

# ENERGÍA EÓLICA EVALUACIÓN METEOROLÓGICA DE SU APROVECHAMIENTO EN VENEZUELA<sup>1</sup>

**Meteorological assessment of use wind energy in Venezuela**

*Rigoberto Andressen L. y Carlos La Rosa*

## **RESUMEN**

Venezuela confronta en la actualidad una grave crisis energética, causada por déficit de generación, saturación de las líneas de transmisión y distribución, y descuido general de la infraestructura eléctrica, incluyendo desprofesionalización de las empresas eléctricas del estado. Entre las opciones planteadas para complementar la creciente demanda de energía eléctrica, está la explotación de fuentes de energías renovables, entre ellas, la eólica. En este trabajo, en primer lugar, se hace una sucinta revisión de las distintas fuentes de energía empleadas en el mundo, destacando sus ventajas y desventajas, desde el punto de vista ambiental. Luego, a partir de los datos de vientos obtenidos en 30 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio nacional, se hace una evaluación preliminar de la potencia eólica estimada. Se concluye que los lugares con alta potencialidad para generación de energía eólica, se encuentran en la Isla de Margarita, la Guajira y en localidades insulares. Mediana potencialidad encontramos en la península de Paraguaná y algunos lugares del interior en los que se presentan sistemas de vientos regionales. El resto del país, no presenta buenas perspectivas para generación de energía eólica. La obtención de energía por medios eólicos, debe basarse en consistentes estudios meteorológicos, económicos, ambientales y de ingeniería.

**PALABRAS CLAVE:** Energía eólica, Potencialidad energía eólica, Venezuela, Isla de Margarita.

\*\*\*\*\*

---

<sup>1</sup> Recibido: 25-10-2011; Aceptado: 24-02-2012.

## ABSTRACT

At present times, Venezuela is facing a severe energy crisis caused by a shortage of the electricity generation, saturation of the transmission and distribution lines and lack of maintenance of the electrical infrastructure in general, including the no-professionalization of the national electric companies. Among the alternatives proposed to complement the growing need of electricity, it is the exploitation of renewable energy sources, among them the wind energy. In the first place, a brief review of the different sources of energy used in the world is presented, highlighting their advantages and disadvantages, particularly from an environmental viewpoint. Then, based on the obtained wind data from 30 weather stations distributed throughout the national territory, a preliminary evaluation is carried out of the estimated wind power. Finally, it is concluded, that places with high potential for wind power generation, are found in the Margarita Island, the Guajira region and in insular localities. Medium potential for wind energy generation are found in the peninsula of Paraguaná and some inland places where important wind regional systems are present. The rest of the country does not have good prospects for wind power generation. Wind energy projects should be based on consistent meteorological, economic, environmental and engineering studies.

**Key words:** Wind energy, Wind energy potential, Venezuela, Margarita Island.

\*\*\*\*\*

## INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía y las tecnologías asociadas para su utilización son conocidas desde hace muchos años. La primera máquina de vapor, de funcionamiento satisfactorio se conoce desde 1774 (Watt & Boulton), la batería eléctrica desde 1798 (A. Volta), el generador eléctrico desde 1866 (W. Siemens), las plantas eléctricas de carbón desde 1898 (H. Stinnes), el motor de combustión interna desde 1888 (C. Benz) y 1903 (H. Ford) y la lámpara eléctrica desde 1879 (T. Edison). La explotación de las energías hidráulica y eólica, también, es conocida desde hace mucho tiempo. (AECA, 2005).

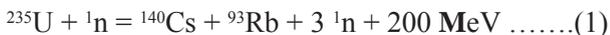
En la selección técnica del procedimiento para la producción de energía eléctrica, es importante considerar aquellos métodos que generen el menor impacto en el entorno, o la mínima cantidad de contaminantes químicos que puedan afectar al ambiente. Los métodos de obtención de energía por quema de combustibles fósiles, energía nuclear de fisión y las energías renovables, son las más conocidas fuentes de energía primaria.

Entre los métodos más utilizados, desde hace un siglo, está el uso de combustibles fósiles, que tienen como principal desventaja la emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), entre los principales. Las moléculas de estos gases se excitan por el efecto de la radiación absorbida y, a su vez, emiten radiación que es enviada, en parte, hacia la superficie terrestre. Estos gases producen un cambio en el balance entre la radiación que llega al sistema Tierra-Atmósfera y la radiación que sale del mismo; lo que genera un *forzamiento radiativo* adicional. Un forzamiento radiativo positivo indica un aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra y de la atmósfera inferior, mientras que un forzamiento negativo genera un enfriamiento. La capacidad del metano y los óxidos de nitrógeno para captar radiación electromagnética es mayor que la del dióxido de carbono; sin embargo, sus menores concentraciones en la atmósfera hacen que el forzamiento radiativo del  $\text{CO}_2$  sea el más importante, ya que contribuye en un 75%, mientras que el metano aporta un 13% y el óxido de nitrógeno un 6%. Los compuestos CFCs (Clorofluorocarbonos) contribuyen con un 5%. (AECA, 2005).

