pérdidas y no genera el suficiente lucro para terminar con estas totalmente por lo que nunca paga impuestos. Y modelo de financiamiento corporativo

las deudas se eliminan cuando son creadas ya que se deducen contra los lucros globales de la empresa y comenzaría a pagar impuestos desde el año 13 [15].

4.11.3. Rentabilidad - Proyectos Solares FV Residenciales y Comerciales

El análisis realizado es para proyectos residenciales y comerciales pequeños de autoconsumo. Para los residenciales la rentabilidad se ve reflejada en el ahorro de consumo de energía eléctrica, donde un objetivo fundamental es alcanzar el punto en el que el costo nivelado de energía solar FV es igual al costo de compra de electricidad para el consumidor [15].

Usuario Sistema Tradicional	Precios de Bolsa Tarifa Promedio (Usd/MWh) Año 2014	Lcoe (Usd/MWh) Año 2014	Usuarios Energía Solar Fotovoltaica
Residencial con Cargos de Transmisión y Distribución	175	193	Residencial con Incentivos
Residenciales estratos 5 y 6 con Cargos de Transmisión y Distribución + 20%	211		
Comercial Conectado Nivel 2 de distribución	140	190	Comercial

Ilustración 47 Precios Sistema Tradicional vs LCOE Sistemas Solares FV año 2014. Fuente [15]

En la Ilustración 47 se observan los precios para usuarios residenciales y comerciales para el año 2014 en el sistema tradicional de suministro de energía y con sistemas fotovoltaicos, es evidente que la energía solar FV es más costosa lo que limita su competitividad, sin embargo, esta diferencia no es muy alta, de hecho al aplicar el incremento del 20 % para usuarios residenciales de estratos 5 y 6 en el sistema tradicional se tendría un precio de 211 USD/MWh por lo que se puede afirmar que para los usuarios residenciales de estratos 5 y 6 ya sería rentable; sin embargo se tienen que analizar aspectos como la generación en los sistemas fotovoltaicos donde no corresponde necesariamente con el consumo, y cuando más generación hay es cuando menos consume el usuario. Para contrarrestar este aspecto la ley 1715 de 2014 contempla el modelo de entregar esta energía producida y no consumida a la red y tener una valoración en créditos de energía para que pueda ser consumidos en otro momento cuando el usuario lo requiera y generar ahorro en los costos de facturación del servicio de electricidad y comenzar a ver reflejada la rentabilidad.

En la *Ilustración 48* considera el promedio de demanda de energía a lo largo de un año para Colombia, con un día promedio con 12 horas de iluminación solar, al realizar análisis de esta se evidencia que solo hay traslape en un 51% de la energía generada por sistemas FV residenciales, es decir que solo se consume la mitad de lo que se genera y el 49% restante es cargada a la red sin recibir ninguna retribución por esta.

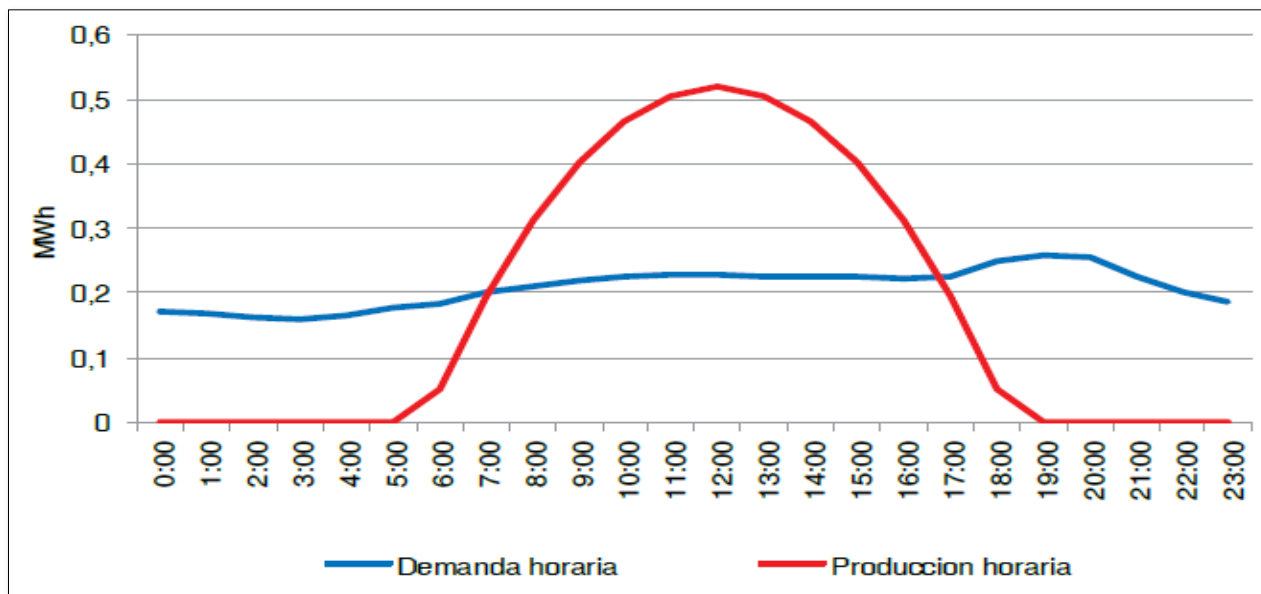


Ilustración 48 Curvas de Producción y Demanda para una instalación Residencial FV. Fuente [3]

Los precios de energía eléctrica en Colombia son regulados, donde los precios más bajos son aplicados a los industriales y los grandes consumidores comerciales o industriales se les da la opción de acogerse a tarifas reguladas o no reguladas, Por el contrario para los usuarios residenciales y comerciales pequeños las tarifas son más altas y además los consumidores residenciales de estratos socioeconómicos 5 y 6 tienen la imposición de un 20 % sobre la tarifa como contribución para subsidiar a los usuarios residenciales de estratos bajos. En la *Ilustración 49* podemos observar todos los escenarios posibles para instalaciones FV para usuarios residenciales y un comercial donde se asumen los aspectos relacionados en la Ilustración 47 [15].

Tipo De Usuario	Capacidad Instalada	Generación Anual	Consumo Doméstico Anual	Costo De Instalación Asumido (Usd/W)* Año 2014
Residencial	3 kWp	4000 Wh-año	5000 Wh-año	4
Comercial	500 kW	730000 kWh-año	800000 kWh-año	3

* Costo por debajo de lo establecido, para residenciales de 4.8 USD/W a 4 4.8 USD/W y comercial de 3.4 USD/W a 3 USD/W, una vez aplicados los incentivos de IVA y arancel)

Ilustración 49 Factores Asumidos para Instalación de Sistemas FV. Fuente [15]

Escenario 1: Es el más sencillo, donde la única rentabilidad son los ahorros de energía durante el día y donde la diferencia de generación ingresa a la red sin tener ningún tipo de compensación por parte del operador de red (sin sistema de créditos energéticos), la recuperación de la inversión va a más de 23 años aproximadamente y el TIR es de 0.9 %.

Escenario 2: En este escenario se aplica a la energía que evitamos comprar al operador el incremento del 20 % por contribución, aun así, no resulta rentable, el TIR es del 2.5 %, la recuperación de la inversión es a 20 años aproximadamente.

Escenario 3: Es este caso se asume esquema de créditos con el concepto de medición bidireccional, sin embargo, la energía que se vendió al operador de red para obtener los créditos energéticos no es valorada al mismo precio de facturación al usuario, por lo que el 49 % de la energía no consumida el usuario luego la podría consumir, pero pagando la diferencia de precio normal de facturación y el precio pagado por los excedentes por parte del operador. Este escenario es rentable desde el punto de vista financiero con un TIR de 4.3 % comparado con un costo de capital del 4 % asumiendo que no hay deuda.

Escenario 4a: También se asume el esquema de créditos con medición bidireccional, donde se pagan los excedentes al mismo precio de facturación incluyendo el 20 % de contribución (esquema de medición neta), este escenario también es rentable financieramente con TIR de 7.1 % comparado con un costo de capital del 4% asumiendo al igual que en el escenario 3 que no hay deuda.

Escenario 4b: Se considera que el usuario residencial aplique la deducción en renta del 50 % de la inversión en 5 años, este escenario también es rentable financieramente con un TIR de 11.2 % y el periodo de retorno de la inversión es de 9 años.

Escenario 5: En el escenario comercial se asume deuda del 65 %, tasa de interés de 11.4%, costo de capital del 8.5 %, la medición neta a precio de compra y contribución del 20 % y deducción en renta del 50 %. Este escenario es rentable financieramente con un TIR DE 12.8 % y una recuperación de la inversión a 18 años aproximadamente.

Escenario	LCOE (USD/MWh)	Precio De Energía (USD/MWh)	TIR	Recuperación De La Inversión (Años)
Caso 1 - Ahorros Tarifa sin contribución	193	175	0.9%	23.4
Caso 2 -Ahorros Tarifa con Contribución	193	211	2.5%	20.4
Caso 3 - Facturación Neta) Créditos a Precio de Bolsa) Tarifa con contribución	193	211	4.3%	17.3
Caso 4a - medición neta Tarifa con contribución	193	211	7.1%	13.6
Caso 4b - medición neta + deducción en renta Tarifa con contribución	193	211	11.2%	8.8
Caso 5 - comercial a tarifa con contribución y facturación neta	190	168	12.8%	17.9

Ilustración 50 Escenarios Posibles de generación con energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales y un comercial.

Fuente [15]

En conclusión, los proyectos residenciales de energía solar FV son rentables con medición neta para los usuarios que pagan con incremento del 20 % con recuperación de la inversión en 14 años aproximadamente y en 8.8 años con deducción en renta. A nivel comercial son necesarios los incentivos para ser rentables y atraer mercado [15].

Los proyectos de energía solar fotovoltaica requieren de los incentivos para generar rentabilidad y desarrollo, ayudando a madurar el mercado y cuando alcance este objetivo desmontar de manera gradual los incentivos sin que influya en su desarrollo [15].

4.11.4. Rentabilidad – Proyectos Solares FV a Gran Escala

En este caso se analizará un esquema de financiamiento por proyecto, considerando:

- i. 5 MW de instalación
- ii. 15.4 millones de dólares de costo
- iii. LCOE 189 USD/MWh luego de aplicados los incentivos

Bajo estas condiciones el TIR no es positivo, ni siquiera el precio de la energía sería competitivo frente al precio de generación en bolsa, se necesitaría de ingresos adicionales de aproximadamente 15.7 millones de dólares (222 USD/MWh) para buscar la rentabilidad del proyecto con un TIR de 7.9 % y considerando que es clasificada como una instalación menor haciendo el uso del 100% del valor a cargo por confiabilidad y que cuenta con un factor de planta del 16 %, se asume una ENFICC del 0% [15].

La rentabilidad de proyectos a gran escala de energía solar FV para el momento del informe citado eran rentables en los casos de ser implementados como soluciones en ZNI casos en que se aplican reducciones en sus costos.

4.11.5. Análisis Externalidades

En este apartado se estima el potencial impacto de la valoración económica considerando el cambio climático como la externalidad más importante en relación con la emisión de gases de efecto invernadero. Para el ejemplo práctico se muestra la reducción en emisiones de CO₂ de un proyecto solar de gran escala y se compara con una planta de Gas Natural donde la reducción de emisiones fue de 52 000 t CO₂ y también se realizó esta misma comparación con la Red Colombiana donde se obtuvo una reducción de 17 225 t CO₂.

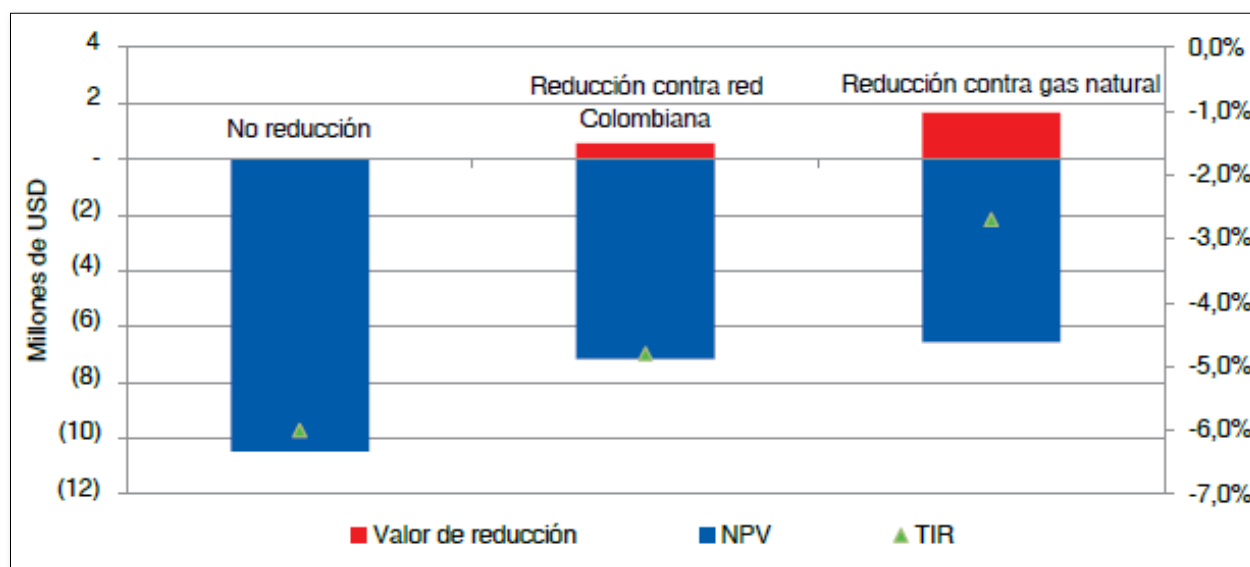


Ilustración 51 Internalización de la externalidad de cambio climático en una instalación fotovoltaica. Fuente[15]

Como se observa en la Ilustración 51 aunque se presentan grandes beneficios de las externalidades, la TIR de los dos casos no llega a ser positiva. El resultado que tenemos son externalidades positivas que traerían grandes beneficios al medio ambiente, a la salud y en general a la calidad de vida de colombianos sin embargo estas no son tenidas en cuenta por posibles inversionistas privados.

Externalidad	2014 - USD/MWh	Valor Presente Neto (Tasa de Descuento Social 12 %) - USD	Valor Presente Neto (Tasa de Descuento Social 3.5 %) - USD
--------------	----------------	---	--

Emisiones CO2	24.00	1,050,461	364,236
Empleo	6.71	964,858	431
Valor Económico	21.64	3,111,702	1,391,196
Costo de Integración	-	0	0
Complementariedad con el Niño	-	0	0
Ahorro de Combustibles Fósiles	7.16	1,029,248	460,162
Salud	0.84	120,653	53,942
Biodiversidad	0.06	8,459	3,782
TOTAL		6,285,381	2,273,749

Ilustración 52 Valor de externalidades para Energía Solar FV. Fuente [15]

En la *Ilustración 53* se muestra las proyecciones al año 2030 de desarrollo de más de 1.1 GW de nuevos proyectos con FNCER y dentro los cuales se encuentra el aprovechamiento del recurso solar como uno de los más importantes, en la gráfica se puede observar que presenta una tendencia de crecimiento moderado de 90 MW en 2016 hasta llegar a los 250 MW en 2020 aproximadamente, a partir de este año se muestra un crecimiento vertiginoso hasta llegar en el año 2025 a 970 y 1050 MW este se puede esperar debido a factores anteriormente nombrados como la normativa que incentiva el uso de estas fuentes de energías contenido en la ley 1715 de 2014 y además del comportamiento a la baja de los costos de toda la infraestructura necesaria para la implementación de sistemas FV además de otras políticas de gobierno a nivel nacional, departamental y tendencias internacionales que vienen informado y acercando cada vez más a la población, la industria y el comercio en general a los beneficios de las energías limpias y del potencial con el que Colombia cuenta. A partir de 2025 sigue con una tendencia ascendente más moderada hasta llegar a los 1230 MW aproximadamente en 2030 último año para el estudio. Todas estas proyecciones se realizan teniendo como bases algunos supuestos lo que hace que haya un rango de incertidumbre bastante alto, sin embargo, para 2019 se puede decir que el comportamiento proyectado coincide con la realidad en cuanto a la energía solar.

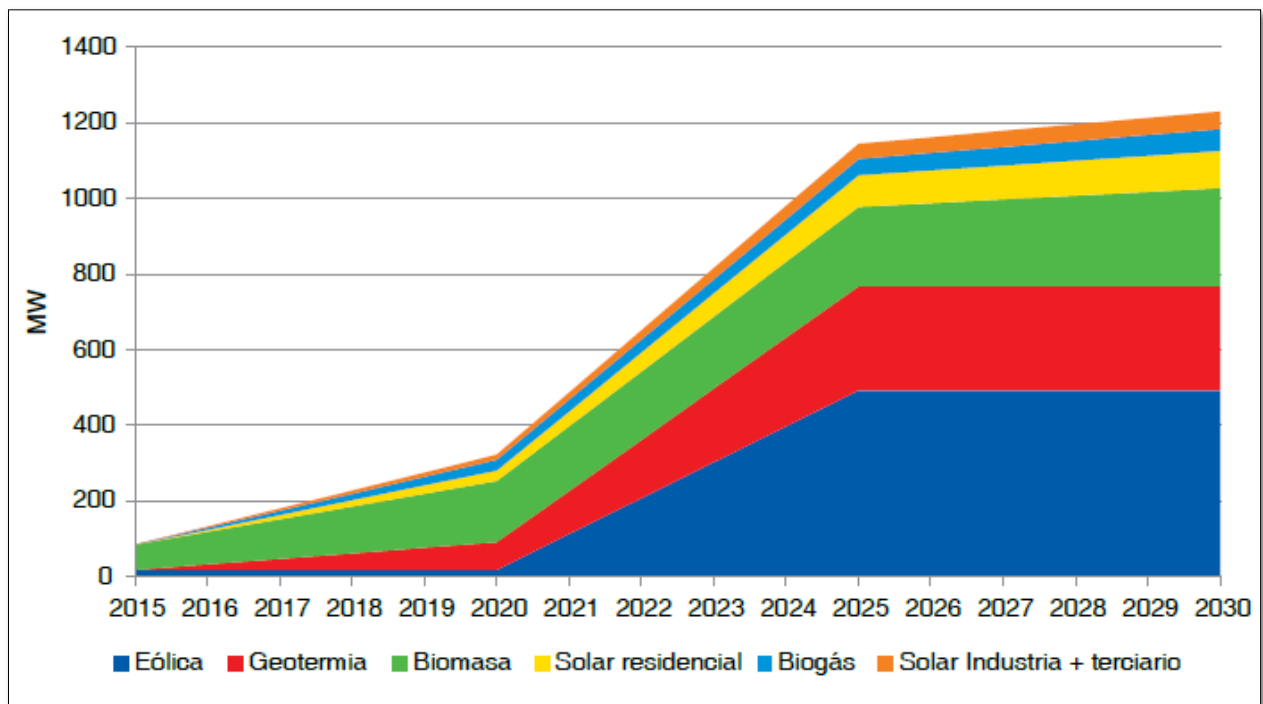


Ilustración 53 Proyección al año 2030 desarrollo de proyectos de en FNCER. Fuente [15]

4.11.6. Análisis de Costos de los Macro de Incentivos

Con la aplicación de los incentivos contemplados en la ley 1715 de 2014 vale la pena nombrar las tres categorías de impuestos reducidos que son IVA, aranceles e impuesto de renta, para este último se aplica la depreciación acelerada para reducir la renta y por medio de la deducción de renta. Como se mencionaba anteriormente los estimados que se presentan tienen nivel de incertidumbre muy grande en especial el de costo fiscal por aspectos como el cambio en los costos, la tasa de interés o factor de planta los cuales cambiarían la exposición fiscal y los incentivos tributarios.

En la *Ilustración 54* se observan los costos totales descontados de incentivos, tasa de descuento social del 12 %, se asume que todos los proyectos desarrollados hasta 2030 tendrán incentivos hasta el final de su vida además no se consideran curvas de disminución de precios, lo que es una sobrestimación. Teniendo claro esto se puede observar que en los primeros 10 años se concentran la gran parte de los costos, logrando un máximo de 130.000 millones de pesos para 2021, la energía **Solar Industria + Terciario** llega a un máximo de 108 000 millones de pesos aproximadamente y la **solar residencial** a 95 000 millones de pesos para este mismo año, después en los siguientes 5 años comienzan a reducirse de una manera moderada hasta el año 2026 donde bajan los costos de una manera acelerada hasta llegar a costos negativos dos años después (2028) donde la energía solar residencial llega a los – 20.000 millones de pesos y tendiendo a cero 5 años después (2033) esto se debe a la depreciación acelerada que deja el pago de algunos impuestos para el futuro. Como se espera para Colombia en los países europeos se aplicaron los incentivos buscando el crecimiento del mercado y posterior consolidación que de manera simultánea lleva a la baja de los costos.

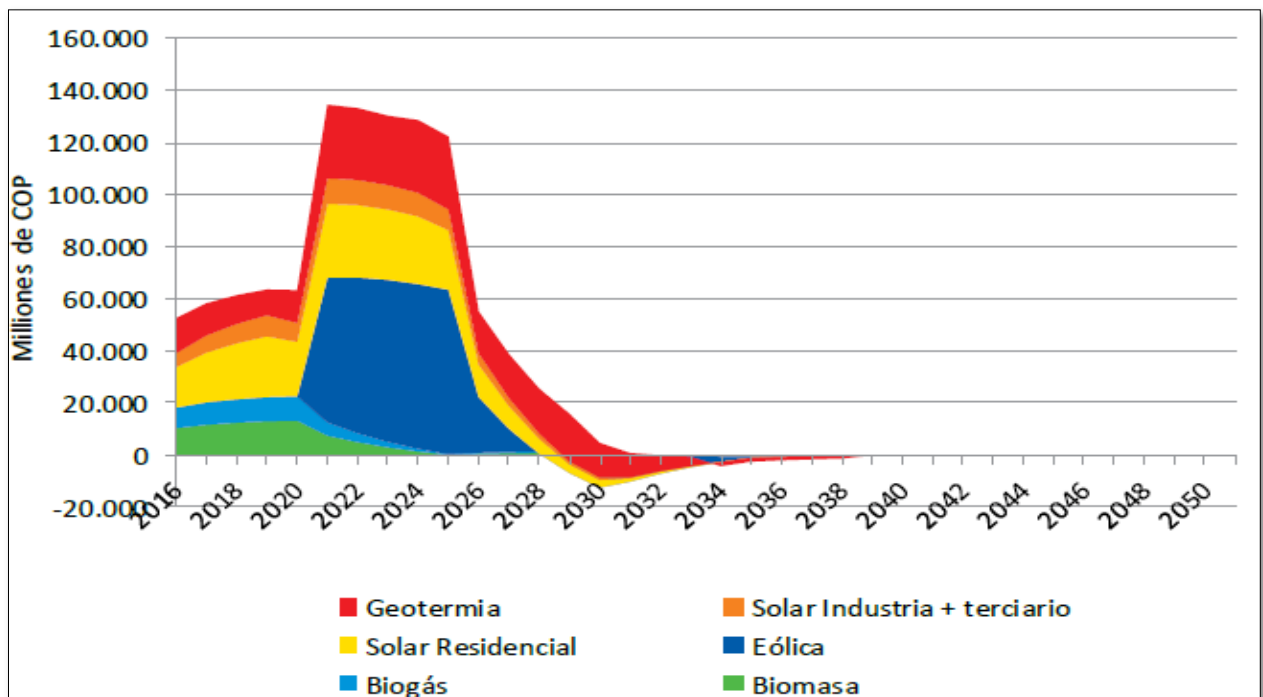


Ilustración 54 Costo Total descontado de Incentivos. Fuente [15]

4.11.7. Costos en Incentivos

A continuación, se muestra en la *Ilustración 55* lo que implicaría para el estado el costo de los incentivos, basado en una tasa de crecimiento de 3.9 % y 136,185 mil millones de pesos en 2013 de gasto público. Como se puede ver el gasto público en incentivos llega a representar un 0.19 % como máximo luego comienza a bajar hasta hacerse cero 6 años después de alcanzar su pico más alto lo que quiere decir que deja de ser un gasto y pasa a ser ingreso para el estado con la consolidación de los proyectos sin tener para ese momento incentivos además de las externalidades positivas como mejoramiento en indicadores de medio ambiente, empleo y crecimiento económico para toda la población colombiana.

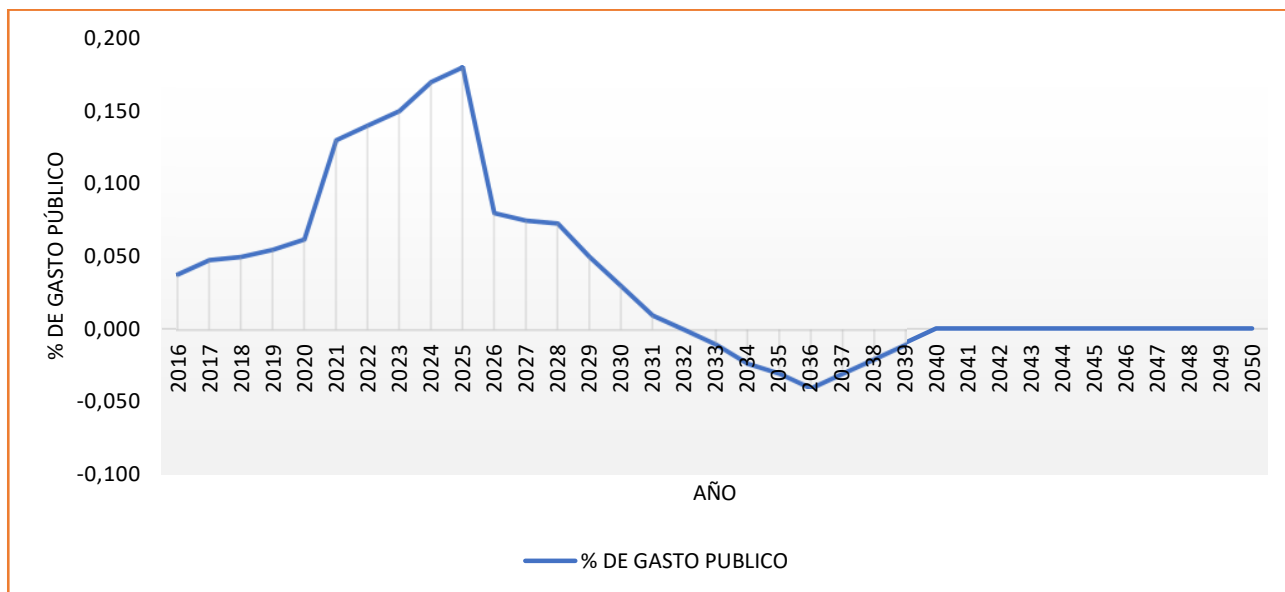


Ilustración 55 Porcentaje de Gasto Público en Incentivos. Fuente [15]

La *Ilustración 56* se pueden ver los beneficios a ser recibidos con la implantación de proyectos FNCER e integrarlos al SIN, en esta grafica se puede observar que el valor más alto en beneficios es de 100.000 millones de pesos (año 2025), 9 años después de iniciar a presentar beneficios. Luego comienzan a decrecer los benéficos sin embargo se presentan durante 29 años aproximadamente (año 2054).

Y como el caso de estudio es la energía solar esta alcanza un pico de 95 millones aproximadamente en beneficios siendo superada únicamente por la geotérmica que en costo total descontado de incentivos también lidera el grupo de las FNCER con una diferencia más grande respecto a fuente de energía solar.

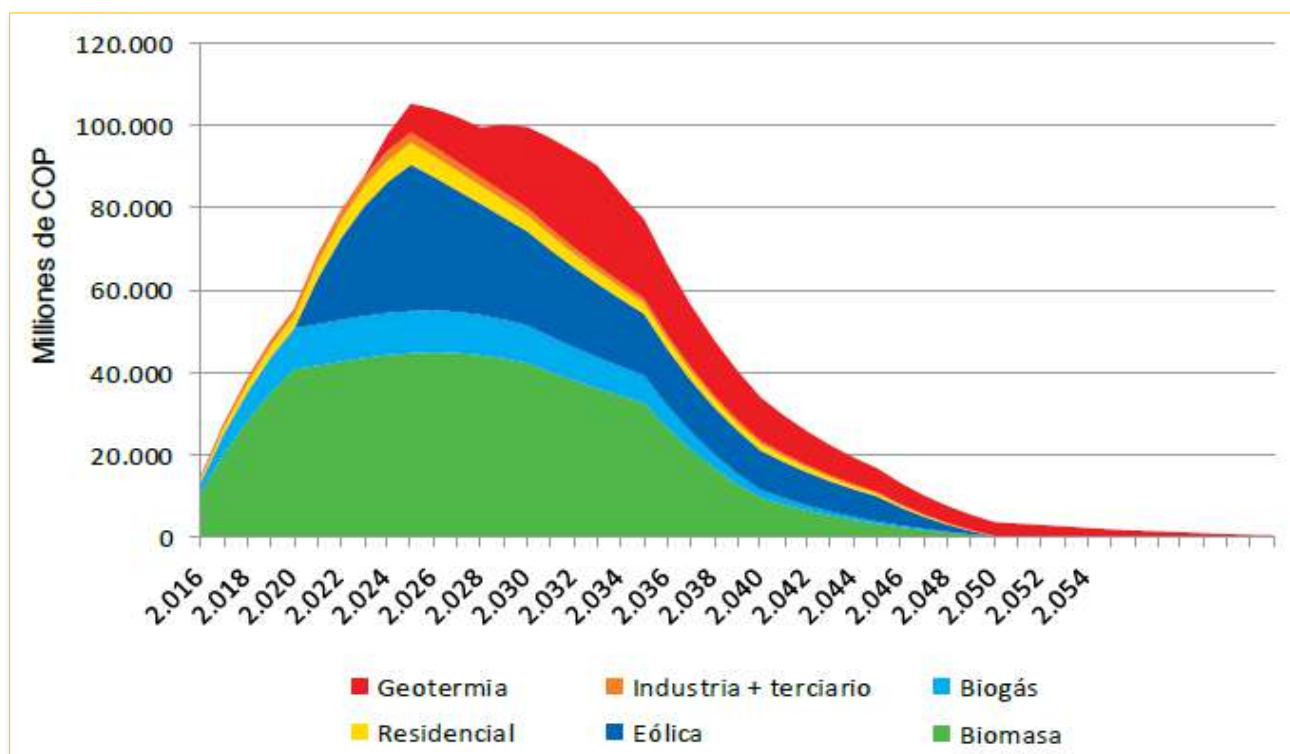


Ilustración 56 Valor en beneficios a ser obtenido con proyectos FNCER Descontando Externalidades. Fuente [15]

La Ilustración 57 muestra el comportamiento de los costos de incentivos y el valor de externalidades al año 2054 con ausencia de descuento y con descuento al 3.5 %. Se tiene como resultado el valor de 7.600 millones de dólares de externalidades sin descuento y el costo de incentivos sería de 953 millones de dólares, el mismo comportamiento presenta para externalidades con descuento del 3.5 %, utilizar la tasa de descuento más baja es una aproximación mejor realidad de los beneficios de las FNCER.

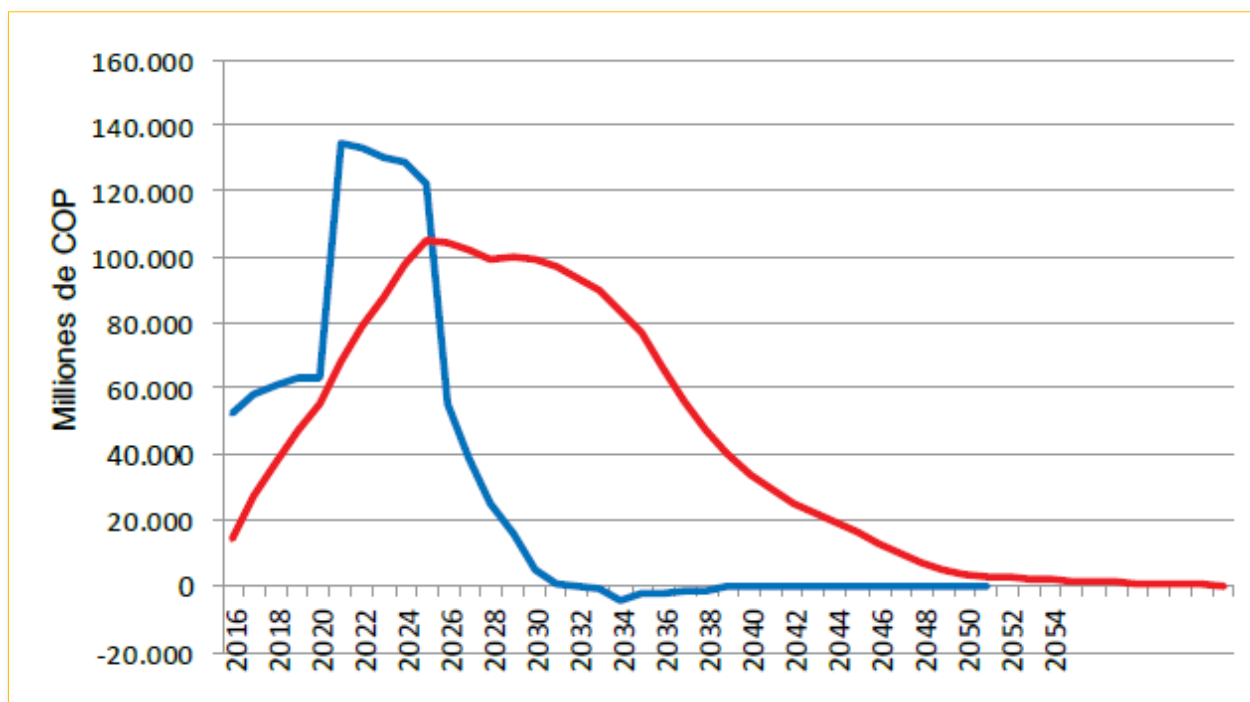


Ilustración 57 Comportamiento Costo de Incentivos vs Valor de Externalidades. Fuente [15]

A continuación, se presenta de acuerdo a cada FNCER su rentabilidad según el escenario en el que se gestione el proyecto. Donde se puede decir que en todas se necesitan de los incentivos para ser rentables y para las tecnologías de Energía Solar, Eólica y Geotermal no suficientes los incentivos para ver su rentabilidad ya sea porque se presenta incertidumbre o definitivamente no logran generar utilidad. Con externalidades todas las FNCER son rentables, pero recordemos que lamentablemente estas no son tenidas en cuenta por parte de inversores privados, y estos últimos son los actores más importantes en el crecimiento de este mercado.

Para nuestro caso de estudio los proyectos en energía solar residencial serian rentables para los usuarios que pagan la contribución del 20 % sobre el precio de compra de energía, cabe aclarar que se asumen sin deuda y con aplicando la normativa de créditos energéticos. Para los proyectos solares de gran escala debido a los bajos precios de venta de energía no es posible alcanzar rentabilidad con o sin incentivos.

Tecnología	¿Rentable sin Incentivos?	¿Rentable con Incentivos?	¿Rentable con Externalidades?	Sensibilidades
Solar Residencial	No	-	Si	1. Precio de compra de excedentes.
Solar Gran Escala	No	No	Si	1. Costo de Conexión. 2. Precio de Energía.
Eólica	No	-	Si	1. Velocidad del viento. 2. Costo de conexión
Geotermal	No	No	Si	1. Exploración y confirmación. 2. Costo de Conexión.
Biomasa	No	Si	SI	1. Producción de Calor. 2. Costo de Bagazo.
Biogás	No	Si	Si	1. Producción de Calor. 2. Costo de Tratamiento de

				POME. 3. Costo de Instalación.
--	--	--	--	-----------------------------------

Ilustración 58 Cuadro Rentabilidad de Proyectos FNCER

4.12. Estrategias para el crecimiento de Sistemas Solares FV en el SIN.

La estrategia consiste en establecer un esquema de medición bidireccional con una correcta valoración de los créditos de energía excedente de los sistemas FV a pequeña escala. Mejorar el acceso a los incentivos establecidos por la ley además de esto establecer procedimientos y requerimientos de conexión buscando el fácil acceso de los usuarios para entregar sus excedentes a red. Todo esto acompañado de promoción y acciones ejemplarizantes desde el gobierno Nacional y entidades públicas para sistemas solares FV.

En la *Ilustración 59* muestra las líneas de acción dentro de la estrategia para promover la integración de los sistemas solares FV en el SIN.

