

Técnicas de pronóstico, en función del horizonte de tiempo pronóstico tiempo.

Curso Mesoescala Aplicado a ingeniería - Mayo 2023 -



Contenido

- 1 Transición energética.
- 2 Herramientas de Pronóstico

Transformaciones en el sector energético.



Las claves de los cambios en el sector energético.

- Aumentan la participación de la generación eólica, solar.
- Aumenta la participación de la energía eléctrica en el sector transporte.
- Hay una tendencia a la generación distribuida de energía eléctrica.
- Se evoluciona a una tarifa eléctrica dinámica.
- Las redes inteligentes y la inteligencia artificial, mejoran las condiciones para el control de la demanda.

Los nuevos sistemas energéticos, la necesidad de modelar la atmósfera.

- La temperatura, tiene una fuerte incidencia con la demanda energética para acondicionamiento térmico.
- La velocidad del viento en la capa límite atmosférica determina la producción de los parques eólicos y de plantas undimotrices.
- La presencia de nubes atenua la producción de plantas fotovoltaicas.
- Eventos extremos, como tormentas convectivas pueden provocar daños en líneas de transmisión, eventos de cortes abruptos por la presencia de rampas en la producción eólica.
- Los fenómenos de precipitaciones extremas y seca, asociada a fenómenos climáticos, Niña y Niño, afectan la producción hidroeléctrica.
- La capacidad de pronósticar precipitaciones a escalas semanales y quincenales, pueden hacer viables intercambios energéticos regionales.



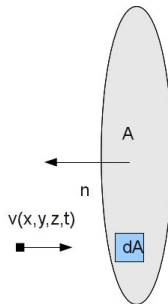
Flujo de energía cinética, energía eólica.

$$dP = \frac{1}{2} \rho v^2 (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad (1)$$

$$P = \int_A \frac{1}{2} \rho v^2 (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad (2)$$

$$E = \int_{\Delta t} \int_A \frac{1}{2} \rho v^2 (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA dt \quad (3)$$

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A \overline{\langle v^3 \rangle} \quad (4)$$

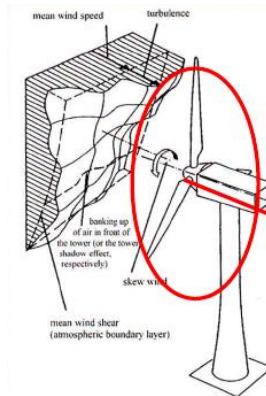


Energía Eólica

Para modelar la producción de la energía eólica se requiere conocer la densidad y el perfil de velocidades en el área de barrido de palas de los aerogeneradores

Energía Eólica.

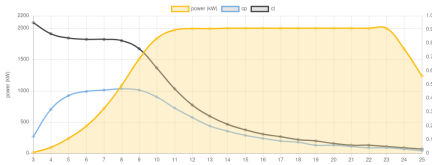
$$\rho, \vec{V}(x, y, z, t), \text{Estabilidad } \frac{\partial \theta}{\partial z}, \vec{V}^T(x, y, z, t), IT(t)$$



Curvas de potencia modelo de aerogeneradores.

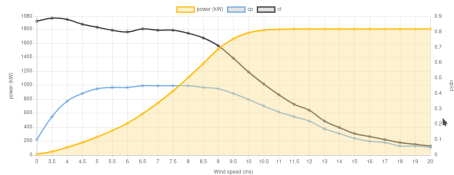
Gamesa G97

Power curve

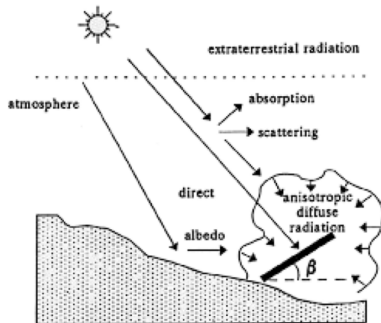
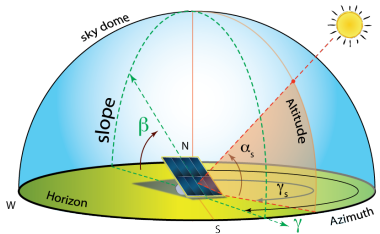


Vestas V100

Power curve



Radiación Solar en un plano inclinado.



Paneles solares.

(Ma et al, 2014)

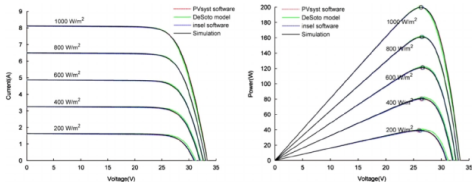


Fig. 6. PV module's I-V curves and P-V curves under different solar radiation intensity ($T_c=25\text{ }^\circ\text{C}$).

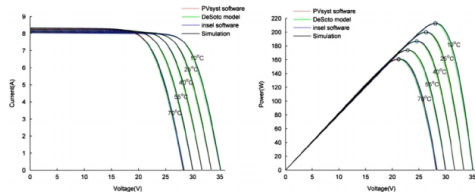


Fig. 7. PV module's I-V curves and P-V curves under different PV cell temperature (irradiance=1000 W/m²).



Energía Solar

Para modelar la producción de la energía solar se requiere conocer la Radiación que llega al plano inclinado y estimar la temperatura de las celdas fotovoltaicas.



Energía hidroeléctrica.



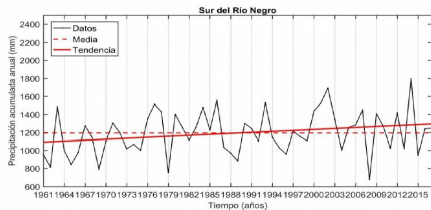
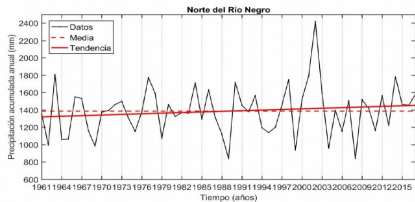
- A partir de las precipitaciones y del modelo de cuenca se puede saber el aporte a los lagos.
- En los lagos es posible represar el agua y decidir cuando generar energía eléctrica o verter.

Variaciones interanuales eólica, solar, hidroeléctrica.

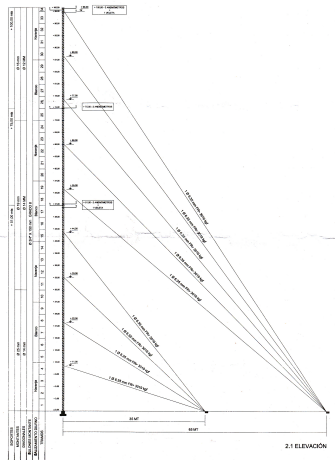
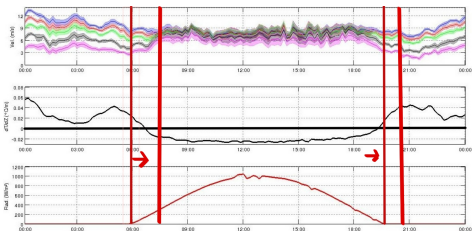
En Uruguay

- Las variaciones de la cantidad de energía eólica total o solar puede variar no mas de un 15%.
- La energía hidroeléctrica puede variar en mas de 100% de un año a otro.