El ritmo de aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico ha sido de alrededor de 1,5 ppmv a lo largo de las dos últimas décadas. La concentración atmosférica de  $\text{CH}_4$  ha aumentado en 1.060 ppbv (151%) desde 1750, y continúa aumentando, siendo la mayor de los últimos 420.000 años. Más de la mitad de las emisiones de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera son antrópicas (IPCC, 2001). El uso de combustibles fósiles se basa en la utilización de la energía desprendida al romperse los enlaces del carbono y de los hidrocarburos del orden de pocas unidades de electronvoltio (eV), en comparación con la

energía producida en las reacciones nucleares por el orden de magnitud un millón de veces superior.

Se ha propuesto como contraparte al uso de los combustibles fósiles, cuestionados por sus efectos sobre el clima de la Tierra, a la energía nuclear, considerada por algunos, como una de las formas de obtención de energía aceptable para la humanidad. La energía nuclear se produce por la división de los núcleos pesados en dos o más núcleos más ligeros, de manera que la suma de la masa de estos es menor que la masa del núcleo progenitor; la diferencia de masas es la energía liberada de acuerdo con la ecuación:  $E = mc^2$ . A diferencia de la energía química en la que se libera energía por ruptura de enlaces químicos, del orden del electronvoltio, en el caso nuclear la energía de ligadura de los nucleones (protones y neutrones del núcleo) es mucho mayor, siendo ésta del orden de los megaelectronvoltios (MeV). Por ejemplo, si un neutrón incidente es absorbido por un átomo de  $^{235}\text{U}$ , éste último se hace inestable y se fisiona dando lugar a cesio (Cs) y rubidio (Rb), además de, entre 2 y 3, neutrones y 200 MeV según la reacción:



Sin embargo, la obtención de la energía nuclear es muy costosa, no sostenible, e ineficiente por ser muy peligrosa en caso de accidentes (Froggatt y Schneider, 2010). En este proceso energético, al resolver grandes problemas, se crean otros mayores, como la síntesis del combustible nuclear. Este procedimiento es muy caro energéticamente, y de hecho muy destructivo, por la inutilización de todo el material empleado y por su montaje, en extremo dispendioso y de mucho riesgo. Este paso genera residuos radiactivos imperecederos (Wydler and Baestlé, 2011), excesivamente nocivos para el agua, el aire y el suelo, en casos de fugas causadas por eventos naturales o accidentes creados por el hombre mismo. Los peores casos han sido los de Chernóbil, antigua Unión Soviética (26/04/1986) y Fukushima No 1, Japón (11/03/2011), ambos de Nivel 7 según la Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES por sus siglas en Inglés), Kyshtym, antigua Unión Soviética (29/09/1957) de Nivel 6, y los de ‘Three Mile Island’, Estados

Unidos (28/03/1979) y ‘Windscale’, Reino Unido (10/10/1957) de Nivel 5. (<[www-ns.iaea.org](http://www-ns.iaea.org)>). Países con experiencia en el manejo de esta tecnología y en el seguimiento de protocolos de seguridad, higiene y ambiente.

Con respecto a la construcción de represas para la producción de hidroelectricidad, si bien en el proceso de producción de esta forma de energía no hay problemas serios de contaminación, el daño producido al ambiente y a la ecología puede ser muy severo. Además, hay que considerar los impactos ambientales que se ocasionan en los espacios geográficos atravesados para llevar la energía entre el sitio de generación y las regiones de consumo.

### **CRISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO VENEZOLANO**

Venezuela viene confrontando, desde hace quince años, una crisis en el sistema eléctrico nacional, que se ha agravado en los últimos 4 años, única en la historia del país por sus peculiares características. Entre sus causas cabe mencionar, el déficit de generación, saturación de las líneas de transmisión y distribución, y descuido general de la infraestructura eléctrica, lo que incluye la desprofesionalización de las empresas del Estado y las que han sido estatizadas recientemente. Ingenieros electricistas que participaron en el desarrollo de la infraestructura eléctrica nacional, hasta hace una década, señalan que no se han realizado las inversiones necesarias para satisfacer el normal ritmo de crecimiento del país, que demanda un incremento anual del 7% de energía eléctrica, para una población que crece a una tasa anual promedio del 1,5% (Informe21.com, 2011; Observatorio de la Economía de Venezuela, 2011).

