



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

25
al
27
Montevideo

SET
2019



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

Un acercamiento a la modelación de velocidades de viento máximas mensuales utilizando el modelo WRF

Ignacio Franco ^a, Alejandro Gutierrez ^b, José Cataldo ^c

^a *Universidad de la República, Uruguay, ifranco@fing.edu.uy.*

^b *Universidad de la República, Uruguay, aguti@fing.edu.uy.*

^c *Universidad de la República, Uruguay, jcataldo@fing.edu.uy.*

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es generar curvas de periodo de retorno de velocidad de viento máxima mensual para alturas de 60 metros sobre el suelo utilizando datos modelados con Weather Research and Forecasting (WRF). La metodología propuesta permite generar series históricas de velocidades medias horarias en ubicaciones donde las medidas de campo disponibles no son suficientes para un correcto análisis de valores extremos. Datos de Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) son utilizados para correr las simulaciones, disponiendo de estos para el período 1979-2015. Los datos modelados son comparados con series de velocidades de viento registradas en torres anemométricas, disponibles para el período 2008-2015. La salida del WRF es posteriormente ajustada para modelar la velocidad de viento en los sitios de medición. Una representación ajustada de la distribución acumulada de los valores máximos mensuales fue alcanzada después de aplicar dos ajustes lineales.

PALABRAS CLAVE: Viento extremo, Velocidad máxima mensual, WRF.

1 INTRODUCCIÓN

Eventos de viento severo generan daños significativos tanto económicos como físicos, haciendo necesario el estudio de este tipo de eventos para un mejor entendimiento y caracterización de sus efectos en todo el territorio Uruguayo.

Registros de largo tiempo y distribuidos geográficamente son necesarios para una correcta evaluación de de estos eventos. Registros de torres anemométricas son los mas utilizados con este objetivo. Un ejemplo de esto es [1], donde medidas anemométricas son utilizadas para producir curvas de período de retorno de velocidades de viento. Lamentablemente en Uruguay no se disponen de series lo suficientemente largas para alturas mayores a los 10 metros. Por otra parte, el reciente desarrollo de la energía eólica ha provisto de una amplia red de puntos de medición de período corto, útiles para la evaluación del potencial eólico [2] pero no tan útiles para análisis de valores extremos. Modelado numérico de mesoescala es ampliamente utilizado para el pronóstico de tiempo atmosférico desde el desarrollo de los computadores de alto rendimiento, y se ha convertido en una herramienta muy útil. En particular, WRF es utilizado para producir el pronóstico operativo de energía eólica en Uruguay [3]. La opción de modelado atmosférico retrospectiva es considerada en [4], donde una profunda evaluación de la respuesta del modelo es presentada. En este trabajo se propone utilizar simulaciones retrospectivas y registros de torres recientemente instaladas para producir estadísticas de velocidades máximas mensuales. Así, se producen curvas de período de retorno y de frecuencia acumulada con bandas de confianza mas pequeñas que utilizando unicamente los datos registrados en campo.

2 MODELO WRF Y BASES DE DATOS

El modelo WRF [5] es el utilizado para generar series de velocidad de viento para un período mas largo al que se disponen registros de torre. Ejemplos del uso de este modelo para el estudio de diferentes situaciones pueden ser encontrados en [6], [5], [7], [3], y [8]. Las simulaciones de WRF son llevadas adelante utilizando datos provistos por CFSR [9], una base de datos producto de la NCEP (National Center of Environmental Prediction) como condiciones iniciales y de borde. CFSR provee datos en una grilla de $0,5^\circ$ e intervalos de 6 horas para el período 1/1/1979 – 31/8/2015. Las corridas fueron configuradas para calcular velocidades medias horarias en una grilla de 18 km (Ver Fig.1)

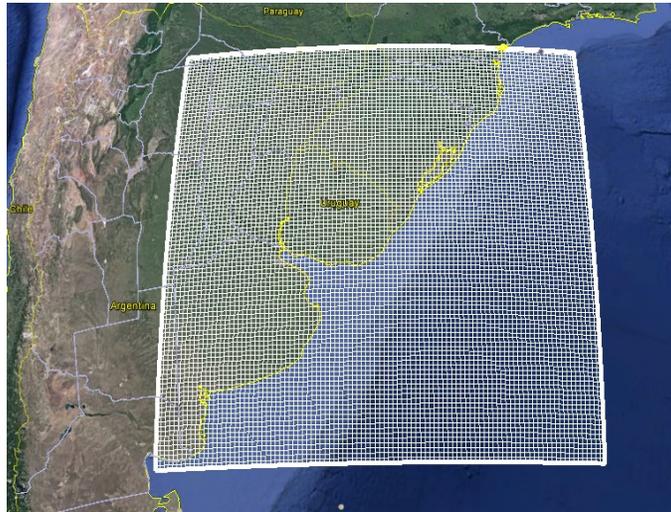


Figura 1

La red de torres anemométricas de la Administración Nacional de Usinas y transmisiones del estado (UTE), que registra la velocidad media en intervalos de 10 minutos desde el año 2008 proveyó los datos utilizados para esta comparación. En la Tab. 2 se presenta información sobre las torres utilizadas.