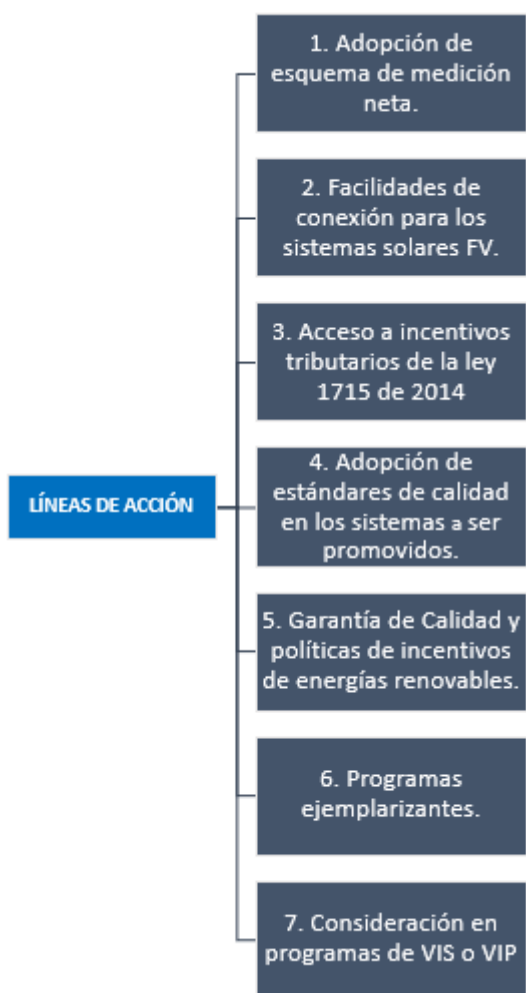


Ilustración 59 Líneas de Acción. Fuente [3]

Adopción de un Esquema de Medición Neta: Desarrollo de sistemas de autogeneración de pequeña escala donde los costos nivelados de electricidad que se pueden obtener puedan competir con las tarifas que pagan los usuarios residenciales y comerciales, es decir que los

excedentes entregados a la red por los usuarios sean pagos a la misma tarifa de la energía consumida, proyectos que se pueden desarrollar en urbanizaciones, edificaciones privadas o públicas, etc. Este esquema no solo beneficiaría a los usuarios sino a los operadores de red dando a su sistema prolongación de la vida útil de sus activos y la provisión de potencia reactiva y control de voltaje en sus redes.

Facilidades de Conexión para sistemas solares FV: Simplificar y poner a disposición de procedimientos para la conexión y acceso a la red para la entrega de excedentes, enfocado a eliminar o evitar requisitos innecesarios por parte de los operadores de la red.

Acceso A Incentivos Tributarios de la ley 1715 de 2014: Establecer mecanismos para acceder de manera óptima a los beneficios de establecidos por la ley como exclusión del IVA y la exención de aranceles para maquinaria, equipos, materiales y servicios necesarios que cumplan con los estándares definidos por la ley. También a los beneficios como la deducción de renta y la depreciación acelerada que aplican en primera parte a las empresas y personas obligadas a declarar renta que implementen un sistema solar FV.

Adopción de Mínimos Estándares de Calidad en los Sistemas a Ser Promocionados: Establecer estándares mínimos de calidad internacional y procesos de certificación en búsqueda de definir normatividad para garantizar un óptimo nivel de rendimiento, seguridad y confiabilidad de los sistemas FV promocionados sin elevar incrementar los costos de manera notable. Y que el cumplimiento de estos sean requisito para el acceso a los incentivos de ley.

Programas Ejemplarizantes Esta línea de acción corresponde a que entidades públicas instalen sistemas FV en sus edificaciones u oficinas, para luego de manera práctica divulgarlos en la comunidad en general dando a conocer como mínimo los requisitos, procedimientos y beneficios del sistema.

Consideración de programas en VIS o VIP: En el artículo 7 (4) de la ley 1715 se establece la evaluación por parte del gobierno de la energía solar como una opción para la autogeneración en los estratos 1, 2 y 3 como alternativa al subsidio de energía eléctrica que estos estratos reciben. Se trata de hacer propuestas o analizar su viabilidad en cuanto a la implementación de sistemas solares FV en viviendas de interés social y de interés prioritario donde el ahorro se represente como parte del subsidio a la energía eléctrica a largo plazo.

4.13. Potencial – Proyecciones, Energía Solar FV en Techos Urbanos

En sistemas de autogeneración a pequeña escala en el sector residencial, industrial, comercial y público, el mayor potencial de desarrollo está en la energía solar fotovoltaica por razones como la disponibilidad del recurso, la tendencia a la baja de los costos de instalación y la facilidad para implementarlos.

Para conocer el potencial y posible aprovechamiento de sistemas FV en Colombia se tomó la ciudad de Bogotá D.C. como ejemplo por ser la ciudad más grande del país y la mayor consumidora de energía, además de esto cuenta con una completa información catastral y de ordenamiento territorial lo que permite aplicar los criterios de rentabilidad anteriormente mencionados, a partir de los resultados para capital se realizó el cálculo para el resto de país, realizando proyecciones para los próximos 15 años.

4.13.1. Bogotá D.C.- Aprovechamiento de Energía Solar con Sistemas FV en Techos Urbanos

Para el cálculo se asume uso de paneles policristalinos con eficiencia de 15 % (0.15 kW/m^2) y con un factor de corrección de 1.3 % para obtener finalmente un factor de instalación técnicamente factible de 0.11 kWp/m^2 y se obtienen los siguientes los datos utilizados para el ejercicio en la ciudad:

Ciudad	Área Total Construida Residencial (m ²)	Radiación Solar (kWh/m ² /día)	Potencial Teórico en Energía (GWh/día)	Área Residencial (m ²)	Potencial Técnico en Potencia Pico (Mwp)
Bogotá D.C	330,193,785	4.82	1,592	117,973,936	12,977

Ilustración 60 Información considerada para Bogotá D.C. Fuente [15]

El área potencial se reduce por inconvenientes técnico-económicos y logísticos además de otras causas que limitan la cantidad de área estimada inicialmente. El primer factor a tener en cuenta en la selección de los predios residenciales son estratos 5 y 6 que pagan altas tarifas por la energía eléctrica y luego los de estratos 1 y 2 donde se tiene la posibilidad de implementar sistemas FV para reemplazar a largo plazo los subsidios entregados por el gobierno, los resultados se presentan en la tabla:

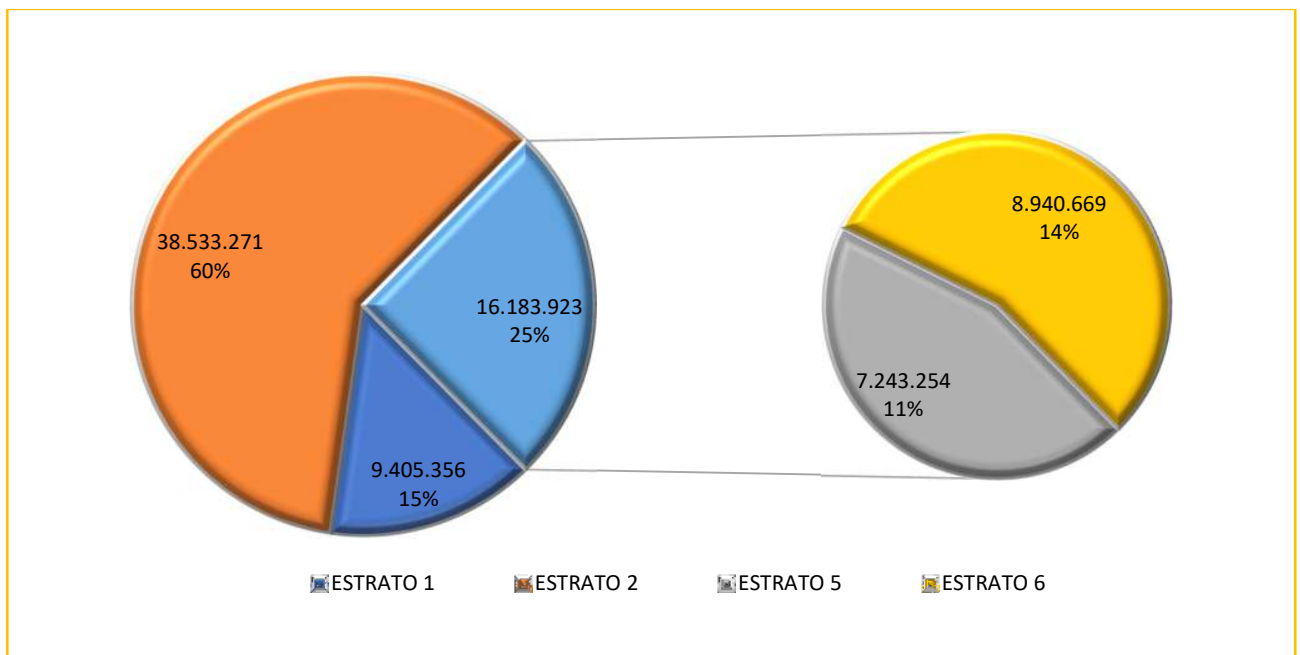


Ilustración 61 Distribución de área potencial por estrato. Fuente [15]

La distribución de área potencial por estratos concentra el 75 % en el 1 y 2 los cuales adoptarían los sistemas FV con financiamiento del gobierno buscando a largo plazo reemplazar los subsidios. El 25 % restante del área se concentra en los estratos 5 y 6 que tienen la capacidad adquisitiva para implementar los sistemas FV sin financiamiento por parte del estado y que el beneficio lo recibirían directamente en el costo de las tarifas de energía.

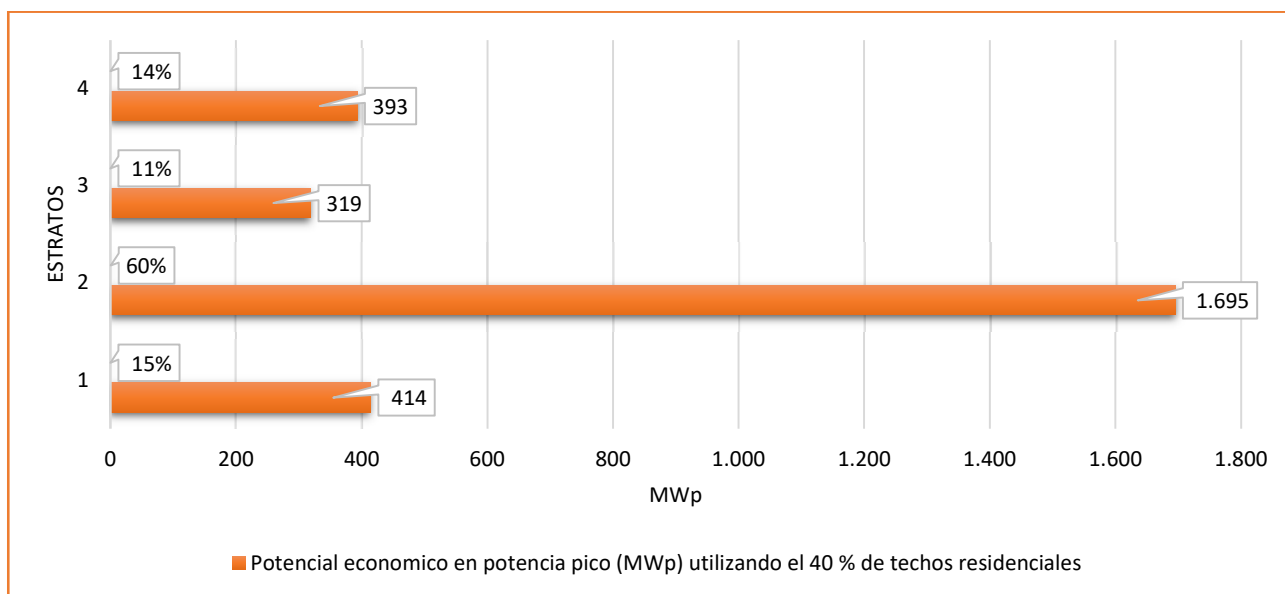


Ilustración 62 Distribución de Potencial Económico por Estrato. Fuente [15]

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 5	Estrato 6	Total
Área Residencial (m ²)	9,405,356	38,533,271	7,243,254	8,940,669	64,122,550
Potencial económico en potencia pico (MWp) utilizando el 40 % de techos residenciales	414	1,695	319	393	2,821

Ilustración 63 Datos para cálculo de potencial por estrato. Fuente [15]

Como se puede ver el potencial se reduce de 12,977 MWp a 2,821 MWp tomando el 40 % de área inicialmente contemplada, este bajo porcentaje se toma por la presencia diferentes elementos que dificultarían la instalación de los paneles o generarían sombra sobre los sistemas FV. La relación área potencial es directamente proporcional teniendo en cuenta la naturaleza del sistema de captura de la energía solar y por la cantidad de radiación que se asume igual para toda la ciudad, ejercicio que con datos más precisos presentaría cambios en el potencial. Luego se calculó la capacidad instalable en predios unifamiliares no PH en altura y a partir de este se estimó el potencial económico para predios no arrendados.

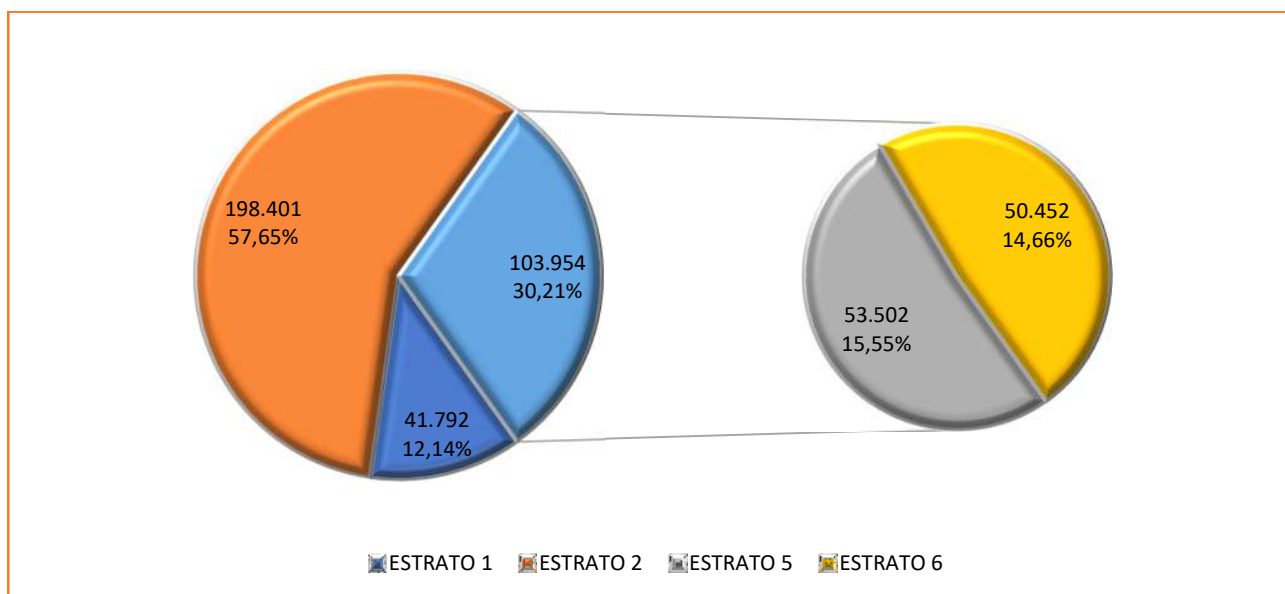


Ilustración 64 Predios Unifamiliares por Estrato

La cantidad de predios unifamiliares No PH en altura es del 70% en estratos 1 y 2, el 30 % restante se encuentra en los estratos altos *Ilustración 19*. El comportamiento no es directamente proporcional con el potencial económico, como se puede observar en la *Ilustración 20* se estima un promedio de potencia instalada mucho más alta en estratos 5 y 6 y el potencial económico que se registra se comporta de acuerdo al promedio de potencia instalada y no a la cantidad de predios, concentrando un potencial económico de 56 % en los estratos 5 (29%) y 6 (27%). En este caso se obtiene total de potencia económicas de 552MWp aproximadamente.

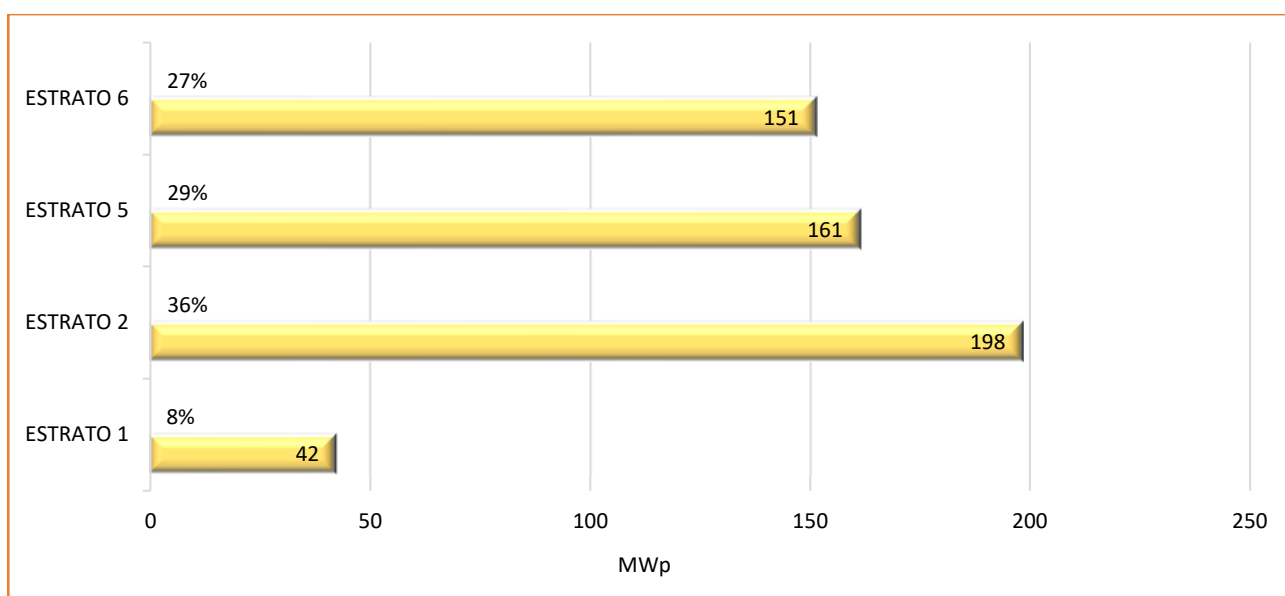


Ilustración 65 Potencial Económico por Estrato y su Número de Predios Unifamiliares y Supuesto de Capacidad Instalada

El comportamiento del potencial económico teniendo como criterio predios propiedad se comporta igual que en el caso anterior donde está determinada por una relación donde tiene más

peso la capacidad instalada que el número de predios. Los resultados para este cálculo fueron los siguientes:

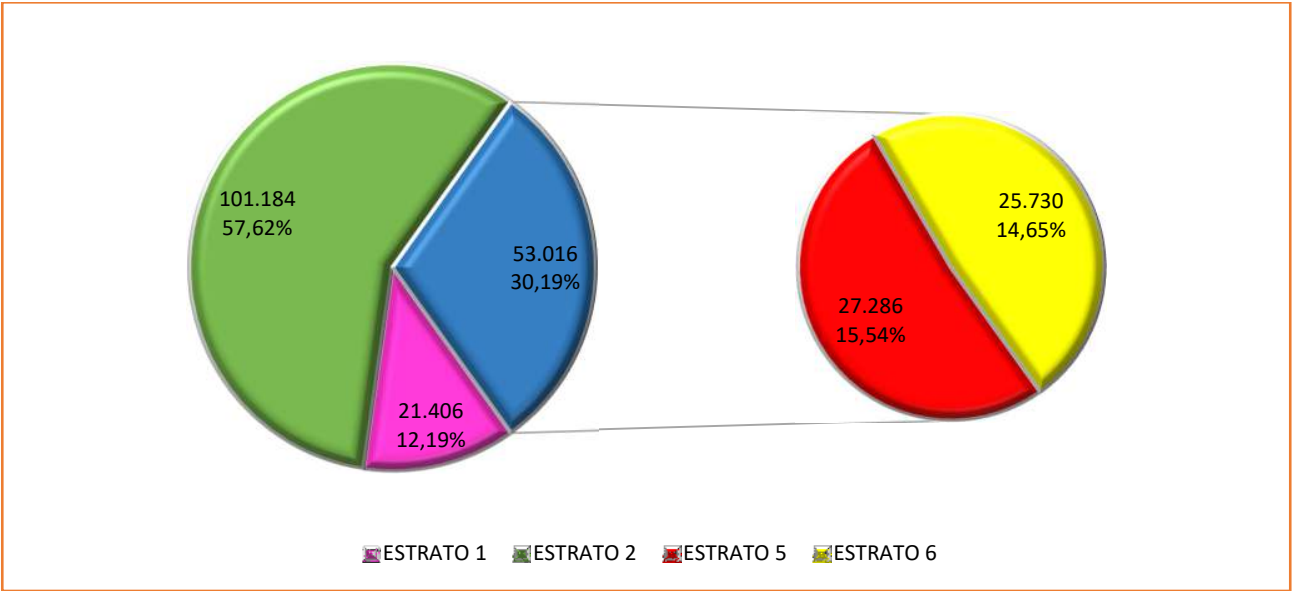


Ilustración 66 Cantidad de Predios en Propiedad

Más de la mitad de los predios se concentran en el estrato 2 seguido por lo estratos altos que concentran el 16 % y 15 % respectivamente y finalizando con el estrato 1 con 12 % *Ilustración 21*. Para potencial económico en este tipo de predios se registró un total de 282 MWp distribuidos de la siguiente forma:

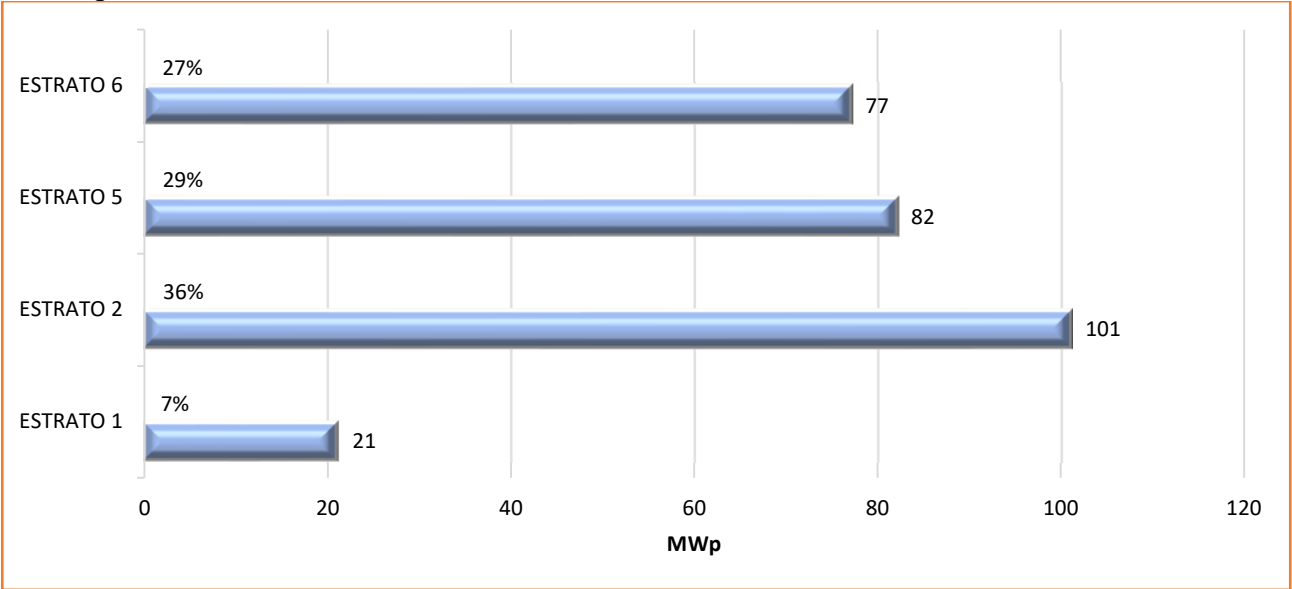


Ilustración 67 Potencial Económico en Predios Propiedad

En este caso se puede decir que en el estrato 1 el aprovechamiento de techos solares sería muy bajo respecto al resto y que debido a la gran cantidad de predios en estrato 2 logra contrarrestar la capacidad instalada adicional que tienen los estratos 5 y 6, a continuación, se relaciona en la

Tabla 17 la información de los casos donde se consideran dos clasificaciones para los predios residenciales de los 4 estratos socioeconómicos.

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 5	Estrato 6	Total
Supuesto de Potencia promedio instalada por predio (kWp)	1	1	3	3	N/A
No de predios Unifamiliares	41,792	198,401	53,502	50,452	344,327
Potencial Económico en Potencia Pico (MWp)	42	198	161	151	552
No de predios de tenencia en propiedad	21,406	101,184	27,286	25,730	175,606
Potencial económico en Potencia Pico (MWp) utilizando sistemas en predios de tenencia en propiedad	21	101	82	77	282

Ilustración 68 Potencial Económico basado en factores de interés de área residencial utilizable

Algo que se debe mencionar es que a partir de este ejercicio se puede ver que para predios en estrato 3 no resulta rentable desde ningún escenario la implementación de sistemas energéticos FV, motivo que debe centrar la atención del gobierno a la hora de estimular o incentivar la implementación de las FNCER ya que en el caso de Bogotá el estrato 3 concentra gran parte de los predios residenciales de la ciudad y si se analiza el tipo de población y su capacidad adquisitiva no es posible financiar un sistema de FV sin deuda y tampoco están contemplados dentro de los beneficios que plantea el gobierno.

4.13.2. Principales Ciudades del País - Sistemas FV en Techos Urbanos

A partir de los resultados para Bogotá D.C. se realizaron las estimaciones para 20 de las principales ciudades del país donde además se incluyó Riohacha y la isla de San Andres por la importancia en disponibilidad del recurso solar. Para la estimación se tienen en cuenta variables de población y áreas disponibles urbanas a las cuales se les aplican los siguientes supuestos:

- 20 % del área urbana para estas ciudades son techos construidos, luego se redujo esta área aplicando el supuesto de que la mitad no cumplía con la capacidad de soportar la carga de un sistema (20 kg/m²).
- Al 50 % de área disponible se le calcula que solo el 40 % es útil para la implementación de los sistemas ya que el resto presenta limitaciones como sombras, claraboya, tejas, antenas, canales, accesos de mantenimiento, etc.
- Al área resultante se dividió en sectores residencial (65%-70%) y de acuerdo a cifras de la actividad económica (industrial, comercial y servicios) se distribuyó el resto.
- Solo el 10 % de los propietarios de los techos accedería a implementar un sistema solar FV en los próximos 15 años.
- Y por último se considera el valor de 0.11 kWp/m² correspondiente a la capacidad instalable con paneles policristalinos y un factor de dimensionamiento de 1.3.

Los datos a ser utilizados para la estimación del potencial se relacionan a continuación:

Ciudad	Población (Hab año 2012)	Densidad Pobl (hab/Km ²)	Área Urbana (Km ²)	Área Techos (Km ²)	Actividad Económica		
					Industria	Comercio	Servicios
Bogotá D.C.	7,674,366	4,321	1587	159	10.20%	42.20%	36.30%
Ibagué	542,876	6,919	78	8	9.30%	52.40%	29.20%
Soacha	488,995	4,321	113	11	9.40%	49.90%	30.20%
Villavicencio	463,121	5,223	89	9	8.00%	51.90%	32.80%

Promedio otras ciudades	708,604	5,346	134	13	7.85%	48.22%	30.08%
-------------------------	---------	-------	-----	----	-------	--------	--------

Ilustración 69 Datos Base para Estimación Potenciales en Techos Urbanos. Fuente [15]

Área Disponible de Techos por Ciudad:

La mayor disponibilidad de área en techos la tiene la ciudad de Bogotá D.C. con el 37 % de los 428.67 Km² que suman las 22 ciudades incluidas en el ejercicio, seguida por Cali con el 13 % y Medellín con el 8.8 %, en las 19 ciudades restantes se reparte el 51.2 % como se observa en la *Ilustración 70* la diferencia entre la capital es muy grande debido al tamaño de la ciudad y la cantidad suelo urbano que triplica a su inmediata seguidora, Cali. Ciudades importantes para el caso de estudio se encuentran en la Región Central como Ibagué, Villavicencio y Soacha concentran apenas el 6.5 % de cantidad disponible de área de techos con 7.86 Km², 8.86 Km² y 11.32 Km² respectivamente.

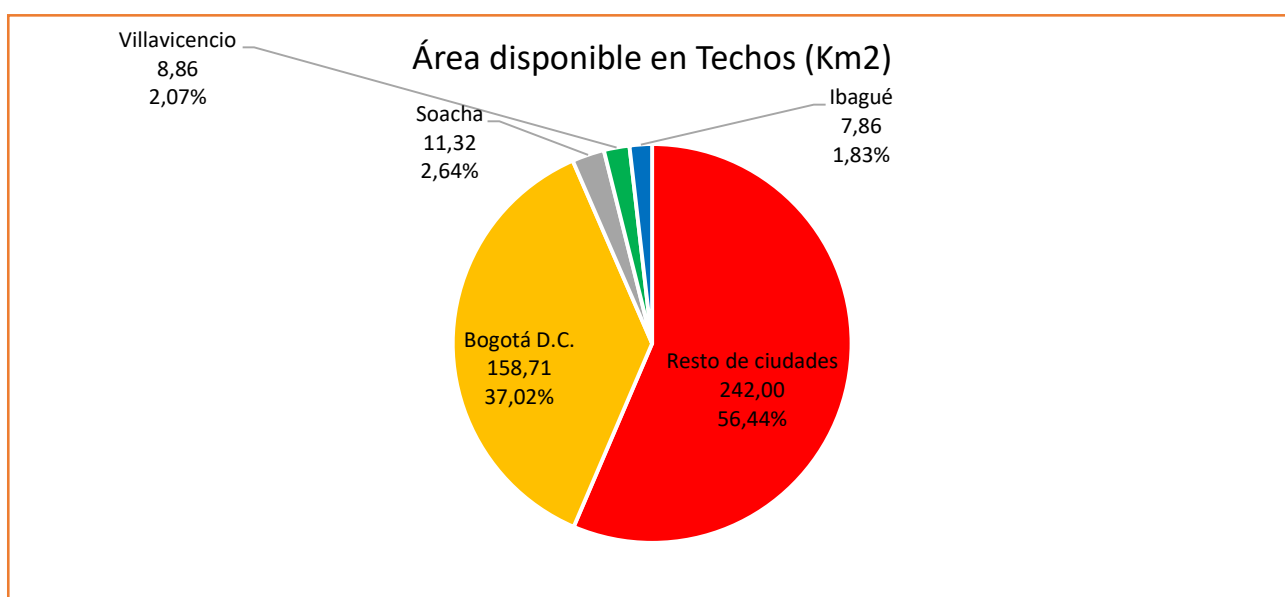


Ilustración 70 Cantidad de área disponibles en techos urbanos principales ciudades. Fuente [15]

En esta misma Ilustración se pueden ver que tan solo 4 ciudades superan los 20 km² de área disponible, donde Bogotá alcanza los 158 Km² seguida de Cali con 56.3 Km² y Medellín con 38.07 Km² aproximadamente, dentro de las ciudades con menor disponibilidad de área encontramos aquellas con mayor disponibilidad de recurso solar como Riohacha y San Andres.

Cabe mencionar que la información base corresponde al año 2012 lo que significa que para realizar una estimación más precisa se deben considerar los cambios dados en los últimos 7 años donde el crecimiento de las ciudades y sobre todo de suelo urbano deben presentar incrementos considerables.

Las ciudades de la Región Central que se encuentran en el estudio logran acumular un 186.75 Km² correspondientes a 43.56 % del total de área disponible en techos urbanos, el restante se encuentra distribuido en ciudades importantes del país. La aplicación de estudios para aprovechamiento del recurso solar en techos urbanos sería muy buena para la Región Central donde se contemplen ciudades en crecimiento o con mayores índices de demanda energética.

Distribución de Área de Techos según Sector Económico:

Según el sector económico y los supuestos la distribución de área para el sector residencial esta entre el 65 % y 70 %, el comercial y de servicios entre el 25% y 29 % donde se destaca la ciudad de Villavicencio con 29 % aproximadamente, el sector industrial se encuentra entre el 4 % y 8 % destacando la ciudad de Santa Marta con el indicador más alto con 6.57 %. El supuesto del área residencial hace que el estudio no muestre la precisión en cuanto a la realidad de la distribución del área en techos, como se observa en la *Ilustración 34* sin importar la cantidad de área todas las ciudades tienen una distribución muy similar.

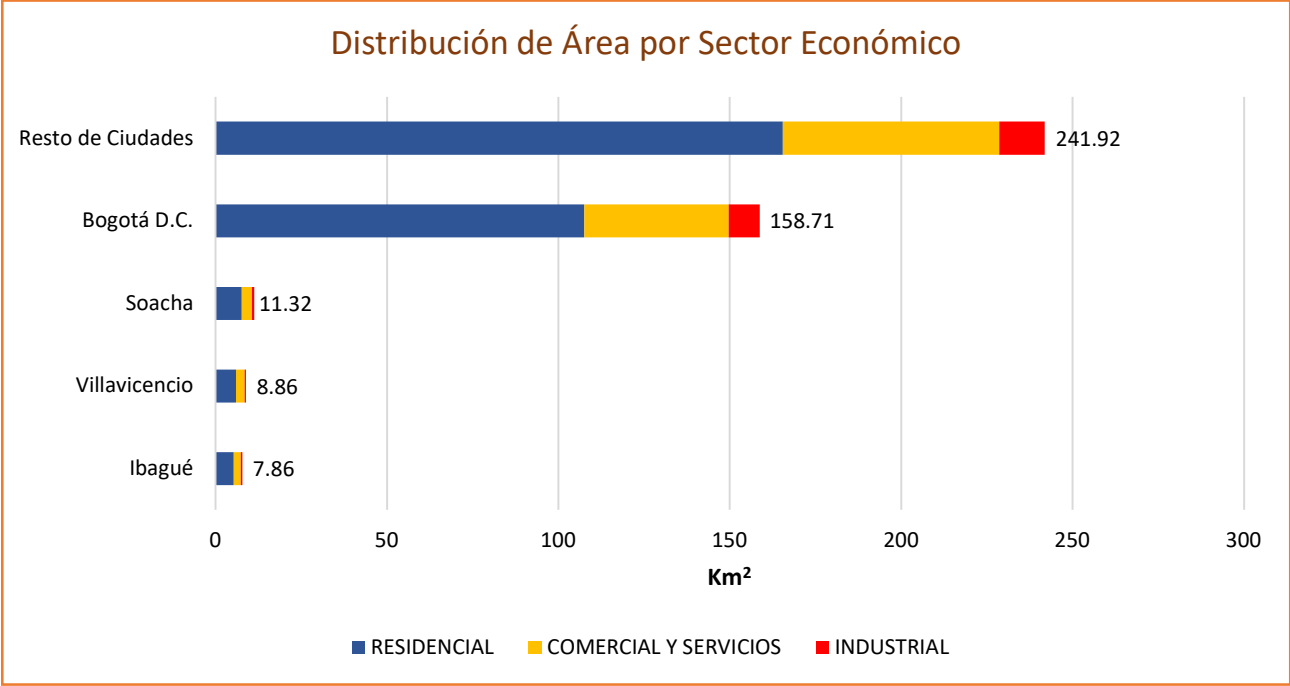


Ilustración 71 Distribución de área según clasificación del Suelo. Fuente [15]

Ciudad	Residencial		Comercial y Servicios		Industrial	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Ibagué	5.29	1.81%	2.16	1.91%	0.41	1.73%
Villavicencio	5.95	2.04%	2.52	2.23%	0.39	1.65%
Soacha	7.64	2.62%	3.06	2.71%	0.62	2.62%
Bogotá D.C.	107.58	36.85%	42.18	37.31%	8.95	37.80%
Resto de Ciudades	165.47	56.68%	63.14	55.85%	13.31	56.21%

Ilustración 72 Distribución del Área Según Clasificación del Suelo. Fuente [15]

La cantidad de área residencial en todas las ciudades predomina, pero un análisis que se puede tener en cuenta es que el área urbana de la capital no dista mucho de la suma del área residencial de 18 ciudades, esto ayuda a comprender un poco mejor la magnitud de la ciudad de Bogotá D.C. y el potencial para aprovechar sus techos urbanos, en general la distribución de áreas en los otros dos sectores es similar, un aspecto que se puede llegar a evaluar es el consumo de energía eléctrica por cada uno, que puede resultar en un determinante a la hora de implementar políticas para incentivar la adopción de la energía solar FV.

Potencial basado en el 10 % de los techos utilizables (MWp):

El supuesto donde el 10% de los propietarios de bienes inmuebles accedería en los próximos 10 años a instalar un sistema fotovoltaico en los techos de sus propiedades nos arrojan los

resultados mostrados en la *Ilustración 73* donde se puede observar que las 18 ciudades que no se encuentran dentro de la Región Central acumulan un 59 % con un potencial de 1120 MW, para la ciudad de Bogotá D.C. se estima un potencial de 473 MW.

