



Simulación Multiescala de Viento Sobre Terreno Complejo Mediante el Método Embebido WRF-LES y Asimilación Variacional de Datos 4D

Pablo Andrés Cárdenas Zamorano

Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica,
Universidad Técnica Federico Santa María

Profesor Guía:	Ph.D. Alex Flores Maradiaga
Profesor Correferente:	Ph.D. Carlos Rosales Huerta
Evaluador Externo:	Ph.D. Ricardo Muñoz Magnino

Agosto, 2019

Contenidos

1. Motivación
2. Hipótesis y Objetivos
3. Estado del Arte
4. Marco Teórico
4. Marco Teórico
4. Marco Teórico
5. Modelo WRF
6. Metodología
7. Resultados
8. Conclusiones

Motivación

¿Por qué Predecir el Viento?

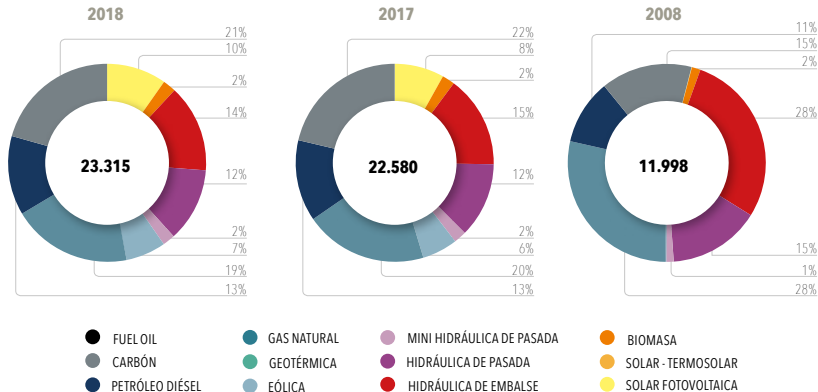


Figura 1: Evolución de la matriz energética chilena. Fuente: Comisión Nacional de Energía (2018).

Motivación

¿Por qué Predecir el Viento?

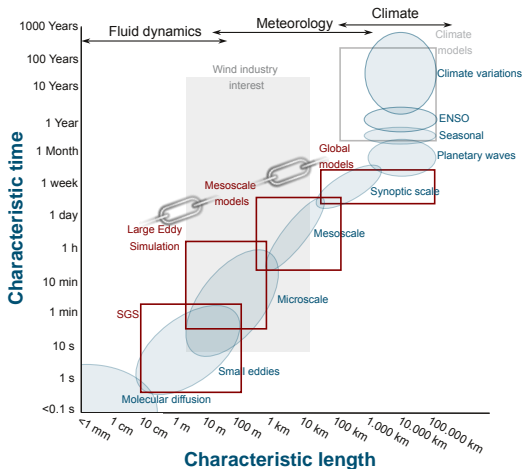


Figura 2: Unificación de escalas en dinámica atmosférica. Fuente: Montornes et al. (2017).

Motivación

¿Cómo Predecirlo?

- a. Extrapolación Estadística / Simulación Numérica.
- b. Modelos Meteorológicos / CFD.
- c. Correcta representación de la CLP (PBL).
- d. Turbulencia y Terreno Complejo.

Motivación

¿Cómo Predecirlo?

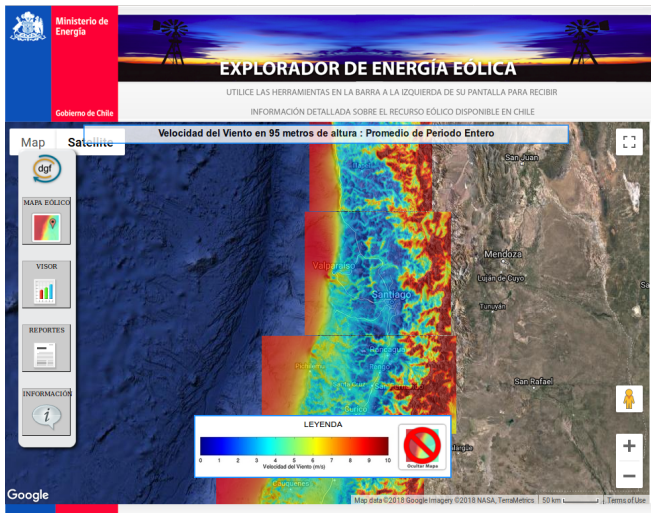


Figura 3: Interfaz online del explorador eólico de la Universidad de Chile.