(Barreiro et al, 2019)

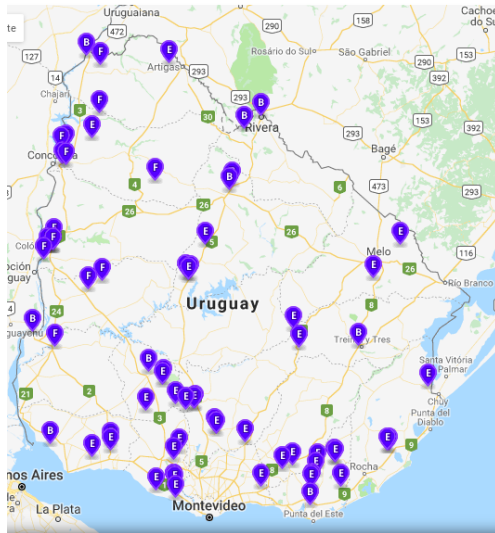


Complementariedad de la energía eólica y solar.



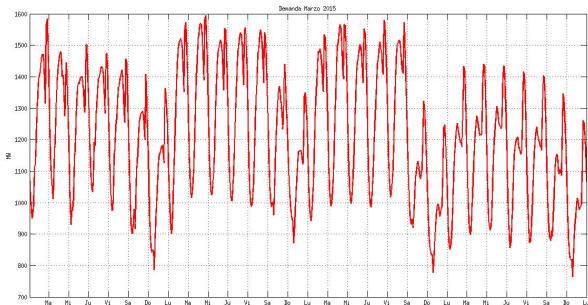
- Anemómetros: 101.8 m - 81.8 m - 60.8 m - 25.7 m - 10.1 m
- Termómetros: 100.8 m 3.4 m

Energías Renovables en Uruguay

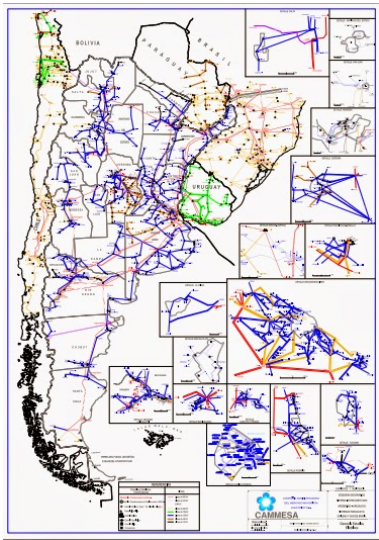


Variación de la demanda

$$D(t) = P(t)$$



Energía eólica en el sistema eléctrico

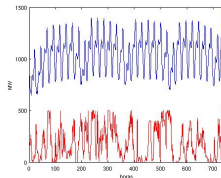


- Planificación de largo plazo asociada a decisiones de optimización de costos y seguridad de suministro.
- Planificación semestral
- Planificación semanal.
- Planificación diaria.
- Operación.

$$\zeta_{nominal} = \frac{C_{eolica}}{C_{total}} \quad (5)$$

$$\zeta_{instantanea} = \frac{p(t)_{eolica}}{p(t)_{total}} \quad (6)$$

$$\zeta_{energia} = \frac{E([t_j, t_f])_{eolica}}{E([t_j, t_f])_{total}} \quad (7)$$



$$\sigma_{neta}^2 = \sigma_{demanda}^2 + \sigma_{eolica}^2$$

OBJETIVO: $\Downarrow \sigma_{eolica}$

Herramientas de Pronóstico

Se deben pronósticar las variables atmosféricas, necesarias para calcular la potencia producida y demandada.

- Energía estacional (horizonte temporal de meses).
- **Despacho de Potencia (horizonte temporal de días).**
- **Operación del sistema eléctrico (horizonte temporal de horas).**
- Control de un aerogenerador (escala de minutos).

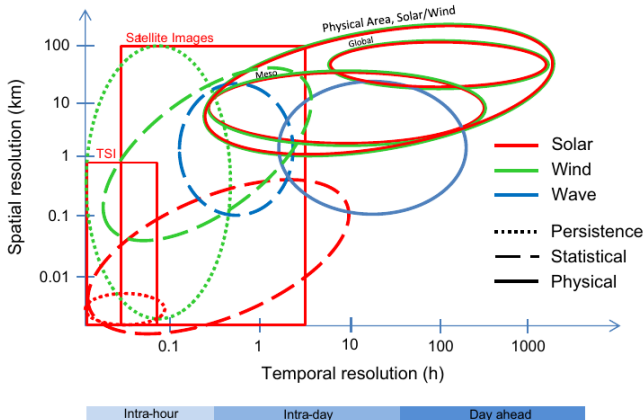
La Transición energética - modelos de pronóstico operativos.

Ya no es suficiente la planificación semestral, mensual, semanal en base información histórica, necesitamos generar información en forma de pronósticos operativos para el despacho horario diario y de los próximos días.



Herramientas de Pronóstico en función del horizonte de tiempo de tiempo.

(Widen et all, 2015) Variability assessment and forecasting of renewables: A review for solar, wind, wave and tidal resources.



Formulación del problema de predicción

La predicción de una variable x realizada en un instante t , para un horizonte temporal de predicción k , se nota $\hat{x}_{t+k|t}$ en el caso de que la variable de interés sea la potencia

$\hat{p}_{t+k|t}$.

El error en cada instante de tiempo t para cada horizonte temporal de predicción k

$$e_t = p_{t+k} - \hat{p}_{t+k|t}$$

Los datos históricos, se usan para el entrenamiento, y pueden ser utilizados los mas cercanos en el tiempo para el pronóstico operativo

$$p_t, p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-m}, x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m}$$

$$\hat{p}_{t+k|t} = f(p_t, p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-m}, x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m}, \hat{x}_{t+k|t})$$



Formulación del problema de predicción

- ¿Qué grado de precisión se necesita?
- ¿Cuál es el horizonte temporal que interesa?
- ¿Qué nivel de costo de la herramienta es admitido por el caso de análisis y de aplicación?
- ¿Qué información se tiene disponible?



Formulación Física / Formulación Estadística.

Formulación Física

- Consideran el modelo de aerogenerador, intentan describir el campo de velocidades en el sitio y su perfil en altura, modelan las estelas entre aerogeneradores.
- Modelan la radiación en plano inclinado y modelo de de panel.

Formulación Estadística

- Consideran las variables mas relevantes y buscan establecer vínculos estadísticos.
- Utilizan en forma directa la IA por ejemplo entrenando redes neuronales, sin importar el cálculo de la radiación en plano inclinado para una planta solar o modelo de aerogenerador en un parque eólico.

Determinísticos unico pronóstico / Conjunto de pronósticos (ensembles).

Determinístico (unico pronóstico).