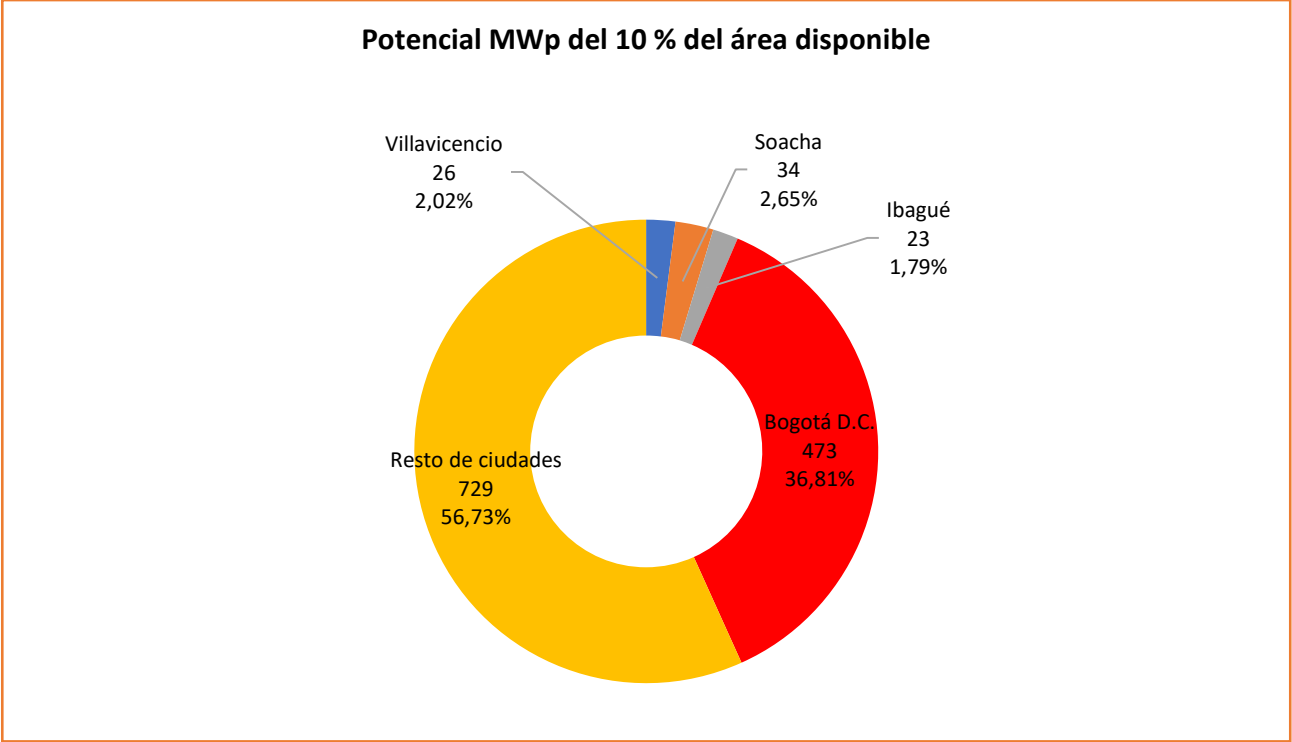


Ilustración 73 Potencial de Generación en Techos Urbanos de las principales Ciudades. Fuente [15]

De ciudades en la Región Central, Bogotá D.C. presenta el mayor potencial de generación en techos urbanos, luego encontramos a Soacha con un potencial de 34 MW, enseguida la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta, la cual registra un potencial de 26 MWp y por último la ciudad de Ibagué con 23 MWp, como se muestra en la *Ilustración 73*.

Ciudad	Potencial (MWp)	%
Bogotá D.C.	698	37.03%
Medellín	248	13.16%
Cali	167	8.86%
Barranquilla	106	5.62%
Cartagena	77	4.08%
Cúcuta	54	2.86%
Montería	52	2.76%
Pereira	50	2.65%
Bucaramanga	40	2.12%
Soledad	39	2.07%
Valledupar	39	2.07%
Bello	37	1.96%

Ibagué	37	1.96%
Manizales	36	1.91%
Soacha	34	1.80%
Santa Marta	33	1.75%
Pasto	32	1.70%
Villavicencio	30	1.59%
Buenaventura	29	1.54%
Neiva	28	1.49%
Riohacha	15	0.80%
San Andrés	4	0.21%
TOTAL	1885	100.00%

Ilustración 74 Potencial de Generación en Techos Urbanos. Fuente [15]

En cuanto a la distribución del potencial según el sector económico y de clasificación del suelo el comportamiento en residencial es igual para todas las ciudades ya que en base a un supuesto se realizó esta distribución, es el que concentra el mayor potencial con 1,285 MWp, para sectores de la economía el es mayor para el comercial y de servicios con 497 MWp y en último lugar encontramos el industrial con 103 MWp como se puede observar en la *Ilustración 76*.

Residencial (Mwp)	Comercial y Servicios (Mwp)	Industrial (Mwp)
1285	497	103
68.17%	26.37%	5.46%

Ilustración 75 Distribución de Potencial por Sectores de la Economía. Fuente [12]

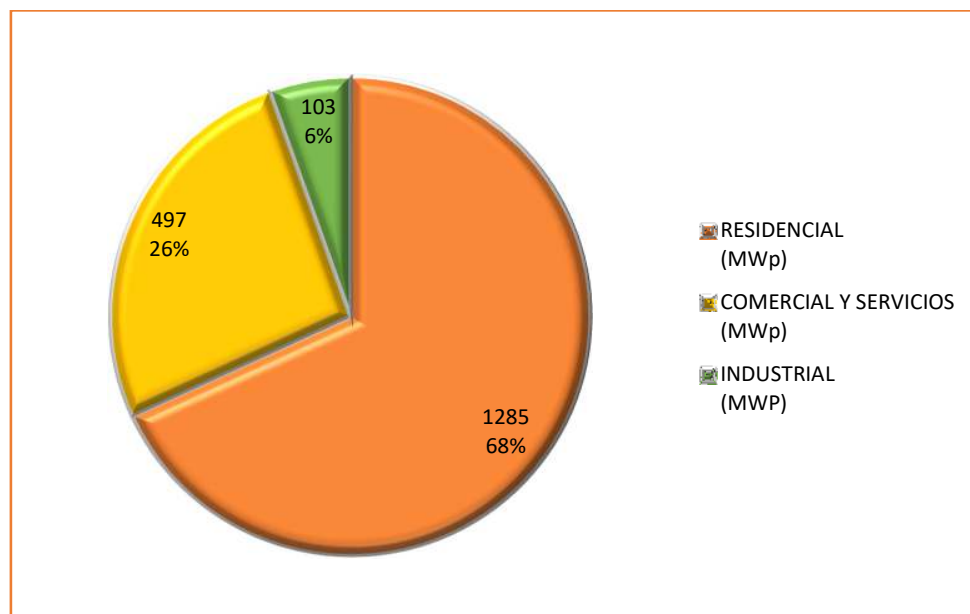


Ilustración 76 Distribución de Potencial por Clasificación de Suelo. Fuente [15]

La distribución de potencial por ciudades y sector se muestra en la *Ilustración 77*

Ciudad	Residencial (Mwp)	Comercial y Servicios (Mwp)	Industrial (Mwp)
---------------	------------------------------	--	-----------------------------

Bogotá D.C.	473	186	39
Cali	114	43	10
Medellín	176	62	10
Cartagena	52	20	5
Barranquilla	71	28	7
Bucaramanga	27	11	2
Bello	25	10	2
Soacha	23	9	2
Cúcuta	36	14	4
Pereira	34	13	3
Villavicencio	20	8	2
Soledad	27	10	2
Valledupar	26	11	2
Montería	35	14	3
Ibagué	25	10	2
Buenaventura	20	8	1
Manizales	24	10	2
Santa Marta	22	9	2
Pasto	23	8	1
Neiva	19	8	1
Riohacha	10	4	1
San Andrés	3	1	0
TOTAL	1285	497	103

Ilustración 77 Distribución de Potencial por Ciudad y Sector de la Economía. Fuente [15]

4.14. Escenarios para el país en Sistemas de Energía Solar FV

A partir de lo establecido en la ley 1715 se consideran dos escenarios para las proyecciones en Colombia, donde se asume que para finales del año 2015 ya serían aplicables los incentivos a la inversión y que estaría implementado el sistema de créditos energéticos. El primer escenario será entonces la reglamentación de un esquema de medición neta y el segundo un sistema de facturación neta. A partir de esto se proyecta lo siguiente:

	Descripción	Tasa de crecimiento primeros años	Tasa de crecimiento últimos años
Escenario 1	Facturación Neta	300%	6%
Escenario 2	Medición Neta	400%	15%

Ilustración 78 Proyecciones de Crecimiento en Sistemas Solares FV Bajo Dos Escenarios. Fuente [15]

Con lo anterior entre el año 2014 a 2030 se espera un crecimiento promedio anual del 30 % para el primer escenario y del 40 % para el segundo, en la *Tabla 24* podemos ver que en los primeros años se espera un crecimiento vertiginoso para que en los últimos años se estabilice entre el 6% y 15%. Las tasas de crecimiento para Colombia son bajas respecto a reportadas a nivel mundial para los años comprendidos entre 2010 a 2015, respecto a países como México y Brasil estas expectativas de crecimiento se pueden calificar como intermedias.

De acuerdo a lo considerado para los dos escenarios se tiene una proyección de capacidad instalada en techos para 2030 de:

	Descripción	Proyección Capacidad Instalada (MW)
Escenario 1	Facturación Neta	56
Escenario 2	Medición Neta	167

Ilustración 79 Proyección de Capacidad Instalada en Techos al año 2030. Fuente [15]

Como se observa en la *Ilustración 28* en el escenario dos de medición neta a partir del 2014 (cuarto año de la medición) duplica en crecimiento al primer escenario Facturación Neta. Su tasa tiene un crecimiento exponencial casi hasta el final del periodo evaluado mientras el escenario uno modera su tasa de crecimiento casi hasta volverlo constante y lo mantiene hasta el año 2030.

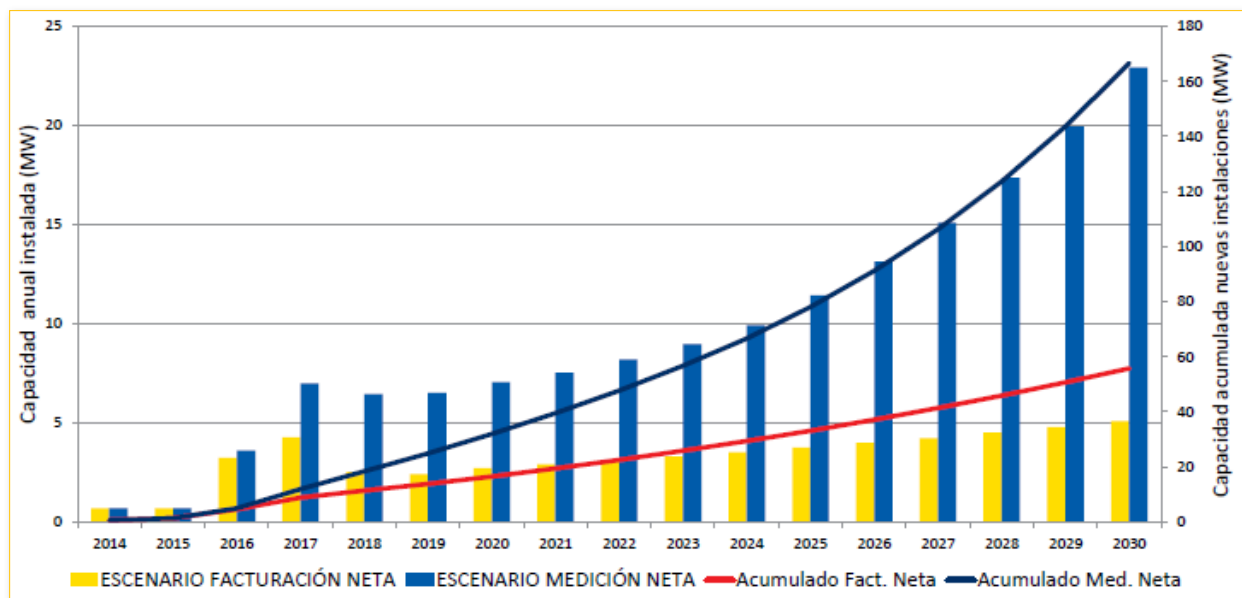


Ilustración 80 Proyecciones de Crecimiento en instalaciones de energía solar FV para Colombia hasta el año 2030

Luego de obtener los resultados para las proyecciones y para la estimación de potenciales se realiza un comparativo de los dos casos *Ilustración 28*, donde en el primer caso se proyectan las capacidades que espera desarrollar desde el año 2014 al 2030 y en el segundo caso se aplica el supuesto de que solo el 10% de las áreas de techos urbanos de las ciudades analizadas serían utilizados para la instalación de pequeños sistemas FV.

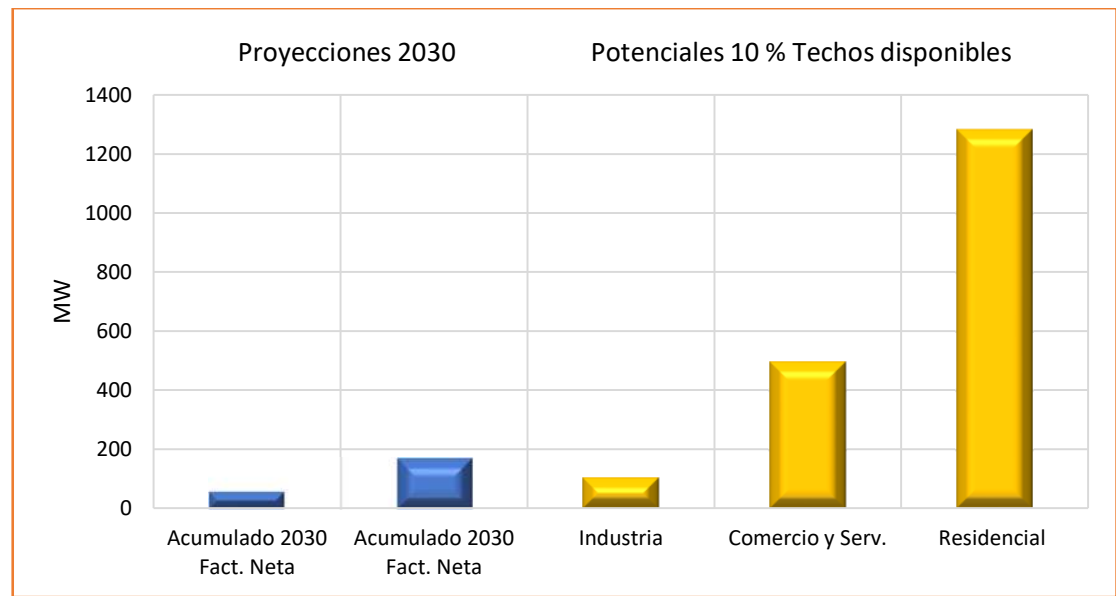


Ilustración 81 Comparativo Proyecciones 2030 vs Potenciales 10 % Techos. Fuente [15]

Del comparativo se puede decir que la proyección con mejores resultados que corresponde a medición neta alcanza un 9 % aproximadamente del total estimado para el supuesto de potencial en el 10 % de área de techos urbanos que fue de 1885 MWp, esto indica según el estudio que si reducen de manera considerable los costos de inversión para sistemas FV en el país en pocos años se lograría superar las proyecciones aquí presentadas y Colombia lograría un crecimiento al ritmo del mercado mundial en la implementación de estas tecnologías.

4.15. Proyectos Relevantes en Funcionamiento

Los proyectos en funcionamiento a nivel nacional son diversos y de diferentes escalas, a continuación, se relacionarán los más destacados ya sea por su capacidad, impacto social o innovación.

6.15.1 Granjas Solares

En primer lugar, se relacionan las granjas o parques solares, estos son proyectos que requieren grandes extensiones de área de terreno, por lo general se desarrollan en suelo rural por la disponibilidad de espacio y buscan generación de energía eléctrica a gran escala [18].

Parque Solar El Paso	Características	
	Ubicación	El Paso, Cesar
	Cantidad de Paneles	250.000
	Capacidad de Instalada	86,02 MW
	Capacidad de Generación Año	176 GW/Año
	Impacto	102.000 hogares
	Inversión USD (Año2019)	70 millones
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	100.000
	Área Utilizada (Ha)	210
	Empresa Inversionista	Enel Green Power Colombia EGPC
	Entrada en operación	Abril de 2019
	Primera planta solar con obligaciones de entrega centralizada, es decir compromiso diario de entrega de energía a la red.	
	Fuentes: [19], [20], [21], [22]	
Celsia Solar Bolívar	Características	
	Ubicación	Santa Rosa de Lima, Bolívar
	Cantidad de Paneles	32.000

	Capacidad de Instalada	8,06 MW
	Capacidad de Generación Año	15.54 GW/Año
	Impacto	7.000 hogares
	Inversión USD (Año2018)	8 millones
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	5.667
	Área Utilizada (Ha)	12
	Empresa Inversionista	EPSA - CELSIA
	Entrada en operación	Noviembre de 2018
	Parque solar entrega energía al SIN	
	Fuentes: [23], [24], [21]	

Ilustración 82 Proyectos Sobresalientes en Operación. Elaboración Propia

Parque Solar Flotante El Peñol		Características	
	Ubicación	El Peñol, Antioquia (Embalse)	
	Cantidad de Paneles	368	
	Capacidad de Instalada	100 kW	
	Capacidad de Generación Año	145 MW/Año	
	Impacto	70 hogares/año	
	Inversión COP (Año2018)	800 millones	
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)		
	Área Utilizada (m ²)	1430	
	Empresa Inversionista	EPM -ERCO	
	Entrada en operación	Abril de 2018	
		El valor agregado de este proyecto es optimizar en un 15% el rendimiento de los paneles aprovechando nivelar la temperatura de los paneles por la presencia del agua	
		Fuentes: [25], [26], [27], [21]	
Celsia Solar Yumbo		Características	
		Ubicación	Yumbo, Valle del Cauca

Cantidad de Paneles	35.000
Capacidad de Instalada	9,8 MW
Capacidad de Generación Año	16,5 GW/Año
Impacto	8.000 hogares
Inversión USD (Año2018)	
Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	6.400
Área Utilizada (Ha)	18
Empresa Inversionista	EPSA - CELSIA
Entrada en operación	Septiembre de 2017
Parque Solar Yumbo entrega energía al SIN desde 2017	
Fuentes: [28], [29], [21]	

Ilustración 83 Proyectos Sobresalientes en Operación. Elaboración Propia

Los anteriores son algunos de los proyectos fotovoltaicos tipo parque o granja solar que sobresalen en el país que ya son un hecho. Los de más capacidad instalada se encuentran al norte aprovechando que allí el nivel de radiación es de los mejores que tiene el país. El parque flotante de El Peñol es innovador por el aprovechamiento del embalse ya que optimiza el funcionamiento de los paneles entre el 15% y 20% más de generación, al regularse de mejor forma la temperatura del sistema gracias al enfriamiento que le proporciona el agua.

Dentro de la inscripción de proyectos ante la UPME se vienen gestionando varios proyectos de mayor capacidad, algunos de ellos se ubicarán al norte del país donde se reciben los niveles más altos de radiación en Colombia.

6.15.2 Techos Solares

Los proyectos de este tipo son bastantes los que se han venido desarrollando en el país, se nombran algunos de cada sector de la economía con el fin de que el lector tenga una idea de su capacidad y sus principales características.

Centro de Convenciones Cartagena de Indias	Características	
	Ubicación	Cartagena, Bolívar
	Cantidad de Paneles	1.656
	Capacidad de Instalada	444,14 kWp
	Capacidad de Generación Año	514.165 kWh/ año
	Impacto	Suple el 18 % del

		consumo de energía del CCCI
	Inversión COP (Año2018)	
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	188.6
	Área Utilizada (m ²)	2743
	Empresa Inversionista	Grupo Heroica SAS - Celsia
	Entrada en operación	Abril de 2018
	Primer centro de convenciones en Latinoamérica en implementar un sistema como estos.	
	Fuentes:[30], [31], [21]	
Techo Fabrica Nacional de Chocolates		Características
	Ubicación	Ríonegro, Antioquia
	Cantidad de Módulos	8047
	Capacidad de Instalada	2.132 kW
	Capacidad de Generación Año	3'150.964 kWh/Año
	Impacto	Suple el 15% del consumo de la fabrica
	Inversión USD (Año2017)	2,5 millones
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	604
	Área Utilizada (m ²)	14.924
	Empresa	Grupo Nutresa - CELSIA
	Entrada en operación	Noviembre de 2017
	Según techo solar más grande a nivel nacional, primero en Antioquia.	
	Fuentes: [32], [33], [34], [21]	

Ilustración 84 Proyectos de Techos Solares Relevantes en el País. Elaboración Propia

Tecnoglass		Características	
		Ubicación	Barranquilla, Atlántico
		Cantidad de Paneles	7.820
		Capacidad de Instalada	2.470 kWp
		Capacidad de Generación Año	3901,8 MWh/ año
		Impacto	Suple el 7 % del consumo
		Inversión COP (Año 2017)	2,8 millones
		Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	776
		Empresa Inversionista	Tecnoglass
		Entrada en operación	Agosto de 2017
		La empresa fabrica insumos para sistemas fotovoltaicos, planea inversiones por más de USD 15 millones	
		Fuentes: [35], [36]	
Centro Comercial Viva Guajira		Características	
		Ubicación	Riohacha, Guajira
		Cantidad de Módulos	96
		Capacidad de Instalada	400 kWp
		Impacto	Suple el 30% del consumo del almacén.
		Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	206.6
		Empresa	GreenYellow
		Área (m ²)	5000
		Entrada en operación	Año 2015
		Este proyecto es uno de los más ambiciosos en cuanto a techos, ya se construye la segunda etapa para llegar a	

	800 kWp de capacidad instalada.
	Fuentes:[37], [38]

Ilustración 85 Proyectos de Techos Solares Relevantes en el País. Elaboración Propia

Mall Plaza El Castillo – Centro Comercial		
	Características	
	Ubicación	Cartagena, Bolívar
	Cantidad de Paneles	3.150
	Capacidad de Instalada	850,5 kWp
	Capacidad de Generación Año	1'305.900 kWh/ año
	Impacto	Suple el 13 % del consumo del Centro Comercial
	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	479,3
	Área Utilizada (m ²)	5.155
	Empresa Inversionista	Mall Plaza El Castillo - Celsia
	Entrada en operación	Noviembre de 2018
Techo Solar más grande en establecimiento comercial a nivel nacional.		
Fuentes: [39] , [40]		
Universidad Autónoma de Occidente		
	Características	
	Ubicación	Cali, Valle del Cauca
	Cantidad de Módulos	1.546
	Capacidad de Instalada	402 kWp
	Capacidad de Generación Año	408.000 kWh/Año
	Impacto	Suple el 15% del

An aerial photograph of a large, modern building complex with multiple interconnected structures. The roofs are covered with extensive solar panel arrays. The building is surrounded by lush green landscaping, including trees and lawns. A paved road and a parking lot are visible in the foreground. The overall scene depicts a sustainable architectural project.

	consumo de la fabrica
Inversión USD (Año2017)	
Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	221,8
Área Utilizada (m ²)	
Empresa	UAO - CELSIA
Entrada en operación	Junio de 2017
Se desarrollo en dos fases, en 2015 y 2017, sirve además para investigación y desarrollo académico.	
Fuentes: [41], [42]	

Ilustración 86 Proyectos de Techos Solares Relevantes en el País. Elaboración Propia

Proyectos de este tipo se vienen desarrollando gran parte del país por nombrar algunos de manera general se tienen:

Proyecto	Capacidad (kWp)
Alkosto Cali	118
Éxito Barranquilla	500
Bosi Medellín	92
Incolmos, Girardota Antioquia	35
Centro Comercial El Tesoro	500
Parque la reserva Mall	30,72

Ilustración 87 Proyectos Solares en Techos. Elaboración Propia. Fuente [43]

5. PANORAMA REGIÓN CENTRAL

Desde el periodo de 2016 hasta lo corrido de 2019 en la Región Central se han registrado 207 proyectos de energía solar FV, que representan un 26% del total nacional registrados ante la UPME. En cuanto a capacidad registrada en la Región Central suma un total de 1,9 GW aproximadamente y representa el 14% de la total a nivel nacional que alcanza 12,5 GW.

Peso de la Región Central RAP-E en Cantidad de Proyectos Registrados a nivel Nacional.	Peso de la Región Central RAP-E en Capacidad de Generación de Proyectos Registrados a nivel Nacional.
---	--

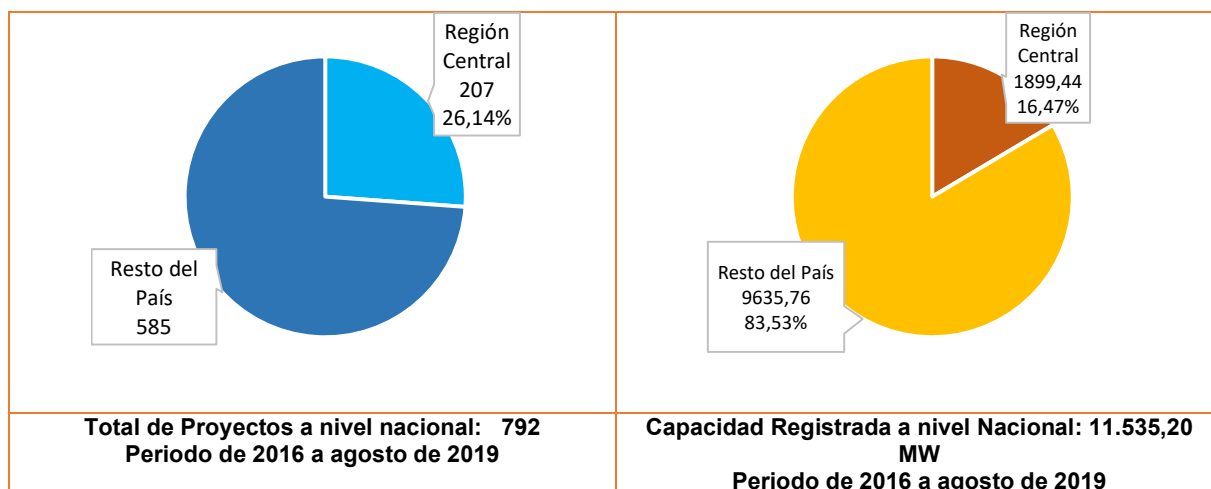


Ilustración 88 Indicadores de la RAP-E a Nivel Nacional. Elaboración Propia. Fuente [16]

5.1. Registro de Proyectos FV en la Región Central RAP-E

Desde el periodo de 2016 hasta lo corrido de 2019 en la Región Central se han registrado 207 proyectos de energía solar FV, que representan un 26% del total nacional registrados ante la UPME. De este porcentaje el 44% corresponde al año 2018 con 91 proyectos, luego se encuentra el 2017 con 29% equivalente a 60 proyectos. Para 2019 (faltando un trimestre para que termine el año) se concentra un 17% con 35 proyectos superando al año 2016 que alcanzó a un 10% de con 21 proyectos.

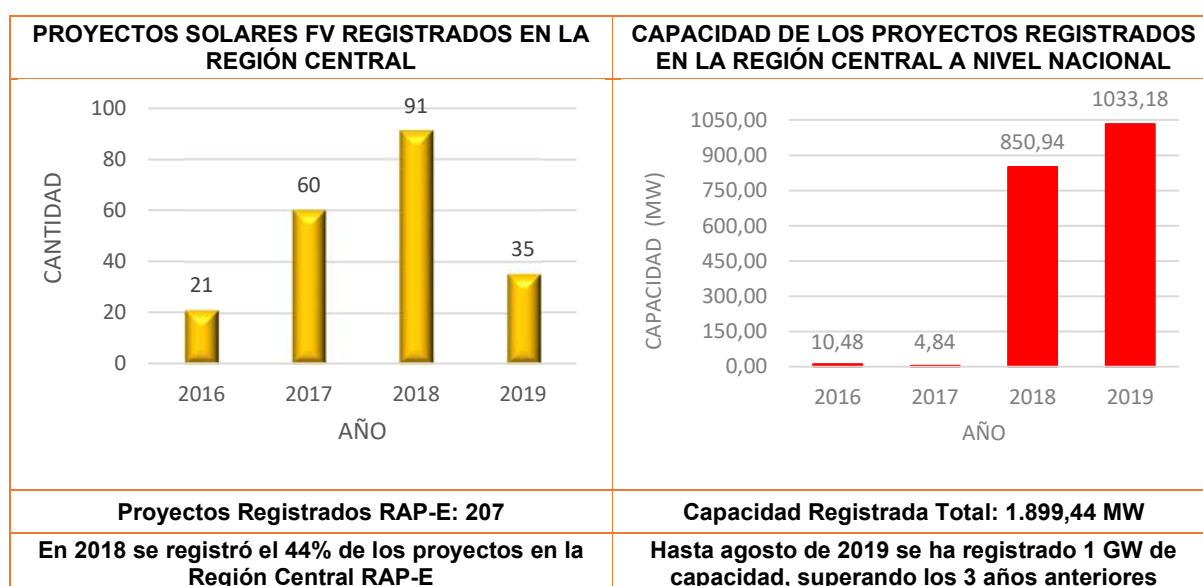


Ilustración 89 Cantidad de Proyectos Registro de proyectos en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [16]

Al revisar la capacidad registrada de estos proyectos por año, el 2019 que aún no termina concentra un 54% correspondiente a 1.033,18 MW. Luego se encuentra el año 2018 con 45% de la capacidad que alcanza los 850 MW y los años 2016 y 2017 suman el 1% de la capacidad total de los proyectos registrados para la Región Central RAP-E.

Como se puede ver en la *Ilustración 89* aunque para el año 2019 la cantidad de proyectos es menor en comparación con 2018 y 2017, la capacidad de generación es muy superior, esto se debe a algunas iniciativas de una escala mayor en cuanto a su capacidad de generación.

5.1.1 Proyectos Registrados por Departamento

De los 207 proyectos registrados en la Región Central RAP-E el 57% se concentran en el departamento de Cundinamarca y Bogotá DC con 59 y 58 proyectos respectivamente. Enseguida se encuentra el Tolima y Meta con 46 y 25 proyectos que representan el 22% y 12% y por último se encuentra el Tolima con 19 proyectos equivalente al 9%.

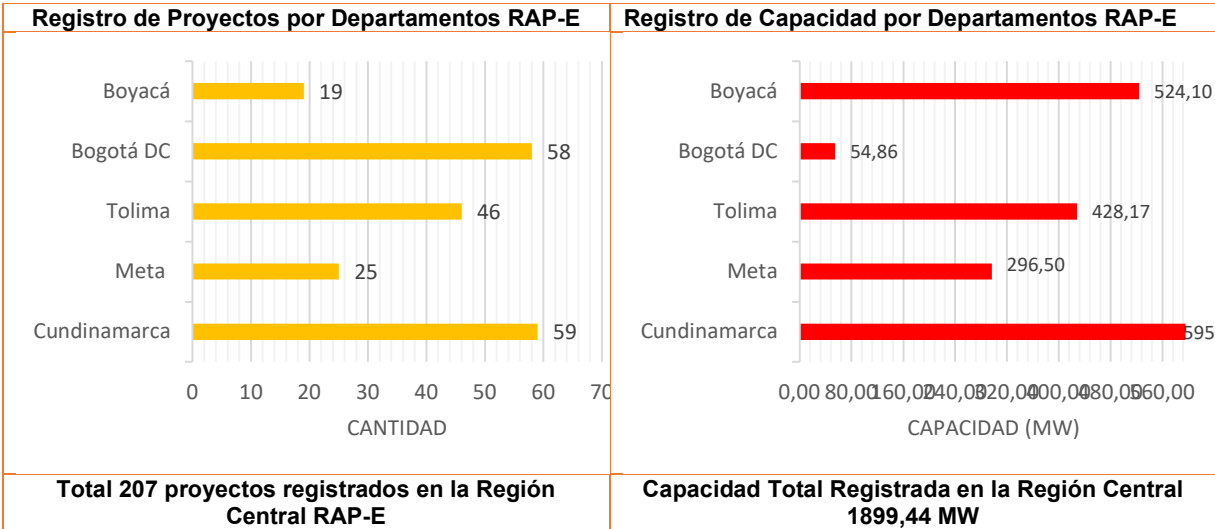


Ilustración 90 Proyectos Registrados en la Región Central por Departamento. Elaboración Propia. Fuente [16]

La distribución de la capacidad registrada es encabezada por Cundinamarca con 596 MW que equivalen al 31% de la total registrada, enseguida esta Boyacá con 524 MW equivalen al 28%, aunque es el departamento que menos cantidad de proyectos registrados tiene se vienen gestionando varios de una capacidad considerable al noroccidente del departamento. Tolima se ubica en un tercer lugar con 428 MW equivalentes al 23%, En el Meta hay registrados 296 MW equivalentes al 16% y por último se encuentra la capital del país con 55 MW y representa apenas 3% (*ver Ilustración 90*), esto se debe a que la mayoría de los proyectos que se gestionan son en techos, donde el área para su desarrollo es limitada.

5.1.2 Vigencia de Proyectos por Año

Tal como se mostró a nivel nacional muchos de los proyectos no se ejecutan y se quedan en el proceso de reunir los requisitos para iniciar su ejecución, en la Región Central RAP-E de los 207 proyectos registrados siguen vigentes 116 es decir el 56% de la cantidad inicial. Donde las 21 iniciativas registradas en el año 2016 ninguna sigue vigente, del año 2017 solo tiene vigencia 14 de las 60 inscritas, solo el 23% sigue en camino de implementarse. Para los inscritos en el año 2018 sigue vigente el 73% que corresponde a 67 proyectos de las 91 iniciales. Hasta el momento de los 35 inscritos en el año 2019 todos están vigentes, sería interesante realizar este mismo análisis en años posteriores para determinar cuántos de los proyectos registrados en 2019 pierden su vigencia y cuáles son las razones más frecuentes con el fin de fortalecer el sistema y que aumente los indicadores de proyectos terminados.

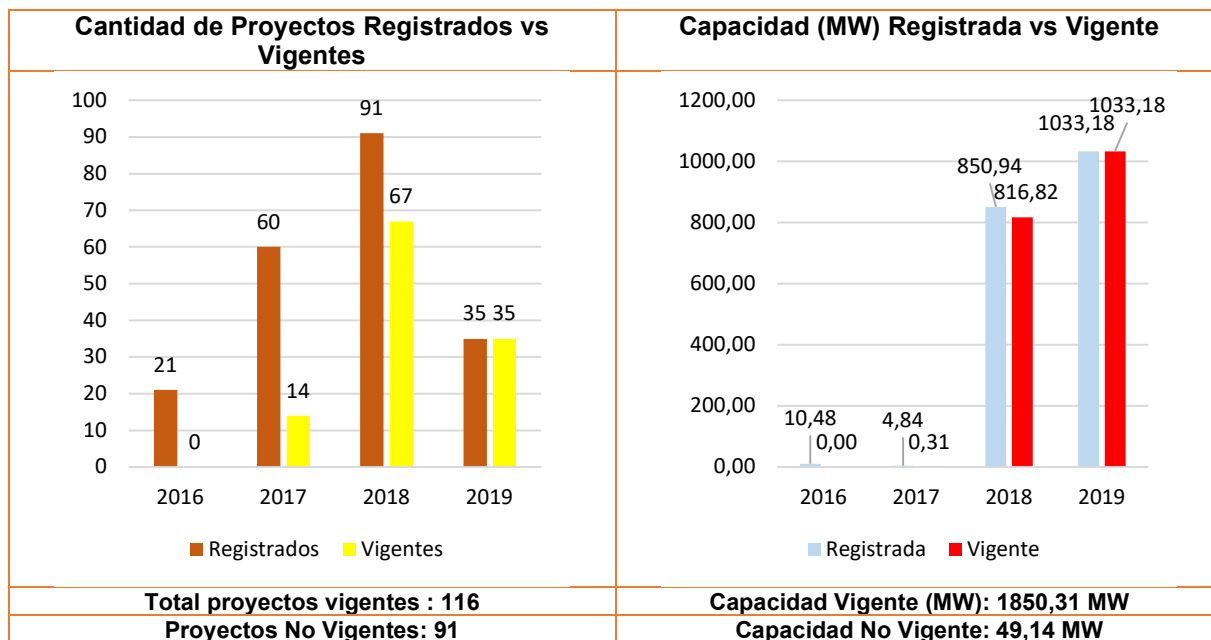


Ilustración 91 Proyectos Registrados vs Proyectos Vigentes en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [16]

En cuanto la capacidad de generación no se ha visto muy afectada por la pérdida de vigencia del 44% de los proyectos en la Región Central, como se puede ver en la *Ilustración 91* los años en los que más proyectos han perdido su vigencia son los que menos capacidad de generación aspiraban a instalar. Así para 2018 y lo corrido de 2019 se mantiene vigente casi toda la cantidad de iniciativas que a su vez acumulan la mayor capacidad de generación con sistemas fotovoltaicos. De los 1899,44 MW registrados ya no están vigentes 49 MW, es decir que el 97% de la capacidad sigue en camino de ejecutarse. Esto quiere decir que los 91 proyectos que ya no siguen aspiraban a una capacidad de generación baja, sin embargo, sería bueno realizar un seguimiento al comportamiento de esta pérdida de vigencia pues en muchos de los países que tienen varios GW de capacidad instalada con sistemas fotovoltaicos una parte importante la aportan los pequeños sistemas incluyendo los ubicados en techos que son de un orden de generación muy bajo.

5.1.3 Vigencia por de proyectos por Departamento de la Región Central RAP-E

A nivel de departamento donde más proyectos perdieron su vigencia fue en Bogotá D.C. con 33 proyectos, cerca del 57% del total registrados para la capital, enseguida esta Cundinamarca con pérdida de vigencia de 32 proyectos equivalentes al 54% de sus iniciativas, en Tolima 19 proyectos 41%, en Meta y Boyacá 3 en cada departamento equivalentes al 12% y 16% respectivamente.

