



Venezuela. Potencial Energía Solar y Eólica

Académico. Ing. Nelson Hernández

Febrero 2021

INDICE

	Página
<u>Abreviaturas</u>	3
<u>Resumen</u>	4
<u>Introducción</u>	6
<u>Potencialidad EE-ES a nivel mundial</u>	8
<u>Venezuela. Potencialidad EE-ES</u>	11
<u>Modelo Económico EE-ES</u>	15
<u>Venezuela. LCOE EE-ES</u>	18
<u>Conclusiones</u>	20

Abreviaturas

¢/Kwh	Céntimos de dólar por Kwh
CO2	Dióxido de carbono
EE-ES	Energía eólica y energía solar
G	Millardos o Giga
GEI	Gases de efecto invernadero
GW	Gigavatios
GWH	Giga vatios por hora
Kwh	Kilovatios por hora
kwp	Potencia nominal
LCOE	Costo nivelado de la electricidad
lit	Litro
M	Millones o Mega
M\$	Millones de dólares
M2	Metro cuadrados
M3	Metros cúbicos
MW	Megavatios
TIR	Tasa interna de retorno
w	vatios

Resumen

- **Una planta solar de 50 MW (65 M\$ de inversión), en el estado Nueva Esparta, puede, generar 272 GWH al año, que utilizados en una planta desalinizadora produce un volumen de agua potable del orden de los 78 millones de metros cúbicos, con lo cual se puede atender una población de 860 mil personas.**
- **Una planta eólica de igual capacidad (62 M\$ de inversión) puede producir 328 GWH anuales, con lo cual se podría desalinizar agua para una población de 1.03 millones de personas.**

El ecosistema global se ha visto afectado negativamente por una excesiva dependencia de los combustibles fósiles, la energía nuclear y otras formas menos respetuosas con el ambiente. Lo anterior obliga a la búsqueda de fuentes alternativas de energía más limpias, seguras y sustentables.

Dentro de estas energías alternativas, la que más se destacan, hoy, son la solar y la eólica, las cuales han alcanzado precios de generación eléctrica competitivos con los correspondientes a los de generación con combustibles fósiles.

Del desarrollo del presente documento podemos colegir lo siguiente:

- El auge de las EE-ES en la última década, no es al azar, ya que obedece a un aspecto primordial como es la disminución de sus costos como consecuencia de sus avances tecnológicos. Esto ha permitido que muchos países miren su aplicación con el fin de cumplir con los objetivos del COP21, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y proporcionar una energía más económica y sustentable a sus habitantes.
- El mundo está pletórico en energía solar y energía eólica. Todos los países tienen la oportunidad de desarrollar su potencial de las EE-ES. Sin embargo, los países con menor potencialidad son los que más han avanzado en su aprovechamiento, siendo China la abanderada en energía eólica y solar, con 236 y 205 GW instalados, respectivamente.
- La restricción de su aprovechamiento dependerá, principalmente, de las políticas públicas de cada país en materia energética. Así vemos que países con poca disponibilidad, lideran la utilización de estos recursos. Para el logro exitoso de la transición energética es necesario que la población de todos los países, internalicen la importancia que tienen EE-ES en la producción de energía sustentable.

- El territorio venezolano, desde el punto de vista de energías renovables, contiene un potencial que no se está aprovechando. Esto implica la formulación de políticas públicas que conlleven al uso, individual y colectivo, de la EE-ES.
- Los estados con mayor potencial eólico son: Falcón, Táchira y Nueva Esparta. En lo atinente a la solar están: Nueva Esparta, Anzoátegui y Falcón.
- En Venezuela, el LCOE solar varía entre 1.73 – 3.61 ¢/Kwh con un promedio de 2.38 y el eólico entre 1.52 – 5.22 ¢/Kwh con un promedio de 2.87.
- Venezuela tiene un alto potencial para producir, en todo su territorio, hidrogeno verde competitivo, con énfasis en los estados que presentan menor LCOE, y que tengan disponibilidad de agua dulce, lógicamente no se excluye el uso de agua desalinizada. [Cabruta](#) (Guárico) sería un lugar ideal para producir hidrogeno verde.

Introducción

La sociedad global está obligada a realizar esfuerzos, importantes y duraderos en los próximos 30 años, con el objeto de mitigar los efectos del cambio climático. Uno de esos esfuerzos es el tránsito para establecer una matriz energética más amigable al ambiente.

Tal transición se entiende como el cambio estructural, a largo plazo, de los sistemas energéticos, lo cual conlleva a un mayor uso de las energías renovables, especialmente la solar y la eólica. Es de señalar, que lo importante es encontrar el equilibrio en el uso de las energías renovables y no renovables, de tal manera que se produzca el menor daño ambiental y al menor costo.

La [transición energética](#) es un camino hacia la transformación del sector energético global de fósiles a cero carbono para la segunda mitad de este siglo. En el fondo está la necesidad de reducir las emisiones de CO₂. Dicha transición será posible a: la tecnología de la información, la tecnología de inteligencia artificial, los marcos de políticas públicas y los instrumentos de mercado.

Es de entender, que existen investigaciones en otros servicios y/o fuentes energéticas (Energías X)¹ que prometen ser comerciales a partir de los años 40 del presente siglo, pero hoy solo contamos, principalmente, con la energía eólica y la energía solar (EE-ES) para iniciar la transición energética, la cual tiene implícito el de construir un mundo electrificado, donde el carro eléctrico juega un papel preponderante. Es decir, todo o casi todo funcionando con [electricidad](#), y son la solar y la eólica las encargadas de ayudar a lograrlo.

