

Modelización a mesoescala - WRF

por @guillermo_fernandez_garcia

Dpto. de predicción numérica e investigación [MeteoGalicia]

[Weather Research & Forecasting Model]

Santiago de Compostela



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

Martes 18 de julio de 2017

meteogalicia

Resumen

- Visión general
- Preprocesador: WPS
- Inicializadores
- Núcleos dinámicos
- Opciones y parametrizaciones
- Postprocesador: UPP
- Asimilación
- Otras opciones
- Extensiones
- Rendimiento

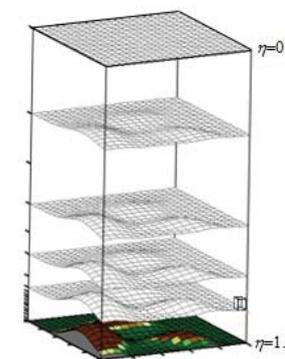
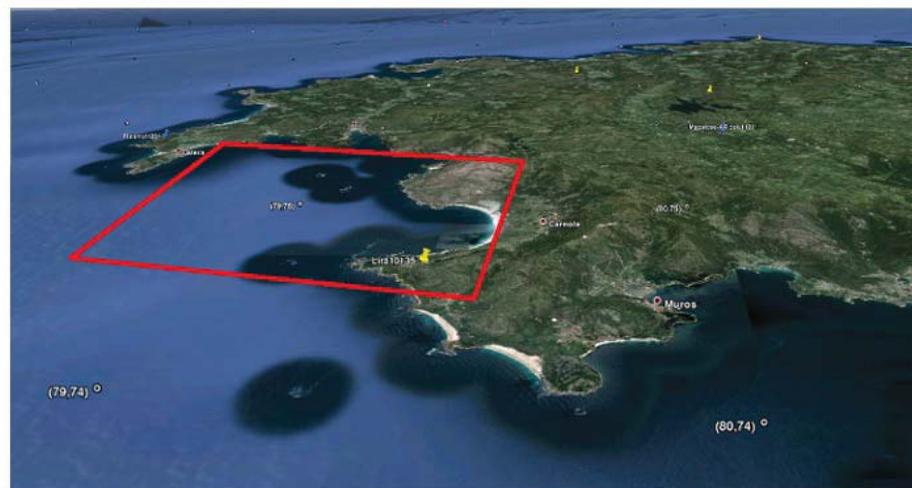


WRF: Visión general



WRF: Visión general

Visión general



- WRF = Weather Research and Forecasting Model.
- Modelo meteorológico para predicción e investigación.
- Es un modelo comunitario, es decir, de código abierto cuyo desarrollo está descentralizado.

WRF: Visión general

Visión general

- Descentralizado pero liderado por NCAR, NOAA/ESRL y NOAA/NCEP/EMC junto con otras agencias y universidades de EEUU.
- Entorno de software modular y jerárquico.
- El objetivo es separar la capa de código puramente científico, de la parte de paralelización, entrada/salida, etc.



WRF: Visión general

Visión general

- Descentralizado pero liderado por NCAR, NOAA/ESRL y NOAA/NCEP/EMC junto con otras agencias y universidades de EEUU.
- Entorno de software modular y jerárquico.
- El objetivo es separar la capa de código puramente científico, de la parte de paralelización, entrada/salida, etc.
- Altamente modular, un solo código, módulos “enchufables”.
- “State-of-the-art”, eficiente y portable a diversos entornos.
- Prioridad de diseño para alta resolución
- No hidrostático (opcional)



WRF: Visión general

Versiones públicas

- La versión 1.0 del WRF data de Diciembre del año 2000
- La version 2.0 fue en Mayo de 2004 (se añadió el NMM y el EM nesting)
- La version 2.1 en Agosto del 2005 (EM se transforma en ARW)
- La version 2.2 en Diciembre 2006 (WPS)
- La version 3.0 se hace pública en Abril de 2008
 - Cada mes de Abril suele haber una nueva versión
 - Durante el verano se hace una actualización menor con corrección de errores, etc.
- La version 3.8 data de Abril de 2016
 - Version 3.8.1 es de Agosto de 2016
- La version 3.9 es la última versión que data de Abril de 2017