Cantidad de Proyectos Registrados vs Vigentes	Capacidad (MW) Registrada vs Vigente
---	--------------------------------------

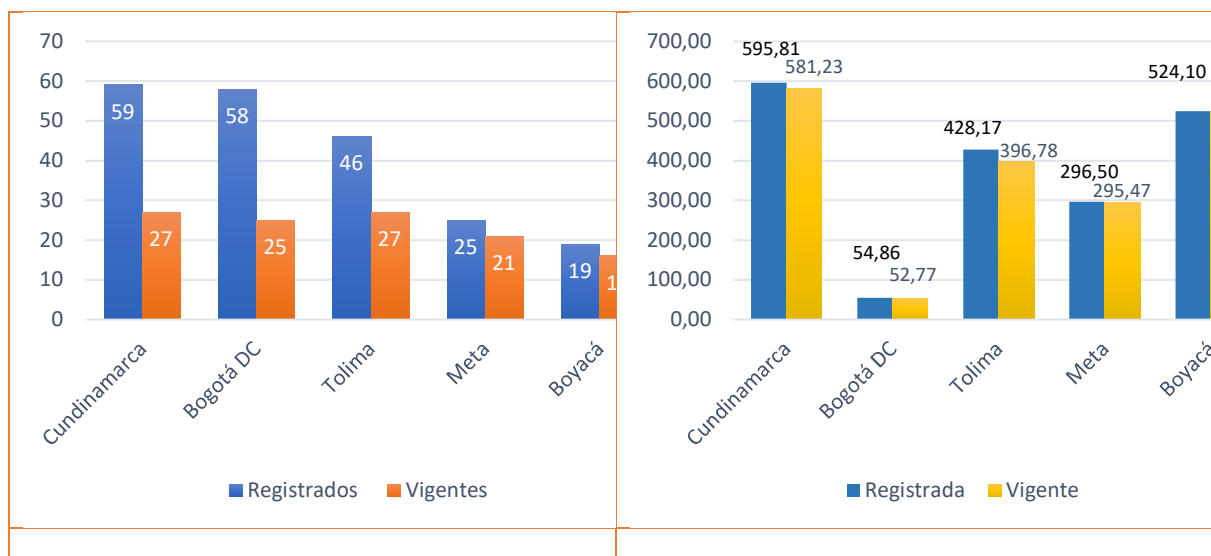


Ilustración 92 Vigencia de Proyectos por Departamento. Elaboración Propia. Fuente [16]

En cuanto a pérdida en capacidad de generación por proyectos no vigentes el departamento que se ve más afectado es el Tolima con 7% menos, equivalente a 31 MW, luego esta Cundinamarca con 14,58 MW menos que les restan un 2% de la capacidad registrada. La capital, aunque pierde 33 proyectos en capacidad le resta 2 MW equivalentes al 4% de lo registrado en sus 58 iniciativas iniciales, el comportamiento en la capital se puede explicar sabiendo que la mayoría de proyectos se pretenden realizar en el área urbana donde el espacio es limitado por las áreas techadas y otras variables que hay que considerar al momento de evaluar una iniciativa FV.

5.1.4 Fase de los Proyectos Vigentes

El evaluar las fases de los proyectos permite conocer el estado de avance en cuanto al cumplimiento de los requerimientos para iniciar la ejecución del proyecto. A continuación, se puede ver el comportamiento de los proyectos vigentes en la Región Central por fases.

Cantidad de Proyectos por Fase	Capacidad por Fase (MW)
--------------------------------	-------------------------

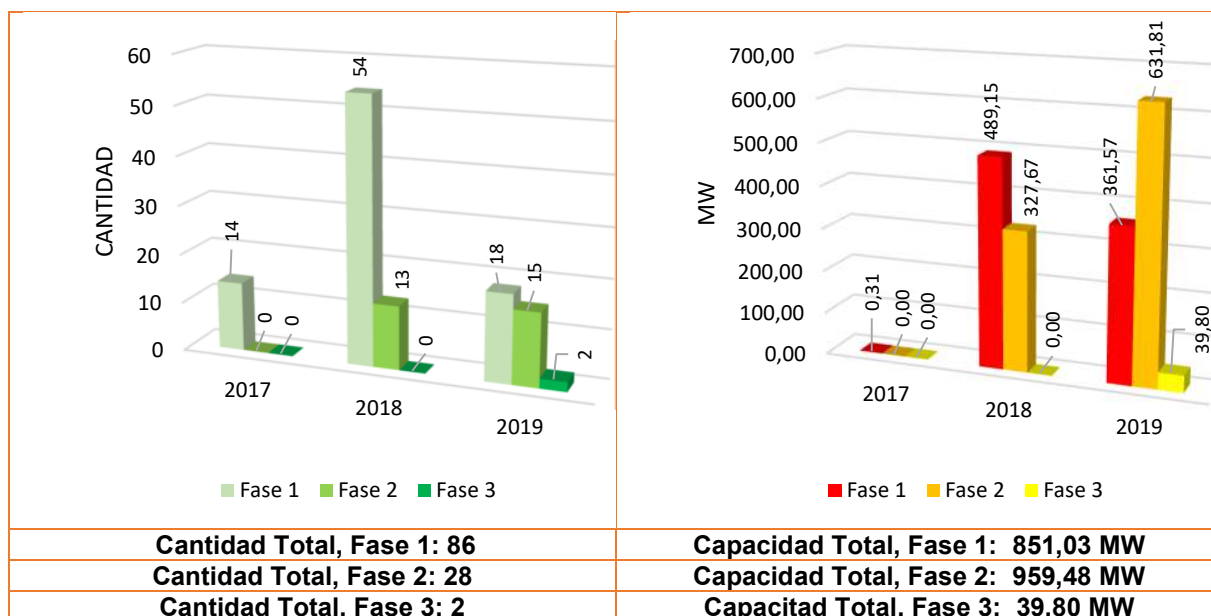


Ilustración 93 Proyectos Vigentes por Fases. Elaboración Propia. Fuente [16]

El 74% de los proyectos vigentes en la Región Central RAP-E se encuentra en Fase 1, la mayor parte registrados en el año 2018 con 54 proyectos, seguido de 2019 con 18 proyectos y 2017 con 14 proyectos. En Fase 2 se encuentra el 24% de los proyectos vigentes, 13 se registraron en el año 2018 y 15 en 2019. En fase 3 hay 2 proyectos que equivalen a un 2% del total de los proyectos vigentes.

En cuanto a capacidad la mayor parte se encuentra en fase 2 con 52% equivalente a 959 MW, la mayor parte registrada en el año 2019 con 632 MW y 327 MW en 2018. En fase 1 se concentra el 46% de la capacidad con 851 MW, registrados 489 MW en 2018, 362 MW en 2019 y 0,31 MW en 2017. En fase 3 apenas se encuentran 39 MW que representa el 2% de la capacidad total registrada vigente en la Región Central RAP-E.

5.1.5 Entrada en Operación

Los 116 proyectos vigentes en la Región Central RAP-E al momento de registrarse en la UPME también inscriben una fecha estimada para su entrada en operación, de acuerdo a este dato se tiene que en el año en curso (2019) iniciarían su funcionamiento la mayor cantidad, 39 en total equivalentes al 37% de los proyectos, seguido del año 2018 con 33 proyectos equivalentes al 28%, en 2020 30 proyectos iguales al 26%, para 2021 ya se espera entren en operación 6 iniciativas iguales al 5% de los proyectos, para 2022 entrarían hasta el momento 3 proyectos equivalentes al 3%. Para los años 2020, 2021 y 2022 estos datos seguramente cambiarían pues queda tiempo para la inscripción de más proyectos y se esperaría que procesos de permisos y otros requerimientos cada vez sean más claros y ágiles.

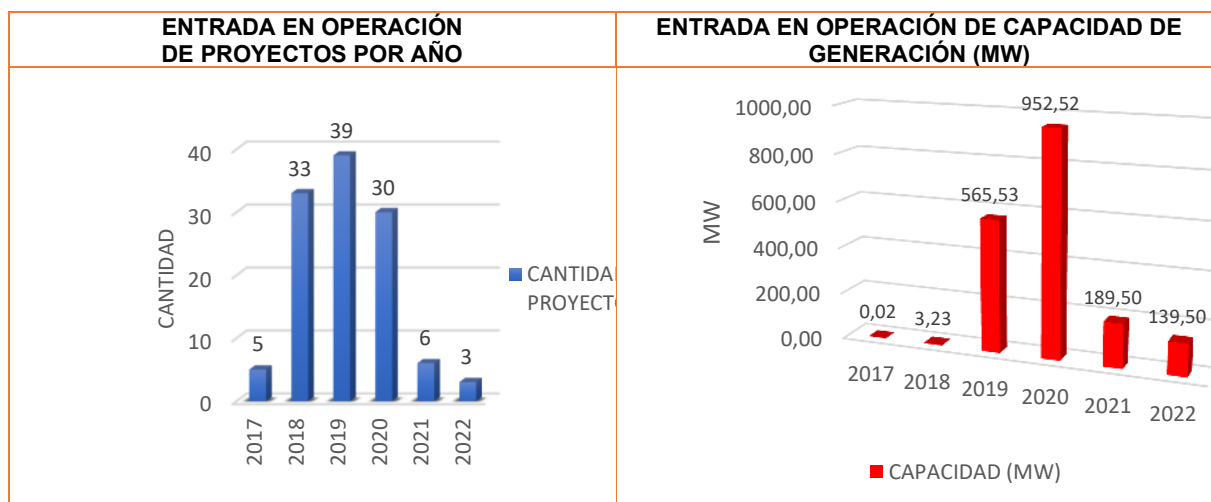


Ilustración 94 Entrada en Operación de proyectos Vigentes en la Región Central RAP-E. Elaboración Propia. Fuente [16]

En cuanto a la capacidad que entraría en operación es encabezada por el año 2020 con 952 MW equivalentes al 51% de la que suman los 116 proyectos vigentes, hay que tener en cuenta que esta cifra cambiara ya sea por la pérdida de vigencia y por la inscripción de muchas otras iniciativas, aun así, es un buen indicador ya que con menor cantidad de proyectos en comparación con otros años acumula más capacidad de generación. Para 2019 se espera entren en operación 566 MW equivalentes 36% del total de la capacidad. Para el año 2018 apenas 3 MW entrarían en operación, 0,17%, aun teniendo más cantidad de proyectos que al año 2020, 2021, 2022 que superan por gran margen esta cifra de generación.

5.2. Capacidad de Generación, Proyectos Mayores a 50 MW

En la Región Central RAP-E hay registrados 1.119 MW que corresponden al 36.68% de la capacidad nacional registrada para proyectos FV mayores a 50 MW, de este porcentaje el 25,30% es para proyectos entre 50 y 99 MW y el 11,38% restante para proyectos con capacidad superior a 100 MW.

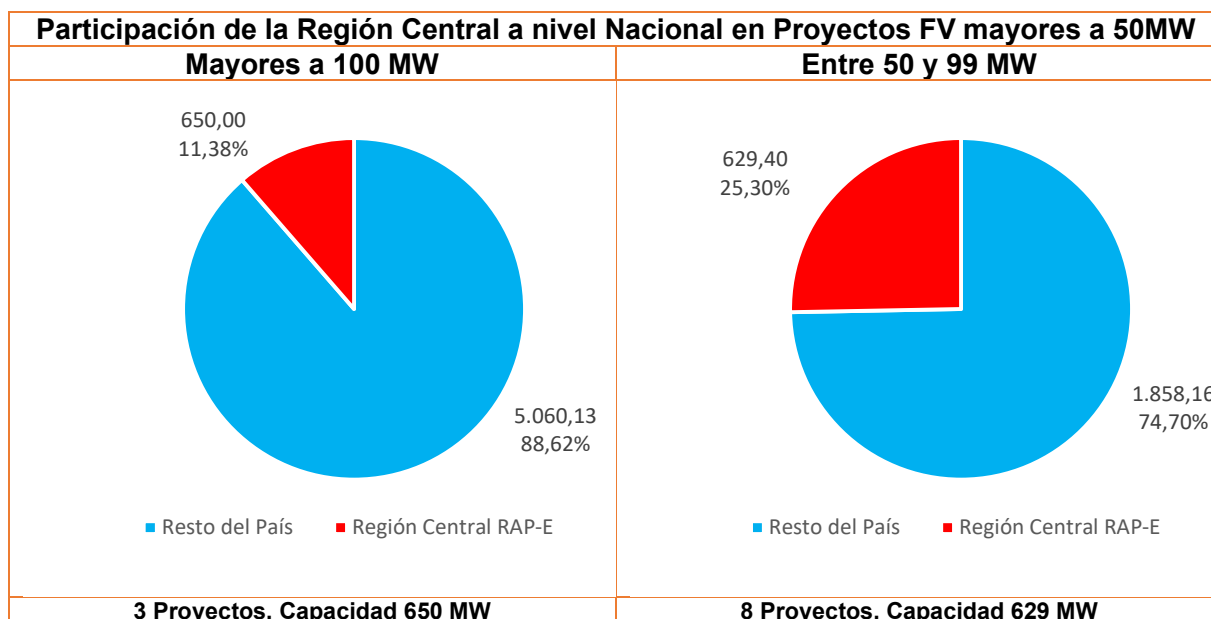


Ilustración 95 Participación de la Región Central RAP-E en proyectos superior a 50 MW. Elaboración Propia. Fuente [16]

5.2.1 Capacidad Mayor a 100 MW

En el país al mes de agosto de 2019 se tenía registro de 32 proyectos con capacidad superior 100 MW, de los cuales 3 se ubican en la Región Central RAP-E, en Cundinamarca 2 proyectos, el primero en el municipio de Beltrán llamado Proyecto Ambalema con una capacidad de 250 MW, entrara en operación a mediados del año 2021, el segundo proyecto en el municipio de Soacha llamado Parque Fotovoltaico Canoas, registra una capacidad de 200 MW se tiene proyectado entre en operación a finales de 2020. con el nombre y 1 en Boyacá, suman un total de 650 MW.

5.2.2 Capacidad Mayor o Igual a 50 MW y Menor a 100 MW

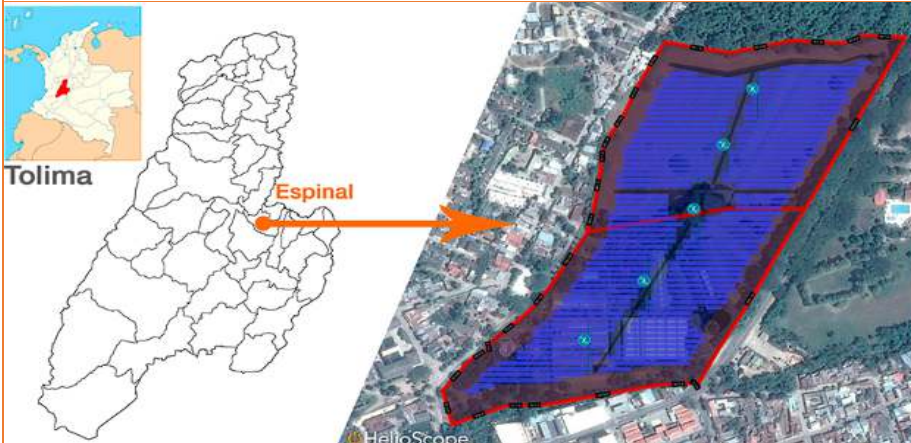
Con este rango de capacidad existen 8 proyectos registrados en la Región Central RAP-E, todos suman un total de 629,40 MW, el 41% de esta capacidad se concentra en el departamento de Boyacá con tres proyectos que suman 260 MW, el más relevante en el municipio de Puerto Boyacá llamado Parque Fotovoltaico Guayacanes con 99 MW, los otros dos proyectos se localizan en municipio de Sotaquirá con 88 y 72 MW. El 38% de la capacidad se localiza en el departamento del Tolima con 3 proyectos, el más destacado en el municipio de Armero llamado Parque Solar Fotovoltaico Tolima Norte con 99.9 MW, los otros 2 proyectos con 90 MW y 50 MW ubicados en los municipios de Armero y Prado. Luego se encuentra el departamento del Meta con 13% de la capacidad en un proyecto llamado Bosques Solares de Los Llanos 6 con 77 MW ubicado en el municipio de Villavicencio, el cual según información de la UPME entrara en operación a inicios del año 2022 [16]. Y por último el departamento Cundinamarca con 8% en un proyecto de 50MW localizado en el municipio de Girardot llamado Pubenza PSR 2, entrara en operación a finales del año 2020 [16].

7.3 Proyectos Relevantes en Funcionamiento la Región Central RAP-E

7.3.1 Granjas Solares

PARQUE SOLAR CASTILLA			
		Dentro de la Región Central RAP-E este es el parque o granja solar en funcionamiento de más capacidad instalada. Paralelamente al desarrollo del proyecto se instalaron sistemas fotovoltaicos en 4 instituciones educativas de la zona. Se ejecutará otro sistema en el mismo municipio con capacidad instalada de 50 MW y 150 mil paneles.	
CARACTERISTICAS			
Departamento	Meta	Empresas	ECOPETROL - AES
Municipio	Castilla La Nueva	- CO ₂ Evitadas (Ton/Año)	5.400
Cantidad Paneles	54.500	Área Utilizada (Ha)	18
Capacidad Instalada	21 MWp	Entrada en Operación	Octubre de 2018
Capacidad Generación Año	405 GW/Año	Impacto	20% de la energía consumida por el campo petrolero.
Inversión 2019 (USD)	20 millones	Fuentes	[44], [45]

Ilustración 96 Parque Solar Castilla Ecopetrol. Elaboración Propia

CELSIA SOLAR ESPINAL			
		Proyecto de gran escala ejecutado en suelo urbano, predio donde antes funcionaba Coltabaco, desde 1995 se encontraba en desuso. Para mitigar el impacto ambiental sembraran 4.000 árboles, más de 7 veces la cantidad afectada. El fin principal es generación para suplir servicio público de energía.	
CARACTERISTICAS			
Departamento	Tolima	Empresas	Celsia

Municipio	Espinal	- CO ₂ Evitadas (Ton/Año)	6539
Cantidad Paneles	35.000	Área Utilizada (Ha)	17
Capacidad Instalada	9,4 MW	Entrada en Operación	En Construcción Inicio de operación Finales de 2020
Capacidad Generación Año	Sin Inf.	Impacto	Consumo de 6.000 viviendas
Inversión	Sin Inf.	Fuentes	[46], [47]

Ilustración 97 Proyecto Solar Celsia Solar Espinal. Elaboración Propia

Los proyectos descritos anteriormente son los dos principales en cuanto a parques solares en la Región Central RAP-E, se vienen gestionando otros proyectos de gran escala en la región el ubicado en el municipio e Puerto Boyacá, Boyacá llamado Parque solar Guayacanes que tendrá una capacidad instalada de 200 MW, ya se había gestionado una primera etapa de 99 MW, en total se requiere de un área de 463 Ha aproximadamente [48]. Otro proyecto de gran importancia en la región Central es el que se lleva a cabo en el municipio de Castilla la Nueva Meta, donde se instalara un sistema de 50 MW de capacidad para ECOPETROL donde se requerirá de 150.000 paneles solares [44].

7.3.2 Techos Solares

Proyectos de este tipo se vienen desarrollando una buena cantidad en las ciudades de la región Central, por ejemplo, en Ibagué, Tolima, la empresa Celsia del grupo Argos, tiene asegurados tres proyectos adicionales a de la clínica Clinaltec en los supermercados Mercacentro y uno más en el centro de recreación Hawái [49]. En la capital del país se encuentran en funcionamiento varios proyectos en techos solares en almacenes de grandes superficies como el de Alkosto con 1.053 paneles y una capacidad instalada de 253 kWp, el centro comercial Plaza de Las Américas con 1.054 paneles para una capacidad instalada de 343 kWp y muchos otros dentro de los cuales se destacan:

PROYECTO SOLAR OPAIN – AEROPUERTO EL DORADO	
	Es la terminal aérea con la instalación fotovoltaica más grande de América Latina, cabe recordar que son 8 los aeropuertos que cuentan con estos sistemas en el sur del continente. Genera la energía anualmente equivalente a la consumida por 1.500 hogares. Evita emisiones de CO ₂ equivalentes al oxígeno emitido por 76.000 árboles maduros.
CARACTERISTICAS	

Departamento	Bogotá D.C	Empresas	Celsia, Odinsa, El Dorado
Ciudad	Bogotá D.C	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	1.375
Cantidad Paneles	10.369	Área Utilizada (m ²)	27.000
Capacidad Instalada	2.800 kWp	Entrada en Operación	Mayo de 2019
Capacidad Generación Año	3'800.000 kWh/Año	Impacto	Genera 12% del consumo de la terminal
Inversión 2018 (USD)	4 millones	Fuentes	[50], [51]

Ilustración 98 Proyecto Solar Aeropuerto El Dorado. Elaboración Propia

PLANTA DE COMESTIBLES ITALO - SISTEMA FOTOVOLTAICO			
			La generación anual equivale a la energía consumida por 3.300 hogares. Las emisiones evitadas equivalen a 830.000 árboles plantados para absorber el CO₂. Anualmente se ahorra 150 millones de pesos que se pagaban en consumo de energía de red.
CARACTERISTICAS			
Departamento	Bogotá D.C	Empresas	Comestibles Italo SA, Codensa
Ciudad	Bogotá D.C	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	5000
Cantidad Paneles	1.080	Área Utilizada (m ²)	2.500
Capacidad Instalada	351 kWp	Entrada en Operación	Abril de 2018
Capacidad Generación Año	490 MWh/Año	Impacto	13 % del consumo de la Planta
Inversión 2018 (Pesos)	1.400 millones	Fuentes	[52], [53]

Ilustración 99 Proyecto Solar FV Comestibles Ítalo. Elaboración Propia

TECHO SOLAR CENTRO COMERCIAL VIVA TUNJA			
			Almacenes Éxito S.A.S viene adoptando sistemas FV en gran parte de sus almacenes a nivel nacional, este proyecto equivale a 1.019 árboles sembrados para absorber el CO₂ y la generación anual equivale a la que consumen 316 familias en un año.
CARACTERISTICAS			
Departamento	Boyacá	Empresas	GreenYellow – Almacenes Éxito S.A.S
Ciudad	Tunja	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	214,05
Cantidad Paneles	1.512	Área Utilizada (m ²)	Sin Inf.
Capacidad Instalada	415,8 kWp	Entrada en Operación	Octubre de 2018
Capacidad Generación Año	583,26 MWh/Año	Impacto	Suple el 30% de la demanda energética de las áreas comunes.
Inversión 2018 (Pesos)	1.000	Fuentes	[54], [55]

Ilustración 100 Proyecto Solar Centro Comercial Viva Tunja. Elaboración Propia

TERMINAL DE TRANSPORTE TERRESTRE DE VILLAVICENCIO			
			En la investigación realizada no se encontraron proyectos de techos solares con mayor capacidad en funcionamiento en el departamento del Meta. Sin embargo, aunque su capacidad parezca menor cumple con suplir el 30% de la demanda energética de la terminal.
CARACTERISTICAS			
Departamento	Meta	Empresas	Terminal de Transportes
Ciudad	Villavicencio	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	16
Cantidad Paneles	57	Área Utilizada (m ²)	Sin Inf.

Capacidad Instalada	1,5 kWp	Entrada en Operación	Junio 2016
Capacidad Generación Año	Sin Inf.	Impacto	Suple 30% Consumo
Inversión 2016 (Pesos)	120 millones	Fuentes	[56]

Ilustración 101 Proyecto Solar Terminal de Transporte Villavicencio. Elaboración Propia

CLINICA INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA - CLINALTEC



Esta Clínica ofrece servicios especializados en Oncología Clínica y Radioterapia, es de los primeros proyectos en techos solares implementado en el departamento.

CARACTERISTICAS

Departamento	Tolima	Empresas	Clinaltec - Celsia
Ciudad	Ibagué	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	56
Cantidad Paneles	380	Área Utilizada (m ²)	Sin Inf.
Capacidad Instalada	Sin Inf.	Entrada en Operación	Septiembre 2019
Capacidad Generación Año	150 MWh/Año	Impacto	20% del consumo de la Clínica.
Inversión 2016 (Pesos)	Sin Inf.	Fuentes	[49]

Ilustración 102 Proyecto Solar Clinaltec Tolima. Elaboración Propia

EMPRESA DE LICORES DE CUNDINAMARCA	
	Aunque en el departamento se encuentran varios proyectos, este es relevante al ser la primera empresa del estado en realizar una inversión significativa en energías limpias.

CARACTERISTICAS			
Departamento	Cundinamarca	Empresas	ELC - Codensa
Municipio	Cota	Emisiones CO ₂ Evitadas (Toneladas/Año)	1.800
Cantidad Paneles	431	Área Utilizada (m ²)	1.121
Capacidad Instalada	140 kWp	Entrada en Operación	Junio 2018
Capacidad Generación Año	179 MWh/Año	Impacto	Genera
Inversión 2018 (Pesos)	477 millones	Fuentes	[57], [58]

Ilustración 103 Proyecto Solar Empresa de Licores de Cundinamarca. Elaboración Propia

7.4 Proyectos Solares como Solución Energética

7.4.1 Proyectos FANZI

En IPSE a febrero de 2018 se encontraban registrados 31 iniciativas con sistemas solares fotovoltaicos en la Región Central RAP-E como solución para la prestación del servicio de energía eléctrica, estos datos específicamente son de inactivas que buscan financiación del fondo FAZNI [59]. Es una herramienta administrada por el MME que busca financiar los proyectos y programas que inviertan en infraestructura energética en las ZNI [60], la vigencia del fondo se extendió hasta el año 2021 [61].

De los 31 proyectos fotovoltaicos registrados para la Región Central RAP-E el 83% se ubican en el departamento del Meta distribuidos en los municipios de La Macarena, Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Gaitán, Uribe y otros en los que se estima se beneficiaran más de 4000 usuarios. En Boyacá hay 3 iniciativas registradas 2 ubicadas en el municipio de Labranzagrande y uno en Otanche donde se verán beneficiados cerca de 270 usuarios por su parte en Tolima se registran 2 proyectos con 2000 usuarios beneficiados aproximadamente [59]. Una falencia que identifica IPSE en este tipo de proyectos es que muchos después de ser implementados no tienen un cronograma de seguimiento que permita evaluar el funcionamiento de estos [60].

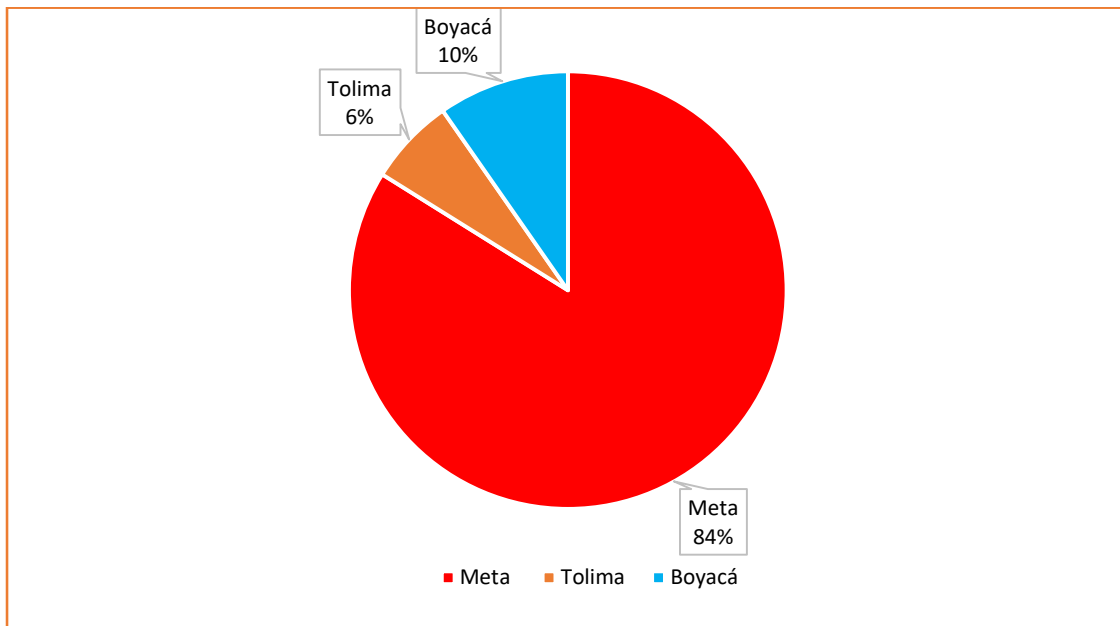


Ilustración 104 Proyectos financiados FANZI. Elaboración Propia. Fuente [59]

7.4.2 PERS en la Región Central RAP-E

Los Programas de Energización Rural Sostenible tienen como objetivo estructurar lineamientos y estrategias para el desarrollo energético rural con fuentes sostenibles para un periodo mínimo de 15 años, en estos además se tiene en cuenta variables como emprendimiento, productividad para apoyar el crecimiento y el desarrollo de las comunidades rurales [62].

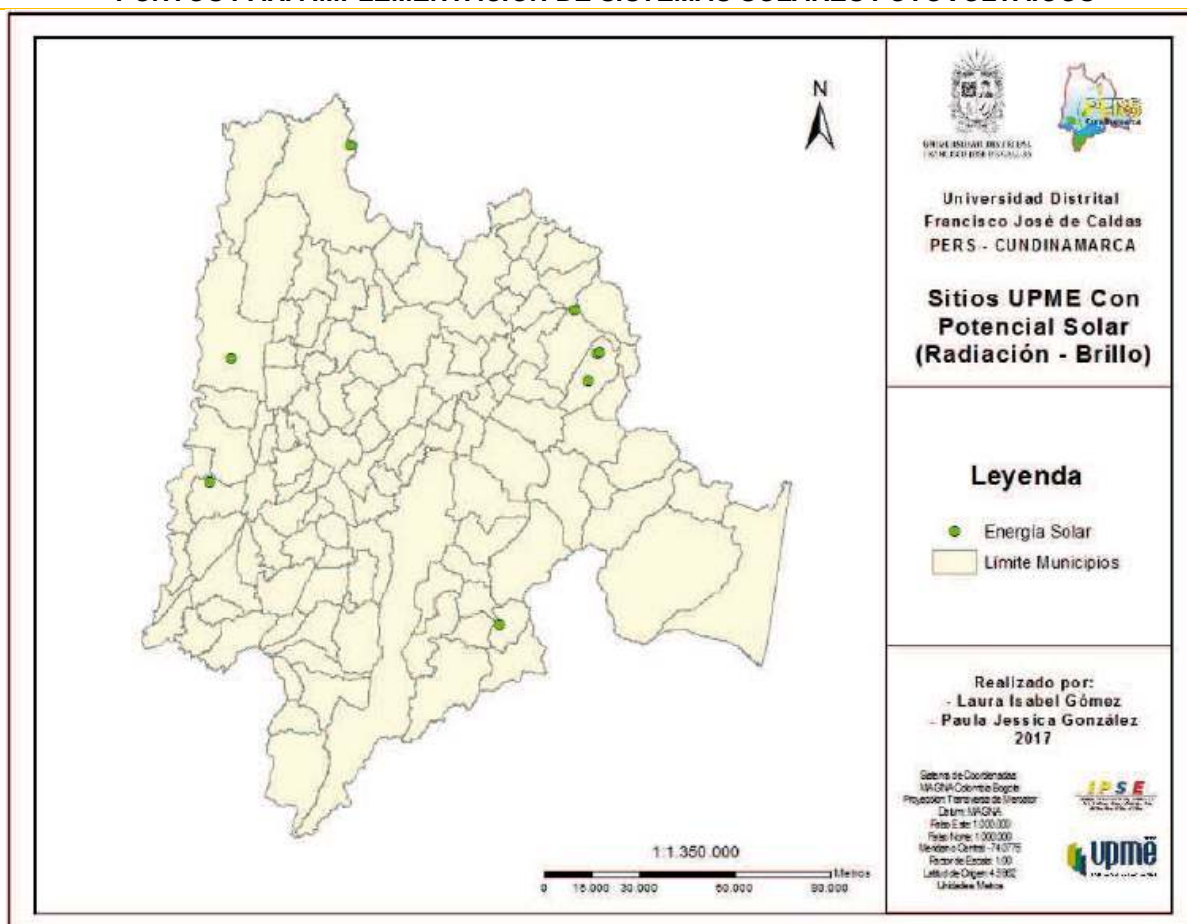
El Región Central RAP-E se ha ejecutado un PERS en el departamento de Cundinamarca y otro se encuentra formulado para Tolima.

a) PERS Cundinamarca

Para este PERS se identificaron los potenciales con FNCER en el departamento, en el caso específico del potencial solar utilizaron las capas geográficas del Atlas de Radiación Solar del Año 2005. El área de incidencia del nivel de radiación solar se muestra a escala de provincia, ofreciendo un análisis cualitativo de la distribución del recurso. Al final este queda dispuesto en un visor geográfico donde se puede realizar análisis espacial de los diferentes potenciales con FNCER para que sirva de insumo al gobierno municipal y departamental en la toma de decisiones en la implementación de soluciones energéticas [63] [64].

Sin embargo, el resultado más importante consiste en la determinación de la mejor FNCER a implementar en las zonas o lugares sin servicio de energía eléctrica donde por medio de geoprocetamiento de bases de datos logran llegar a ella. Para el caso de sistemas fotovoltaicos se tiene en cuenta las variables de radiación solar, brillo solar, demanda de energía y se muestran a continuación:

PUNTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS



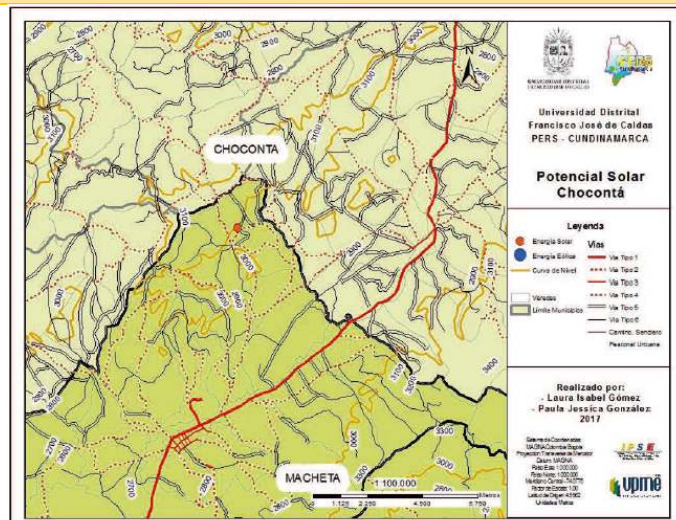
	IdSitios numeric	NombreSitio character varying(254)	NombreMun character varying(254)	EncuTotal numeric	RadBrillo numeric	Demanda numeric(10,0)
1	25594081.0000	PUENTE QUETAME	QUETAME	2.0000000000000000	16.0000000000000000	6
2	25580076.0000	PARAMON	PULI	3.0000000000000000	24.0000000000000000	13
3	25426055.0000	SAN ISIDRO BAJO	MACHETA	12.0000000000000000	25.0000000000000000	7
4	25426054.0000	RESGUARDO ALTO	MACHETA	3.0000000000000000	25.0000000000000000	6
5	25426115.0000	SAN BERNABE	MACHETA	2.0000000000000000	25.0000000000000000	9
6	25183021.0000	GUANGUITA	CHOCONTA	12.0000000000000000	25.0000000000000000	14
7	25320113.0000	SANTA ROSA	GUADUAS	4.0000000000000000	24.0000000000000000	17
8	25885107.0000	VARA DE CAUCHO	YACOPI	21.0000000000000000	20.0000000000000000	0

Ilustración 105 Puntos de implementación de energía solar teniendo en cuenta la demanda de energía, el brillo solar y la radiación solar.

A partir de la información de las encuestas realizadas en campo y los datos suministrados por la UPME sobre el potencial Solar y sitios UPME (son lugares que carecen de servicio

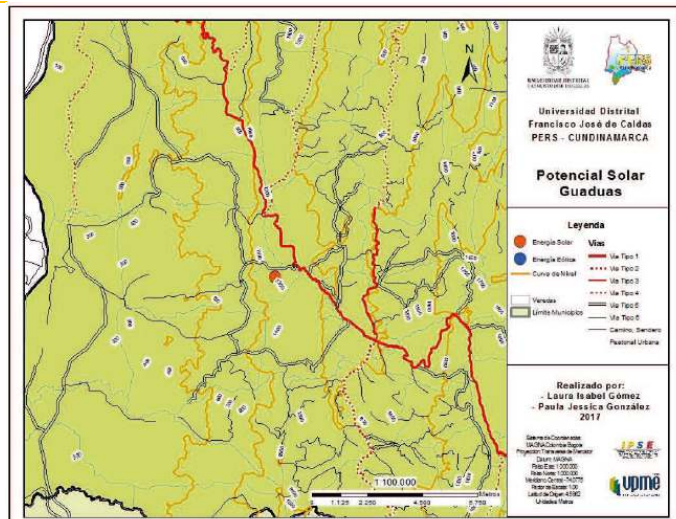
público de energía eléctrica, son agrupaciones de viviendas rurales o urbanas) realizan el geoprocesamiento de los datos con los criterios de Mayor Radiación Solar, Mayor Cantidad de Horas con Brillo Solar y demanda de energía (esta debería ser cubierta completamente por el potencial solar al momento de implementarse en un sistema), de este análisis se obtuvieron 8 puntos que cumplían con las condiciones para ejecutar proyectos Fotovoltaicos como solución energética.

