



Mapa Eólico del Uruguay

José Cataldo

Grupo de Trabajo en Energías Renovables

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

Instituto de Ingeniería Eléctrica

Facultad de Ingeniería .- Universidad de la República

“Lanzamiento de la Maestría en Ingeniería de la Energía, Montevideo, 4 de mayo de 2010.



Grupo de Trabajo en Energías Renovables

Ing. Ventura Nunes Ing. Alejandro Gutiérrez

Bach. Martín Zeballos

- Acuerdo MIEM – UDELAR
 - Programa de Energía Eólica en Uruguay (Proyecto URU/05/G31)

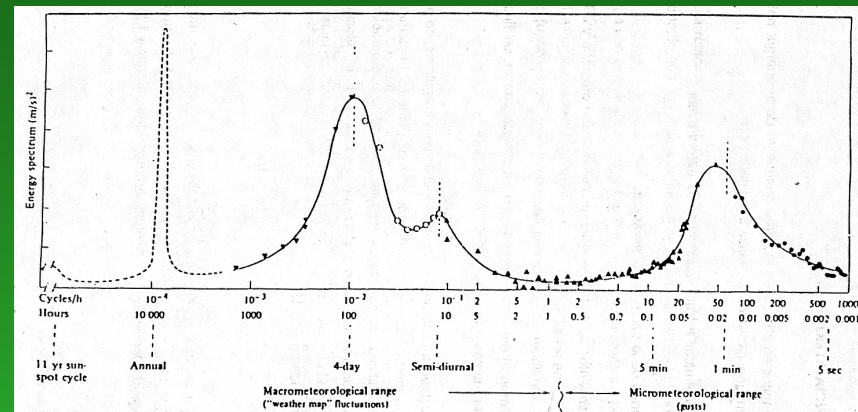


Objetivo

- Visualización del clima de vientos en el país
 - Identificación de zonas con mayor recurso
 - Caracterización del clima de vientos
 - Velocidad media, estadística
 - Operación de aerogeneradores
 - Energía generada, factor de capacidad, Emisiones evitadas
 - Primer avance sobre la prospección del recurso eólico
-
- Resolución de singularidades
 - Metodologías específicas
 - Escalas

Datos de base

- Información meteorológica
 - Series históricas “largas”
 - Períodos de un año
 - Tres períodos
 - Análisis de calidad
 - Estadística de valores medios
 - Datos faltantes (“huecos”)
 - Estadística multivariada – Conjunto
 - Datos simultáneos
 - Eliminación – Llenado de huecos
 - Base de datos consistente
 - Como conjunto
 - Con la física



Topografía

Rugosidad

Localización de estaciones



Metodología

- Modelación del flujo
 - Parámetros significativos – Valores medios
 - Flujo irrotacional – incompresible
 - Interpolación – Conservación de masa
 - Campo inicial de velocidad (“buena aproximación”)
- Esquema numérico – Elementos finitos

Metodología

Determinar la velocidad en S

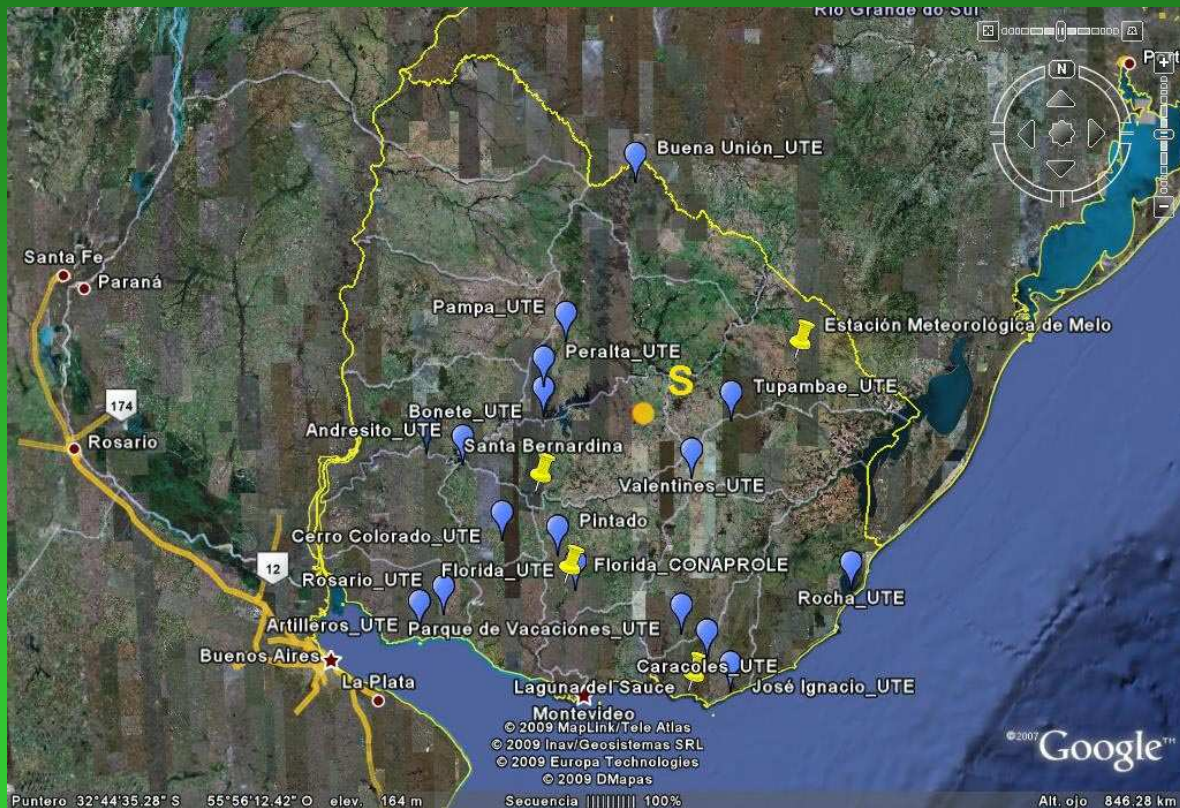
- Serie histórica
- Serie histórica en Estaciones
- Aplicación del modelo