El sistema eléctrico nacional se compone de una parte de generación hidroeléctrica y otra térmica. La parte hidroeléctrica tiene una capacidad instalada de 14.630 MW (61,8%) y el parque termoeléctrico alcanza a 9.040 MW (38,2%), esto significa que hay una alta dependencia con respecto a la energía hidroeléctrica, principalmente del Guri; cuya generación puede ser periódicamente afectada por eventualidades de la variabilidad climática,

como es el caso del Fenómeno El Niño, cuyo pronóstico, hoy en día, puede ser conocido con suficiente antelación, de manera que se puedan tomar las medidas de adaptación o mitigación pertinentes a tiempo (Scripps Institution of Oceanography, 2011).

Para 1999, el anterior Ministerio de Energía y Minas elaboró el *Plan de Expansión Eléctrica 1999-2013*, bajo los lineamientos de la *Oficina de Planificación del Sistema Interconectado* (OPSIS); Plan que la actual administración no llevó a cabo.

En este contexto se ha planteado que la explotación de fuentes de energía eólica, podría ser una de las opciones complementarias regionales y locales frente a las basadas en el uso de los combustibles fósiles y nuclear. La generación de energía basada en el uso de combustibles fósiles, confronta en la actualidad el problema de su agotamiento, que de acuerdo con algunas estimaciones basadas en la teoría de Hubbert, podría ocurrir antes de 2030 (< <http://www.oilcrisis.com> > 2010), y, en segundo lugar, las crecientes emisiones de gases de efecto-invernadero, señalados de ser la causa principal del calentamiento global y el cambio climático.

## LA ENERGÍA EÓLICA Y SUS VENTAJAS

Del total de energía solar que llega a la Tierra, que alcanza a aproximadamente 3.850 ZJ (=10<sup>21</sup> Joules), (Wikipedia, 2011), alrededor de un 2% es convertida en energía eólica. Los vientos son el resultado del desigual calentamiento de la atmósfera y la superficie terrestre y de sus irregularidades; factores que originan gradientes de presión atmosférica, y luego son afectados por la rotación de la Tierra. Los flujos de vientos cuando son aprovechados por turbinas eólicas, generan electricidad.

La potencia obtenida por el uso de la energía eólica, se ha incrementado, a nivel mundial, especialmente a partir de fines de la década de 1970, cuando se dio inicio a la producción en serie de turbinas eólicas (Figuras 1 y 2). En comparación con la energía nuclear y la basada en los combustibles fósiles,

la energía eólica no es productora de gases de efecto-invernadero, como lo señala el *Consejo Global de Energía Eólica* (GWEC, 2010). El empleo masivo de la energía eólica podría proporcionar entre el 21 y el 34 % de las reducciones de gases de efecto-invernadero requeridas, de acuerdo con el *Panel Intergubernamental de Cambio Climático* (IPCC, 2001).

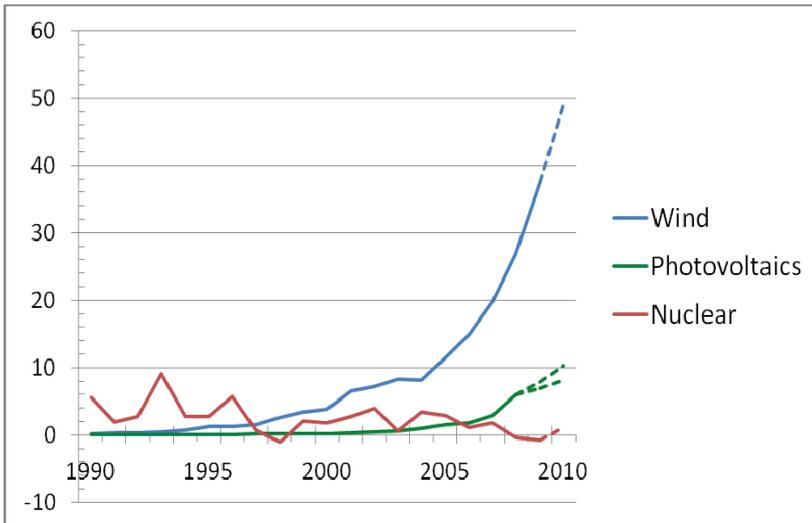


Figura 1. Incrementos netos mundiales de potencia conectados a la red de electricidad, proveniente de nuevas energías renovables y energía nuclear, 1990 – 2010 en GW.  
Fuente: Froggatt y Schneider, 2010.