WRF: Visión general

```
PROGRAM wrf

  USE module_wrf_top, only : wrf_init, wrf_dfi, wrf_run,
    wrf_finalize

!<DESCRIPTION>
! Main program of WRF model. Responsible for starting up the
! model, reading in (and broadcasting for distributed memory)
...
! After the integration is completed, the model is properly
! shut down.
!
!</DESCRIPTION>

  IMPLICIT NONE

#ifdef _OPENMP
  CALL setfeenv()
#endif

  ! Set up WRF model.
  CALL wrf_init

  ...

  ! WRF model clean-up.
  CALL wrf_finalize

END PROGRAM wrf
```



WRF: Visión general

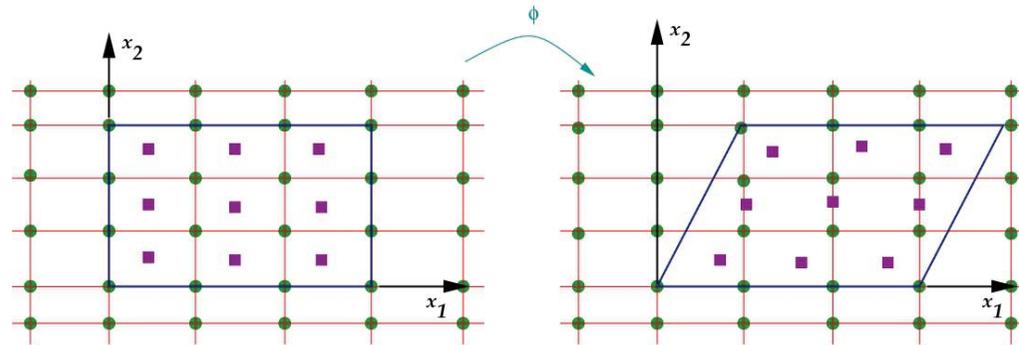
Núcleos dinámicos

- Dos núcleos dinámicos diferentes: Advanced Research WRF (ARW) y Nonhydrostatic Mesoscale Model (NMM).
- Los núcleos dinámicos se encargan fundamentalmente de la advección y difusión pero también de los gradientes de presión, Coriolis, fricción, el paso temporal, etc.
- En ambos casos la dinámica de masas es Euleriana con coordenadas verticales que siguen el terreno.
- Tanto la física como grandes partes de los sistemas de pre-procesado y post-procesado son compartidas por ambos núcleos en un mismo entorno de software. De hecho se descargan conjuntamente en el mismo paquete.

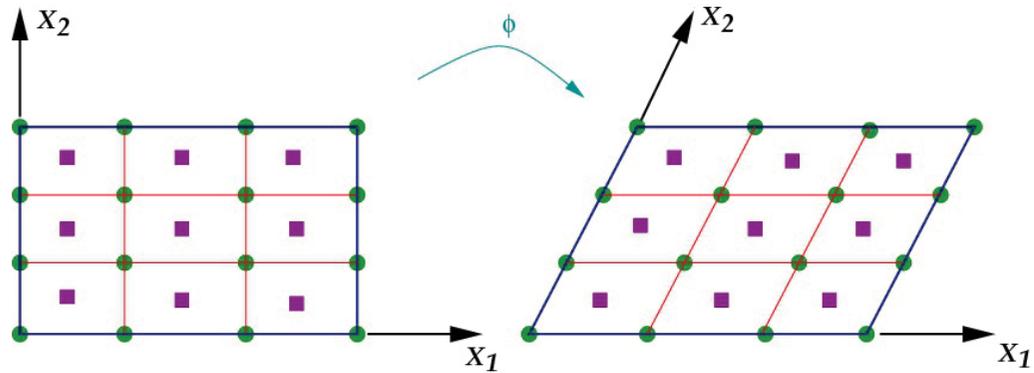


WRF: Visión general

El movimiento de masas es Euleriana.



