

Recurso eólico y solar del territorio venezolano

Luis Ramírez¹, Yarú Méndez²

luisram@ucab.edu.ve¹, yarumendez@usb.ve²

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela¹²

Resumen

Un mapa solar y eólico es una herramienta gráfica que permite conocer los mejores emplazamientos para un parque de generación renovable de una Nación, las variables que requieren ser estudiadas para su construcción son: velocidad del viento ($m*s^{-1}$), dirección del viento (Radianes 0° - 360°) y radiación ($W*m^{-2}$). Para esta investigación se utilizaron las plataformas Global Wind Atlas, IRENA y Google Earth, siendo su objetivo mostrar imágenes satelitales de reducción de escala suministradas por agencias internacionales que cuenten con registros de datos promedios superiores a 10 años. Los resultados deben permitir coadyuvar en la toma de decisiones de generación de políticas públicas energéticas, fijando precedentes en Venezuela como Nación ante los cortes eléctricos no programados de los años 2019-2020 y para el cumplimiento del país ante la cuota de reducción de emisiones de CO_2 , establecido en 0,18GTON de CO_2 desde COP21.

Palabras Claves: Global Wind Atlas, IRENA, emplazamientos, atlas.

Abstract

A solar and wind map is a graphic tool that allows to determine a suitable location for a renewable generation project from the technical perspective. The variables that need to be considered are, e.g.: wind speed ($m * s^{-1}$), wind direction (Radians 0° - 360°) and global solar radiation ($W * m^{-2}$). For this research work, the Global Wind Atlas, IRENA and Google Earth platforms were used, with the objective of showing satellite images, which contain data recorded and averaged over 10 years and that are provided by international agencies. The results should contribute to decision making process of energy public policies, setting precedents in Venezuela as a nation previous to the unplanned electrical blackout and outages in 2019-2020 and for the country's compliance with the CO_2 emission reduction fee, which was set to 0.18G CO_2 GTON

Key Words: Global Wind Atlas, IRENA, site, Atlas.

I. INTRODUCCIÓN

Mundialmente los mapas eólicos y solares, también llamados Atlas permiten identificar el mejor emplazamiento de parques de módulos fotovoltaicos y aerogeneradores, la planificación y construcción de estos proyectos requieren como variable de entrada el uso de estas cartas geográficas, que describen gráficamente el planeta incluyendo su sistema de proyección, coordenadas, orientación, leyenda del mapa, título, referencia y fecha de elaboración. Las cartas geográficas permiten conocer de la topografía, geología y clima edafológico en un área rural o urbana. [1]

En Venezuela existen hallazgos a través de estudios previos del potencial eólico que nos permiten identificar la región costera del país como adecuada para desarrollar energías renovables, investigadores como: González y Longatt en 2010 [2] utilizaron datos de las empresas de Ciencias de la Tierra adscrita a la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (por sus siglas en inglés, NASA) y de las estaciones Meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana, para determinar que los estados costeros venezolanos Zulia, Nueva Esparta, Sucre y Vargas exhiben valores favorables de velocidades de viento promedio, superiores a $6,18 \text{ m.s}^{-1}$. De igual forma, se acota una incidencia de radiación solar promedio directa para esta región superior a 2.500 km de longitud de costas y una radiación solar de 700 W.m^{-2} .

De este estudio surgen algunas conclusiones: a) las zonas con mejores características de viento se ubican al norte de Venezuela y están influenciadas por las brisas o vientos del mar a tierra presentando velocidades más fuertes en la época de sequía, regularmente desde noviembre hasta abril, siendo las más baja en los meses de lluvia, entre mayo y octubre b) Los hallazgos realizados por los investigadores no identifican con precisión las distintas regiones donde se pueden desarrollar los parques eólicos o solares para el desarrollo de complejos de energías alternativas en el país, y esto principalmente porque el estudio intenta proyectar la factibilidad técnica de la región, sin tener los mapas eólicos y de radiación de la Nación que con

seguridad les hubiese brindado un complemento, y esto porque hasta el presente no están disponibles de forma pública en páginas web o bibliotecas adscritas a las autoridades competentes.

La Agencia Internacional para Energías Renovables por sus siglas en inglés (IRENA) es una Organización Internacional que ofrece información desde una plataforma web, y permite localizar mapas de energías renovables a través de distintas localizaciones del mundo, la iniciativa coordinada, tiene por objetivo acercar los países que tienen mapas de energías renovables con aquellos que no lo poseen, en los últimos seis años se han logrado unificar más de 50 institutos de investigación internacional para darle forma a más de 2000 mapas de energías renovables incluyendo fuentes de energía solar, eólica, bioenergía, geotérmica y marina. [3]

La web de IRENA identifica que Latinoamérica es uno de los mercados más dinámicos del mundo en energías renovables, con una alta dependencia de la hidroeléctrica. Actualmente varios países de la región como Argentina, Brasil, México, Chile y Perú realizan esfuerzos para crear políticas y regulaciones ambientales que aceleren el desarrollo de miles de Megawatts (MW) en energía eólica y solar. En la mencionada generación se han invertido unos \$ 120 billones entre 2010 hasta el 2015, esto se ha visto influenciado por la reducción de costos y la penetración de nuevas tecnologías [4].

De igual forma, Global Wind Atlas, por sus siglas en inglés (GWA) [5] es una aplicación gratuita desarrollada para ayudar a los gobiernos y posibles inversores a identificar áreas con alto potencial para el desarrollo de la energía solar y del viento en cualquier parte del planeta. La metodología utilizada por la página es de reducción de escala, iniciando con datos globales de reanálisis atmosférico y luego llevándolos a microescala, ubicados en una cuadrícula con un espacio aproximado de 70 km. El proceso de modelado de la aplicación se compone de un cálculo de climas de vientos locales por cada 1000m para las alturas de 50m, 100m y 200m, realizando una estimación del viento por cada nodo.

Respecto a los mapas solares incluye tres metodologías diferentes, un modelo de radiación solar ($W.m^{-2}$), un modelo de temperatura del aire y el modelo de simulación de paneles fotovoltaicos, que tiene como salida la radiación horizontal global, la directa y el ángulo de aplicación.

En el mismo contexto, en algunos países suramericanos se denotan planes acoplados al incremento de la energía eólica y solar, en Chile se presenta “Energía 2050” y Colombia “Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050”. Chile posee el parque eólico Canela I y II, Totoral y Monte Redondo [6] todos activos actualmente y por Colombia El Jepirachi también activó [7]. El escenario cercano vislumbra que será factible incrementar significativamente las inversiones en instalación de fuentes renovables en Sudamérica, esto apalancado en las políticas públicas específicas de cada país. Por ejemplo en Chile se desea incrementar la generación solar y eólica en más de 20 GW para 2050, promoviendo una alta penetración de energías renovables en la matriz energética. Para el caso colombiano se proyecta diversificar la canasta energética garantizando la calidad y confiabilidad energética, fomentando actividades productivas que aceleren el crecimiento económico.

Algunos de los programas regionales donde se apoya y participa IRENA en Latinoamérica son:

El corredor central para Centroamérica de energía limpia, por sus siglas en inglés CECCA, se encarga del desarrollo para el mercado centroamericano eléctrico y su sistema de transmisión.

La evaluación para la preparación de energías renovables (RRA) que evalúa las condiciones para el desarrollo de energías renovables en Latinoamérica, incluyendo algunas islas del caribe.

Bajo el contexto venezolano, el despacho de energía en esta nación considerando su intensidad energética para los distintos sectores de consumo en 2007 según datos de la Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica (CAVEINEL) [8] 30,46% corresponde a las industrias básicas de Guayana;

26,53% al sector residencial; 16,37% sector comercial; 16,0% industria general y el restante 10,64% del sector oficial y otros. Con una demanda estimada de 24.000 MW que incluye una generación de pérdidas por conexiones no autorizadas que podrían rondar el 30%. Este sistema fue vulnerado desde el 09 de marzo de 2019, con algunos cortes no programados, falta de inversión y seguimiento al mantenimiento de equipos, de igual forma un peso significativo corresponde a una dependencia de la generación hidroeléctrica. [9]

Hipótesis a probar.

¿Cuál es la región más adecuada del territorio venezolano para el desarrollo de energía eólica y solar?

Objetivos:

1- Identificar las regiones técnicamente adecuadas para el desarrollo de energías eólica y solar en el territorio venezolano.

2- Determinar el potencial de generación de energía eléctrica en las regiones factibles en kWh para el desarrollo de energía eólica y solar en Venezuela

Desarrollo de Objetivos Propuestos

Objetivo 1:

Para dar cumplimiento a este objetivo se plantea una ficha técnica por cada estado venezolano, su capital y las dependencias federales de la nación, en total 25 tablas y 27 figuras considerando los resultados del Censo de 2011 [10] elaborado por el Instituto Nacional de Estadística (INE); de igual forma una descripción del área seleccionada, considerando los valores mínimos requeridos de velocidad del viento $8 m.s^{-1}$ para turbina clasificadas de clase II o clase I con velocidades superiores de $10 m.s^{-1}$, según la norma IEC 61400:2018 y radiación promedio en cada superficie, medida en $W.m^{-2}$, seguido de la ficha se elaborará un análisis considerando imágenes obtenidas de la plataforma Global Wind Atlas a una altura de 100m y IRENA, con la posibilidad incluir para el análisis de cada tabla las variables adicionales relacionadas y

proporcionadas por institutos o centros venezolanos de referencia de cada entidad.

Amazonas: Es la región venezolana que se encuentra más al sur del continente Americano, su descripción se presenta en la ficha de la Tabla I y posteriormente su respectivo análisis fundamentado en la Figura 1 proporcionada por Global Wind Atlas.

Tabla I: Ficha Técnica estado Amazonas

Nombre del estado	Amazona
Capital:	Puerto Ayacucho
Superficie total (km ²)	177.617 (km ²)
Población	146.680 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	No están identificadas por la página
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Manapiare 5,05° & - 65,17° Promedio 266 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

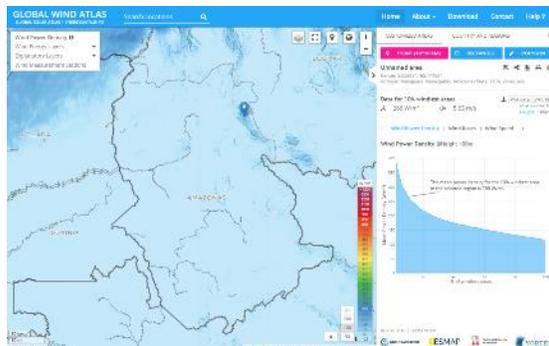


Figura 1: Potencial eólico y solar del estado Amazonas Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Amazonas: Es el único estado de Venezuela que presenta precipitaciones todo el año con más de 500 mm, esto referido por INAMEH en su informe de pronósticos 2019, actualmente hace parte del sistema interconectado de energía desde los años 60-70, el potencial para energía eólica se

evalúa como bajo por no lograr velocidades superiores a 8 m.s⁻¹ requerido por turbinas Class II, la velocidad promedio superior actual es de 5,63 m.s⁻¹, respecto al potencial solar este presenta un valor de radiación promedio de 266 W.m⁻², este valor resulta moderado si es comparado con algunos superiores a 700 W.m⁻² obtenidos en la costa venezolana, pero resulta más factible de instalar en el estado Amazonas que un parque eólico, la región considerada para una posible instalación de un parque solar pertenece a la parroquia de Manapiare y posee según el último censo nacional una población de más de 5.000 habitantes y un área superior a 30.000 km².