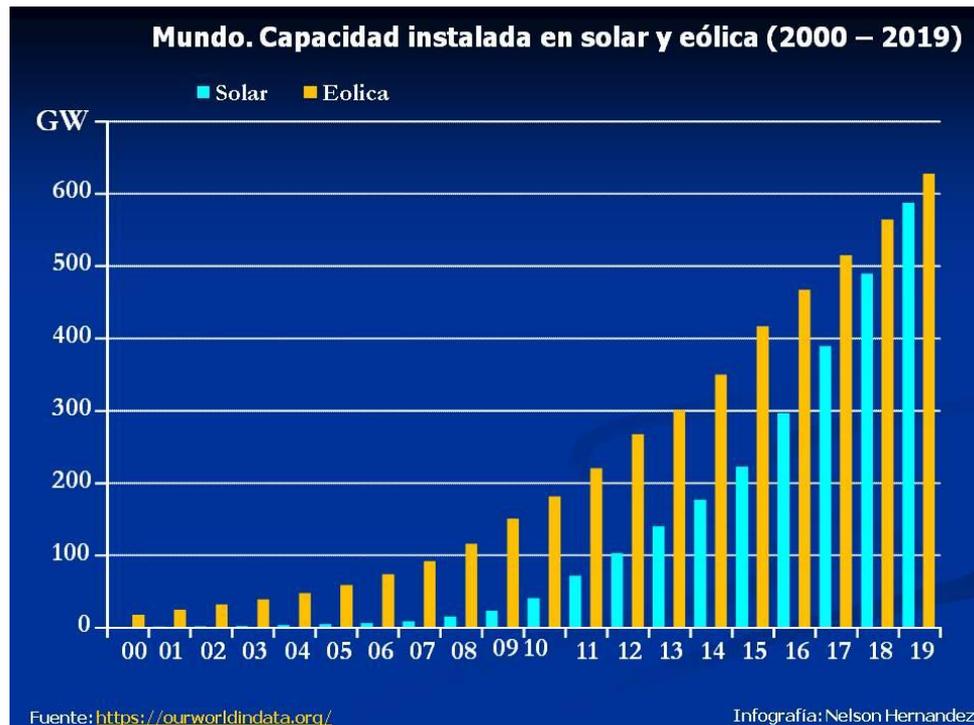
Después de años de tener una economía no favorable, la EE-ES se han convertido en una fuente de electricidad poderosa y rentable. Los [costos](#) tanto de la energía solar como de la eólica se han reducido drásticamente en los últimos 10 años. Inclusive, se han vuelto más baratas que los recursos energéticos tradicionales con alto contenido de carbono para producir electricidad. A medida que los costos de la EE-ES sigan cayendo, el sector de las energías renovables seguirá creciendo y solidificándose como una fuerte oportunidad de inversión.

El incremento del desarrollo de EE-ES también aportará otros beneficios. Crean empleo, reducen la contaminación atmosférica a nivel local, consumen menos recursos hídricos, y aumentan la seguridad energética. También es una de las maneras más rápidas de incrementar el acceso a la electricidad, sobre todo en poblaciones aisladas de los sistemas centrales de transmisión eléctrica (... es lo denominado generación distribuida o local).

¹ [Una Visión Energética Con Enfoque Eléctrico](#)

Por otra parte, el carácter altamente modular de EE-ES, implica que, por primera vez en la historia del sector de la electricidad, las personas y las comunidades están desempeñando una función activa en su propio abastecimiento de electricidad. Como tal, las tecnologías de las energías renovables están encabezando un cambio hacia un sistema energético más democrático y distribuido.

A nivel mundial, para el 2019 existía una capacidad instalada de generación de electricidad de 586 GW en solar y 627 GW en eólico, tal como lo ilustra la figura a continuación.



Tomando como referencia el año 2000, el crecimiento interanual ha sido de 40.5 % para la solar y 19.6 % para la eólica. Es de señalar que tal crecimiento (...de tendencia exponencial) obedece a dos razones principales: a su bajo impacto ambiental y a la reducción de costos (LCOE) ocurridos en los últimos 10 años. Este LCOE en la solar paso de 37.8 ¢/Kwh (2010) a 6.8 ¢/Kwh (2019) y en la eólica en tierra de 1.61¢/Kwh (2010) a 1.15 ¢/Kwh (2019). Estos valores para el 2019, indican que EE-ES, compiten fuertemente con la generación eléctrica con base a combustibles fósiles.

Es de resaltar, que dentro de las Energías X se encuentra el Hidrogeno, vector energético que ha cobrado relevancia en los últimos años, ya que su producción vía electrolisis con electricidad generada con base solar y/o eólica (Hidrogeno Verde) puede competir abiertamente con los combustibles líquidos derivados de las energías fósiles.

De lo anterior podemos inferir que la EE-ES sustituirán en gran parte a la generación termoeléctrica, para alcanzar un mundo electrificado y con menor emisión de Gases de Efecto Invernaderos (GEI), especialmente el CO₂.

Potencialidad Energética en Eólica y Solar a Nivel Mundial

Para que un bien sea utilizado en forma continua y en un periodo determinado tiene que tener potencialidad, que se entiende como la capacidad de producir un efecto o ejecutar algo en un tiempo dado. Si esa potencialidad es recurrente en el tiempo (no se agota), se dice que la misma es renovable, y eso es lo que caracteriza a la EE-ES.

Una cuantificación de la potencialidad eólica y solar, no es fácil determinar. Sin embargo, hoy en día existen organismos internacionales dedicados a tal fin, y cuyo objetivo principal es proveer el mejor valor de la EE-ES, en un punto o área geográfica del globo terráqueo.

Uno de estos organismo es el [Banco Mundial](#) quien ha desarrollado un sistema geoespacial que se actualiza constantemente para lograr una mayor exactitud de la potencialidad EE-ES. La data dinámica resultante, y que se refleja en el [Atlas Mundial Eólico](#) (AME) y en [Atlas Mundial Solar](#) (AMS), es producto de la metodología, de los avances tecnológicos y de los parámetros utilizados en la aplicación.

El AME presenta, entre otros, los siguientes datos:

- La Densidad de Potencia, expresado en w/M^2 , asociada al 10 % de las áreas con mayores vientos y a una altura que puede ser seleccionada. Es de señalar que área expresada en la densidad de potencia, se refiere al área del rotor de la turbina eólica.
- La Velocidad del Viento, expresada en m/s.
- Rosas de los Vientos. Contentivo de 3 gráficos: frecuencia de los vientos; velocidad de los vientos y la energía eólica.
- Velocidad Media del Viento, mediante un grafico en función de la distribución de las áreas de mayor viento.