Patrones Principales



Patrones climáticos,
Elevada correlación

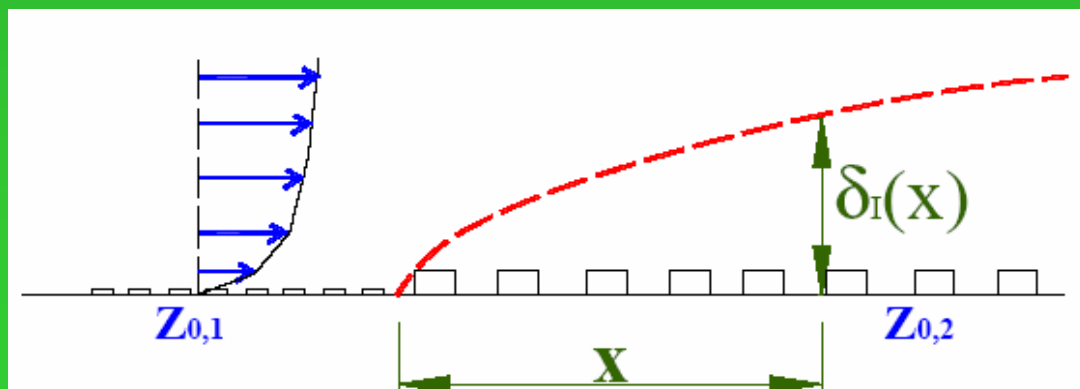


Metodología

- Rugosidad

Surface type	Roughness length (m)	Number of references
Sea, loose sand and snow	≈0.0002 (U-dependent)	17
Concrete, flat desert, tidal flat	0.0002 – 0.0005	5
Flat snow field	0.0001 – 0.0007	4
Rough ice field	0.001 – 0.012	4
Fallow ground	0.001 – 0.004	2
Short grass and moss	0.008 – 0.03	4
Long grass and heather	0.02 – 0.06	5
Low mature agricultural crops	0.04 – 0.09	4
Low mature crops ("grain")	0.12 – 0.18	4
Continuous bushland	0.35 – 0.45	2
Mature pine forest	0.8 – 1.6	5
Dense low buildings ("suburb")	0.4 – 0.7	3
Regularly-built large town	0.7 – 1.5	4
Tropical forest	1.7 – 2.3	2

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{(z-d)}{z_0}\right)$$





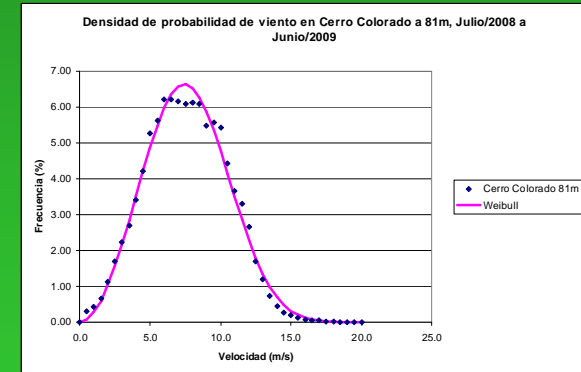
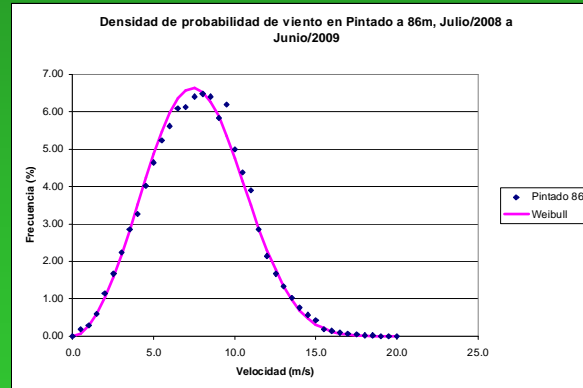
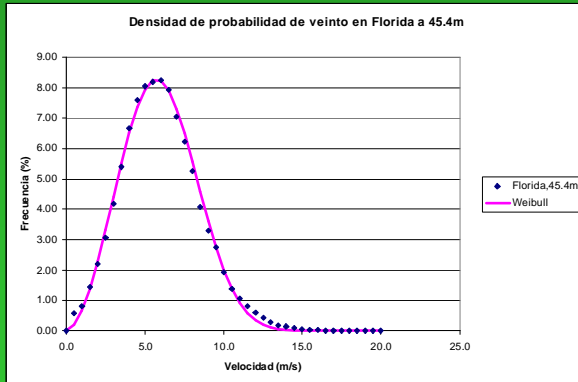
Análisis de datos

- Series históricas de datos – Estaciones meteorológicas
- Condición de frontera en el interior del volumen de cálculo
- Fuentes de información
 - Dirección Nacional de Meteorología
 - Red de monitoreo de UTE
 - Relevamiento – Facultad de Ingeniería
- **Comparación de resultados estadísticos**
- **Patrones principales**