Torre	Altura	Latitud	Longitud	Período
Pampa	87,5 m	32,25°S	56,22°W	7/10/2008 - 31/8/2015
Peralta	74 m	32,58°S	56,41°W	1/7/2008 – 31/8/2015
Piedras de Afilar	64 m	34,68°S	55,58°W	1/7/2008 - 31/8/2015

Tabla 1

Los datos disponibles de torre son utilizados para evaluar y ajustar la salida del WRF. Las series registradas en ellas son consideradas representativas del clima medio, aunque series mas largas son necesarias para analizar el comportamiento de las máximas mensuales.

Estos datos son promediados por horas, llevándolos a series horarias de velocidades de viento, comparables con las producidas mediante las simulaciones. Así, se utilizan los datos de torre para comparar con la salida del WRF y se produce un ajuste que posteriormente se extiende a el resto del período en el que se disponen datos de WRF.

La Fig. 2 presenta la ubicación de las tres torres.

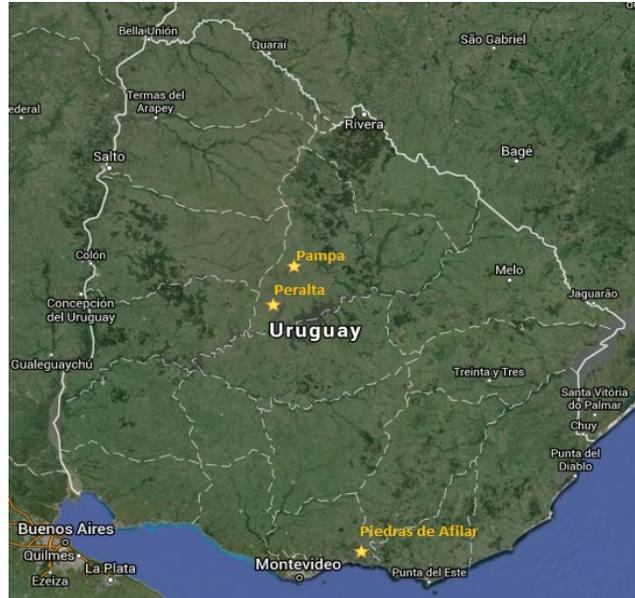


Figura 2

3 RESULTADOS

3.1 Selección del nivel η

La configuración utilizada para el modelo WRF provee datos a 41 niveles verticales, identificados como η . Dichos niveles alcanzan alturas de aproximadamente 20 km sobre la superficie, y se encuentran definidos en [10].

Buscando determinar el nivel vertical al que el WRF modela mejor los datos censados en torre, es necesario diferenciar entre los casos en función de la estabilidad atmosférica [11]. La clasificación del régimen de estabilidad se lleva adelante basándose en el número de Richardson, presentado en la Ec. 1 [10].

$$Ri = \frac{g}{\theta} \left(\frac{\partial \theta / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2} \right)$$

En la Ec. 1, el parámetro g representa la aceleración de la gravedad, y las variables θ , U y z representan la temperatura potencial, la velocidad horizontal del viento, y la altura. El signo en el número de Richardson indica el régimen de estabilidad, siendo inestable si es negativo, estable si es positivo, y neutro si es cero. El modelo numérico obtenido a diferentes η fue comparado con los datos medidos para cada estado termodinámico. Datos de los η 2 y 9 del producto de WRF fueron utilizados para determinar los gradientes, considerando esos niveles representativos del régimen de estabilidad como resultado de su cercanía a la superficie.

El coeficiente de correlación (r), el error medio absoluto (MAE) y el factor de regresión lineal (b) son los parámetros utilizados para comparar el producto de WRF con las series obtenidas de las medidas de torre. Las tablas 2, 3 y 4 presentan los valores de dichos parámetros según la estabilidad y el η para los tres sitios de medición. Los niveles con mayor r y menor MAE son destacados en las tablas.