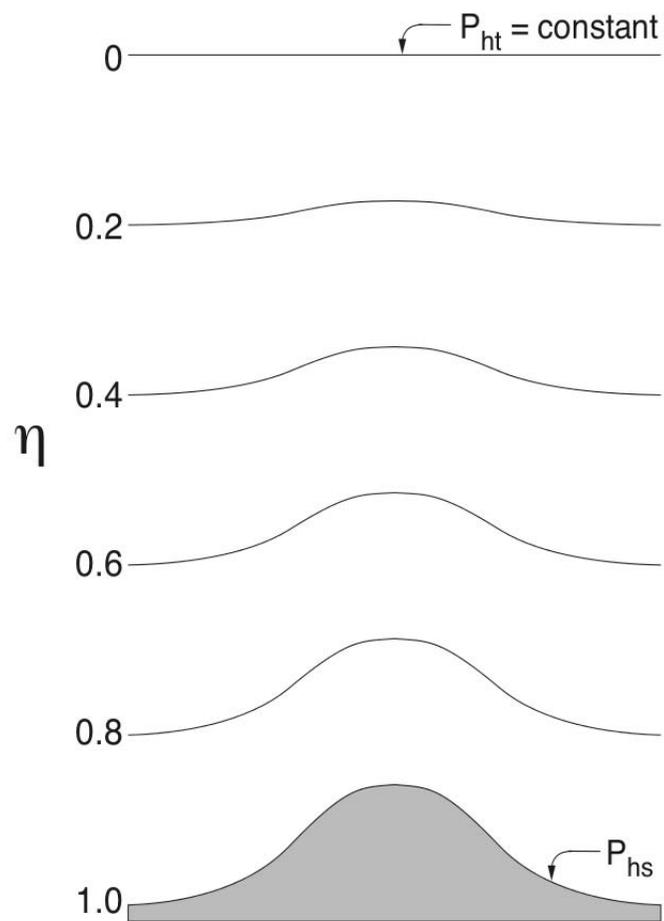
■ Material Point
● Grid Node



■ Material Point
● Grid Node

En contraposición a un sistema lagrangiano

WRF: Visión general



Coordenadas verticales que siguen el terreno en niveles de presión hidrostático

WRF: Visión general

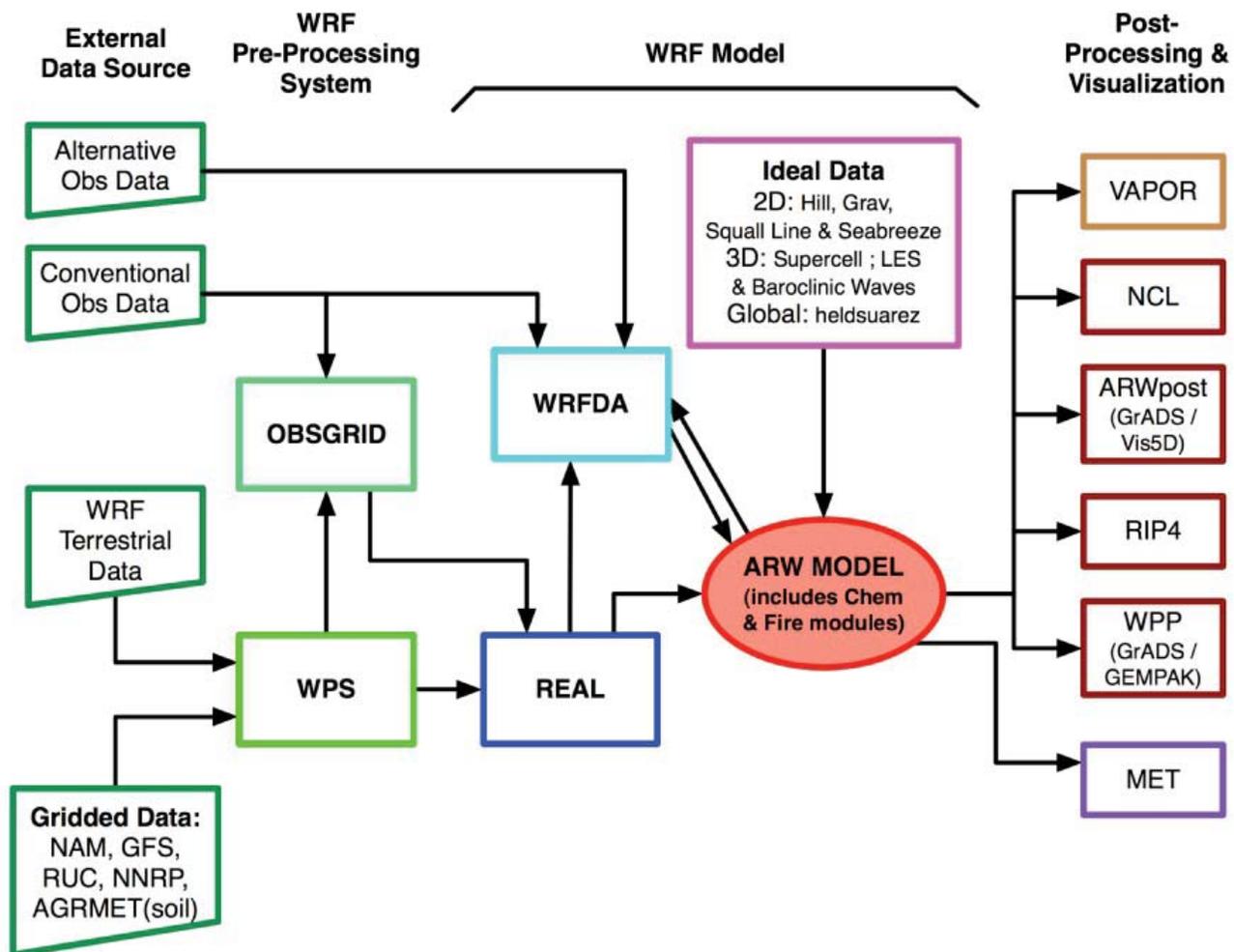
Componentes

Tres componentes/fases principales:

- WRF Pre-processing System (WPS)
 - Interpolación de datos reales (análisis, modelos globales)
 - Ingestión de datos de observaciones para añadir al análisis (Obsgrid)
- WRF Model (Núcleos: ARW y NMM)
 - Programa para inicializar tanto el caso real (ARW y NMM) como el ideal (ARW)
 - Programa para realizar la integración numérica
- Herramientas de post-proceso, verificación y visualización



WRF Modeling System Flow Chart



WRF Preprocessing System (WPS)



WPS

- El propósito de este software es preparar los datos de entrada que va a necesitar el WRF.
- Define los dominios de simulación (incluidas mallas anidadas)
- Produce en la malla del modelo los datos estáticos del terreno, tipo de suelo, uso de suelo, etc.
- Extrae los datos meteorológicos de los archivos GRIB
- Realiza la interpolación horizontal de los datos meteorológicos a la malla del modelo.
- Opcionalmente añadir más observaciones con programa separado (obsgrid)

WPS

geodrid.exe

- Genera la malla, para ello una vez escogida la proyección establece para cada uno de los puntos de la malla los valores de:
 - Latitud y longitud
 - factor de escala
 - y los parámetros de Coriolis



XUNTA DE GALICIA

CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

meteogalicia

WPS

geodrid.exe

- Genera la malla, para ello una vez escogida la proyección establece para cada uno de los puntos de la malla los valores de:
 - Latitud y longitud
 - factor de escala
 - y los parámetros de Coriolis
- Interpola horizontalmente los campos estáticos terrestres:
 - Altura del terreno
 - Uso de suelo
 - Tipo de suelo
 - Porcentaje de vegetación
 - Albedo



WPS

geodrid.exe

- La tierra es aproximadamente un elipsoide
- Sin embargo, el dominio sobre el que hace los cálculos el WRF está definido por rectángulos en el plano.