¿Cómo Predecirlo?

Diagrama de la ELEVACIÓN SISTEMA, una estructura de alta estabilidad aerostática (GAZE). El diagrama muestra la estructura completa con sus dimensiones y detalles de los componentes.

Componentes y Detalles:

- GLOBO AEROSTÁTICO DE ALTA ESTABILIDAD (GAZE):** Incluye el Globo aerostático, Vela, Perfil alar, y Detalle 1 y 2.
- SISTEMA DE SUJECCIÓN CON DESTORCER:** Muestra el Destorcer.
- PLATAFORMA DE MEDICIÓN (PM):** Incluye Angular, Nivel, y TIAS.
- CAJA DE RECOLECCIÓN Y ENVÍO DE DATOS (BTG):** Incluye el Sistema Transmisor.
- ESTACAS DE TENSIÓN ESTRUCTURAL:** Incluye Carretillo tensores.

Dimensiones:

- Altura total: 10
- Altura de la plataforma: 10
- Altura de la caja de recolección: 10
- Altura de la estaca de tensión: 10
- Longitud total: 20
- Longitud de la plataforma: 10
- Longitud de la caja de recolección: 10
- Longitud de la estaca de tensión: 10

Detalles:

- Detalle 1: Vista superior del globo aerostático.
- Detalle 2: Vista lateral del globo aerostático.
- Detalle 3: Vista superior de la plataforma de medición.
- Detalle 4: Vista lateral de la plataforma de medición.
- Detalle 5: Vista superior de la caja de recolección.

PLANTA SISTEMA AEROTRANSPORTADO

DIAGRAMA SISTEMA
AEROTRANSPORTADO

Figura 4: Esquema de la sonda FONDEF ID16I10105.

Motivación

¿Cómo Predecirlo?

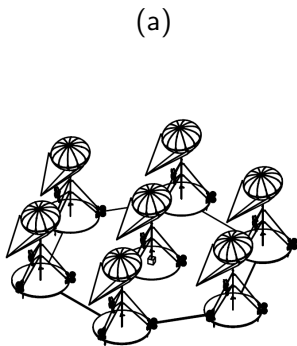


Figura 5: Detalle del proyecto FONDEF ID16I10105. (a) Célula del sistema experimental de medición. (b) Prototipo en el laboratorio.

Hipótesis y Objetivos

Hipótesis

Se pueden mejorar las predicciones numéricas de viento a corto plazo sobre terreno complejo a través de simulaciones multiescala de alta resolución, LES y asimilación de datos 4D en la CLP.

Objetivo Principal

Implementar una metodología que incorpore escalamiento dinámico de dominios, nuevas bases de datos de alta resolución, LES y asimilación de datos 4D multipunto para mejorar los resultados de modelos numéricos de viento sobre terreno complejo.

Estado del Arte

- a. Problemáticas del escalamiento dinámico.
- b. Antecedentes de turbulencia atmosférica y terreno complejo.
- c. Desafíos de la alta resolución en terreno complejo.
- d. Contexto de la asimilación de datos.

Estado del Arte

Problemáticas del escalamiento dinámico

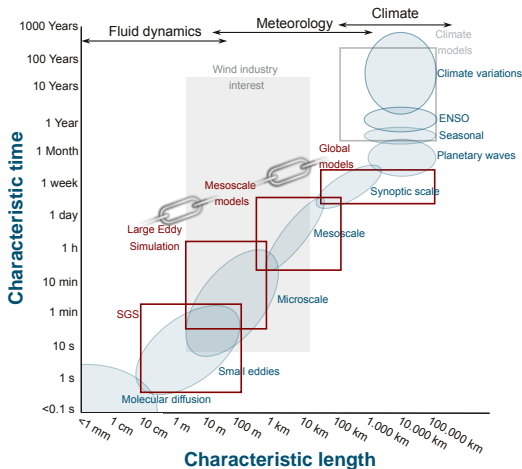


Figura 6: Unificación de escalas en dinámica atmosférica. Fuente: Montornes et al. (2017).