η	MAE	r	b
Stable			
14	2.082	0.652	1.012
15	2.111	0.679	0.912
16	2.583	0.665	0.834
Unstable			
14	1.840	0.706	1.114
15	1.734	0.714	0.983
16	1.9634	0.716	0.859

Tabla 2: MAE, r y b para diversos ETA en Pampa

η	MAE	r	b
Stable			
1	1.828	0.608	1.061
2	1.815	0.600	0.933
14	2.608	0.631	0.713
15	3.028	0.638	0.661
Unstable			
1	1.741	0.772	0.844
2	2.001	0.774	0.795
14	2.584	0.788	0.713
15	2.919	0.787	0.677

Tabla 3: Idem Tabla 1 caso Piedras de Afilar

η	MAE	r	b
Stable			
7	2.574	0.382	0.989
13	2.667	0.397	0.886
14	2.778	0.403	0.841
15	3.112	0.414	0.766
16	3.563	0.414	0.710
Unstable			
7	2.196	0.494	1.099
13	2.125	0.505	1.025
14	2.127	0.507	0.969
15	2.283	0.507	0.864
16	2.637	0.507	0.769

Tabla 4: Idem Tabla 1 caso Peralta

Mayor correlación y menor MAE indican un mejor modelado por el WRF. La tabla 4 muestra una correlación muy pobre y un MAE muy alto para la torre Peralta. Dicho comportamiento es bastante diferente de lo presentado en las otras torres. Errores en el WRF para la Peralta son descartados, dada la cercanía con Pampa, donde este produjo resultados adecuados. Un análisis más profundo comparando las medidas registradas en Peralta con otras torres cercanas continuaron mostrando inconsistencia en las series registradas por ese anemómetro en particular. Como consecuencia, estas series fueron descartadas por su comportamiento errático. Es así que se continuará con el análisis solo para las torres de Pampa y Piedras de Afilar.

En cuanto a Pampa y Piedras de Afilar, los niveles seleccionados para continuar con el análisis fueron los que tienen mayor coeficiente de correlación entre la torre y los datos modelados. En la torre de Pampa, el η 15 para estable y el η 13 para inestable, mientras que en la torre de Piedras de Afilar el η 15 para estable y el η 14 para inestable fueron los niveles seleccionados.

3.2 Ajuste de las series.

Una vez separadas según la estabilidad y seleccionados los niveles que más se ajustan a las medidas, las series producidas por el WRF fueron ensambladas con datos de el nivel que corresponda a la estabilidad presente en cada instante. Esta serie se debe ajustar mediante una regresión lineal a las medidas. Dicho ajuste es realizado con los factores “b” presentados en las tablas 2 y 3.

Al analizarse el comportamiento de las series modeladas en comparación con las registradas, se concluyó que era necesario realizar otro ajuste, visto que las primeras subestimaban los máximos mensuales registrados. Se procedió a realizar una regresión lineal con los máximos mensuales.

Así, el ajuste considerado consiste en un ajuste proporcional dividido en dos etapas. En la primera etapa, el producto de WRF es dividido en dos series en función de su estabilidad. Realizada esa división, cada subserie es ajustada con el coeficiente de regresión lineal producto de la comparación directa con las medidas (b_1). En la segunda etapa, las series de velocidades máximas son extraídas, tanto de la serie ajustada de WRF como de los datos de torre. Al comparar estos, se extrae un segundo coeficiente de regresión lineal (b_2). Los valores alcanzados de b_1 y b_2 se presenta en la tabla 5.

Tower	Atmospheric stability	b_1	b_2	b
Pampa	Stable	0.912	1.0705	0.976
	Unstable	0.859		0.920
Piedras de Afilar	Stable	0.661	1.0680	0.706
	Unstable	0.713		0.762

Tabla 5

El ajuste previamente presentado mostró una buena descripción de las distribuciones de velocidades máximas mensuales. Posteriormente, se procedió a extender dicho ajuste a las series simuladas para el período 1979-2015. Las curvas de período de retorno de dicha extensión se presentan en la figura 3.

