



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES
ELÉCTRICAS INTELIGENTES “SMART GRIDS” EN EL
DEPARTAMENTO DEL CESAR.**

AUTOR:

MAURICIO CASTAÑEZ QUIROZ

DIRECTOR:

M.Sc. YESID EUGENIO SANTAFE RAMÓN

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA - N. DE SANTADER - COLOMBIA

PAMPLONA, 9 DE JULIO 2021

**ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES
ELÉCTRICAS INTELIGENTES “SMART GRIDS” EN EL
DEPARTAMENTO DEL CESAR.**

MAURICIO CASTAÑEZ QUIROZ

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

DIRECTOR:

M.Sc. YESID EUGENIO SANTAFE RAMÓN

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA - N. DE SANTANDER - COLOMBIA
9 DE JULIO 2021**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a Dios, a mis padres Irina Quiroz y Héctor Castañez que me han apoyado en cada momento, a mis hermanas que siempre me han brindado su apoyo incondicional, también a cada una de las personas que han influenciado en mi vida, brindándome sus experiencias, consejos y demás conocimientos para que día a día me convirtiera en la gran persona que hoy soy.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres Irina Quiroz y Héctor Castañez por apoyarme en todo momento y brindarme todo lo necesario para formarme como profesional y sobre todo como persona.

A mi director de trabajo de grado, M.Sc. Yesid Santafe Ramón por guiarme y brindarme cada uno de sus conocimientos en esta parte final de mi formación como profesional.

A los profesores de la Universidad de Pamplona que aportaron sus conocimientos a lo largo de mi proceso como estudiante para forjarme como un gran profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	17
4.1. UBICACIÓN	17
4.2. CLIMA	18
4.3. RADIACIÓN SOLAR	18
4.4. VELOCIDAD DEL VIENTO	19
5. GENERALIDADES DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRIDS”	20
5.1. DEFINICIÓN DE REDES INTELIGENTES	20
5.2. MODELOS DE REDES INTELIGENTES	22
5.2.1. IEEE P2030	22
5.2.2. GRIDWISE ARCHITECTURE COUNCIL (GWAC)	22
5.2.3. SMART GRID MATURITY MODEL (SGMM)	23
5.2.4. SMART GRID ARCHITECTURE MODEL (SGAM)	25
5.2.5. SMART GRID COMPASS	27
6. TECNOLOGÍAS DE LAS REDES INTELIGENTES	28
6.1. INFRAESTRUCTURA DE MEDIDA AVANZADA (AMI)	28
6.2. AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE LA DISTRIBUCIÓN (ADA)	31
6.3. RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS (DER)	32
6.4. MOVILIDAD ELÉCTRICA (VE)	35
7. INICIATIVAS DE REDES INTELIGENTES EN COLOMBIA	36
8. CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE LAS REDES INTELIGENTES	45
8.1. EFICIENCIA Y FIABILIDAD	45
8.2. SEGURIDAD	45
8.3. ENERGÍAS RENOVABLES	46

8.4. INTERACCIÓN DEL CONSUMIDOR.....	46
8.5. ECONOMÍA.....	47
8.6. IMPACTO AMBIENTAL	47
8.7. GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD).....	47
8.7.1. BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA	48
8.7.2. IMPEDIMENTOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA	50
8.7.3. TIPOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LAS REDES INTELIGENTES.....	50
8.7.4. GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	51
8.7.4.1. FUNCIONAMIENTO	51
8.7.4.2. VENTAJAS.....	51
8.7.4.3. DESVENTAJAS	52
8.7.5. GENERACIÓN EÓLICA.....	52
8.7.5.1. VENTAJAS.....	52
8.7.5.2. DESVENTAJAS	53
8.7.6. EFECTOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA OPERACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR	54
9. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA ENERGÉTICO DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR Y DESAFÍOS	55
10. PROYECTOS RELACIONADOS CON LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.....	57
11. CONCLUSIONES.....	60
12. RECOMENDACIONES	62
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
14. ANEXOS	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Smart Grid Maturity Model (SGMM).	23
Tabla 2. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología AMI.	29
Tabla 3. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología ADA.	31
Tabla 4. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología DER.	32
Tabla 5. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología VE.	35
Tabla 6. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.	37
Tabla 7. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.	38
Tabla 8. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.	39
Tabla 9. Iniciativas tecnología ADA desarrolladas en Colombia.	40
Tabla 10. Iniciativas tecnología DER desarrolladas en Colombia.	41
Tabla 11. Iniciativas tecnología VE desarrolladas en Colombia.	43
Tabla 12. Iniciativas de la empresa Electricaribe desarrolladas en Colombia.	44
Tabla 13. Diferencias entre la red actual y una red inteligente.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación departamento del Cesar.	17
Figura 2. Climatología departamento del Cesar.	18
Figura 3. Irradiación global horizontal medio diario anual.	19
Figura 4. Velocidad promedio (m/s) anual del viento a 10 metros de altura.....	20
Figura 5. Modelo conceptual de las redes eléctricas inteligentes.....	21
Figura 6. GridWise Architecture Council (GWAC).	23
Figura 7. Smart Grid Architecture Model (SGAM).	26
Figura 8. Smart Grid Compass.....	27
Figura 9. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI).....	30
Figura 10. Recursos Energéticos Distribuidos (DER).....	33
Figura 11. Tendencias tecnológicas en Recursos Energéticos Distribuidos.	34
Figura 12. Ubicación de iniciativas de redes inteligentes en Colombia.	37
Figura 13. Sistema de energía tradicional y futuro sistema de energía.....	48
Figura 14. Servicio de energía eléctrica en el departamento del Cesar.	55
Figura 15. Disponibilidad de horas al día del servicio de energía eléctrica en el departamento del Cesar.....	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Irradiación global horizontal medio diario del mes de enero.	67
Anexo B. Irradiación global horizontal medio diario del mes de febrero.	67
Anexo C. Irradiación global horizontal medio diario del mes de marzo.	68
Anexo D. Irradiación global horizontal medio diario del mes de abril.	68
Anexo E. Irradiación global horizontal medio diario del mes de mayo.	69
Anexo F. Irradiación global horizontal medio diario del mes de junio.	69
Anexo G. Irradiación global horizontal medio diario del mes de julio.	70
Anexo H. Irradiación global horizontal medio diario del mes de agosto.	70
Anexo I. Irradiación global horizontal medio diario del mes de septiembre.	71
Anexo J. Irradiación global horizontal medio diario del mes de octubre.	71
Anexo K. Irradiación global horizontal medio diario del mes de noviembre.	72
Anexo L. Irradiación global horizontal medio diario del mes de diciembre.	72
Anexo M. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de enero.	73
Anexo N. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de febrero.	73
Anexo O. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de marzo.	74
Anexo P. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de abril.	74
Anexo Q. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de mayo.	75
Anexo R. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de junio.	75
Anexo S. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de julio.	76
Anexo T. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de agosto.	76
Anexo U. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de septiembre.	77
Anexo V. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de octubre.	77
Anexo W. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de noviembre.	78
Anexo X. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de diciembre.	78

RESUMEN

Con el proyecto se logró efectuar un estudio sobre la implementación de las redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar, se hizo uso de un marco de referencia que permitió establecer las características fundamentales del sistema eléctrico que se encuentra interconectado en este departamento, asimismo se presenta un análisis ajustado a esta zona del país y al cumplimiento de la Visión Colombia 2030.

En la actualidad la electricidad se ha convertido en un pilar para la sociedad en general ya que dependemos en gran porción de ella, siendo esta la que genera demoras en la producción de las industrias cuando el sistema eléctrico falla, por ello se hace necesario el uso de redes eléctricas inteligentes para generar soluciones en el sistema eléctrico, mejorar la labor de los elementos que se encuentren interconectados para así facilitar una red moderna que ayudará a minimizar interrupciones en el fluido eléctrico y evitar desastres naturales.

ABSTRACT

The project was able to carry out a study on the implementation of smart electricity networks in the department of Cesar, It made use of a frame of reference that made it possible to establish the fundamental characteristics of the electrical system that is interconnected in this department, also presents an analysis adjusted to this area of the country and to the fulfillment of the Vision Colombia 2030.

Electricity has now become a mainstay for society as a whole as we are heavily dependent on it, and this is what causes delays in the production of industries when the electricity system fails, it is therefore necessary to use intelligent power grids to generate solutions in the electricity system, improve the work of the interconnected elements in order to facilitate a modern network that will help to minimize interruptions in the electricity supply and avoid natural disasters.

1. INTRODUCCIÓN

El Cesar es un departamento con una extensión de 22.905 km², en este departamento como en todo el país la demanda energética ha ido en aumento en compañía de la parte económica, esto hace necesario que se revisen nuevas alternativas para entender el aumento apresurado de dicha demanda energética, debido a esto se presenta un estudio sobre la implementación de redes eléctricas inteligentes, ya que estas son unas redes avanzadas que estarán en armonía con los avances del siglo XXI y las diferentes necesidades de los usuarios del sector residencial e industrial.

En el presente trabajo se encuentran contenidos proyectos, avances y tecnologías existentes acerca de una red inteligente, las mejoras que se obtendrían en esta zona del país al implementar las Smart Grids, tales mejoras se verían reflejadas en la eficiencia, integridad, confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, también en la protección del medio ambiente, todo esto conforme a lo establecido en el documento de visión Colombia 2030.

2. DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad en el departamento del Cesar se ha presentado un incremento de usuarios en la parte residencial como industrial, esto ha complicado de manera notoria el abastecimiento energético del operador de red de esta región del país, el no pago de la energía tanto en zonas urbanas como rurales ha generado grandes pérdidas para la empresa prestadora del servicio eléctrico, haciendo que estas presenten problemas de intermitencia en el servicio, esto ha ido tomando mayor relevancia tanto para las empresas como para los usuarios que hacen utilidad de esta, ya que se generan pérdidas económicas y daños inesperados en algunos equipos.

Se presenta un estudio acerca de la implementación de las redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar, haciendo manifiestas las mejoras que se obtienen al hacer uso de redes inteligentes, como mayor seguridad a la hora de distribuir la energía eléctrica, también se dan a conocer los beneficios económicos y la integración a gran escala de las energías renovables que pueden ser usadas en esta región del país, manifestando que con la implementación de las Smart Grids se minimizarán los no pagos y los robos de energía por parte de usuarios en las diferentes zonas del departamento del Cesar, asimismo se mejoraría la eficiencia, integridad, confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico del departamento del Cesar, las cuales actualmente este departamento padece y además se disminuye el impacto ambiental que producen las fuentes de generación actuales que hacen uso de combustibles fósiles.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Estudiar sobre la implementación de redes eléctricas inteligentes “Smart Grids” en el departamento del Cesar.

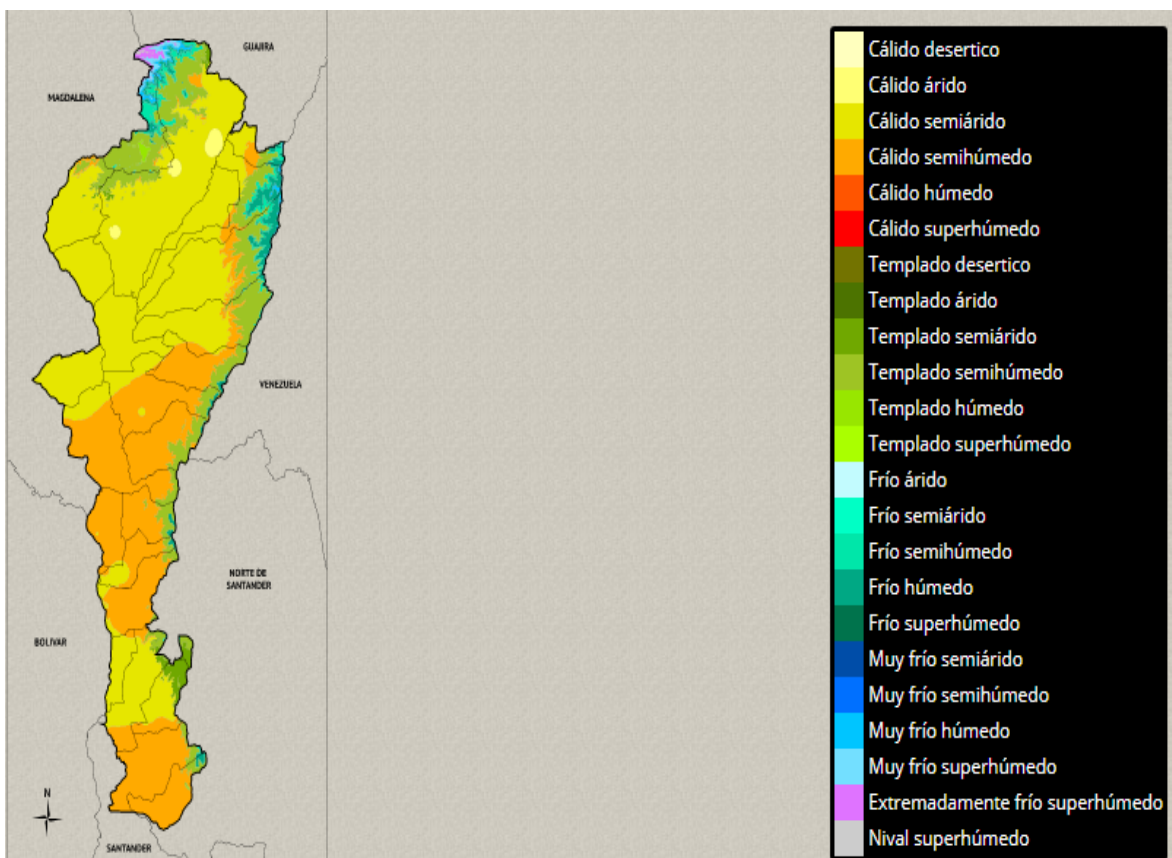
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar información técnica desarrollada acerca de las diferentes tecnologías de las redes eléctricas inteligentes.
- ✓ Obtener detalles cualitativos y cuantitativos acerca de las redes eléctricas inteligentes.
- ✓ Identificar las distintas aplicaciones y proyectos de las redes eléctricas inteligentes en Colombia.
- ✓ Describir los beneficios que se obtienen al implementar redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar.
- ✓ Consultar la red eléctrica actual en el departamento del Cesar y establecer las diferencias con las Smart Grids.
- ✓ Determinar los proyectos relacionados con las redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar.

4.2. CLIMA

“El departamento del Cesar posee un clima tropical, esta variedad climatológica es debida a la elevación de amplios sectores de terreno que varían casi desde el nivel del mar hasta más de 5000 metros de nivel de altura y la presencia de los pisos térmicos en sus presentaciones secas y húmedas como se observa en la figura 2. Las zonas con mayor humedad se encuentran situadas en las zonas montañosas y la zona sur del departamento, en la parte de menor humedad se encuentra la zona centro del departamento y entre los sectores secos aparece su capital, Valledupar.”[1]

Figura 2. Climatología departamento del Cesar.



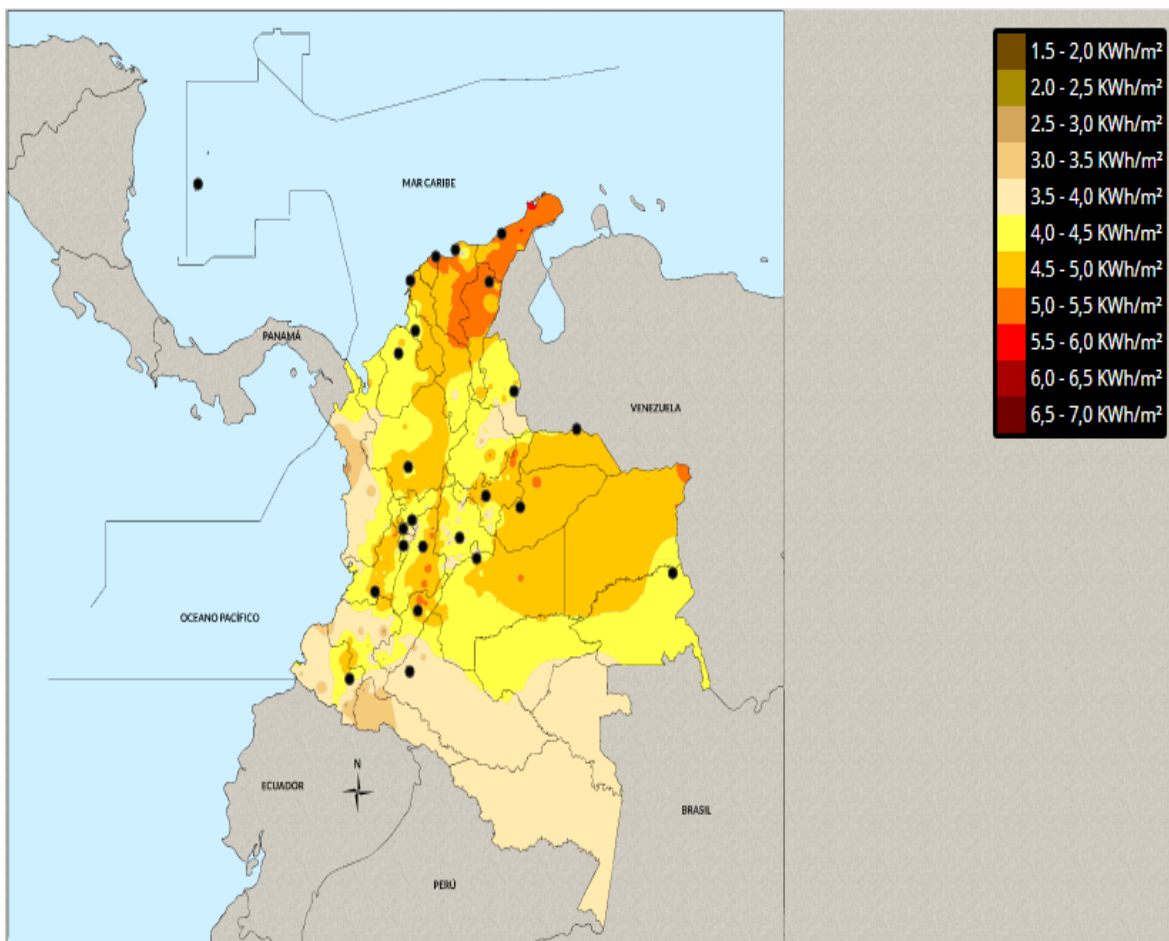
Fuente: Extraído de “Atlas climatológico de Colombia”[2]

4.3. RADIACIÓN SOLAR

El Cesar se encuentra entre los departamentos con mayor intensidad de irradiación solar anual como se observa en la figura 3, la zona norte de este departamento presenta uno de los valores de mayor radiación solar (5,5kWh/m)

por día, presenta dos tipos de comportamiento, donde los promedios con mayor radiación se ubican principalmente a principios de año, en el mes de febrero y a mitades de año, los promedios de menor radiación solar se registran entre abril y mayo y a mitad de los meses de septiembre y noviembre.[3]

Figura 3. Irradiación global horizontal medio diario anual.

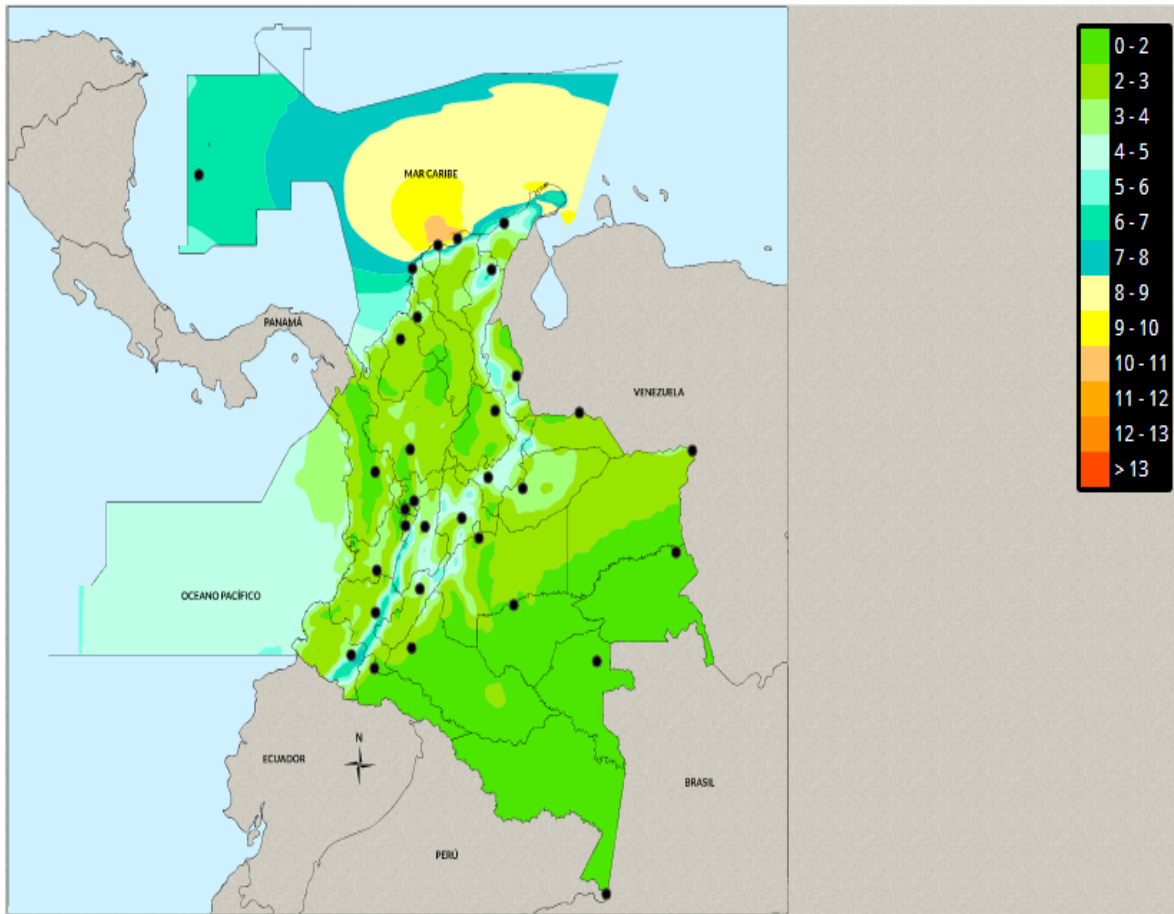


Fuente: Extraído de “Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia”[2]

4.4. VELOCIDAD DEL VIENTO

Este departamento se encuentra situado como una de las zonas donde se presenta el viento con mayor fuerza en la superficie, con una velocidad promedio anual que oscila entre 3 y 4m/s como se muestra en la figura 4, presenta sus periodos de viento máximos a principios de año y un segundo máximo se presenta a mediados de año, entre julio y agosto.[4]

Figura 4. Velocidad promedio (m/s) anual del viento a 10 metros de altura.