Estado del Arte

Problemáticas del escalamiento dinámico

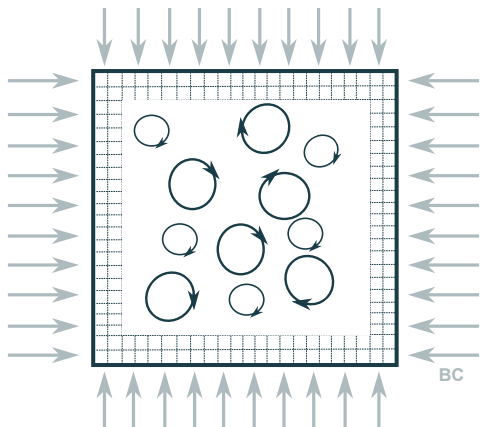


Figura 7: Idealización de los distintos tamaños de vórtices dentro de un dominio en la zona gris de la turbulencia. Fuente: Montornes et al. (2017).

Estado del Arte

Problemáticas del escalamiento dinámico

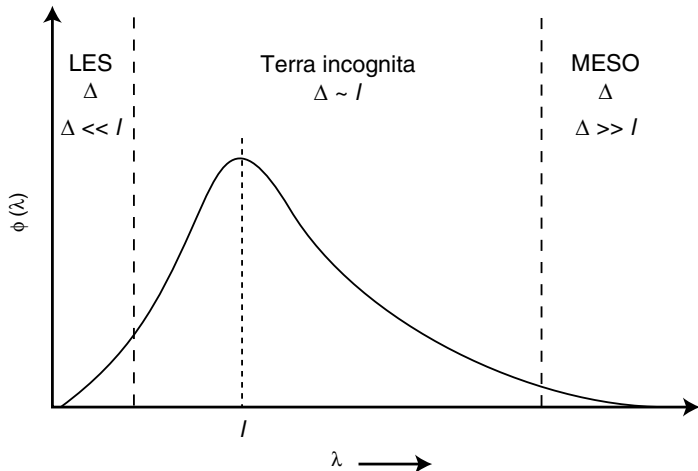


Figura 8: Espectro de energía cinética turbulenta multiescala. Fuente: Warner (2010).

Estado del Arte

Turbulencia Atmosférica y Terreno Complejo

- ▶ Modelos Lineales (Jackson y Hunt 1975, Mason y Sykes 1979)
- ▶ No lineales: 2D (Taylor 1977), RANS (Launder y Spalding 1974)
- ▶ LES: Desde los 90s se viene desarrollando para la CLP.
- ▶ Simulaciones Askeverin (2009) y cerros sinusoidales (2001).

Estado del Arte

Alta Resolución y Terreno Complejo

- ▶ Aspectos Computacionales.
- ▶ Aspectos Numéricos.
 - ▶ Precisión
 - ▶ Estabilidad
 - ▶ Difusión Numérica
 - ▶ Coordenadas
 - ▶ Benchmarking
- ▶ Parametrización de CLP.
- ▶ Inicialización y Datos de Entrada.

Estado del Arte

Alta Resolución y Terreno Complejo

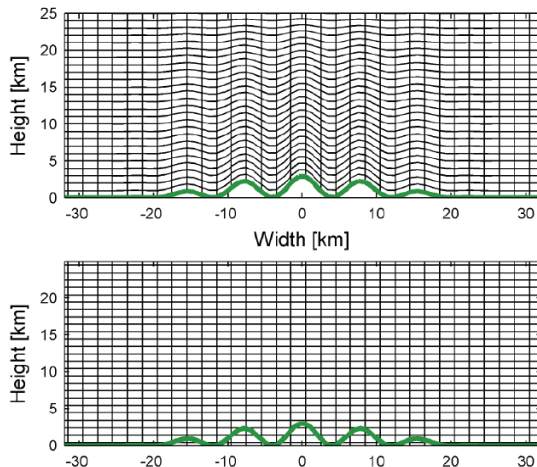


Figura 9: Comparación entre las coordenadas usuales sigma (arriba) y el método de frontera inmersa (abajo). Fuente: Arnold et al. (2010).