- Se ajusta un modelo asociado a la corrida de control, se tiene un pronóstico, por parque o por planta fotovoltaica, y del total de la producción.

JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES

Deterministic Nonperiodic Flow¹

EDWARD N. LORENZ

Massachusetts Institute of Technology

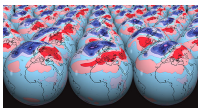
(Manuscript received 18 November 1962, in revised form 7 January 1963)

ABSTRACT

Finite systems of deterministic ordinary nonlinear differential equations may be designed to represent forced dissipative hydrodynamic flow. Solutions of these equations can be identified with trajectories in phase space. For those systems with bounded solutions, it is found that nonperiodic solutions are ordinarily unstable with respect to small modifications, so that slightly differing initial states can evolve into considerably different states. Systems with bounded solutions are shown to possess bounded numerical solutions.

A simple system representing cellular convection is solved numerically. All of the solutions are found to be unstable, and almost all of them are nonperiodic.

The feasibility of very-long-range weather prediction is examined in the light of these results.

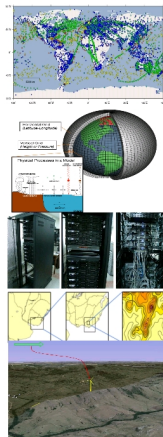


Conjunto de pronósticos (ensembles).

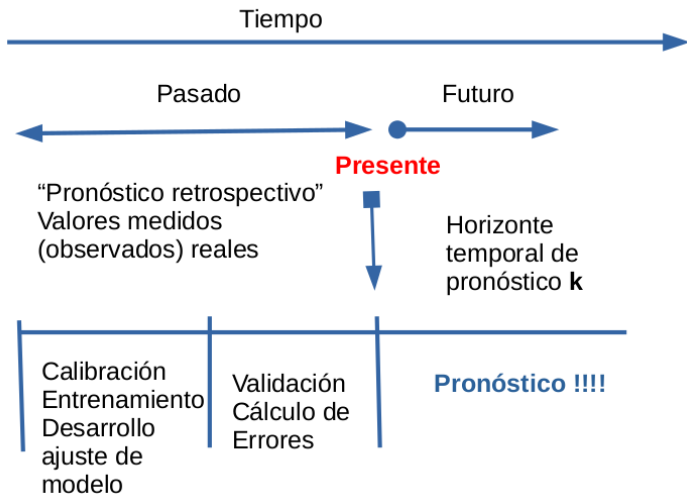
- Se tiene un conjunto de pronósticos asociados a corridas con condiciones iniciales perturbadas.
- Se pueden estimar bandas de confianza. NOAA / 30 ensembles, ECMWF / 50 ensembles. Se pueden desarrollar ensembles con los modelos regionales (WRF), tanto cambiando los esquemas numéricos como perturbando las condiciones iniciales.

Formulación de modelos de predicción

- De muy corta duración. Estadísticos, Inteligencia Artificial, Downcasting, imágenes satelitales, radar. **Operación del sistema eléctrico, horizonte temporal de horas**
- De corta duración. Se basan en la resolución numérica de los procesos físicos, modelos GCM y modelos de mesoescala, en el postprocesamiento Inteligencia Artificial. **Despacho de Potencia, horizonte temporal de días.**



Formulación de modelos de predicción

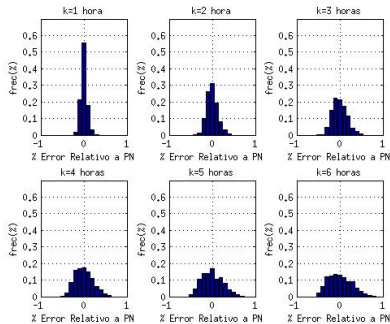


Modelos de muy corta duración -> Modelo de Persistencia

Donde $\hat{P}(t+k|t)$ es la potencia que se pronostica se inyectara en el instante $t+k$, siendo $P(t)$ la potencia que se esta inyectando en el instante t .

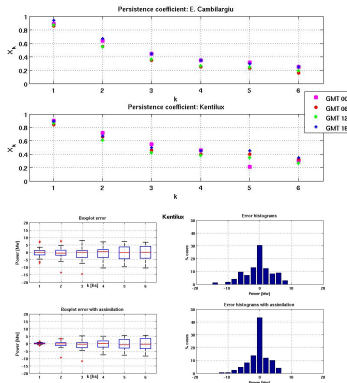
$$\hat{P}(t+k|t) = P(t) \quad (8)$$

Producción eólica inyectada a la rojo en Uruguay correspondiente a 652 MW durante enero de 2016.

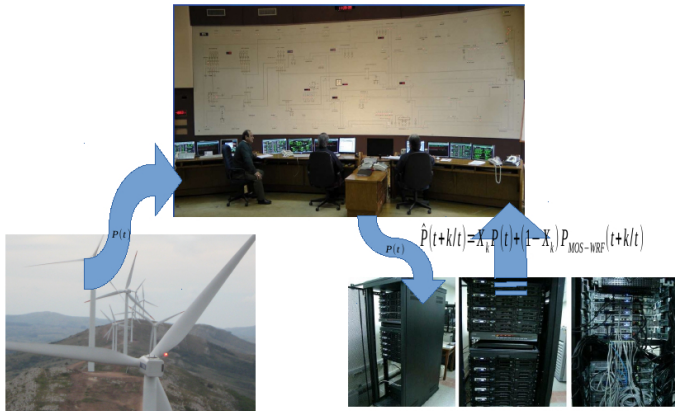


Horizonte de pronóstico hasta 6 horas.

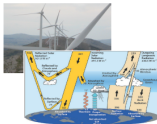
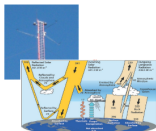
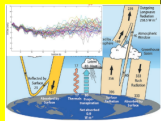
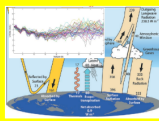
$$\hat{P}(t+k|t) = X_k P(t) + (1 - X_k) P_{num-atmos}(t+k|t)$$



Horizonte de pronóstico hasta 6 horas, considerar la potencia real $P(t)$.



Técnicas de pronóstico para cada horizonte.

Horizonte	Hasta 6 horas	Hasta 12 horas	Hasta 72 horas	Hasta 240 horas
Herramienta	Medidas de velocidad de viento asimiladas en modelos de circulación atmosférica de mesoescala	Potencia real asimilada combinada con modelos de circulación atmosférica de mesoescala	Modelos de circulación atmosférica de mesoescala	Modelos de circulación atmosférica de mesoescala
Frecuencia de disponibilidad posible	Cada una hora	Cada 6 horas	Cada 6 horas	Una vez al día aunque es posible cada 6 horas
				

Descripción del postprocesamiento del Modelo que busca pronósticar el factor de capacidad, discriminando condiciones de estabilidad.