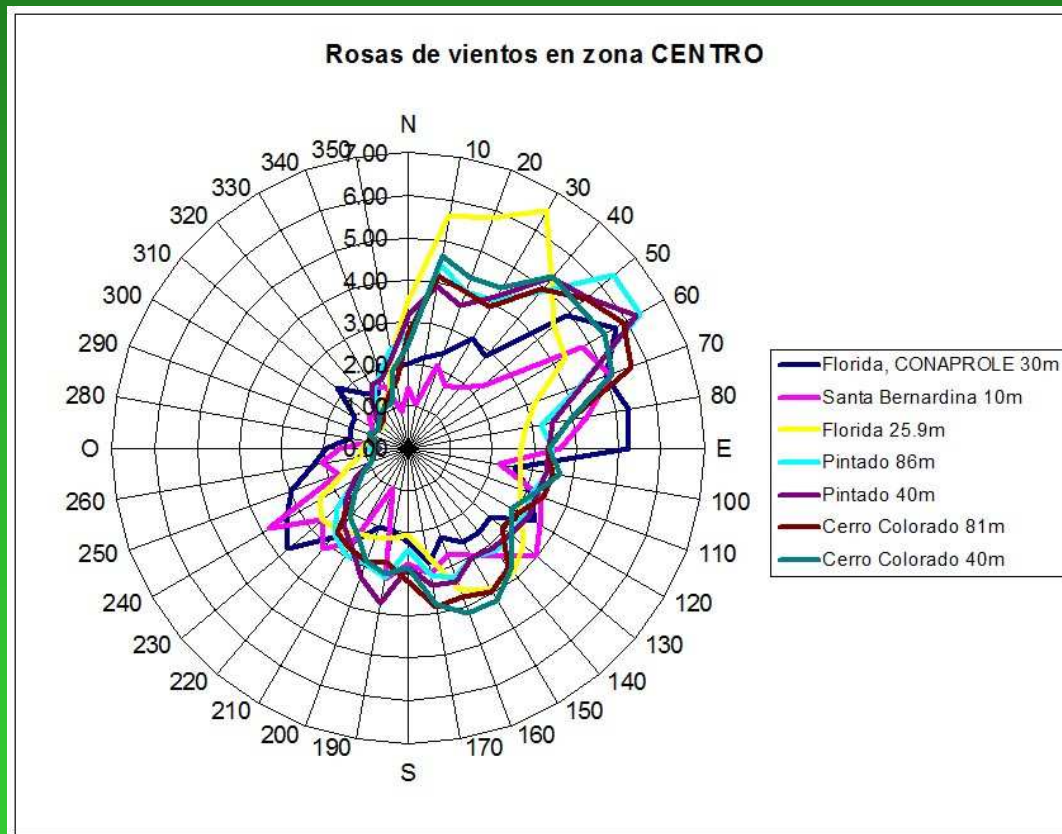


Análisis de datos

- Zona CENTRO
 - Florida, Pintado, Cerro Colorado
 - Santa Bernardina, Florida-CONAPROLE
 - Velocidad media a 80m – 7.5m/s



Análisis de datos

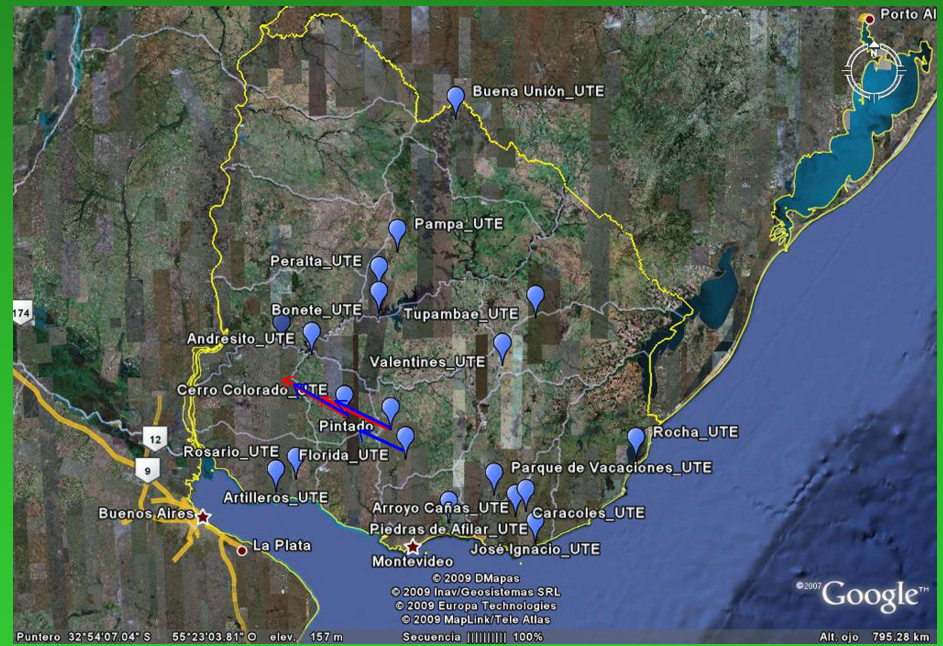
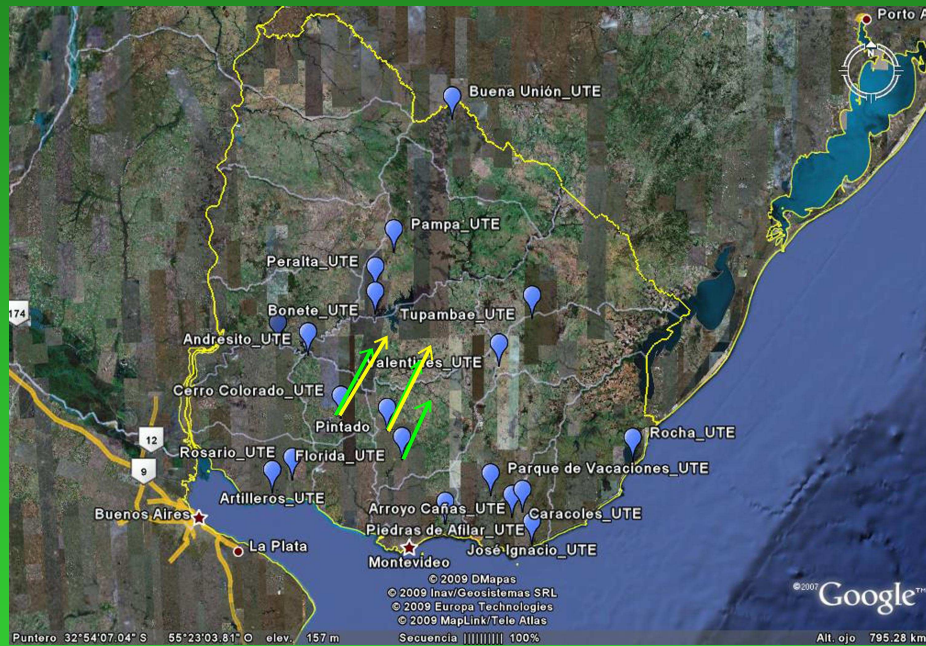