Estado del Arte

Alta Resolución y Terreno Complejo

- ▶ Aspectos Computacionales.
- ▶ Aspectos Numéricos.
 - ▶ Precisión
 - ▶ Estabilidad
 - ▶ Difusión Numérica
 - ▶ Coordenadas
 - ▶ Benchmarking
- ▶ Parametrización de CLP.
- ▶ Inicialización y Datos de Entrada.

Estado del Arte

Contexto de la Asimilación de Datos

- ▶ aaa
- ▶ bbb
- ▶ ccc

Marco Teórico

- a. Leyes fundamentales de un Fluido.
- b. Ecuaciones que rigen la Dinámica Atmosférica.
- c. Turbulencia.
- d. Fundamentos de Capa Límite Atmosférica.
- e. Simulación de Grandes Vórtices.
- f. Asimilación de Datos.

Marco Teórico

Leyes Fundamentales de un Fluido

Conservación de Masa:

$$\partial_t \rho + \partial_i (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Conservación de Momentum:

$$\rho d_t u_i = \rho g_i + \partial_j \sigma_{ij} \quad (2)$$

Conservación de Energía:

$$\rho d_t (e + K) = u_i \rho g_i + \partial_j (u_i \sigma_{ij}) - \partial_j q_i \quad (3)$$

Ecuación de Estado:

$$p = f(\rho, T) \quad (4)$$

Ecuaciones Primitivas:

$$d_t u = \frac{uv \tan \psi}{a} - \frac{uw}{a} - \frac{1}{\rho} \partial_x p - 2\Omega_e (w \cos \psi - v \sin \psi) + F_{rx} \quad (5)$$

$$d_t v = -\frac{u^2 \tan \psi}{a} - \frac{uw}{a} - \frac{1}{\rho} \partial_y p - 2\Omega_e u \sin \psi + F_{ry} \quad (6)$$

$$d_t w = \frac{u^2 + v^2}{a} - \frac{1}{\rho} \partial_z p + 2\Omega_e u \cos \psi - g + F_{rz} \quad (7)$$

$$\partial_t T = -u \partial_x T - v \partial_y T + (\gamma - \gamma_d) w + \frac{1}{C_p} d_t H \quad (8)$$

$$d_t \rho = -\rho (\partial_i u_i) \quad (9)$$

$$d_t q_v = Q_v \quad (10)$$

$$p = \rho RT. \quad (11)$$

Modelo WRF

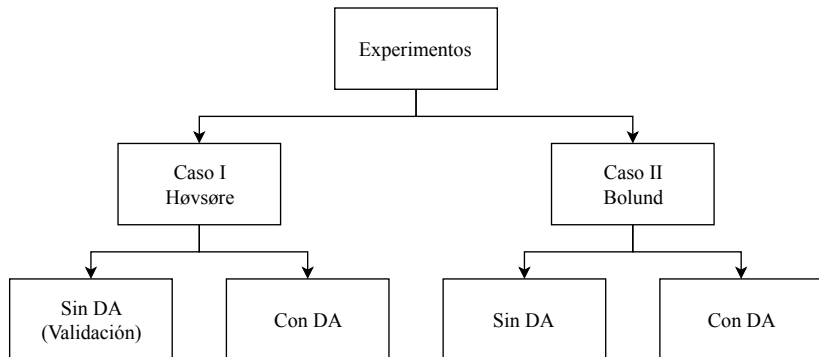


Figura 10: Diagrama de experimentos realizados.

Resultados

Conclusiones

Agradecimientos



Simulación Multiescala de Viento Sobre Terreno Complejo Mediante el Método Embebido WRF-LES y Asimilación Variacional de Datos 4D

Pablo Andrés Cárdenas Zamorano

Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica,
Universidad Técnica Federico Santa María

Profesor Guía:	Ph.D. Alex Flores Maradiaga
Profesor Correferente:	Ph.D. Carlos Rosales Huerta
Evaluador Externo:	Ph.D. Ricardo Muñoz Magnino

Agosto, 2019