(Gutiérrez et al, 2018)

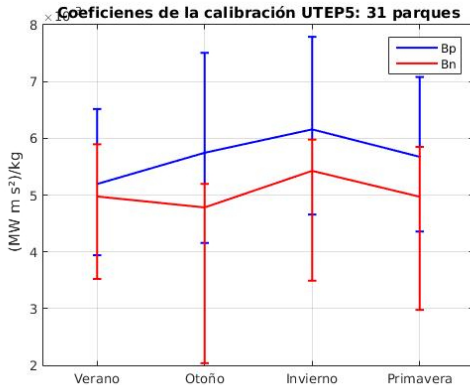
Cuando $\frac{\hat{dT}}{dz} > 0$

$$\hat{C}F_h = a_p \cdot \frac{(\hat{\rho} \hat{V}^2)}{P_{INST}} \quad (9)$$

y cuando $\frac{\hat{dT}}{dz} \leq 0$

$$\hat{C}F_h = a_n \cdot \frac{(\hat{\rho} \hat{V}^2)}{P_{INST}} \quad (10)$$

Calibración estacional $\implies a_n, a_p$



Conjunto de pronósticos (ensembles)

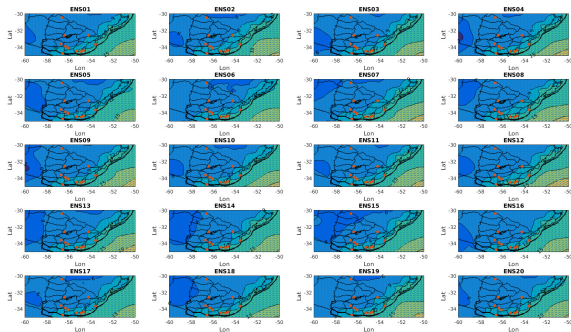
- Corridas de ensembles 20 miembros (ahora 30).
- Global Ensemble Forecast System (GEFS) como condiciones iniciales del modelo WRF
- El conjunto de corridas toma como base la incertidumbre natural que hay en las observaciones meteorológicas, las cuales son utilizadas para inicializar los pronósticos del tiempo (análisis).
- Teoría del caos. “El aleteo de una mariposa tiene un efecto de cascada que puede llevar a grande vientos a miles de kilómetros.”

Descripción Modelo UTEP5

- Los ensembles intentan cuantificar la incertidumbre generando múltiples pronósticos con pequeñas perturbaciones de las observaciones originales.
- Técnica NCEP “bred vector” apunta a proveer de una muestra aleatoria de los errores del análisis, en el espacio del subconjunto donde los errores crecen más rápido.

Evento 18 de Marzo de 2018, ciclón extratropical

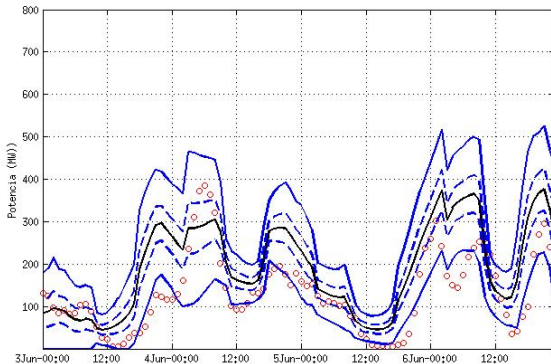
20 corridas GFS-WRF



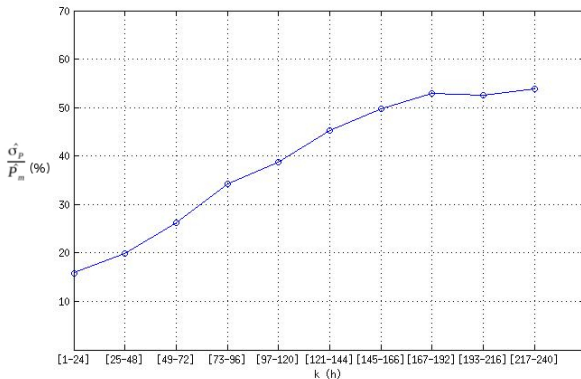
Calculo de N_σ , para cada horizonte de tiempo.

$$\hat{P}_m - N_\sigma \hat{\sigma}_p < P < \hat{P}_m + N_\sigma \hat{\sigma}_p$$

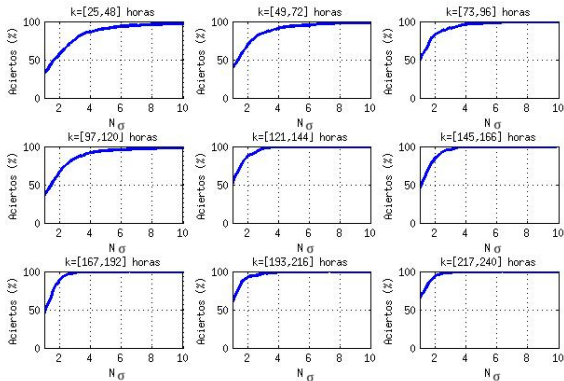
Rojo Pot-real; Azul discontinuo $N_\sigma = 1$; Azul continuo $N_\sigma = 3$



Dispersión entre corridas Vs horizonte de tiempo



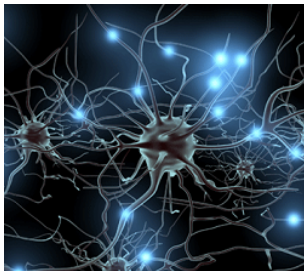
Metodología - Intervalos de confianza $\implies N_{\sigma}$.



Redes Neuronales Artificiales

- Las RNA están inspiradas en las redes neuronales biológicas.
- Para la aplicación de las RNA se debe contar con datos de alta calidad, las RNA se entrenan con los datos históricos

$p_t, p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-m}, x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m}$

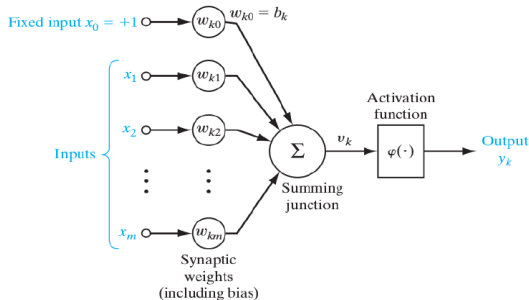


Redes Neuronales Artificiales

- x_j son las variables de entrada
- w_{kj} son los pesos que se ajustan durante el entrenamiento, para cada neurona k y variable j
- para cada neurona k se hace la suma del peso de cada variable de entrada

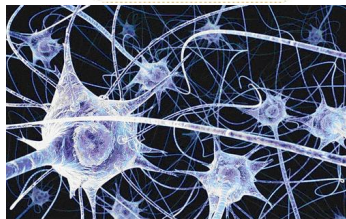
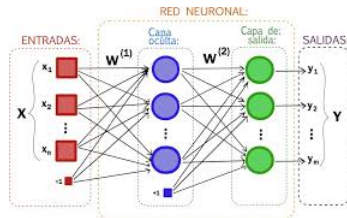
$$u_k = \sum_{j=1}^{j=m} x_j w_{kj}$$

- se agrega en cada neurona una corrección del bias,
 $v_k = u_k + b_k$
- a v_k se le aplica la función de activación $\varphi(v_k)$