Análisis de datos

Patrones principales

Patrón 1

Patrón 2

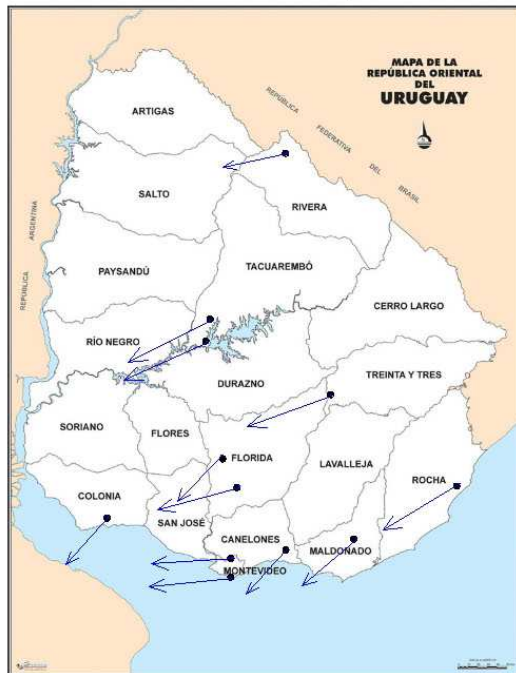


Avance en el mapa eólico

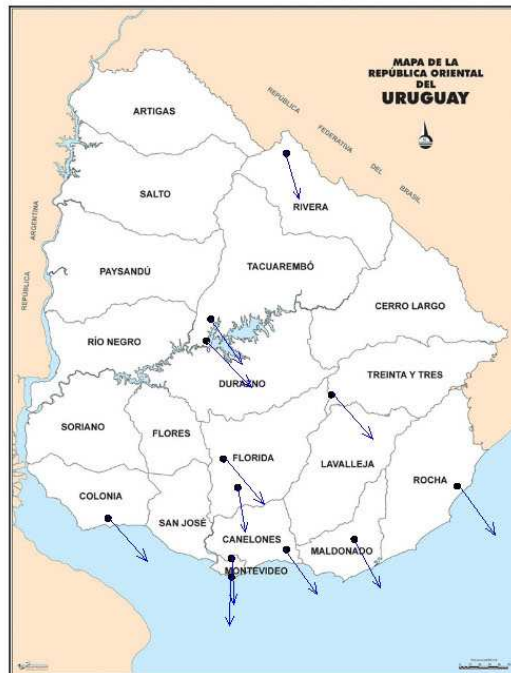
- Patrones principales

Patrones Principales

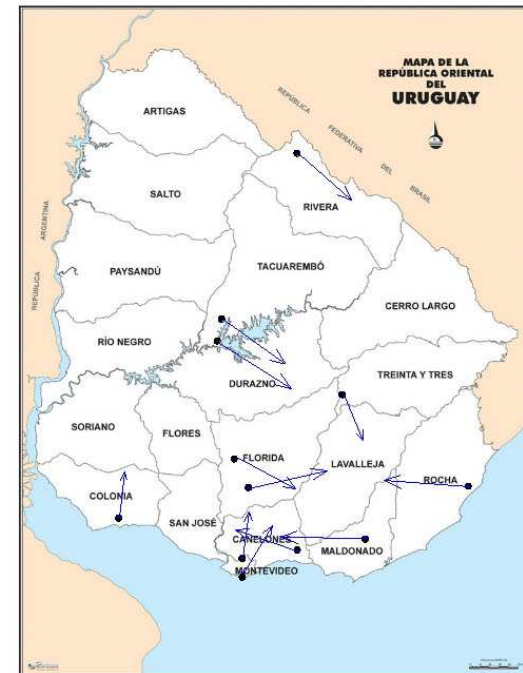
1^{er} Patrón Principal



2^o Patrón Principal



3^{er} Patrón Principal





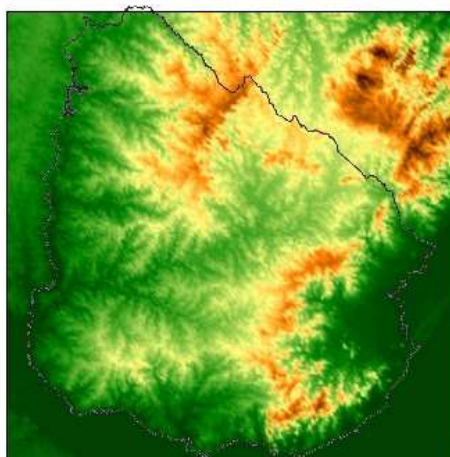
Avance en el mapa eólico

- Salidas del modelo (Serie histórica)
 - Corridas a dos escalas (terreno 90m)
 - 3km
 - 300m