El AMS presenta, entre otros, los siguientes datos:

- Salida Especifica de Potencia Voltaica (PVOUT), expresada en $Kwh/M^2/año$ (también se puede obtener por día en la misma plataforma). Es el rendimiento específico (o simplemente "rendimiento"). Se refiere a la cantidad de energía (kWh) que se produce por cada kWp de capacidad del módulo en el transcurso de un año típico o real. Si bien los valores típicos pueden oscilar entre 1000 kWh / kWp y más de 2000 kWh / kWp, el valor real depende de muchos factores. (Ver: [Más...](#)). El área expresada en este índice se refiere al área del panel solar.
- Irradiación Directa Normal (DNI), expresada en $Kwh/M^2/año$. Es la cantidad de radiación solar recibida por unidad de área por una superficie que siempre se mantiene perpendicular (o normal) a los rayos que vienen en línea recta desde la dirección del sol en su posición actual en el cielo. Normalmente, puede

maximizar la cantidad de irradiación que recibe anualmente una superficie manteniéndola normal a la radiación entrante. Esta cantidad es de especial interés para las instalaciones termosolares de concentración e instalaciones que rastrean la posición del sol.

- Irradiación Horizontal Global (GHI), expresada en Kwh/M2/año. Es la cantidad total de radiación de onda corta recibida desde arriba por una superficie horizontal al suelo. Este valor es de particular interés para las instalaciones fotovoltaicas e incluye tanto la DNI como la DIF.
- Irradiación Horizontal Difusa (DIF), expresada en Kwh/M2/año. Es la cantidad de radiación recibida por unidad de área por una superficie que no llega en un camino directo desde el sol, sino que ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera. Básicamente, es la iluminación que proviene de las nubes y el cielo azul.
- Irradiación global con el ángulo óptimo de inclinación (GTI), expresada en Kwh/M2/año. Es la cantidad total de irradiación en el ángulo óptimo de inclinación del panel solar.
- Inclinación óptima de los paneles solares, expresado en grados con respecto al horizonte
- Temperatura del aire, expresada en grados centígrados
- Elevación del terreno, expresado en metros
- Tipo de proyecto, permite obtener información sobre si el proyecto es para una casa, comercio mediano, granja solar en tierra o granja solar en agua.

Países con mayor potencialidad y capacidad instalada en SOLAR y EOLICA

		SOLAR			EOLICA			
		Potenc. w/m2/día		Capacit. GW		Potenc. w/m2		Capacit. GW
1	Chad	6.30	China (174)	205	Chile	3358	China (62)	236
2	Namibia	6.30	USA (179)	76	Sta. Helena	2708	USA (18)	105
3	Oman	6.22	Japón (204)	63	Islas Feroe	2535	Alemania (76)	61
4	Niger	6.20	Alemania (221)	49	N. Zelandia	2407	India (176)	38
5	Rep. de Yemen	6.17	India (146)	43	Groelandia	2238	España (52)	26
6	Arabia Saudita	6.16	Italia (191)	21	Islandia	2132	Inglaterra (12)	24
7	Egipto	6.12	Australia (112)	16	Argentina	1717	Francia (49)	17
8	Sudan	6.10	Inglaterra (234)	13	Svalbard	1469	Brasil (173)	15
9	Somalia	6.06	Corea del Sur (192)	11	Noruega	1408	Canadá (28)	13
10	Aruba	6.05	Francia (203)	10	Andorra	1359	Italia (56)	11
11	Libia	6.03	Otros	120	San Pierre	1268	Otros	105
12	Mauritania	6.02	Mundo	627	Inglaterra	1254	Mundo	651
13	Mali	6.00			Croacia	1169		
14	Kiribati	5.99			Austria	1160		
15	Djibouti	5.97			Isla de Man	1144		
16	Botswana	5.97			Irlanda	1134		
17	Jordania	5.95			Suiza	1123		
18	E. Arabes	5.95			USA	991		
19	Curazao	5.93			Costa Rica	966		
20	Bonaire	5.92			Chad	958		

Fuente: Potencialidad, Atlas Mundial de Eolica y Solar
Fuente: Wikipedia, Capacidad [2019]

[XX]: Posicion a nivel mundial

Infografía: N. Hernandez

La grafica anterior, muestra los 20 primeros países con potencialidad en EE-ES. Igualmente muestra los 10 primeros países con capacidad instalada de generación eléctrica en EE-ES.

En solar, Chad y Namibia lideran la jerarquización mundial con una potencialidad de 6.30 w/M2/día. Exceptuando a Aruba, podemos decir, que los “top 10” son ocupados por países africanos. Por otra parte, en cuanto al aprovechamiento de esta fuente energética es China quien lidera esta jerarquización con 205 GW para el 2019, seguida por Estados Unidos (76) y Japón (63). Estos 10 países representan el 81 % del total mundial que se situó en el 2019 en 627 GW. Es de resaltar que los países top 10 en capacidad, no ocupan puestos resaltantes en potencialidad, y cuya posición se indica entre paréntesis. Es decir, China ocupa el puesto 174 en cuanto a potencialidad solar.

En lo atinente a la energía eólica, Chile lidera el listado de potencialidad con 3358 w/M2, seguida por Isla Santa Helena e Islas Feroe. Desde el punto de vista geográfico la energía eólica esta mas distribuida. En cuanto a la capacidad instalada para aprovechar esta fuente energética, China lidera con 236 GW, seguida de Estados Unidos y Alemania con 105 y 61 GW, respectivamente. Exceptuando a Inglaterra, el resto de los top 10 en capacidad, no aparecen en el listado de los 20 primeros en potencialidad. Los 10 primero países en capacidad eólica totalizan el 84 % del total mundial que se situó en el 2019 en 651 GW.