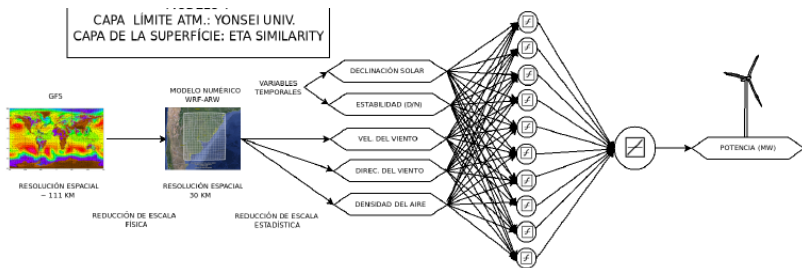


Redes Neuronales Artificiales

- Ejemplo de una red multicapa
- Durante el entrenamiento el algoritmo que generalmente se utiliza es el algoritmo de retropropagación.
- Los datos deben ser de alta calidad, las RNA se entrenan con los datos históricos $p_t, \dots, p_{t-m}, x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-m}$, tanto de las variables de salida como de las variables de entrada.

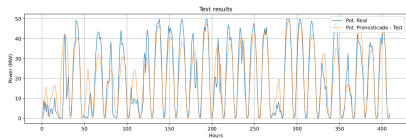
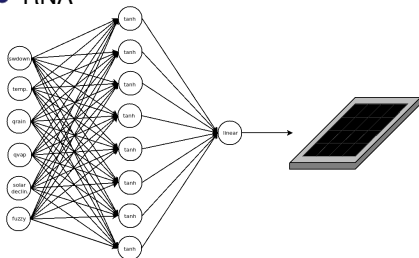


Modelo en base a RNA (de Almeida et al, 2018).

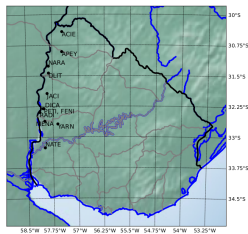


Algunas técnicas desarrolladas para el pronóstico de energía solar

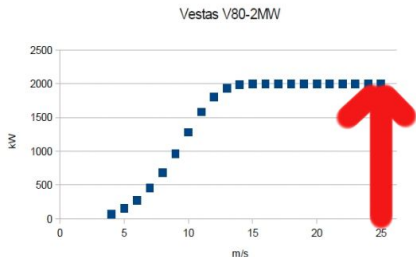
● RNA



- LSTM tiene tanto **memoria a largo plazo** como **memoria a corto plazo**.

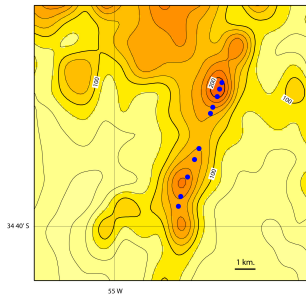


Eventos de desconexión por velocidad de corte velocidad CUT-OUT



Emanuelle Cambilargiu wind farm

Emanuelle Cambilargiu 20 MW → 10 Vestas V80, 2MW



Características de los eventos

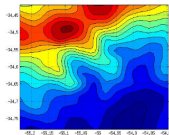
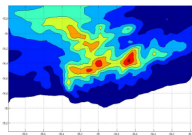
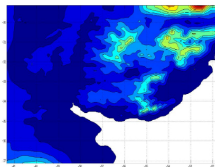
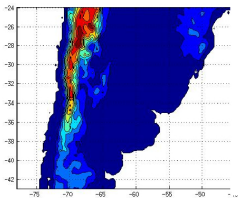
Emanuelle Cambilargiu 20 MW → 10 Vestas V80, 2MW

Unit	Detected	Device acknowledged	Reset/Run	Duration	Event
AG07	07/12/2012 00:22	07/12/2012 02:04	07/12/2012 02:04	1:41:46	event o14
AG10	07/12/2012 00:37	07/12/2012 01:54	07/12/2012 01:54	1:17:41	event o14
AG09	07/12/2012 00:40	07/12/2012 00:40	07/12/2012 01:59	1:19:14	event o14
AG01	07/12/2012 00:48	07/12/2012 02:18	07/12/2012 02:18	1:29:19	event o14
AG04	07/12/2012 00:51	07/12/2012 02:16	07/12/2012 02:16	1:24:13	event o14
AG08	07/12/2012 00:53	07/12/2012 02:02	07/12/2012 02:02	1:09:00	event o14
AG02	07/12/2012 01:01	07/12/2012 02:16	07/12/2012 02:16	1:15:11	event o14
AG03	07/12/2012 01:11	07/12/2012 02:05	07/12/2012 02:05	0:53:55	event o14
AG05	07/12/2012 01:14	07/12/2012 02:00	07/12/2012 02:00	0:46:34	event o14
AG02	16/12/2012 15:51	16/12/2012 16:00	16/12/2012 16:00	0:09:14	event o15
AG10	25/12/2012 04:56	25/12/2012 05:01	25/12/2012 05:02	0:05:11	event o16
AG10	25/12/2012 05:20	25/12/2012 05:25	25/12/2012 05:25	0:05:35	event o16
AG04	31/12/2012 16:33	31/12/2012 16:49	31/12/2012 16:49	0:16:26	event o17
AG03	31/12/2012 16:33	31/12/2012 16:51	31/12/2012 16:51	0:17:08	event o17
AG02	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:51	31/12/2012 16:51	0:17:04	event o17
AG10	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:55	31/12/2012 16:55	0:21:15	event o17
AG09	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:56	31/12/2012 16:57	0:23:33	event o17
AG01	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:51	31/12/2012 16:51	0:17:31	event o17
AG06	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:35	31/12/2012 16:53	0:19:12	event o17
AG08	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:52	31/12/2012 16:53	0:18:37	event o17
AG07	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:35	31/12/2012 16:49	0:14:46	event o17
AG05	31/12/2012 16:34	31/12/2012 16:49	31/12/2012 16:50	0:15:30	event o17
AG06	31/12/2012 16:35	31/12/2012 16:53	31/12/2012 16:53	0:18:04	event o17
AG07	31/12/2012 16:35	31/12/2012 16:49	31/12/2012 16:49	0:13:35	event o17



WRF-ECMWF –Ráfaga—> Pronóstico de Desconexión

WRF » 4 dominios d01 30 km, d02 10 km, d03 3.3 km, d04 1.1 km.



Modelo: **WRF-ECMWF modelo de Ráfaga** $g = \bar{V} + 7,71u_*$

Ventana temporal para la alarma d01-30km d02-10km d03-3.3km d01-1.1km

Sí $g = \bar{V} + 7,71u_* > g_{Alarm}$

Ventanas temporales para la alarma $[t_{g>g_{Alarm}} - 12, t_{g>g_{Alarm}} + 12]$

Alarm=1

else

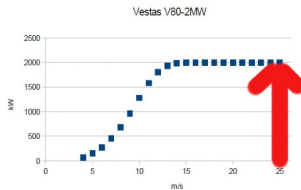
Alarm=0

FIN

WRF » 4 dominios d01-30km, d02-10 km, d03-3.3 km, d04-1.1 km.
Interpolando con el punto más cercano de grilla.