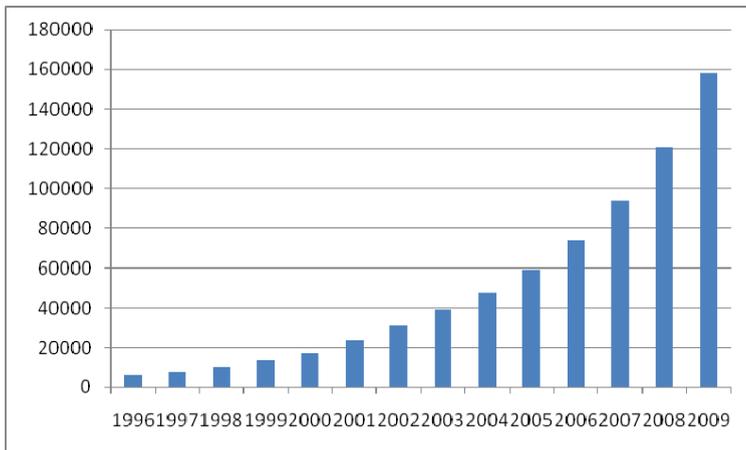


Figura 2. Potencia instalada global de energía eólica, 1996 – 2009, en MW  
GWEC “Global Installed Wind Power Capacity”: 2008/2009.

Además, el coste de la energía eléctrica de origen eólico ha disminuido en un 85% en los últimos 20 años, debido a los avances en investigación y tecnología, así como al desarrollo en diseños y fabricación de aerogeneradores (GWEC, 2010).

## PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

Podemos clasificar las fuentes energéticas en renovables o permanentes y no-renovables, temporales o agotables; la renovabilidad depende de la escala de tiempo considerada y de la tasa de uso del recurso energético. También las podemos clasificar en convencionales, aquellas que producen la mayor cantidad de energía útil, y las alternativas, incluyendo las destructivas del oxígeno troposférico (carbón, gas y petróleo). Otro criterio de clasificación se inscribe en energías peligrosas y contaminantes *per se* y, en contraste con éstas, las auto-sostenibles.

El aire que nos rodea está en un constante movimiento denominado viento. En esencia, es energía solar transformada en energía cinética. El viento es aire en movimiento dotado de dirección y velocidad, que además ejerce presión sobre todo obstáculo que se le oponga. Como dirección se considera el rumbo geográfico desde donde sopla, que se determina con la “rosa de los vientos”. La velocidad se mide como el espacio que recorre el aire por unidad de tiempo, usualmente se expresa en metros por segundo ( $\text{ms}^{-1}$ ).

La energía total del viento que fluye a través de una sección de área por unidad de tiempo es calculada a partir de la ecuación:

$$E = A v t \rho / 2 v^2 \dots\dots(2) \text{ Donde:}$$

E = Energía total del viento (Joules)

A = Sección de área ( $\text{m}^2$ )

t = Tiempo (s)

v = velocidad del viento, ( $\text{m s}^{-1}$ )

$\rho$  = densidad del aire, ( $\text{Kg m}^{-3}$ )

Por lo tanto, la variación de energía con el tiempo (potencia total del viento, P), viene dada por la expresión:

$$P = E / t = A \rho / 2 v^3 \dots\dots (3)$$

Donde:

P = Potencia total en Vatios

La ecuación (3) expresa que la potencia del viento es proporcional a su velocidad elevada al cubo; relación muy relevante para los proyectos de desarrollo de fuentes de energía eólica.

Por otra parte, la ecuación de Betz (formulada en 1919), enuncia que la eficiencia de una turbina movida por el viento se mide como la relación entre

la energía extraída de la misma para obtener, por ejemplo, electricidad, y la energía cinética total del viento sin la presencia de la turbina. Esta relación es igual a 16/27, o sea 59%. Es decir, teóricamente no es posible obtener, en una turbina eólica, más de 59% de la energía cinética total del viento.

### LEY EXPONENCIAL DE HELLMANN

Para el viento a nivel cercano al suelo, las irregularidades de la superficie terrestre ejercen un efecto de fricción, que puede cambiar su dirección y disminuir su velocidad. A medida que aumenta la altura sobre la superficie, el efecto de la fricción es menor. La altura a la cual el efecto de la fricción se hace muy pequeño, marca el nivel de lo que se denomina *Capa Límite*; por lo tanto, los proyectos de aprovechamiento de energía eólica se emplazan en la parte inferior de esa Capa Límite, pero a una altura tal, para que las turbinas no sean afectadas por el flujo turbulento superficial.