Fuente: Extraído de “Atlas de viento”[2]

5. GENERALIDADES DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRIDS”

5.1. DEFINICIÓN DE REDES INTELIGENTES

Las redes inteligentes son un concepto moderno que ha ido tomando fuerza con el pasar del tiempo y la necesidad del uso de nuevas tecnologías, pese a esto, estas no se pueden definir de manera precisa por las distintas definiciones que existen acerca de las Smart Grids, pero en términos generales se puede decir que este tipo de redes tienen como finalidad conseguir que el sistema eléctrico funcione de manera eficiente, sostenible y económica para así lograr el abastecimiento de la electricidad, este tipo de redes se caracterizan por un flujo bidireccional de energía y comunicación. Se puede asegurar que las Smart Grids

pertenecen a la modernización de la red eléctrica que se encuentra instalada actualmente.[5]–[8]

Smart Grid European Technology platform (ETP SG) y Electric Power Research Institute (EPRI) plantean diferentes definiciones de las redes inteligentes:

- ✓ Electric Power Research Institute (EPRI) define las redes inteligentes de la siguiente manera:

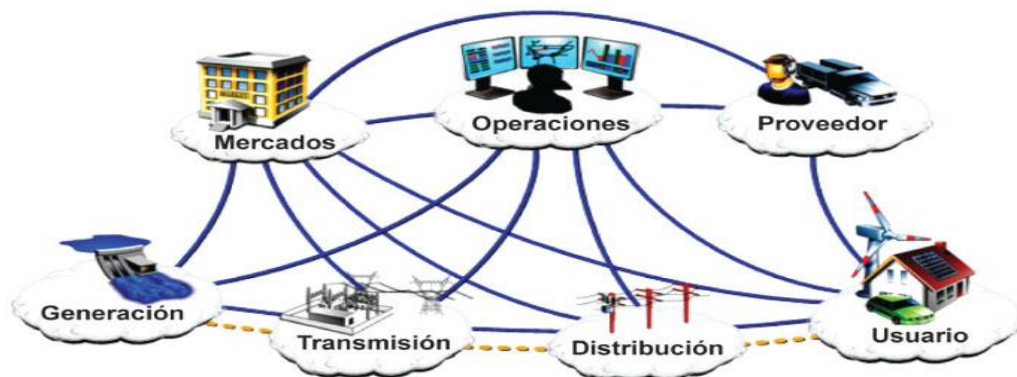
“Una red que incorpora las tecnologías de información y comunicación en cada aspecto de la generación, suministro y consumo de electricidad, con el objetivo de minimizar el impacto medio ambiental, mejorar los mercados, mejorar la fiabilidad y el servicio, reducir costos y aumentar eficiencia”[9]

- ✓ Smart Grid European Technology platform (ETP SG) define las redes inteligentes de la siguiente manera:

“Una red que integra de forma inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas – para suministrar electricidad de forma eficiente, sostenible, económica y segura”[9]

En la figura 5 se presenta el modelo conceptual de las redes eléctricas inteligentes propuesto por el Instituto Nacional de normas y Tecnología de Estados Unidos, se observa que además del vínculo eléctrico entre los dominios comunes de la electricidad (generación, transmisión, distribución y usuario final), se encuentran diferentes vínculos entrelazados que indican las comunicaciones entre un área y otra, es decir, se proyecta una bidireccionalidad total entre los sectores mostrados. [6]

Figura 5. Modelo conceptual de las redes eléctricas inteligentes.



Fuente: Extraído de “Estudio sobre el estado actual de las ‘smart grids” [6]

5.2. MODELOS DE REDES INTELIGENTES

Los modelos de redes inteligentes son esquemas que compaginan distintas tecnologías para convertir la red eléctrica actual en una red moderna capaz de brindar mejoras en su confiabilidad y múltiples beneficios a los operadores de red y a los usuarios. Se encuentran distintos modelos para la implementación de redes inteligentes, en este trabajo se presentan los modelos que han tenido un gran impacto a nivel internacional y son más viables para el departamento del Cesar.[10]

5.2.1. IEEE P2030

El modelo IEEE P2030 suministra los distintos pasos para interpretar de mejor manera la interoperabilidad de redes inteligentes, este incorpora estándares y protocolos para estas redes, además integra la tecnología energética, la tecnología de información y comunicaciones para alcanzar un óptimo funcionamiento que son los tres enfoques que este modelo posee. Cada enfoque goza de varios conocimientos: generación, transmisión, distribución, servicios, negocios, control de las operaciones y por último los usuarios.

Este estándar proporciona la ruta para la implementación de los elementos en las redes inteligentes, asimismo facilita la base de conocimientos que abarca las particularidades, el rendimiento práctico y métodos de evaluación y la aplicación de fundamentos de ingeniería para la interoperabilidad en redes inteligentes.[11]

5.2.2. GRIDWISE ARCHITECTURE COUNCIL (GWAC)

El modelo GWAC ofrece promover y permitir la interoperabilidad necesaria para modernizar las operaciones de la electricidad en un sistema que constituye mercados y distintas tecnologías para dar mejoras al bienestar de los usuarios.

Este modelo surge con la finalidad de reconocer los estándares y protocolos para así garantizar la interoperabilidad, la seguridad informática y los múltiples sistemas que hacen parte de las redes eléctricas inteligentes. En la figura 6 se muestran las categorías, niveles y las infraestructuras de este modelo.[12]

Figura 6. GridWise Architecture Council (GWAC).



Fuente: Extraído de “Comisión de Regulación de Energía y Gas”(CREG).[12]

5.2.3. SMART GRID MATURITY MODEL (SGMM)

El modelo SGMM fue propuesto por el Instituto de Ingeniería de Software de la Universidad de Carnegie Mellon, este es un modelo de madurez de las redes inteligentes que posibilita la medición cuantitativa y las distintas tácticas para la implementación de redes inteligentes.

Este modelo suministra un planteamiento que agrupa las distintas necesidades para conseguir la modernización de la red actual, los diferentes elementos y equipos que la componen, asimismo involucra personas, procesos y tecnologías para obtener un equilibrio en sus dominios, también hace uso de dominios y niveles que admiten evaluar e implantar el proceso de madurez de las redes eléctricas inteligentes. En la tabla 1 se observan las diferentes características que presenta cada dominio.[13]

Tabla 1. Smart Grid Maturity Model (SGMM).

DOMINIO	CARACTERÍSTICAS
Estrategia, Gestión y Regulación. (SMR)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Visión y estrategia de redes inteligentes. ✓ Establecer procesos internos de gestión y gobierno. ✓ Colaboración con las partes

	interesadas en la implementación.
Organización y Estructura. (OS)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alinear y operar para lograr la transformación de red inteligente deseada. ✓ Modificaciones en las comunicaciones, cultura, estructura, formación y educación. ✓ Aprovechamiento de oportunidades que ofrecen las redes inteligentes.
Operación de la red. (GO)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Confiabilidad, seguridad y eficiencia en la operación de la red eléctrica. ✓ Elevado grado de conocimiento de la red local, regional y nacional. ✓ Revisión de la madurez de la red.
Gestión de activos y trabajo. (WAM)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Óptimo manejo de los activos y talento humano en el sector eléctrico.
Tecnología. (TECH)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planificación estratégica de la tecnología enfocada en redes inteligentes. ✓ Cumplimiento de estándares relevantes en el sector. ✓ Evaluación, adquisición, integración y validación de la tecnología de redes inteligentes. ✓ Reducción de riesgos (interoperabilidad, actualización, seguridad, costos y rendimiento).
Cliente. (CUST)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Participación pasiva o activa del cliente. ✓ Participación pasiva (la empresa administra la carga y selecciona las fuentes de energía). ✓ Participación activa (control necesario para gestionar su carga y seleccionar diferentes fuentes de energías alternativas).
	✓ Alcanzar con éxito la

Integración de la cadena de valor. (VCI)	implementación de redes inteligentes. ✓ Producción y entrega de la energía.
Sociedad y Ambiente. (SE)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contribución al logro de los objetivos sociales. ✓ Aprovechamiento de energías alternativas. ✓ Reducción del impacto ambiental. ✓ Sostenibilidad económica y capacidad para integrar energía distribuida.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Metodología para la evaluación de proyectos pilotos “Smart Grid” en Colombia”[13]

5.2.4. SMART GRID ARCHITECTURE MODEL (SGAM)

El modelo SGAM permite examinar distintas soluciones de redes inteligentes, además se encamina en el cambio de las redes inteligentes haciendo uso de los múltiples fundamentos como la universalidad, la coherencia, la interoperabilidad, flexibilidad y la localización.

Actualmente este modelo es tomado como referencia a nivel internacional ya que permite que las redes inteligentes puedan extenderse en cuanto a conversión de energía eléctrica, el SGAM se encuentra dividido en 5 dominios, 6 zonas y 5 capas, los dominios de la red nos indican la cadena de cambio de energía eléctrica: generación, transmisión, distribución, recursos energéticos distribuidos y usuarios finales. Las zonas detallan los distintos niveles que se encuentran implicados en el sistema eléctrico: proceso, campo, estación, operación, empresa y mercado, entretanto la relación existente entre los dominios antes mencionados y las zonas descritas se fija mediante capas: componente, comunicación, información, funciones y negocios.[13]

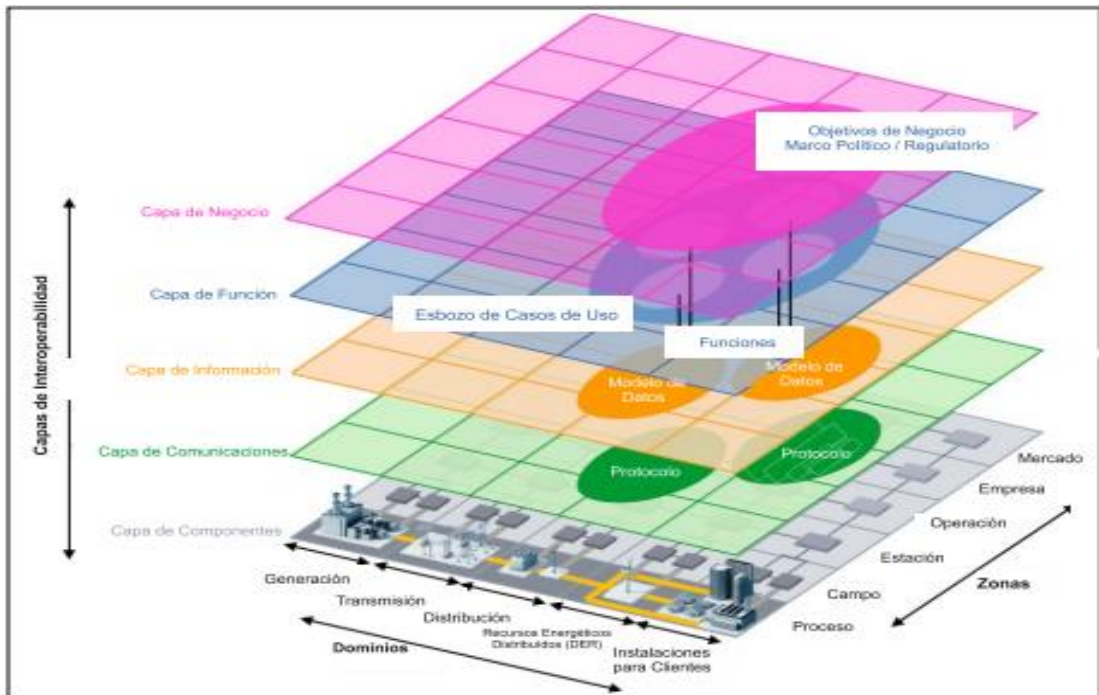
Las capas al tener interoperabilidad dan acceso a ajustar y analizar las distintas vistas y oportunidades de negocios, como de describen a continuación:

- ✓ Capa de negocios: esta es la capa superior, en ella se representa la visión de las redes inteligentes y es utilizada para dar detalles acerca de los múltiples mercados, la regulación, productos, agentes, entre otros. El SGAM ajusta las vistas técnicas en las siguientes 4 capas inferiores.[7]

- ✓ Capa de funciones: en esta capa se representan las diferentes actividades que se ejecutan en las empresas energéticas, además es beneficiaria de la tecnología desarrollada en el sector.[14]
- ✓ Capa de información: en esta capa se define la estructura de información incluida en la red energética, además describe la información que se intercambia entre las funciones, los servicios y los componentes, haciendo inclusión en el almacenamiento de datos.[14]
- ✓ Capa de comunicación: esta capa es la encargada del reconocimiento de información entre las capas, asimismo describe los protocolos y mecanismos de comunicación.[13]
- ✓ Capa de componente: esta es la capa más baja, en ella se describen todos los elementos y su distribución física, aquí se incluyen aplicaciones, los equipos de potencia, dispositivos de protección e infraestructura de comunicaciones.[13]

En la figura 7 se observan los dominios, las zonas y las capas que fueron descritas anteriormente:

Figura 7. Smart Grid Architecture Model (SGAM).



Fuente: Extraído de “Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema”[14]

5.2.5. SMART GRID COMPASS

Este modelo fue propuesto por la empresa SIEMENS, lo que se plantea en él, es un enfoque de información y examen, mediante el cual se posibilita la descripción de una ruta óptima para la creación, modificación o ampliación de una red inteligente, asimismo facilita la determinación del grado de madurez para implementar redes inteligentes en distintas organizaciones.

El objetivo principal de este modelo es redefinir el sentido de la planificación de redes inteligentes, con esto se busca respaldar la implementación de manera correcta de las diferentes tecnologías y así mejorar la eficacia de la empresa prestadora del servicio.[15]

En la figura 8 se muestra el marco que establece el COMPASS, este se encuentra distribuido en cuatro partes, las cuales constituyen la orientación de una empresa de energía eléctrica, estas partes están agrupadas con la organización inteligente que es de vital importancia para las distintas empresas a la hora de realizar cambios estructurales.

Figura 8. Smart Grid Compass.



Fuente: Colombia Inteligente-Smart Grid Compass TM.[16]

6. TECNOLOGÍAS DE LAS REDES INTELIGENTES

En la actualidad encontramos distintas tecnologías que hacen factible mejorar la red eléctrica existente actualmente hacia una red inteligente y moderna que tenga la capacidad de cumplir con los distintos objetivos planteados por la entidad gubernamental del departamento del Cesar y por la iniciativa de visión Colombia 2030, en este proyecto se estudiaron las cuatro principales tecnologías haciendo un análisis sobre los diferentes beneficios que se obtienen al ser implementadas.

6.1. INFRAESTRUCTURA DE MEDIDA AVANZADA (AMI)

Esta tecnología requiere de información acerca del estado de la red, siendo observada desde el lugar del generador y el lugar del consumidor, esta infraestructura de medida avanzada en conjunto con una red de comunicaciones, abastecen la información pertinente para enviar y recibir órdenes. Los sistemas AMI se encuentran constituidos por cuatro componentes: medidor inteligente, concentrador de datos, sistema de gestión de información y red de comunicaciones. A continuación se explica brevemente cada uno de estos elementos:

- ✓ **Medidor inteligente:** este es el encargado de almacenar y transmitir los datos sobre el consumo alrededor de los agentes que se encuentran involucrados, se encuentran ubicados en la parte inferior de la infraestructura como se muestra en la figura 9, estos pueden estar instalados en el inmueble del consumidor o en algún lugar exterior mediante medición centralizada.[17]
- ✓ **Concentrador de datos:** es el encargado de recibir la información de un grupo de medidores y la transfiere al centro de gestión, generalmente se encuentra ubicado en las subestaciones o en los transformadores de distribución de electricidad.[17]
- ✓ **Red de comunicaciones:** esta red es la que permite transferir la información para que el sistema de gestión la estudie y tome las diferentes determinaciones con relación a los datos examinados. Además dependiendo de la disponibilidad y las peticiones de la compañía y del usuario, esta red es flexible.[17]
- ✓ **Sistema de gestión de información:** este sistema es encargado de recibir y transferir los datos desde el equipo y hacia el mismo.[17]

Para la implementación de la AMI es importante tener el apoyo de componentes que avisan acerca del estado de la red, como son: subestación, transformadores principales y de reparto, asimismo se encuentran incluidos los distintos componentes que efectúan medición avanzada a nivel usuario, además de efectuar lectura distante, esto genera una participación eficiente del consumidor en el mercado eléctrico. En la tabla 2 se pueden observar las distintas funcionalidades y beneficios que se lograrían obtener en el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología.[7], [9]

Tabla 2. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología AMI.

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Operación remota	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ahorro en costos de operación. ✓ Lectura de medidores de manera remota. ✓ El operador de red dispone del monitoreo de los flujos de potencia en sus redes eléctricas.
Información al usuario	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Información referente a su consumo en tiempo real. ✓ El usuario conocerá su perfil de consumo.
Tarifación horaria	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Promover cambios en los hábitos de consumo de los clientes. ✓ Implementación de tramos horarios.
Gestión activa de cargas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conexión y desconexión de cargas en momentos convenientes. ✓ Nivelación de la curva de demanda. ✓ Integración de la generación distribuida. ✓ Minimizar instalación de sistemas de generación.
Restricción de potencia de forma remota	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción en los costos de ejecución por parte del operador de red. ✓ Solicitar cambios de potencia por parte de los usuarios para disminuir su factura.

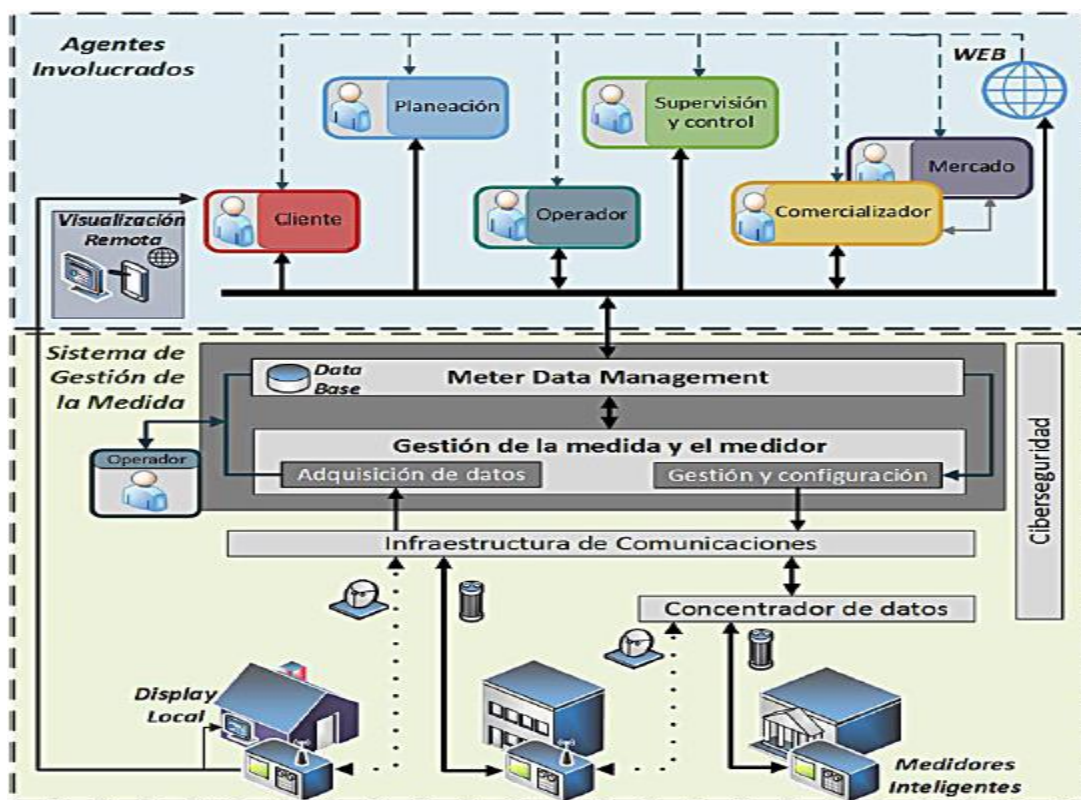
Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

En Colombia para el año 2030 el Ministerio de Minas y Energía (MME) espera que el 75% de los usuarios que se encuentran conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) tengan implementada la AMI. A la fecha la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha hecho públicos dos proyectos para la implementación de esta Infraestructura de Medida Avanzada, es decir, aún no están los estatutos para este proceso, pero se espera que a finales del año 2021 estén.[18]

A nivel nacional e internacional se encuentran diferentes fabricantes de esta tecnología, entre los más relevantes están empresas como INELCA que es el fabricante colombiano que se dedica a la realización de medidores inteligentes, ubicada en Santiago de Cali, también encontramos fabricantes como SIEMENS, Eister, Landis, Kamstrup, Sensus, entre otros.[19]

En la figura 9, se evidencia el esquema general de la tecnología AMI.

Figura 9. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI).



Fuente: Extraído de “Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades”[17]

6.2. AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE LA DISTRIBUCIÓN (ADA)

Esta tecnología es importante ya que permite monitorear de manera remota la red, también mejora en gran medida la continuidad y calidad del servicio, al ser implementada esta tecnología en el departamento del Cesar permitiría asegurar la continuidad del abastecimiento y minimizar los sag de voltage, siendo estas unas de las primordiales metas en este departamento por las elevadas interrupciones que se presentan. Asimismo con la implementación de esta tecnología se inician distintas posibilidades para el desarrollo de los recursos energéticos distribuidos (DER) en el Cesar.[7], [9]

En la tabla 3 se muestran las distintas funcionalidades que presenta esta tecnología y los diferentes beneficios que se obtendrían en el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología:

Tabla 3. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología ADA.

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Telemando	<ul style="list-style-type: none">✓ Mejora en la prolongación del suministro.✓ Reducción en los tiempos de restitución del suministro.
Localización de fallas	<ul style="list-style-type: none">✓ Reducción de tiempos de atención de los servicios.✓ Ubicación rápida de la falla.
Auto cicatrización	<ul style="list-style-type: none">✓ Minimiza tiempo de interrupción del suministro.✓ Auto corrección de la red, conociendo la falla y recursos para recuperar el servicio.
Reconfiguración automática	<ul style="list-style-type: none">✓ Mejora la eficiencia energética.✓ Ampliación de la vida útil de los elementos de red.
Gestión de activos	<ul style="list-style-type: none">✓ Mejorar el mantenimiento.✓ Programar las distintas inversiones de los elementos de la red.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

Entre los principales fabricantes de esta tecnología se encuentran ABB, Schneider Electric, Cisco, Siemens, Eaton, Daifuku, Schweitzer Engineering Laboratories, Landis+Gyr, Power System Engineering.