PUNTOS FACTIBLES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



Punto Prefactibilidad 1. Vereda Guanguita, Municipio Machetá

A una altura de 3000 msnm, la radiación solar en un día es de 25kWh/día la cual cubre las necesidades energéticas de la población.



Punto Prefactibilidad 2. Vereda Santa Rosa, Municipio Guaduas

A una altura de 1300 msnm, el potencial solar en un día es de 24 kWh/día y cubre las necesidades energéticas de la población.



Ilustración 106 Puntos óptimos para la implementación de Sistemas Fotovoltaicos. Elaboración Propia. Fuente [64]



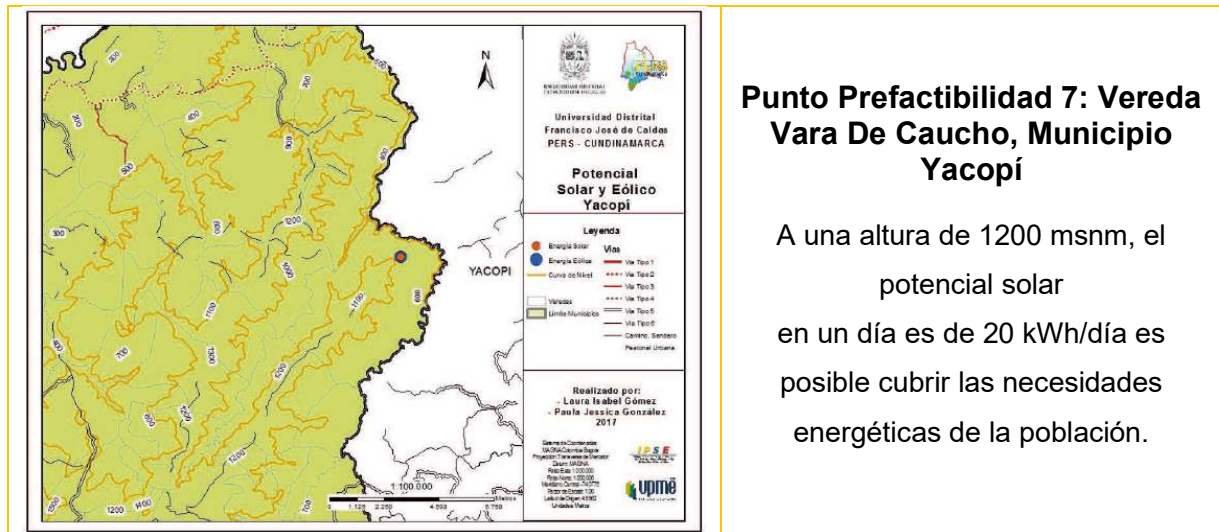


Ilustración 107 Puntos óptimos para la implementación de Sistemas Fotovoltaicos. Elaboración Propia. Fuente [64]

Aunque dentro de los resultados se identificaron los sitios no energizados donde la mejor FNCER a implementar es la energía solar, no se profundiza más en cuanto a la formulación de posibles proyectos para aprovechar este potencial y brindar el servicio de energía eléctrica con esta tecnología, sin embargo la metodología propuesta de geo-procesos para evaluar las FNCER y determinar la más óptima como opción para implementar en las ZNI puede ser la base para robustecer métodos que faciliten la toma de decisiones en la evaluación de proyectos con de energías limpias[63] [64].

Se formulan 7 proyectos, sin embargo, de acuerdo a informe de la contraloría general de la república (18/12/2019) no se han ejecutado y no se encuentra detalle de su formulación [65], estos se relacionan en capa geográfica del visor del PERS Cundinamarca y son [66] [64]:

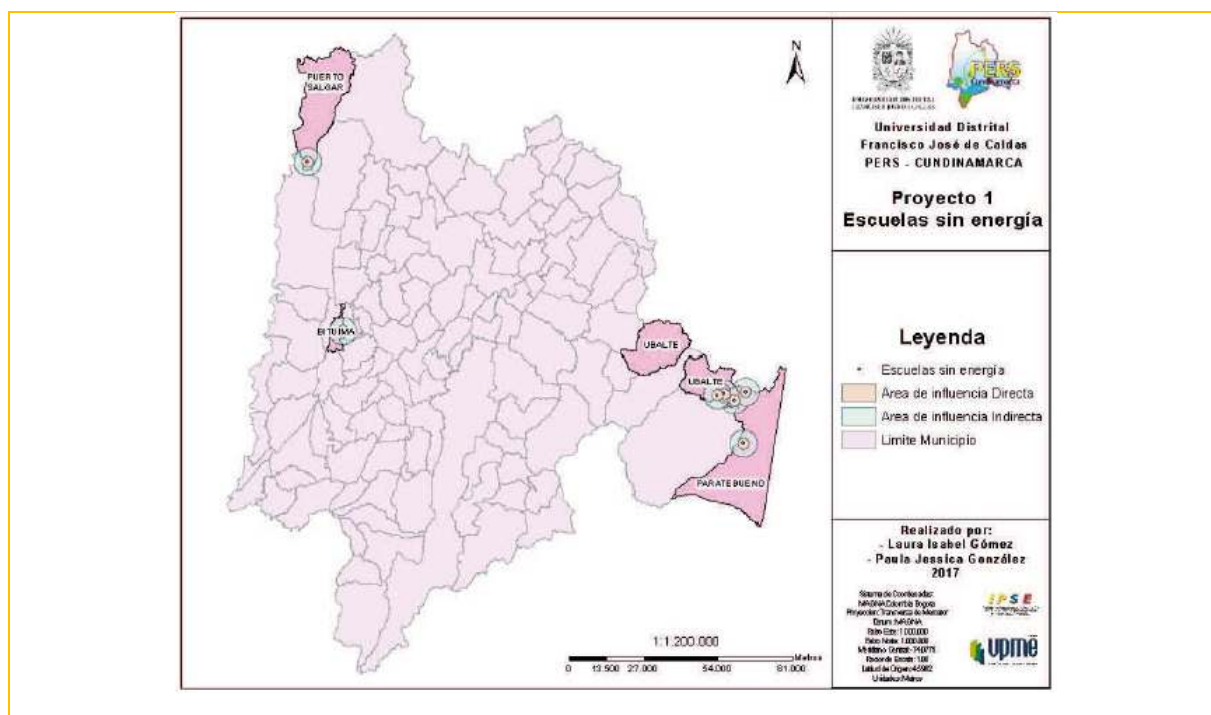
- Escuelas Sin Energía
- Secador de Polen
- Planta procesadora de Polen
- Deshidratador de Mango
- Acopio de Leche
- Escuelas Cundinamarca

Con excepción del proyecto de escuelas sin energía no hay detalle de los otros proyectos sobre la FNCER con la cual se desarrollará, sin embargo, mediante análisis geográfico se puede hacer el ejercicio de sugerir cual sería la de mayor potencial para cada proyecto.

- Escuelas sin energía

Implementación de sistemas fotovoltaicos en 7 escuelas rurales de Cundinamarca que no tienen servicio de energía eléctrica. El sistema es de 900 Wp con un sistema de monitoreo para cada institución. Al cubrir esta NBI se solucionarían condiciones como menos incomodidad por la temperatura, mejor iluminación, acceso a la tecnología como el internet y dispositivos electrónicos, alimentos refrigerados si lo requieren [64].

Las escuelas se localizan hacia el occidente y oriente del departamento así:



I.E.D.	SEDE	MUNICIPIO	VEREDA
Josué Manrique	Antonio Nariño	Paratebueno	Insp. El Engaño
Josué Manrique	Botellas	Paratebueno	Las Lajas
Josué Manrique	Buena Vista 1	Paratebueno	Buena Vista
Antonio Ricaurte	Risaralda	Puerto Salgar	San Antonio
Kennedy - San Pedro de Jagua	Gazajujo	Ubalá	Gazajujo
Kennedy - San Pedro de Jagua	Santa Teresita	Ubalá	Santa Teresita - San Pedro De Jagua
José María Vergara	Garita	Bituima	La Garita

Tabla 3 Escuelas a Energizar. Elaboración Propia. Fuente [66]

7.4.3 Proyecto Jerusalén Municipio Eco-sostenible

El municipio es el proyecto piloto de una iniciativa de la CAR llamada programa integral de Ecosostenibilidad Ambiental, con el fin implementar municipios ecosostenibles, para esto se implementó un sistema fotovoltaico en la Alcaldía municipal, la Institución Educativa Departamental Nacionalizada y la Escuela Municipal Antonio Nariño.



Ilustración 108 Instalación Paneles Fotovoltaicos Municipio Jerusalén. Fuente [67]

El sistema tiene una capacidad instalada de 45 kWp con 137 paneles solares y 4 inversores que garantiza como mínimo 6 horas de energía solar por día, se reduce en un 60 % el CO₂, actualmente se genera en promedio 1.1 toneladas de CO₂ por mes en el municipio, cifra que se espera reducir; se disminuye el gasto público del servicio de energía comercial de las instituciones y provee energía a partir de una fuente renovable para más de 300 estudiantes del colegio y 130 de la escuela municipal [67].

7.4.4 Proyectos OCAD Paz

El Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD) Paz, aprobó recursos por 34 mil millones de pesos para implementación de sistemas fotovoltaicos en municipios del Meta y Cesar, y la construcción de un comedor escolar en Sucre, poblaciones que hacen parte de los Programas de Desarrollo con enfoque Territorial - PDET.

El proyecto que se desarrollara en el Meta, departamento miembro de la Región Central RAP-E, se localiza en la parte rural del municipio de Mesetas, se compone de la instalación de 594 sistemas fotovoltaicos individuales destinados al mismo número de familias en las veredas de Montebello, La Florida, Manantial, Nuevo Porvenir y los resguardos indígenas Ondas de Cafre y Páez de Villa Lucía. Dentro de los beneficiados están las víctimas del conflicto armado como excombatientes, víctimas y parte de la comunidad indígena Páez. Los criterios de selección de los beneficiarios fueron dados por el MME [68].

6. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

Para la determinación del potencial solar en región central RAPE la fuente principal de información es el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del año 2017

realizado por el IDEAM y la UPME, en este se muestra la distribución geográfica del potencial solar para la generación de energía. La información es de tipo cuantitativo y permite conocer la distribución promedio mensual y anual de la radiación solar global horizontal, brillo solar, cantidad de días por mes sin brillo solar, columna total de ozono y radiación ultravioleta sobre una superficie plana por metro cuadrado, los resultados del estudio se presentan en datos, análisis, mapas e información actualizada para el año 2017 siendo más precisos en resolución espacial y temporal respecto a estudios anteriores [1].

A continuación, se hará la descripción de los dispositivos y la metodología utilizada para para la medición de la radiación solar para Colombia [1]:

6.1. Metodología

6.1.1. Calibración

Para el estudio el IDEAM en convenio con la Fundación Universitaria Los Libertadores realiza en julio de 2012 la primera etapa de calibración de sensores radiométricos, se utilizó un pirheliómetro de Cavidad Absoluta de primer orden de precisión, calibrado en el Centro Mundial de Radiación de Davos en Suiza, allí se definió la necesidad de calibrar todos los demás sensores de radiación solar y ultravioleta del IDEAM [1].

Para agosto de 2013 en Cartagena, el IDEAM, la UPME y La Fundación Universitaria Los Libertadores realizaron la segunda jornada de calibración de sensores radiométricos, se contó con la participación de 25 funcionarios de diferentes entidades que también miden la radiación global del país, dentro de las cuales se destacan la CAR (Corporación Autónoma de Cundinamarca), Universidades Distrital, Cordoba, del Tolima, entidades privadas como CENICAÑA y CENICAFÉ entre otras, se calibraron piranómetros que sirvieron como referencia secundaria para calibrar en terreno los sensores de las estaciones automáticas satelitales que el IDEAM instalo desde el año 2005.El balance de general de estas 2 jornadas fue [1]:

Calibración de 105 piranómetros de estaciones automáticas del IDEAM
Calibración de 3 Espectro radiómetros del IDEAM para medir radiación ultravioleta.
Validación Información.
Evaluación de graficas de los actinógrafos del IDEAM.
Selección y aplicación de modelos para generar promedios mensuales de la radiación global solar a partir de datos del brillo solar
Selección y aplicación de modelos: Para la generación de promedios mensuales de radiación ultravioleta el cual se representa con el índice UV.

Ilustración 109 Resultado Jornadas de Calibración Sensores. Fuente [1]

Las etapas en la elaboración del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia fueron las siguientes [1]:

1. Evaluación y procesamiento de la información meteorológica.
2. Modelación y representación gráfica y cartográfica de los datos.
3. Análisis de Resultados

El desarrollo de estas etapas se muestra en la siguiente figura.

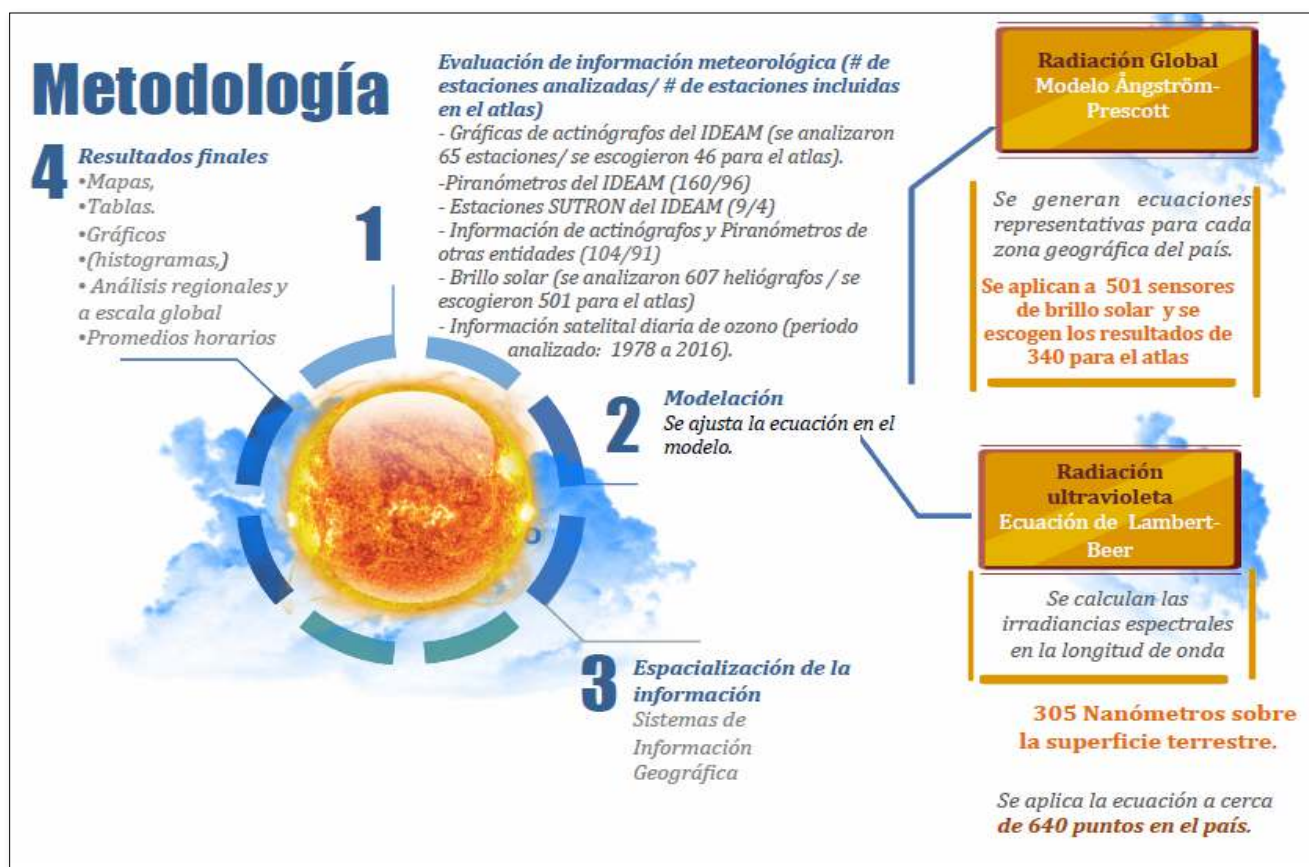


Ilustración 110 Metodología Atlas Fuente [1]

6.1.2. Evaluación y Procesamiento de la Información Meteorológica

Radiación Solar Global

Se inicia con la selección de las entidades que poseían sensores de radiación global, luego se definió la información a solicitar, se indago sobre programas de calibración y mantenimiento de los sensores de interés, a partir de esto se escogió y analizo la siguiente información incluyendo la del IDEAM [1]:

Sensores				
Tipo De Sensor	Tiempo De Captura	Evaluados	Seleccionados	Propiedad
Actinógrafos	Información Diaria	65	46	IDEAM
		17		Cenicaña
Piranómetros	Información horaria	28	91	Cenicafé
		15		Fedearroz
		10		CAR
		160	96	IDEAM
		9	4	IDEAM
SUTRON				

Ilustración 111 Sensores Evaluados para la Elaboración del Atlas. Fuente [1]

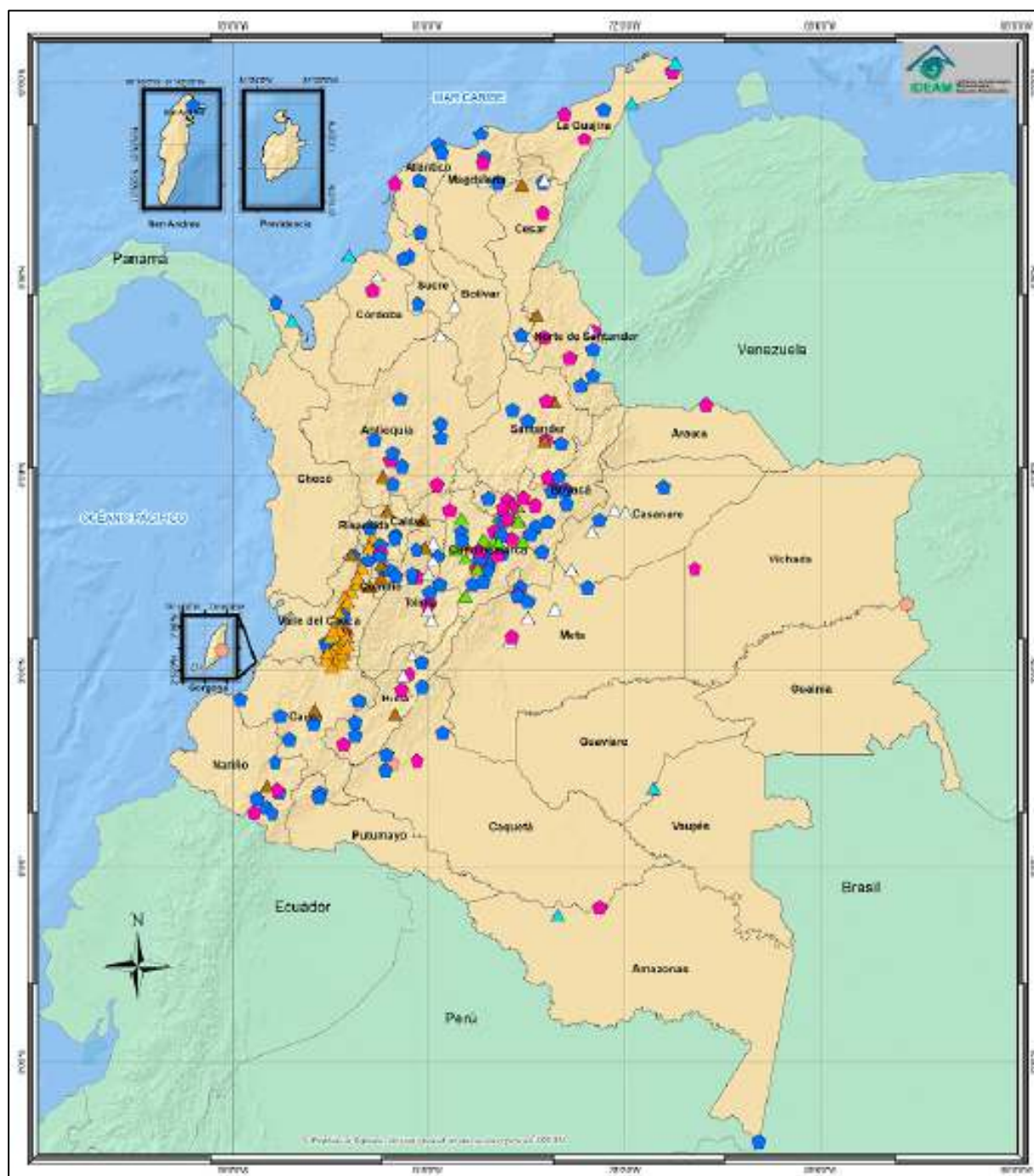
- También se analizaron, seleccionaron e incluyeron para la generación de los mapas datos utilizados en el atlas del año 2005, esto con el fin de mejorar los resultados de los promedios mensuales.
- De los actinógrafos se evaluaron las gráficas y validaron los datos diarios de radiación global.
- Los 160 piranómetros del IDEAM forman parte de las estaciones meteorológicas automáticas satelitales (EMAS). De estos 105 fueron calibrados en los años 2014 y 2015, luego se aplicó la constante de calibración y se realizó la verificación final para luego seleccionar los 96 que se utilizarían en la generación de los mapas con información hasta el 31 de diciembre de 2016.
- Las estaciones marcan SUTRON propiedad del IDEAM funcionaron entre 1998 y 2003.
- De los sensores de otras entidades se escogieron 91 para la generación de la cartografía.

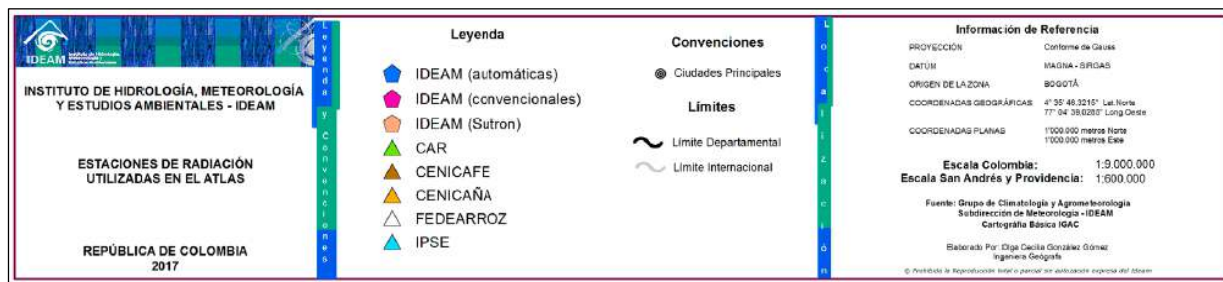
En total se analizó la información de 340 sensores de radiación solar incluyendo cerca de 46 que se utilizaron en el Atlas del año 2005, finalmente se seleccionaron 240 para la generación de información geográfica incluyendo 3 de los utilizados en la pasada edición del atlas. La información de los 240 sensores seleccionados se procesó y por cada uno de estos se obtuvo [1]:

1. Promedios horarios de la radiación global horizontal para cada mes, obtenida de los sensores que generan información a nivel horario, donde se incluyen las EMAS del IDEAM, estaciones de la CAR, IPSE y Fedearroz.
2. Promedios mensuales de radiación acumulada diaria.

A los resultados de promedios mensuales de radiación global horizontal de los 240 sensores, se les complementa con datos de radiación solar global horizontal obtenidos a partir de la selección de 340 sensores de brillo solar y su modelamiento matemático para obtener los datos de radiación, inicialmente se escogieron 501 sensores de brillo solar sin embargo se descartaron 161 por estar ubicados en lugares donde había medición directa de la radiación [1].

En cuanto a la modelación matemática aplicada para calcular la radiación global solar a partir del brillo solar mejoraron los resultados siendo más consistentes, respecto a los presentados en el atlas del año 2005 donde se sobrestimaron los valores de radiación en un 10% para las zonas de la Amazonia, Orinoquia y la Región Caribe [1].





Mapa 5 Sensores Utilizadas para el Atlas. Fuente [1]

6.1.3. Brillo Solar

Se revisó la información de 607 sensores de la red del IDEAM, se seleccionaron 501 estaciones para la generación de información geográfica. La temporalidad de los datos procesados fue desde la fecha que se instaló el dispositivo hasta el 31 de diciembre de 2016 o hasta que dejó de operar [1].

Luego de verificar los resultados para brillo solar se realizó el cálculo de los días sin brillo solar, contabilizando y promediando los días del mes en los que el brillo solar estuvo entre 0,0 y 0,5 horas de sol al día. Esta información es importante para el diseño de los equipos cuando se presenten épocas con baja o nula radiación solar [1].

6.1.4. Modelamiento

La modelación se aplicó a los datos de brillo solar para generar datos de radiación solar global horizontal. Se evaluaron 11 diferentes modelos aplicados en otros países para determinar cuál sería más útil a las características climáticas de Colombia. El modelo seleccionado fue de Ångström-Prescott, donde la correlación se basa en la relación de las radiaciones solares así [1]:

$$\frac{H}{H_o} = \left(a + b \left[\frac{n}{N} \right] \right)$$

H_o = La radiación calculada en el límite superior de la atmósfera

H = La radiación medida en la superficie terrestre

n = Las horas de brillo solar medidas en la superficie

N = Duración Astronómica del día solar

a y b coeficientes de regresión de un modelo lineal simple

Expresada en $\frac{Wh}{m^2}$

Ecuación 3 Modelo Ångström-Prescott Relación Radiaciones. Fuente [1]

Por último, se realizaron ecuaciones lineales en las estaciones piloto, las cuales eran representativas en la zona geográfica donde se encontraban y que medían simultáneamente la radiación solar global y el brillo solar, este procedimiento se realizó con el fin de aumentar la cobertura de los datos de la radiación solar [1].

6.1.5. Representación Gráfica y Cartográfica de la información

Los mapas para mostrar la radiación global horizontal, el brillo solar y el número de días sin brillo solar se generaron utilizando herramientas del software ArcGIS y realizando los siguientes procedimientos [1]:

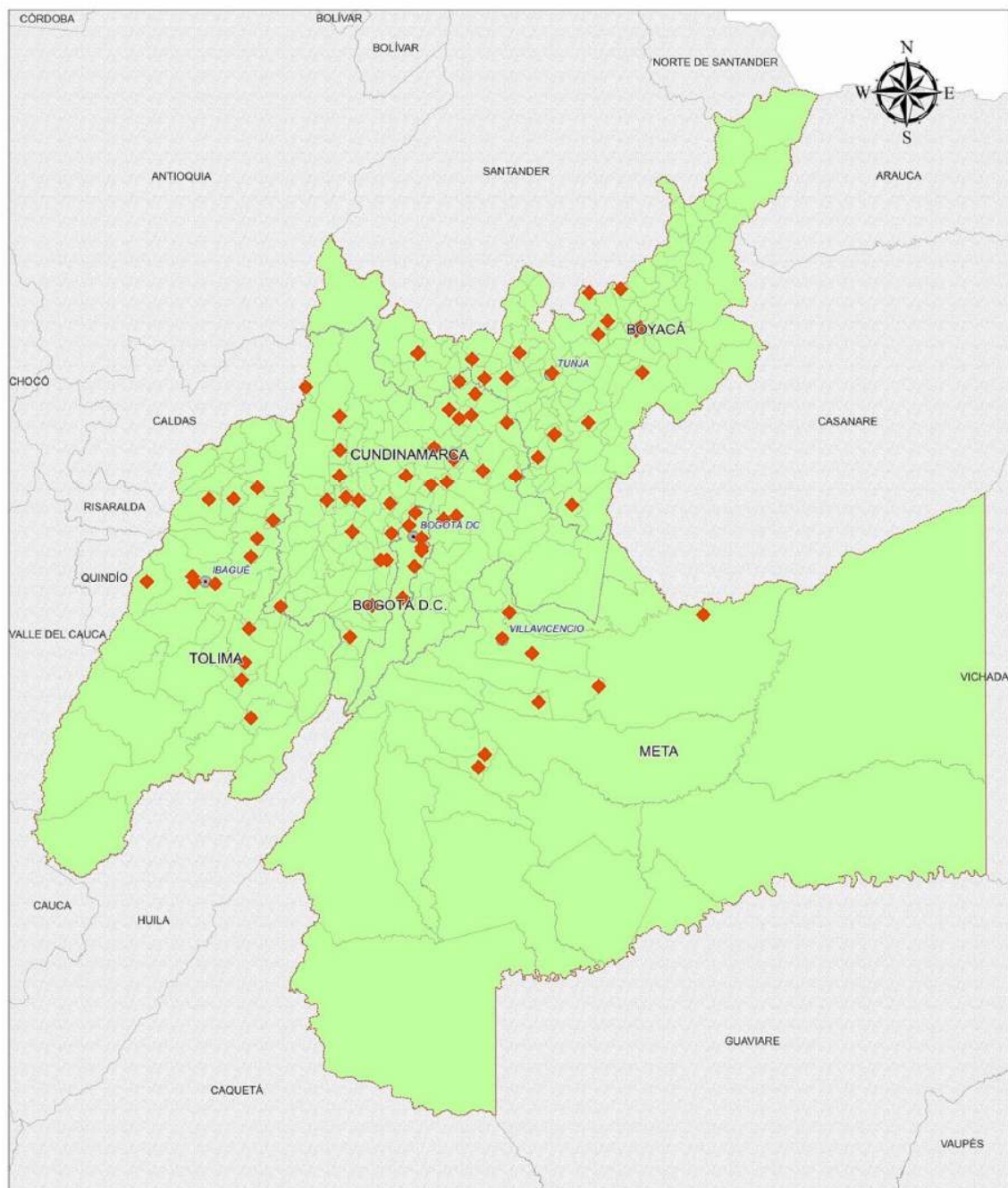
1. Interpolación con el método IDW (Ponderación por distancia)
2. Reclasificación
3. Generación en formato Ráster
4. Conversión a formato vector

7. POTENCIAL SOLAR FV EN LA REGIÓN CENTRAL

Para la Región Central RAPE las zonas con el mayor potencial Solar Fotovoltaico se determinan a partir de las mediciones hechas por el IDEAM y la UPME publicadas en el año 2017 en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (*ver capítulo 0 página 97*) donde se tienen en cuenta los aspectos relacionados a continuación.

7.1. Sensores

En el *capítulo 4* se explica el método para medir la radiación solar global, donde las estaciones meteorológicas son de gran importancia ya que capturan datos del recurso solar, la concentración y distancia entre estos dispositivos es un factor que influye en la confiabilidad de las mediciones. En el *mapa 6* se puede observar la distribución de las estaciones dentro de la región central y las más próximas, que influyen en las zonas de radiación solar de interés.



REGIÓN CENTRAL
MPE - Estaciones Centro de Región

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MAPA REGIÓN CENTRAL
ESTACIONES METEOROLÓGICAS
PARA MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR

Unificación y Consolidación de la Información
de la Matriz Energética y de las Fuentes
No Convencionales de Energía Renovable - FNCER

FUENTE DE INFORMACIÓN
Temática: IDEAM 2018 - 2017
Base: DANE - IGAC 2018

SISTEMA DE REFERENCIA
SGC: MAGNA
Unidad Angular: Grados (0.017453292519943)
Primer Meridiano: Greenwich (0.0)
Datum: MAGNA
Esférico: GRS 1980
Semieje Mayor: 6378137.0
Semieje Menor: 6356752.314140359
Aplazamiento Inverso: 298.257222101

ELABORÓ:
ANGEL MIGUEL OCACIONES

FECHA:
25/09/2019

ESCALA GRÁFICA
0 10 20 40 60 80 Km

ESCALA NUMÉRICA
1:750,000

CONVENCIONES

- Capital Departamental
- Límite Región Central RAPE
- Límite Departamentos Región Central
- Municipios
- Otros Departamentos

LEYENDA
Estaciones Meteorológicas
para Medición de
la Radiación Solar

◆ Estaciones para Medición
de Radiación Solar

Mapa 6 Sensores Utilizados para Medir La Radiación en la Región Central. Fuente [1]

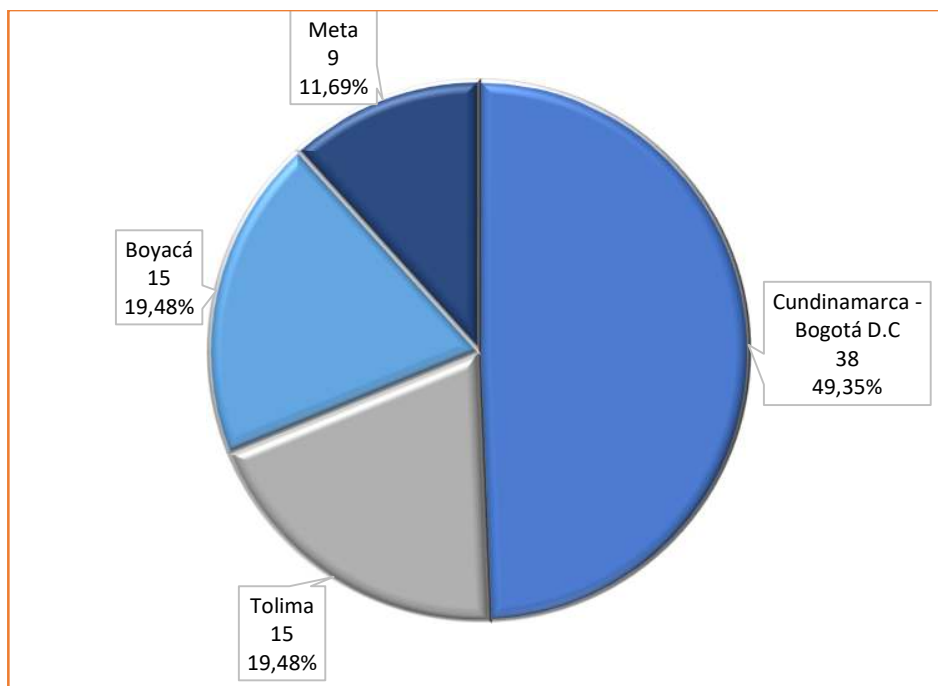


Ilustración 112 Distribución de Estaciones por Departamento. Fuente

La mayor cantidad de estaciones se encuentra en el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C. esto debido a que se utilizaron los dispositivos de la CAR y el IDEAM tiene gran cantidad de estaciones en este departamento y en el distrito capital. Boyacá y Tolima tienen cada uno un 20% aproximadamente de los dispositivos, finalmente en el Meta se concentra el 12 % aproximadamente de los dispositivos en su parte norte, hacia el centro y el sur del departamento no hay estaciones para la medición de la radiación solar (*ver mapa 6*).

Como se observa en la *Ilustración 35* la mayor cantidad de sensores pertenecen al IDEAM con 53 estaciones, correspondiente al 69 % seguido de la CAR con 14 estaciones 18 %, FEDEARROZ con 8 estaciones 10 % y CENICAFE con 2 estaciones 3 %. Cabe aclarar que las estaciones que se encuentran cerca influyen en la determinación de las zonas de radiación para la región central, así tenemos que:

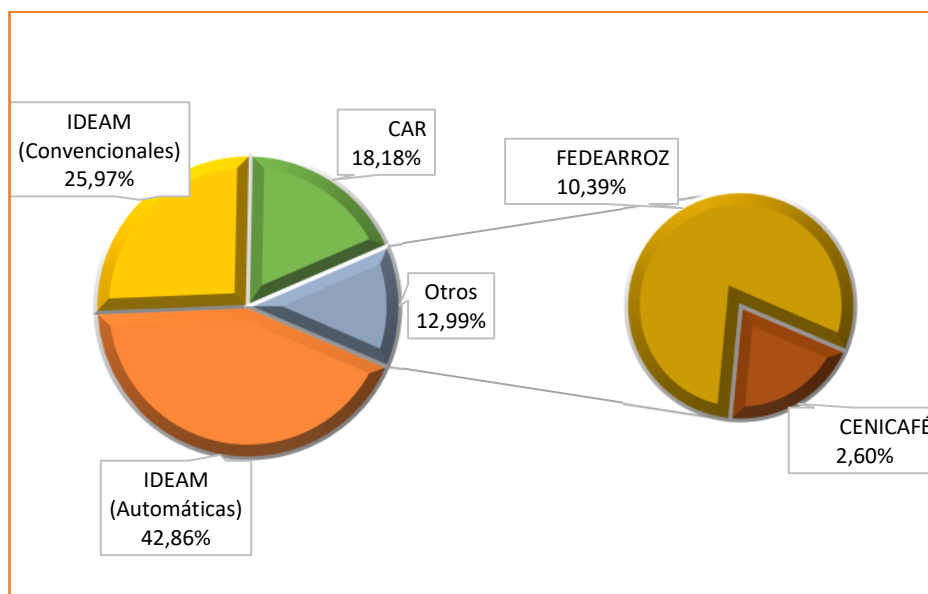


Ilustración 113 Cantidad de Estaciones por entidad. Fuente [1]

Sensores Utilizados en La Región Central		
Entidad		Cantidad
IDEAM	Automáticas	33
	Convencionales	20
CAR		14
CENICAFÉ		2
FEDEARROZ		8
TOTAL		77

Ilustración 114 Sensores para Medición de Radiación

Por el Norte las estaciones más próximas a la Región Central se encuentran en el departamento de Santander, dos del IDEAM y una de CENICAFÉ.