Anzoátegui: Su capital es Barcelona, en la Tabla II se presenta datos proporcionados por INE y la Figura 2 de la plataforma Global Wind Atlas

Tabla II: Ficha Técnica estado Anzoátegui

Nombre del estado	Anzoátegui
Capital:	Barcelona
Superficie total (Km2)	43.300 (km ²)
Población	1.469.747 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Municipio de Anaco con 9,03 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Municipio de Anaco, 9,64° & - 64,27°, promedio 576 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

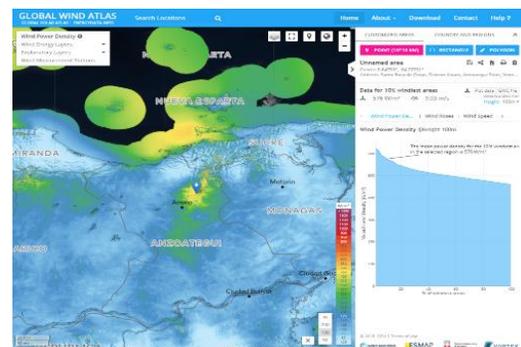


Figura 2: Potencial eólico y solar del estado Anzoategui Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Anzoátegui: En este estado existe un gran potencial energético fósil por las reservas probadas de petróleo de 153.000 mil millones de barriles de crudo, pero adicional a esto y siendo el foco de esta investigación se evidencia un potencial eólico apto para desarrollar un parque eólico de turbinas clase de II por los vientos superiores a 9 m.s^{-1} en la región de Anaco y una radiación de 576 W.m^{-2} que perfila un alto potencial para el desarrollo de parques solares, es decir sería proyectable un sistema híbrido aire-radiación. Respecto al municipio de Anaco presenta un área de 42 km^2 .

Apure: Su capital es San Fernando de Apure, es un estado fronterizo con otro país, específicamente Colombia. El potencial alternativo, eólico y solar se presenta en la Tabla III y la Figura 3.

Tabla III: Ficha Técnica estado Apure

Nombre del estado	Apure
Capital:	San Fernando de Apure
Superficie total (km^2)	76.500 (km^2)
Población	459.025 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s^{-1}	No se identifican áreas con velocidades superiores a 8 m.s^{-1}
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m^{-2})	San Fernando $7,43^\circ$ & $66,84^\circ$, 262 W.m^{-2}

Fuente: Luis Ramírez, 2019

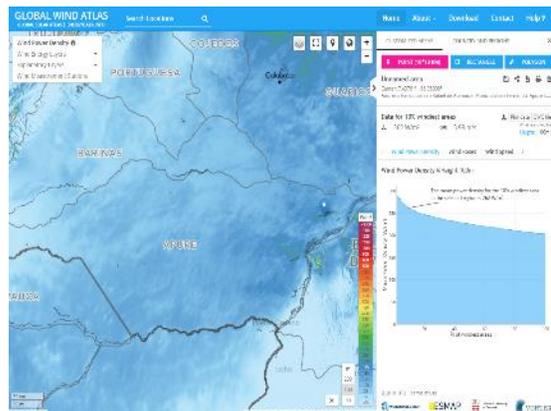


Figura 3: Potencial eólico y solar del estado Apure Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Apure: La factibilidad técnica del estado, específicamente eólica se concentra en la capital San Fernando, con un valor de 262 W.m^{-2} , respecto a la velocidad del viento, el máximo valor encontrado fue de $5,98 \text{ m.s}^{-1}$ que no posibilita la instalación de turbinas clase II, porque es inferior al valor mínimo requerido por la IEC de 8 m.s^{-1} .

Aragua: Para el estado Aragua se construyó la ficha técnica presentada en la Tabla IV y la Figura 4.

Tabla IV: Ficha Técnica estado Aragua

Nombre del estado	Aragua
Capital:	Maracay
Superficie total (Km^2)	7014 (Km^2)
Población	1.630.308 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s^{-1}	La Candelaria-Maracay, con una velocidad promedio de $10,09 \text{ m.s}^{-1}$
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m^{-2})	La Candelaria $10,06^\circ$ & $-67,25^\circ$, 909 W.m^{-2}

Fuente: Luis Ramírez, 2019

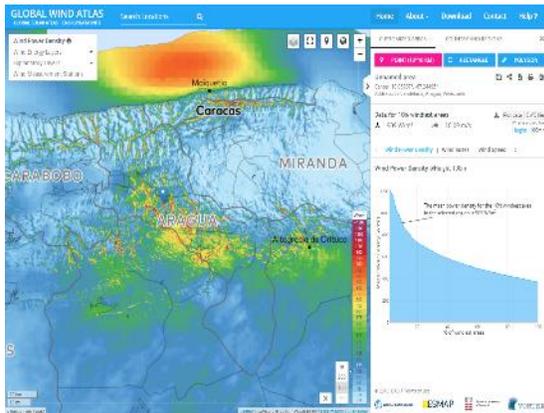


Figura 4: Potencial eólico y solar del estado Aragua Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Aragua: Es un estado con un alto potencial tanto para energía eólica como solar, el valor promedio de radiación es de 909 W.m^{-2} y la velocidad del viento permite instalar turbinas clase I, específicamente en el municipio la Candelaria, que es próximo a la región capital del estado, con un valor promedio de $10,09 \text{ m.s}^{-1}$ se supera el 10 m.s^{-1} establecido por la IEC para su instalación.

Barinas: Con el mismo nombre que su capital, se presenta su descripción en la Tabla V y Figura 5.

Tabla V: Ficha Técnica estado Barinas

Nombre del estado	Barina
Capital:	Barinas
Superficie total (km ²)	35.200 (km ²)
Población	816.264 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s^{-1}	Para el estado no existe un registro superior a 8 m.s^{-1}
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m^{-2})	Tipocoro $8,17^\circ$ & $-70,98^\circ$, 294 W.m^{-2}

Fuente: Luis Ramírez, 2019

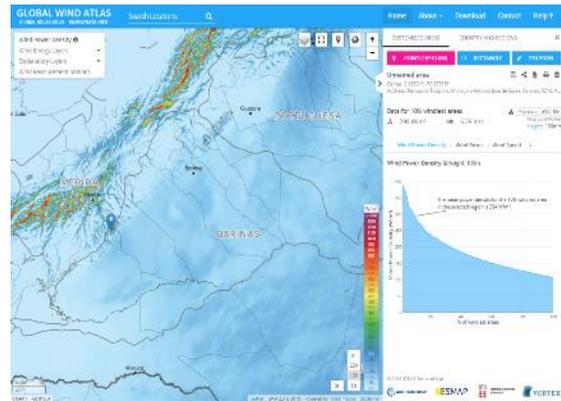


Figura 5: Potencial eólico y solar del estado Barinas Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Barinas: El estado no posee valores favorables para el desarrollo de energías eólicas y solar en Venezuela, por ejemplo no resulta factible instalar turbinas clase I o II de velocidad del viento superior a $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente en su superficie, sus valores más altos son de $6,29 \text{ m.s}^{-1}$; respecto a la energía solar el valor promedio de radiación es de 294 W.m^{-2} , fuente de generación que resulta más adecuada, el nombre de la parroquia es Tipocoro y es un territorio que colinda con el estado Mérida.

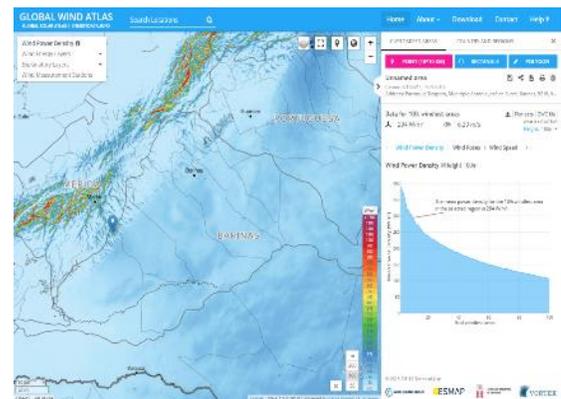


Figura 6: Potencial eólico y solar del estado Barinas Global Wind Atlas, 2019

Bolívar: En la Tabla VI se presenta la información técnica del estado más grande en superficie del país, esto soportado en la Figura 6.

Tabla VI: Ficha Técnica estado Bolívar

Nombre del estado	Bolívar
Capital:	Ciudad Bolívar
Superficie total (km ²)	240.528 (km ²)
Población	1.413.115 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Parque nacional Canaima con una velocidad promedio de 11,34 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Parque Nacional Canaima 6,02° & -62.72°, con 1392 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

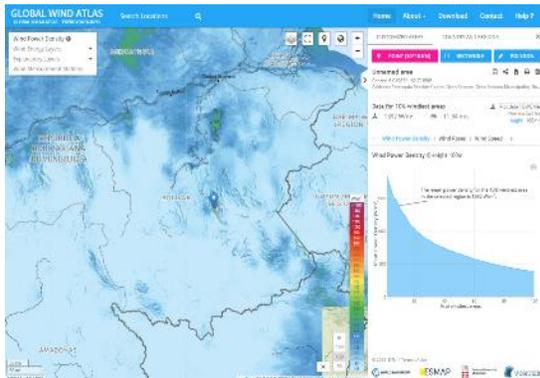


Figura 6: Potencial eólico y solar del estado Bolívar
Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Bolívar: Es un estado que representa un poco más del 25% del territorio nacional, su potencial para las energías eólica y solar es alto con valores promedios de 11,34 m.s⁻¹ y 1392 W.m⁻² respectivamente, no obstante esto valores pertenecen al parque nacional Canaima, que con seguridad al ser un territorio protegido resultaría una dificultad para el emplazamiento.

Carabobo: En la Tabla VII y Figura 7 se muestran los valores de radiación y velocidades del viento más favorables del estado.

Tabla VII: Ficha Técnica estado Carabobo

Nombre del estado	Carabobo
Capital:	Valencia
Superficie total (km ²)	4650 (km ²)
Población	2.245.744 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Puerto Cabello con 8,03 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Puerto Cabello 10,33° & -67.83°, con 541 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

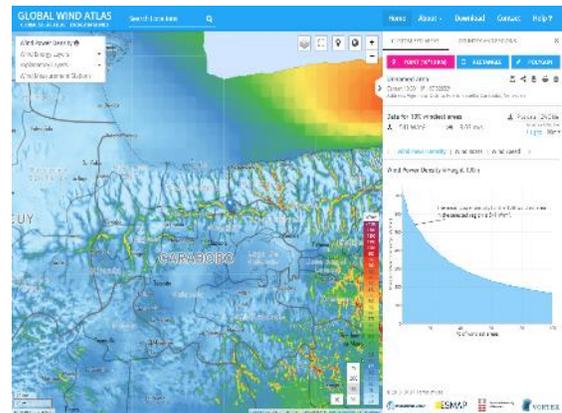


Figura 7: Potencial eólico y solar del estado Carabobo
Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Carabobo: Es un estado densamente poblado para sus 4650 km² posee una población de 2.245.744 habitantes, el potencial eólico es representativo para lograr instalar turbina de clase II según la IEC, por tener vientos promedios superiores a 8 m.s⁻¹, específicamente 8,03 m.s⁻¹, la radiación solar promedio es de 541 W.m⁻².

Cojedes: En la Tabla VIII y Figura 8 se presenta la información del estado occidental de Venezuela.