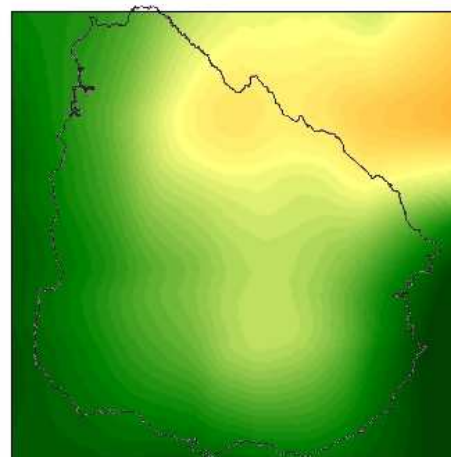
Avanzando en el mapa eólico

Topografía de la zona estudiada (Uruguay)

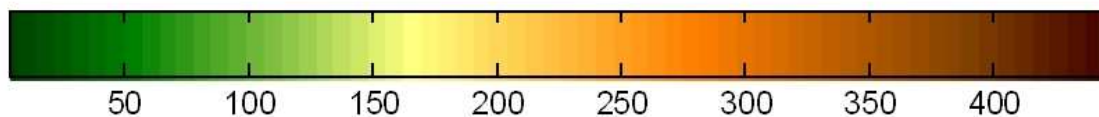
Topografía



Cota "cero"



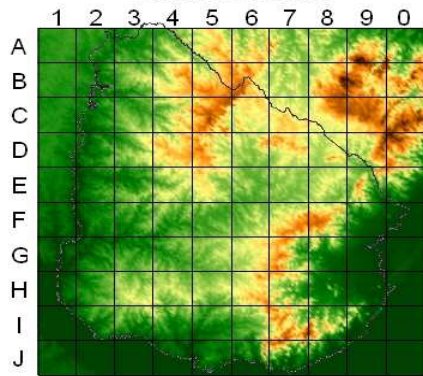
Altura (m)



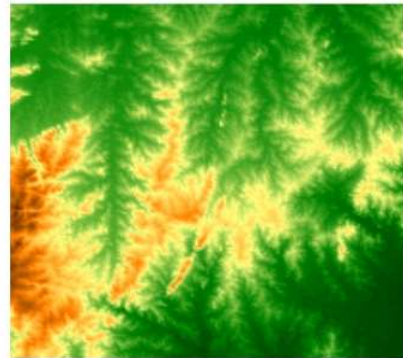
Avance en el mapa eólico

Topografía de zona

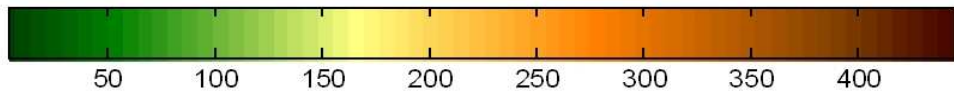
Grilla de zonas



Zona I8

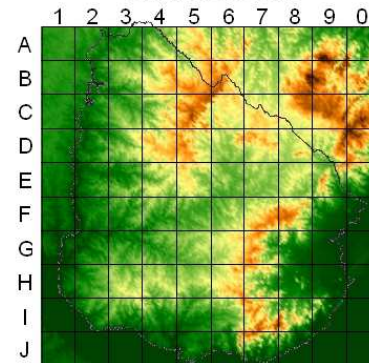


Altura (m)

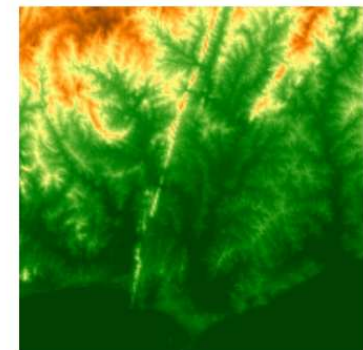


Topografía de zona

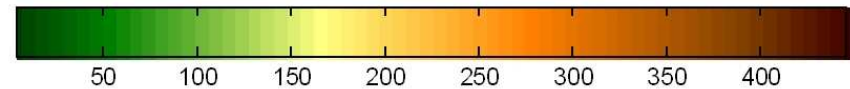
Grilla de zonas



Zona J7

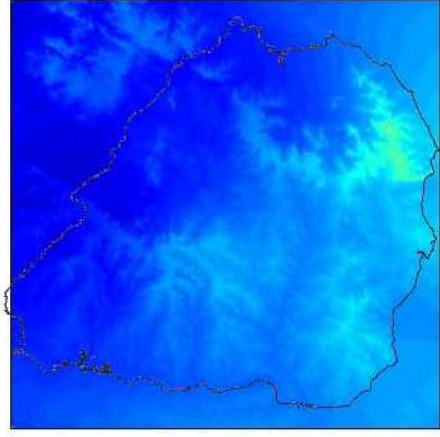


Altura (m)