Como las mediciones del viento, en las estaciones meteorológicas, se realizan a 10 m. sobre el suelo, los cálculos a una altura superior se efectúan con base a la ley exponencial de Hellmann (<http://www.extractores.com.mx>), que se expresa como:

$$u_x = u_{10} (z_x / z_{10})^\alpha \dots\dots(4)$$

Donde:

$u_x$  = velocidad del viento a la altura  $z_x$  (m s<sup>-1</sup>)

$u_{10}$  = velocidad del viento a 10 m

$z_x$  = altura de interés (m)

$z_{10}$  = 10 m

$\alpha$  = exponente que depende de la estabilidad del aire en la capa por debajo de  $z_x$  y de la rugosidad del terreno. Para condiciones de estabilidad neutral  $\approx 0,143$

La velocidad del viento, que se mide por medio de anemómetros a 10 m. sobre el suelo, está afectada por el entorno en las adyacencias de la estación (edificaciones, vegetación alta y otros obstáculos). Las condiciones físicas de la superficie sobre la cual se desplaza el viento están relacionadas con la *Longitud de Rugosidad*, parámetro que también se utiliza para la determinación de la velocidad del viento a niveles superiores del que se emplea para las mediciones de rutina. (<http://www.webmet.com>).

### POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN VENEZUELA

Para la década de los años 1980, 117 estaciones medían el viento a diferentes alturas, desde 0,65 m hasta 20 m., la mayor parte a la altura estándar de 10 m. Para fines de la década de 1990, sólo alrededor de 30 estaciones reportaron mediciones de viento, la mayor parte de ellas ubicadas en aeropuertos (Andressen, 1995).

Sobre la base de los registros históricos de estas estaciones, se ha efectuado una evaluación preliminar de las potencialidades que presentan las diferentes regiones del país para el aprovechamiento de la energía eólica. En tal sentido, se obtuvo la velocidad media del viento, la que resulta de la siguiente expresión:

$$\tilde{v} = 1 / 8760 \int_0^{8760} v \, dt \dots\dots\dots(5)$$

$\tilde{v}$  = Velocidad media (m s<sup>-1</sup>)  
 $v$  = Velocidad horaria (m s<sup>-1</sup>)

La Tabla 1 presenta un resumen de la dirección prevaleciente del viento, la velocidad a 10 m. sobre el suelo, y, en función de la ecuación de Hellmann, la velocidad estimada a 25 m. y 40 m., y la correspondiente cantidad de potencia por unidad de área barrida por un rotor de valor unitario (radio= 1); luego estos valores fueron ajustados de acuerdo al criterio de Betz. Por lo tanto, los valores obtenidos deben ser considerados como *índices* de las potencias a ser generadas. A medida que se incrementa la dimensión del rotor, aumenta significativamente la potencia a ser generada, dependiendo del diseño. Estos son aspectos técnicos a ser considerados en la etapa de ingeniería de detalle.

TABLA 1. Dirección prevalente y velocidad media anual del viento a 10 m. (observada), a 25 y 40 m. (calculada) y cantidad de potencia (Vatios) estimada y ajustada con la relación de Betz, para diferentes estaciones meteorológicas de Venezuela

Serial	Lugar	Lat. N.	Lon. W.	Altitud m	Dirección Prevalente	Velocidad Viento (m s <sup>-1</sup> )			Potencia estimada (Vatios) <sup>1</sup>	
						10 m	25 m	40 m	Potencia 25 m	Potencia 40 m
2264	Acarigua	09° 33'	69° 14'	226	NNW	2,70	3,08	3,29	31,60	38,66
1773	Barcelona	10° 07'	69° 41'	7	NNE	2,70	3,08	3,29	31,60	38,66
1282	Barquisimeto	10° 04'	69° 19'	613	E	3,90	4,45	4,76	95,25	116,53
5920	Canaima	06° 17'	62° 51'	398	NNE	2,30	2,62	2,80	19,54	23,90
544	Caracas	10° 30'	66° 53'	836	SSE	2,20	2,51	2,68	17,10	20,92
2562	Carriзал	09° 25'	66° 55'	160	ENE	2,40	2,74	2,93	22,20	27,16
3882	Ciudad Bolívar	08° 09'	63° 33'	43	E	2,70	3,08	3,29	31,60	38,66
8092	Colón	08° 02'	72° 15'	760	N	2,00	2,28	2,44	12,85	15,72
1435	Colonia Tovar	10° 25'	67° 11'	1.435	SSE	0,90	1,03	1,10	1,17	1,43
232	Coto	11° 25'	69° 41'	16	E	6,10	6,95	7,44	364,45	445,88
2299	Guanare	09° 01'	62° 44'	163	ESE	1,90	2,17	2,32	11,01	13,47
4172	Guasdalito	07° 14'	70° 48'	130	WNW	1,80	2,05	2,19	9,36	11,46
1928	Giúria	10° 35'	62° 19'	13	E	1,50	1,71	1,83	5,42	6,63
6933	Kavanayen	05° 35'	61° 43'	1.200	ENE	2,70	3,08	3,29	31,60	38,66
1141	La Cañada	10° 31'	71° 39'	26	NNE	3,30	3,76	4,02	57,70	70,59
1509	La Orchila	11° 49'	66° 12'	3	E	6,50	7,41	7,93	440,95	539,47
3056	Lagunillas-Mérida	08° 30'	71° 24'	1.100	SW	5,50	6,27	6,71	267,14	326,82
503	Maiquetia	10° 36'	66° 59'	43	E	1,90	2,17	2,32	11,01	13,47
1015	Maracaibo	10° 34'	71° 44'	66	NNE	3,80	4,33	4,63	88,11	107,79
466	Maracay	10° 15'	67° 39'	436	NNE	1,30	1,48	1,59	3,53	4,32
2827	Maturín	09° 45'	63° 11'	65	NNE	3,10	3,53	3,78	47,83	58,52
2117	Mene grande	09° 49'	70° 56'	27	ENE	1,70	1,94	2,07	7,89	9,65
3047	Mérida	08° 36'	71° 11'	1.479	WSW	2,40	2,74	2,93	22,20	27,16
871	Porlamar	10° 55'	63° 58'	24	E	6,70	7,64	8,17	482,92	590,81
6424	Puerto Ayacucho	05° 36'	67° 30'	73	SSE	1,90	2,17	2,32	11,01	13,47
4022	San Antonio Táchira	07° 51'	72° 27'	377	SSE	3,50	3,99	4,27	68,84	84,22
4404	San Fernando Apure	07° 54'	67° 25'	47	ENE	2,90	3,31	3,54	39,16	47,91
2440	San Juan Morros	09° 553'	67° 20'	429	NNW	1,71	1,94	2,07	7,89	9,65
7947	Santa Elena Uairén	04° 36'	61° 07'	907	ENE	1,60	1,82	1,95	5,42	6,63
3901	Temblador	09° 01'	62° 37'	30	N	3,00	3,42	3,66	43,35	53,04
4974	Tumeremo	07° 18'	61° 07'	180	ENE	2,10	2,39	2,56	14,87	18,19
7164	Valera	09° 21'	70° 37'	582	WSW	1,60	1,82	1,95	6,58	8,05