Al hablar de esta tecnología también hay que hacer mención a las redes con Cisco Digital Network Architecture (DNA) center y Application Centric Infrastructure (ACI), ya que estas ofrecen soluciones avanzadas a la red y además también brindan protección y seguridad a la misma.

- ✓ **Cisco Digital Network Architecture (DNA) center:** la arquitectura de red digital, ofrece a la red protección, automatización y aseguramiento de la misma, es decir, puede proteger de manera rápida y eficiente las modernas demandas de negocio. Además ofrece gestión centralizada de la red, basando la solución en Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML), con estos se busca lograr automatizar tareas como supervisión, resolución de problemas, entre otros.[21]
- ✓ **Cisco Application Centric Infrastructure (ACI):** la infraestructura centralizada en aplicaciones, se encuentra basado en la solución de red definida por software (SDN – Software Defined Network), además incluye APIC (Application Policy Infrastructure Controller), mediante este los distintos administrados poseen acceso centralizado para administrar su red, ajustando las políticas, observando el estado de la red e implementando algunas funciones avanzadas como la seguridad de varios usuarios. Asimismo ACI coopera con la reducción de costes, reducción de errores, entre otros.[22]

6.3. RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS (DER)

Esta tecnología permite generar y almacenar energía en baja tensión, esta integra de manera eficiente fuentes convencionales de energía y sistemas que realizan almacenamiento en la red de distribución, asimismo presenta la oportunidad de suministrar servicios adicionales a la red en momentos de gravedad, aumentando de manera notoria la calidad de la energía y de esta manera poder minimizar la dependencia a los grandes generadores.

Esta tecnología permite que se integren los distintos usuarios que generan energía, también llamados prosumidores, siendo este uno de los elementos claves para las redes inteligentes. En la tabla 4 se observan las distintas funcionalidades y beneficios que tendría el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología:[7], [9]

Tabla 4. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología DER.

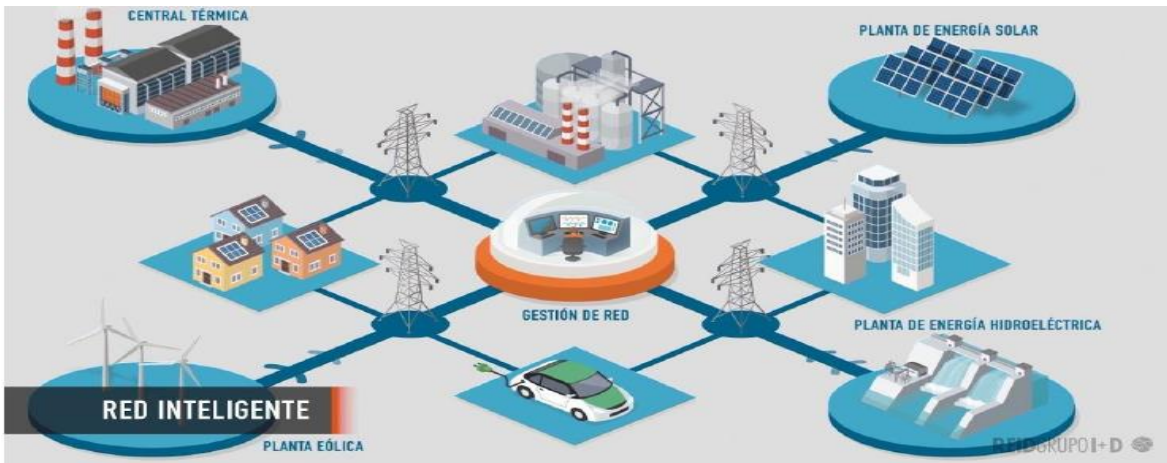
FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Generación distribuida	✓ Cercanía de la generación al

	consumidor. ✓ Reducción de perjuicios técnicos que estén relacionados con el transporte de energía. ✓ Acrecentar la eficiencia de la red.
Almacenamiento de energía	✓ Generación a través de fuentes renovables.
Participación de los usuarios generadores	✓ Brinda rentabilidad económica a los usuarios.
Minimización de la dependencia a grandes generadores	✓ Servicios adicionales a la red en momentos de gravedad.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

En la figura 10, se evidencia las diferentes estructuras que brinda la tecnología DER.

Figura 10. Recursos Energéticos Distribuidos (DER).



Fuente: Extraído de “Estudio, análisis y modelamiento de los sistemas eléctricos de distribución en el contexto de redes eléctricas inteligentes industria 4.0 y automatización”[23]

En Colombia aunque se han realizado distintos adelantos en la elaboración de un marco político que regule la incorporación de los DER, el nivel de aprobación de esta tecnología actualmente es bajo. El CIDET en una publicación realizada en el año 2019, muestra una evaluación de manera cualitativa del nivel de aprobación de esta tecnología en el país, esta evaluación se puede observar en la figura 11.[24]

Figura 11. Tendencias tecnológicas en Recursos Energéticos Distribuidos.



Fuente: Extraído de “Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano” [24]

Además la iniciativa Colombia inteligente ha desarrollado distintas actividades con la intención de apresurar la integración de esta tecnología en el sistema eléctrico del país, a pesar de esto es necesario lograr la homogenización de los DER con los estándares internacionales como son la IEC 61727 y la IEEE 1547, asimismo actualizar el código de redes colombiano (NTC 2050 y RETIE).[24]

Para lograr la integración de los recursos energéticos distribuidos y la transformación del sector eléctrico en el departamento del Cesar es de vital importancia tener en cuenta diferentes componentes, como son la automatización de la red (ADA), la Infraestructura de Medida Avanzada (AMI), ciberseguridad, interoperabilidad y gobernanza de datos, modernos modelos de negocio y microrredes sostenibles. Con estos componentes se busca cumplir los requerimientos necesarios y además aprovechar los diferentes beneficios como seguridad y confiabilidad en los sistemas, conexión, operación y comunicación desde lugares remotos, comunicación bidireccional entre usuario y proveedor del servicio, entre otros.[24]

Entre los fabricantes más destacados de esta tecnología encontramos a Enel X, ISA, SIEMENS y el Consejo Mundial de Energía Colombia (World Energy Council Colombia) que es quien asocia distintas empresas con el objetivo de impulsar el suministro y uso sostenible de la energía para el beneficio de la sociedad en general.

6.4. MOVILIDAD ELÉCTRICA (VE)

Esta tecnología se presenta como una oportunidad para minimizar la contaminación medio ambiental que se presenta por el uso del transporte a base de combustibles fósiles, con la implementación de esta tecnología en el departamento del Cesar, el sistema eléctrico de este, presentará mejoras debido a que las recargas de las baterías puede ser efectuada en el momento que el usuario o el operador de red lo desee, con esto se conseguiría una nivelación en la curva de demanda energética de carga. Asimismo se presenta como un desafío para poder inspeccionar y administrar la demanda, ya que esta tecnología permite incluir distintos elementos en el sistema eléctrico de este departamento sin causar descomposiciones en la curva de consumo.[9]

Existe un nivel más avanzado de esta tecnología más conocido como V2G (Vehicle to grid), esta permite la carga y descarga de la batería mientras se encuentra conectada a la red. En la tabla 5 se evidencia la funcionalidad y beneficios que se obtienen con la implementación de esta tecnología en el Cesar.

Tabla 5. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología VE.

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Electrificación del transporte	<ul style="list-style-type: none">✓ Disminución de la contaminación medioambiental.✓ Mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.✓ Capacidad de gestionar la demanda.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

Entre los principales fabricantes de esta tecnología a nivel nacional encontramos el primer vehículo eléctrico colombiano de marca Eolo, recibe este nombre porque su funcionamiento es a base de un sistema eólico, fue desarrollado por varios ingenieros del país y fue presentado de manera oficial en el año 2020.[25]

A nivel mundial se destacan diferentes fabricantes, entre los más relevantes encontramos a Nissan y Enel, estos dos realizaron la primera implementación del vehículo conectado a la red (V2G) en el Reino Unido, convirtiendo el vehículo Nissan en centros de energía eléctrica movable para suministrar esta misma a la

red y adquirir los distintos beneficios, también se encuentran distintos fabricantes como Tesla, que es el líder en fabricación y desarrollo de vehículos con esta tecnología, hizo su apertura en el año 2003 y simboliza el 12% de todas las ventas de vehículos de este tipo a nivel mundial, otro fabricante es BYD co Ltd, a finales del año 2016 esta empresa se convirtió en el tercer fabricante con mayor número de vehículos eléctricos enchufables y en el mismo año empezó la producción de vehículos eléctricos puros para que se implementaran en Pekín.[26]

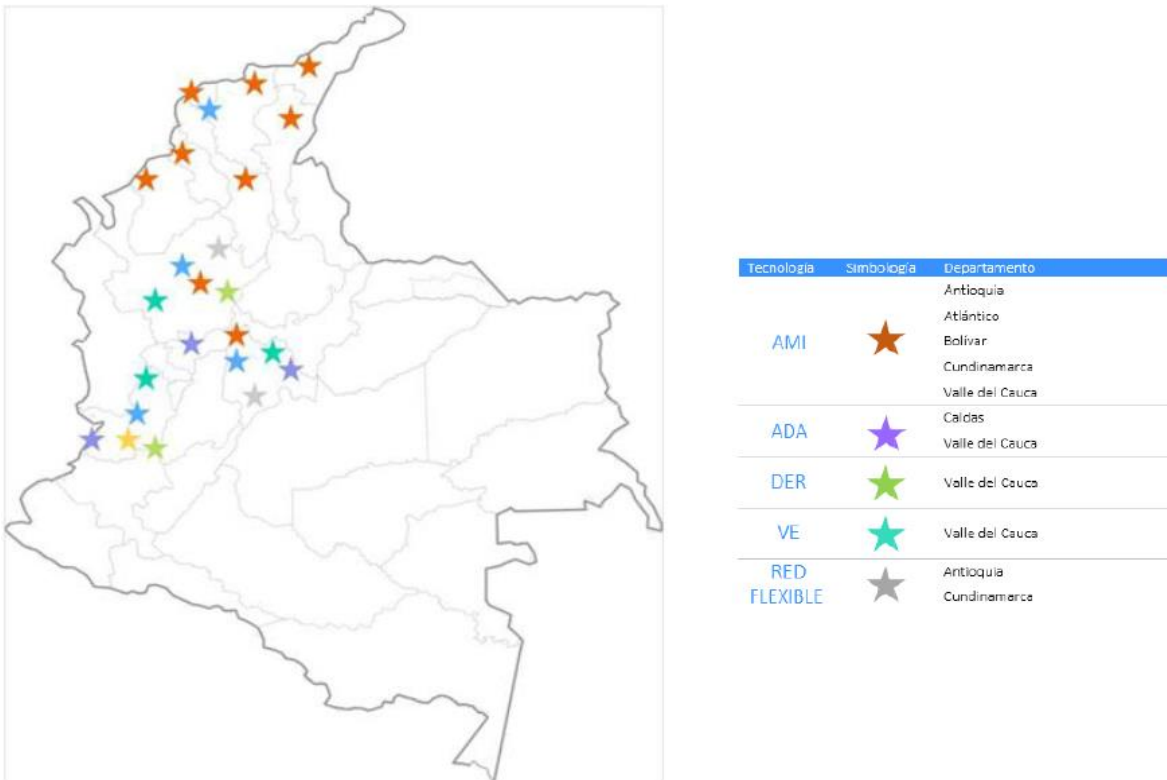
En cuanto a competitividad de vehículos eléctricos, existen otros fabricantes como BAIC, BMW, Volkswagen, Hyundai, Kia, Mitsubishi y Chery. Todos estos fabricantes, incluyendo los mencionados anteriormente poseen distintas tecnologías de vehículos eléctricos, entre las tecnologías más destacadas se encuentran las siguientes:

- ✓ **Vehículo eléctrico a baterías o Battery Electric Vehicle (BEV):** esta es la configuración más esencial de los vehículos eléctricos, impulsado por uno o varios motores eléctricos, adquieren la energía que es almacenada en sus baterías que son recargables mediante la conexión a la red eléctrica.[27]
- ✓ **Vehículo híbrido enchufable o Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV):** estos pueden conectarse al sistema eléctrico para recargar su batería, pueden alcanzar recorridos hasta de 80km haciendo uso solamente de la tracción eléctrica, además disponen de un motor de combustión para recargar la batería cuando esta lo requiera.[27]
- ✓ **Vehículo eléctrico de autonomía extendida o Extended Range Electric Vehicle (EREV):** este tipo de vehículos poseen un motor de combustión que actúa como generador, este es el encargado de cargar de manera lineal la batería cuando esta lo requiere sin necesidad de que el conductor lo decida.[27]

7. INICIATIVAS DE REDES INTELIGENTES EN COLOMBIA

En distintas zonas del país se iniciaron múltiples proyectos acerca de redes inteligentes basados en las diferentes tecnologías a las que estas tienen acceso, en la figura 12 se encuentra la ubicación de estos proyectos.

Figura 12. Ubicación de iniciativas de redes inteligentes en Colombia.



Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia”[28]

En el país se están desarrollando varias iniciativas de redes inteligentes, con estas iniciativas se pueden lograr mejoras en la calidad, eficiencia, continuidad del servicio, reducción de las distintas pérdidas. Muchas de estas iniciativas han demostrado beneficios como el caso de los medidores inteligentes, la generación distribuida con las fuentes no convencionales de energías renovables que ayudan a minimizar el daño al medio ambiente y la curva de consumo, también la automatización y monitoreo de la red de distribución que posibilita reducir los tiempos de mantenimiento y distintas reparaciones que sean necesarias. En las siguientes tablas se dan a conocer las distintas iniciativas, dichas tablas se encuentran fraccionadas por tecnologías.

Tabla 6. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Piloto Smart	Bogotá D.C.	CODENSA S.A. ESP	Este proyecto se encuentra en etapa de factibilidad, está dado a conocer como una infraestructura que

Metering			<p>puede llegar a contribuir en el crecimiento de nuestro país y en los distintos objetivos de mayor importancia planteados por la empresa.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementación de medidores inteligentes con la finalidad de manifestar los beneficios que ofrece esta tecnología. ✓ Estandarizar las técnicas de medida centralizada que hayan en la compañía. ✓ Reducción de pérdidas de energéticas relacionadas con el hurto de esta. ✓ Aumentar calidad del servicio de energía. ✓ Reducción de costes de operación en las actividades de interrupción, supervisión y reconexión.
Intelligent Supervision and Anvanced Control (ISAAC) fase III	Antioquia	XM	<p>El proyecto "Sistema Inteligente de Supervisión y Control Avanzado de tiempo real" que hace uso de las tecnologías AMI/ADA, se encuentra en etapa de operación, presenta como objetivo diseñar la arquitectura de un modelo para los nuevos sistemas de inspección y control en tiempo verdadero, donde propone una visión hacia un desarrollo radical de los sistemas SCADA/EMS. Este proyecto está sustentado bajo la hipótesis de que esta tecnología evoluciona en 5 grandes temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Integrar de manera completa la medición fasorial en las múltiples herramientas de inspección. ✓ Progreso de la funcionalidad de inspección y control (EMS) que se encuentra distribuida en las subestaciones. ✓ Desarrollo de paradigmas de protección colaborativa. ✓ Paradigmas de Conciencia Situacional Avanzada para Operadores. ✓ Conjunto de elementos de Comunicaciones con modelo de Nube/Bus de datos.

Fuente: Extraído de "Iniciativas de redes inteligentes en Colombia" [28]

Tabla 7. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Proyecto piloto de medición inteligente multiservicio	Antioquia	EPM	Este es un proyecto de Smart Metering en electricidad, aguas y gas natural, para 1.000 clientes aproximadamente, con la finalidad de incorporar la tecnología y evaluar la calidad del servicio, identificar las pérdidas que se generen y los costos comerciales.

Estudio del protocolo IPv6 en el modelo de datos del dominio de distribución de la Smart Grid	Valle del Cauca	Universidad del Valle	Este proyecto ya fue finalizado, se mide el cumplimiento de IPv6 en el dominio de distribución de la red inteligente, en esta evaluación se incluyen mediciones y estudios de los retardos, anchos de banda, condiciones de seguridad, entre otros. Se imaginó un proyecto evolucionado para conseguir superar las distintas restricciones que implica trabajar con simulaciones este tipo de contextos.
Interconexión en los segmentos de acceso y backbone en la red de telecomunicaciones de la Smart Grid	Antioquia	INTERNEXA S.A	Este proyecto se encuentra en etapa de factibilidad, en este se define una metodología para seleccionar el esquema de interconexión que mejor se adecue y que además agrade a los distintos requerimientos de conexión de la zona geográfica donde se ponga en marcha, además busca estudiar el impacto del comercio de instrumentos de redes inteligentes sobre el backbone de la red de telecomunicaciones de INTERNEXA. Asimismo plantea un patrón de comercio y propone al marco regulatorio el bosquejo de interconexión de las secciones de acceso y backbone de la red de telecomunicaciones de redes inteligentes.
Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) sobre plataforma TWACS	Valle del Cauca	ACLARA PLS	Este proyecto se encuentra en etapa de operación, desarrolla la implementación de soluciones que posibiliten advertir sobre la problemática de las pérdidas no técnicas y el dilema de bajo cobro, en estado alcanzable para los distintos usuarios del sistema.
Proyecto piloto: gestión de 1 MW de demanda en sitio	Cali	Innovari	Este proyecto piloto se encuentra en etapa de factibilidad, lo que se busca con él es lograr el retiro de 1 MWp de demanda dentro del sistema de distribución local de EMCALI de manera automática.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 8. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Perfil colombiano 61850	Perfil colombiano 61850	CODENSA Universidad Nacional sede Medellín	Este proyecto se encuentra en proceso de diseño, en este se pretende desarrollar un perfil colombiano IEC 61850, el cual busca que se posibilite la unificación del procedimiento de configuración de los instrumentos de las distintas empresas del sector eléctrico del país.
			Lo que pretende esta empresa es realizar un

Implementación del centro de gestión de la medida –fase 0	Valle del Cauca	Empresa de energía del pacífico - EPSA	análisis para implementar MDM's como fracción de su centro de gestión de la medida para el control de flujos con la finalidad de desarrollar tele-trámite y además realizar gestión inteligente de toda la información de tal manera que esta sea utilizada para tomar decisiones futuras que avalen la minimización de pérdidas y ayuden a levantar los análisis de la eficiencia energética.
Desarrollo de un sistema electrónico inteligente de medición y administración de energía eléctrica a usuarios finales	Cundinamarca	Centro de investigación y desarrollo tecnológico de la industria electro electrónica y TICs CIDEI	Este proyecto se encuentra en etapa de construcción, con el desarrollo de este se espera repotenciar un producto que en la actualidad se localiza dentro del portafolio de la empresa, mediante la inclusión de tecnologías emergentes y la actualización de sus componentes, lo que se espera es realizar la formación de un sistema inteligente de medida, inspección y gestión energética en redes de distribución, el cual permite a la compañía favorecida realizar de manera instantánea el movimiento de energía en transformadores de distribución, reconociendo y analizando las pérdidas no técnicas relacionadas con el hurto de energía así como las maniobras de conexión y desconexión de circuitos, restringiendo el abastecimiento energético en caso de conexiones que presenten fraudes.
Arquitectura de software para gestión y medición del consumo de energía	Valle del Cauca	OnGreen Colombia	El proyecto se encuentra en etapa de diseño, se pretende plantear una arquitectura que funcione de base para el desarrollo empresarial StarUP en el Centro Institucional de Emprendimiento Empresarial (CIEE) de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) llamada SABER, con esta se busca brindar soluciones de ahorro y el uso eficaz de recursos de agua y energía a las distintas empresas que laboran en la región haciendo uso de una propuesta de servicios informáticos que se encuentran en la nube, la cual permite una gestión integra de los diferentes recursos y detecta las oportunidades de ahorro, recuperación y reciclaje de los recursos antes mencionados.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 9. Iniciativas tecnología ADA desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Automatización	Caldas	CHEC S.A	Este proyecto se encuentra en etapa de operación,

de la operación de redes de distribución subterráneas			<p>la empresa está buscando conseguir una mayor efectividad en la operación de la automatización de las redes de distribución subterráneas.</p> <p>Se realizó la instalación de diez instrumentos de tele-control incorporados a las celdas de corte y con esto fue posible la supervisión y operación remota desde el centro de gestión, de este modo se aceleran los tiempos de réplica en interconexión de circuitos frente a los distintos eventos que pueda presentar el sistema. Este esquema se encuentra operando en la ciudad de Manizales y posibilita realizar de manera distante veintinueve interconexiones entre circuitos.</p>
Intelligent Supervision and Advanced Control (ISAAC) fase III	Antioquia	XM	<p>El proyecto “Sistema Inteligente de Supervisión y Control Avanzado de tiempo real” que hace uso de las tecnologías AMI/ADA, se encuentra en etapa de operación, presenta como objetivo diseñar la arquitectura de un modelo para los nuevos sistemas de inspección y control en tiempo verdadero, donde propone una visión hacia un desarrollo radical de los sistemas SCADA/EMS.</p> <p>Este proyecto está sustentado bajo la hipótesis de que esta tecnología evoluciona en 5 grandes temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Integrar de manera completa la medición fasorial en las múltiples herramientas de inspección. ✓ Progreso de la funcionalidad de inspección y control (EMS) que se encuentra distribuida en las subestaciones. ✓ Desarrollo de paradigmas de protección colaborativa. ✓ Paradigmas de Conciencia Situacional Avanzada para Operadores. ✓ Conjunto de elementos de Comunicaciones con modelo de Nube/Bus de datos.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 10. Iniciativas tecnología DER desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Servicios de datacenter 7 cloud Smart Grid	Antioquia	INTERNEXA	Este proyecto se encuentra en etapa de diseño, lo que busca es brindar distintos servicios para almacenar, diferentes servidores de almacenamiento y además procesar señales.
Eficiencia energética	Valle del Cauca	Empresa de energía del	El objetivo primordial de este proyecto es realizar una valoración acerca de la implementación de la tecnología fotovoltaica en la red de electrificación de la

y energías renovables EPSA yumbo.		pacífico - EPSA	región y asimismo posibilitar percibir las circunstancias bajo las cuales sería factible su ejecución en el sistema interconectado nacional (SIN), todo esto siendo manejado desde el edificio EPSA yumbo con un sistema fotovoltaico en tipo piloto.
Proyecto piloto de micro red inteligente	Antioquia	Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín)	<p>El proyecto se encuentra en etapa de construcción, lo que se desea lograr es la implementación de una micro red inteligente con la cual sea posible realizar estudios, investigaciones, apropiaciones tecnológicas y desarrollo de diferentes prototipos para brindar soluciones integras de modelo micro red para los usuarios de mayor consumo, zonas que no se encuentren interconectadas. Para dar solución a los inconvenientes ya identificados, resultan las siguientes tres fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementación de la infraestructura de la micro red: esta fase tiene como objetivo principal la implementación completa en un periodo no mayor a tres años la infraestructura de la micro red, sistemas de generación solar, aerogeneradores de entorno urbano, sistema de almacenamiento de energía, entre otros, todo esto monitoreado en tiempo real desde un centro de control. ✓ Investigación, apropiación tecnológica e integración de prototipos: en paralelo a la fase anterior y seguidamente de esta, se realizarán distintas investigaciones, efectuando pruebas, midiendo el desempeño de cada elemento de la micro red y además se desarrollarán modelos y se añadirán algunos ya existentes. ✓ Desarrollo de soluciones a la medida y escalamiento de la micro red: esta última fase tiene como intención brindar soluciones particulares que agrupen diversos componentes de la micro red a posibles usuarios dependiendo sus necesidades. El proyecto se constituirá en una vitrina obligada para el país en general, por su naturaleza multidisciplinaria y transversal. Además en este proyecto se evidencia una coherencia entre los objetivos de este y los diferentes planes de ciencia, tecnología e innovación regionales y nacionales, fundamentalmente en lo pertinente a la energía y a las TICs.
Perfil modelo CIM para empresas del sector	Antioquia	EPM	<p>El proyecto se encuentra en proceso de construcción, este modelo es un estándar descrito en el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) que es el encargado de organizar la información que sea útil en los sistemas de energía eléctrica, con el uso del modelo CIM se facilitará el intercambio de información de aplicaciones entre los diferentes fabricantes.</p> <p>En la actualidad distintas empresas del sector eléctrico se encuentran en busca de implementar el modelo CIM de manera independiente. Por medio de este proyecto</p>

eléctrico colombiano			lo que se busca es lograr la producción de un perfil de modelo CIM esencial para lograr el canje de información y conceder instrumentos informáticos que apoyen la implementación del modelo antes mencionado.
----------------------	--	--	--

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 11. Iniciativas tecnología VE desarrolladas en Colombia.

Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Transporte eléctrico-viabilidad de tecnologías innovadoras para operación, modernización y crecimiento de la red eléctrica de EPSA E.S.P	Valle del Cauca	Empresa de energía del pacífico- EPSA	Este proyecto ya fue finalizado, actualmente es de vital importancia tener una observación general acerca de la situación vigente de los vehículos eléctricos, orientado hacia las líneas de desarrollo y las distintas aplicaciones a realizar por entidades como el gobierno, fabricantes de automóviles y las múltiples empresas existentes en el sector eléctrico. Con la finalidad de conseguir una inclusión estable de los vehículos eléctricos en el mercado, para esto se deben llevar a cabo diferentes estrategias de apoyo e implementación con objetivos claros y definidos para que los usuarios se motiven y vean las ventajas que presenta el uso del VE. EPSA trabaja en un análisis sobre la factibilidad de tecnologías innovadoras para la ejecución, actualización e incremento de la red eléctrica EPSA E.S.P. donde se procura conocer las distintas necesidades que se puedan presentar en el futuro para realizar pilotos que den fe de la información de rendimientos, comportamiento en esta región y el efecto en la red, estaciones de carga, sistemas de acumulación y la movilidad eléctrica.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia”[28]

Cabe resaltar que existen varias iniciativas acerca de redes inteligentes desarrolladas por la empresa Electricaribe, las cuales se encontraban en distintas etapas cuando dicha empresa prestaba el servicio de energía eléctrica en la región caribe del país, no se tiene claridad si el nuevo operador de red de esta zona del país dé continuidad a estas iniciativas, en la tabla 12 se describen las iniciativas que fueron propuestas por la empresa Electricaribe:

Tabla 12. Iniciativas de la empresa Electricaribe desarrolladas en Colombia.

Iniciativas de la empresa Electricaribe desarrolladas en Colombia				
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto	Tecnología
Tecnificación de la medida	Atlántico	Electricaribe	Este proyecto se encontraba en etapa de operación, lo que realizaba era la detección manipulación de medidores en grandes centros de consumo de energía, todo esto mediante de un reporte de alarmas que eran generadas por sensores y toda la información que los medidores entregaban.	AMI
Interoperabilidad de medidores con DMLS COSEM y protocolo PLC PRIME	Atlántico, Bolívar y Magdalena	Electricaribe	Este proyecto se encontraba en etapa de evaluación, lo que se pretendía era tener distintos proveedores de medidores que fuesen administrados por un único sistema de medida, planteaba la existencia de una problemática ya que cada abastecedor poseía sus medidores y distintos reglamentos de uso exclusivo, mientras que con esta iniciativa se tenía la expectativa de poder leer medidores de los distintos proveedores.	AMI
Piloto Smart Meter con protocolo DLMS COSEM PRIME	Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Córdoba y Sucre	Electricaribe	Este proyecto se encontraba en etapa de factibilidad, lo que este pretendía era evaluar la manera como se comportaba la red PLC-PRIME con protocolo de comunicación DLMS-COSEM, para así conseguir agrupar en un mismo sistema de medida múltiples medidores de distintos proveedores, además con este sistema se busca obtener el control de la energía necesario por las distintas variables del exterior.	AMI

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia”[28]

8. CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE LAS REDES INTELIGENTES

Las redes inteligentes poseen diferentes características que permiten la distribución de energía eléctrica haciendo uso de tecnología digital con la finalidad de disminuir los costos, mejorar la fiabilidad y fomentar el ahorro de energía, entre las características y beneficios más relevantes que son de vital interés para los distintos usuarios del departamento del Cesar, se destacan las siguientes:

8.1. EFICIENCIA Y FIABILIDAD

Esta característica se enfoca en minimizar en gran escala la contaminación, los costos y múltiples peligros que están relacionados con la producción y la transmisión de energía eléctrica, estos son problemas que se presentan en el departamento del Cesar, la mejor manera de conseguir esto es utilizando en menor medida la electricidad, por esto las redes inteligentes buscan disminuir el consumo de electricidad con el uso de las nuevas tecnologías. Las redes inteligentes abastecen de información a los distintos usuarios para que estos tengan conocimiento de la cantidad de energía que se está requiriendo y de esta manera evitar que se suministre mayor electricidad de la que en realidad se necesita.

Con el paso del tiempo la red de energía eléctrica vigente tiende a presentar desmejoras en su funcionamiento, dando paso a interrupciones, sag de voltage y otros fenómenos de la calidad de la energía que deterioran la red, al no tener la oportunidad de contar con elementos y equipos automatizados capaces de dar a conocer lo que acontece se presentan algunos de los fenómenos antes mencionados. Con la finalidad de minimizar estos inconvenientes, se presentan las redes inteligentes que ayudan a reducir en gran cantidad la repetición de interrupciones a partir de un análisis de información entre los distintos puntos de control que ayudará a mejorar la eficiencia y fiabilidad de la red.[6], [29]

8.2. SEGURIDAD

En el departamento del Cesar, la estructura de las redes eléctricas por su antigüedad presenta múltiples dificultades en cuanto a la seguridad.

Generalmente los operadores de red no se encuentran informados de los distintos problemas que las redes eléctricas presentan, muchas veces son los usuarios que dan aviso a las compañías para ponerlas al tanto de la presencia de un fallo y de esta manera es que el operador de red determina donde se presentó la interrupción. Las redes inteligentes tienen la capacidad de dar aviso a los operadores de red acerca de donde se presentó la interrupción, inclusive alarmar

a estos antes de que suceda el fallo y cortes de mayor medida. Las redes inteligentes además de poseer la capacidad de reponerse, también posibilitan analizar lo que ocasionó o provocó las interrupciones.

Otro aporte importante al implementar las redes inteligentes en el departamento del Cesar, es la seguridad cibernética, esta permite proteger de manera perfeccionada la red. Además de brindar una comunicación bidireccional entre usuarios y operador de red, esta responde de manera veloz a posibles fallos e interrupciones.[6], [29]

8.3. ENERGÍAS RENOVABLES

Generalmente las energías renovables no son constantes, estas presentan fluctuaciones ya que dependen de las condiciones meteorológicas como el viento, el brillo del sol o la lluvia, por esto se hace complejo enviar esta energía a los operadores de red cuando estos tengan necesidad de usarla. Con la implementación de redes inteligentes es posible almacenar energía y enviar información, con esto permite que las energías renovables puedan ser incorporadas a la red y ayudar a minimizar el impacto medio ambiental que producen las centrales de generación de electricidad que encontramos actualmente.

Al hablar de energías renovables hacemos mención a la inclusión del vehículo eléctrico que con su implementación se harán notorios los beneficios que brinda al medio ambiente por la eliminación de combustibles fósiles, además el VE puede ser usado como un equipo para almacenar energía y luego abastecer a la red inteligente en el momento que se presente una interrupción o cuando esta lo requiera.[6], [29]

8.4. INTERACCIÓN DEL CONSUMIDOR

Históricamente las redes eléctricas existentes en el departamento del Cesar no permiten tener una comunicación bidireccional entre los usuarios y los operadores de red, con la implementación de redes inteligentes los usuarios acceden a tener mayor información acerca de la energía que se está produciendo y entregando en su inmueble. Asimismo con la automatización de los elementos entre sí y con el consumidor su puede usar la cantidad de energía necesaria disminuyendo en gran medida el impacto medio ambiental, también le permite al usuario generar energía y devolver esta a la red para así obtener beneficios económicos, todo esto acompañado de medidores inteligentes y los sistemas de gestión.[6], [29]

8.5. ECONOMÍA

Las redes inteligentes favorecen a los usuarios en la economía ya que estas le permiten manejar y tener información acerca de la energía eléctrica que está siendo utilizada y además maximizar sus ingresos de manera voluntaria.

El uso de fuentes de energías limpias y “verdes” como la eólica, solar o geotérmica, entre otras, permiten la recuperación económica ya que al ser integradas con las redes inteligentes estas permiten la creación de nuevas empresas, industrias y múltiples empleos, mientras que la red con la que contamos actualmente presenta desventajas ya que no puede usar energías renovables porque solo está proyectada para transportar energía desde una planta hacia los inmuebles. Implementar las redes inteligentes en el departamento del Cesar, sería contar con un servicio fiable y de calidad que disminuirá pérdidas económicas por las constantes interrupciones que se presentan en esta zona del país.[6], [29]

8.6. IMPACTO AMBIENTAL

Las redes inteligentes al permitir que se integren las fuentes no convencionales de energía renovable a la red, ayudan a mitigar el cambio climático ya que son energías limpias, al ser implementadas estas redes se ayuda a cumplir los distintos desafíos planteados por el Ministerio de Minas y Energía (MME) en Colombia, como es la mitigación de la variabilidad y cambio climático haciendo uso de las energías renovables como la eólica, solar, geotérmica, entre otras.

En recopilación con lo investigado se puede decir que las redes inteligentes se encuentran listas para enfrentar los múltiples problemas ambientales que se presentan en el Cesar, haciendo uso de las energías renovables que son vitales para poder lograr su mitigación.[6]

Otra característica de gran importancia para el departamento del Cesar, es la generación distribuida, ya que esta integra en gran medida las energías renovables que tienen mayor auge en dicho departamento, como son la solar fotovoltaica y la eólica.

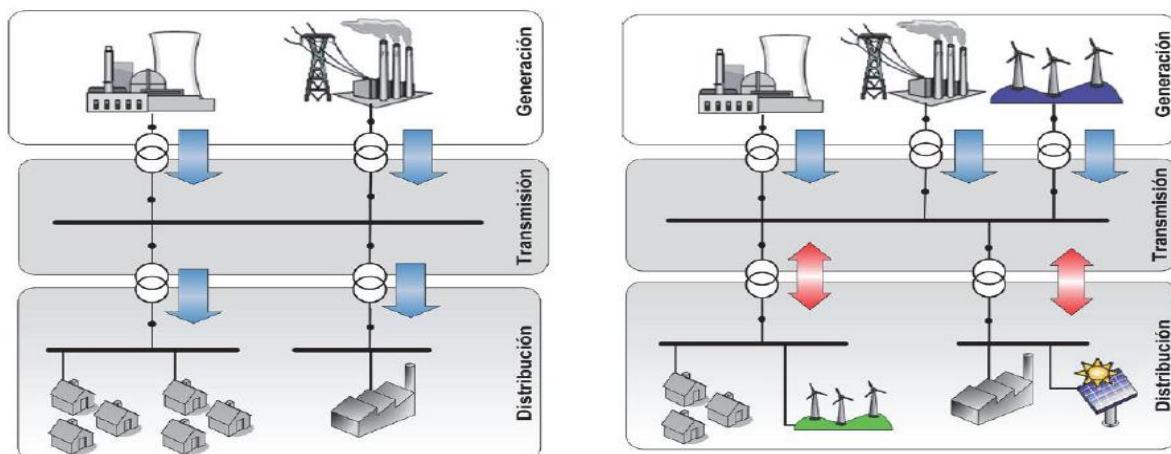
8.7. GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD)

La generación distribuida surge por la necesidad de no depender de los combustibles fósiles, asimismo la necesidad de proteger el medio ambiente ha ido tomando fuerza y esto ha permitido el uso de distintas energías renovables las cuales son de vital importancia al momento de abordar este concepto. La GD

presenta múltiples características siendo la de mayor importancia la que permite un flujo de energía bidireccional, o sea, modernizar el esquema que va desde las plantas de energía hasta los distintos usuarios finales, por un esquema que permite la participación activa de los usuarios con capacidad de almacenamiento y generación distribuida, en este esquema los usuarios tienen la capacidad de ser proveedores gracias al desarrollo de las tecnologías de energías renovables, por ejemplo mediante la instalación de paneles solares conectados a la red, esto hace que la GD se encuentre entre uno de los ejes para avanzar en las redes inteligentes.[8], [10]

La generación distribuida, también llamada autogeneración del consumidor, se entiende como las etapas de generación y distribución de electricidad a pequeña o mediana escala con cercanía a los usuarios finales e interacción con el sistema eléctrico, es decir, la producción de energía eléctrica cerca de los centros de consumo, conectados a un Sistema de Distribución Local (SDL), así como se puede observar en la figura 13.[8]

Figura 13. Sistema de energía tradicional y futuro sistema de energía.



Fuente: Extraído de “Estado del arte de las redes inteligentes ‘Smart Grid’ ”[8]

8.7.1. BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La GD presenta beneficios tecnológicos, económicos y sociales tanto para los usuarios como para la empresa que opera la red eléctrica, debido a su facilidad para agruparse y entrar en función con las redes inteligentes, a continuación haremos mención a los de mayor importancia:

- ✓ Disminución de emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de azufre, que son producidos por las grandes plantas de generación de energías no renovables y al hacer uso de la generación distribuida parte de

esta energía se puede generar de manera local mediante fuentes renovables y así se logrará reducir dichas emisiones.[30]

- ✓ Mejora la eficiencia del abastecimiento de electricidad, ya que refuerza la transmisión de energía debido a la producción de energía local por parte de los usuarios minimiza la demanda de energía en horas pico.[30]
- ✓ Aumento en la calidad de la energía, dado que los puntos de generación y consumo se encuentran más cerca, esto reduce los reactivos y además ayuda a que la tensión sea más estable al no hacer uso de una red de transporte.[6]
- ✓ Reducción de interrupciones e incremento en la confiabilidad, debido a que los distintos usuarios no dependen totalmente de la energía producida por la red, ya que al producir energía desde los generadores de pequeña escala, se logra poner en estabilidad la red en caso de que esta lo requiera.[6]
- ✓ Disminución del número de fallas al emplear una mayor cantidad de fuentes de generación de energía eléctrica.[31]
- ✓ Mayor provecho del calor residual producido por los grandes generadores térmicos, haciendo uso de este en las distintas actividades del consumidor.[31]
- ✓ Mayor uso de las energías renovables, mediante el almacenamiento de energía eléctrica a través de baterías para poder satisfacer la curva de demanda energética.[6]
- ✓ Brinda oportunidad de negocio, debido a que los usuarios generan su energía eléctrica y no dependen exclusivamente de la energía que proporciona la red, esto reduce costes de su electricidad.[6], [31]
- ✓ Reducción en costes de construcción de los sistemas de generación de energía eléctrica.[31]
- ✓ Abastecimiento de electricidad en lugares donde la red del sistema eléctrico convencional no puede llegar, esto se puede solucionar con el uso de micro redes ya que estas permiten independizarse del sistema cuando es necesario.[6], [31]

8.7.2. IMPEDIMENTOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Así como se consideran importantes beneficios, actualmente existen diferentes inconvenientes para lograr la implementación de los sistemas de generación distribuida en el departamento del Cesar, entre los principales impedimentos encontramos lo siguientes:

- ✓ Las redes de distribución son radiales, o sea, son redes que están estructuradas para proveer energía en una sola dirección, es decir, son redes unidireccionales y los sistemas de generación distribuida necesitan redes de distribución que se encuentren en conexión anillo para que la energía tenga un flujo bidireccional.[6], [32]
- ✓ Existe una escasa demanda por lo que aún no es posible alcanzar economías de escala, además existe poca inversión en la parte de investigación y desarrollo.[33]
- ✓ Desconocimiento sobre el potencial de la generación distribuida por parte de algunos usuarios, esto ocasiona un nivel de escasa confianza sobre el desarrollo de esta, a causa de los distintos riesgos de instalación y operación.[33]
- ✓ Las redes de distribución del departamento del Cesar tienen un bajo nivel de automatización.[32]

Para impedir que estos inconvenientes se presenten y aprovechar en gran medida los diferentes beneficios que brinda la generación distribuida, es necesario realizar distintos estudios donde se consideren las principales propiedades de los sistemas de generación distribuida que se deseen utilizar, con esto se establece un marco favorable para el departamento del Cesar.

8.7.3. TIPOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LAS REDES INTELIGENTES

Actualmente encontramos distintas tecnologías para los sistemas de generación distribuida, siendo los de mayor adaptabilidad a las redes inteligentes y al departamento del Cesar la generación eólica y la solar fotovoltaica, este departamento posee la planta de generación de energía fotovoltaica de mayor tamaño construida hasta la fecha en el país, ubicada en el municipio del Paso (Cesar), también la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), aprobó en el año 2019 la licencia para dar paso al proyecto de generación fotovoltaica en el corregimiento de Azúcar buena – La mesa, Valledupar, el cual se espera tenga un gran impacto en esta zona del país.[34]

8.7.4. GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Este tipo de energía eléctrica renovable es producida directamente por la radiación solar mediante celdas solares o celdas fotovoltaicas, normalmente estas celdas son laminas semiconductoras que permiten el uso de la corriente eléctrica de manera inmediata o almacenarla en una batería para que sea utilizada cuando sea requerida.

Anteriormente este tipo de energía era usada para el abastecimiento de electricidad en los diferentes sitios donde no era factible la implementación de las redes eléctricas convencionales, actualmente esta energía se posee como una de las más usadas a nivel mundial, su diversificación ha generado un alto interés en los distintos usuarios ya que presenta distintas aplicaciones en sectores como las telecomunicaciones, parquímetros, entre otros.[8], [35]

8.7.4.1. FUNCIONAMIENTO

Este tipo de sistemas entran en función cuando los módulos fotovoltaicos transforman en corriente directa la energía solar percibida mientras transcurre el día, esta corriente es transportada y almacenada en energía eléctrica en baterías para que el usuario tenga disponibilidad de esta cuando la necesite para energizar los distintos electrodomésticos del hogar. Para lograr el correcto uso de la energía extraída por las celdas solares que es entregada a las baterías, esta debe transportarse por el controlador de cargas que es el encargado de proteger a los diferentes elementos del sistema contra sobrecargas, bajos voltajes o altas corrientes.[35]

8.7.4.2. VENTAJAS

Este tipo de sistemas presenta una variedad de ventajas que se resumen a continuación:

- ✓ Fuente inagotable de energía al provenir de la radiación solar.[34], [36]
- ✓ No produce emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ni demás gases que produzcan contaminación al medio ambiente, es decir, es una energía limpia.[8]
- ✓ No consume combustibles.[8]
- ✓ No necesita de mantenimientos complejos y costosos.[8], [34], [36]
- ✓ Resistente a las distintas condiciones climáticas que se puedan presentar.[8]

- ✓ No genera ruidos ni residuos que puedan hacer daño al medio ambiente.[34]
- ✓ Se puede instalar en zonas de difícil acceso para las redes eléctricas convencionales, por lo general zonas rurales.[36]
- ✓ Venta de los excedentes de energía eléctrica a la empresa prestadora del servicio de la localidad.[8]

8.7.4.3. DESVENTAJAS

Así como anteriormente se hizo mención a las ventajas que presenta este tipo de sistemas, también se presentan algunas desventajas a la hora de ser implementados:

- ✓ Acumulación de baterías que contienen distintos químicos con gran peligrosidad.[34]
- ✓ Producción variable provocada por los cambios climáticos presentes en las distintas épocas del año.[37]
- ✓ Probable afectación a ecosistemas en caso de que las instalaciones sean de gran tamaño.[34]
- ✓ Gran inversión inicial.[37]

8.7.5. GENERACIÓN EÓLICA

Este tipo de energía renovable utiliza la fuerza del viento para así producir energía eléctrica, actualmente, este tipo de energía es una de las de mayor eficiencia entre las energías renovables, su principal medio de obtención son las turbinas eólicas que con sus hélices se encarga de convertir la energía cinética producida por el viento en electricidad.