Eventos de desconexión

Cut Out Begh (DD/MM/YY hh:mm)	Total Duration (hh:mm)	Wind Turbines Affected (#)	30km			10km			3.3km			1.1km		
			Alarm Begh (h)	End (h)	Δt	Alarm Begh (h)	End (h)	Δt	Alarm Begh (h)	End (h)	Δt	Alarm Begh (h)	End (h)	Δt
31/01/12 03:33	01:33	788991010 781097110 10984109 141010	0	---	--	0	---	--	1	0	-2	1	0	-2
08/08/12 02:54	04:38	781097110 10984109 141010	0	---	--	0	---	--	1	0	-2	1	4	4
19/09/12 10:51	08:59	781097110 10984109 141010 77474410 107410798 48512363 7101279	1	-3	-4	1	2	-1	1	-5	-2	1	-4	-4
23/10/12 02:46	12:31	781097110 10984109 141010 77474410 107410798 48512363 7101279	1	-1	-3	1	-3	1	1	3	-14	1	3	-4

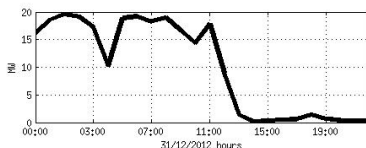
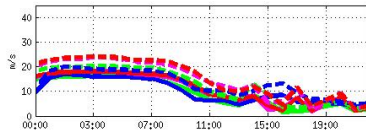


31/1/2012 03:30

Cut Out Begh (DD/MM/YY hh:mm)	Total Duration (hh:mm)	Wind Turbines Affected (n)	Alarm 30km	30km Begh (h)	Δt 30km (h)	End (h)	Alarm 10km	10km Begh (h)	Δt 10km (h)	End (h)	Alarm 3.3km	3.3km Begh (h)	Δt 3.3km End (h)	Alarm 1.1km	1.1km Begh (h)	Δt 1.1km End (h)
31/01/12 03:33	01:33	78 9 9 10 10	0	---	---	---	0	---	---	---	1	0	-2	1	0	-2
08/08/12 02:54	04:38	78 10 9 4 10 9 84 10 10	0	---	---	---	0	---	---	---	1	0	-2	1	4	4
19/09/12 10:51	08:55	74 1 8 7 5 4 1 78 8 10 2 4 7 77 4 7 4 4 10 83 7 4 10 7 8 88 8 1 2 3 6 3 7 10 1 2 7 9	1	-3	-4		1	2	-1		1	-5	-2	1	-4	-4
23/10/12 02:45	12:31	81 0 7 9 9 5 2 83 1 0 4 2 9 3 87 7 7 7 7 7 8 77 3 2 7 9 10 77	1	-1	-3		1	-3			1	3	-14	1	3	-4

VERDE d01-30km, AZUL d02-10 km, MAGENTA d03-3.3 km, ROJO d04-1.1 km.

Línea continua \bar{V} (WRF). Línea discontinua $g = \bar{V} + 7,71u_*$ (WRF)

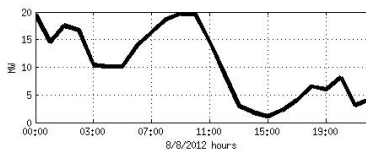
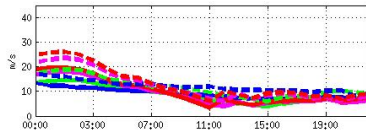


8/8/2012 02:54

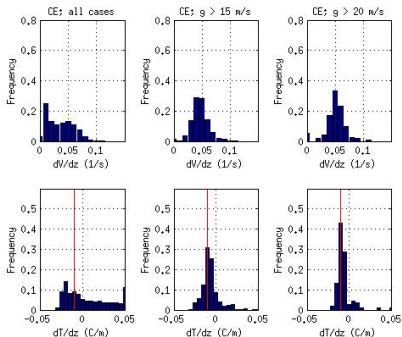
Cut Out Begh (DD/MM/YY hh:mm)	Total Duration (hh:mm)	Wind Turbines Affected (n)	Alarm 30km	30km Begh (h)	Δt 30km (h)	End (h)	Alarm 10km	10km Begh (h)	Δt 10km (h)	End (h)	Alarm 3.3km	3.3km Begh (h)	Δt 3.3km (h)	End (h)	Alarm 1.1km	1.1km Begh (h)	Δt 1.1km (h)	End (h)
31/01/12 03:33	01:33	78 9 9 10 10	0	---	---	---	0	---	---	---	1	0	-2	---	1	0	---	---
08/08/12 02:54	04:38	78 10 9 4 10 9 84 10 10	0	---	---	---	0	---	---	---	1	0	-2	---	1	4	4	4
19/09/12 10:51	08:55	78 10 7 5 4 1 78 8 10 2 4 7 77 4 7 4 4 10 83 7 4 10 7 9 8 88 8 1 2 3 6 3 7 10 1 2 7 9	1	-3	-4	1	2	-1	1	-5	-2	1	-4	-4	1	-4	-4	-4
23/10/12 02:45	12:31	81 0 7 9 9 5 2 83 10 4 2 9 3 87 7 7 7 7 7 8 87 3 2 7 9 10 77	1	-1	-3	1	-3	1	1	3	-14	1	3	-4	1	3	-4	-4

VERDE d01-30km, AZUL d02-10 km, MAGENTA d03-3.3 km, ROJO d04-1.1 km.

Línea continua \bar{V} (WRF). Línea discontinua $g = \bar{V} + 7,71u_*$ (WRF)

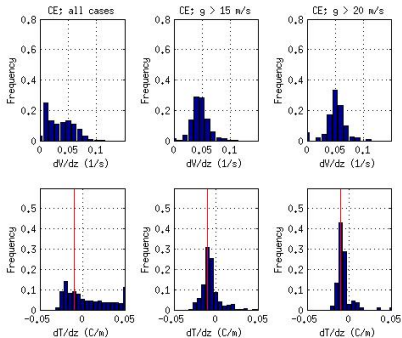


Ráfagas $\rightsquigarrow \frac{\partial V}{\partial z} \rightsquigarrow \frac{\partial T}{\partial z}$.