<sup>1</sup> Potencia por área barrida por un rotor unitario (radio = 1)  
Fuente: Datos meteorológicos del Servicio de Meteorología de la Aviación y de la Dirección de Hidrología y Meteorología del MPPA.

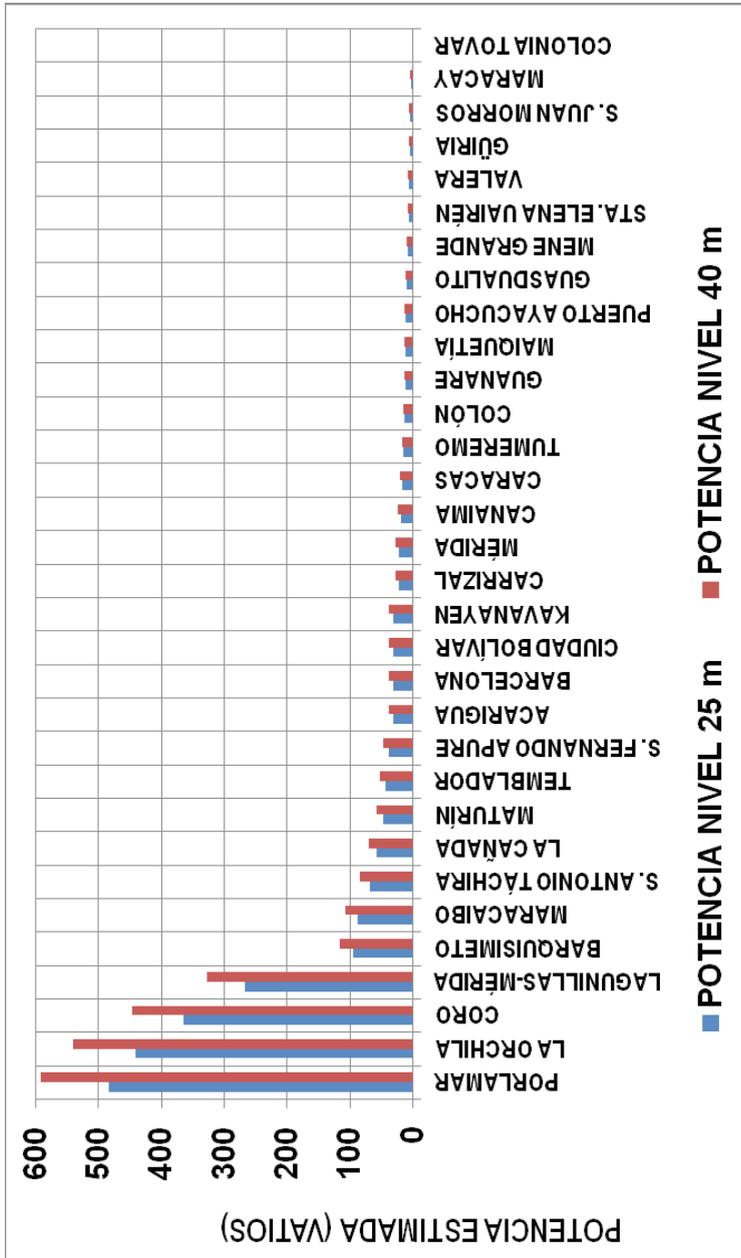


Figura 3. Cantidad de energía estimada del viento (Watts) por unidad de área barrida para lugares en Venezuela con mediciones del viento.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En Venezuela encontramos las siguientes zonas, que tendrían potencial para la implementación de proyectos de aprovechamiento de la energía eólica (Tabla 1, Figura 3):

- 1.- Alta potencialidad: Estado Nueva Esparta, fachada oriental, Isla La Orchila, otras dependencias insulares ubicadas costa afuera y, posiblemente, la Guajira,
- 2.- Mediana potencialidad: Paraguaná y Valle medio del río Chama (Lagunillas – Mérida).
- 3.- Baja potencialidad: Barquisimeto y Maracaibo.

Otros lugares que podrían presentar condiciones relativamente favorables son los sectores medios de cuencas de gran extensión longitudinal, en las que el fenómeno de ‘brisa de valle y montaña’ puede ser importante.

De acuerdo con la información de Re-análisis (NOAA-ESRL, 2011), presentados en la figura 4 (A y B) para los meses de enero y julio, se confirma lo planteado con la información meteorológica operacional de superficie (Tabla 1, velocidad del