Tabla VIII: Ficha Técnica estado Cojedes

Nombre del estado	Cojedes
Capital:	San Carlos
Superficie total (km ²)	14.800 (km ²)
Población	323.165 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	No se registra para el estado velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Tinaco 9,81° & -68,47°, con 376 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

Tabla IX: Ficha Técnica estado Delta Amacuro

Nombre del estado	Delta Amacuro
Capital:	Tucupita
Superficie total (Km ²)	40.200 (km ²)
Población	165.525 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	No se registra para el estado velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Juan Millan 9,69° & -61,33°, con 319 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

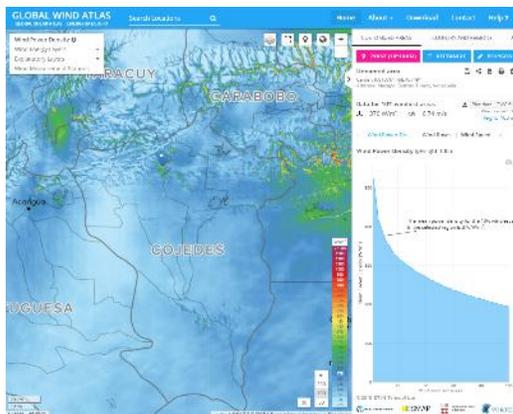


Figura 8: Potencial eólico y solar del estado Cojedes Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Cojedes: El potencial de energía eólica para la instalación de turbinas clase II no resulta suficiente, porque la velocidad del viento promedio en la coordenada 9,81° & -68,47° técnicamente más adecuada es de 6,74 m.s⁻¹ y se requiere un mínimo de 8 m.s⁻¹, respecto al potencial solar la radiación promedio anual es de 376 W.m⁻².

Delta Amacuro: La información del estado se presenta en la Tabla IV y Figura 9.



Figura 9: Potencial eólico y solar del estado Delta Amacuro Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Delta Amacuro: El estado posee frontera al norte con el océano Atlántico, la coordenada con mejores valores para el desarrollo de energía eólica y solar es de 9,69° & -61,33°, el valor mayor de velocidad del viento es de 7,33 m.s⁻¹, respecto a la energía solar que resultaría más factible es de instalar posee un valor de 319 W.m⁻².

Dependencias Federales: En la Tabla 10 y Figura 10 se presentan los valores de los islotes denominados dependencias federales y sus valores referencias de energía eólica y solar.

Tabla X: Ficha Técnica Dependencias Federales

Nombre del estado	Dependencias Federales
Capital:	No posee
Superficie total (km ²)	120 (km ²)
Población	2155 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Archipiélago Los Roques 8.24 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	Los Roques 11,77° & -66,61°, con 429 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

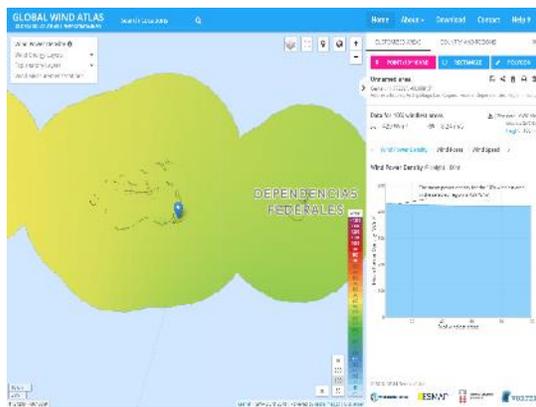


Figura 10: Potencial eólico y solar Dependencias Federales Global Wind Atlas, 2019

Análisis Dependencias Federales: Es el territorio más pequeño de Venezuela y lo representan un conjunto de islas, el potencial eólico y solar resulta inminente fuera de la costa, en el caso de energía eólica la velocidad promedio es de 8,24 m.s⁻¹, valor requerido para instalar turbinas clase II, para la generación solar la radiación directa promedio es de 429 W.m⁻².

Su nombre oficial Caracas y es la capital del país, sus descripción en la Tabla XI y Figura 11.

Tabla XI: Ficha Técnica Distrito Capital-Caracas

Nombre del estado	Distrito Capital
Capital:	Distrito Capital
Superficie total (km ²)	433 (km ²)
Población	1.943.901 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	La pastora 9,48 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	La Pastora 10,55° & -66,92°, con 751 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019



Figura 11: Potencial eólico y solar Distrito Capital Global Wind Atlas, 2019

Análisis Distrito Capital: Es una superficie densamente poblada, con solo 433 km² tiene una población de 1.943.901, su máxima protección vegetal es el cerro El Ávila y donde se ubica el mejor potencial eólico y solar de la capital, específicamente en la parroquia La Pastora, coordenadas 10,55° & -66,92° la velocidad del viento promedio es de 9,48 m.s⁻¹, ideal para instalar aerogeneradores clase II y módulos fotovoltaicos, es decir un sistema híbrido, la radiación solar directa promedio alcanza los 751 W.m⁻².

Falcón: En la Tabla XII, fundamentada en la Figura 12 se presentan la ficha con la descripción del estado Falcón.

Tabla XII: Ficha Técnica estado Falcón

Nombre del estado	Falcón
Capital:	Coro
Superficie total (km ²)	24.800 (km ²)
Población	902.847 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	La cruz de Taratara 11.16 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	La Cruz de Tarata-Municipio Sucre 11,09° & -69,75°, con 1046 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

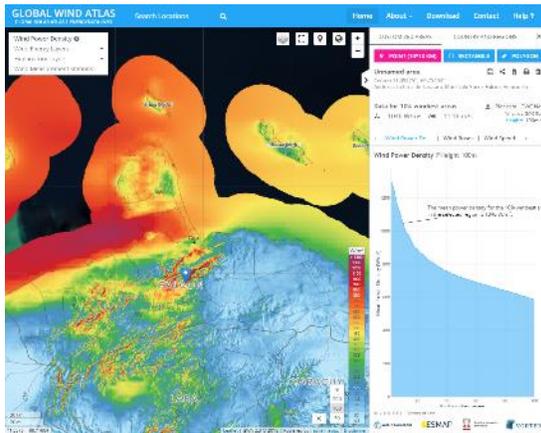


Figura 12: Potencial eólico y solar Falcón Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Falcón: Es uno de los estados preponderantes para el desarrollo de parques eólicos y solares en Venezuela, su región occidental y norte es abundante en el recursos velocidad del viento y radiación, específicamente la coordenada 11,09° & -69,74° posee velocidad del viento de 11,16 m.s⁻¹ que permiten la instalación de aerogeneradores clase I por tener valores superiores a 10 m.s⁻¹, solicitados por la IEC y módulos fotovoltaicos ya que se posee una

radiación solar directa promedio superior a los 1000 W.m⁻².

Guárico: En la Tabla XIII se presenta la descripción técnica del estado y en la Figura 13 la imagen proporcionada por Global Wind Atlas.

Tabla XIII: Ficha Técnica estado Guárico

Nombre del estado	Guárico
Capital:	San Juan de los Morros
Superficie total (km ²)	64.986 (km ²)
Población	747.739
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Tiznado 8,07 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	Parroquia San Lorenzo de Tiznado 9,80° & -67,58°, con 482 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

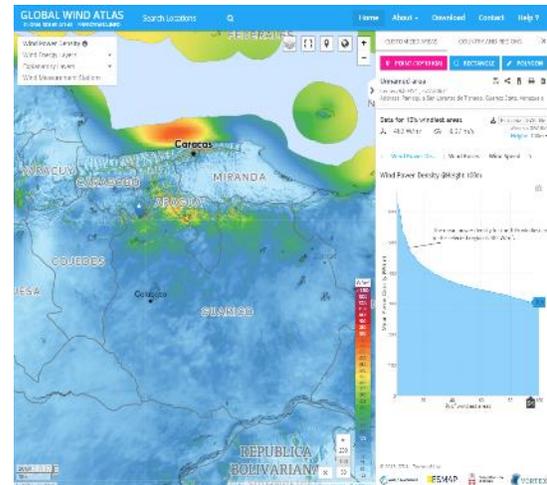


Figura 13: Potencial eólico y solar Guarico Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Guárico: La capital del estado es San Juan de los morros, es uno de los cinco más grandes en superficie (Km2); respecto a parque eólicos es factible la instalación de turbinas clases II, según la norma IEC por poseer velocidades del viento promedio de 8,07 m.s⁻¹ en la Parroquia San

Lorenzo de Tizado coordenada 8,80° & -67,58, donde la radiación solar promedio directa es de 482 W.m⁻².

Lara: La Tabla XIV corresponde a la descripción del estado Lara y la Figura 14 a la imagen brindada por Global Wind Atlas.

Tabla XIV: Ficha Técnica estado Lara

Nombre del estado	Lara
Capital:	Barquisimeto
Superficie total (km ²)	19.800 (km ²)
Población	1.774.867 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Torres 10,46 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Municipio Torres 10,43° & -70,35°, con 1060 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

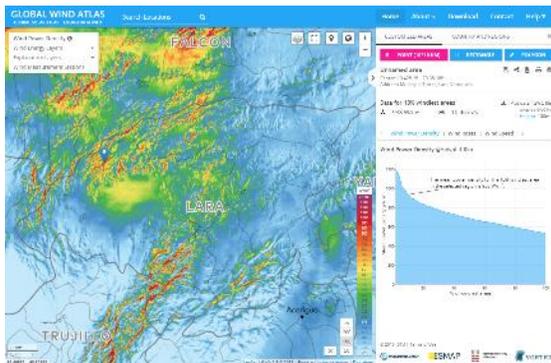


Figura 14: Potencial eólico y solar Lara Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Lara: La superficie occidental de este estado es abundante en el recurso velocidad del viento y radiación, específicamente en el Municipio Torres es posible proyecta la construcción de uno o varios parques eólicos con aerogeneradores de clase I, porque los vientos son superiores a 10 m.s⁻¹, específicamente en el Municipio Torres 10,43° & -70,35°, la radiación directa promedio es de 1060 W.m⁻² permitiendo la

combinación de desarrollos híbridos para esta región.

Mérida: En la Tabla XV y Figura 15 se presenta la descripción del estado y sus valores para el desarrollo de energía eólica y solar.

Tabla XV: Ficha Técnica estado Mérida

Nombre del estado	Mérida
Capital:	Mérida
Superficie total (km ²)	11.300 (km ²)
Población	898.592 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Guaraque 10,46 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Municipio Guaraque 8,28° & -71,69°, con 1568 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

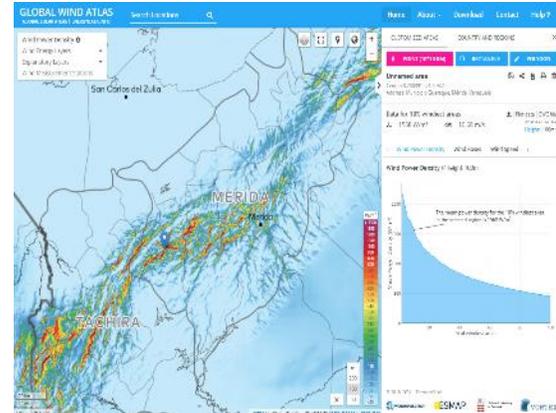


Figura 15: Potencial eólico y solar Merida Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Mérida: Es uno de los estados que pertenece a la cordillera andina, junto con Táchira y Trujillo, el potencial eólico observable a través de la Figura 20 indica que las velocidades del viento promedio se incrementan hasta 10,68 m.s⁻¹, que permiten la instalación de aerogeneradores clase I, respecto a la radiación directa promedio se posee un valor de 1568 W.m⁻² que resulta excepcional si lo

comparamos con los valores obtenidos para otros estados venezolanos.

Miranda: Este estado central se describe en la Tabla XVI y la Figura 16.

Tabla XVI: Ficha Técnica estado Miranda

Nombre del estado	Miranda
Capital:	Los Teques
Superficie total (km ²)	7.950 (km ²)
Población	2.675.165 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Leoncio Martínez 10,48 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Municipio Sucre 10,54° & -66,82°, con 950 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

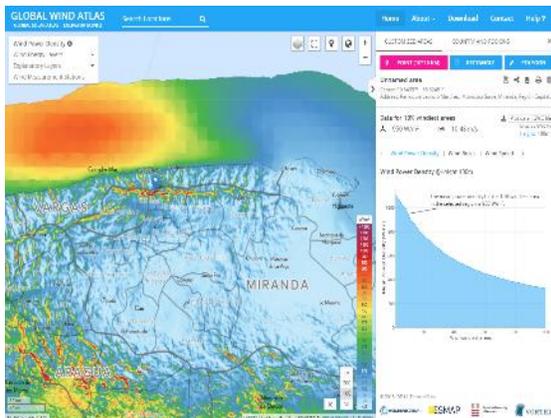


Figura 16: Potencial eólico y solar Miranda Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Miranda: Es una entidad con una alta población, respecto a otros estados, su potencial eólico y solar se concentra en la región costera de coordenadas 10,54° & -66,82° en el municipio Sucre y en las región cercana al cerro El Ávila, con vientos promedios de 10,48 m.s⁻¹, es factible la instalación de turbinas clase I, esto según

la norma IEC, la radiación promedio es de 950 W.m⁻².