La velocidad del viento se encuentra expresada en metros por segundo (m/s), esta es clave en la generación de energía eléctrica en las turbinas eólicas, gran parte de la región caribe, zona donde se encuentra ubicado el departamento del Cesar, presenta un gran potencial eólico, con vientos que alcanzan velocidades que fluctúan los 9 m/s a una altura entre 70m y 80m para la utilización de este importante recurso. Esta energía eólica está proyectada a ser competitiva ya que los principios que utiliza son sencillos.[34]

8.7.5.1. VENTAJAS

La generación eólica presenta múltiples ventajas las cuales se describen a continuación:

- ✓ Es una fuente de energía inagotable ya que depende del viento.[38]
- ✓ Es limpia, ya que no genera emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.[8]
- ✓ Reducción del uso de combustibles fósiles, con esto se disminuye el aumento del efecto invernadero y el cambio climático.[38]
- ✓ Generación de empleo local y fomenta riqueza, ya que está disponible en casi todo el planeta.[8]
- ✓ Rápida instalación, ya que no requiere de minería ni transformación de combustibles.[8]
- ✓ Permite la instalación de turbinas eólicas a distintas alturas para conseguir una producción constante.[38]
- ✓ Presenta cero incidencia con relación a las características fisicoquímicas del suelo, ya que no origina ningún contaminante que incurra sobre este medio.[38]
- ✓ Puede instalarse en zonas desérticas, próximas a la costa, zonas destinadas para distintos cultivos, prados para uso ganadero, entre otros.[8], [38]
- ✓ Requiere poco mantenimiento.[38]
- ✓ Competitividad en costes con energías tradicionales.[38]

8.7.5.2. DESVENTAJAS

Esta energía también presenta distintos inconvenientes a la hora de su implementación debido a la aleatoriedad del viento, estos inconvenientes se dan a conocer a continuación:

- ✓ Impacto ambiental, ya que las turbinas de viento producen ruido y afectación a la fauna que se encuentre cerca de estas.[33], [39]
- ✓ La velocidad del viento no puede exceder cierto límite, ya que al ser superior ocasiona daños en el eje y la producción disminuye.[39]
- ✓ Produce impacto visual en el paisaje, ya que los rayos solares impactan las aspas y son enviados hacia los hogares cercanos, rutas o cultivos.[33], [39]

- ✓ Impredecibilidad del clima, esta energía así como la solar depende de los cambios que presenta la naturaleza, ya que el viento varía en velocidad, dirección e intensidad.[39]
- ✓ Necesita sistemas para almacenar la energía generada, estos sistemas son baterías costosas y con materiales tóxicos, estas representan un problema ecológico.[39]
- ✓ Necesidad de grandes extensiones de tierras, los parques eólicos necesitan grandes espacios ya que las turbinas de viento no pueden estar cerca unas de otras ya que el viento es modificado por las mismas en su paso.[39]

8.7.6. EFECTOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA OPERACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR

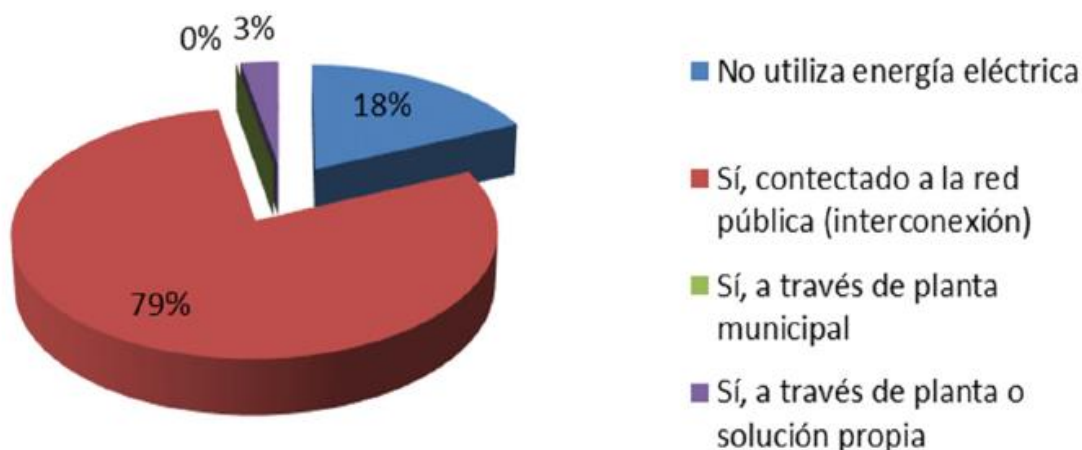
La instalación de la generación distribuida sobre la red de distribución, presenta diferentes impactos los cuales requieren de estudios muy minuciosos sobre la tecnología y topología de la red, para así impedir la presencia de problemas que influyan en la calidad de la potencia. Los problemas que comúnmente se encuentran son los armónicos y los flickers que dependen de la tecnología y el sitio donde esta se pretenda instalar. Otro impacto de gran importancia en la red de distribución del departamento del Cesar, es la coordinación de las protecciones, ya que las que se encuentran actualmente están esquematizadas para sistemas con configuración radial y flujos en una sola dirección.[40]

Se debe agregar que la conexión de la generación distribuida a la red de distribución, genera variaciones en el perfil de tensión a lo largo de un alimentador ya que provoca cambios de dirección y magnitud de los flujos de potencia tanto real como reactiva, este impacto puede ser positivo o negativo dependiendo de las características que presente el generador distribuido, la red de distribución y otros componentes que hagan parte de esta. También cabe mencionar el impacto que esta tiene en los niveles de cortocircuito, ya que genera un incremento en las corrientes de falla, superando las de las condiciones normales donde no hay generación distribuida colocada en la red, la influencia de la generación distribuida en estas fallas generalmente depende de factores como el tamaño de la generación, alejamiento de la generación distribuida al lugar de la falla y el tipo de generación distribuida, todo esto puede causar daños en la seguridad y fiabilidad del sistema de distribución.[41]

9. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA ENERGÉTICO DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR Y DESAFÍOS

El departamento del Cesar en su circuito de configuración abastece en un total del 79% de la población en general del Cesar, asimismo el 21% restante se divide entre autogeneración privada con un 3% y el 18% sobrante no posee acceso a la energía eléctrica, del mismo modo hay que señalar que no existen plantas de uso compartido mediante energías renovables, es decir, no hay plantas municipales. En la figura 14 se observan los porcentajes del servicio de energía en este departamento.[42]

Figura 14. Servicio de energía eléctrica en el departamento del Cesar.

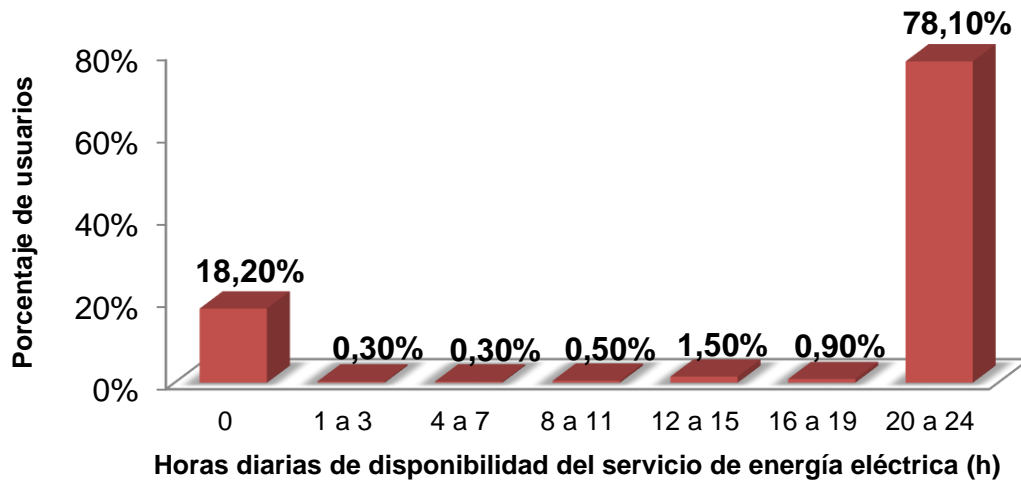


Fuente: Extraído de “Demanda energética del departamento del Cesar” [42]

Actualmente este departamento posee una baja tasa en cuanto a calidad, confiabilidad y continuidad del servicio de energía se refiere, es por esto que se han planteado como principales desafíos mejorar los índices antes mencionados, para esto se plantea realizar un plan de expansión para así disfrutar de mejores subestaciones, repotenciación y nuevas líneas de alta tensión, siendo esto un paso de gran importancia para alcanzar el objetivo antes planteado y mejorar la calidad de vida y el desarrollo sostenible en el departamento.[43]

En el Plan de Energización Rural Sostenible (PERS) del departamento del Cesar, se muestra la encuesta realizada en el departamento a algunos usuarios acerca del número de horas diarias de disponibilidad del servicio de energía eléctrica, la cual arrojó los resultados que se evidencian en la figura 15.

Figura 15. Disponibilidad de horas al día del servicio de energía eléctrica en el departamento del Cesar.



Fuente: Extraído de “Demanda energética del departamento del Cesar” [42]

Para transformar la red eléctrica tradicional del departamento del Cesar a una red inteligente no es necesario implementar una nueva red, sino hacer progresar la red existente para así lograr que esta obtenga una mejor eficiencia y además poder controlar de manera organizada los distintos trayectos de la producción eléctrica. Es de considerar que la red de distribución existente en el departamento del Cesar presenta una serie de activos que aún cuenta con una vida útil considerable, los cuales toca automatizar y monitorizar, esto implica de grandes esfuerzos y destinación de recursos.[23]

En la tabla 13 se evidencian algunas de las diferencias existentes entre las características de la red eléctrica tradicional del departamento del Cesar y una red inteligente o red del futuro.

Tabla 13. Diferencias entre la red actual y una red inteligente.

Red eléctrica actual	Red eléctrica inteligente
Comunicación unidireccional.	Comunicación bidireccional.
Electromecánica y digital.	Completamente digital.
Usuarios pasivos.	Usuarios activos.
Generación centralizada.	Combina generación centralizada y distribuida.
Existencia limitada de elementos de monitorización.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización.
Infraestructura vulnerable.	Rápida capacidad de restauración con resistencia a ataques y desastres

	naturales.
Únicamente resuelve cortes del suministro, evadiendo inconvenientes de calidad de energía eléctrica, dando continuidad a problemas de sag de voltage, perturbaciones, ruido, entre otros.	Satisface a industrias y usuarios, brindando calidad de energía eléctrica, logrando la identificación y solución de los inconvenientes que se puedan presentar.
Ausencia de servicios en el sistema de distribución.	Implicación dinámica de los recursos energéticos y del distribuidor en los nuevos servicios en el sistema de distribución.
Basada en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Detecta y responde de manera automática a transmisiones actuales y problemas en la distribución, además minimiza el impacto en el usuario.
Explotación de topología radial.	Probable explotación de topología mallada.
Pérdida de energía eléctrica en gran medida, debido a la baja eficacia en el transporte eléctrico.	Sistemas de control inteligentes que permiten intercambiar energía entre los diferentes dispositivos y además el aprovechamiento eficiente de la capacidad de transmisión de la red.

Fuente: Extraído de “Estudio, análisis y modelamiento de los sistemas eléctricos de distribución en el contexto de redes eléctricas inteligentes industria 4.0 y automatización, Estado del arte de las redes inteligentes ‘Smart Grid” [8], [23]

10. PROYECTOS RELACIONADOS CON LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.

En el año 2020 se proponen programas específicos y proyectos inteligentes en la capital del departamento del Cesar, uno de los principales proyectos es el llamado “Ciudad Energética y servicios públicos Sostenibles” en el cual se implementarán diferentes modelos estratégicos, financieros y políticas para la transformación a energías renovables, para ayudar a aplacar el cambio climático. Asimismo busca dar cumplimiento a la ley 1819 del año 2016, donde se definen los diferentes avances tecnológicos relacionados con el alumbrado (detección de fallas, medición de consumo, operación eficiente, entre otros), como también la administración de una red fundamentada en tecnologías de la información y comunicación, que asocia el sistema con la ciberseguridad y otros servicios que se encuentran relacionados con la interoperabilidad.[44]

Entre las principales estrategias de este proyecto se destacan las siguientes: zonas verdes sostenibles, reemplazo del consumo de energía por las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), uso de las medidas de gestión eficiente de la energía.

La Nueva Agenda Urbana (NAU) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) plantean objetivos que se encuentran relacionados con la energía, son los siguientes:[44]

- ✓ Sistemas energéticos modernos
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Energías renovables

Además la NAU plantea algunos compromisos con la sostenibilidad y servicios en Valledupar (capital del departamento del Cesar), entre los más relevantes se presenta la sostenibilidad del medio ambiente, servicios energéticos fiables y modernos, energías renovables, prioridad a los sistemas energéticos inteligentes, la adopción de ciudad inteligente y la mejora en la prestación de los diferentes servicios.[44]

También cabe resaltar que el gobierno departamental de esta zona del país afronta el desafío de ser la región más inteligente de Colombia, es por esto, que en el año 2021 se socializó el proyecto City Lab de tecnología del Cesar, en dicho proyecto se pretende abarcar diferentes temas tecnológicos como el internet de las cosas (IoT), big data, robótica, entre otros. Con la inicialización de este proyecto se espera que el departamento pueda mejorar los déficits en cuanto a tecnología se refiere y así poder avanzar en los procesos de modernización en diferentes escenarios.[45]

Asimismo este departamento cuenta con la planta fotovoltaica más grande del país construida hasta la fecha, ubicada en el municipio del Paso, puesta en funcionamiento por el grupo Enel Green Power (EGN) y comercializada por Enel Emgesa, este parque simboliza el 80% de la energía solar alojada en todo el país, su capacidad instalada es de 86,2MW (176GWh al año) la cual puede saciar las necesidades energéticas de 102.000 hogares colombianos. El Paso se convirtió en la primera planta solar con compromiso de determinación centralizada en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).[46]

Fue inaugurado el 5 de abril del año 2019, con una inversión cercana a los 70 millones de dólares (211.000 millones de pesos), su construcción tiene una

ocupación de un área aproximada de 210 hectáreas y está compuesto por más 250.000 paneles solares que poseen estructuras móviles para seguir la trayectoria del sol para así lograr aumento en la generación de energía. Con la implementación de este parque solar se logra la reducción de 107.000 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂) lo cual es equivalente a cultivar 7,6 millones de árboles.[46]

Otro proyecto de gran importancia en el departamento del Cesar es el que fue aprobado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para la generación de energía fotovoltaica en el corregimiento de Azúcar Buena – La mesa, Valledupar, el cual considera la construcción de un parque solar constituido por cinco plantas solares instalados seguidamente para producir 100 megavatios, con una generación aproximada de 41.667 MWh/año durante 30 años de ejecución, lo cual se estima que abastecerá a más de 105.000 hogares.[47]

Su construcción y puesta en marcha se encuentra a cargo de la empresa Celsia, la cual hará una inversión similar a la del proyecto implementado en el Paso, el área total dispuesta para este proyecto es de 156.61 hectáreas de los cuales 105.62 estarán ocupados por 284.310 paneles solares. Según ANLA este proyecto disminuirá 150.000 toneladas al año de dióxido de carbono (CO₂), lo que equivale a lo que capturarían 9.000 hectáreas de bosque húmedo en un año. El objetivo propuesto por el gobierno nacional es elevar por lo menos al 10% la participación de las fuentes de energías renovables no convencionales sobre la energía eléctrica total generada.[47]

11. CONCLUSIONES

- ✓ Se analizó que con la integración de las tecnologías de redes inteligentes descritas en este trabajo (AMI, ADA, DER y VE) a la red de distribución, el departamento del Cesar puede conseguir dar cumplimiento a los desafíos que tienen propuestos en los distintos planes de desarrollo departamental, entre ellos mejorar la continuidad y calidad del servicio de energía eléctrica y disminuir el impacto ambiental.
- ✓ Con el desarrollo de las tecnologías de redes inteligentes se contribuiría a la minimización de la inversión indispensable en infraestructura eléctrica de generación, transmisión y distribución en el departamento del Cesar, para dar paso al aumento de la demanda energética que se prevé en este departamento.
- ✓ Con el contexto planteado se impulsa la participación de manera activa de los distintos usuarios en el sistema energético, con esto se busca generar entendimiento acerca de ahorro energía y además que estos aporten información detallada de sus consumos.
- ✓ Con la posibilidad de puesta en marcha de las redes inteligentes estudiadas en este trabajo, en el departamento del Cesar los consumidores tendrán un rol diferente, ya que podrán hacer uso de las fuentes no convencionales de energía para generar su energía y contribuir con los excedentes a la red, convirtiéndose en prosumidores.
- ✓ La infraestructura actual de la red eléctrica del departamento del Cesar necesita una transformación para generar mejoras en su seguridad y funcionalidad, con la finalidad de que se produzca una energía que sea eficaz, sostenible y fiable, y con la implementación de las redes inteligentes basándose en las iniciativas propuestas por la UPME en la visión Colombia 2030, se pueden realizar todas estas mejoras.
- ✓ En el departamento del Cesar con la implementación de redes inteligentes se disminuirían los tiempos de reparación cuando se presenta una falla y asimismo se minimizarían las interrupciones que tanto padece esta zona del país.
- ✓ Al implementar redes inteligentes en el Cesar, las pérdidas del sistema se minimizarían ya que las distintas tecnologías que estas ofrecen permiten optimizar la potencia reactiva y la corrección del factor de potencia,

asimismo permiten el desarrollo de conexiones eficaces para aprovechar las energías alternativas como son la solar y la eólica.

- ✓ Con la inclusión de este tipo de redes y el uso de energías renovables, el departamento del Cesar buscaría garantizar el acceso de energía asequible, sostenible, segura y moderna para todos sus usuarios como lo propone la ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) en su objetivo número 7.
- ✓ Se logró la identificación de información técnica desarrollada acerca de las diferentes tecnologías de las redes eléctricas inteligentes, así como los detalles cualitativos y cuantitativos acerca de las mismas.
- ✓ Se evidenciaron las distintas aplicaciones y proyectos de las redes eléctricas inteligentes en Colombia y se identificaron algunos proyectos e iniciativas relacionadas que se adelantan en cuanto a redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar.

12. RECOMENDACIONES

- ✓ Tomar como guía algunas tecnologías desarrolladas en otros países, al igual que los casos de éxito implementados o ciudades que se consideran como Smart City (ciudades inteligentes) y aplicarlas en el departamento del Cesar para así disminuir errores a la hora de realizar su implementación.
- ✓ Promover el uso de las energías alternativas en los distintos usuarios del departamento a través de charlas u otros medios para que estos tengan más información acerca de los diferentes beneficios que pueden adquirir al generar energía de manera local.
- ✓ Concientizar a los usuarios con la finalidad de eliminar el fraude con la implementación de un sistema de medición inteligente.
- ✓ Elaborar proyectos entorno a las tecnologías de las redes inteligentes para modernizar y aplicar las nuevas tendencias tecnológicas en el departamento del Cesar.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gobernación del Cesar, “Departamento del Cesar,” <http://cesar.gov.co/d/index.php/es/mainmeneldpto/mendepre>, 2021. .
- [2] M. y E. A. (IDEAM) Instituto de Hidrología and Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), “Introducción al atlas interactivo,” 2014. .
- [3] M. y E. A. (IDEAM) Instituto de Hidrología and Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), “ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL EN COLOMBIA,” 2014, 2014.
- [4] “DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VIENTOS EN SUPERFICIE.”
- [5] GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN, “ASPECTOS GENERALES DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN COLOMBIA,” 2020.
- [6] Lorente De La Rubia J., “ESTUDIO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LAS ‘SMART GRIDS,’” 2011.
- [7] Acosta Perez F., “IDENTIFICACIÓN DE RETOS TIC DE LOS CONSUMIDORES COMO ACTORES ACTIVOS EN EL MARCO DE SMART GRID Y PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA AFRONTARLOS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO,” p., 2019.
- [8] Morales Quintana B. and Grandeth Salcedo N., “ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES ‘SMART GRID,’” 2012.
- [9] Smart Grids Visión Colombia 2030, “Parte I Antecedentes y Marco Conceptual del Análisis, Evaluación y Recomendaciones para la Implementación de Redes Inteligentes en Colombia,” 2016.
- [10] Pérez Gaitán A., “CAPÍTULO II EL FUTURO DE LA RED INTELIGENTE.”
- [11] Basso Thomas and Deblaslo Richard, “IEEE Smart Grid Series of Standards IEEE 2030 (Interoperability) and IEEE 1547 (Interconnection) Status: Preprint,” 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/254994410>.
- [12] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Contrato 2019-034 Consultoría Código de Redes,” 2019.
- [13] Caicedo B. Eduardo F., Castillo G. Javier F., Morales W., Echeverry M. Ricardo A., and Garcia R. Juan D., “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS PILOTOS ‘SMART GRID’ EN COLOMBIA,” 2015.