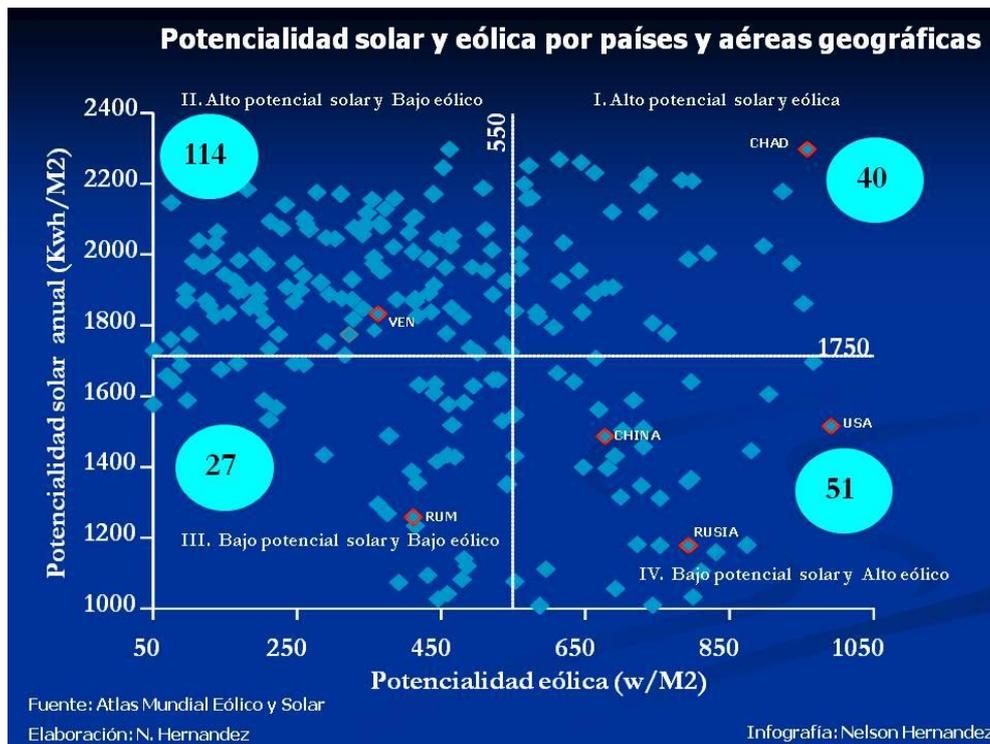
El listado de países con su potencialidad EE-ES, puede ser accedido en:

<https://app.box.com/s/x8t8qzktbqicf91xxhbplrc4fc82tvk>

Como corolario podemos decir que la disponibilidad de EE-ES es universal. La restricción de su aprovechamiento dependerá, principalmente, de las políticas públicas de cada país en materia energética. Así vemos que países con poca disponibilidad, lideran la utilización de estos recursos. Para el logro exitoso de la transición energética es necesario que la población de todos los países, internalicen la importancia que tienen EE-ES en la producción de energía sustentable.

Venezuela. Potencialidad en EE-ES

Producto de su posición geográfica, Venezuela se encuentra en el 2do. cuadrante tal como lo indica la grafica a continuación, donde se ubican 114 países. Con valores promedios de potencialidad anual de 1832 Kwh/M2 para la solar y 362 w/M2 para la eólica. Es decir, se encuentra dentro de los países con alto potencial solar y bajo potencial eólico.



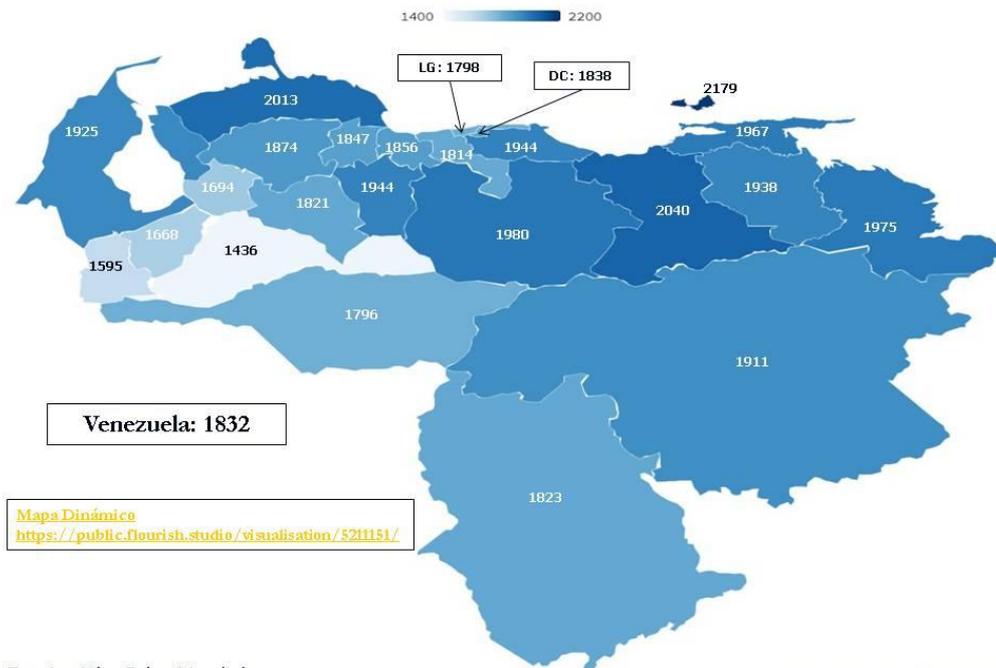
De la misma grafica, observamos que China y Estados Unidos que se ubican en el IV cuadrante, son los países que lideran la capacidad instalada, tanto eólica como solar, para aprovechar estas fuentes de energía. En lo atinente a Rusia, esta inicia sus pasos para aprovechar, principalmente, su potencialidad eólica.

Utilizando el Atlas Mundial Solar y el Atlas Mundial Eólico, se pueden obtener valores regionales (por Estados), y cuyos resultados se muestran a continuación.

El mapa de incidencia solar anual, muestra que los primeros 5 estados con mayor incidencia (Kwh/M2/anual) son, y en este orden: Nueva Esparta (2179), Anzoátegui (2040), Falcón (2013), Guárico (1980) y Delta Amacuro (1975). El estado con menor incidencia solar es Barinas (1436).

En lo atinente a la energía eólica, los primeros 5 estados con mayor potencialidad eólica en w/M2, y en este orden, son: Falcón (840), Táchira (767), Nueva Esparta (705), Aragua (699) y Trujillo (586). El de menor potencialidad es el Amazonas (92).