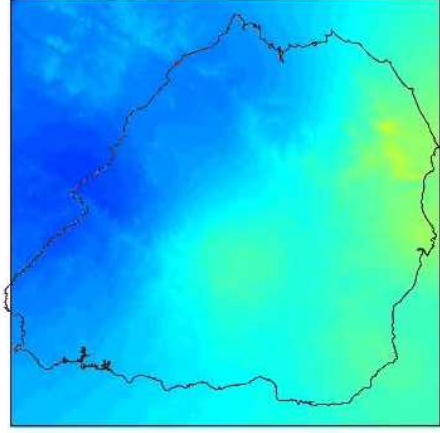


Mapas de igual velocidad media anual

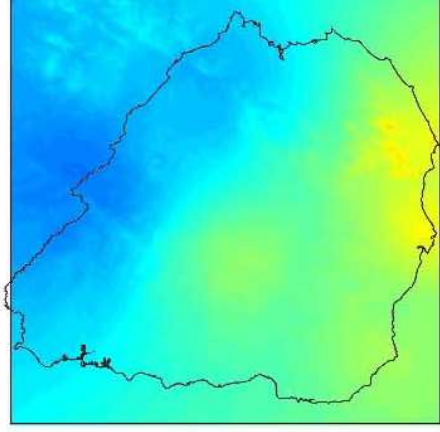
Altura: 15m



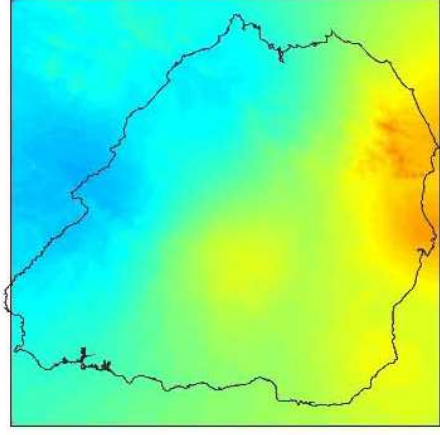
Altura: 30m



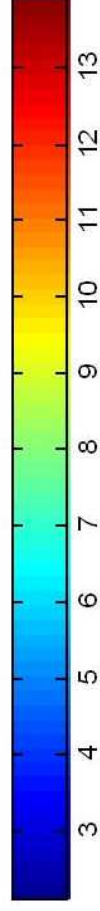
Altura: 50m



Altura: 90m

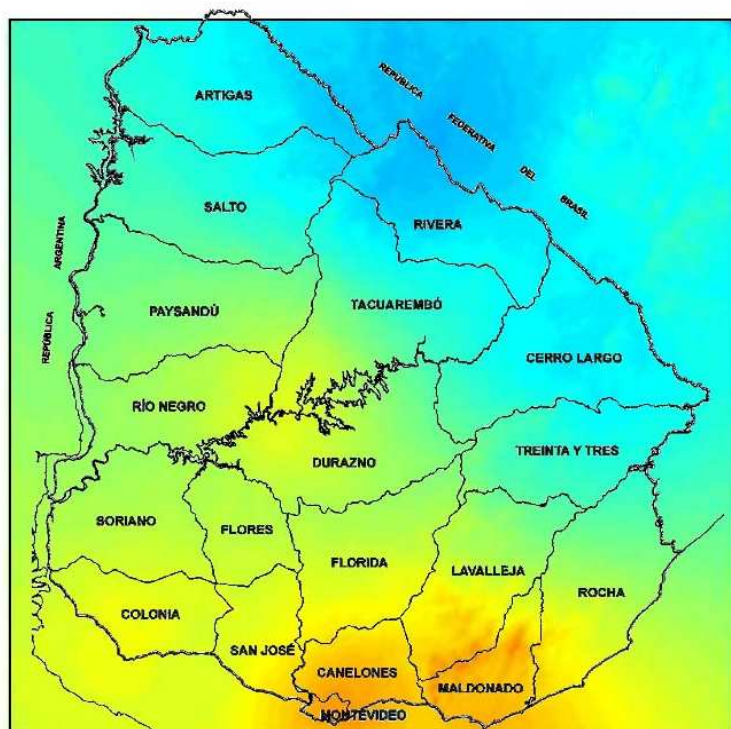


Velocidad (m/s)

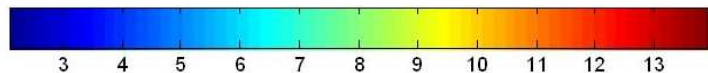


Avance en el mapa eólico

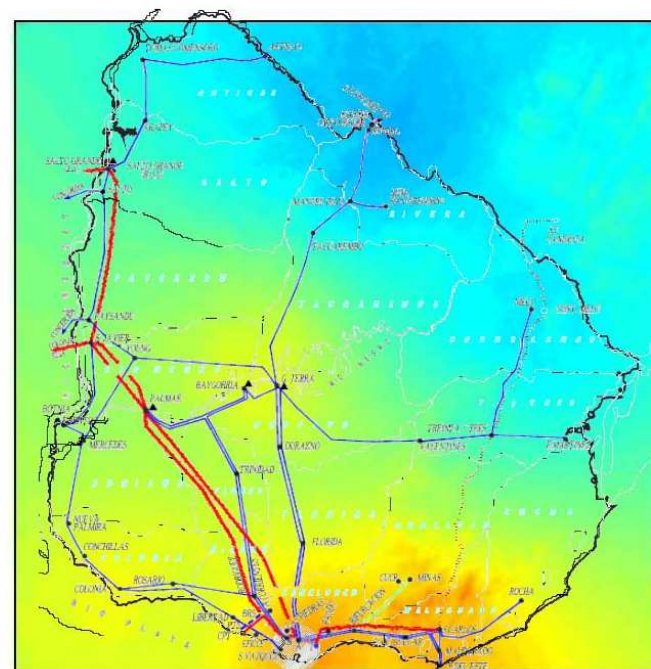
Mapa de igual velocidad media anual
División departamental
Altura 90m



Velocidad (m/s)

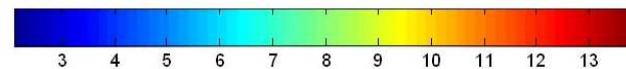


Mapa de igual velocidad media anual y líneas de transmisión
Altura 90m



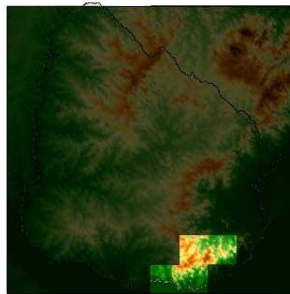
SITUACION	LINEAS DE TRANSMISION				ESTACIONES	USINAS	
	500 KV	150 KV	110 KV	60KV	TRANSFORM.	TERMICAS	HIDRAULICAS
EN SERVICIO							
EN OBRA							
EN PROYECTO							