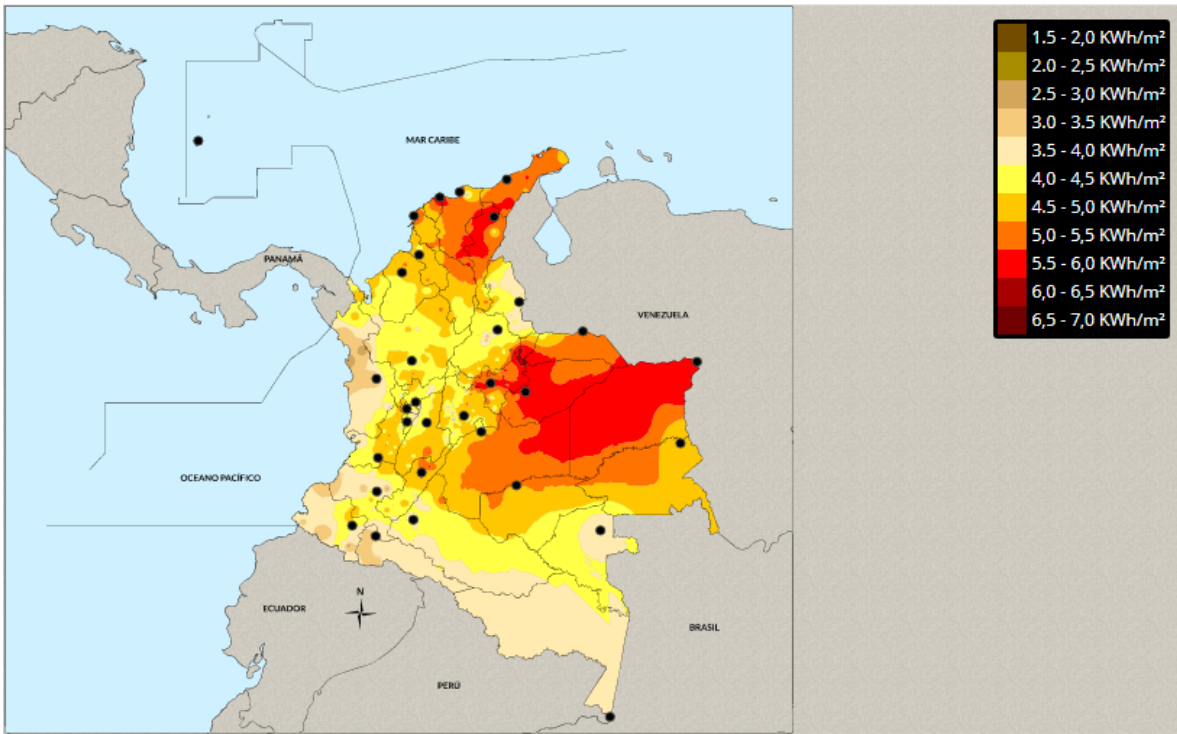
- [14] Giral R. William M., Celedón F. Hugo J., Galvis R. Eduard, and Zona O. Angela T., “Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema,” *Tecnura*, pp. 119–137, Jul. 2017, doi: 10.14483/22487638.12396.
- [15] Siemens Power Technologies International, “Siemens Smart Grid Compass Helping utilities manage multiple challenges,” 2013.
- [16] Rodríguez Mauricio, “Colombia Inteligente-Smart Grid Compass TM,” 2012.
- [17] Téllez G. Sandra M., Rosero G. Javier, and Céspedes G. Renato, “Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades,” <https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85259689012/html/index.html>, 2018. .
- [18] Ministerio de Minas y Energía, “ABC sobre Infraestructura de Medición Avanzada (AMI),” <https://www.minenergia.gov.co/infraestructura-de-medicion-avanzada>, 2019. .
- [19] Rojas D. David and Carmona J. Carlos A., “DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA ‘SMART MEDICIÓN’ EN LOS DIFERENTES ESTRATOS SOCIALES DE CALI,” 2016.
- [20] Duarte C. Sergio A. and Gutiérrez. Diego F., “Infraestructura de medición avanzada en sistemas de distribución con generación distribuida en redes e instalaciones eléctricas de baja tensión para adoptar políticas en materia de eficiencia energética.,” 2020.
- [21] SCC, “CISCO DNA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LA RED,” <https://www.sccenlared.es/cisco-dna-para-mejorar-el-rendimiento-de-la-red/>, 2020. .
- [22] Fernández F. Isaac, “Simplificación de la gestión de red mediante el uso de APIs,” 2018.
- [23] GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN, “ESTUDIO, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN EN EL CONTEXTO DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES INDUSTRIA 4.0 Y AUTOMATIZACIÓN DENTRO DE CONVENIO MARCO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL 080 DE 2019 ENTRE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS Y LA RAPE (REGIÓN ADMINISTRATIVA Y DE PLANEACIÓN ESPECIAL),” 2020.
- [24] CIDET, “Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano,” <https://cidet.org.co/integracion-de-los-recursos-energeticos-distribuidos-en-el-sistema-electrico-colombiano/>, Dec. 17, 2019.

- [25] Agudelo Pablo A., "Proyecto EOLO, el vehículo eléctrico creado en Colombia," <https://www.vehiculoselctricos.co/proyecto-eolo-el-vehiculo-electrico-colombiano/>, Jan. 16, 2017. .
- [26] Ojea L., "Los diez fabricantes de vehículos eléctricos más competitivos del mercado mundial," <https://elperiodicodelaenergia.com/los-diez-fabricantes-de-vehiculos-electricos-mas-competitivos-del-mercado-mundial/>, Jan. 20, 2020. .
- [27] Electromovilidad, "Tipos de coches eléctricos," <http://electromovilidad.net/tipos-de-coches-electricos/>, 2021. .
- [28] Smart Grids Visión Colombia 2030, "Parte IV Anexo 7. Iniciativas de redes inteligentes en Colombia," 2016.
- [29] Cabeza López J., "ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SMART GRIDS (Study of the present situation of smart grids)," 2016.
- [30] Hernández C. Luis, "Smart grid: evolución del sistema eléctrico."
- [31] Herrera G. Marco V., "DESCRIPCIÓN DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) Y SU APLICACIÓN EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA," 2013.
- [32] Smart Grids Visión Colombia 2030, "Parte II Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (COMPONENTE I)," 2016.
- [33] Chuqui Q. Manuel M., "ANÁLISIS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN HOGARES Y EDIFICACIONES," 2014.
- [34] Varón L. Rafael E., "CONTEXTUALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMAS DE COGENERACIÓN Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA," 2020.
- [35] Unidad de Planeación Minero Energética and Ministerio de Minas y Energía, "ENERGÍAS RENOVABLES: DESCRIPCIÓN, TECNOLOGÍAS Y USOS FINALES." [Online]. Available: www.upme.gov.co.
- [36] infraestructura y E. Ministerio de Economía and Mendoza Gobierno, "Ventajas y desventajas de algunas fuentes de energías renovables: solar, eólica e hidroeléctrica."
- [37] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Grupo de Nuevas Actividades Profesionales., *Energía solar fotovoltaica*. Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación, 2007.
- [38] Moreno C. Paola A., "ENERGÍA EÓLICA: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SU UTILIZACIÓN EN COLOMBIA," 2013.

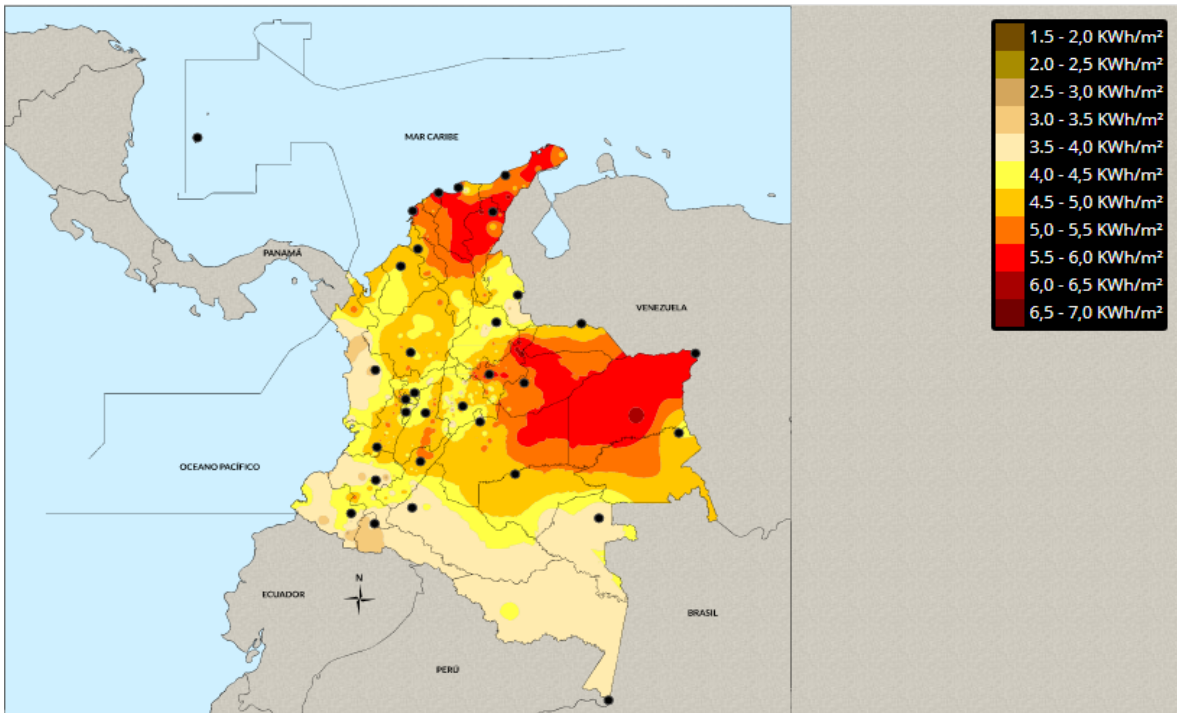
- [39] ANTALA SPECIALITY CHEMICALS, “Ventajas y desventajas de la energía eólica,” <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/>, 2019. .
- [40] Carvajal Q. Sandra X. and Marín J. Juan D., “The impact of distributed generation on the colombian electrical power system: a dynamic-system approach,” 2013.
- [41] Álvarez Q. Leonardo X., “Impacto de la Generación Distribuida en la Red de Distribución,” 2017.
- [42] Gobernación del Cesar, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), and Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), “DEMANDA ENERGÉTICA DEPARTAMENTO DEL CESAR,” 2019.
- [43] Gobernación del Cesar, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), and Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), “DOCUMENTO LINEAMIENTOS DE POLÍTICA,” 2019.
- [44] CONCEJO MUNICIPAL DE VALLEDUPAR, ““VALLEDUPAR ES ORDEN 2020 -2023 ” PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE VALLEDUPAR,” 2020.
- [45] Gobernación del Cesar, “City Lab,” <https://cesar.gov.co/d/index.php/es/menpre/menprenoti/4642-artbp-0000429-2021>, 2021. .
- [46] Enel Green Power, “El Paso solar,” <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha>, 2019. .
- [47] MUNDO ELÉCTRICO, “Construcción de la mayor planta fotovoltaica de Colombia,” <http://www.mundoelectrico.com/index.php/edicion-127/item/207-en-colombia-anla-da-licencia-ambiental-a-primer-proyecto-solar-en-el-cesar>, 2019. .

14. ANEXOS

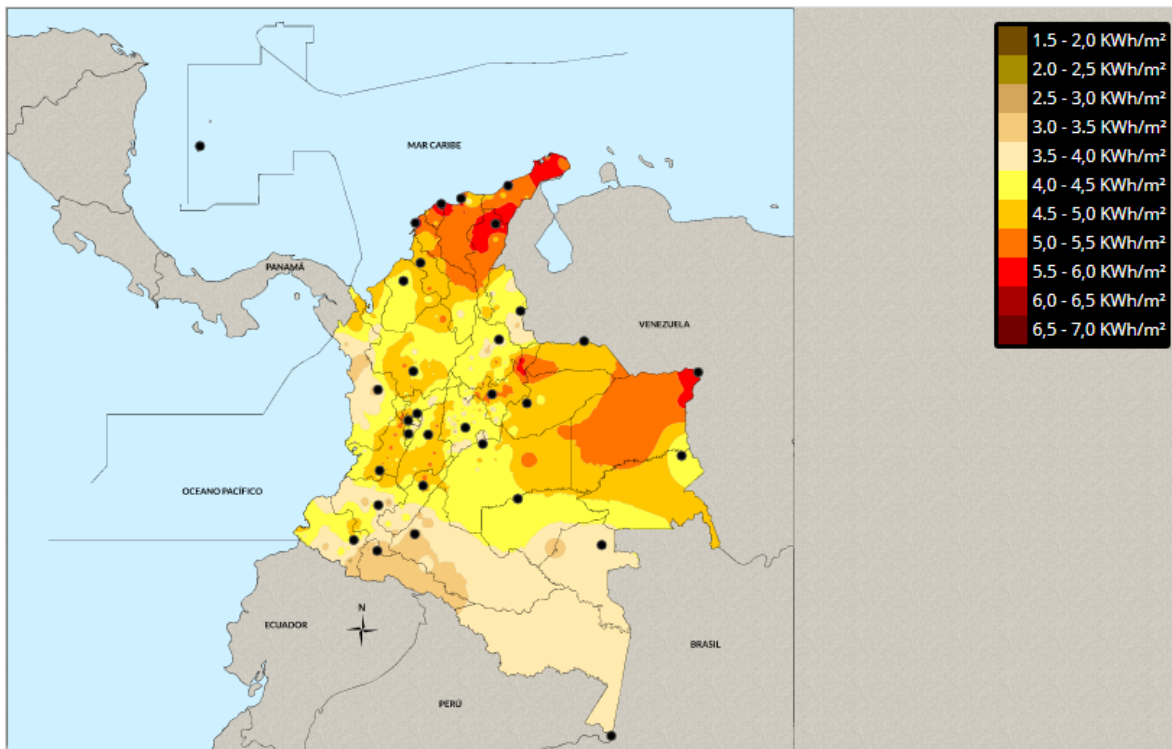
Anexo A. Irradiación global horizontal medio diario del mes de enero.



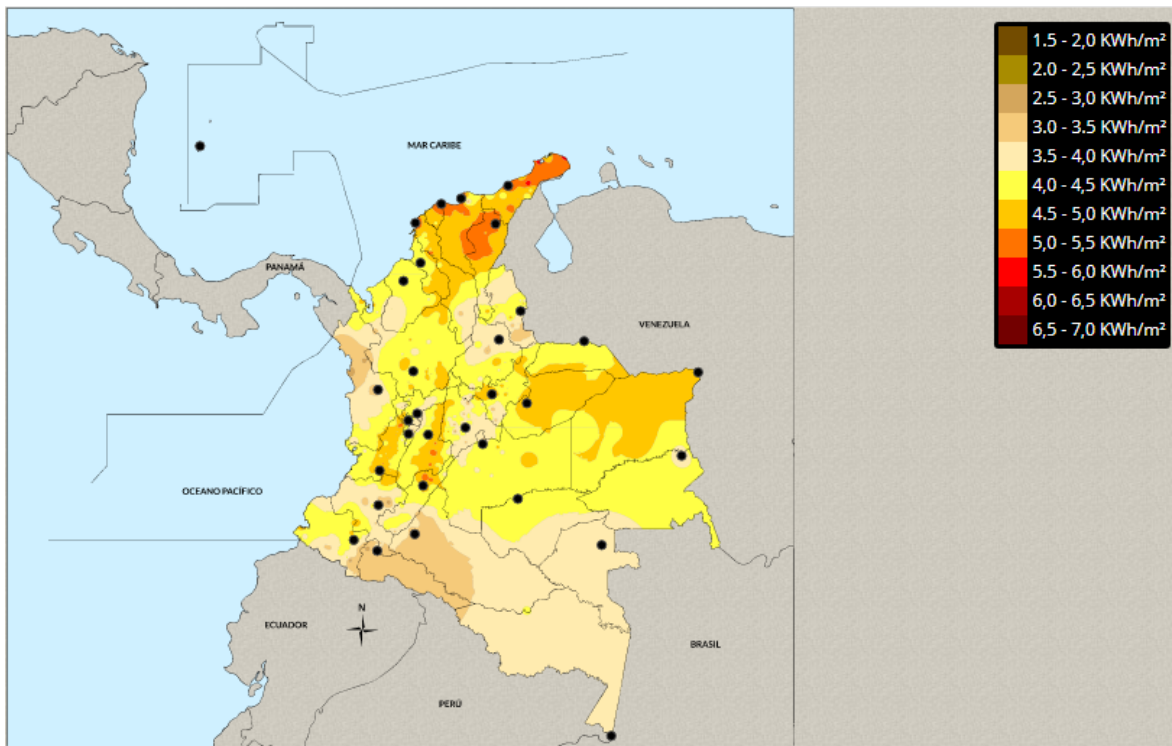
Anexo B. Irradiación global horizontal medio diario del mes de febrero.



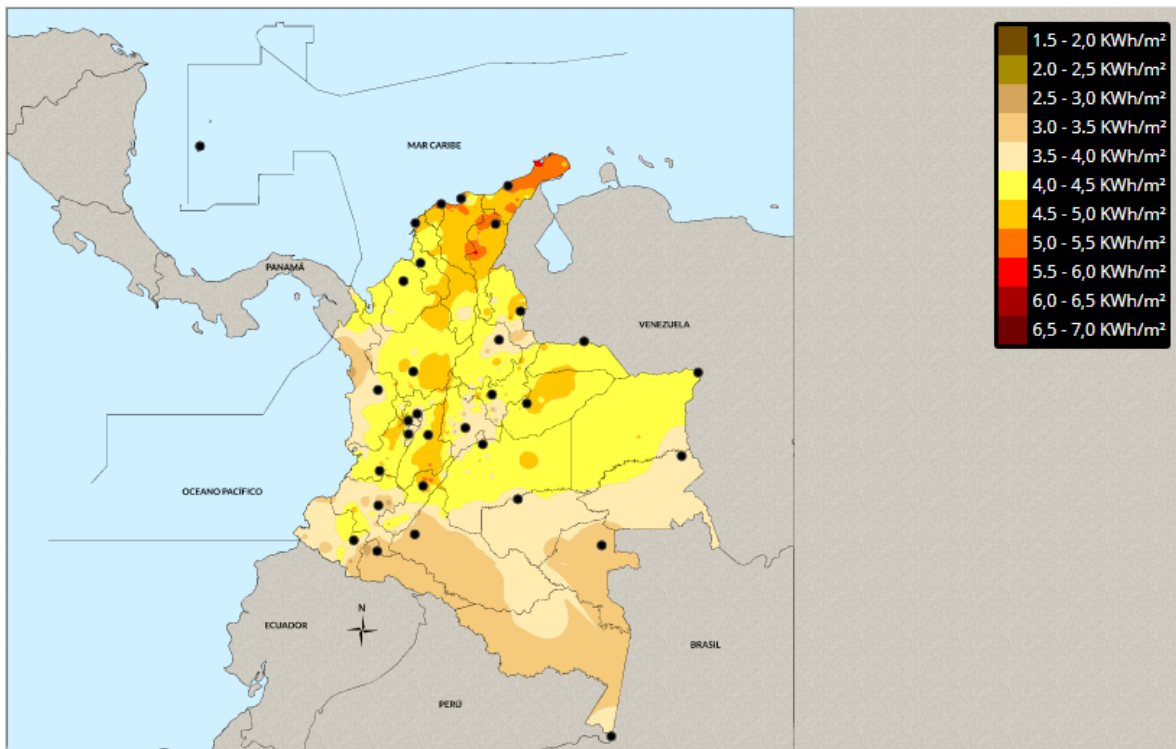
Anexo C. Irradiación global horizontal medio diario del mes de marzo.



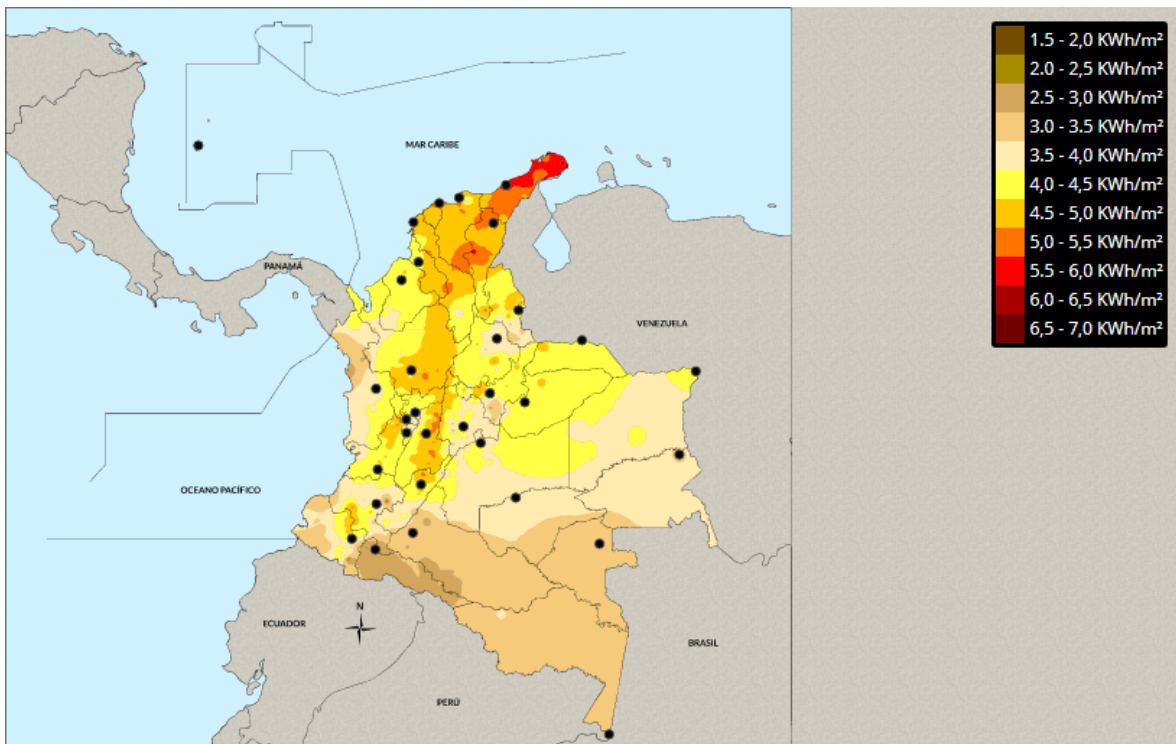
Anexo D. Irradiación global horizontal medio diario del mes de abril.



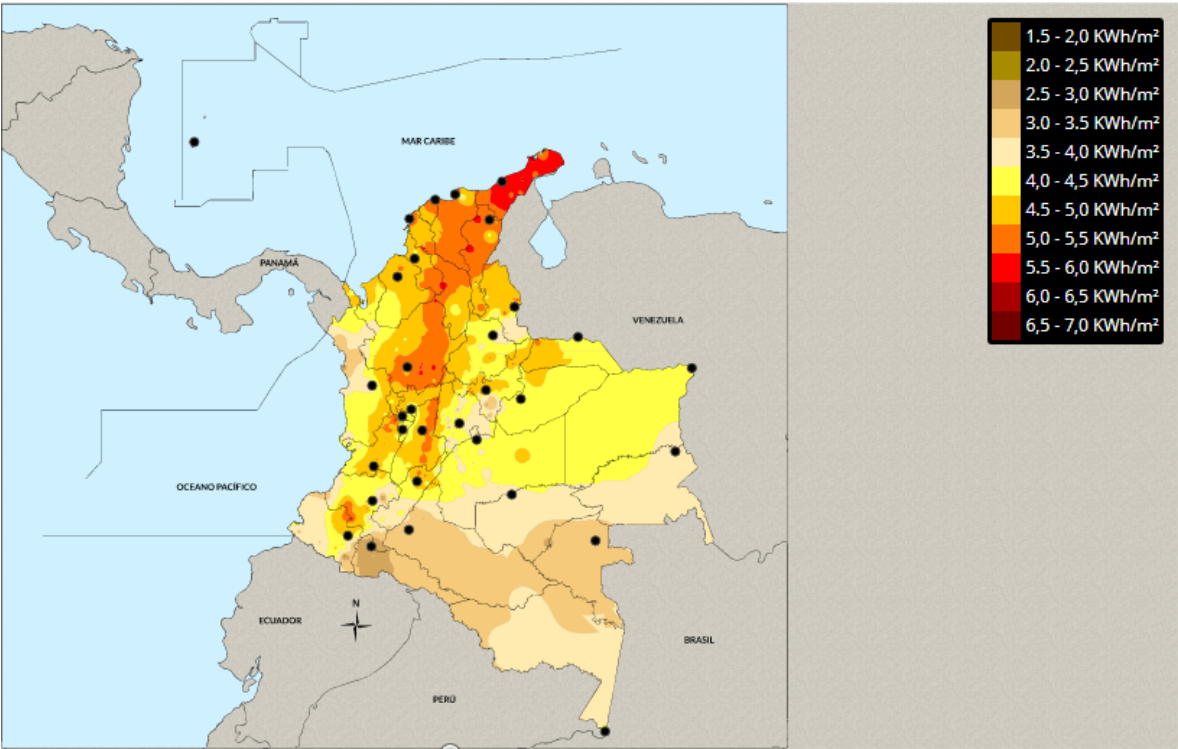
Anexo E. Irradiación global horizontal medio diario del mes de mayo.



