

## Informe de Avance: 3 de Abril 2018

### 1. Definición Caso Høvsøre

#### 1.1. Aspectos Generales

Con el objetivo de validar la metodología a utilizar para las simulaciones numéricas en terreno complejo utilizando WRF, es decir, el acople meso-microescala a través de la técnica de dominios anidados y un modelo LES para turbulencia, es que se simulara primero un caso en terreno plano.

El caso elegido corresponde a Høvsøre, sitio ubicado en Dinamarca y que funciona como campo abierto para la prueba de turbinas eólicas comerciales. En este lugar existen mediciones históricas que registra un mástil meteorológico y que suele usarse para casos de validación para modelos experimentales.

#### 1.2. Condiciones Iniciales y de Borde del Modelo

Para inicializar el modelo y para proveer de información en los contornos cada 6 horas, se utilizan los datos de los análisis operacionales provenientes del modelo global GFS con resolución de  $0,5^\circ$  ( $\approx 55,6$  [km])

Por otra parte, como el dominio mas grande a simular cae dentro de lo que es una simulación de mesoescala y tomando en consideración las proyecciones debido a la curvatura de la tierra para esta zona en particular, se decide fijar la condición de borde superior para la coordenada vertical de presión a  $p_{\text{dht}} = 5000$  [kPa] siguiendo la recomendación del manual del programa.

La condición de borde inferior queda determinada por la información obtenida en los datos de uso de suelo para cada punto de la malla.

#### 1.3. Definición de Dominios

Como se trabaja con dominios anidados, es importante evitar la simulación de la turbulencia en la *terra incognita* (Wyngaard, 2004). Por otro lado, las limitaciones van a estar impuestas por la resolución de las bases de datos utilizadas.

Para las condiciones iniciales, se tienen los resultados del modelo GFS que poseen una resolución aproximada de  $55.6$  [km] y una buena práctica dentro del modelo WRF es hacer interpolaciones en razones de 3 (o números impares). Para el caso de Høvsøre y considerando la resolución de la orografía por lo satélites ASTER, se decide tener una malla fina de aproximadamente  $25\text{m}$ . Finalmente para no realizar una simulación errónea dentro de la zona gris de turbulencia, cuando la resolución sea la adecuada, se procederá a hacer una interpolación con razón de 5 para llegar automáticamente a una malla que cumpla con las condiciones de un correcto LES (tal cual como lo han hecho otros autores en sus investigaciones).

Las características de los dominios de simulación quedan definidos como se muestra en la tabla 1, y se pueden ver en las figuras anexas a este informe.

Obs: La simulación se está llevando a cabo sin contratiempos al momento de redactar este párrafo.

### 2. Asimilación de Datos

#### 2.1. Base Conceptual

La asimilación de datos es un método estadístico para obtener el mejor estimado para variables de estado. En el contexto de las ciencias atmosféricas, DA significa combinar un pronóstico de un modelo (anterior) con observaciones tomando en cuenta sus respectivos errores de representación, para producir un análisis (posterior) que pueda inicializar un modelo atmosférico.

Consideremos el siguiente caso escalar, para ganar intuición con respecto al método. Sea  $x$  la variable de estado, por ejemplo la temperatura de hoy de Valparaíso a las 12 UTC. Ahora, supongamos que se tiene el resultado del modelo global GFS que pronosticó a 6 horas desde las 06 UTC, lo llamaremos  $x_b$ , *background*. Por otro

**Tabla 1:** Propiedades de Dominios Definidos.

Dominio	d01	d02	d03	d04	d05	d06	d07
Resolución [m]	30000	10000	3333.3	1111.1	222.22	74.074	24.691
Orografía	GMTED2010	GMTED2010	GMTED2010	ASTER	ASTER	ASTER	ASTER
Uso de Suelo	USGS	USGS	USGS	CLC12	CLC12	CLC12	CLC12
Micro-físicas	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5
Cúmulos	Grell	Grell	–	–	–	–	–
Capa Superficial	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5
PBL	YSU	YSU	YSU	YSU	–	–	–
Modelo LES	–	–	–	–	3D-Smag	3D-Smag	3D-Smag
Modelo de Suelo	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.
Rad. Onda Larga	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM
Rad. Onda Corta	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia

lado, consideremos las observaciones y medidas en la superficie de una estación en Valparaíso. ¿Cuál es el mejor estimador (análisis)  $x_a$  de  $x$ ?