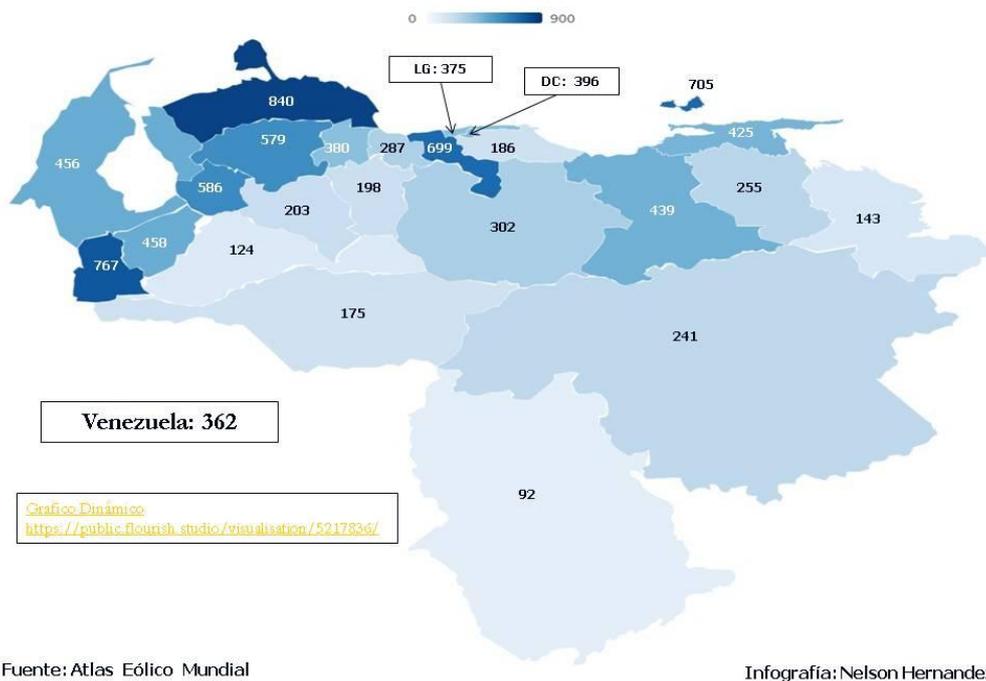
Venezuela. Incidencia Solar Anual (Kwh/M2)



Fuente: Atlas Solar Mundial

Infografía: Nelson Hernandez

Venezuela. Potencialidad Eólica (w/M2)



Fuente: Atlas Eólico Mundial

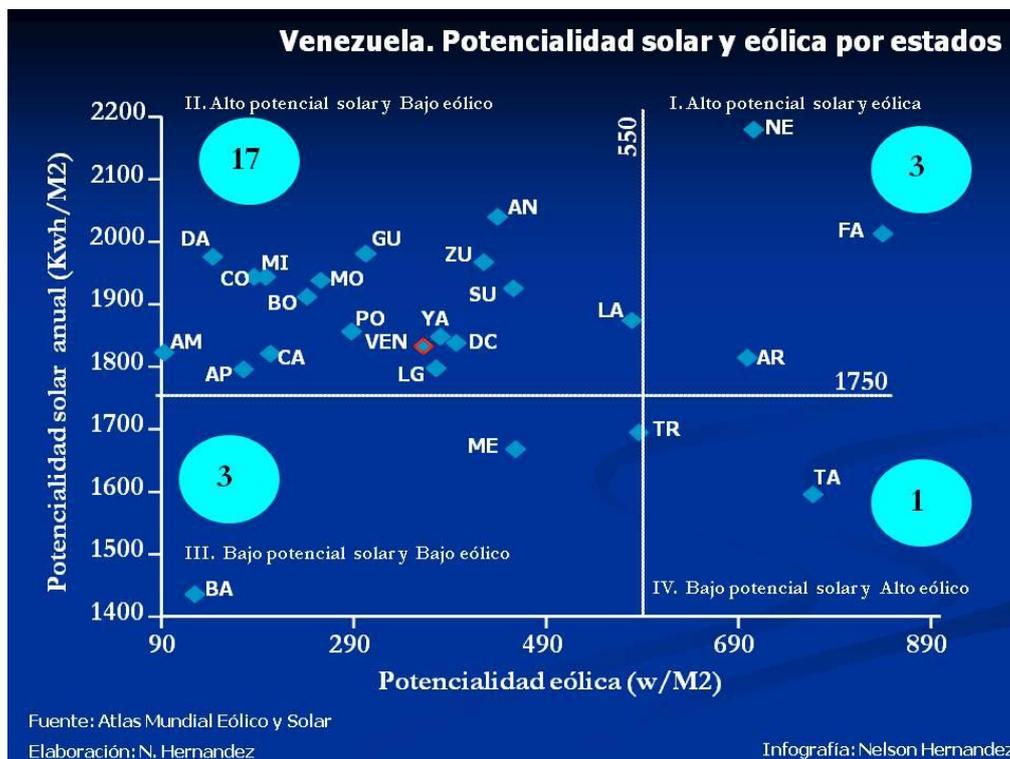
Infografía: Nelson Hernandez

Estos mapas pueden verse en forma dinámica en:

Solar: <https://public.flourish.studio/visualisation/5211151/>

Eólico: <https://public.flourish.studio/visualisation/5217836/>

Utilizando el mismo concepto de distribución en forma de cuadrantes, la clasificación de los estados venezolanos se muestra en la grafica a continuación.



Esta clasificación es una guía para el desarrollo de proyectos EE-ES. Destacan los estados Aragua, Falcón y Nueva Esparta por presentar alto potencial eólico y solar. En el cuadrante II, se ubican la mayoría (17) de los estados.

Como ejercicio hipotético, tomando la generación eléctrica máxima histórica del año 2013 que se situó en 130 Gwh y la potencialidad solar promedio anual de Venezuela (1832 Kwh/M2) solo se necesitarían 1700 Km2 para obtener dicha generación, equivalente al 0.185 % de la superficie del territorio venezolano.