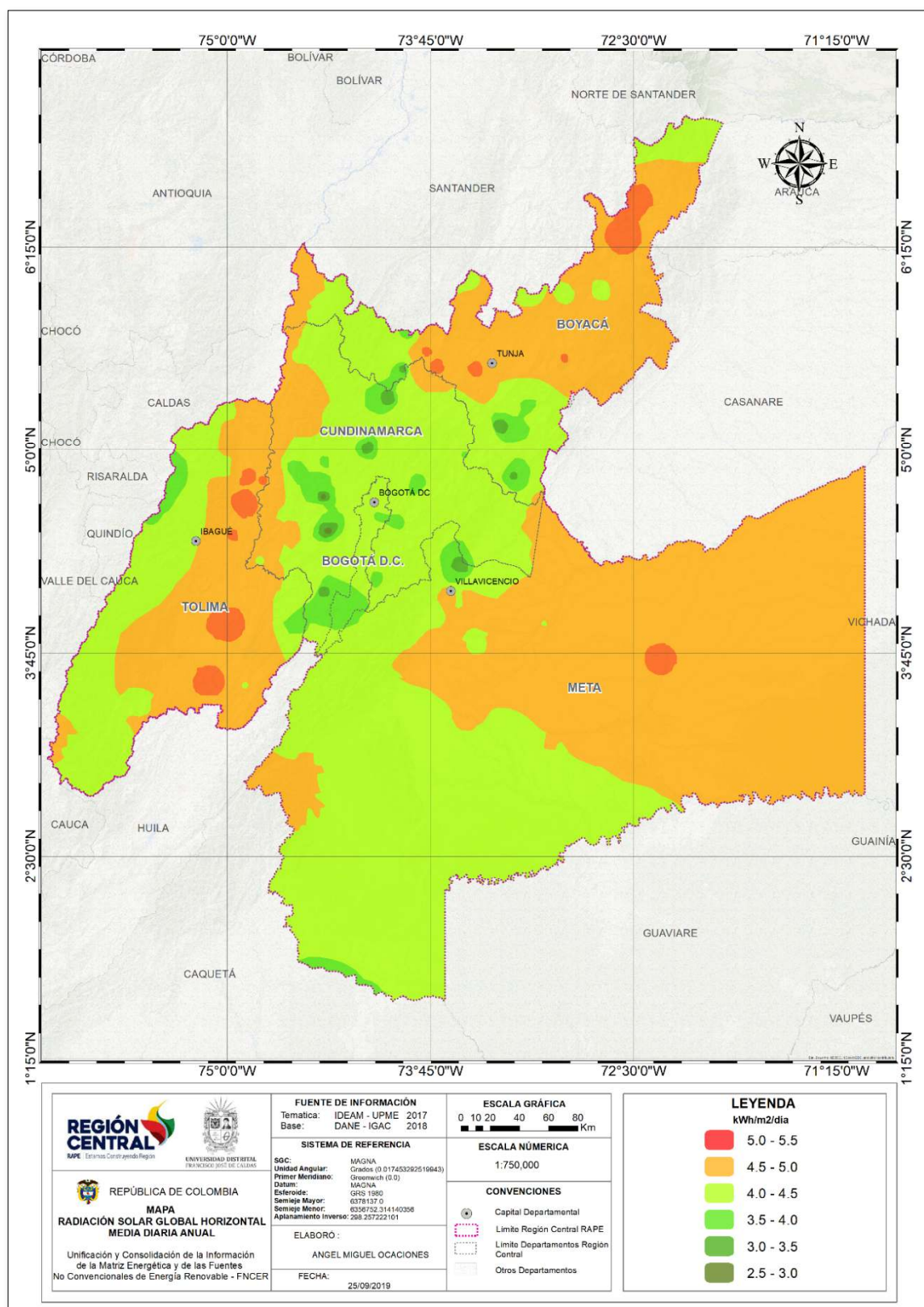
Por el límite oriental de la Región Central las estaciones más próximas están en el departamento de Casanare, dos estaciones automáticas del IDEAM y 3 de FEDEARROZ.

Por el occidente los dispositivos más próximos se localizan a lo largo de los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca donde están gran cantidad de dispositivos de CENICAÑA además de un número considerable de estaciones del IDEAM automáticas y de CENICAFÉ.

Por el límite Sur – Occidente de la Región Central las estaciones más próximas las encontramos en el departamento del Huila, allí hay 11 estaciones del IDEAM entre automáticas y convencionales, 3 de FEDEARROZ y una de CENICAFÉ.

Por el límite sur de la Región de Central no se encuentran estaciones próximas para la medición de la radiación solar.

7.2. Radiación Solar GH en La Región Central RAP-E



Mapa 7 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en la Región Central. Elaboración Propia Fuente [1]

El potencial solar FV está dado por la Radiación Solar Global Horizontal Media Diaria Anual (Medida a diario durante un año por unidad de área) ya que esta variable describe la cantidad de recurso solar que incide sobre la superficie y que puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos.

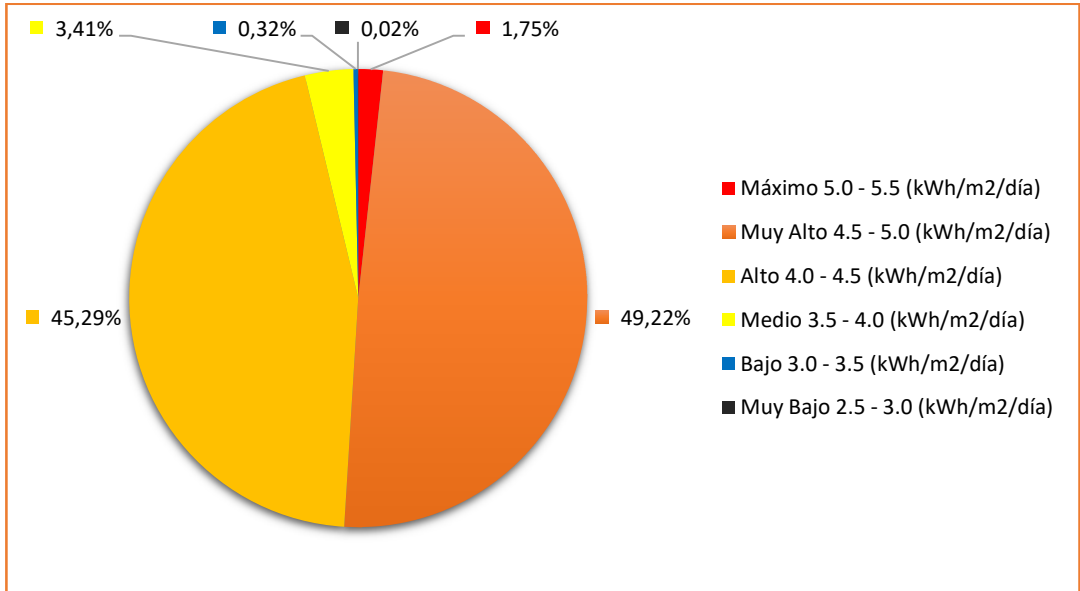


Ilustración 115 Distribución en Área de Radiación Solar Global en la Región Central. Elaboración Propia

De acuerdo a las estimaciones del IDEAM y la UPME en la Región Central se presentan 6 rangos de Radiación Solar HMDA que van desde un máximo de 5.5 kWh/m²/día hasta una mínima de 2.5 kWh/m²/día , a diferencia de los niveles nacionales que presenta 11 rangos, donde el registro máximo de radiación es de 7.0 kWh/m² en zonas del departamento de la Guajira y el registro mínimo es de 1.5 kWh/m² en zonas de alta montaña en la región Andina y parte del Chocó.

Nivel de Radiación HDMA	Rangos de Radiación HDMA (kWh/m²/día)	Área (Km²)	%
Máximo	5.0 - 5.5	2,739.34	1.75%
Muy Alto	4.5 - 5.0	77,244.83	49.22%
Alto	4.0 - 4.5	71,082.15	45.29%
Medio	3.5 - 4.0	5,353.09	3.41%
Bajo	3.0 - 3.5	503.29	0.32%
Muy Bajo	2.5 - 3.0	24.91	0.02%
TOTAL		156,947.601	100.00%

Ilustración 116 Nivel de Radiación Solar HMDA que incide en la Superficie de la Región Central. Elaboración Propia

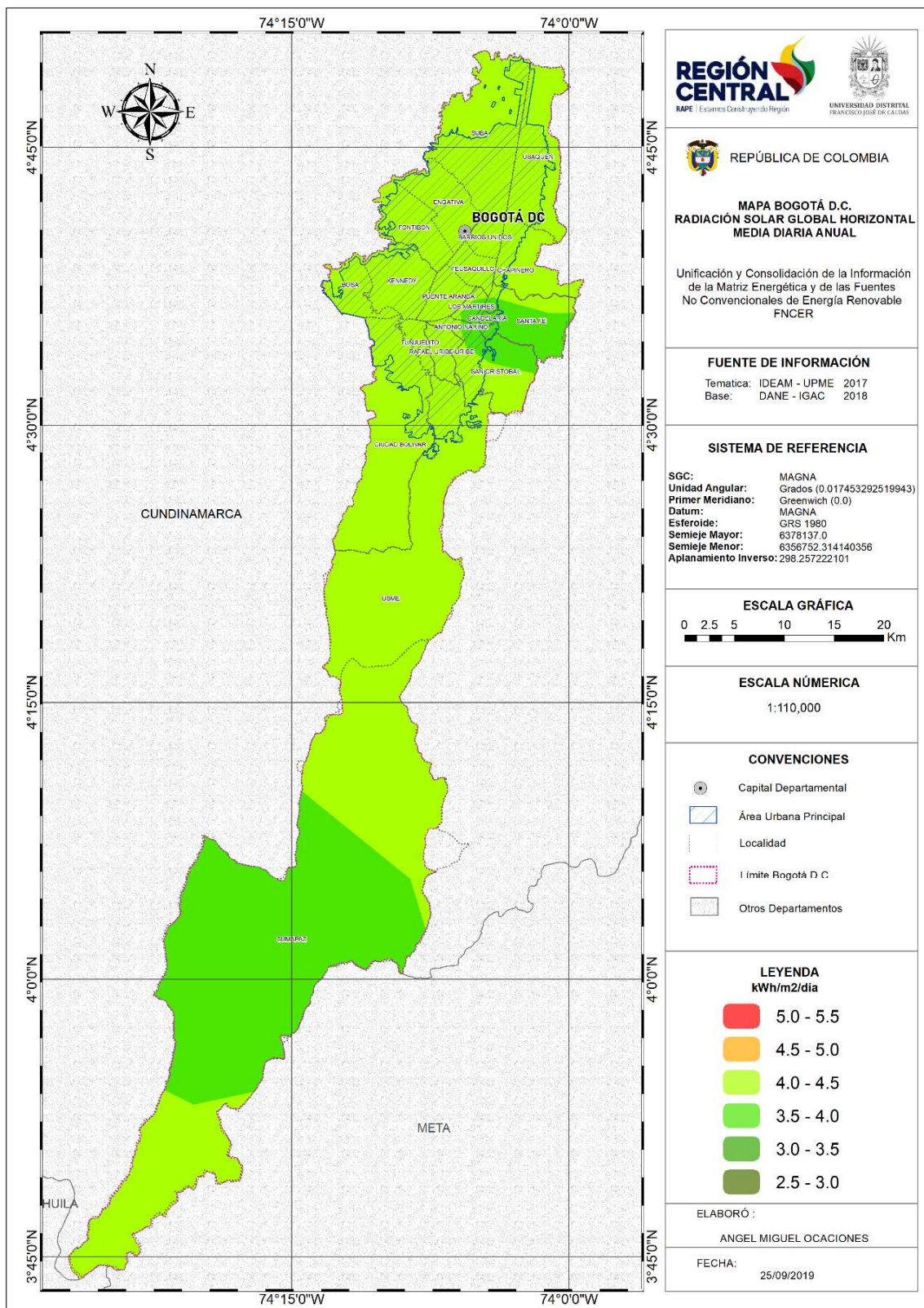
Como se puede ver en la Ilustración 115, en la Región Central más del 96% de la superficie incide una Radiación Solar HMDA por encima del promedio mundial que es de 3.9 kWh/m². Este porcentaje se distribuye de la siguiente manera.

- i. En 1.75 % aproximadamente del total de la superficie de la región central, incide un nivel máximo de radiación que va desde los 5.0 kWh/m² hasta 5.5 kWh/m², está en zonas de los departamentos de Tolima, Boyacá y Meta.

- ii. Luego un 49 % de la superficie recibe una radiación Muy Alta que va desde los 4.5 kWh/m² hasta 5.0 kWh/m², se distribuye en zonas de los departamentos de Meta, Tolima, Boyacá y Cundinamarca, en el distrito capital no se alcanza estos niveles de radiación.
- iii. Un 45 % de la superficie presenta niveles altos de radiación que van desde los 4.0 kWh/m² hasta 4.5 kWh/m², se presenta en los 4 departamentos y el distrito capital.

El 4 % restante de la superficie de la Región Central presenta niveles de radiación entre los 2.5 kWh/m² hasta 4.0 kWh/m² principalmente en el departamento de Cundinamarca, Boyacá y el distrito capital. La distribución de área de acuerdo al nivel de radiación se presenta en la *Ilustración 116*.

7.3. Radiación Solar GH en Bogotá D.C.



Mapa 8 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Bogotá DC. Elaboración Propia [1]

En Bogotá D.C se presentan 2 rangos de radiación de los 11 estimados para el país, en el *Mapa 8* se puede ver una radiación con valores intermedios, donde en más del 69% del área se recibe una radiación solar alta, valores que están por encima del promedio mundial, este recurso es óptimo para implementar sistemas fotovoltaicos a nivel urbano y rural. El 30.95% restante del área recibe un nivel medio de radiación.

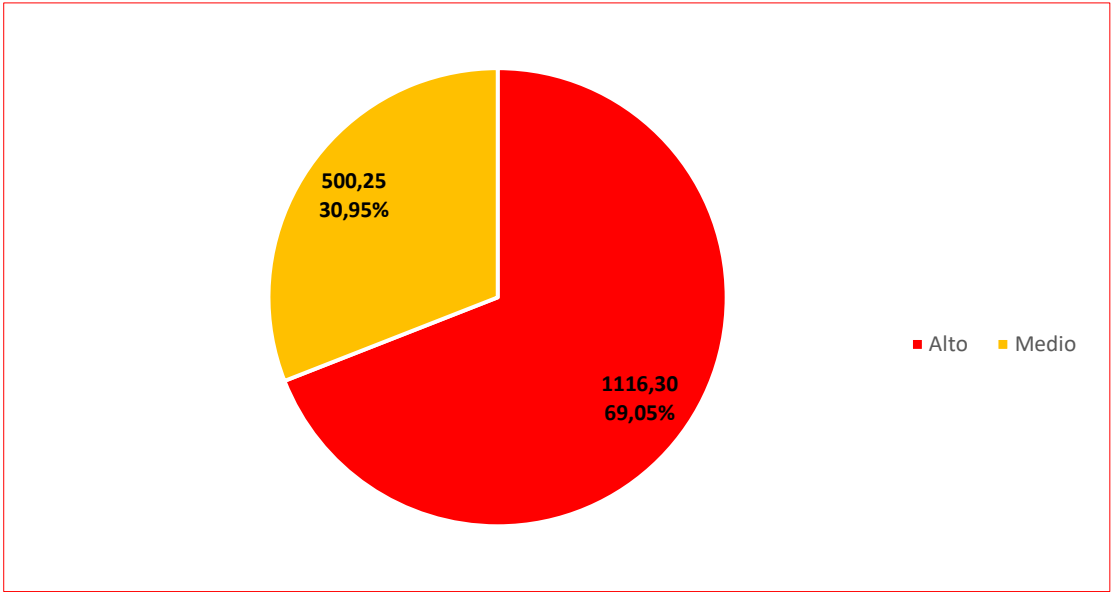


Ilustración 117 Distribución de área según radiación que incide en Bogotá DC. Elaboración Propia

En el 97% de suelo urbano de Bogotá D.C. incide una radiación de nivel alto, el 4.3% restante recibe un nivel medio en una zona que se ubica en las localidades de Candelaria de manera total, San Cristóbal, Santafé, Mártires y Antonio Nariño de manera parcial (*ver Mapa 8*).

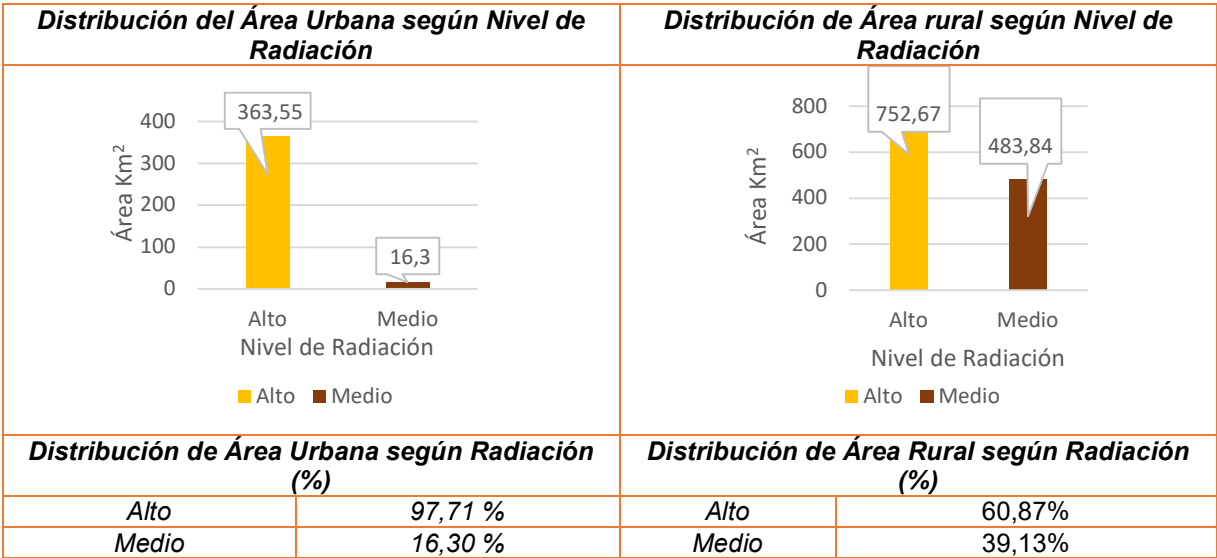
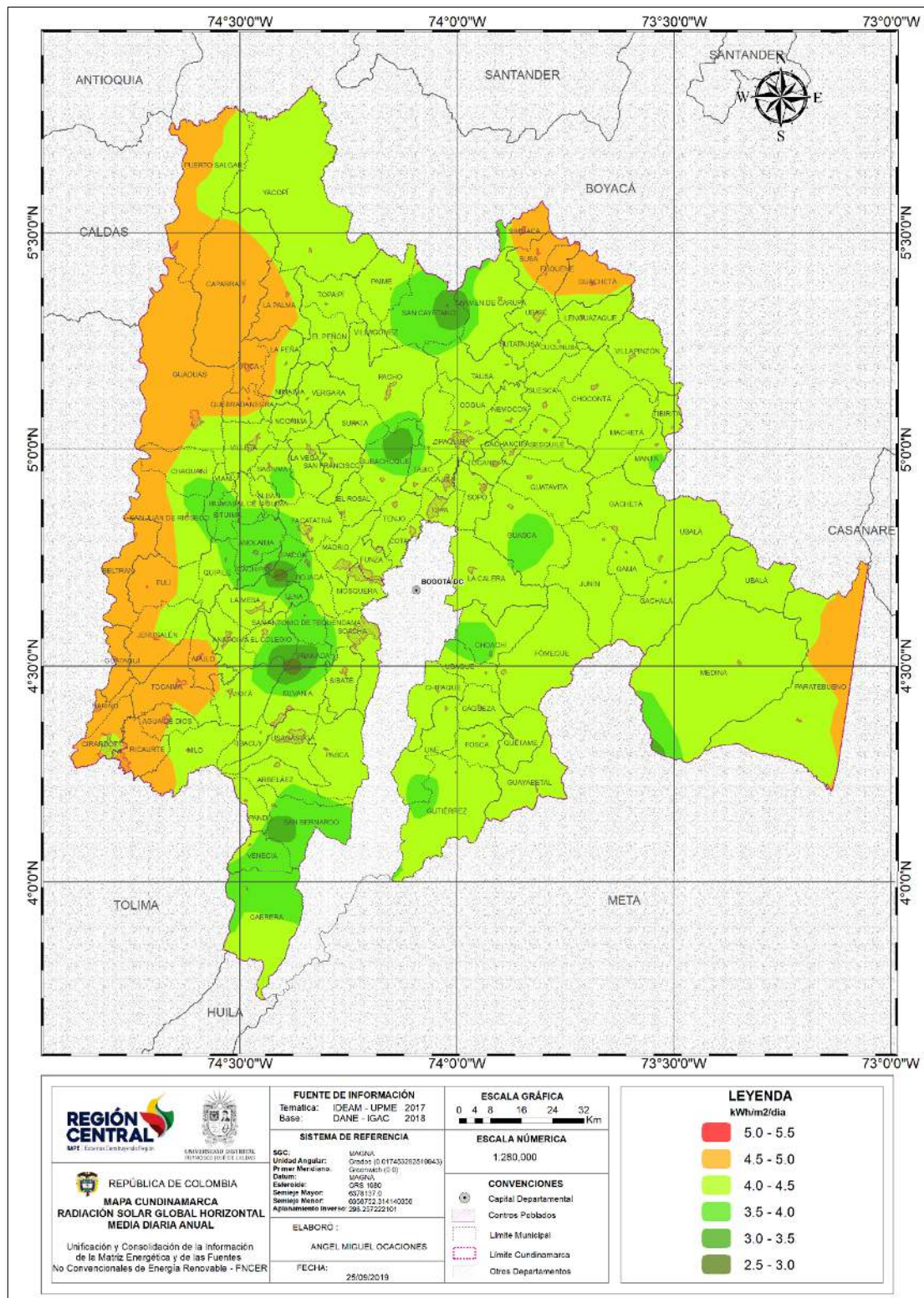


Ilustración 118 Distribución de área según nivel de radiación en suelo rural y urbano. Elaboración propia

En suelo rural se incluye el de expansión urbana, la distribución de área sigue siendo liderado por un nivel alto de radiación con el 61%, el cual se encuentra concentrado al sur del distrito y los cerros orientales complementado por pequeñas zonas al norte y al occidente. El 39% restante

con un nivel medio de radiación se encuentra dividido en dos zonas, la primera y más grande al sur del municipio en la localidad de Sumapaz con 441 Km² y la segunda en los cerros orientales con 42 Km² aproximadamente.

7.4. Radiación Solar GH en Cundinamarca



Mapa 9 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Cundinamarca. Elaboración Propia Fuente

En Cundinamarca se encuentran 6 niveles de radiación solar que van desde Muy Bajo hasta el Máximo, el predominante es el nivel Alto que incide en un 70% de la superficie del departamento, seguido de un nivel Muy Alto con 17% y nivel medio con 10% del área. El nivel máximo incide apenas en un 0,01% de la superficie, los niveles más bajos inciden en el 1,48% del total de la superficie.

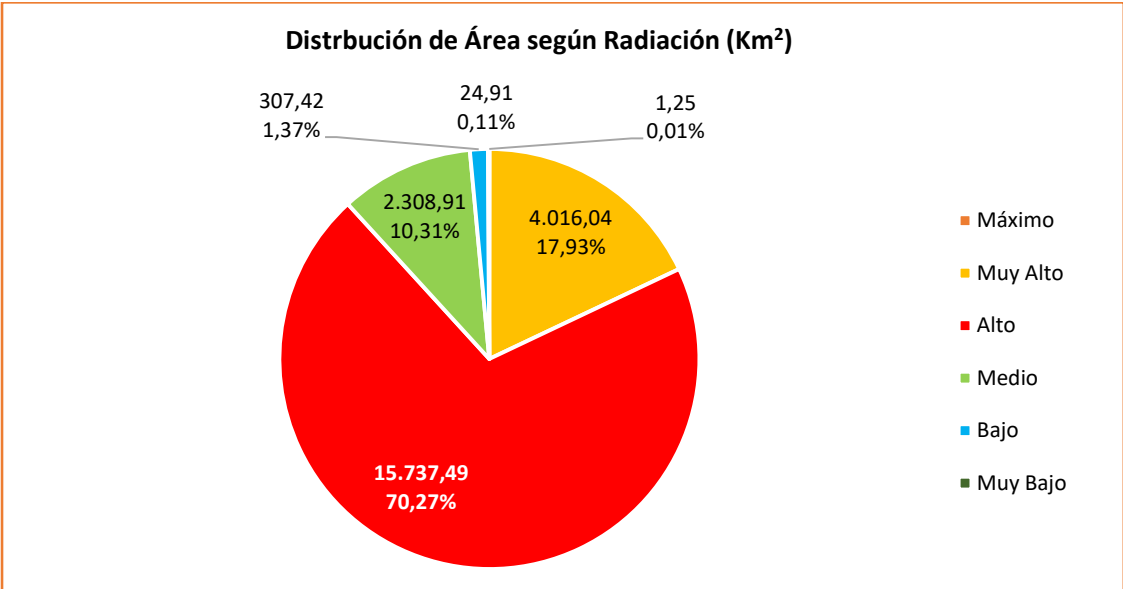


Ilustración 119 Distribución de área según radiación incidente en Cundinamarca. Elaboración Propia

El nivel máximo se encuentra hacia el nororiente del departamento entre los municipios de Fúquene y Susa, con un área aproximada de 1,25 Km². Siguiendo en orden de nivel, está el Muy Alto, con 4016 Km² aproximadamente, incide en gran cantidad de municipios, la mayoría concentrados en el límite occidental del departamento donde se puede destacar el municipio de Jerusalén, donde la CAR y el gobierno municipal recientemente ejecutó un proyecto piloto con la implementación de paneles solares en el techo de un edificio público y en la escuela. Las otras zonas con nivel Muy Alto se encuentran hacia el nororiente y suroriente del departamento.

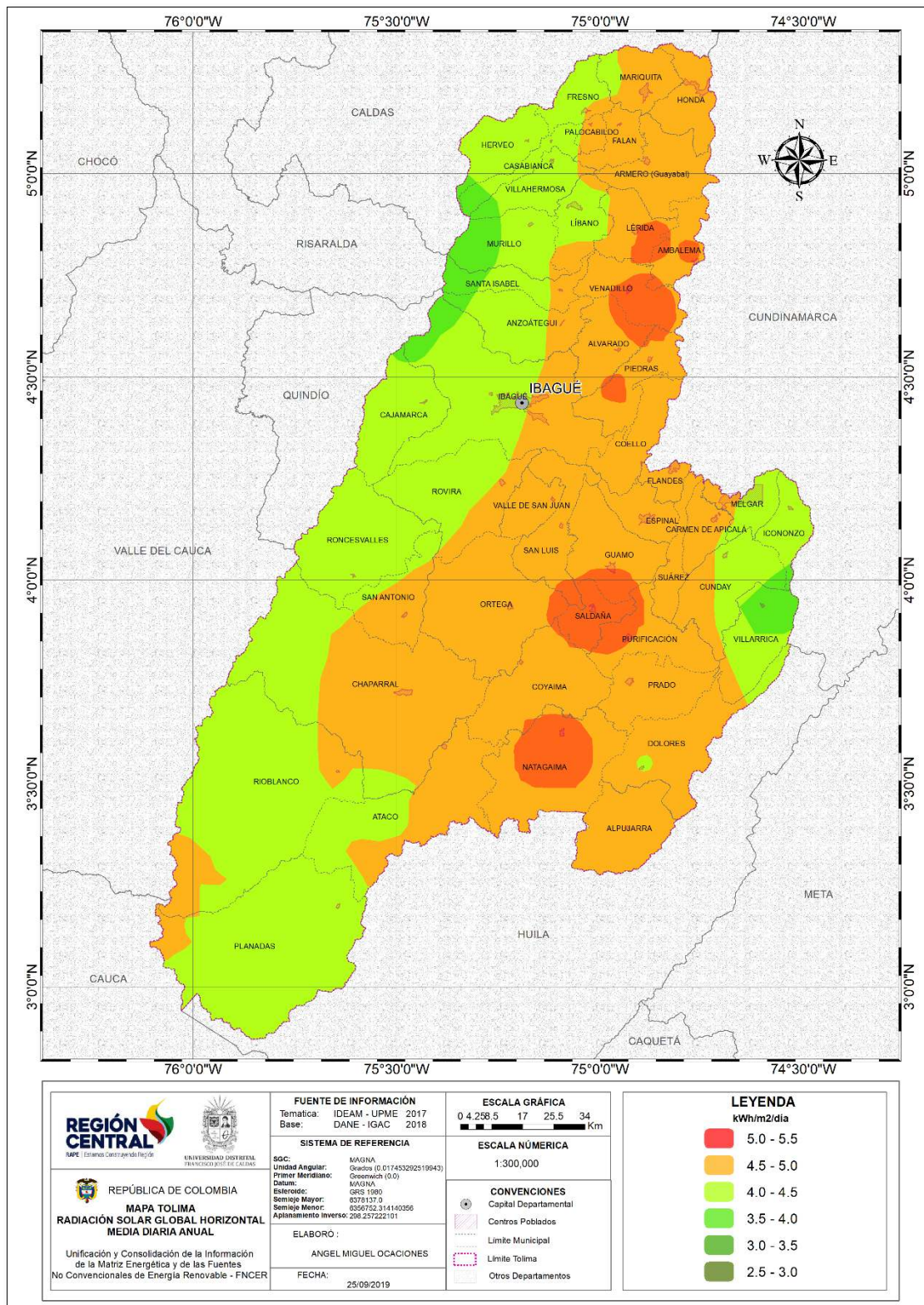
Nivel	Rad_kWh_m2	Area_Km2	%
Máximo	5,0 - 5,5	1,25	0,01%
Muy Alto	4,5 - 5,0	4.016,04	17,93%
Alto	4,0 - 4,5	15.737,49	70,27%
Medio	3,5 - 4,0	2.308,91	10,31%
Bajo	3,0 - 3,5	307,42	1,37%
Muy Bajo	2,5 - 3,0	24,91	0,11%
Total		22.396,02	100,00%

Ilustración 120 Distribución de Área Según Nivel de Radiación en Cundinamamrca. Elaboración Propia

El nivel Alto incide en más de 15.700 Km², abarca la mayor cantidad de municipios, se encuentra por todo el centro y los extremos Norte y Sur del departamento, con excepción de tres zonas con niveles Bajo y Muy Bajo que concentran 332 Km² dentro de los cuales se destacan los municipios

de Zipacón, Bojacá, La Mesa, Tena, Granada y El Colegio que en pequeñas zonas de su territorio tienen niveles muy bajos de radiación (*Ver Mapa 9*).

7.5. Radiación Solar GH en Tolima



Mapa 10 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Tolima. Elaboración Propia Fuente

En el departamento del Tolima se presentan niveles de radiación que van desde el medio hasta el máximo, donde en el 93 % de la superficie del departamento incide una radiación superior a los 4.0 kWh/m²/día, como se puede ver en la *Ilustración 121* en más de la mitad del área del departamento incide una radiación Muy Alta, seguido del nivel de radiación Alta en un 41%, luego en un 5 % incide un nivel máximo de radiación y por último en un 3 % aproximadamente un nivel medio de radiación. Se puede considerar que el recurso solar en este departamento es más que bueno ya que como se mencionó está muy por encima del promedio mundial.

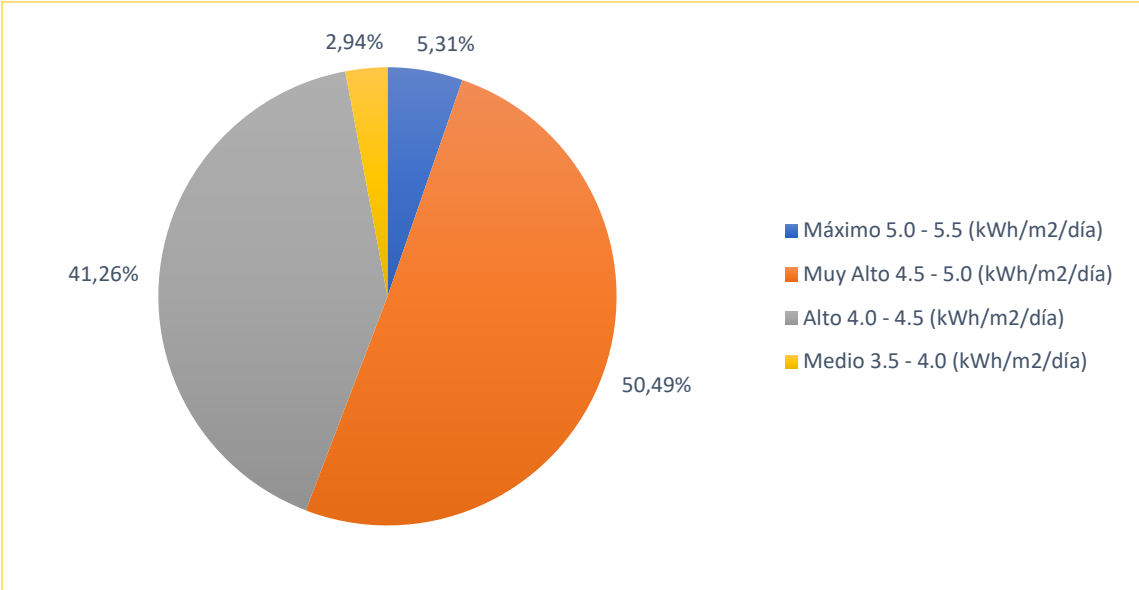


Ilustración 121 Distribución en Área de Radiación Solar Global en el Tolima. Elaboración Propia

Aunque pareciera pequeño el indicador de superficie con una radiación incidente máxima en el departamento, se debe considerar que ese 5 % corresponde a un área aproximada de 1276 Km² que se distribuye en 6 zonas, donde las más grande tiene un área de 477 Km² y la más pequeña un 29 Km².

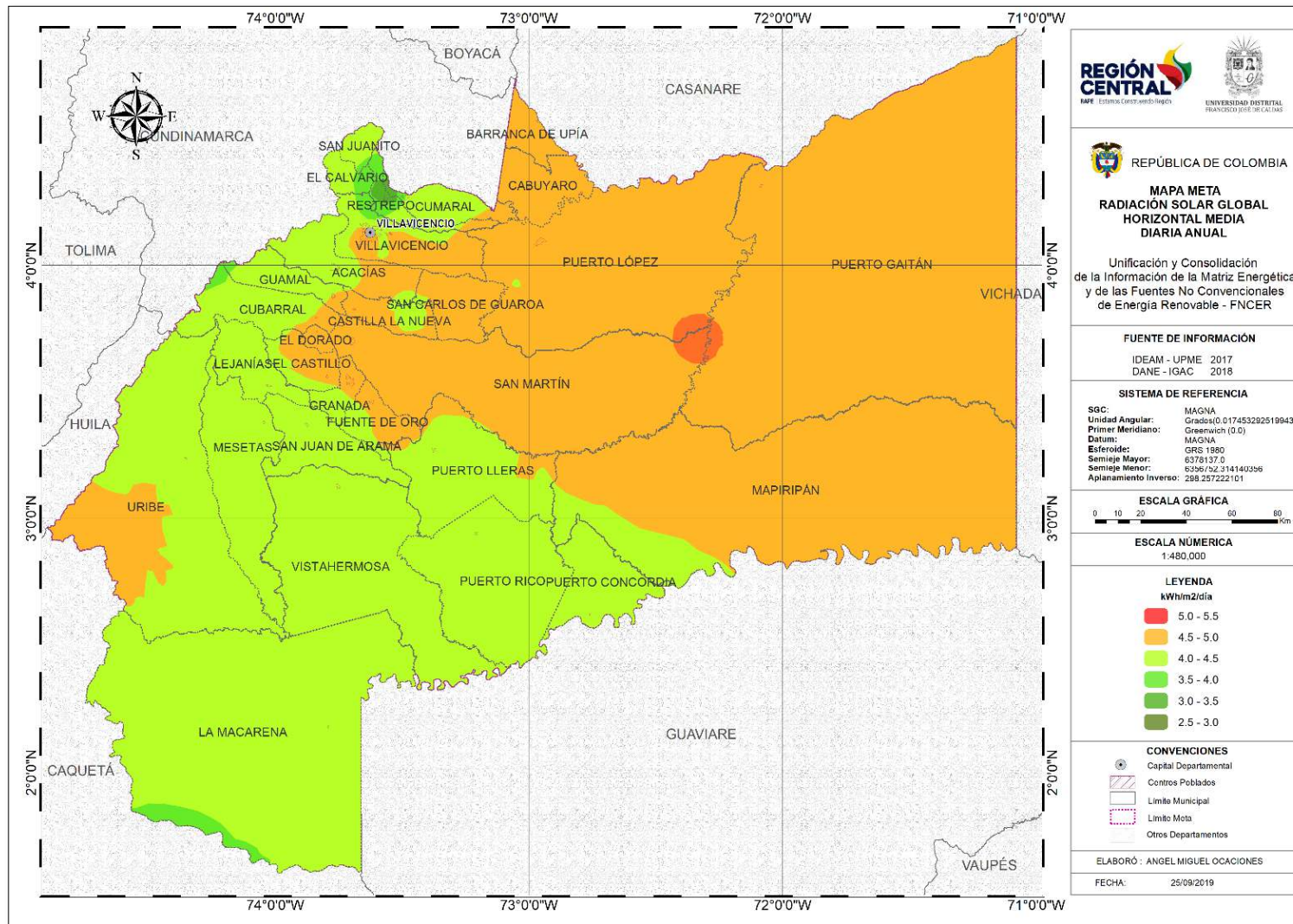
Nivel de Radiación	Rango de Radiación (kWh/m²/día)	Área (Km²)	%
Máximo	5.0 - 5.5	1,276.52	5.31%
Muy Alta	4.5 - 5.0	12,129.44	50.49%
Alta	4.0 - 4.5	9,913.12	41.26%
Medio	3.5 - 4.0	706.23	2.94%
TOTAL		24,025.32	100%

Ilustración 122 Nivel de Radiación Solar HMDA que incide en la Superficie del Tolima. Elaboración Propia

Los municipios de Saldaña, Venadillo, Natagaima, Lérída, Piedras y Ambalema se destacan ya que cuentan en gran parte de su territorio con niveles máximos de radiación, en menor proporción de terreno algunos municipios vecinos de los anteriormente nombrados. Todo el centro desde el norte hasta el sur del departamento cuenta con un nivel Muy Alto de radiación, hacia los límites oriental y occidental se encuentra nivel Alto de radiación con excepción de dos pequeñas zonas, una en el oriente y otra al occidente donde se puede encontrar un nivel medio de radiación.