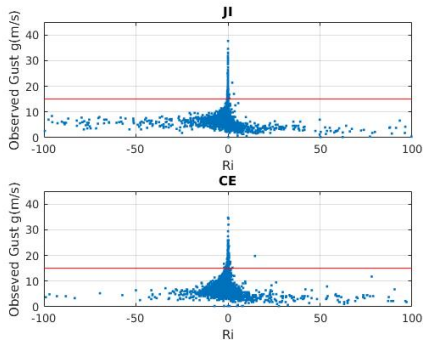
- Torre de medición Colonia Eulacio (CE) $\frac{\partial V}{\partial z}$ medida entre at 101.8 m and 10.1 m (histogramas $\frac{\partial V}{\partial z}$).
- Gradiente Vertical de temperatura $\frac{\partial T}{\partial z}$ (histogramas $\frac{\partial T}{\partial z}$) medida entre 100.8 m y 3.4 m.
- De derecha a izquierda se presentan los casos todos los casos luego $g > 15m/s$, y $g > 20m/s$

Ráfagas $\leftrightarrow \frac{\partial V}{\partial z} \leftrightarrow \frac{\partial T}{\partial z} \leftrightarrow Ri.$



$$Ri = \frac{g_0}{\Theta} \frac{\partial \Theta / \partial z}{(\partial \bar{V} / \partial z)^2}$$

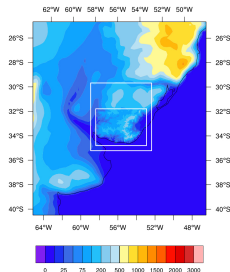
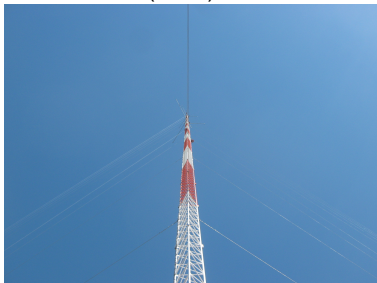
$$g \uparrow \frac{\partial T}{\partial z} \rightarrow -0,01 C/m \frac{\partial \Theta}{\partial z} \rightarrow 0 \uparrow \frac{\partial V}{\partial z} Ri \rightarrow 0$$



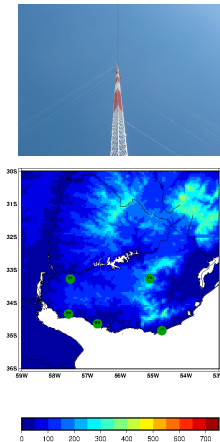
Modelos de ráfaga comparando su desempeño con medidas.

$$g = \max(V(t)) = \max(\bar{V}(t) + V(t)')$$

Ráfagas a la altura del cubo de la turbina *sim* 100 m sobre el nivel del suelo (AGL).



Datos considerados



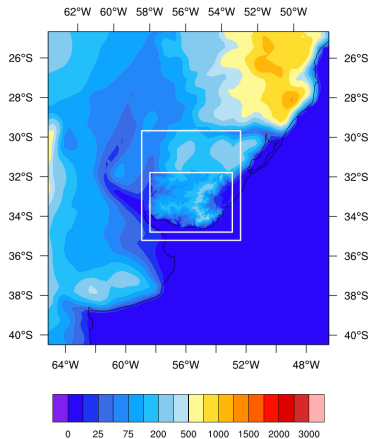
Torres y alturas de las mediciones de velocidad del viento.

	Lat	Lon	Identifera	Anemometer height (m)
Colonia Eulacio	-33.280	-57.522	CE	101
Jose Ignacio	-34.850	-54.735	JI	98.4
McMeekan	-34.643	-56.695	MM	101.5
Rosendo Mendoza	-34.343	-57.578	RM	101.2
Valentines	-33.265	-55.101	VA	91.7

- **Ráfagas de viento** se miden como la velocidad máxima del viento observada durante un período fijo, la media y los valores máximos se calcularon para intervalos de 1 h en base a datos de 10 min determinados a partir de muestras de 2 s.

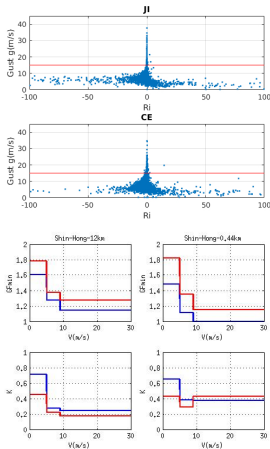
WRF dominio y experimento numérico

WRF version 3.9, (GFS) Grids 30, 10, and 3.3 km, MODIS topography and landuse. 48-h from (01/06/2016 to 31/05/2018) 12 h discarded as spinup. Model physics RRTM longwave (Mlawer et al., 1997) and Dudhia shortwave (Lacis and Hansen, 1974; Stephens, 1978) radiation schemes, Lin microphysics (Lin et al., 1983), and the Noah land surface model (Chen and Dudhia, 2001). The Kain-Fritsch (Kain, 2004; Kain and Fritsch, 1990) cumulus parameterization was employed in the 30 km and 10 km domains, and gust model performance was assessed using two different PBL schemes, those being MYJ (Mellor and Yamada, 1974, 1982; Janjic, 1994), and Bretherton-Park (Bretherton and Park, 2009), 2 PBLs MYJ and Bretherton-Park.



Parametrización de ráfagas ✓

(Gutiérrez y Fovell 2018) el modelo es una parametrización de ráfagas con un enfoque general, la ráfaga calculada en cada paso del tiempo en el experimento numérico.

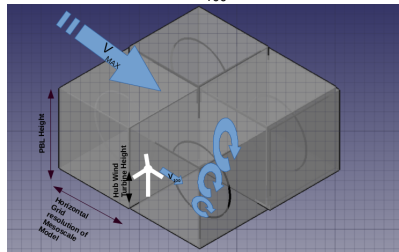


$$\Delta V^{Top} = \max(0, (V_{MAX} - V_{100}))$$

$$GF = GF_{min} + K \frac{\Delta V^{Top}}{V_{100}}$$

If $(GF_{min} V_{100} + K \Delta V^{Top}) > 11,5m/s$ and $(-0,5 < Ri < 0,5)$

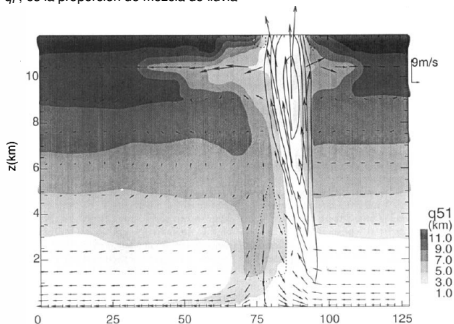
$$GF = S_{Ri}(GF_{min} + K \frac{\Delta V^{Top}}{V_{100}})$$



(Nakamura et al., 1996) Ráfagas tormentas convectivas

$$V_{gust} = \sqrt{\alpha \int_0^H 2g \left(\frac{\theta}{\theta} + q_r \right) dz + \beta V(H)^2}$$

Modelo de ráfagas para tormentas por convección, una masa m a una altura H que está a punto de formar parte de una corriente descendente convectiva. La masa se moverá horizontalmente con la velocidad $V(H)$, con una energía cinética inicial $\frac{1}{2} mV(H)^2$. La precipitación que cae en la parcela puede evaporarse (o derretirse), haciendo que la parcela se enfríe, y esto junto con el efecto de carga de la precipitación en sí misma le da flotabilidad negativa a la parcela, haciendo que se acelere hacia abajo. Dada la fuerza descendente en el esquema es $mg\Delta\theta/\theta + mgq_r$, donde $\Delta\theta$ es el déficit de temperatura potencial en la corriente descendente, θ es la temperatura potencial de los alrededores, y q_r , es la proporción de mezcla de lluvia



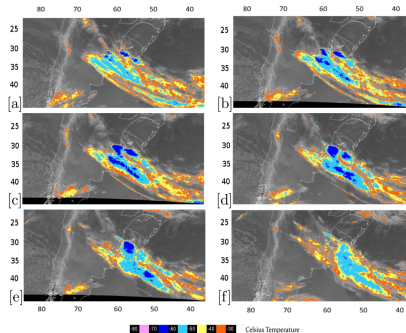
¿Ráfagas en tormentas convectivas ? ¿Como funciona?