Como corolario podemos indicar que el territorio venezolano, desde el punto de vista de energías renovables, contiene un potencial que no se está aprovechando. Esto implica la formulación de políticas públicas que conlleven al uso, individual y colectivo, de la EE-ES.

En este sentido, en el documento “[Marco Conceptual para una Política Pública Energética Integral en Venezuela](#)”, se establece en el punto k (página 14), lo siguiente: “Sincerar la capacidad real de generación termoelectrica que se requerirá para satisfacer el crecimiento de la demanda del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), identificando las necesidades de energía firme y de respaldo. **En cuanto a la consideración de nuevos proyectos debe prevalecer la evaluación técnico-económica de aquellos que utilicen fuentes energéticas renovables, tales como la hidráulica, solar y eólica**”.

Por otra parte, en el mismo documento (página 23), se indica lo siguiente:

“Electricidad Renovable (Solar, Eólica)

Dentro de la planificación energética se debe dar cabida a proyectos de generación eléctrica, bien sea solar, eólica o la combinación de ambas.

- a. El desarrollo de la electricidad renovable será realizado por el sector privado
- b. Establecer la figura de autogeneración eléctrica por el usuario final.”

La aplicación de estos lineamientos abre el debate para la instauración de normativas claras para las EE-ES en Venezuela.

Modelo Económico de EE-ES

La economía de las tecnologías de las energías renovables es esencial para entender su papel potencial en el sector energético, y la rapidez y el costo con los que se puede orientar dicho sector hacia la senda de un desarrollo verdaderamente sostenible.

Existen aun muchas “leyendas urbanas” sobre los costos de las EE-ES, y todo se debe a que no le han hecho un seguimiento y divulgación de las tendencias de la evolución que han experimentado, las cuales han alcanzado un nivel de competitividad con las tecnologías convencionales de generación eléctrica con energías fósiles.

Es de aclarar que la energía solar de concentración y las instalaciones eólicas costeras siguen siendo todavía, a día de hoy, opciones más caras que la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, con la excepción de las instalaciones eólicas costeras situadas en planicies de marea. Sin embargo, estas tecnologías se encuentran en una fase inicial de desarrollo. Ambas representan importantes fuentes de energía renovable que tendrán un peso cada vez mayor en la futura matriz energética, ya que sus costos seguirán disminuyendo.

Un modelo económico puede ser tan sofisticado como se quiera. En esta oportunidad el modelo a utilizar es sencillo, y su objetivo es obtener, direccionalmente, el precio del Kwh generado en una granja solar foto voltaica o en una granja eólica en tierra.

Las graficas a continuación muestran los parámetros a facilitar al modelo para determinar el precio, utilizando la metodología de Flujo de Caja Descontado.

Planta Solar. Valores iniciales evaluación económica			
Planta electrica Solar PV (Valores 2021)			
Elaborado por: Nelson Hernandez		Blog: Gerencia y Energia	
		Fuente: obalsolaratlas Solar https://globalwindat.com Eolica	
Potencia Granja Solar, MW	50		
Inversion, \$/Kw	1300	Inversion Equipos, M\$	65
Factor de operación planta, fraccion	0.6	Costo de la Tierra, M\$	2.4
Potencia por panel, Kw	0.4	Inversion Total planta, M\$	67
Eficiencia del panel, fraccion	0.6	Electricidad anual generada, KWh	229000000
Area del panel, M2	1	Depreciacion, M\$	4.3
Indice de area, h/MW	6	Total Costo, M\$	5.1
Costo de la tierra, \$/M2	0.8	Incidencia solar diaria (GHI), Kwh/M2	5.02
Incidencia solar anual (GHI), Kwh/M2	1832	Electricidad anual por panel, Kwh	1832.0
Horizonte Economico (años)	15	Electricidad diaria por panel, Kwh	5.0
Costo labor, (\$/h)	65	Numero de paneles,	208333
Relacion persona por MW	0.1	Area total planta, h	300
Costo O&M, fraccion	0.03	Area neta planta, h	125
Costos seguros y otros, Fraccion	0.02	Area total planta, KM2	3
Emission CO2 gas natural, kg/Kwh	0.185	Costo O&M, (\$)	2.02
Precio CO2, \$/T	60	Costo de labor, \$	1.7
ISLR	0	Costos de seguros,\$	1.35
T.DESC	0	No emision CO2, T	42365.0
		Beneficio x CO2, M\$	2.54
		Personal en planta	5
DATOS			
CALCULOS			

Planta Eólica. Valores iniciales evaluación económica			
Planta electrica EOLICA (Valores 2021)			
Elaborado por: Nelson Hernandez		Blog: Gerencia y Energia	Fuente: obalsolaratlas Solar https://globalwindat.com/ Eolica
Potencia Granja Eolica, MW	50	Inversion Equipos, M\$	61.7
Factor de operación planta, fraccion	0.75	Costo de la Tierra, M\$	0.5
Potencia neta absorbida, fraccion	0.5	Inversion Total planta, M\$	62.2
Radio del rotor, m	40	Costo Inversion, \$/Kw	1234
Costo de la tierra, \$/M2	0.8	Electricidad anual generada, KWh	328500000
Altura correspondiente a la data, m	100	Depreciacion, M\$	4.1
Densidad de potencia en el sitio a 100 m, W/M2	705	Total Costo, M\$	5.2
Velocidad del viento, m/s	8.45	Numero de aerogeneradores,	28
Horizonte Economico (años)	15	Area por aerogenerador, h	2.4
Costo labor, (\$/h)	65	Potencia bruta x aerogenerador, Kw	3542
Relacion persona por MW	0.1	Potencia neta x aerogenerador, Kw	1771
Costo O&M, fraccion	0.03	Energia anual x aerogenerador, Kwh	11635207
Costos seguros y otros, Fraccion	0.02	Area total planta, h	67.8
Emission CO2 gas natural, kg/kwh	0.185	Area neta planta, KM2	0.68
Precio CO2, \$/T	60	Costo O&M, (M\$)	1.87
	ISLR	Costo de labor, M\$	2.1
	T.DESC	Costos de seguros M\$	1.24
DATOS		No emision CO2, T	60772.5
CALCULOS		Beneficio x CO2, M\$	3.6
PRECIO	0.010475 \$/KWh	Personal en planta	5
	%		