En la capital departamental, Ibagué, inciden dos niveles de radiación, hacia el occidente Alto y al oriente Muy Alto en una proporción de área a simple vista del 50% aproximadamente para cada nivel. Hay que tener en cuenta que la precisión de los datos es directamente dependiente de la escala de la información. Los sensores para la captura de datos de radiación se ubican en gran parte en los departamentos con los que limita al occidente.

7.6. Radiación Solar GH en Meta



Mapa 11 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en el Meta. Elaboración Propia Fuente

El departamento del Meta tiene una gran extensión, la mayoría son planicies, por lo que la facilidad de implementar sistemas fotovoltaicos de gran escala es más fácil que en otros tipos de topografía, su potencial está dado en 5 rangos que van desde el nivel Bajo hasta el nivel Máximo. El nivel predominante es Muy Alto, incide en un 55% de la superficie, seguido de un nivel Alto que incide en un 43%, el nivel máximo no alcanza a llegar al 1% del área, sin embargo, equivale a 368 Km² aproximadamente.

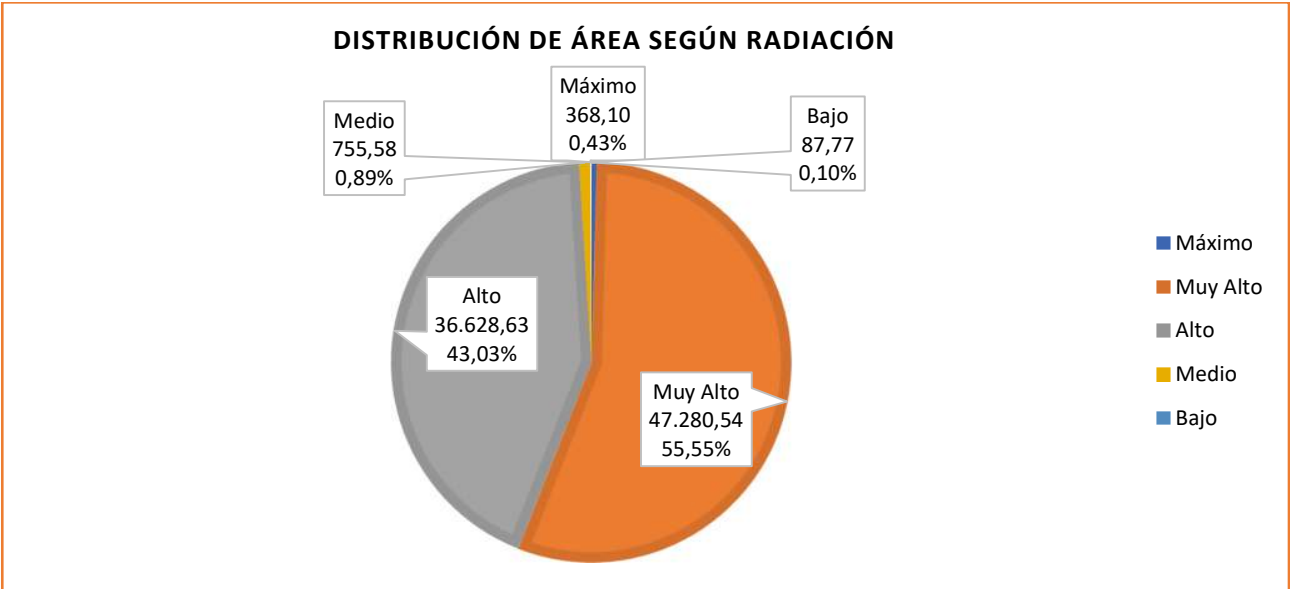


Ilustración 123 Distribución de Área según radiación que incide en el Meta. Elaboración Propia

El nivel máximo incide en una zona que se localiza entre los municipios de Puerto Gaitán, Puerto López y San Martín. El nivel Muy Alto incide en un área de 47.280,54 Km², se extiende desde el centro hacia todo el occidente del departamento abarcando los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López, San Martín, Puerto Gaitán, Castilla La Nueva, Acacias y parte de Villavicencio, al extremo oriental una zona en el municipio de Uribe. El nivel Alto incide en un área de más de 36.628,63 Km² se extiende desde el centro hacia el oriente del departamento, abarcando los municipios de San Juanito, El Calvario, Cumaral, Guamal, Cubarral, Lejanías del Castillo, Fuente de Oro, Mesetas, San Juan de Arama, Puerto Rico, Puerto Concordia, Vista Hermosa, la Macarena y parte de los municipios de Uribe, Acacias, Granada, Restrepo y Villavicencio. Los niveles Medio y Bajo inciden en 840 Km² aproximadamente se divide en tres zonas, la primera al norte entre los municipios de San Juanito, Restrepo, El Calvario y Cumaral, la segunda zona al límite oriental del departamento en los municipios de Guamal y Cubarral. La tercera zona en el límite sur del departamento en el municipio de Macarena.

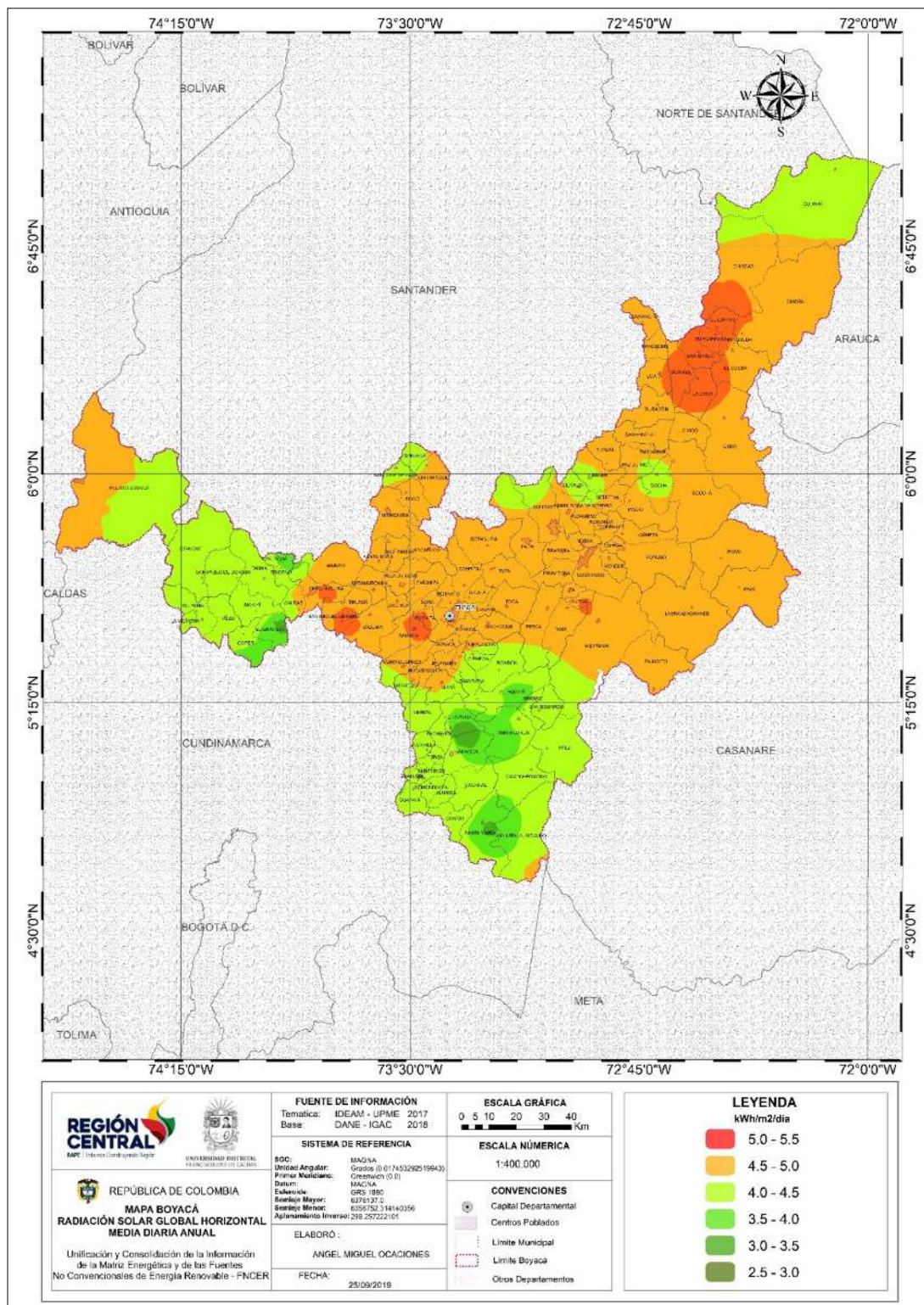
Nivel	Rad_kWh_m2	Area_Km2	%
Máximo	5.0 - 5.5	368,10	0,43%
Muy Alto	4.5 - 5.0	47.280,54	55,55%
Alto	4.0 - 4.5	36.628,63	43,03%
Medio	3.5 - 4.0	755,58	0,89%
Bajo	3.0 - 3.5	87,77	0,10%
TOTAL		85.120,62	100,00%

Ilustración 124 Distribución de Área según Radiación en el Meta. Elaboración Propia

La ciudad capital recibe niveles de radiación Muy Alto y Alto en una proporción de 40% y 60% respectivamente. Un problema con las estimaciones para el Meta es la poca cantidad de

estaciones que capturan los datos de radiación, se localizan un máximo de 10 sensores y todos concentrados en la parte centro - norte del departamento, por lo tanto, la confiabilidad de las zonas de radiación para gran parte del departamento puede ser mejoradas con más sensores distribuidas de manera estratégica.

7.7. Radiación Solar GH En Boyacá



Mapa 12 Distribución de Radiación Solar Global Media Diaria Anual en Boyacá

Boyacá presenta 5 niveles de radiación, donde la distribución del área según la radiación que incide está encabezada por el nivel Muy Alto presente en un 58% de su superficie, seguido del nivel Alto en un 32%, el nivel Máximo abarca un 4,7% y el nivel medio y bajo presente en un 4,5% del territorio.

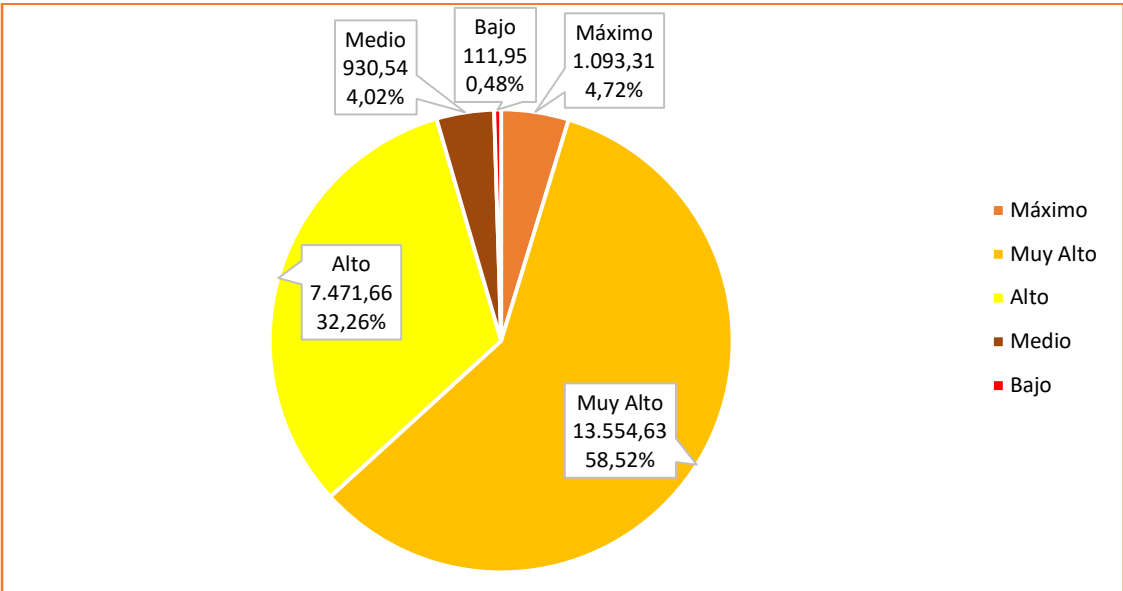


Ilustración 125 Distribución de Área según Radiación que incide en Boyacá. Elaboración Propia.

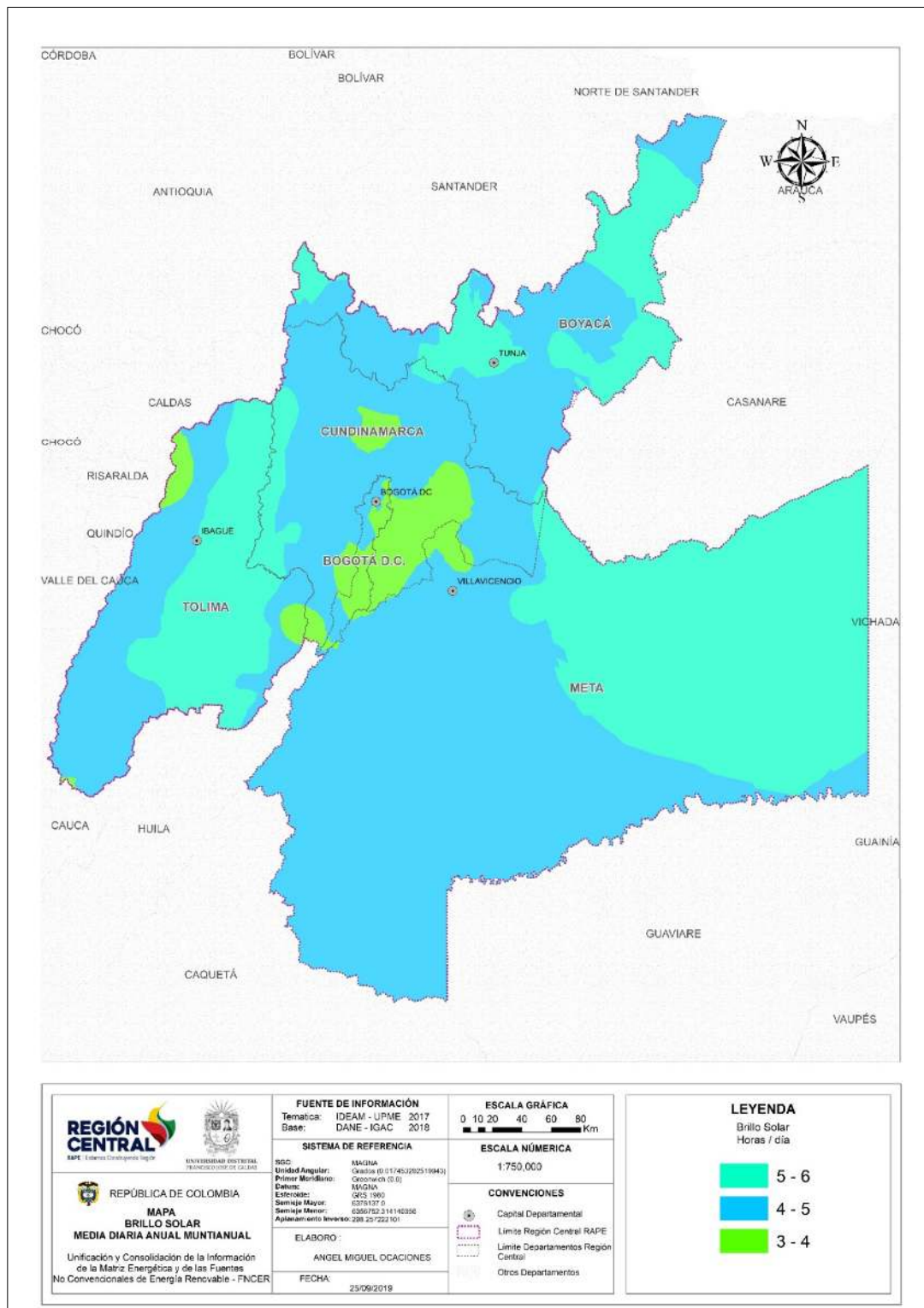
Después de Tolima, Boyacá es el departamento donde en más área incide un nivel máximo de radiación con 1.093 Km² distribuidos en 5 zonas la más extensa al noroccidente del departamento que abarca los municipios de El Espino, Guacamayas, Panqueba, Boavita, La Uvita y parte de Chicas. La segunda zona al centro del departamento con menos extensión se ubica entre los municipios de Cuítiva, Tota y Aquitania, incide parcialmente en los tres municipios. Al centro – occidente se encuentra una zona que abarca parcialmente los municipios de Cucaita y Samacá y al occidente se encuentran las dos últimas zonas con nivel máximo de radiación, la primera incide parcialmente entre los municipios de San Miguel de Sema, Ráquira y Tinjacá y la última abarca de manera parcial el municipio de Chiquinquirá. El nivel Muy Alto con 13.554 Km² abarca del centro hacia el noroccidente del departamento y al oriente una parte del municipio de Puerto Boyacá. El nivel Alto presente 7471 Km² se ubica del centro hacia el sur y gran parte del oriente del departamento. Los niveles Medio y Bajo presentes en 1040 Km² se ubican al sur y oriente de Boyacá, las zonas con menos disponibilidad de recurso solar se localizan en los municipios de Chinavita, Garagoa y Santa María al Sur; al oriente una zona dentro del municipio de Bellavista. En Tunja capital del departamento incide una radiación de nivel Muy Alto (Ver Mapa 12).

Nivel	Rad_kW h_m2	Area_Km 2	%
Máximo	5.0 - 5.5	1.093,31	4,72%
Muy Alto	4.5 - 5.0	13.554,63	58,52%
Alto	4.0 - 4.5	7.471,66	32,26%
Medio	3.5 - 4.0	930,54	4,02%
Bajo	3.0 - 3.5	111,95	0,48%
TOTAL		23.162,09	100%

Ilustración 126 Distribución de Área según Radiación en Boyacá. Elaboración Propia

La cantidad de sensores para la captura de datos de radiación al norte del departamento es bastante limitada por lo que las zonas de radiación estimadas pueden ser menos precisas que las del resto del departamento.

7.8. Brillo Solar



Mapa 13 Brillo Solar en la Región Central. Elaboración Propia [1]

El Brillo Solar es la cantidad de tiempo que la superficie recibe Radiación Solar directa (ver sección 4.2), esto quiere decir que es directamente proporcional con la cantidad de recurso solar, para el atlas 2015 la mediciones de potencial solar se tomaron datos de sensores de brillo y a partir de estos se obtuvo información de radiación solar global horizontal. Es la principal variable a la hora de implementar sistemas solares térmicos, también es importante en la toma de decisiones sobre el tipo de equipos fotovoltaicos, de acuerdo a este se seleccionan los componentes que mejor respaldan los periodos donde no se dispone del recurso solar. La Región Central cuenta con tres intervalos de brillo solar, donde el más bajo es de 3 a 4 horas diarias, a nivel nacional hay tres rangos por debajo de este. Seguido de un rango de 3-4 horas diarias y el más alto de entre 5-6 horas diarias, se puede considerar un nivel medio teniendo en cuenta que hay 4 rangos más altos en el país, este nivel predomina en gran parte del territorio nacional.

En la Región Central RAP-E el brillo solar en la mayor parte de la su superficie es de entre 4-5 horas al día, se presenta en los 5 departamentos, luego se encuentra el rango entre 5-6 horas por día, también presente en todos los departamentos pero en menor medida en Cundinamarca, el rango más bajo se divide en 4 zonas, la primera y más grande abarca el sur-occidente del departamento de Cundinamarca, el sur y parte de los cerros orientales de Bogotá DC y una mínima extensión del norte del Meta. La segunda zona se encuentra en la parte central de Cundinamarca, la tercera al límite noroccidental del Tolima y la más pequeña el extremo sur del departamento de Cundinamarca.

8. RESULTADOS

A partir de información geográfica y alfanumérica y utilizando herramientas de geoprocresamiento se logra una aproximación del potencial solar para la implementación sistemas fotovoltaicos en la Región Central RAP-E obteniendo:

- Se crea Visor Geográfico en el software ArcGIS donde quedan a disposición las capas de radiación solar para la Región Central RAP-E y de otras fuentes de energía con el fin que sea una herramienta de apoyo a los diferentes entes gubernamentales y al público en general para la implementación de sistemas y soluciones energéticas con FNCER. A este producto se puede acceder desde la siguiente URL:

<https://udistritalfjc.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=dc44e34795ee485a8db011aa15506b60>

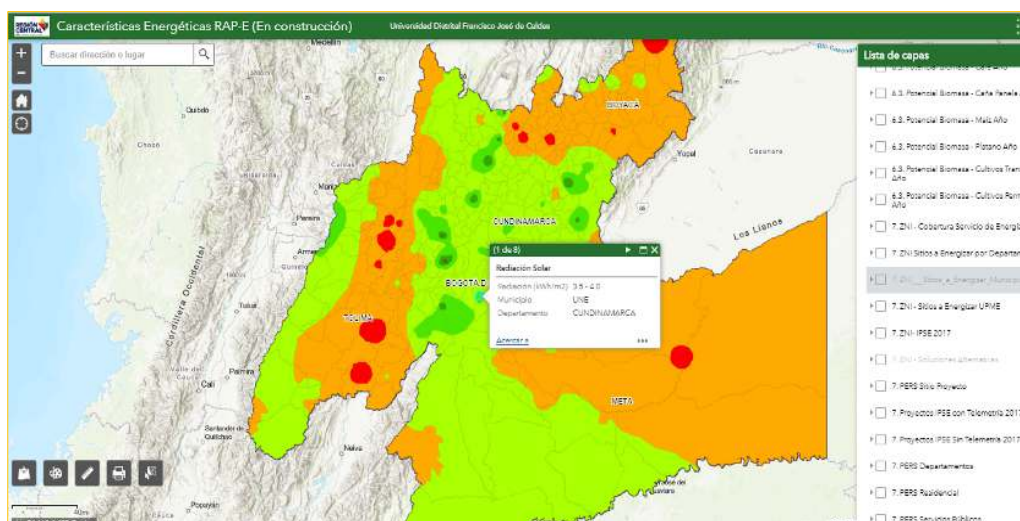


Ilustración 127 Geovisor Características Energéticas RAP-E. Elaboración Propia

- Se presentan 6 niveles de radiación, el que incide en mayor cantidad de superficie en la Región Central RAP-E es Muy Alto, presente en el 49% del territorio equivalente a más de 77.000 Km², enseguida está el nivel Alto abarcando el 45% con más 71.000 Km², luego el nivel Medio con 3,4% y más de 5.353 Km², el nivel Máximo incide en 1,75% del área con 2.739 Km², los niveles bajo y muy bajo inciden en 528 Km² (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

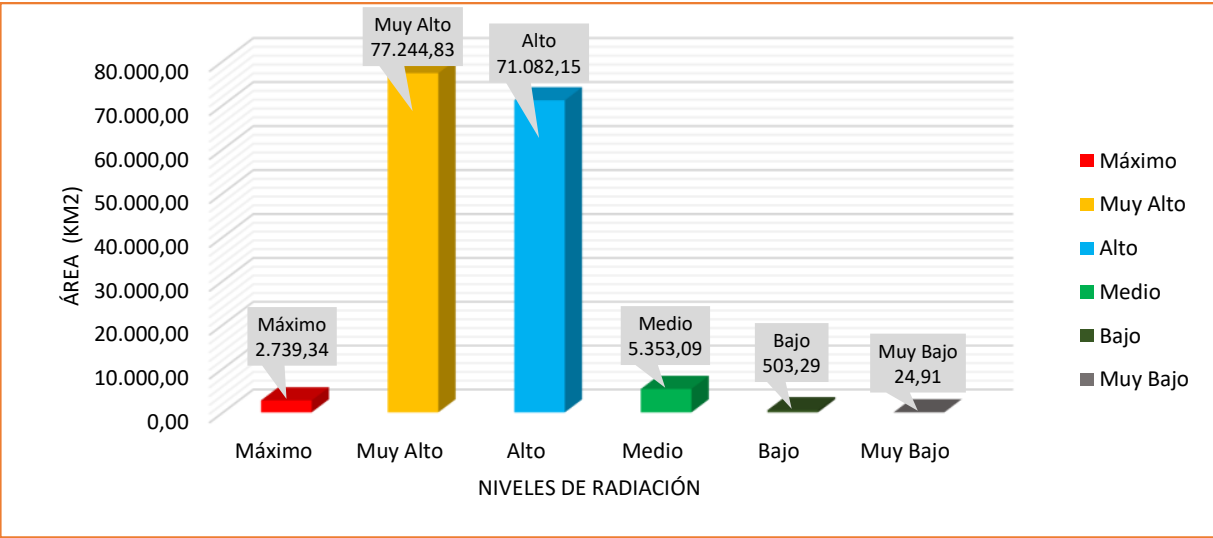


Ilustración 128 Distribución de Área en la Región Central RAP-E de acuerdo a nivel de radiación. Elaboración Propia

Nivel	Máximo	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Rango (kWh/m2/día)	5,0 - 5,5	4,5 - 5,0	4,0 - 4,5	3,5 - 4,0	3,0 - 3,5	2,5 - 3,0

Ilustración 129 Niveles de Radiación. Elaboración propia

Se logra determinar la distribución de superficie de acuerdo a los niveles de radiación en la Región Central RAP-E y su concentración por departamento.

Radiación Máxima

- ✓ De los 2.739,34 Km² que reciben una radiación máxima en la Región Central RAP-E en Tolima se concentran 1.276 Km² equivalentes al 46% de la superficie con esta radiación. Luego se encuentra Boyacá que concentra 1.093 Km² equivalente al 40%, el restante se concentra en los departamentos de Meta y Cundinamarca con 368 Km² y 1,25 Km² respectivamente, la capital del país no presenta este nivel de radiación (ver Ilustración 130).

Radiación Muy Alta

- ✓ El nivel Muy Alto incide en 77.244.83 Km² de la superficie de la región Central RAP-E, de estos 47.280 Km² se concentran en el departamento del Meta y corresponde al 61% de área con esta radiación, seguido de e los departamentos de Boyacá y Tolima con más de 13.000 y 12.000 Km² equivalentes al 17% y 16% respectivamente, la capital tampoco presenta este nivel de radiación (ver Ilustración 130)

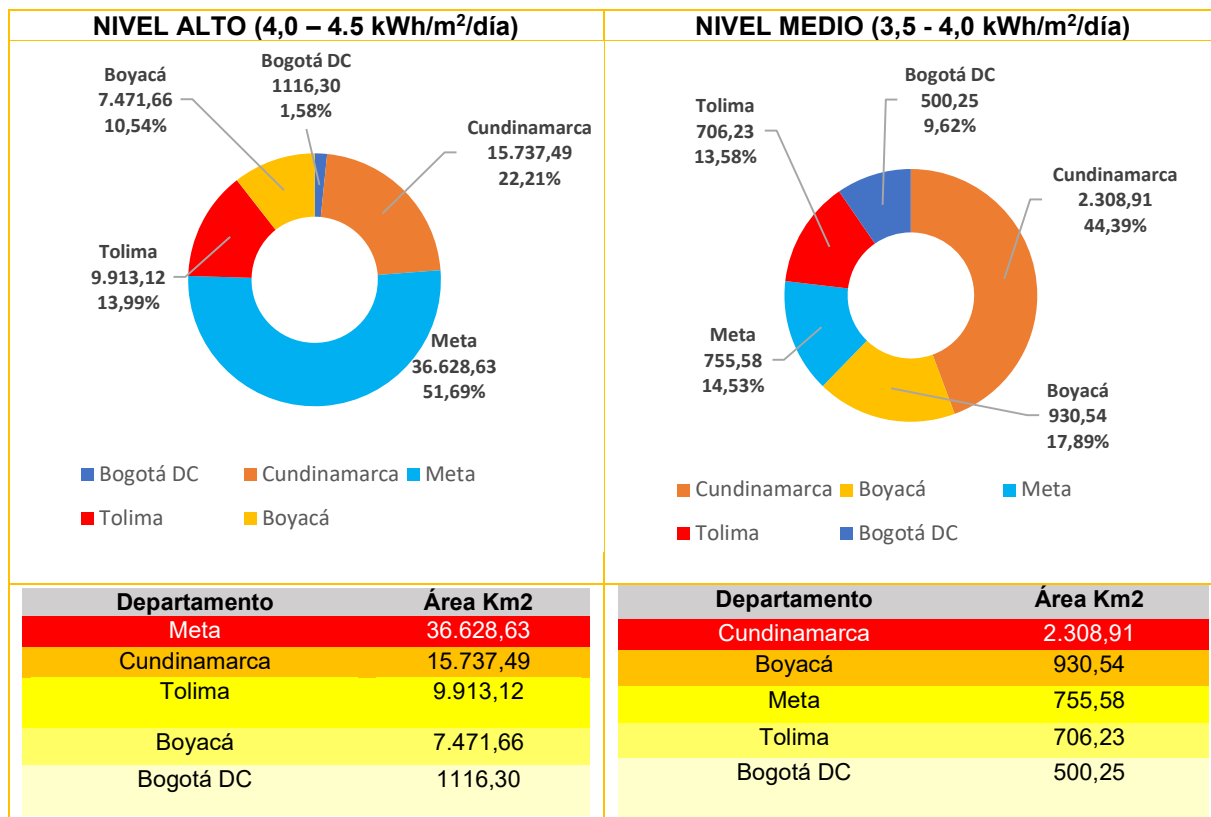


Ilustración 131 Distribución de Área según Radiación que incide en la Región Central y su concentración por Departamento.
Elaboración Propia

Radiación Baja

Presente en 3 de los 5 departamentos de la Región Central, la mayor parte de superficie que recibe este nivel de radiación se encuentra en el departamento de Cundinamarca con 307 Km² que representan un 61% de los 506 Km² totales, seguido de Boyacá y Meta con 122 Km² y 87 Km² que equivalen al 22% y 17% respectivamente, en Bogotá DC y Tolima no se presenta este nivel de radiación.

Radiación Muy Baja

Este nivel de radiación dentro de la Región Central solamente está presente en el departamento de Cundinamarca y abarca un total de 25 Km²aproximadamente.

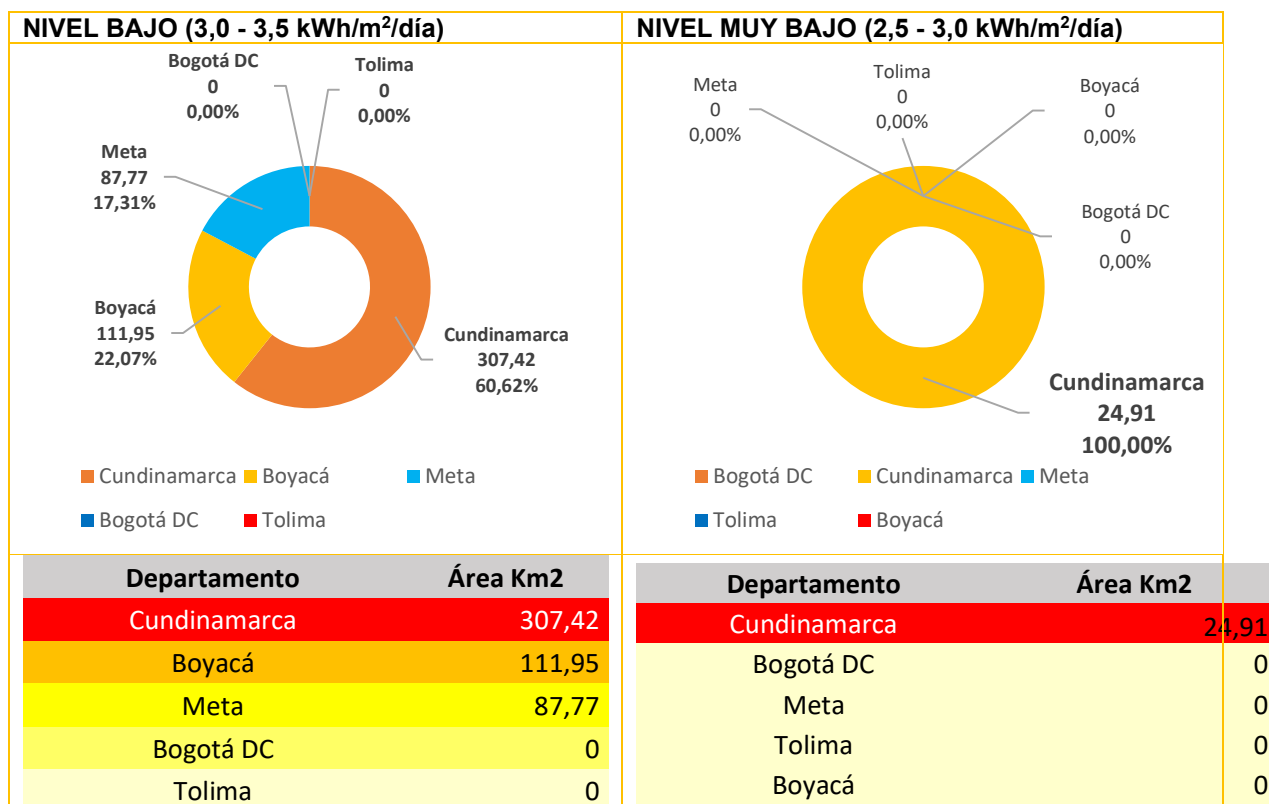


Ilustración 132 Distribución de Área según Radiación que incide en la Región Central y su concentración por Departamento de los niveles Bajo y Muy Bajo. Elaboración Propia

- El resultado de recurso solar para la Región Central se puede considerar más que bueno teniendo en cuenta que en más del 95% del territorio que la compone incide una radiación solar mayor a 4,0 kWh/m²/día, valor que está por encima del promedio mundial y que además está disponible la mayor parte del año gracias a la ubicación geográfica del país. Cabe aclarar que al momento de plantear un proyecto según su escala se deben evaluar diferentes variables como la topografía, la cantidad de sombras etc.; además del tipo de equipos que se instalen para mayor aprovechamiento de este recurso.
- A partir del potencial solar para la Región Central RAP-E se realiza una aproximación al potencial en las capitales departamentales y la ciudad de Girardot para Cundinamarca obtenido:

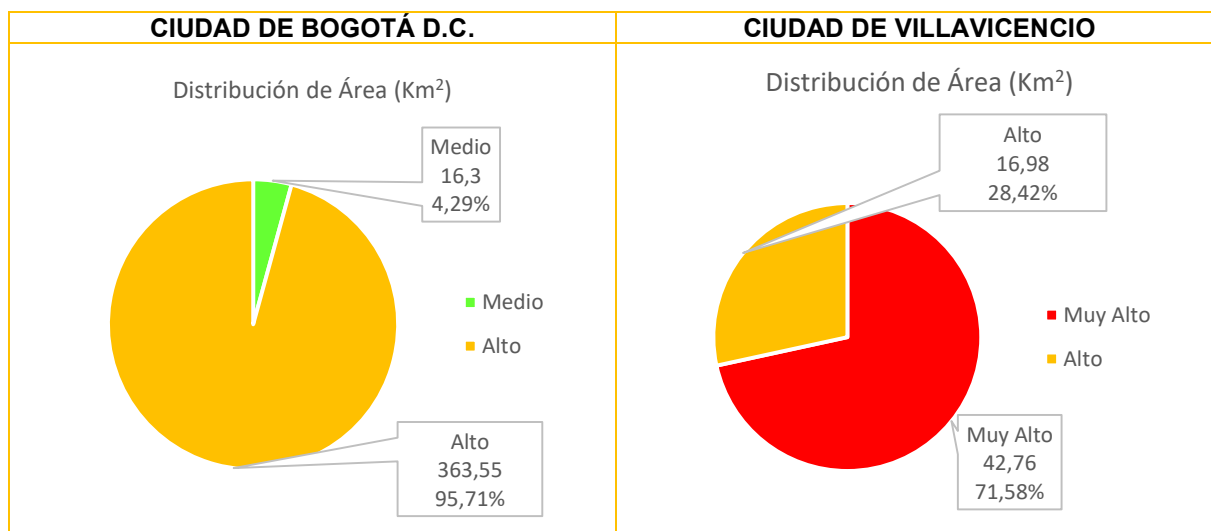


Ilustración 133 Recurso Solar Ciudad de Bogotá D.C. y ciudad de Villavicencio Elaboración Propia. Fuente [1]

Del proceso geográfico de la información de la ciudad de Bogotá D.C. y la distribución del recurso solar el 97% de suelo urbano de Bogotá D.C. incide una radiación de nivel alto (4,0-4,5 kWh/día), el 4.3% restante recibe un nivel medio (3,5-4,0 kWh/m²/día) en una zona que se ubica en las localidades de Candelaria de manera total, San Cristóbal, Santafé, Mártires y Antonio Nariño de manera parcial (ver Mapa 8).