Una manera simple e intuitiva sería hacer un promedio de los valores, en este sentido se obtendría:

$$x_a = \frac{1}{2}(x_b + y) \quad (2.1)$$

Pero si la precisión de cada uno es diferente y se poseen estimaciones de sus errores, se podría hacer un promedio ponderado:

$$x_a = ax_b + by \quad (2.2)$$

Y en el sentido de los mínimos cuadrados se obtiene que se debe minimizar la siguiente función de costo  $J(x)$ :

$$J(x) = \frac{1}{2} \frac{(x - x_b)^2}{\sigma_b^2} + \frac{1}{2} \frac{(x - y)^2}{\sigma_o^2} \quad (2.3)$$

El desarrollo para varias dimensiones se omite en este informe. La función de costo generalizada a minimizar es de la forma:

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(Hx - y)^T R^{-1}(Hx - y) \quad (2.4)$$

## 2.2. Algoritmos Incorporados en WRF

### 2.2.1. 3DVAR y FGAT

Se utiliza la ecuación 2.4 y se procede según la figura 2.1.

### 2.2.2. 4DVAR

La asimilación de datos ocurre en el instante en que el dato es medido, por lo tanto es un proceso continuo. Es intensivo en recursos y puede llegar a requerir del orden de los 100 GB de RAM.

Utiliza una variación de la ecuación 2.4, cuyo desarrollo se omite en este informe, pero la diferencia radica en el término que va agrupando las observaciones en distinto tiempo.

$$J(x) = \frac{1}{2}(x_0 - x_0^b)^T B^{-1}(x_0 - x_0^b) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [H_i(M_i(x_0)) - y_i]^T R_i^{-1} [H_i(M_i(x_0)) - y_i] \quad (2.5)$$

Se procede como muestra la figura 2.2.

### 2.2.3. EnKF

Método para ensambles.

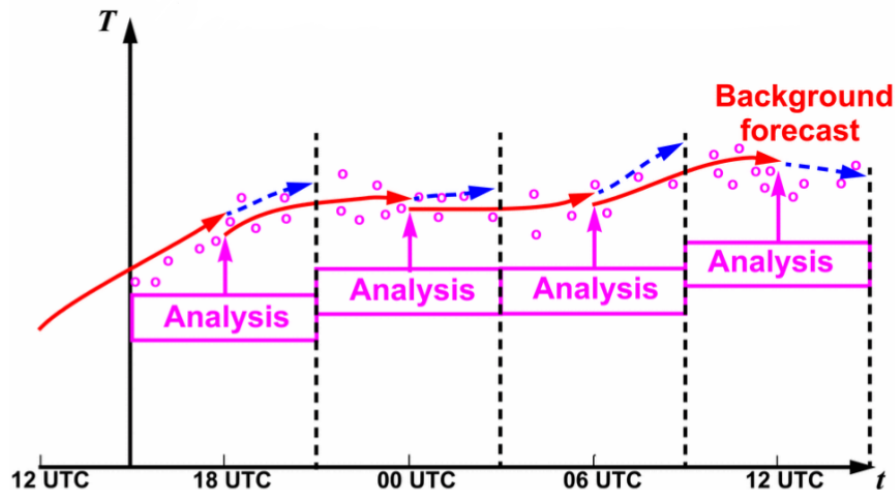


Figura 2.1: Algoritmo del método 3DVar.