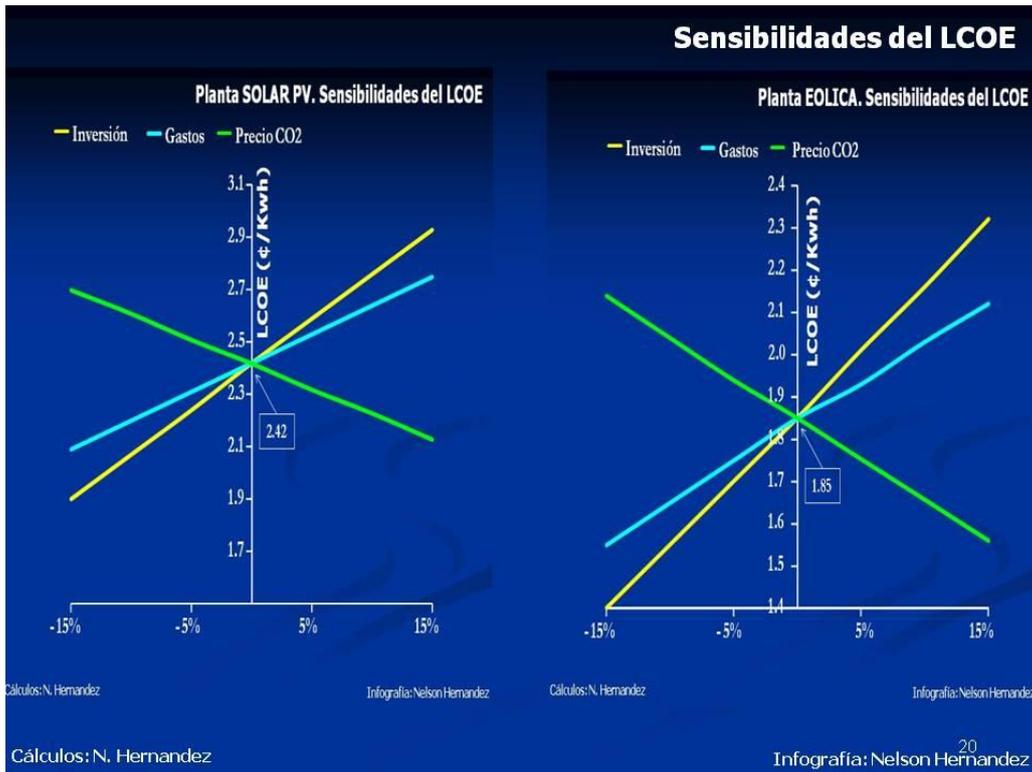
Las premisas del modelo son:

- Los datos pueden ser cambiados para adaptarlo al proyecto específico bajo análisis. Los que aparecen en la grafica son los mejores valores disponibles a la fecha
- El método de cálculo del precio es el de Flujo de Caja Descontado
- El precio viene dado en \$USA/Kwh. Este precio es uniforme en el horizonte económico de evaluación. Su ajuste vendría dado por la inflación.
- Se incluye el costo del terreno para efecto de determinar la inversión total. Este costo es revertido al final del horizonte económico.
- Se incluye como beneficio del proyecto el volumen de CO2 no emitido a la atmosfera al no utilizar combustibles fósiles para producir electricidad. Para no considerar este beneficio, ponga un precio del CO2, igual a cero. Para la emisión de CO2 se utilizo el parámetro del gas natural por ser este el fósil que compite abiertamente con las EE-ES.
- Para armonizar los resultados, se emplea el método de **LCOE**, el cual considera el impuesto y el TIR igual a cero.

La grafica a continuación muestra sensibilidades del LCOE para las variables inversión, gastos y precio de la tonelada de CO2.

En la solar un aumento del 15 %, implica un aumento del LCOE del 21%, 14.4 % y una disminución del 12 %, para la inversión, gastos y precio del CO2, respectivamente.

Para la eólica, estos porcentajes son: 25.4 %, 14.6 % y 15.1 %, respectivamente.



El modelo puede ser accedido en los siguientes link:

Eólica: <https://app.box.com/s/q3oijq8hsfx5tpclzh1cb92oasceirut>

Solar: <https://app.box.com/s/fhq9lkkxcevftxgd5f09hjkclg8oho19>

Venezuela. LCOE en EE-ES

Venezuela se ha caracterizado, desde hace más de un siglo, por una [matriz energética](#) compuesta por los combustibles líquidos derivados del petróleo, el gas natural y la hidroelectricidad. Los intentos por utilizar las EE-ES han sido fallidos, tal como ha sucedido con los parques eólicos de Paraguaná y la Guajira y el parque solar en la Isla de Coche, estado Nueva Esparta. Todo esto en contraposición con la potencialidad que tiene Venezuela en EE-ES y su competitividad con respecto al LCOE.

La grafica a continuación muestra los resultados por estados del LCOE utilizando el modelo económico descrito anteriormente. La planta del proyecto tiene una capacidad de 50 MW, cuya construcción se puede llevar a cabo en [52 semanas](#)

En lo concerniente a la solar, el menor LCOE lo tiene el estado Nueva Esparta con 1.73 ¢/Kwh, seguido por Anzoátegui (1.98) y Falcón (2.03). Lo contrario, el estado con mayor LCOE es Barinas con 3.61 ¢/Kwh.

Con respecto a la eólica, el menor LCOE lo tiene el estado Falcón con 1.52 ¢/Kwh, seguido por Táchira (1.61) y Nueva Esparta (1.7). Lo contrario, el estado con mayor LCOE es Amazona con 5.22 ¢/Kwh.

En general podemos indicar que Venezuela tiene características intrínsecas favorables para desarrollar proyectos EE-ES rentables en todo el territorio nacional. Esta ventaja de electricidad a bajo costo da cabida a proyectos de desalinización de agua y proyectos de producción de [hidrogeno verde](#).