4

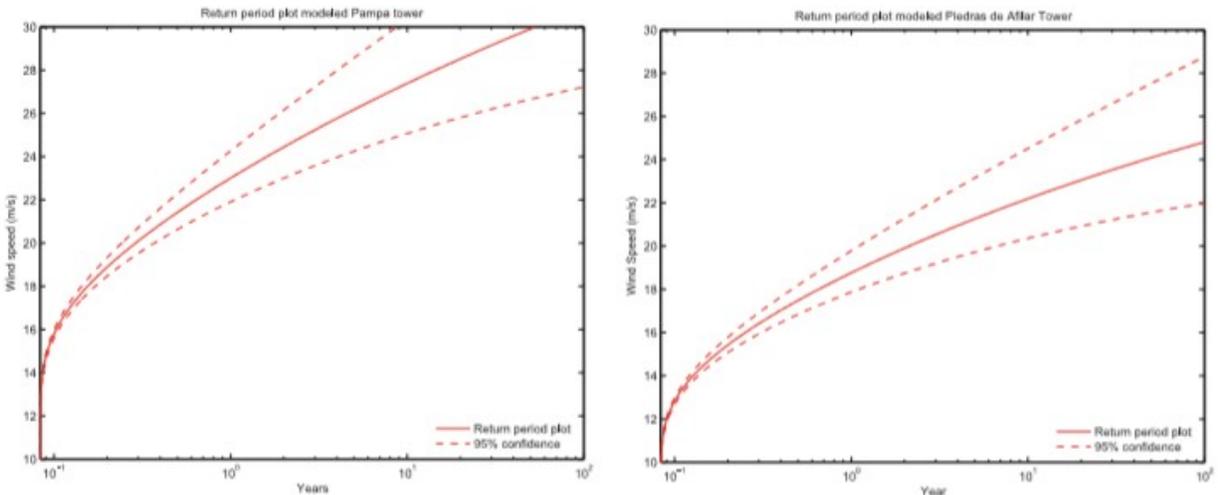


Figura 3: Curvas de Período de retorno, Pampa (Izquierda) y Piedras de Afilar (Derecha)

CONCLUSIONES

Se realizó un profundo análisis de las medidas disponibles de máximos mensuales de velocidades medias horarias, incluyendo una comparación con las series modeladas con el WRF. Un ajuste lineal doble en función de la estabilidad demostró ajustar correctamente el producto de WRF para alcanzar un buen modelado de los máximos mensuales. Como resultado una serie de datos mas larga, consistente con los datos disponibles de campo fue producida. Un posible obstáculo para la extensión a todo el territorio es la falta de torres para alcanzar una expresión territorial mas detallada de los factores de ajuste aplicados a el modelo.

5 AGRADECIMIENTOS

A UTE por permitirnos utilizar los datos y a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por financiar el proyecto

6 REFERENCIAS

1. Sanabria L., and Cechet R.(2007) A statistical model of severe winds. Geoscience Australia.



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

25
al
27
Montevideo

SET
2019



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



2. Cornalino E (2015) Descripción del comportamiento del recurso eólico nacional para su modelado dentro del sistema eléctrico. Master's Thesis, Universidad de la República.
3. Gutierrez A, Cataldo J, Cazes G and De Mello S (2015a) Forecast cut out events in EmanueleCambilargiu 20MW windfarm. In: International Conference on Wind Engineering 14.
4. Hahmann A, Vincent C, Pea A, Lange J and Hasager C (2015) Wind climate estimation using WRF model output: method and model sensitivities over the sea. *International Journal of Climatology* 35: 3422–3439.
5. Skamarock W, Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W. and Powers J.G. (2005) A description of the advanced research WRF version 2 (No. NCAR/TN-468+ STR). National Center For Atmospheric Research.
6. Gutierrez A, Cazes G and De Mello S (2015b) Operational wind energy forecast with power assimilation. In: International Conference on Wind Engineering 14.
7. Gutierrez A and Fovell R (2015) Gust forecasting in Uruguay in support of wind energy. In: International Conference on Wind Engineering 14.
8. Lucas E (2015) Análise do modelo numérico WRF-ARW em estimar a velocidade média do vento a distintas alturas nos primeiros 100 metros da camada limite planetária. Thesis, UNIPAMPA.
9. Saha S., Moorthi S., Pan H., Wu X., Wang J., Nadiga S., Tripp P., Kistler R., Woollen J., Behinger D., Liu H., Stokes D., Grumbine R., Gayno G., Wang J., Hou Y., Chuang H., Juang H., Sela S., Iredell M., Treadon R., Kleist D., Van Delst P., Keyser D., Derber J., Ek M., Meng J., Wei H., Yang R., Lord S., Van den Dool H., Kumar A., Wang W., Long C., Chelliah M., Xue Y., Huang B., Schemm J., Ebisuzaki W., Lin R., Xie P., Chen M., Zhou S., Higgins W., Zou C., Liu Q., Chen Y., Han Y., Cucurull L., Reynolds R., Rutledge G. and Goldberg M. (2010) The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. American Meteorological Society.
10. Stull R (1988) An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library.
11. Wang J, Shanshan Q, Shiqiang J and Jie W (2015) Estimation methods review and analysis of offshore extreme wind speeds and wind energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 26–42.
12. Pop L., Sokol Z. and Hanslian D. (2016) A new method for estimating maximum wind gust speed with a given return period and a high areal resolution. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 158: 51–60.