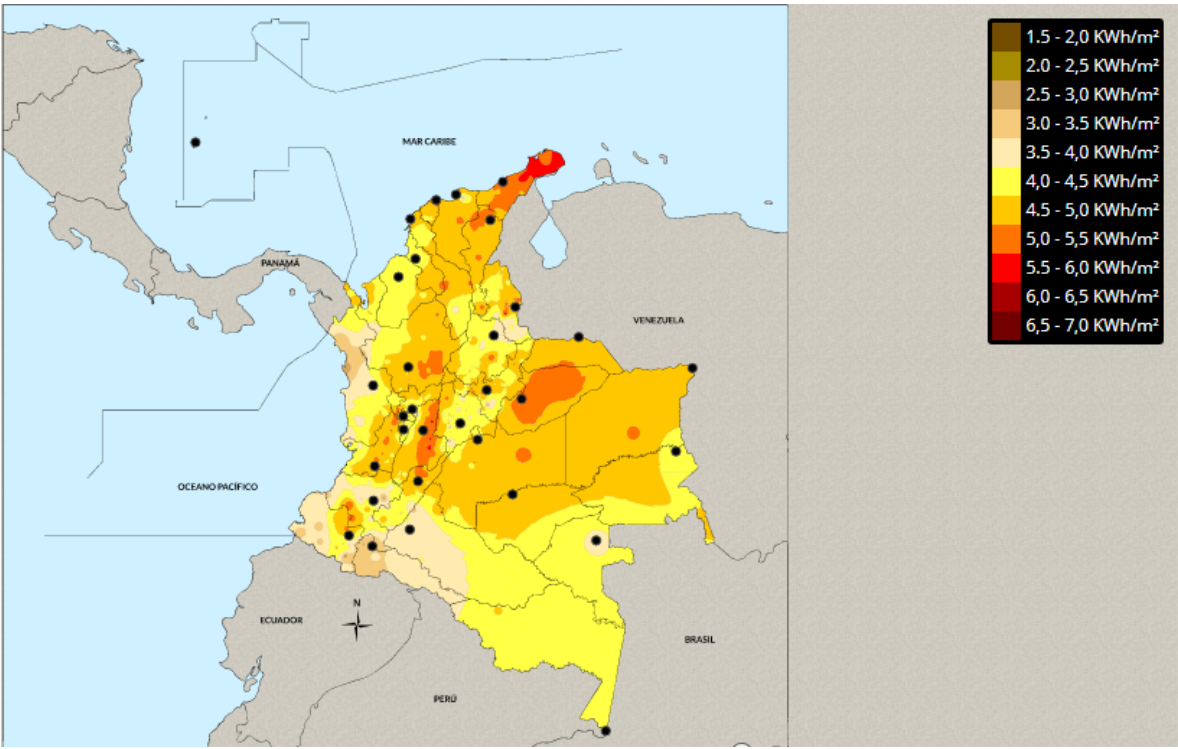
Anexo F. Irradiación global horizontal medio diario del mes de junio.



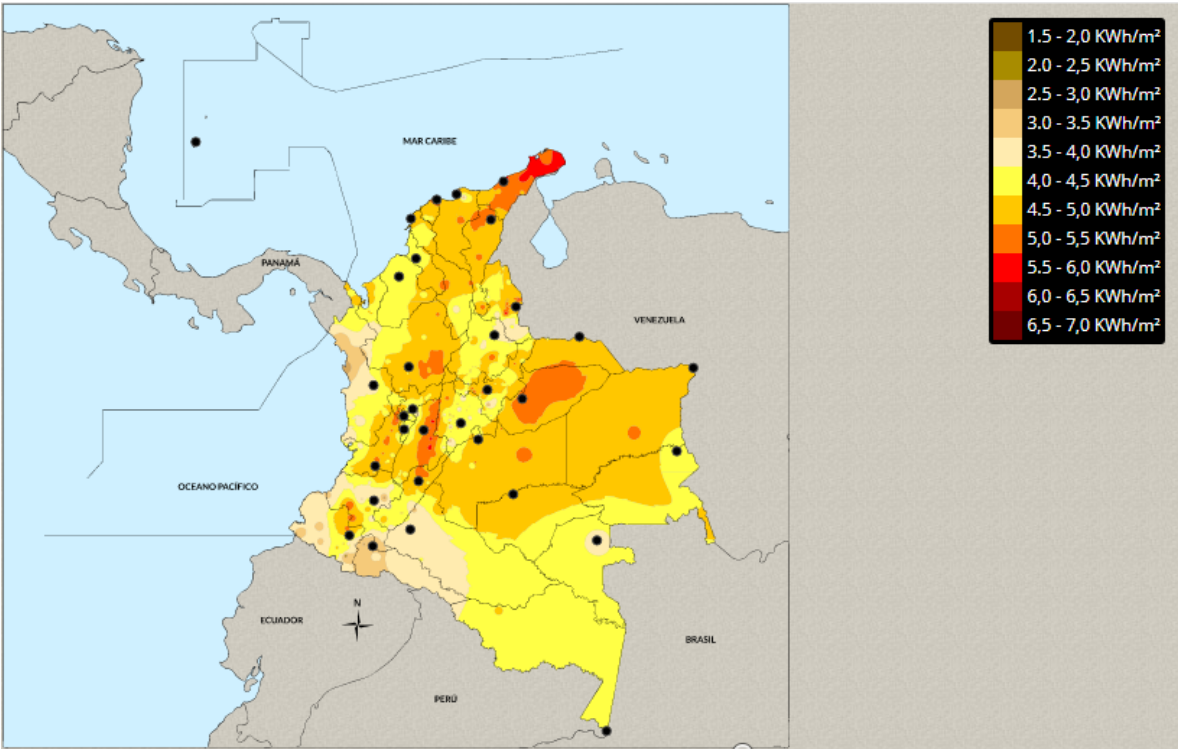
Anexo G. Irradiación global horizontal medio diario del mes de julio.



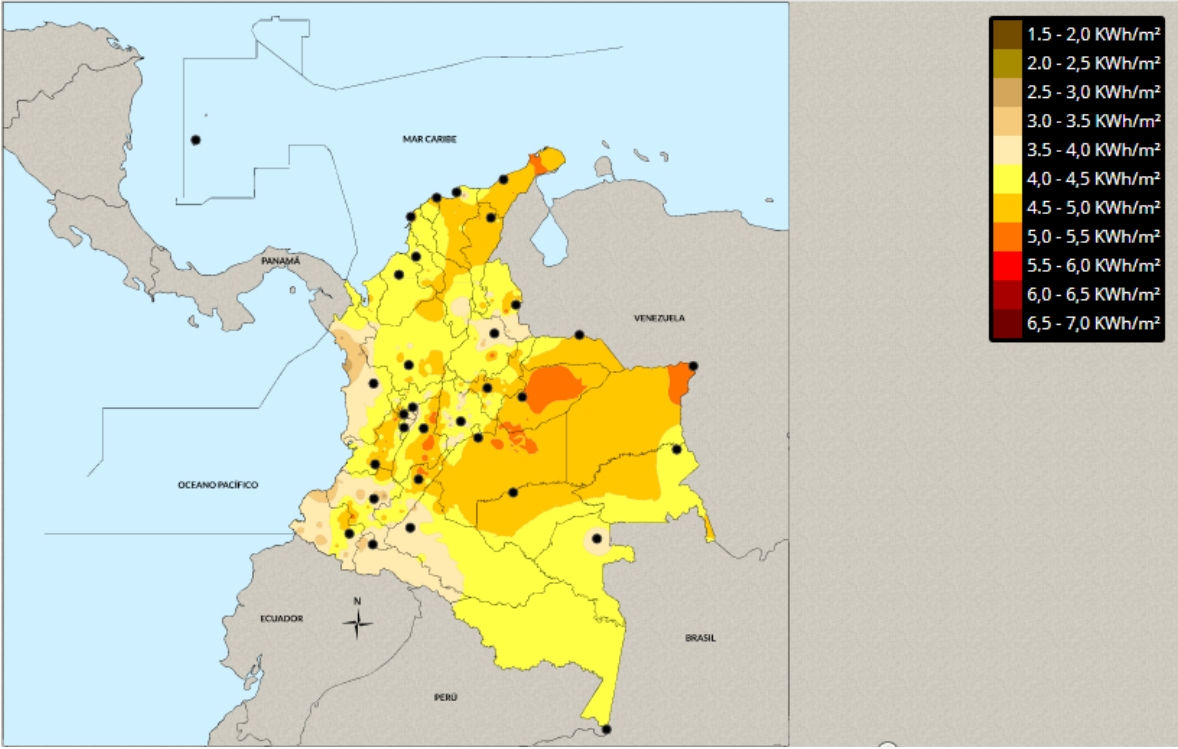
Anexo H. Irradiación global horizontal medio diario del mes de agosto.



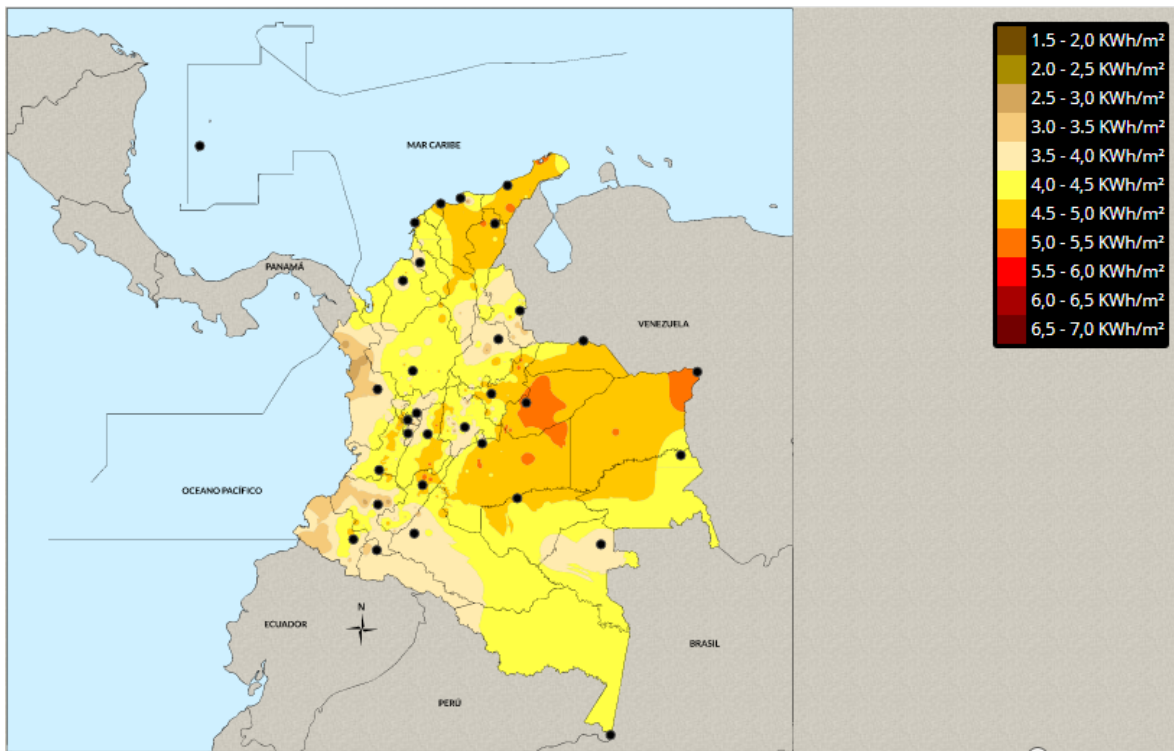
Anexo I. Irradiación global horizontal medio diario del mes de septiembre.



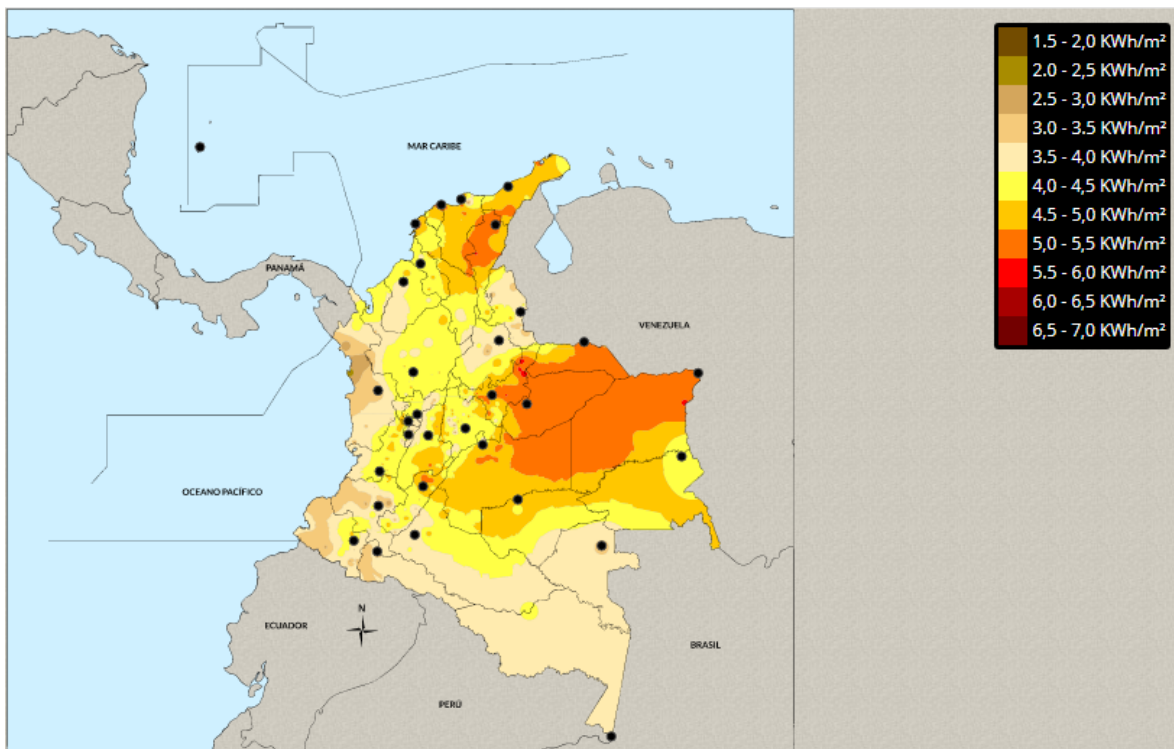
Anexo J. Irradiación global horizontal medio diario del mes de octubre.



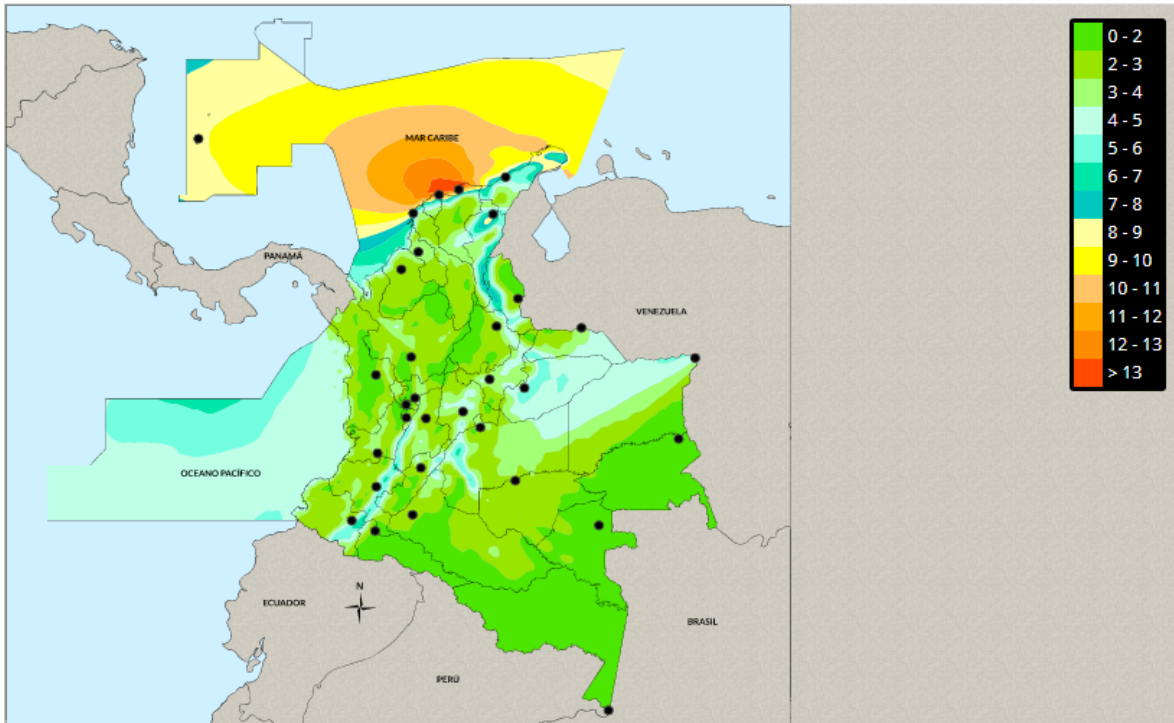
Anexo K. Irradiación global horizontal medio diario del mes de noviembre.



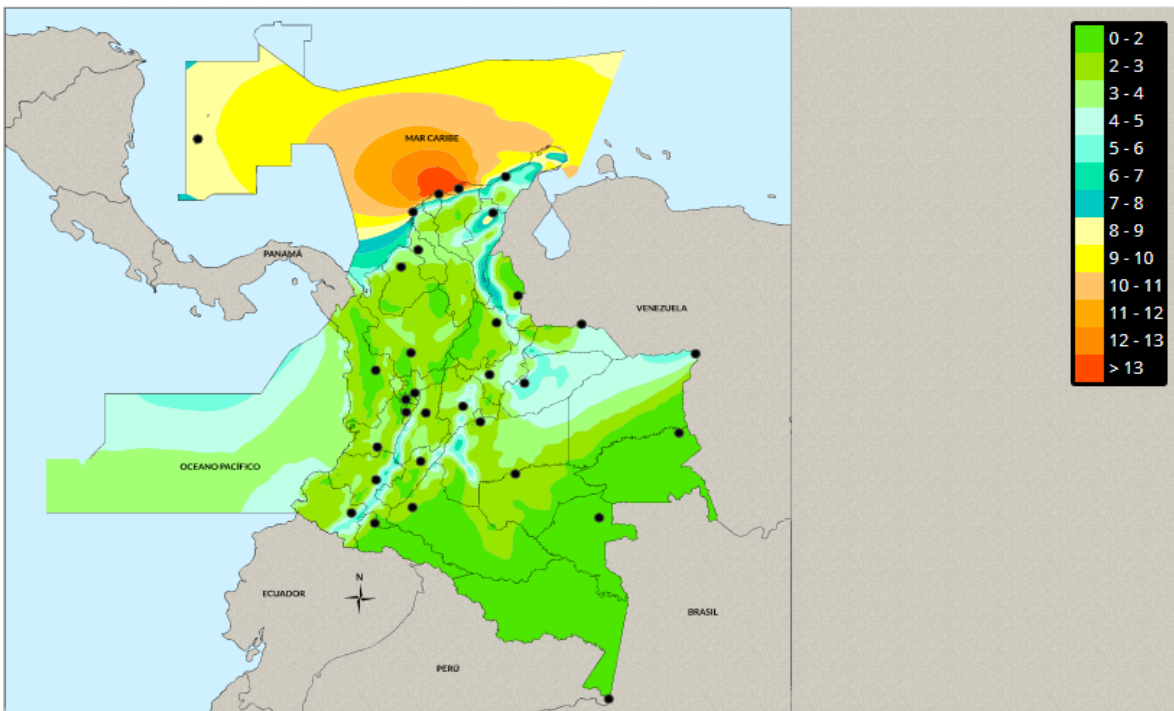
Anexo L. Irradiación global horizontal medio diario del mes de diciembre.



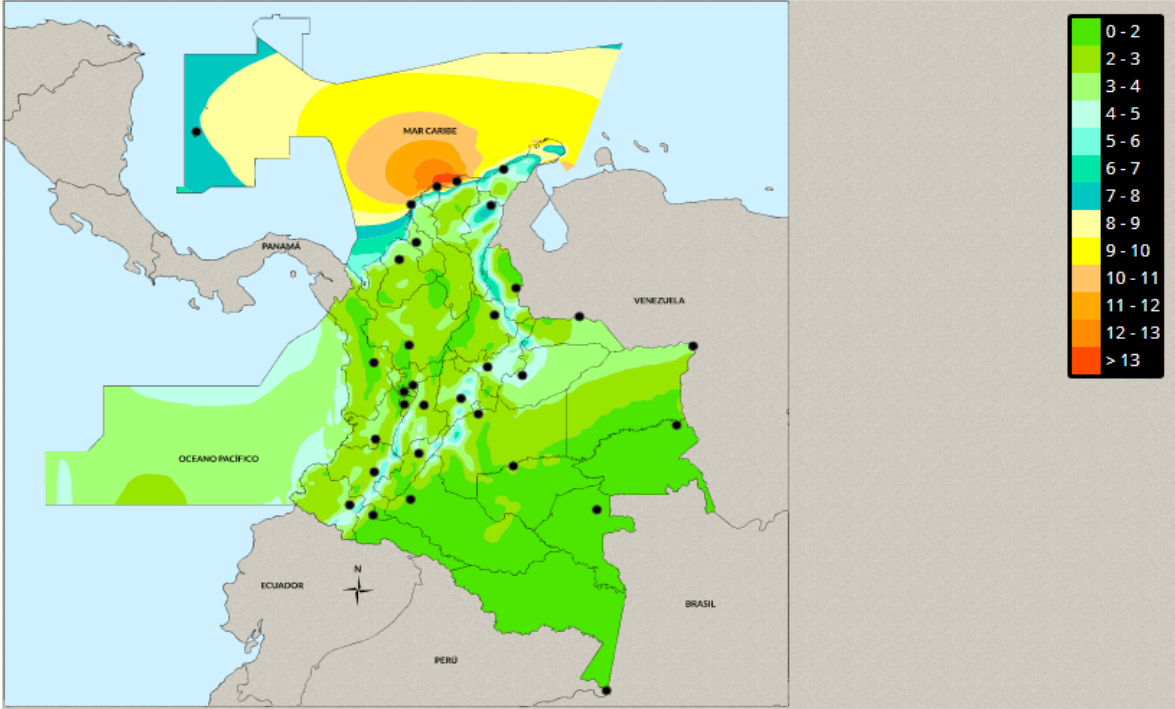
Anexo M. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de enero.