Monagas: La descripción de este estado oriental se presenta en la Tabla XVII y Figura 17.

Tabla XVII: Ficha Técnica estado Monagas

Nombre del estado	Monagas
Capital:	Maturín
Superficie total (km ²)	28.900 (km ²)
Población	905.443 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	San Francisco 9,05 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Parroquia San Francisco-Distrito Acosta, 10,20° & -63,59°, con 542 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

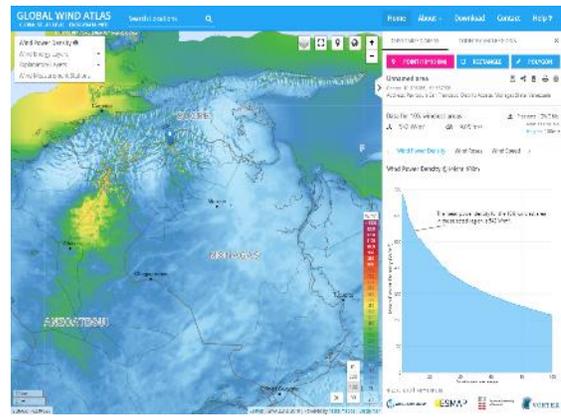


Figura 17: Potencial eólico y solar Monagas Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Monagas: Para el estado Monagas se tiene la coordenada 10,20° & -63,59° (Figura 17) como los mejores valores de velocidad del viento con 9,05 m.s⁻¹, que permiten la instalación de aerogeneradores clase II respecto a la energía eólica y de 542 W.m⁻² de radiación para el desarrollo de parques de módulos fotovoltaicos.

Nueva Esparta: Se presenta en la Tabla XVIII y Figura 18.

Tabla XVIII: Ficha Técnica estado Nueva Esparta

Nombre del estado	Nueva Esparta
Capital:	La Asunción
Superficie total (km ²)	1.150 (km ²)
Población	491.610 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Plaza Paraguachi 10,15 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Parroquia Capital Plaza Paraguachi, 11,07° & -63,89°, con 816 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

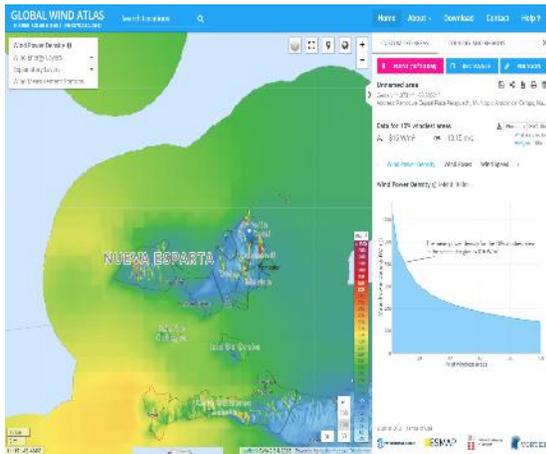


Figura 18: Potencial eólico y solar Nueva Esparta Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Nueva Esparta: En la Figura 18 y la Tabla 18 se presentan los resultados de las velocidades del estado insular, para las coordenadas 11,07° & -63,89° es factible instalar aerogeneradores clase I por tener velocidades promedios de 10,15 m.s⁻¹, y módulos fotovoltaicos que logren captar el recurso radiación promedio de 816 W.m⁻².

Portuguesa: En la Tabla XIX y Figura 19 se presenta la descripción del estado.

Tabla XIX: Ficha Técnica estado Portuguesa

Nombre del estado	Portuguesa
Capital:	Acarigua
Superficie total (km ²)	15.200 (km ²)
Población	876.496
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	No existen superficies superiores a 8 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	El Hijito Municipio Araure, 9,68° & -69,03°, con 327 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

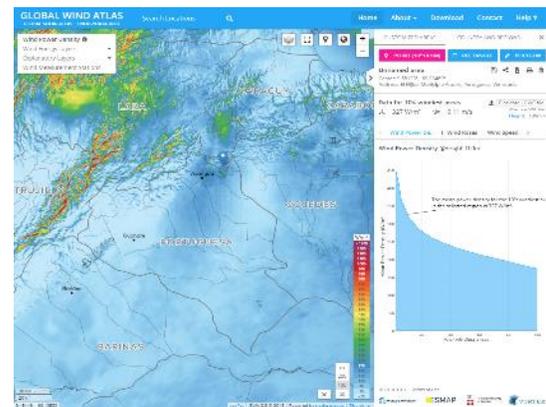


Figura 19: Potencial eólico y solar Portuguesa Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Portuguesa: El estado tiene como capital la ciudad de Acarigua, el desarrollo de energía eólica para aerogeneradores de clase II no es posible porque la máxima velocidad registrada es de 6,11 m.s⁻¹ en la coordenada 9,68° & -69,03°, respecto a la energía solar la radiación promedio registrada para el mismo punto referencia es de 327 W.m⁻²

Sucre: Un estado costero, su descripción en la Tabla 20 y Figura 20.

Tabla XX: Ficha Técnica estado Sucre

Nombre del estado	Sucre
Capital:	Cumana
Superficie total (km ²)	11.800 (km ²)
Población	896.291
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	San Lorenzo 9,02 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Parroquia San Lorenzo-Municipio Montes, 10,12° & -63,97°, con 705 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

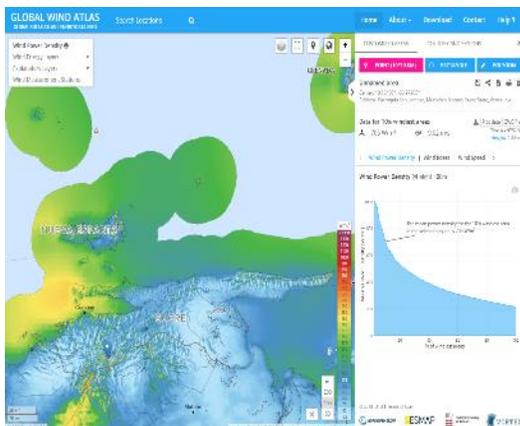


Figura 20: Potencial eólico y solar Sucre Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Sucre: Es uno de los estados norte-oriental del país con salida al océano Atlántico, para la instalación de un parque eólico se identificó como mejor coordenada 10,12° & -63,97° de la parroquia San Lorenzo, municipio Montes con 9,02 m.s⁻¹ adecuada para turbina clase II, respecto al potencial solar la radiación obtenida para este mismo punto es de 705 W.m⁻².

Táchira: Es un estado andino, fronterizo con el país Colombiano, su descripción en la Tabla XXI y Figura 21.

Tabla XXI: Ficha Técnica estado Táchira

Nombre del estado	Táchira
Capital:	San Cristóbal
Superficie total (km ²)	11.100 (km ²)
Población	1.263.628 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	La Florida 11,96 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Parroquia la Florida, Municipio Cárdenas, 7,79° & -72,14°, con 1552 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

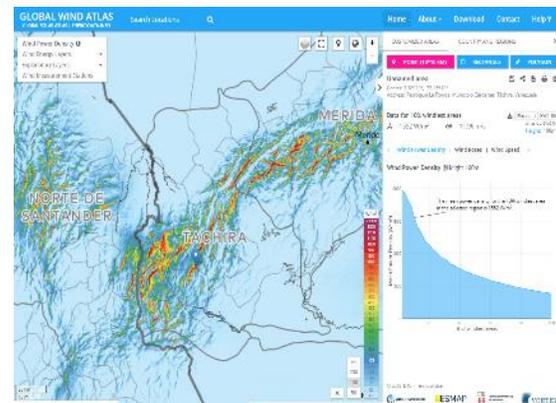


Figura 21: Potencial eólico y solar Táchira Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Táchira: El estado presenta un amplio potencial, con mayor énfasis en la región sur-este, la coordenada con el valor más alto es 7,79° & -72,14° y corresponde a una radiación promedio de 1552 W.m⁻², y una velocidad de 11,96 m.s⁻¹ que permite la instalación de aerogeneradores clase I al superar el límite indicado por la norma IEC de 10 m.s⁻¹.

Trujillo: La descripción del estado se presenta en la Tabla 22 y los valores de Global Wind Atlas en la Figura 22.

Tabla XXII: Ficha Técnica estado Trujillo

Nombre del estado	Trujillo
Capital:	Trujillo
Superficie total (km ²)	7.400 (km ²)
Población	686.367 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Trujillo 11,21m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	Municipio Trujillo, 9,38° & -70,31°, con 1563 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

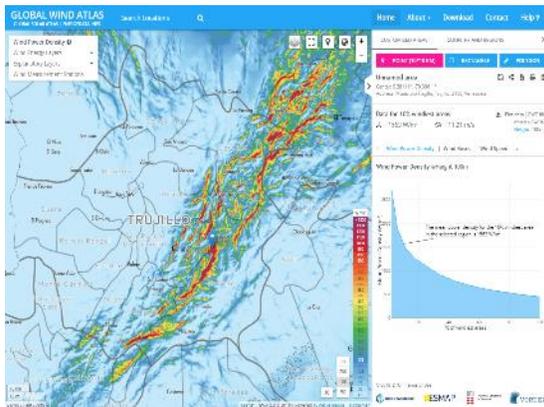


Figura 22: Potencial eólico y solar Trujillo Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Trujillo: El estado pertenece a la cordillera andina su potencial se concentra a través de toda una diagonal de pendiente a través de su superficie, la coordenada con mayor factibilidad se suscribe a 9,38° & -70,31°, la velocidad del viento promedio es excepcional con 11,21 m.s⁻¹, que permite la instalación de aerogeneradores clase I, respecto a la generación solar se posee un valor de radiación de 1563 W.m⁻².

Yaracuy: La ficha técnica del estado en la Tabla XXIII y los valores de velocidades y radiación en la Figura 23.

Tabla XXIII: Ficha Técnica estado Yaracuy

Nombre del estado	Yaracuy
Capital:	San Felipe
Superficie total (km ²)	7.100 (km ²)
Población	600.852 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Cocorote 8,08 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radiación del estado (W.m ⁻²)	Cocorote-Distrito Bolívar, 10,40° & -68,80°, con 416 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

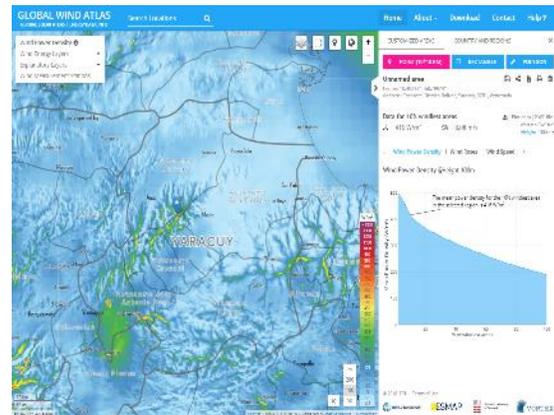


Figura 23: Potencial eólico y solar Yaracuy Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Yaracuy: El estado posee un potencial eólico significativos para instalar turbinas clase II, según la norma IEC al poseer velocidades superiores a 8 m.s⁻¹, específicamente 8,08 m.s⁻¹, el valor de radiación solar directa promedio es de 416 W.m⁻².

Vargas: La descripción del estado se presenta en la Tabla XXIV y Figura 24.