Velocidad (m/s)

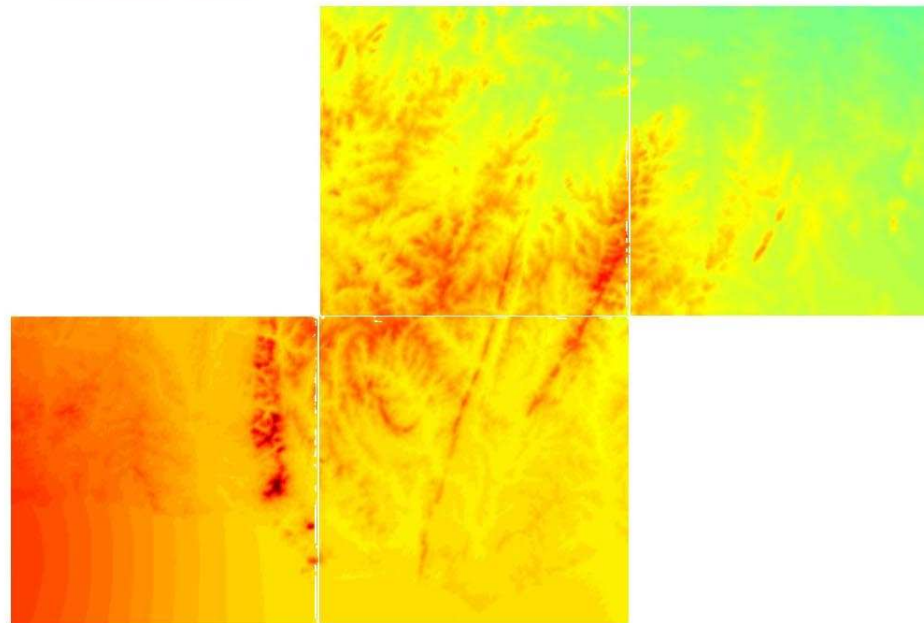


Avance en el mapa eólico

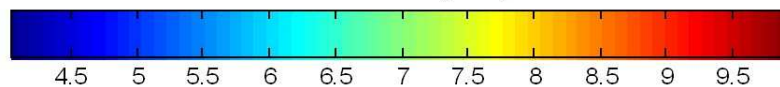
Mapas de igual velocidad media anual en Ánimas, Cañas, Caracoles
Altura 90m



Zona estudiada



Velocidad (m/s)

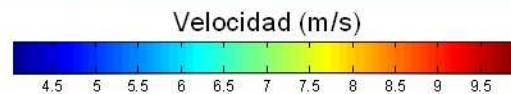
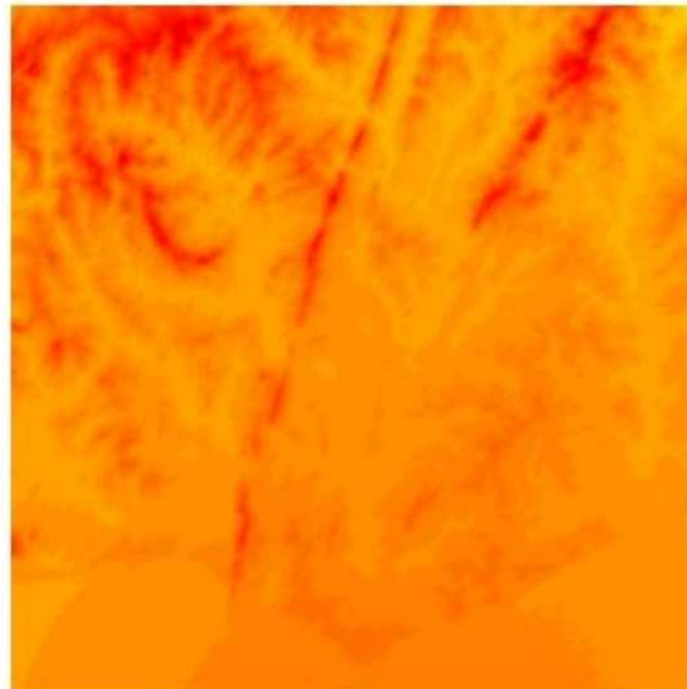