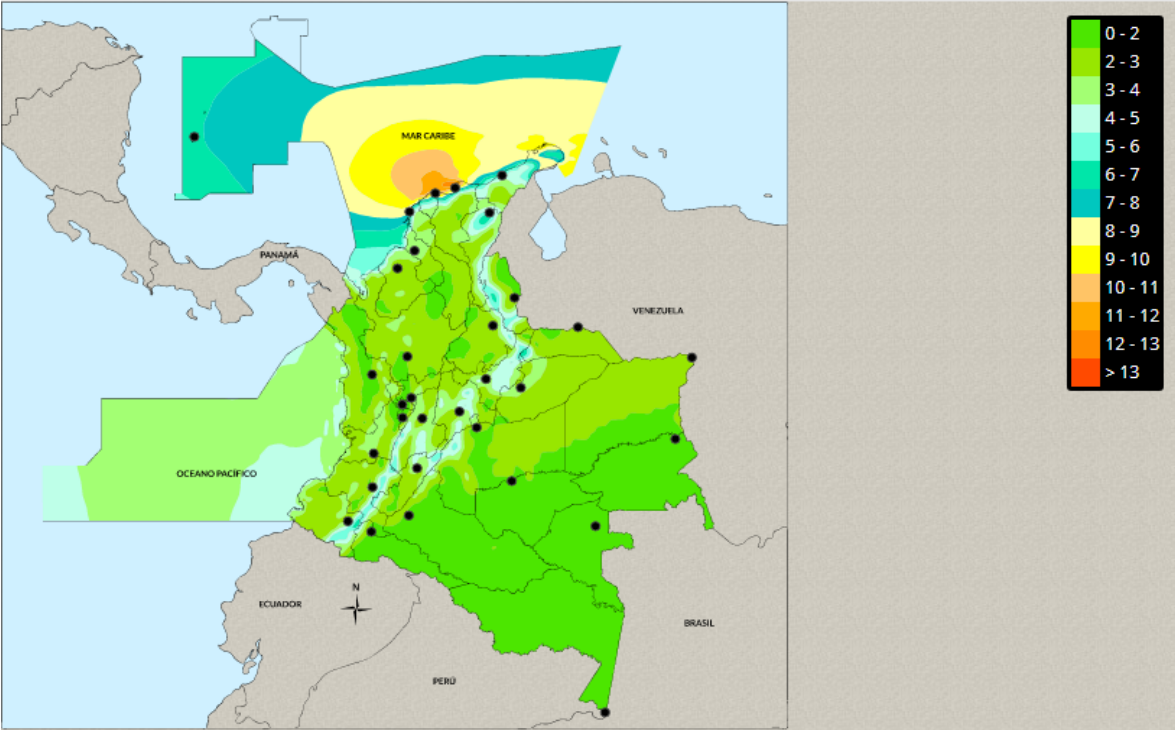
Anexo N. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de febrero.



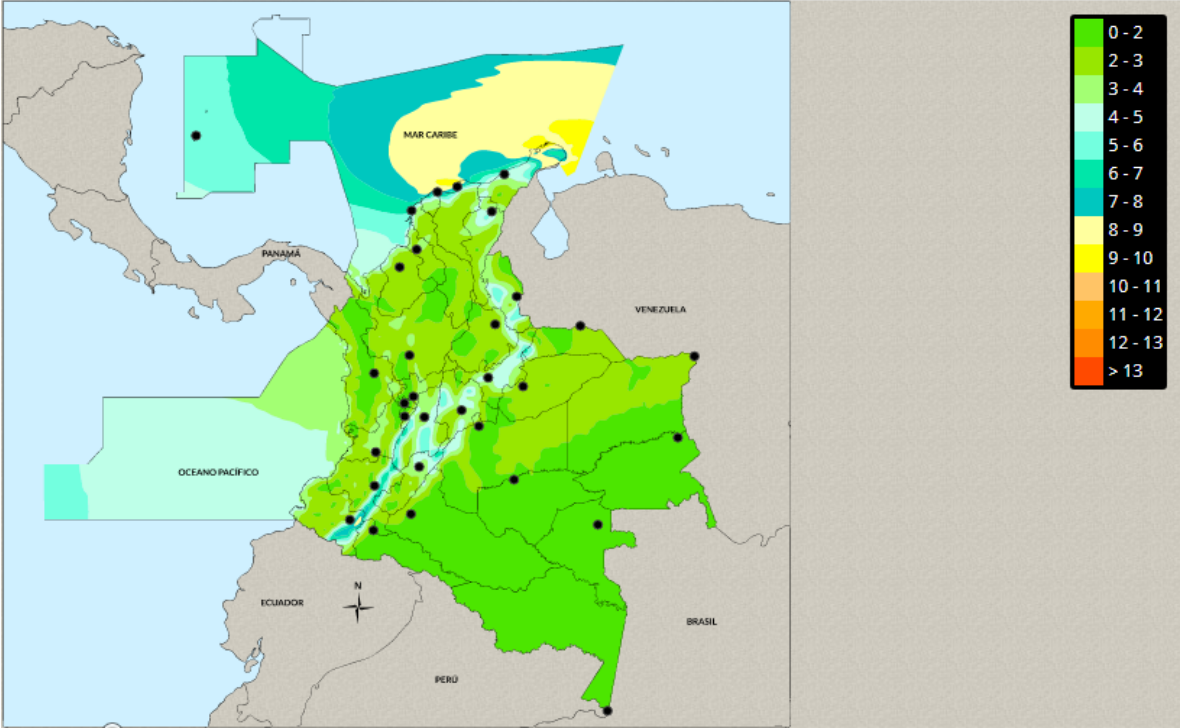
Anexo O. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de marzo.



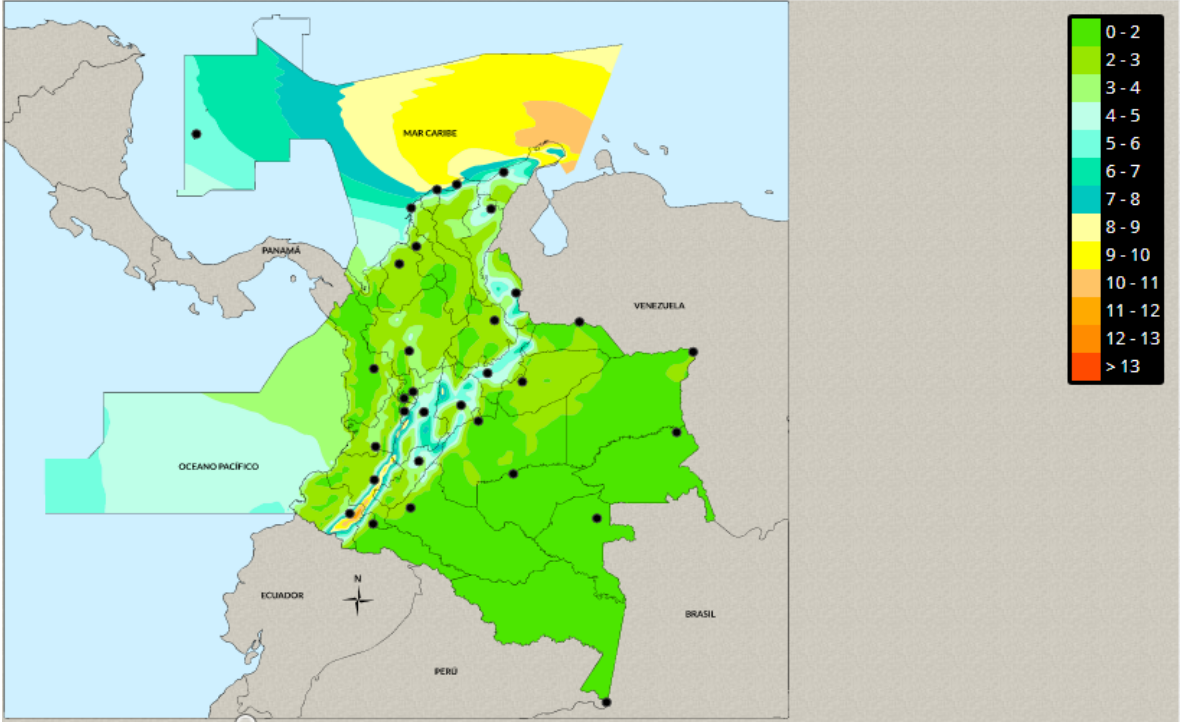
Anexo P. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de abril.



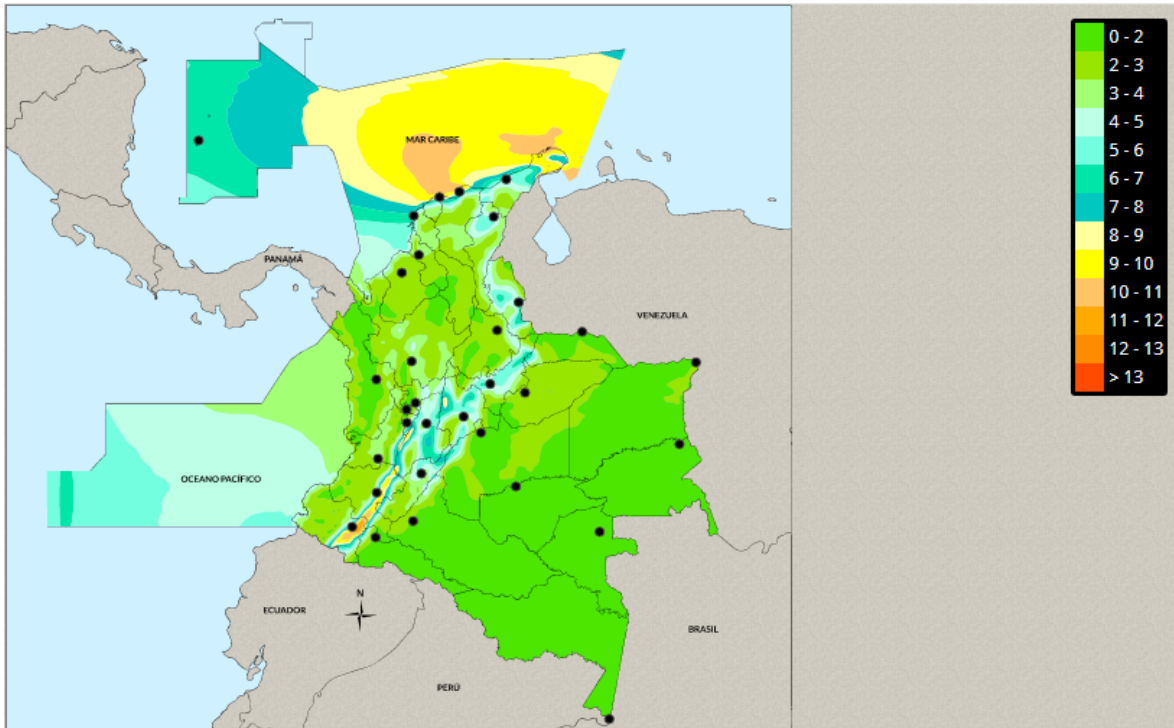
Anexo Q. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de mayo.



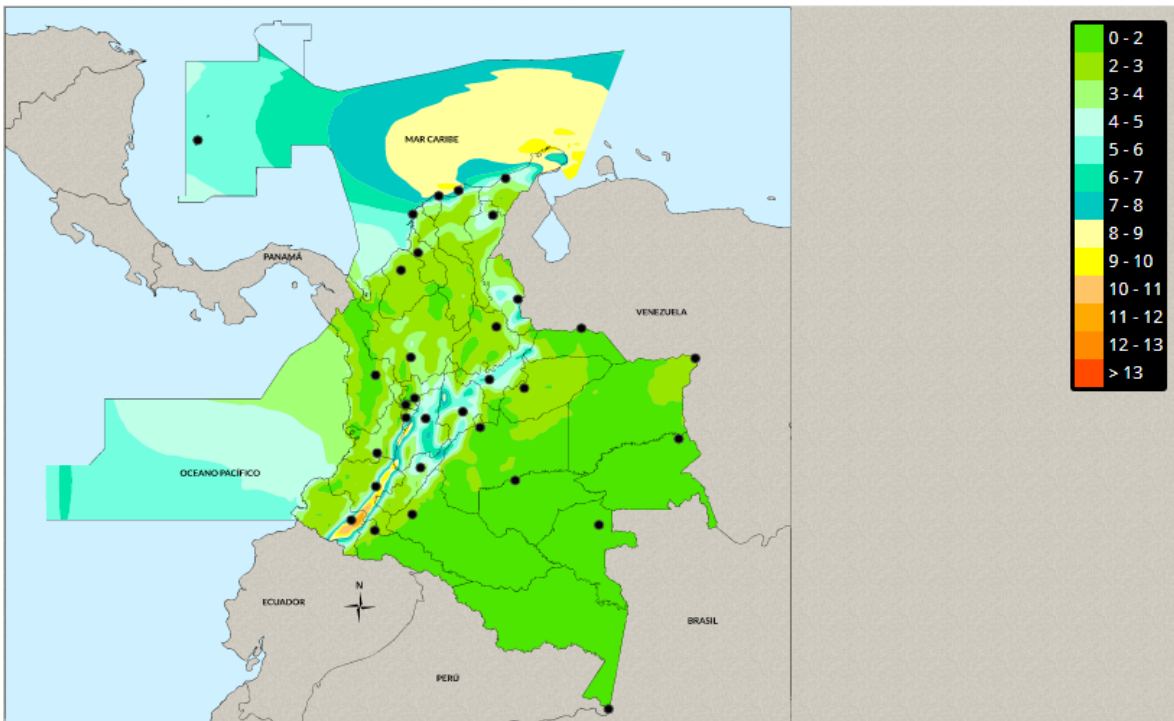
Anexo R. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de junio.



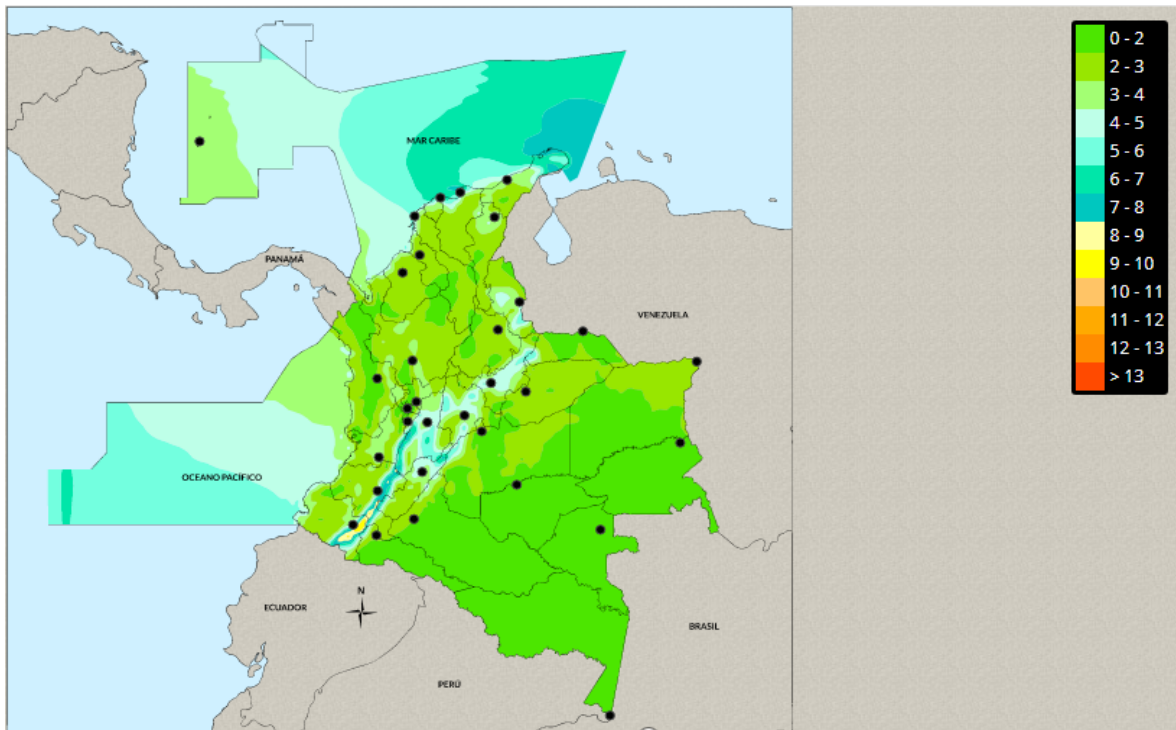
Anexo S. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de julio.



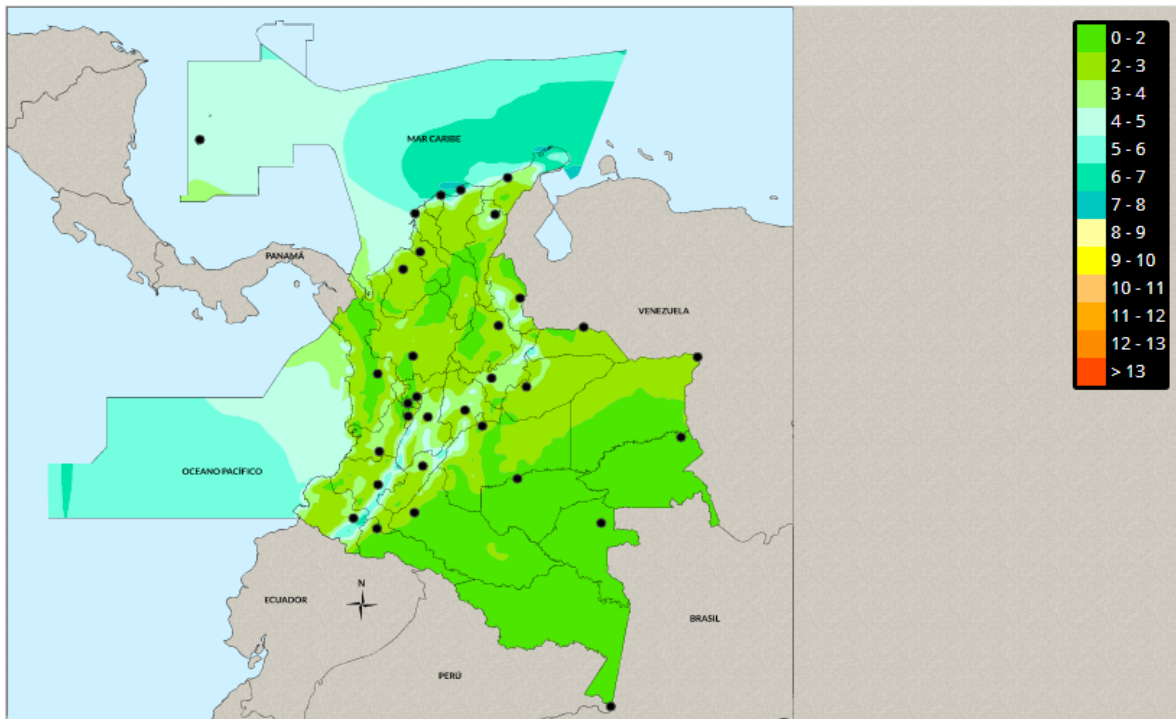
Anexo T. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de agosto.



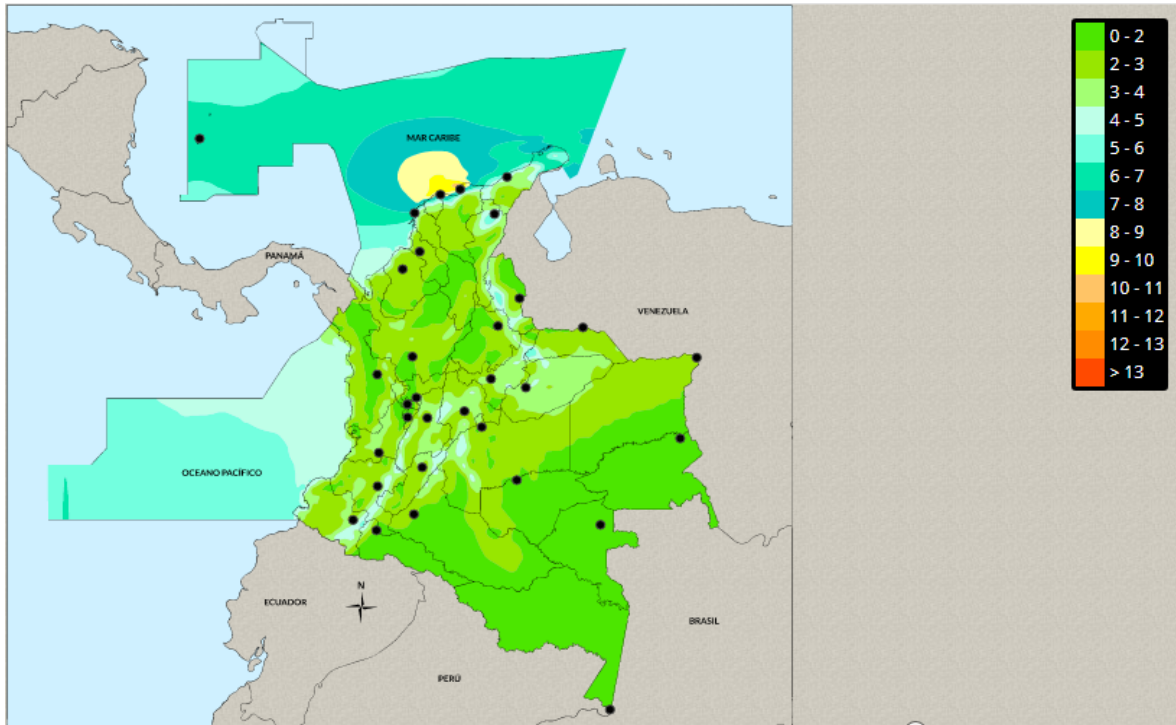
Anexo U. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de septiembre.



Anexo V. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de octubre.



Anexo W. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de noviembre.



Anexo X. Velocidad promedio (m/s) del viento a 10 metros de altura del mes de diciembre.