viento). En el sector sur de Venezuela, cercano a la zona de confluencia inter-tropical, donde los vientos son débiles, con velocidades promedias muy bajas ( $< 1$  m/s), las posibilidades de aprovechamiento eólico son insignificantes, aún a 25 y 40 m. de altura. Por el contrario, al norte de Venezuela, el viento zonal adquiere velocidades medias importantes, por encima de 5 m/s, e incluso hasta de 8,5 m/s; por lo que estaríamos hablando de posibles valores de energía eólica disponibles más altos, que pueden ser económicamente aprovechables.

Figura 4-A. Velocidad (m/s) del viento zonal (u)  
Promedio 30 años (1980 – 2010) - promedio enero

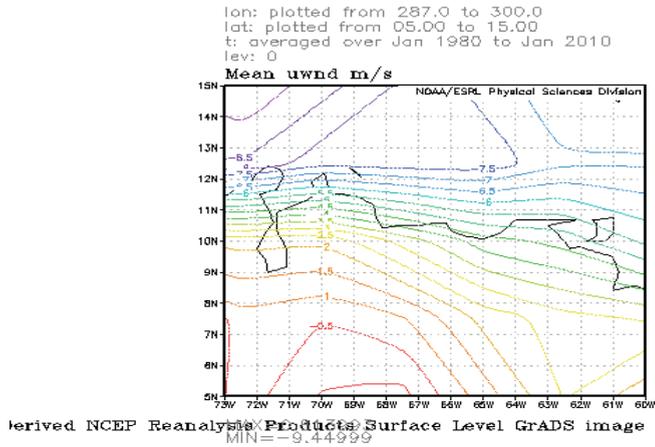
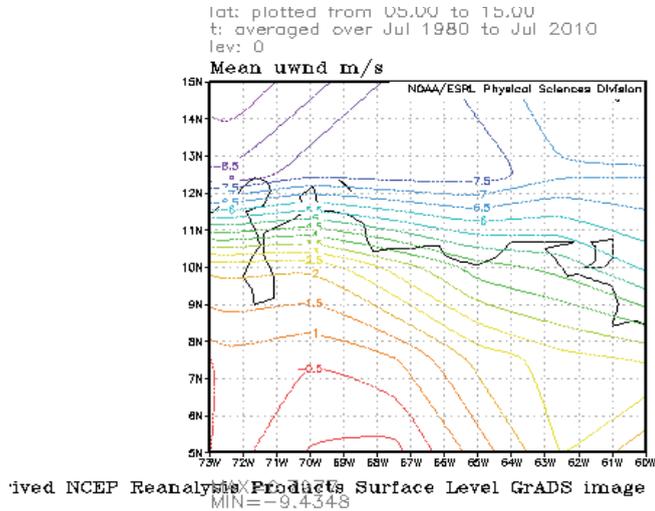


Figura 4-B. Velocidad (m/s) del viento zonal (u)  
Promedio 30 años (1980 – 2010) - Promedio julio



Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>

## CONCLUSIONES

Las fuentes de energía eólica constituyen una opción viable y aceptable, frente a las basadas en el uso de combustibles fósiles y a otras fuentes alternas, como la nuclear; señaladas la primera de ser causante del problema del calentamiento global y la segunda, muy cuestionada, por los temibles impactos ambientales, por los efectos del escape de los residuos radiactivos y la incertidumbre que los daños, debidos a accidentes naturales o antrópicos, puede generar.