Tabla XXIV: Ficha Técnica estado Vargas

Nombre del estado	Vargas
Capital:	La Guaira
Superficie total (km ²)	1.496 (km ²)
Población	352.920 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	La Guaira 9,02 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	La Guaira- Municipio Vargas, 10,56° & -66,91°, con 749 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

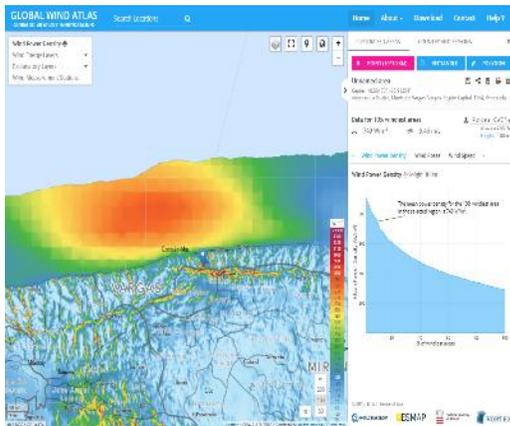


Figura 24: Potencial eólico y solar estado Vargas Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Vargas: El potencial eólico representativo se encuentra cercano al cerro el Ávila y no estrictamente en la costa como pareciera inminente, la coordenada específica es 10,56° & -66,91° con una radiación de 749 W.m⁻², y velocidades del viento que permiten la instalación de aerogeneradores clase II al poseer un valor de velocidad del viento promedio de 9,02 m.s⁻¹.

Zulia: La descripción del estado en la ficha codificada como Tabla XXV y la Figura 25.

Tabla XXV: Ficha Técnica estado Zulia

Nombre del estado	Zulia
Capital:	Maracaibo
Superficie total (km ²)	63.100 (km ²)
Población	3.704.404 habitantes
Nombre de superficies con Velocidades superiores a 8 m.s ⁻¹	Miranda 9,10 m.s ⁻¹
Nombre de la parroquia, coordenada y valor mayor promedio de radicación del estado (W.m ⁻²)	Municipio Miranda, 10,93° & -71,39°, con 741 W.m ⁻²

Fuente: Luis Ramírez, 2019

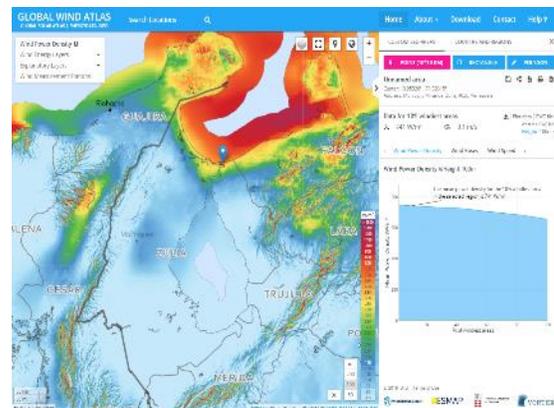


Figura 25: Potencial eólico y solar estado Zulia Global Wind Atlas, 2019

Análisis estado Zulia: El estado Zulia posee un potencial destacado en su región costera, la coordenada que no pertenece a la Guajira y posee el potencial eólico más alto es el municipio Miranda de coordenadas 10,93° & -71,39° con una velocidad del viento de 9,10 m.s⁻¹, que permitiría la instalación de turbinas Clase II, considerando la Norma IEC 61400, respecto a la radiación directa promedio se tiene 741 W.m⁻²

Factibilidad Técnica de la región considerando la plataforma IRENA, en su publicación “Semana del Clima para el Caribe y América Latina-2019”

La plataforma IRENA nos brinda una información importante para lograr acercarnos a una conclusión respecto al potencial de las energías renovables en Latinoamérica, indicando que la región alberga algunos de los mercados de energía renovable más dinámicos del mundo, con más de una cuarta parte de la energía primaria proveniente de energías renovables, siendo esto el doble del promedio mundial. Dada la gran energía hidroeléctrica y los riesgos asociados con el cambio climático, América Latina requiere soluciones específicas bajas en carbono. La rápida reducción de costos de la energía solar y eólica, la maduración de las tecnologías, la revolución digital y otras reformas de políticas ofrecen una oportunidad sin precedentes para avanzar hacia un desarrollo energético bajo en carbono. Los países latinoamericanos han demostrado ser conscientes de este impulso: en el informe el 80 por ciento menciona que la energía renovable en sus legislaciones, mientras que el 75 por ciento incluye objetivos renovables en sus planes nación. Se estima que la inversión total necesaria para estos objetivos de energía renovable supera los USD 140 mil millones.

Alcanzar esta ambición requiere técnicamente una mejor eficiencia energética, lo que puede reducir significativamente la demanda de energía y la necesidad de ampliar la capacidad de energía renovable. La eficiencia energética, especialmente con respecto a la transmisión de la red, el diseño de edificios y la planificación urbana, es particularmente importante en las ciudades de rápido crecimiento de América Latina, donde el suministro de energía lucha por mantenerse al día con la creciente demanda. Destaca el informe que una mayor inversión, particularmente del sector privado, permitirá a la región alcanzar su potencial de energía renovable, al tiempo que brinda una gama de beneficios, incluida la inclusión social. Esta sesión explorará opciones donde la acción en el contexto de la transición energética puede cumplir múltiples objetivos de desarrollo y cambio climático.

Ahora bien, para el caso de Venezuela la plataforma IRENA identifica que las regiones con mayor

potencial eólico (Ver Figura 26) se bordean con color marrón, específicamente un valor mayor a 8 m.s^{-1} , esto ocurre en los estados costeros, con mayor incidencia se presenta en Zulia, Falcón y Sucre. De igual forma como se identificó con la plataforma Global Wind Atlas, seguidamente los estados andinos Mérida, Tachira y Trujillo poseen también valores significativos superiores a 8 m.s^{-1} , esto según lo requerido por la norma IEC para aerogeneradores clase II.

Respecto al potencial solar desde la plataforma IRENA (Figura 27) se identifica que el país se encuentra bordeado por líneas entre $161 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ – $190 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ esta es la incidencia de radiación regular para el territorio venezolano, teniendo mayor énfasis en el mapa los estados Zulia y Anzoátegui.

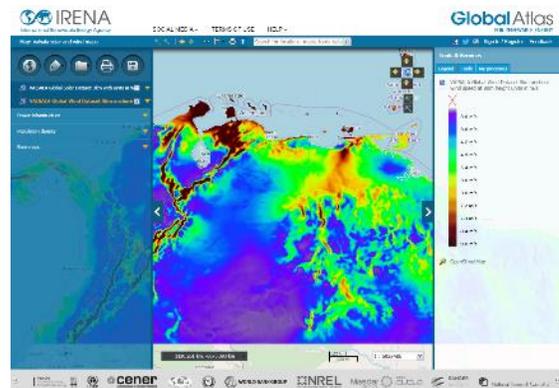


Figura 26: Potencial eólico de Venezuela sustraído de IRENA, 2019



Figura 27: Potencial solar Venezuela sustraído de IRENA, 2019

Objetivo 2:

Considerando el tipo de energía propuesta en cada entidad venezolana en el objetivo anterior, vinculada con Global Wind Atlas y afianzando los resultados en IRENA se realiza la propuesta para el desarrollo de un parque solar, eólico o híbrido en los 23 estados, islas de la Dependencias Federales y la capital, mostrando con la plataforma Google Earth el relieve de cada coordenada seleccionada en el objetivo 1, el área requerida y propuesta para el parque, eólico es de 12.000m² (Figura 28); en la Figura 29 se presentan los proyectos híbridos que ocupan una superficie de 20.000m², mientras que en la Figura 30 se ofrece la distribución del parque solar de 105.000m², las propuestas se estima logren satisfacer a consumidores promedios de 4.000kW año.

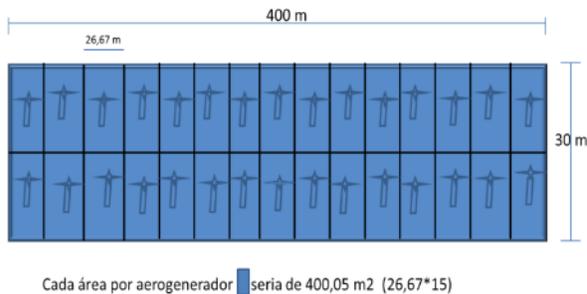


Figura 28: Parque eólico de generación proyectada 60MW, 2019

El modelo de parque eólico propuesto es de 12.000 m² y contempla una distribución ofrecida en la Figura 28, para 30 aerogeneradores de clase I y/o clase II (Considerando la norma IEC 61400:2018) con una capacidad de generación proyectada de 2 MW c/u de las turbinas, para un total de potencia de 60MW que equivalen a una energía día (15 horas), considerando un trabajo al 70% día y 10% de mantenimiento, es decir 5.475 horas año de trabajo, esto implica una energía anual con una eficiencia promedio de 50% de 164.250.000kWh al año que representa un despacho para 41.062 suscriptores promedios de 4.000kWh anual conectados.

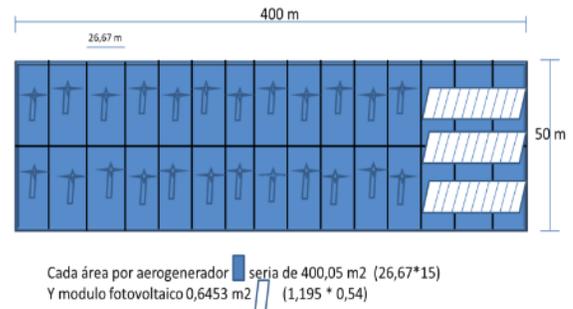


Figura 29: Parque híbrido eólico-solar de generación proyectada 51MW, 2019

El modelo híbrido (Figura 29) contempla 24 aerogeneradores con una proyección estimada de 48 MW, considerando una generación promedio de 2 MW, trabajo al 70% día y 10% de mantenimiento, 50% de eficiencia para una producción de 15 horas diarias que representa una energía anual de 131.400.000kWh y equivale a 32.850 suscriptores por una parte del sistema, de igual forma se incluyen 15.000 módulos fotovoltaicos que aportan 3MWp de 200Wp c/u con un tiempo de producción de 11 horas diarias promedios que incluye el 10% de mantenimiento, considerando una alta eficiencia de 50% se tiene 4.015 horas año que representan una energía de 6.022.500 kWh permitiendo abastecer a 1.506 suscriptores promedio de 4.000kW anual. El sistema está configurado para 51MW que equivale a 34.356 suscriptores.

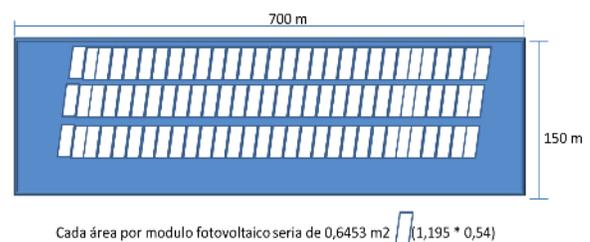


Figura 30: Parque solar de generación proyectada 30MWh, 2019

Respecto a los parques solares (Figura 30) propuestos para un área de 105.000 m² con una conexión en serie de tres niveles de 50.000 módulos solares (150.000 módulos totales) de 0,54 m de ancho por 1,195 m de largo para un área de 0,6453m², siendo la generación por panel de 200Wp c/u, con un tiempo de producción de 11 horas

diarias promedios que incluye el 10% de mantenimiento, considerando una alta eficiencia de 50% se tiene 4.015 horas para una generación de 60.225.000kWh anual, esto equivale a una potencia total de 30 MWp, para 15.507 consumidores promedios conectados con un consumo promedio de energía de 4.000kWh año.