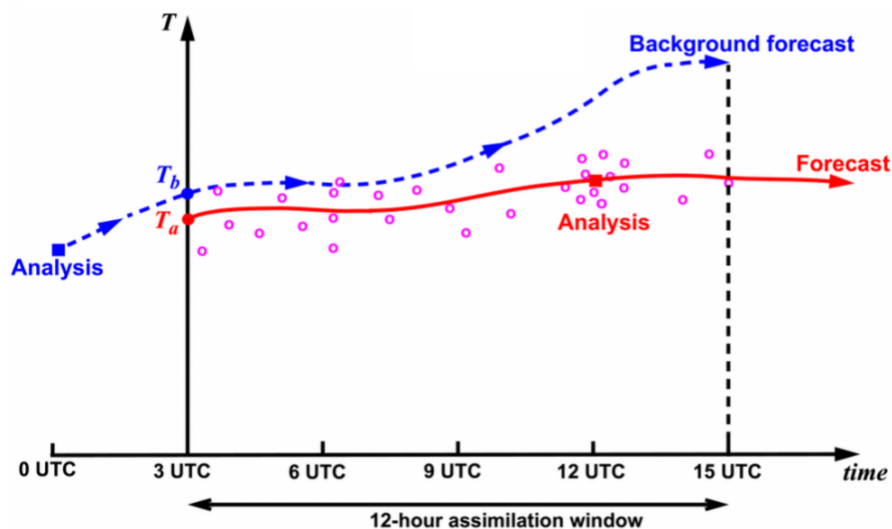


Figura 2.2: Algoritmo del método 4DVar.

#### 2.2.4. Hybrid-3DEnVar

Método para ensambles.

### 2.3. Propuesta Metodológica

Considerando todo lo expuesto anteriormente, se propone lo siguiente: **Utilizar el método 3DVAR, el cual ya se usa extensamente, y correr WRF de forma cíclica con WRFDA haciendo asimilaciones a una frecuencia a determinar.** (10 minutos podría estar bien).

## 3. Avances Menores

- Se logró definir un adecuado número de niveles verticales utilizando el siguiente criterio: la recomendación de la guía técnica del WRF sugiere 37 niveles, se pre procesan estos 37 niveles y se calcula la altura de

los primeros niveles, a través de un código propio hecho en FORTRAN se introducen 10 puntos entre los primeros 4 niveles y se obtiene la resolución buscada sin sacrificar rendimiento en los niveles superiores.

- Se hicieron algunas pruebas para utilizar un  $\Delta t$  adaptativo en función del CFL, sin embargo estas pruebas no fueron satisfactorias ya que se comportaban de manera extraña con varios dominios y con las parametrizaciones seleccionadas para las físicas. Se concluye descartar esta opción y, a pesar de que quizás se tengan tiempos de simulación mayor, utilizar un paso de tiempo constante.
- Se logran implementar varias utilidades que ofrece WRF para amortiguar un poco la solución por motivo de la complejidad del terreno y de la manera explícita en la que se está resolviendo la turbulencia. Estas opciones se activan a nivel de namelist.input y se explicarán en informes posteriores.
- Se evaluó la necesidad de obtener la serie de tiempo de la velocidad vertical para los puntos de control seleccionados. Se decide desechar esta idea debido a que las mediciones en terreno no incluyen esta variable, y por lo tanto no se podrían calcular estadísticos sobre esta. Por otro lado si fuese necesario obtener el espectro de energía de la componente vertical, es mas significativo desarrollar la transformada de Fourier en el dominio espacial que en el temporal (como se ha venido haciendo) para el estudio de la aplicación del filtro en LES.

## 4. Trabajo Futuro

- Postproceso de resultados de simulación: espectro de energía en el espacio físico.
- Hacer pruebas de DA en paralelo al trabajo de simulación que queda por hacer. Definir ventana de tiempo de asimilación de datos.
- Preproceso de datos medidos (Høvsøre y Bolund) para ser utilizados en OBSPROC.
- Programar un código (probablemente en csh) que automatice el ciclo de WRF con WRFDA.
- Evaluar el funcionamiento de DA en los distintos dominios. Revisar la influencia de LES.
- Simular caso Bolund sin DA.
- Modificación de tiempos de simulación, propuesta: 6 horas de spinup + DA y 6 horas de resultados.