Avance en el mapa eólico

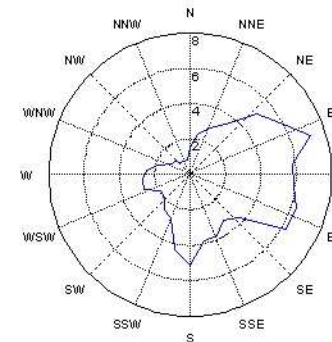
Salida del Mapa Eólico

ZONA J7 - Altura: 90m

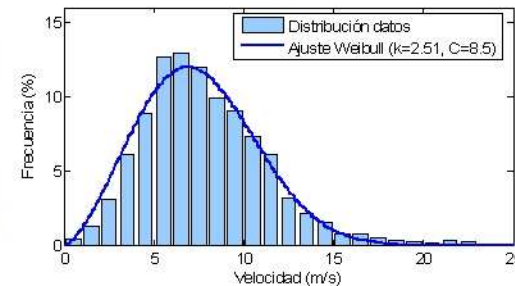
Velocidad media anual



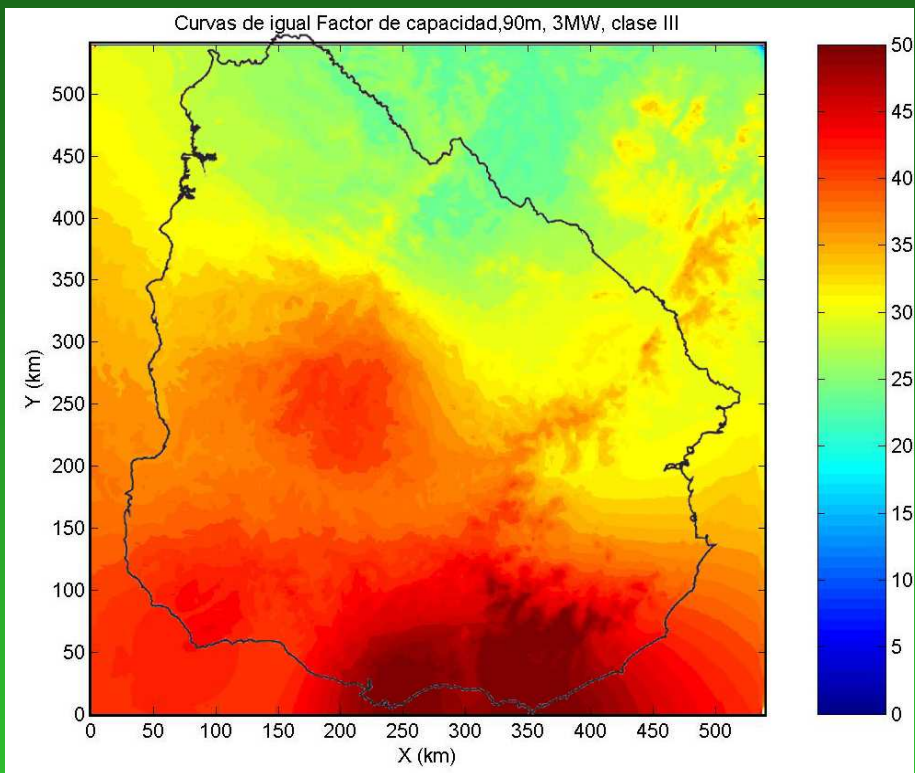
Rosa de vientos



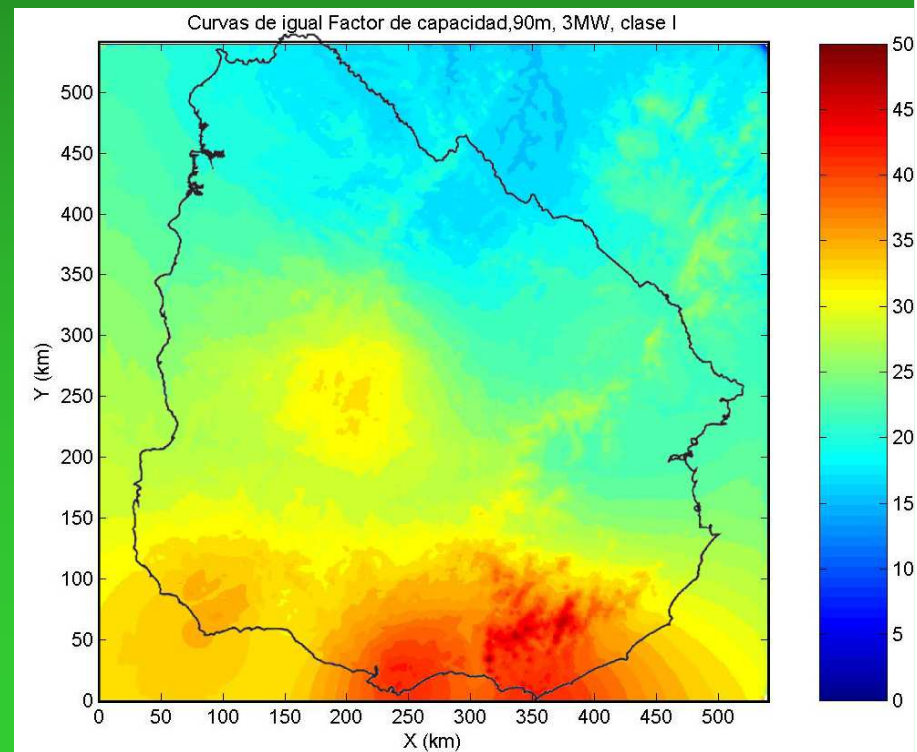
Histograma de velocidades



Aerogenerador de 3MW, Clase III



Aerogenerador de 3MW, Clase I





- Análisis de la bondad de la modelación
 - Comparación entre datos medidos y resultados del modelo
 - Estaciones no incluidas en el cálculo
 - Series históricas “largas”



Caracoles

**Vel modelo
(m/s) a 70m**

**Vel medida
(m/s)**

9.2

9.3 (a 67m)

Artilleros

8.2

7.4

Buena Unión

5.2

5.7 a 66m

Valentines

7.7

7.7

**Vel modelo
(m/s) a 50m**

**Vel medida
(m/s)**

Bonete

7.5

6.1

Florida

7.4

5.8

Caracoles

8.6

8.7 (a 41m)

Valentines

7.1

6.9 (41.5m)



Sitio	Altura (m)	Velocidad media anual medida (m/s)	Velocidad media anual modelo (m/s)
ZFM	30	5.5	6.0
Florida	30	6.0	6.0
Cuchilla Pereira	90	7.8	8.5
Rincón de las Rosas	12	5.2	5.5
Tacaurembó	30	4.3	4.0
Tambores	12	5.5	5.2
Paso del Parque	10	5.4	4.0 a 4.5
Serranías del Laureles	15	4.6	4.5 a 5.0
Potrерillo	10	4.1	4.5
Santa Teresa	12	5.0	4.5

- Etapas siguientes
 - Ampliación de la red de monitoreo – Proyecto de Energía Eólica en Uruguay



Mejora en la calidad de la información