Seguidamente, para dar cumplimiento a este objetivo se mostrarán las superficies de cada uno de los 23 estados, la capital y las dependencias federales seleccionados, utilizando la plataforma Google Earth, se incluye el posible emplazamiento, incluyendo la Figura 28, 29 y 30 según corresponda a los recursos identificados en cada estado, con un aporte energético (potencia) de 60 MW, 51MW y 30MWp respectivamente.

Municipio Manapiare-Amazonas: Considerando un área de 105.000 m² propuesta para proyectos solares en esta investigación, el número de paneles fotovoltaicos de dimensiones 1,195m x 0,54m, generación total aproximada de 60.225.00kWh anual. Manapiare tiene un superficie de 33.100km², en la Figura 31 se señala un área que en principio está disponible para el parque, no obstante requiere de estudios preliminares como evaluación de impactos ambientales, aprobación del ejecutivo nacional a través del ministerio de energía, órganos competente para regular la ejecución de parques de generación en Venezuela, el número de suscriptores beneficiados serían 15.507.



Figura 31: Municipio Maniapare estado Amazona, 2019

Municipio Anaco-Anzoátegui: El Municipio tiene una superficie aproximada de 42 Km², el proyecto propuesto sería híbrido (Figura 32) y contempla generar 51MW para 34.356 consumidores promedios de 4.000kWh año, la población estimada para el censo 2011 es aproximadamente de 100.000 habitantes es decir el impacto sería para el 35% de la población, el relieve es poco montañoso, con una tendencia de vegetación árida.



Figura 32: Municipio Anaco estado Anzoátegui, 2019

San Rafael de Atamaica-Apure: La localidad pertenece al Municipio San Fernando la propuesta es un parque eólico de 150.000 módulos fotovoltaicos, en la Figura 33 se presenta un espacio disponible en el caserío, el número de consumidores beneficiados serían de 15.507 consumidores, es este estado según CORPOELEC (2016) un porcentaje significativo es conectado por grupos electrógenos, esta opción sería alternativa y replicable en varios espacios del estado, previo estudio de impactos y factibilidad legal del terreno seleccionado, el relieve es poco montañoso porque ciertamente es una región que pertenece a los llanos venezolanos.



Figura 33: Localidad San Rafael de Atamaica estado Apure, 2019

La Candelaria-Aragua: Para el estado Aragua se ofrece un proyecto híbrido (Figura 34) de potencia 60MW, que abastecería a 34.356 consumidores promedios de 4.000KWh año la ubicación del parque se coloca en la montaña para disminuir el impacto visual que podría tener, el relieve es poco montañoso y la población estimada es de 25.000 habitantes, es decir se lograría abastecer el 100% de los habitantes.



Figura 34: La Candelaria estado Aragua, 2019

Tipocoro-Barinas: El estado posee un potencial para el desarrollo de un parque solar de 30 MWp que lograría satisfacer a 15.507 consumidores conectados al proyecto con un consumo promedio de 4.000kWh año, el área seleccionada (Figura 35) se encuentra cercana al parque Sierra Nevada en la Mocuy, para su ejecución se requieren estudios de impactos ambientales y permisos del Estado que garantice la convivencia con el ecosistema actual.

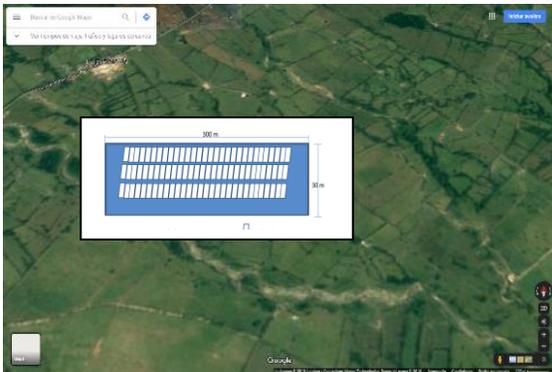


Figura 35: Tipocoro estado Barinas, 2019

Parque nacional Canaima-Bolívar: El parque nacional Canaima (Figura 36) posee un potencial adecuado para el desarrollo de proyectos de generación eólicos y solares, su ejecución resulta un poco compleja de ejecutar por estar dentro de una zona protegida por la Nación, se pretende obtener un aporte de potencia de 51 MW para la red que permitiría abastecer del servicio a 34.356 suscriptores del estado Bolívar, el relieve predominante es montañoso, los impactos a las telecomunicaciones por los aerogeneradores propuestos para el área serian reducidos porque es escasamente habitado, no obstante las flora y la fauna requiere de un inventario previo porque sería vulnerable.

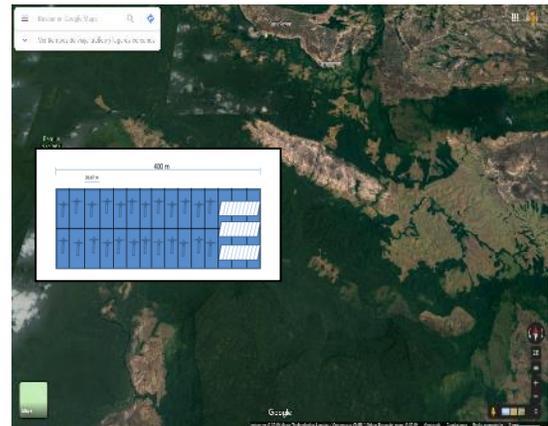


Figura 36: Parque nacional Canaima estado Bolívar, 2019

Puerto Cabello-Carabobo: La propuesta de generación es híbrida para el estado Carabobo, la región con mayor potencial se ubica cerca de la costa, específicamente próximo a Puerto Cabello ver Figura 37, el proyecto se espera genere 137.422.500 kWh año para 34.356 hogares con el consumo de 4.000 kWh año, el traslado de las palas requeridas se propone sea realizada por vía fluvial, esto permitiría mitigar los impactos ambientales en la flora y fauna.

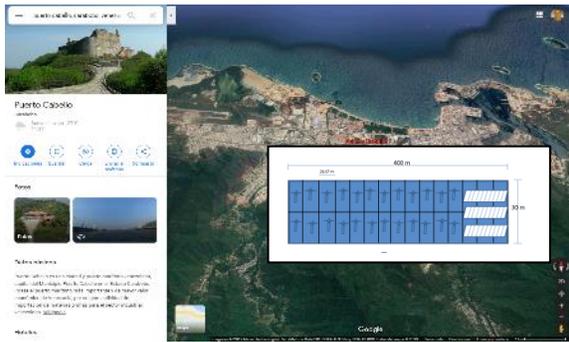


Figura 37: Puerto Cabello estado Carabobo, 2019

Tinaco-Cojedes: En la Figura 38 se presenta la propuesta para el desarrollo de un parque solar para el estado Cojedes, específicamente de 30MWp de potencia que abastecería del servicio eléctrico a 15.507 suscriptores. La ubicación seleccionada es a las afueras de Tinaco, el relieve es poco montañoso y fundamentalmente árido, que hace presumible un impacto bajo para la flora.

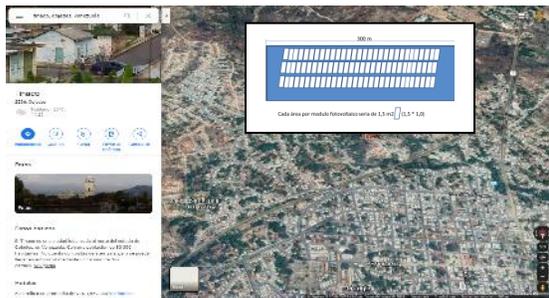


Figura 38: Tinaco estado Cojedes, 2019

Juan Millan-estado Delta Amacuro: El desarrollo con mejor proyección para el estado es un parque solar de 30MWp, se espera logre abastecer a 15.507 suscriptores de un consumo promedio de 4.000kWh año, en la Figura 39 se presenta el emplazamiento más adecuado para la localidad de Juan Millan, que es montañoso pero de altura moderada, inferior a los 600 m sobre el nivel del mar.

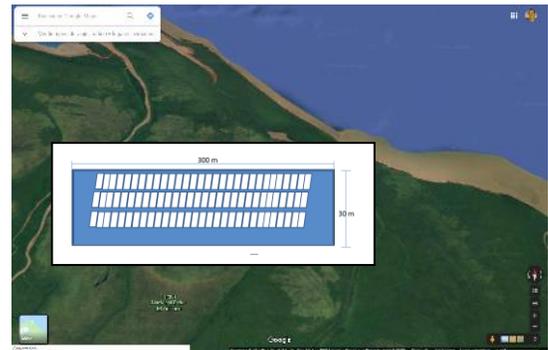


Figura 39: Localidad de Juan Millan estado Delta Amacuro, 2019

Los Roques-Dependencias Federales: El conjunto de islas ubicadas en el Océano Atlántico (Figura 40) con proximidad al mar caribe posee de 433 km² y un gran potencial para el desarrollo de un parque híbridos, con una capacidad de generación de 137.422.500 kWh año, se espera cubrir la demanda de 15.507 suscriptores con consumo promedio de 4.000kWh anual, es decir toda la isla, el espacio requerido es de 105.000 m², en la Figura 40 se muestra el área posible para realizar el emplazamiento, el relieve es poco montañoso y vegetación xerófila regular de un clima de isla caribeña.

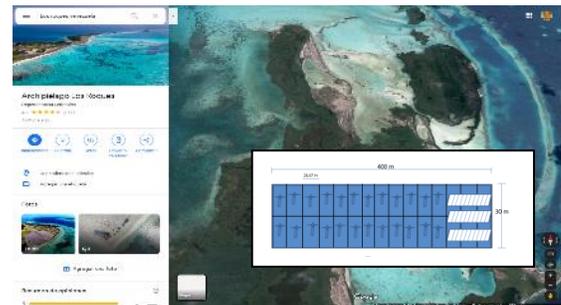


Figura 40: Los Roques Dependencias Federales, 2019

Parque nacional El Ávila-Distrito Capital: Es la capital del país, es una ciudad densamente poblada como más de 2 millones de habitantes y apenas una superficie de 433 km², la opción proyectada es un sistema híbrido de 51MW de potencia (Ver Figura 41) de generación que espera alcanzar a 34.356 suscriptores de consumo 4.000kWh año, el área requerida se encuentra en el parque el Ávila y ocuparía 20.000 m², para la ejecución el proyecto se

requiere de los estudios previos de impactos ambientales, socioeconómicos, inventario de fauna y flora, es posible que los impactos visuales resulten significativos por la poca disponibilidad del espacio para desarrollar el complejo.

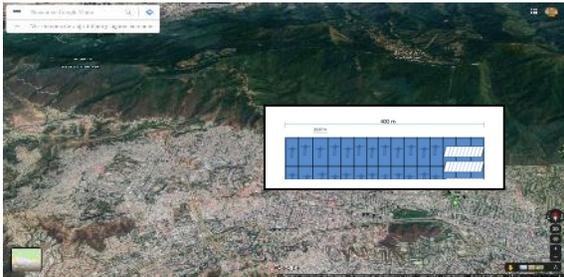


Figura 41: Parque nacional el Ávila, la Pastora-Caracas, 2019

La Cruz de Taratara-Falcón: El desarrollo propuesto es singularmente eólico (Figura 42) porque es un estado que se encuentra en la costa venezolana, y no está poblado densamente, posee un excelente potencial en sus vientos, ya se cuenta con un parque en Paraguana, actualmente de 25MW, el proyectado sería de 60MW adicionales, con la expectativa de abastecer de electricidad a 34.356 suscriptores, el relieve es poco montañoso y de vegetación árida, lo que permite proyectar un inventario reducido.