Procesamos q_r^a la relación de mezcla de agua de lluvia integrada en la columna como parámetro de pronóstico para la discriminación de la actividad convectiva cuando $q_r^a > 0,0003 \text{ kg } H_2O / \text{kg } air$, calculamos la ráfaga durante el evento convectivo pronosticado con la formulación de Nakamura y comparamos la ráfaga calculada con el modelo (Gutiérrez y Fovell 2018).

GOES-13 imágenes satelitales 18-19/AGO/2017

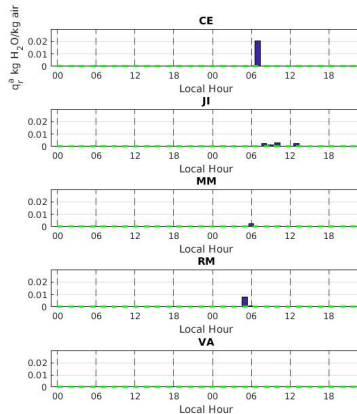
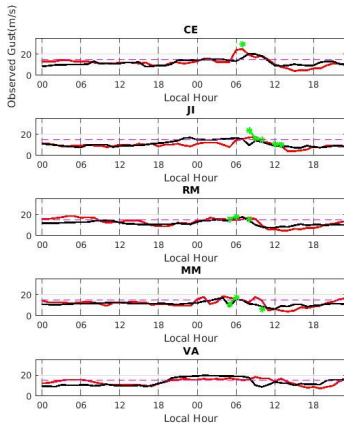
GOES-13 (Este) cubre América del Sur. El canal infrarrojo (IR) entre $10 - 13 \mu m$ detecta la energía emitida por la atmósfera, las nubes y la superficie de la tierra. Puede proporcionar la temperatura del tope de la nube para que se pueda inferir su altura. Las nubes más frías pueden ayudar a determinar las áreas donde ocurren eventos de convección extremos.

Conjunto de imágenes satelitales GOES-13 para el evento convectivo. En la figura a) 06:00 19/AGO, b) 07:00 19/AGO, c) 08:00 19/AGO, d) 09:00 19/AGO e) 10:00 19/AGO f) 12:00 19/AGO hours, hora local.



Evento 18-19/AUG/2017

Linea en Rojo dato observado de ráfaga - Linea en Negro modelo Gutiérrez - Fovell
Puntos verde modelo Nakamura
Barras en azul pronóstico q_r^a - Linea en Verde limite para detectar evento convectivo
 $q_r^a > 0,0003$



Modelo de ráfaga

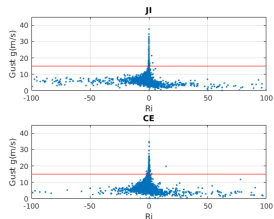
¿Como funciona $g > 15m/s$? $\rightsquigarrow S_{Ri}$

$$\Delta V^{Top} = \max(0, (V_{MAX} - V_{100}))$$

$$GF = GF_{min} + K \frac{\Delta V^{Top}}{V_{100}}$$

If $(GF_{min} V_{100} + K \Delta V^{Top}) > 11,5m/s$
and $(-0,5 < Ri < 0,5)$

$$GF = S_{Ri}(GF_{min} + K \frac{\Delta V^{Top}}{V_{100}})$$



Porcentaje de casos de alarma verdadera con corrección de S_{Ri} para el modelo GF para pronósticos de torres VA, CE y RM entre los casos $q_r^a > 0,00029kg_{H_2O}/kg_{air}$ para MYJ y Bretherton Park esquemas de capas límite planetarias.

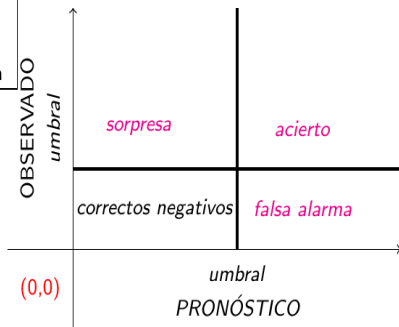
	VA	CE	RM
MYJ (TA S_{Ri} Correction G-F)/(TA G-F)	98 %	100 %	98 %
BP (TA S_{Ri} Correction G-F)/(TA G-F)	99 %	91 %	98 %

Combinación de ensembles para pronóstico de precipitaciones

- Se analizan los **ensembles** de los pronósticos globales, **NCEP (20)** y **ECMWF (50)**, en forma **individual**, y **combinando** los dos.
- Promedio de cada pronóstico. **NCEP,ECMWF**
- Promedio de los 70 miembros. **ENS70**
- Promediar la media de los dos pronósticos. **ENSMED**
- Grilla: 1.x1, y acumulados de precipitación en 24hrs.
- Se eliminan los días que falta uno de los pronósticos. (NCEP, generalmente).

Tabla de contingencia

		Pronóstico	
		NO	SI
Observado	SI	Sorpresa	Acierto
	NO	Correctos Negativos	Falsa Alarma

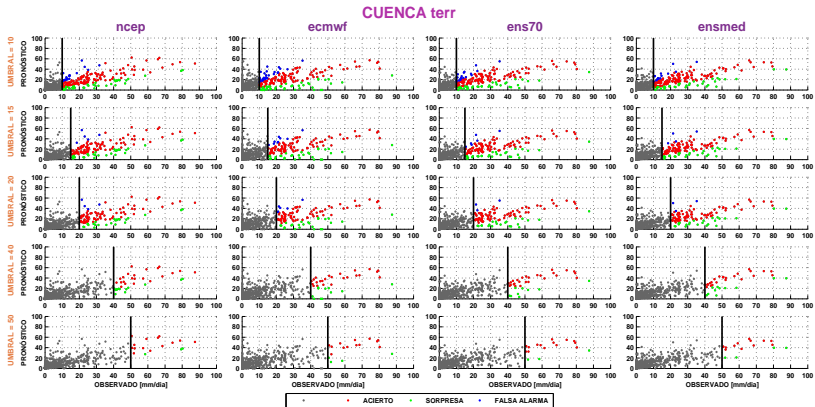


Criterios para evaluar pronósticos

Se buscan los días que se **observó precipitación mayor a cierto umbral** . Y para esos días se definen:

- **ACIERTOS:**
 $\text{observación} * 0.5 < \text{Pronóstico} < \text{observación} * 1.5$
- **SORPRESAS:**
 $\text{Pronóstico} \leq \text{observación} * 0.5$
- **FALSAS ALARMAS:**
 $\text{Pronóstico} \geq \text{observación} * 1.5$

Matriz de contingencia para Terra



Resumen de estadísticas