En el caso de la desalinización del agua, se requiere en promedio 3.5 Kwh por metro cubico de agua desalinizada (0.0035 Kwh/litro). Este rubro es importante ya que el 44 % del costo de producir esta agua está asociado al costo de la electricidad. Las economías para las plantas de desalinización del agua indican que el precio del agua está en el orden de 0.7 y 1.25 \$/M3 (0.0007 \$/lit – 0.00125 \$/lit).

Por ejemplo una planta solar de 50 MW instalada en el estado Nueva Esparta puede producir 272 millones de Kwh al año a un LCOE de 1.73 ¢/Kwh. La producción de agua seria de 78 millones de M3 al año para un precio del agua de 0.04 \$/M3 (0.00004 \$/lit). Tomando como consumo diario de 0.25 M3 por persona, la cantidad de agua de 78 MM3 da para satisfacer a 860 mil personas. Otra opción sería en la producción de hidrogeno verde a través de una planta desalinizadora y una planta de electrolisis para producir el hidrogeno.

Otro proyecto a explorar seria la producción de hidrogeno verde en las márgenes norte y sur del Rio Orinoco (donde no habría que desalinizar el agua) comprendidas en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Bolívar. Un sitio a analizar para instalar la planta eléctrica solar o eólica o ambas de 50 MW, seria la población de Cabruta en el estado Guárico. Este lugar tiene una potencialidad solar de 2131 Kwh/M2/año y una eólica de 238 w/M2, lo que

arroja un LCOE de 1.81 ¢/Kwh y 2.51 ¢/Kwh, respectivamente. Es de resaltar que con valores de LCOE menores a 3.0 ¢/Kwh, la producción de hidrogeno verde comienza a ser competitivo.

Venezuela. LCOE Solar y Eólica				
Estado	Solar		Eolica	
	Incidencia	LCOE ¢/Kwh	Potencia	LCOE
	Anual Kwh/M2 (*)		w/M2 (*)	¢/Kwh
Amazonas	1823	2.44	92	5.22
Anzoátegui	2040	1.98	439	2.25
Apure	1796	2.50	175	3.73
Aragua	1814	2.46	699	1.71
Barinas	1436	3.61	124	4.47
Bolívar	1911	2.24	241	3.14
Carabobo	1856	2.36	287	2.85
Cojedes	1944	2.17	198	3.49
Delta Amacuro	1975	2.10	143	4.15
Distrito Capital	1838	2.40	396	2.38
Falcón	2013	2.03	840	1.52
Guárico	1980	2.09	302	2.77
La Guaira	1798	2.50	375	2.46
Lara	1874	2.32	579	1.91
Mérida	1668	2.84	458	2.19
Miranda	1944	2.17	186	3.61
Monagas	1938	2.18	255	3.04
Nueva Esparta	2179	1.73	705	1.70
Portuguesa	1821	2.44	203	3.45
Sucre	1967	2.12	425	2.29
Táchira	1595	3.06	767	1.61
Trujillo	1694	2.77	586	1.90
Yaracuy	1847	2.38	380	2.44
Zulia	1925	2.21	456	2.20
Venezuela	1832	2.42	362	2.51

(*) Tomado del Atlas Mundial Eólico /Solar

Cálculos: N. Hernandez Infografía: N. Hernandez

Venezuela. Solar Jerarquizado por LCOE

Venezuela. Eólica Jerarquizado por LCOE

Finalmente, podemos inferir que Venezuela, en todo su territorio, tiene un alto potencial para producir hidrogeno verde competitivo, con énfasis en los estados que presentan menor LCOE, y que tengan disponibilidad de agua dulce, lógicamente no se excluye el uso de agua desalinizada.

Conclusiones

La EE-ES, es una fuente sustancial y renovable de energía para los países que buscan alternativas a los combustibles fósiles para su combinación energética y para implementar soluciones de acceso a la energía ambientalmente sostenibles. De lo tratado en el presente documento podemos resaltar lo siguiente:

- El auge de las EE-ES en la última década, no es al azar, ya que obedece a un aspecto primordial como es la disminución de sus costos como consecuencia de sus avances tecnológicos. Esto ha permitido que muchos países miren su aplicación con el fin de cumplir con los objetivos del COP21, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y proporcionar una energía más económica y sustentable a sus habitantes.
- La existencia, en línea, del Atlas Solar y Eólico Mundial, ha permitido facilitar los cálculos iniciales para el desarrollo de proyectos EE-ES. Los Atlas indican que el mundo está plétórico en energía solar y energía eólica.
- Todos los países tienen la oportunidad de desarrollar su potencial de las EE-ES. Sin embargo, los países con menor potencialidad son los que más han avanzado en su aprovechamiento
- La restricción de su aprovechamiento dependerá, principalmente, de las políticas públicas de cada país en materia energética. Así vemos que países con poca disponibilidad, lideran la utilización de estos recursos. Para el logro exitoso de la transición energética es necesario que la población de todos los países, internalicen la importancia que tienen EE-ES en la producción de energía sustentable.
- El territorio venezolano, desde el punto de vista de energías renovables, contiene un potencial que no se está aprovechando. Esto implica la formulación de políticas públicas que conlleven al uso, individual y colectivo, de la EE-ES.
- Venezuela tiene un alto potencial para producir hidrogeno verde competitivo en todo su territorio, con énfasis en los estados que presentan menor LCOE, y que tengan disponibilidad de agua dulce, lógicamente no se excluye el uso de agua desalinizada.

Finalmente, no hay barreras técnicas para aumentar la integración de los recursos renovables variables, como las fuentes de energía eólica y solar. Las fuentes variables de energía renovable plantean diferentes cuestiones en relación con el sistema de suministro eléctrico, si bien el principio es el mismo: se necesitará una combinación de tecnologías instaladas en una amplia gama de ubicaciones para satisfacer una demanda que varía a diario. La energía hidroeléctrica, el hidrogeno verde, la producción de energía a partir de biomasa, la energía geotérmica y la energía solar de concentración con almacenamiento de energía térmica son tecnologías con carga de base o disponible, y no plantean problemas especiales para el funcionamiento de la red eléctrica.

Como corolario final podemos indicar que:

Las energías renovables llegaron para quedarse. No hay vuelta atrás. El proceso de la transición energética es irreversible, y Venezuela debe incorporarse cuanto antes a esa transición.