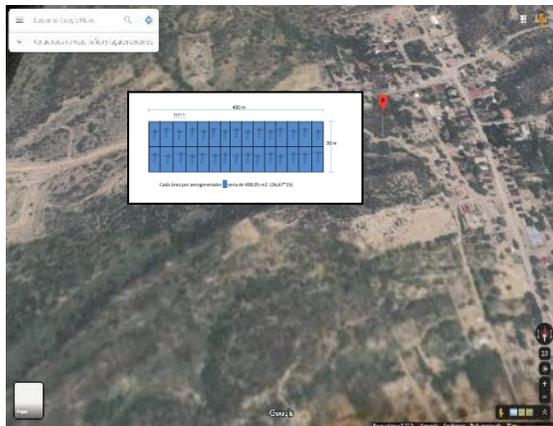


Figura 42: La Cruz de Tarata estado Falcón, 2019

San Lorenzo de Tiznado-Guárico: El desarrollo propuesto para el estado Guárico es de tipo híbrido, con una generación de 137.422.500 kWh año, la localidad de San Lorenzo de Tiznado (Figura 43) se ubica al norte de la entidad, en la Figura 50 se

muestra punto donde se propone el emplazamiento, el número de suscriptores beneficiados serían 34.356, el relieve predominante es montañoso con poca proyección de altura desde el nivel del mar, de igual forma se propone un inventario de fauna, flora previo a la construcción del emplazamiento.



Figura 43: San Lorenzo de Tiznado estado Guárico, 2019

Municipio Torres-Lara: En la Figura 44 se presenta el emplazamiento híbrido recomendado para el estado, el número de suscriptores beneficiados serían 34.356, estos con un consumo promedio de 4.000 kW año, el relieve predominante es montañoso, para el emplazamiento se debe realizar un inventario de fauna, flora, telecomunicaciones afectadas y el ámbito socioeconómico.

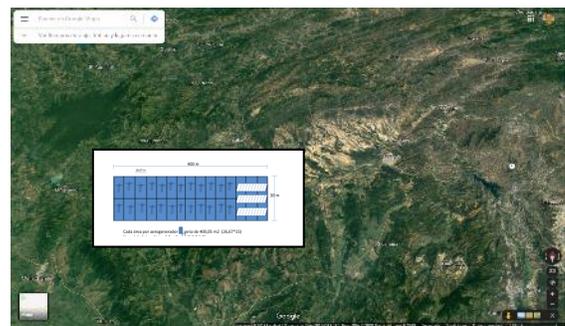


Figura 44: Municipio Torres estado Lara, 2019

Mérida-Mérida: Es un estado fundamentalmente montañoso, el relieve de la Figura 45 nos permite evidenciar este planteamiento, el parque propuesto es híbrido, con una propuesta de generación eléctrica de 137.422.500 kWh año de energía, la velocidad de sus vientos resulta excepcionales con

valores superiores a $11\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, el número de suscriptores beneficiados serían 34.356, con una demanda promedio de 4.000kWh año. El inventario de impactos importantes serian fauna, flora, socioeconómicos y a las telecomunicaciones.

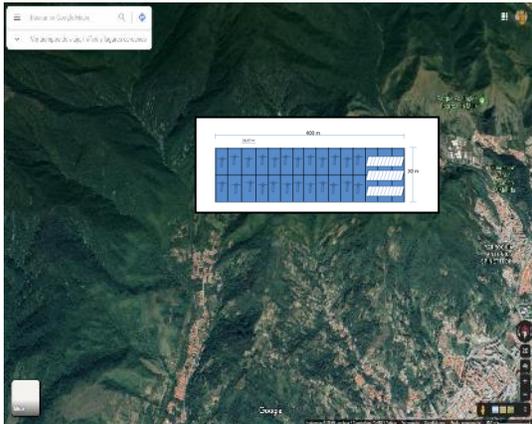


Figura 45: Mérida estado Mérida, 2019

Municipio Sucre-Miranda: La superficie seleccionada se encuentra adyacente al parque nacional El Ávila, la proporción de terreno requerido es 20.000 m^2 , la región es fundamentalmente montañosa, el proyecto híbrido contempla un beneficio para 34.356 suscriptores de consumo promedio 4.000 kWh año, con una generación proyectada de $137.422.500\text{kWh}$ año, en la Figura 46 se muestra el lugar del posible emplazamiento, los impactos en las telecomunicaciones se proyectan significativos, se recomienda igual un inventario de fauna, flora y el estudio socioeconómico respectivo.

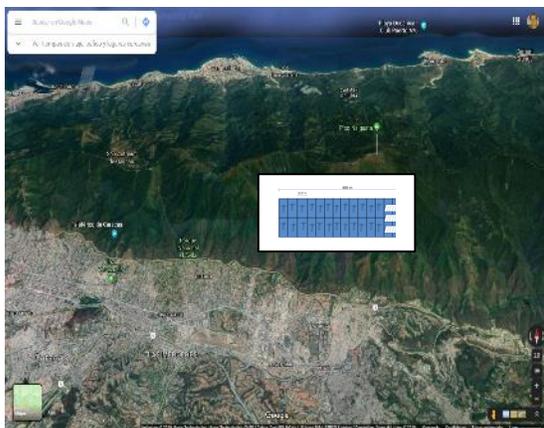


Figura 46: Municipio Sucre del estado Miranda, 2019

Parroquia San Francisco-Monagas: La región seleccionada es fundamentalmente montañosa y el proyecto propuesto es híbrido, el relieve de la imagen se observa esencialmente montañoso por lo que se recomienda un inventario de fauna y flora antes del emplazamiento, la generación proyectada es de $137.422.500\text{ kWh}$ año, para suscriptores de consumo promedio 4.000kWh año, cubriendo 34.356 cuentas de afiliación, ver Figura 47.

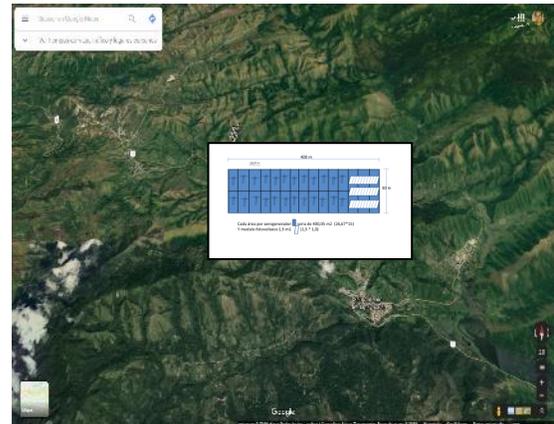


Figura 47: Parroquia San Francisco estado Monagas, 2019

Parroquia Capital Plaza Paraguachi-Nueva Esparta: Es el único estado insular, su potencial eólico y solar es excepcional, el proyecto propuesto es híbrido, la generación anual es $137.422.500\text{ kWh}$ año, para 34.356 suscriptores con un consumo promedio de 4.000 kWh año, el relieve adolece de abundante vegetación y resulta árido, propio de una isla del caribe, en la Figura 48 se presenta la imagen de la parroquia, se recomienda el inventario de fauna y flora previo emplazamiento del proyecto.

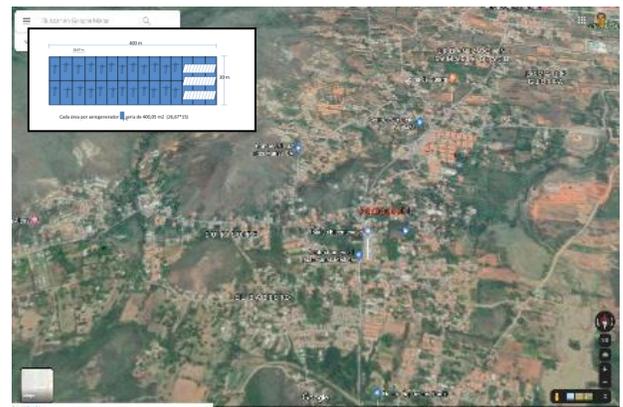


Figura 48: Parroquia capital Plaza Paraguachi estado Nueva Esparta, 2019

El Hijito Municipio Araure–Portuguesa: En la localidad el parque de generación recomendado es solar, con una proyección de 30MWp que permitiría disfrutar del servicio a 15.507 suscriptores con un consumo promedio 4.000 kWh año, en la Figura 49 se evidencia una región montañosa con alto impacto de flora y fauna.

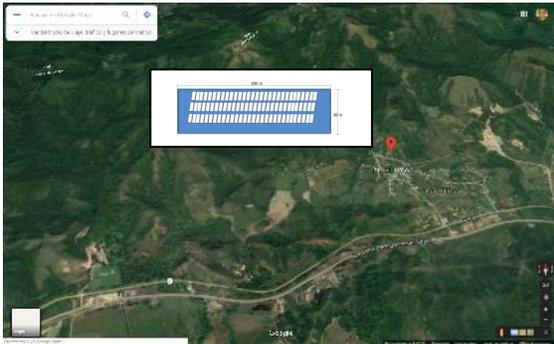


Figura 49: Localidad del Hijito, Municipio Araure estado Portuguesa, 2019

Parroquia San Lorenzo, Municipio Montes-Sucre: Es un estado costero, con gran potencial eólico y solar, su localidad y escasa población que no supera el millón de habitantes, respecto a una gran superficie de 11.800 Km² permite proponer una parque de generación eólico, con 137.422.500 kWh año, beneficiando a 34.356 suscriptores del servicio eléctrico con un consumo promedio de 4.000 kWh año, el relieve es montañoso, pero de poca elevación, ver Figura 50, los impactos principales serían a la fauna y flora, se recomienda un inventario de especies.

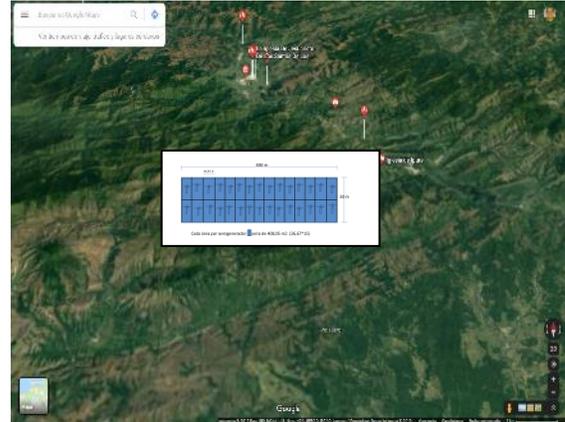


Figura 50: Parroquia San Lorenzo, Municipio Montes-Sucre, 2019

Parroquia la Florida, Municipio Cárdenas-Táchira: Este estado andino posee un relieve naturalmente montañoso y de una elevación superior a 1.000 m sobre el nivel de mar, en la parroquia la Florida (Figura 51) se cuenta con unos vientos óptimos para turbinas clase I, con vientos superiores a 10m.s⁻², el proyecto híbrido proyecta una generación de 137.422.500 kWh año, para un beneficio de 34.356 suscriptores con consumo promedio de 4.000 kWh año, ver figura 51, el inventario de fauna y flora permitiría mitigar el impacto principal proyectado, de igual forma se propone un estudio socioeconómico y un inventario de antenas repetidores para el ámbito de telecomunicaciones.

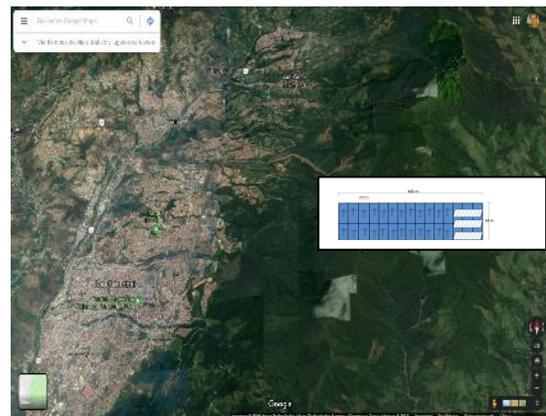


Figura 51: Parroquia la Florida. Municipio Cárdenas estado Táchira, 2019

Municipio Trujillo-Trujillo: Es una región montañosa como se evidencia en la Figura 52, el relieve predominante es montañoso, los vientos identificados superan los 10m.s^{-2} , la radiación es de 1.563 W.m^{-2} , el proyecto sería híbrido con una generación eléctrica anual de $137.422.500\text{kWh}$ año y un beneficio de 34.356 suscriptores del servicio eléctrico, los impactos ambientales observables principalmente serían a la flora y fauna del área de estudio.