Los sistemas hidroeléctricos presentan la desventaja de la elevada inversión inicial de la construcción, y, además, tienen un elevado coste ambiental, y pueden ser afectados por variaciones en las condiciones climáticas, como son los eventos de sequía.

Las posibilidades que presenta Venezuela para la implementación de proyectos de aprovechamiento de la energía eólica, a gran escala, son moderadas; en vista de que el régimen de vientos alisios, aunque es constante, sus velocidades son relativamente bajas. Sólo lugares ubicados en algunos sectores del cinturón norte-costero (Nueva Esparta y la Guajira) y en la región insular, presentan las mejores posibilidades. La península de Paraguaná y algunos sectores de las cuencas medias de valles de gran extensión longitudinal, presentan potencialidades medianas. Los sectores de Barquisimeto y Maracaibo, presentan potencialidades bajas. Otros lugares, según la información meteorológica analizada (Tabla 1), presentan potencialidades pequeñas, en los que se podrían implementar proyectos locales, a pequeña escala, principalmente en el ámbito rural. Por último, el resto del país no tiene ningún prospecto, ya que corresponde a regiones caracterizadas por vientos generalmente débiles o muy débiles.

La información obtenida del Re-análisis de la NOAA-ESRL(2011), confirman los resultados referentes a la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas consideradas en este trabajo.

Los resultados reportados en esta evaluación coinciden, de manera general, con los reportados en 2005 en el *Estudio Stanford* sobre evaluación de la potencia eólica global (Archer & Jacobson, 2005).

Para el estado Nueva Esparta es crucial el suministro de energía por medios eólicos; ya que el mismo tiene un déficit permanente de electricidad, por ser un territorio turístico, en creciente expansión.

Finalmente, la obtención de energía por medios eólicos, a pesar de ser una buena alternativa, debe basarse en consistentes estudios meteorológicos, económicos, ambientales y de ingeniería.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Academia Europea de Ciencias y Artes (AECA). 2005. *Energía: Presente y futuro de las diversas tecnologías*. Madrid.

Andressen, R. 1995. 'Redes de información hidrometeorológica y climatológica de Venezuela'. Taller internacional: Monitoreo del clima para la detección de cambios globales en las Américas. 5 - 8 diciembre, 1995. Viña del Mar, Chile.

Archer, C.L. and M. Z. Jacobson. 2005. *Evaluation of global wind power*. Disponible en Internet en: [http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/global\\_winds.html](http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/global_winds.html). (Consultado: Septiembre, 2011).

Froggatt, Antony y Mycle Schneider. 2010. *Sistemas para el Cambio: ¿Energía Nuclear versus Eficiencia Energética + Energías Renovables?*. Artículo preparado para la Fundación Heinrich Böll, marzo 2010.

Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Installed Wind Power Capacity: 2008/9* Disponible en Internet en: [http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR\\_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf). (Consultado: Junio, 2011).

<<http://www.oilcrisis.com>> (Consultado: Septiembre, 2010).

<http://www-ns.iaea.org> (Consultado: Marzo 2012).

<http://www.extractores-com.mx> (Consultado: Marzo 2012).

<http://www.webmet.com> (Consultado: Marzo 2012)

Informe21.com. Disponible en Internet en: <http://informe21.com/crisis-energetica-venezuela> (Consultado: Abril, 2011).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the *Third Assessment Report*. Cambridge University Press.

National Oceanic & Atmospheric Administration-Earth System Research Laboratory (NOAA-ESRL). Disponible en Internet en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml> (Consultado: Septiembre, 2011).

Observatorio de la Economía de Venezuela. Disponible en Internet en: <http://www.eumed.net/oe-ve/dbas/pobl1.htm> (Consultado: Abril, 2011).

Scripps Institution of Oceanography – Experimental Climate Prediction Center. Disponible en Internet en: [http://meteora.ucsd.edu/~pierce/elnino/el\\_nino.html](http://meteora.ucsd.edu/~pierce/elnino/el_nino.html) (Consultado: Abril, 2011).

Wikipedia. Disponible en Internet en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy) (Consultado: Septiembre, 2011).

Wydler P. and L. H. Baestlé *Closing the Nuclear Fuel Cycle: Issues and Perspectives*. Disponible en Internet en: [http://www.oecd-nea.org/pt/docs/iem/madrid00/booklet/Over\\_Wydler.pdf](http://www.oecd-nea.org/pt/docs/iem/madrid00/booklet/Over_Wydler.pdf). (Consultado: Agosto, 2011).