En la ciudad de Villavicencio también se presentan dos niveles de radiación, donde el 43% del suelo urbano aproximadamente incide un nivel de radiación Muy Alto (4,5-5,0 kWh/m²/día) en una zona que abarca del centro hacia todo el occidente de la ciudad, y en el 17% restante un nivel Alto (4,0-4,5 kWh/día), que abarca del centro hacia la zona oriental de la ciudad (Ver Mapa 11).

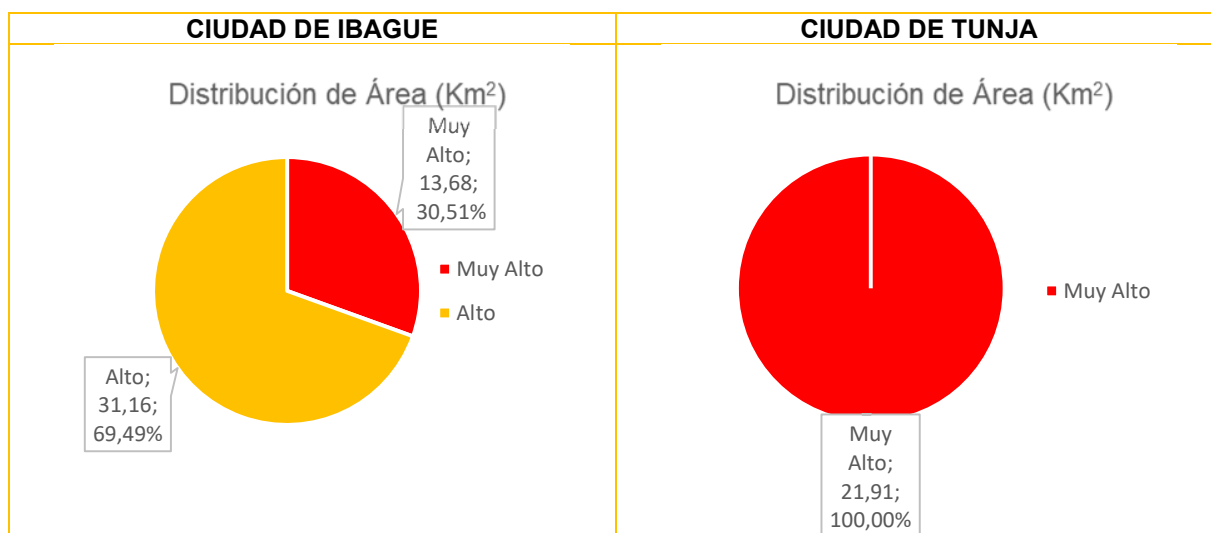


Ilustración 134 Recurso Solar Ciudad de Ibagué y Ciudad de Tunja. Elaboración Propia. Fuente [1]

En la capital del Tolima la distribución de área según la radiación que incide se distribuye en dos niveles, un 14% con nivel Muy Alto (4,5-5,0 kWh/m²/día), del centro hacia el oriente de la ciudad, y el 86% restante recibe un nivel de radiación Alto (4,0-4,5 kWh/día) (Ver Mapa 10).

Tunja por su parte en toda su área urbana incide una radiación de Nivel Muy Alto (4,5-5,0 kWh/m²/día) (Ver Mapa 12).

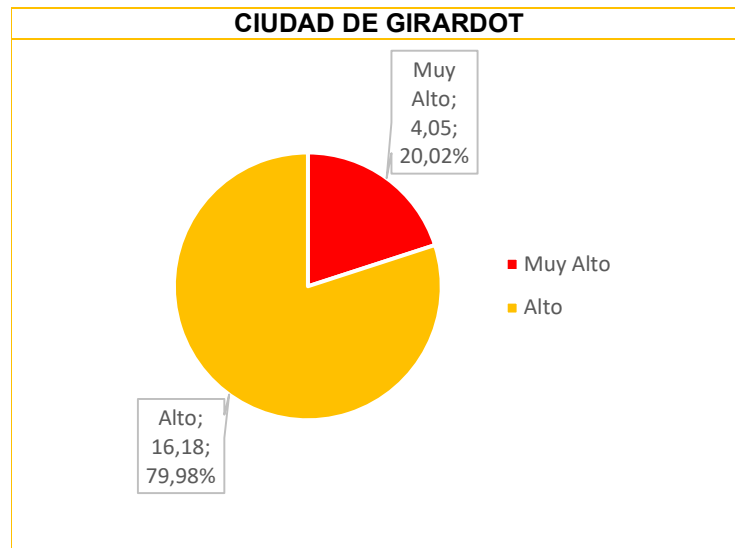


Ilustración 135 Recurso Solar Ciudad de Girardot.
Elaboración Propia. Fuente [1]

Para el departamento de Cundinamarca se seleccionó una ciudad intermedia, ya que Bogotá D.C. es un ente territorial con trato diferente por ser la capital. El resultado que se obtuvo para Girardot es una distribución de área según radiación del 20% con un nivel Muy Alto dividido en cuatro zonas, dos pequeñas, la primera al noroccidente de la y la otras al suroccidente de la ciudad, y las otras dos zonas hacia la parte oriental la más grande el extremo sur. El 80% restante con nivel Alto, que abarca todo el centro de esta ciudad (ver Mapa 9).

En resumen, las aproximaciones de potencial para estas ciudades permitan ver el gran potencial que tienen para la implementar sistemas fotovoltaicos, la que mejor nivel de radiación tiene es Villavicencio donde en 42 Km² incide un nivel Muy Alto de radiación, seguida de Tunja e Ibagué con 21 Km² y 13 Km² respectivamente. En Girardot en 4 Km² aproximadamente también incide un nivel de radiación Alto.

Algo que llama la atención es que las dos ciudades capitales con los mejores niveles de radiación son las que menos proyectos considerables en capacidad instalada de techos solares tienen en funcionamiento según lo investigado para este documento.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La Región Central RAP-E al igual que la mayor parte del país cuenta con un excelente recurso solar, como se evidencio en el desarrollo del documento la mayor parte del territorio presenta niveles de radiación solar global más altos que el promedio mundial y que muchos países que sacan provecho a rangos más reducidos con una capacidad instalada de GW.

- Se evidencia la necesidad en la Región Central RAP-E de fortalecer la red de sensores que capturan datos de radiación solar, el departamento del Meta en su gran mayoría no cuenta con este tipo de estaciones por tal razón las estimaciones del potencial pierden exactitud. Lo mismo sucede al norte de Boyacá y el occidente de Tolima, en este último empresas privadas de fuera del departamento dedicadas a la producción café y arroz suministraron los datos para el estudio.
- La metodología utilizada por PERS Cundinamarca para la determinación de la FNCER a utilizar en las ZNI puede ser muy útil en análisis de otros proyectos en su factibilidad.
- Además de la normativa y legislación para incentivar el uso de FNCER los diferentes entes gubernamentales pueden pensar en proyectos solares del orden de techos solares en instalaciones públicas o como alternativa de alto impacto en poblaciones en crecimiento, esto ya que la iniciativa de proyectos de mediana y gran escala de energía solar fotovoltaica vienen del sector privado, con excepción de algunos pequeños proyectos ejecutados por IPSE y PERS como soluciones a sitios no energizados y de ZNI.
- La determinación del potencial en techos urbanos es una estimación útil para la Región Central, en la cual se sugiere aplicar un estudio en ciudades intermedias utilizando datos más actuales buscando mejorar su precisión y exactitud, respecto a los supuestos utilizados en el ejercicio para Colombia realizado por la UPME *pg. 68*.
- Con la aproximación del potencial solar en las capitales departamentales se puede generar la propuesta para aprovechar mejor este recurso en ciudades como Villavicencio, Tunja e Ibagué. Especialmente en la capital del Meta que se encuentra rezagada según los resultados de la investigación realizada.
- A partir de geoprocetamiento de datos se pueden determinar las áreas de techos urbanos de bienes públicos como colegios, hospitales, bibliotecas, instalaciones deportivas, etc ubicadas en zonas de alto potencial solar y obtener una aproximación para el aprovechamiento en la generación de energía eléctrica.
- La gestión para la compra de excedentes por parte de los operadores de Red es indispensable para incentivar el uso de este tipo de tecnología, así como la modernización y adecuación del SIN.
- La necesidad de realizar estudios a una escala más detallada para medir el potencial solar en las ciudades es muy importante ya que se deben tener en cuenta otras variables y con una precisión exactitud más alta.
- Sería importante realizar un seguimiento a las razones por las cuales muchos proyectos de baja capacidad de generación pierden su vigencia y contrarrestarlas para que esta cifra baje. En muchos de los países que tienen varios GW de capacidad instalada con sistemas fotovoltaicos una buena parte la aportan los pequeños sistemas incluyendo los ubicados en techos que individualmente son de un orden de generación muy bajo.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] I. de H. M. y E. A. IDEAM and U. de P. M. E. UPME, "Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia," 2017.
- [2] "Capex frente a opex | energyst.com." [Online]. Available: <https://www.energyst.com/es/noticias/capex-frente-a-opex/>. [Accessed: 23-Jun-2020].
- [3] "Tasa interna de retorno (TIR) - Qué es, definición y concepto | Economipedia." [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>. [Accessed: 23-Jun-2020].

- [4] "Valor presente neto VPN | ABCFinanzas.com." [Online]. Available: <https://www.abcf Finanzas.com/administracion-financiera/valor-presente-neto>. [Accessed: 23-Jun-2020].
- [5] U. A. Santiago, (UAG); J.M. Sautto, "Estimación del Costo Nivelado por Generación de Energía Eléctrica en Aerogeneradores: Evidencia Empírica de México," vol. 7, p. 13, 2012.
- [6] Ar. MCS Andres Ríos, "Introducción Modelos de Negocio Energía Solar Temas," p. 60, 2018.
- [7] S. Sdsadsadasda, C. E. O. Suncol, and E. Bogot, "Modelos de negocios de la energía solar y oportunidades de emprendimiento en la nueva realidad," 2018.
- [8] "Conoce cómo un contrato PPA optimiza el costo de Energía Eléctrica y todos los beneficios que este modelo trae a las empresas colombianas. • GreenYellow." [Online]. Available: <https://greenyellow.co/contrato-ppa/>. [Accessed: 22-Jun-2020].
- [9] "Banco de segundo piso - Qué es, definición y concepto | Economipedia." [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/banco-de-segundo-piso.html>. [Accessed: 23-Jun-2020].
- [10] "Banco de Segundo Piso." [Online]. Available: <https://www.bancoagrario.gov.co/BancoSegundoPiso/Paginas/default.aspx>. [Accessed: 23-Jun-2020].
- [11] R. E. N. Members, *Renewables 2019 Global Status Report*. 2019.
- [12] 21 REN et al., *REN21: Renewables 2018 · Global Status Report*. 2018.
- [13] R. M. 21, *RENEWABLES EN CITIES, 2019 GLOBAL STATUS REPORT*. 2019.
- [14] IRENA; Renewable Energy Agency, "Renewable Capacity Highlights (31 March 2020)," no. March, pp. 1–3, 2020.
- [15] Unidad de Planeación Minero Energética. Ministerio de Minas y Energía. Colombia., *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia*. 2015.
- [16] "Inscripción de proyectos de Generación," 2019. [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generación/InscripcióndeproyectosdeGeneración/tabid/113/Default.aspx>. [Accessed: 21-Jun-2020].
- [17] "Histórico 2019: Colombia activó su planta de energía solar más grande – ENERGIA LIMPIA XXI," 2019. [Online]. Available: <https://energialimpiaparatodos.com/2019/12/29/historico-2019-colombia-activo-su-planta-de-energia-solar-mas-grande/>. [Accessed: 21-Jun-2020].
- [18] "¿Qué Es Una Granja Solar? -." [Online]. Available: <https://gstriatum.com/2012/12/19/que-es-una-granja-solar/>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [19] "ENEL GREEN POWER INAUGURA EL PASO SOLAR, LA PLANTA FOTOVOLTAICA MÁS GRANDE DE COLOMBIA | Andesco | Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones." [Online]. Available: <https://www.andesco.org.co/2019/04/05/enel-green-power-inaugura-el-paso-solar-la-planta-fotovoltaica-mas-grande-de-colombia/>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [20] "cuál es la planta solar más grande de Colombia." [Online]. Available: <https://www.dinero.com/pais/articulo/cual-es-la-planta-solar-mas-grande-de-colombia/269420>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [21] "La planta fotovoltaica más grande de Colombia fue inaugurada en El Paso, Cesar | Región Caribe." [Online]. Available: <https://regioncaribe.com.co/la-planta-fotovoltaica-mas-grande-de-colombia-fue-inaugurada-en-el-paso-cesar/>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [22] "Min Energía fotovoltaica Paso Cesar." [Online]. Available: https://id.presidencia.gov.co/obras/MinEnergia_fotovoltaicaPaso.html. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [23] "Inicia operaciones Celsia Solar Bolívar, la nueva granja de generación de energía solar de Celsia para beneficio de los colombianos." [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/inicia-operaciones-celsia-solar-bol237var-la-nueva-granja-de-generaci243n-de-energ237a-solar-de-celsia-para-beneficio-de-los-colombianos>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [24] "Infográficos." [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/Infograficos>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [25] "EPM desarrolla en El Peñol, Antioquia, el primer piloto de parque solar flotante en Hispanoamérica." [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/colombia-potencia-energetica/epm-desarrolla-en-el-penol-antioquia-el-primer-piloto-de-parque-solar-flotante-en-hispanoamerica-2966396>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [26] "EPM innova con el primer piloto de parque solar flotante." [Online]. Available: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-innova-con-el-primer-piloto-de-parque-solar-flotante>. [Accessed: 01-Jul-2020].

- [27] “¿En qué va el proyecto de paneles solares flotantes en el embalse Peñol – Guatapé? – DiariOriente.” [Online]. Available: <https://diarioriente.com/embalses/en-que-va-el-proyecto-de-paneles-solares-flotantes-en-el-embalse-penol-guatape.html>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [28] “Empezó a generar energía Celsia Solar Yumbo, primera granja fotovoltaica de Colombia.” [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/empez243-a-generar-energ237a-celsia-solar-yumbo-primera-granja-fotovoltaica-de-colombia>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [29] “Colombia con planta de energía solar más grande y moderna.” [Online]. Available: <http://www.cocier.org/index.php/en/noticias-de-cocier/350-colombia-con-planta-de-energia-solar-mas-grande-y-moderna>. [Accessed: 01-Jul-2020].
- [30] “Impresionante techo solar en Centro de Convenciones de Cartagena Colombia – ENERGIA LIMPIA XXI.” [Online]. Available: <https://energialimpiaparatodos.com/2019/02/15/impresionante-techo-solar-en-centro-de-convenciones-de-cartagena-colombia/>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [31] “Conoce el techo solar que suple de energía al Centro de Convenciones Cartagena de Indias - Eficiencia energética y energía solar en Colombia.” [Online]. Available: <https://blog.celsia.com/new/techo-solar-centro-convenciones-cartagena/>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [32] “Nuestra Fábrica Rionegro tiene el techo solar más grande de Antioquia – Compañía Nacional de Chocolates.” [Online]. Available: <https://www.chocolates.com.co/actualidad/nuestra-fabrica-rionegro-tiene-el-techo-solar-mas-grande-de-antioquia/>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [33] “Grupo Nutresa y Celsia inauguran el techo de energía solar más grande de Antioquia.” [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/grupo-nutresa-y-celsia-inauguran-el-techo-de-energ237a-solar-m225s-grande-de-antioquia>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [34] “En Rionegro está el techo solar más grande de Antioquia | MiOriente.” [Online]. Available: <https://mioriente.com/altiplano/rionegro/en-rionegro01-esta-el-techo-solar-mas-grande-de-antioquia.html>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [35] “Tecnoglass invertirá US\$15 millones en la generación de energía renovable.” [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/empresas/tecnoglass-invertira-us15-millones-en-la-generacion-de-energia-renovable-2537168>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [36] “Colombia y el auge de las energías renovables.” [Online]. Available: <https://www.semana.com/economia/articulo/colombia-y-el-auge-de-las-energias-renovables/522730>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [37] “GreenYellow construye la planta solar más grande sobre cubierta en un centro comercial en Riohacha » Revista Entornos.” [Online]. Available: <http://revistaentornos.com/greenyellow-construye-la-planta-solar-mas-grande-sobre-cubierta-en-un-centro-comercial-en-riohacha/>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [38] “Centro comercial Viva Wajira • GreenYellow.” [Online]. Available: <https://greenyellow.co/proyecto/centro-comercial-viva-wajira/>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [39] “Mallplaza Cartagena y Celsia instalan el techo de paneles solares más grande en centros comerciales del país.” [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/mallplaza-cartagena-y-celsia-instalan-el-techo-de-paneles-solares-m225s-grande-en-centros-comerciales-del-pa237s>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [40] “Presentan nuevo espacio comercial con el techo solar más grande de Colombia | ACR Latinoamérica.” [Online]. Available: <https://www.acrlatinoamerica.com/201811208392/noticias/empresas/presentan-nuevo-espacio-comercial-con-el-techo-solar-mas-grande-de-colombia.html>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [41] “El Valle del Cauca busca ser líder en energía solar - Agencia de noticias Universidad Autónoma de Occidente.” [Online]. Available: <https://boletines.uao.edu.co/noticias/valle-del-cauca-busca-lider-energia-solar/>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [42] “Celsia pone en operación segunda fase de techos solares en Universidad Autónoma de Occidente.” [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/celsia-pone-en-operaci243n-segunda-fase-de-techos-solares-en-universidad-aut243noma-de-occidente>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [43] “Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia - Celsia - Eficiencia energética.” [Online]. Available: <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>. [Accessed: 03-Jul-2020].
- [44] G. de E. Ecopetrol, “Energía Renovables en el Grupo Empresarial de Ecopetrol (GEE),” 2019.
- [45] “Portal Ecopetrol.” [Online]. Available:

- <https://www.celsia.com/es/Proyectos/Celsia-Solar-Espinal>. [Accessed: 05-Jul-2020].
- [47] "Se avanza el mega proyecto de energía solar en El Espinal | Alerta Tolima." [Online]. Available: <https://www.alertatolima.com/noticias/tolima/se-avanza-el-mega-proyecto-de-energia-solar-en-el-espinal>. [Accessed: 05-Jul-2020].
- [48] "Min Interior -Certificacion_0727_de_2019.pdf." .
- [49] "Celsia instala su primer techo solar en el Tolima." [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/celsia-instala-su-primer-techo-solar-en-el-tolima>. [Accessed: 05-Jul-2020].
- [50] Celsia; Opain; GreenYellow, "Proyecto Solar OPAIN – Aeropuerto El Dorado," pp. 1–29, 2018.
- [51] Celsia; Odinsa; El dorado, "Celsia y Odinsa inician en El Dorado el proyecto de energía solar en aeropuertos más grande de América Latina," 2018. [Online]. Available: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/celsia-y-odinsa-inician-en-el-dorado-el-proyecto-de-energia237a-solar-en-aeropuertos-m225s-grande-de-am233rica-latina>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [52] J. G. Mora, "Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA," *Resolución 822*, no. 3382, p. 65, 2013.
- [53] "Comestibles Italo y Codensa desarrollaron el proyecto de energía solar más grande de Bogotá - enel.com.co." [Online]. Available: <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d201804-comestibles-italo-y-codensa-desarrollaron-el-proyecto-de-energa-solar-ms-grande-de-bogot.html>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [54] J. G. Mora, *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA Res. 1661*, no. 3382. 2013.
- [55] "Home | Tunja | CC Viva." [Online]. Available: <https://www.ccviva.com/tunja/eventos/leed-gold>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [56] "Terminal de Transportes de Villavicencio le apuesta a la energía solar | Periodico del Meta." [Online]. Available: <https://periodicodelmeta.com/terminal-de-transportes-de-villavicencio-le-apuesta-a-la-energia-solar/>. [Accessed: 04-Jul-2020].
- [57] I. Cop and Cota-cundinamarca, "Empresa de Licores de Cundinamarca Informe COP 2018 Sede principal Municipio de Cota-Cundinamarca," 2018.
- [58] "Empresa de licores de Cundinamarca funcionará con paneles solares." [Online]. Available: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/empresa-de-licores-de-cundinamarca-funcionara-con-paneles-solares/261358>. [Accessed: 05-Jul-2020].
- [59] "Proyectos FAZNI - IPSE." [Online]. Available: http://www.ipse.gov.co/proyectos/fazni-estado?option=com_joodb&view=catalog&format=html&reset=false&ordering=&orderby=&Itemid=500&task=&search=BOYACA&searchfield=Departamento&limit=0. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [60] SSPD, *Zonas No Interconectadas - ZNI: Diagnóstico de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica 2019*. 2019.
- [61] C. de la R. de Colombia, "Ley 1715 de 2014," *TAPPI J.*, vol. 13, no. 5, 2014.
- [62] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, *Guía Para Elaboración De Un Plan*. 2015.
- [63] U. D. F. J. de C. UPME, Unidad de Planeamiento Minero Energetico, "Plan de Energización Rural del departamento de Cundinamarca," no. 40, 2016.
- [64] L. I. G. Torres, P. J. G. Prieto, and Universidad Distrital Francisco José de Caldas, "Desarrollo e Implementación de un Sistema De Información Geográfica en Línea Como Apoyo al Desarrollo del Plan de Energización Rural Sostenible del Departamento de Cundinamarca- UDFJC-UPME," pp. 1–14, 2017.
- [65] O. Liliana *et al.*, "Estudio Sectorial sobre resultados e Impacto de los Planes de Energización Rural Sostenibles -PERS-Contraloría General de la República," pp. 1–36, 2019.
- [66] "SIG - PERS Cundinamarca." [Online]. Available:

- <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=3fca3816d32b4b32a10501a2f0133302>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [67] C. (Corporación A. de Cundinamarca), "Instalado sistema de energía solar en tres instituciones de Jerusalén | CAR." [Online]. Available: <https://www.car.gov.co/saladeprensa/instalado-sistema-de-energia-solar-en-tres-instituciones-de-jerusalen>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [68] "El Ocad Paz aprobó recursos por \$34 mil millones para proyectos de energía solar fotovoltaica e infraestructura para el Meta, Cesar y Sucre." [Online]. Available: <https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2020/Ocad-Paz-aprobo-recursos-34-mil-millones-pesos-proyectos-energia-solar-fotovoltaica-infraestructura-Meta-Cesar-Sucre-200605.aspx>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [69] M. Vazquez, M. Hallack, G. Andreão, and A. Tomelin, "Financiamiento de la transición a energía renovable en la Unión Europea , América Latina y el Caribe Financiamiento de la transición a energía renovable en la Unión Europea , América Latina y el Caribe," 2018.
- [70] E. DNP, Departamento Nacional de Planeación, "Green_Growth_Policy Proposals," pp. 1–9, 2019.

11. IMPORTANCIA DE REFERENCIAS

La clasificación de las referencias se da de acuerdo a lo importantes que son en el tema desarrollado, ubicándolas en la tabla de la más a la menos importante en el documento.

IMPORTANCIA DE LA REFERENCIAS		
ORDEN	DESCRIPCIÓN	AÑO
[1]	El Atlas muestra la medición de la radiación solar global en Colombia al año 2017 siendo la investigación más actual para este tipo de energético, realizado por entidades oficiales como la UPME y el IDEAM y apoyado por importantes instituciones educativas se explica de manera detallada el método, los sensores y los resultados obtenidos. En los objetivos del estudio se encuentra brindar un recurso para el aprovechamiento energético solar en el país, lo cual va en línea con el presente trabajo ya que se busca determinar el potencial solar FV en la Región Central.	2017
[12]	Es un reporte internacional al año 2018 que evalúa los mercados de las FNCER en todo el mundo, se muestran aspectos como capacidad instalada, políticas, potencias, barreras, expectativas, etc. por continentes regiones y países lo que permite conocer el contexto intencional y Colombia respecto a este en la implementación de las FNCER en especial la energía solar FV.	2018
[15]	La importancia de este reporte elaborado por la UPME viene dada por los indicadores y aspectos del mercado de la energía solar FV en Colombia en este se detallan variables a nivel nacional como normativa, costos, beneficios, externalidades, sistemas, proyectos, barreras, incentivos, proyecciones y más información para dar un diagnóstico de las FNCER para Colombia especialmente la solar FV.	2015
[13]	Reporte internacional que muestra indicadores de las principales ciudades con FNCER evalúa aspectos como las oportunidades de mercado, aplicaciones y modelos de negocio para la transición energética en las áreas urbanas.	2019
[69]	Estudio más reciente para América Latina y el Caribe que muestra el estado de las FNCER y detalla aspectos que de las dinámicas energéticas para Suramérica y la posición de Colombia respecto al resto del continente y hace un análisis de las políticas en cada país y su impacto en la implementación de las energías limpias.	

[63]	El PERS Cundinamarca es un proyecto para uno de los departamentos que integran la RAPE y en el cual como parte de los resultados esta la determinación de lugares para desarrollar proyectos solares FV como solución para zonas del departamento no energizadas.	
[70]	Análisis en detalle de propuestas de normativa y políticas para Colombia para implementación y promoción de las FNCER en Colombia. Estudio del Departamento Nacional de Planeación	

Ilustración 136 Relevancia de las Fuentes de Información

12. ENTIDADES Y ACTORES

En la siguiente tabla se muestran los principales actores en el tema desarrollado, a cada uno se la da una calificación según su grado de importancia en la investigación, donde 10 es muy importante y en la medida que disminuye el número es menor su importancia en el documento.

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME	https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx	Pública	Nacional	Energético	La UPME es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto número 1258 de junio 17 de 2013. Tiene por objeto planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos; producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones; y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en el logro de sus objetivos y metas.	10
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	IDEAM	http://www.ideam.gov.co/web/entidad/entidad	Pública	Nacional	Ambiental	El IDEAM es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.	8

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas	IPSE	http://www.ips.gov.co/	Pública	Nacional	Energía Eléctrica	Atiende las necesidades energéticas de los habitantes que no cuentan con este servicio; identificando, implementando y monitoreando soluciones energéticas sostenibles con criterios de eficacia, eficiencia y efectividad en las Zonas no Interconectadas- ZNI, mejorando las condiciones de vida de sus pobladores, construyendo paz y equidad en el país, a su vez impulsando el uso de las energías renovables con el fin de que Colombia goce de energías limpias y combata la emisión de gases de efecto invernadero aportando así a los compromisos de la meta impuesta en el COP21.	9
Instituto Geográfico Agustín Codazzi	IGAC	https://igac.gov.co/noticias/produccion-agropecuaria-en-los-grandes-distritos-de-riego-de-colombia-ha-sido-improvisada	Pública	Nacional	Geográfico	El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia; elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble; realizar el inventario de las características de los suelos; adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial; capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE).	7
Agencia Internacional de Energía	IEA	https://www.iea.org/	Privada	Internacional	Energético	La AIE examina todo el espectro de problemas energéticos, incluidos el suministro y la demanda de petróleo, gas y carbón, las tecnologías de energía renovable, los mercados de la electricidad, la eficiencia energética, el acceso a la energía, la gestión del lado de la demanda y mucho más. A través de su trabajo, la AIE aboga por políticas que	8

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
						mejorarán la confiabilidad, la asequibilidad y la sostenibilidad de la energía en sus 30 países miembros y más allá.	
Organización Latinoamericana de Energía	OLADE	http://www.olade.org/olade/	Pública	Internacional	Ambiental y social	Contribuir a la integración, al desarrollo sostenible y la seguridad energética de la región, asesorando e impulsando la cooperación y la coordinación entre sus Países Miembros.	9
Banco Interamericano de Desarrollo	BID	https://www.iadb.org/es	Pública	Internacional	Ambiental y social	Trabajamos para mejorar la calidad de vida en América Latina y el Caribe. Ayudamos a mejorar la salud, la educación y la infraestructura a través del apoyo financiero y técnico a los países que trabajan para reducir la pobreza y la desigualdad. Nuestro objetivo es alcanzar el desarrollo de una manera sostenible y respetuosa con el clima.	7
Comisión Económica para América Latina y el Caribe	CEPAL	https://www.cepal.org/es	Pública	Internacional	Ambiental y social	Se fundó para contribuir al desarrollo económico de América Latina, coordinar las acciones encaminadas a su promoción y reforzar las relaciones económicas de los países entre sí y con las demás naciones del mundo. Posteriormente, su labor se amplió a los países del Caribe y se incorporó el objetivo de promover el desarrollo social.	7
Renewables Energy	REN21	https://www.ren21.net/about-us/who-we-are/	Pública	Internacional	Energético	Formado por una comunidad mundial de organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales industria ciencia y academia es una red global que proporciona información actualizada y de alta calidad para dar forma al debate energético.	8
Autoridad Nacional de	ANLA	http://www.anla.gov.co/	Pública	Nacional	Ambiental y social	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA es la encargada de	10

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Licencias Ambientales						que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del País.	
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	CAR	https://www.car.gov.co	Pública	Regional	Ambiental y social	Ejerce como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región.	9
CELSIA	CELSIA	https://www.celsia.com/	Privada	Internacional	Gestión de administración	Celsia es la empresa de energía del Grupo Argos, la cual incluye el uso de energías renovables y la eficiencia energética. Genera y transmite energía eficiente de fuentes renovables con respaldo térmico. Además, asesorar en el hogar, empresas o proyectos urbano para que se conecten con ventajas de la nueva era de la energía.	7
Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación	COLCIENCIAS	https://www.colciencias.gov.co/quienes_somos/sobre_colciencias/funciones	Pública	Nacional	Gestión de administración	Formular e impulsar las políticas de corto, mediano y largo plazo del Estado en CTel, para la formación de capacidades humanas y de infraestructura, la inserción y cooperación internacional y la apropiación social de la CTel para consolidar una sociedad cuya competitividad está basada en el conocimiento, el desarrollo tecnológico y la innovación.	7
Comisión de Regulación de Energía y Gas	CREG	http://www.creg.gov.co	Pública	Nacional	Normatividad	Funciona como entidad regulatoria para los recursos energéticos buscando brindar garantías a los usuarios que hagan uso de los mismos.	7

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Compañía de Expertos en Mercados	XM	https://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Nuestra-empresa/quienes-somos.aspx	Privada	Nacional	Energía Eléctrica	Realiza la gestión de sistemas en tiempo real consistente en la planeación, diseño, optimización, puesta en servicio, operación, administración o gerenciamiento de sistemas transaccionales o plataformas tecnológicas, que involucran el intercambio de información con valor agregado, y mercados de bienes y servicios relacionados.	8
Departamento Administrativo Nacional de Estadística	DANE	https://www.dane.gov.co/	Pública	Nacional	Gestión de administración	Planea, implementa y evalúa procesos rigurosos de producción y comunicación de información estadística a nivel nacional	7
Empresa Colombiana De Petróleos S.A.	ECOPETROL	https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es	Mixta	Nacional	Hidrocarburos	Presenta actividades comerciales o industriales, correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.	5
Fundación Unión Europea-América Latina y el Caribe	EU-LAC	https://eulacfoundation.org/en	Pública	Internacional	Ambiental y social	El objetivo de la Fundación es transformar la asociación estratégica entre la Unión Europea, América Latina y el Caribe, que se llevó a cabo en 1999, en una realidad vigorizada y visible que cuenta con la participación activa de las respectivas sociedades.	7
Ministerio De Minas Y Energía	MinMinas	https://www.minenergia.gov.co	Pública	Nacional	Energético	Su función consiste en la formación y adopción de políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para la contribución del desarrollo económico y social del país.	6
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	PNUD	https://www.undp.org/content/undp/es/home.html	Mixta	Internacional	Gestión de administración	Este organismo, apoya a los países con soluciones integradas. Esto significa que centra en las causas profundas, para crear soluciones que corresponden	6

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
						a la realidad de las personas. En este programa se hace pertinencia la colaboración con los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil para asegurar sus objetivos	
Universidad Distrital Francisco José de Caldas	UDFJC	https://www.udistrital.edu.co/	Pública	Regional	Académico	Organización institucional, ente autónomo del orden distrital, que tiene entre sus finalidades la formación de profesionales especializados y de ciudadanos activos; la producción y reproducción del conocimiento científico, además de la innovación tecnológica y la creación artística. Como Institución pretende aportar al desarrollo de la región, gestionando adecuadamente la información requerida, de modo que sea insumo para el desarrollo de proyectos que permitan el mejoramiento en las condiciones de vida de la población	8
Universidad Nacional de Colombia	UNAL	http://unal.edu.co/	Pública	Nacional	Académico	Como entidad educativa y en búsqueda de enriquecer la investigación en la nación ha realizado estudios y apoyo a instituciones, en ciertas regiones del país que han permitido la retroalimentación en el estudio del recurso geotérmico	7
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	MinAmbiente	http://www.minambiente.gov.co/	Pública	Nacional	Ambiental	Es la entidad de índole pública encargada de definir la política Nacional Ambiental y promover la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, a fin de asegurar el desarrollo sostenible y garantizar el derecho de todos los ciudadanos a gozar y heredar un ambiente sano.	6

ACTOR	SIGLAS	PÁGINA WEB	NATURALEZA	ORDEN	SECTOR	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Naciones Unidas	NU	https://www.un.org/es/	Mixta	Internacional	Gestión de administración	Debido a las facultades que le confiere la Carta y su singular carácter internacional, las Naciones Unidas pueden tomar medidas sobre los problemas que enfrenta la humanidad en el siglo 21, como la paz y la seguridad, el cambio climático, el desarrollo sostenible, los derechos humanos, el desarme, el terrorismo, las emergencias humanitarias y de salud, la igualdad de género, la gobernanza, la producción de alimentos y mucho más.	6

Ilustración 137 Entidades y Actores Relevantes. Elaboración Propia

13. REGULACIÓN Y NORMATIVA

A continuación, se relacionan los principales actos legislativos y normativos para FNCER, y los específicos para los sistemas solares fotovoltaicos.

TIPO	ACTO ADMINISTRATIVO	ENTIDAD	AÑO	OBJETIVO	ORDEN	SECTOR
Ley	Ley 1955 de 25 de mayo de 2019	Congreso de la República de Colombia	2019	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. "Pacto por Colombia, pacto por equidad. El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 030 de 2018	CREG	2018	Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 570 de 2018	Ministerio de Minas y Energía	2018	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones	Nacional	Energético

TIPO	ACTO ADMINISTRATIVO	ENTIDAD	AÑO	OBJETIVO	ORDEN	SECTOR
Resolución	Resolución 015 de 2018	CREG	2018	Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 038 de 2018	CREG	2018	Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 703 del 14 de diciembre de 2018	UPME	2018	Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones.	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 348 de 2017	Ministerio de Minas y Energía	2017	Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 1543 de 2017	Ministerio de Minas y Energía	2017	Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGE	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 884 de 2017	Ministerio de Minas y Energía	2017	Por el cual se expiden normas tendientes a la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera	Nacional	Energético
Resolución	Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	2017	PAI 2017 – PROURE (Programas para Exclusión IVA)	Nacional	Energético
Resolución	Resolución UPME 585 de 2017	UPME	2017	Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA)	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 2000 de 2017	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	2017	Procedimiento ante ANLA para exclusión de IVA	Nacional	Energético
Resolución	Resolución CREG 201 de 2017	CREG	2017	Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la	Nacional	Energético

TIPO	ACTO ADMINISTRATIVO	ENTIDAD	AÑO	OBJETIVO	ORDEN	SECTOR
				energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas		
Resolución	Resolución CREG 019 de 2017	CREG	2017	Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional	Nacional	Energético
Resolución	Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 2143 de 2015	Ministerio de Minas y Energía	2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 1073 de 2015	Sector Administrativo de Minas y Energía	2015	Por la cual medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 1623 de 2015	Ministerio de Minas y Energía	2015	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 0281 de 2015	UPME	2015	Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala	Nacional	Energético
Resolución	Resolución 024 de 2015	CREG	2015	Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 2492 de 2014	Ministerio de Minas y Energía	2014	Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda	Nacional	Energético
Decreto	Decreto 2469 de 2014	Ministerio de Minas y Energía	2014	Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración	Nacional	Energético

TIPO	ACTO ADMINISTRATIVO	ENTIDAD	AÑO	OBJETIVO	ORDEN	SECTOR
Ley	Ley 1715 de 2014	Congreso de la República de Colombia	2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.	Nacional	Energético
Ley	Ley 1665 del 16 de Julio de 2013	Congreso de la República de Colombia	2013	Aprueba el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) hecho en BONN, Alemania, enero 2 de 2009	Nacional	Energético
Ley	Ley 697 de 2001	Congreso de la República de Colombia	2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.	Nacional	Energético

Ilustración 138 Regulación y Normativa en FNCER y Energía Solar FV. Elaboración Propia