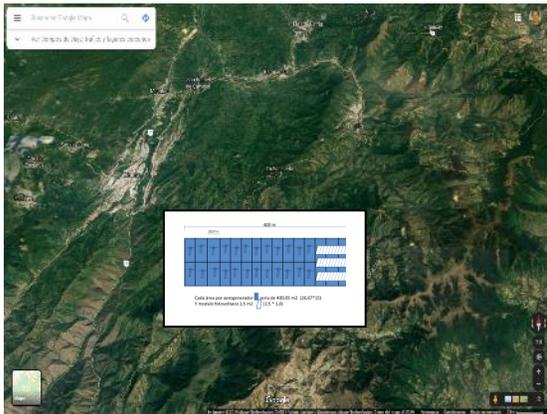


Figura 52: Municipio Trujillo estado Trujillo, 2019

Cocorote-Distrito Bolívar-Yaracuy: En la Figura 53 se observa que el emplazamiento propuesto se encuentra en una montaña, se proyecta un parque de generación híbrido de $137.422.500\text{ kWh}$ año, para 34.356 usuarios suscritos con una generación promedio de 4.000 kWh año, el municipio tiene una superficie de unos 135Km^2 y el área requerida para el emplazamiento es de 20.000 m^2 , el inventario de impactos principales serían fauna, flora y factibilidad socioeconómica.



Figura 53: Municipio Cocorote del estado Yaracuy, 2019

La Guaira-Municipio Vargas-Vargas: El estado es fundamentalmente costero como se evidencia en la Figura 54, la recomendación es la generación a través de un parque eólico, emplazado en la montaña del parque nación El Ávila, con una proyección de potencia de 60MW , para 34.356 suscriptores de demanda promedio 4.000 kWh año. El inventario de impactos debe incluir fauna, flora, socioeconómico y de telecomunicaciones.

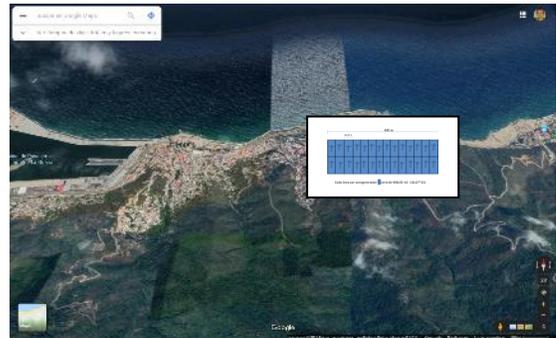


Figura 54: Municipio Vargas estado Vargas, 2019

Municipio Miranda-Zulia: En la Figura 55 se presenta el emplazamiento sugerido para el estado Zulia, el relieve de la imagen nos ofrece un panorama poco montañoso, se propone un parque eólico porque la logística de montaje al estar cercano a la salida del mar caribe resulta pertinente, es este estado existe ya un proyecto de generación eólica en el territorio de la Guajira, este se encontraría diametralmente opuesto geográficamente, de generación eléctrica anual $137.422.500\text{kWh}$ año, para 34.356 suscriptores con un consumo promedio de 4.000 kWh año. Los impactos principales visibles permiten proyectar un inventario de fauna, flora y telecomunicaciones.



Figura 55: Municipio Miranda estado Zulia, 2019

Finalmente para dar un cierre a este segundo objetivo se presenta la Tabla 26, donde se cuantifica el aporte total a la matriz energética venezolana, considerando los 25 desarrollos de parques propuestos.

Tabla XXVI: Totalidad en MW y número de suscriptores abastecidos por los parques de generación

Nombre del estado / localidad	Tipo de Desarrollo	Aporte MW	Suscriptores beneficiados
1 Amazona	Solar	30	15.507
2 Anzoátegui	Hibrido	51	34.356
3 Apure	Solar	30	15.507
4 Aragua	Hibrido	51	34.556
5 Barinas	Solar	30	15.507
6 Bolívar	Hibrido	51	34.356
7 Carabobo	Hibrido	51	34.356
8 Cojedes	Solar	30	15.507
9 Delta Amacuro	Solar	30	15.507
10 Dependencias Federales	Hibrido	51	34.356
11 Distrito Capital	Hibrido	51	34.356
12 Falcón	Eólico	60	41.062
13 Guárico	Hibrido	51	34.356
14 Lara	Hibrido	51	34.356
15 Mérida	Hibrido	51	34.356
16 Miranda	Hibrido	51	34.356
17 Monagas	Hibrido	51	34.356
18 Nueva Esparta	Hibrido	51	34.356

19 Portuguesa	Solar	30	15.507
20 Sucre	Eólico	60	41.062
21 Táchira	Hibrido	51	34.356
22 Trujillo	Hibrido	51	34.356
23 Yaracuy	Hibrido	51	34.356
24 Vargas	Eólico	60	41.062
25 Zulia	Hibrido	51	34.356
	Total de Aporte	1.176	766.124 suscriptores

Fuente: Luis Ramírez, 2019

Análisis de Tabla 26: El aporte total de los proyectos propuestos es de 1.176 MW (3.052.560.000kWh año) que representa para la matriz energética venezolana de 24.000MW según datos oficiales de CORPOELEC para 2016 un incremento del 4,9% de generación limpia, sustentable, libre de emisiones de CO₂, esto permitiría ser menos vulnerables para 766.124 suscriptores conectados por generación hidroeléctrica, que regularmente pasa por crisis de despachos por fenómenos que afectan los ciclos de lluvia como “El Niño”. De forma adicional la presente investigación solo contempla un proyecto por estado, no obstante si existe una política de estado multiplicadora, con seguridad el porcentaje de participación de la matriz se incrementaría considerablemente en 1.176 MW de generación, así como consonancia con acuerdo suscritos por el estado, como COP21 que implica la reducción de la Nación venezolana de 0,18 GTon de CO₂.

CONCLUSIONES

La investigación presentó dos objetivos, el primero definido como **“Identificar las regiones técnicamente adecuadas para el desarrollo de energías eólica y solar en el territorio venezolano”** se desarrolló mediante la plataforma web Global Wind Atlas e IRENA, se identificaron las mejores opciones para los 23 estados, islas de las dependencias federales y el distrito capital, en cada

figura se obtuvo el valor de la coordenada latitud y longitud, radiación solar en $W \cdot m^{-2}$ y velocidad del viento $m \cdot s^{-1}$, se incluyó en cada selección una tabla para identificar valores que cumplieran los requerimientos establecidos por la norma IEC 61400:1-2018 respecto al emplazamiento de turbina eólicas clase I o clase II, superficie en km^2 de cada región y su población según el Censo de 2011, un hallazgo interesante y que responde la hipótesis establecida **¿Cuál es la región más adecuada del territorio venezolano para el desarrollo de energía eólica y solar?** fue descubrir en estados no costeros como Mérida, Táchira y Trujillo potenciales eólicos importantes con vientos superiores a $10 m \cdot s^{-1}$ que podrían llegar a plantear el desarrollo de parques eólicos con turbinas clase I.

El segundo objetivo **“Determinar el potencial de generación de energía eléctrica en las regiones factibles en kWh para el desarrollo de energía eólica y solar en Venezuela”** se desarrolló con el soporte de google earth, identificando el relieve de cada superficie propuesta y su factibilidad para desarrollar un proyecto solar, eólico o híbrido considerando los mejores valores de interacción obtenidos del objetivo 1, la suma de todos los proyectos propuestos equivale a un 5% adicional del despacho de energía instalado actualmente en el país, específicamente 1.176 MW que corresponden a 3.052.860.000kWh año de energía para un total 766.124 suscriptores, el alcance parece limitado, pero antes de cada propuesta se recomienda realizar el estudio del espacio disponible en cada coordenada, porque podrían representar impactos socioeconómicos, visuales, en la telecomunicaciones y en la fauna y flora endémica de cada superficie seleccionada, es decir un inventario con medidas de mitigación, adicional la replicabilidad del proyecto en varias locaciones de cada estado lograría incrementar el porcentaje de participación porcentual

La crisis eléctrica general que atraviesa la nación desde el primer trimestre de 2019 permite desde esta publicación generar una contribución a una posible o parcial solución, haciendo uso de los

recursos endémicos de la atmosfera y disponibles para la todo el territorio venezolano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAO (1990) Cartas Geográficas, disponible: <http://www.fao.org/3/T0390S00.HTM#toc>
- [2] Longatt y González (2010) Aspectos Fundamentales de la Energía Eólica: Venezuela y El Mundo, Táchira-Venezuela, presentado en XI Congreso de Estudiantes de Ingeniería IEEE UNEFA Núcleo Táchira.
- [3] IRENA (2018) Agencia Internacional de Energía Renovable, disponible en <https://www.irena.org/globalatlas>, consultado 08/06/2019
- [4] IRENA IRENA at Latin America and Caribbean Climate Week 2019
19 – 23 August 2019 |Salvador de Bahía, Brazil, disponible: número de ajustes de inventarios, disponible: <https://www.irena.org/events/2019/Aug/Latin-America-and-Caribbean-Climate-Week-2019>
- [5] Global Wind Atlas (2019) Mapas de Viento y Radiación, disponible: <https://globalwindatlas.info/>, consultado 08-06-2019
- [6] Plan Energía 2050 Política Energética de Chile (2015) *Plan Energético Chileno*, disponible: http://www.energia2050.cl/uploads/libros/libro_energia_2050.pdf, consultado 01/06/2016.
- [7] Plan Nacional Colombia: Ideario Energético 2050 (2015) *Plan Energético Nacional*, disponible: <http://www.upme>.
- [8] Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica (2007) *Distribución de la Energía por Sector en Venezuela*, disponible: <http://www.caveinel.org.ve/>
- [9] CNN (2019) Crisis eléctrica en Venezuela, disponible: <https://edition.cnn.com/2019/03/08/americas/venezuela-blackout-power-intl/index.html>, consultado 05-05-2019.
- [10] Instituto Nacional de Estadística (2011) Censo Nacional de Población y Vivienda 2011, disponible: http://www.ine.gob.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=95&Itemid=26#
- [11] Corporación Eléctrica Nacional (2016) *Generación Eléctrica en Venezuela*, disponible: <http://www.corpoelec.gob.ve/generacion%C3%B3n>, consultado 10/10/2016
- [12] Corporación Eléctrica Nacional (2019) *Plan de Racionamiento Eléctrico*, disponible: <http://www.eluniversal.com/venezuela/36875/corpoelec-publico-el-horario-de-rationamiento-electrico>, consultado 09/05/2019
- [13] IRENA (2019) Un ruta hacia 2050, disponible: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>, consultado 12-05-2019.

- [14] IRENA (2019) Energía solar, disponible: <https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#map/688>
- [15] IRENA (2019) Velocidad del viento <https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#map/688>
- [16] IEC 61400: 2019 Sistemas de Generación de energía eólica
- [17] IEC 61730: 2018 Condiciones Seguras de Módulos Fotovoltaicos
- [18] Política Energética (2016) *Definición de Políticas Públicas y desarrollo sustentable*, OLADE, disponible: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0358.pdf>
- [19] Hidroven (2016) Fenómeno El Niño. recuperado desde: <http://prodavinci.com/2016/02/25/actualidad/venezuela-que-esta-pasando-con-el-sistema-electrico-por-que-hay-una-crisis-electrica/>
- [20] Ramírez, L (2020) Factibilidad Geográfica de Generación eólica y solar como complemento de la matriz energética en Venezuela, USB.