WPS

geodrid.exe

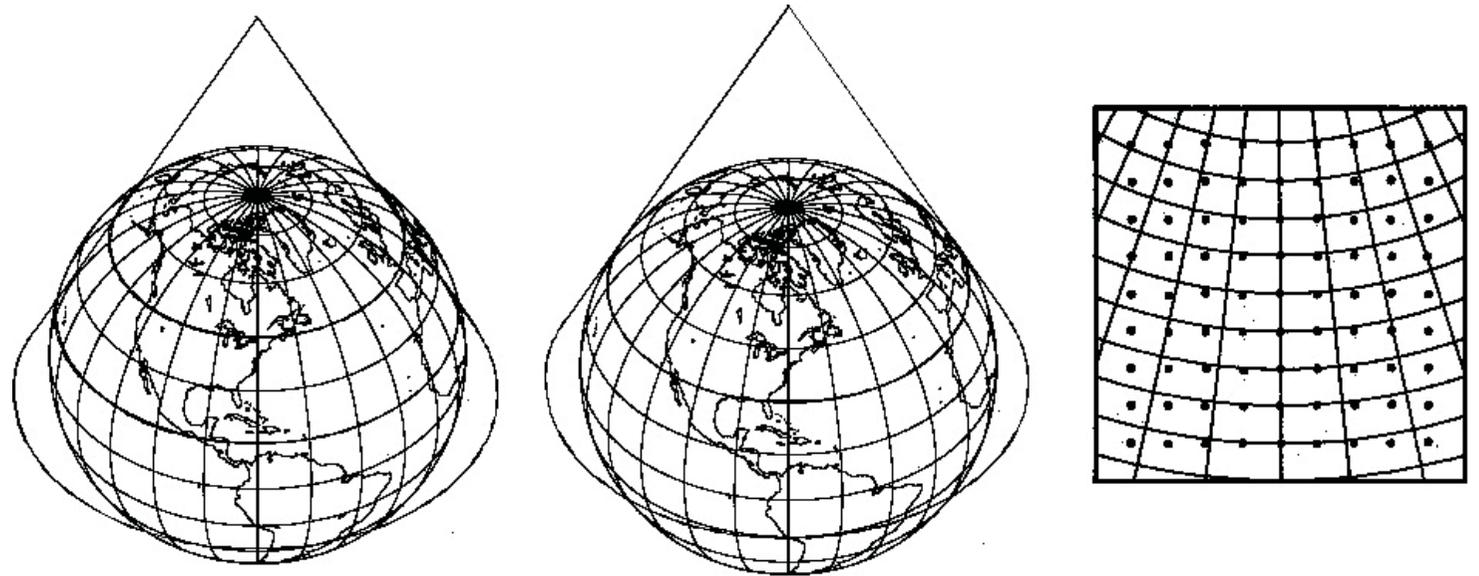
- La tierra es aproximadamente un elipsoide
- Sin embargo, el dominio sobre el que hace los cálculos el WRF está definido por rectángulos en el plano.
- El NMM usa una proyección latitud-longitud rotada.
- ARW puede usar las siguientes proyecciones:
 - Lambert conformal
 - Mercator
 - Polar estereográfica
 - Latitud-longitud (única posibilidad cuando el dominio es global)



WPS

geodrid.exe

Proyecciones: Lambert conformal



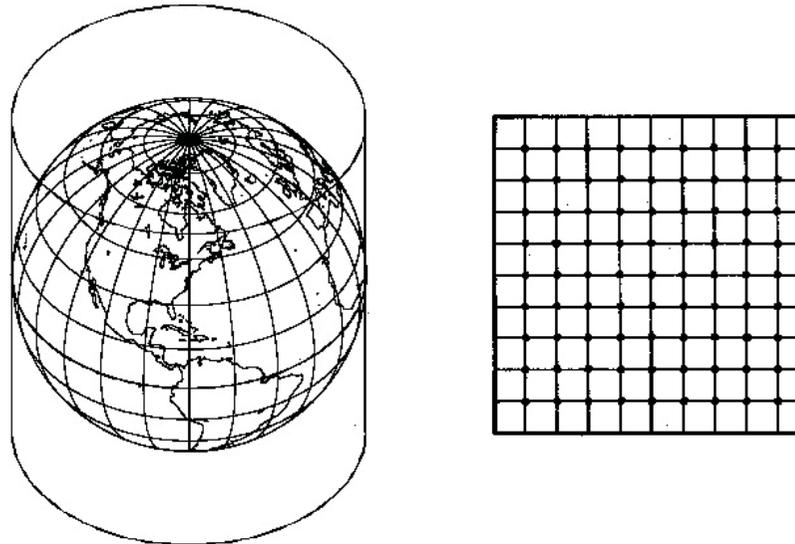
- Es la proyección que mejor se adapta a las latitudes medias
- Se pueden especificar una o dos latitudes reales
- El dominio no puede incluir a los polos



WPS

geodrid.exe

Proyecciones: Mercator

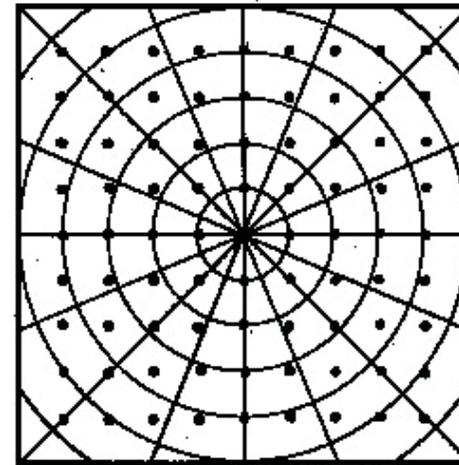
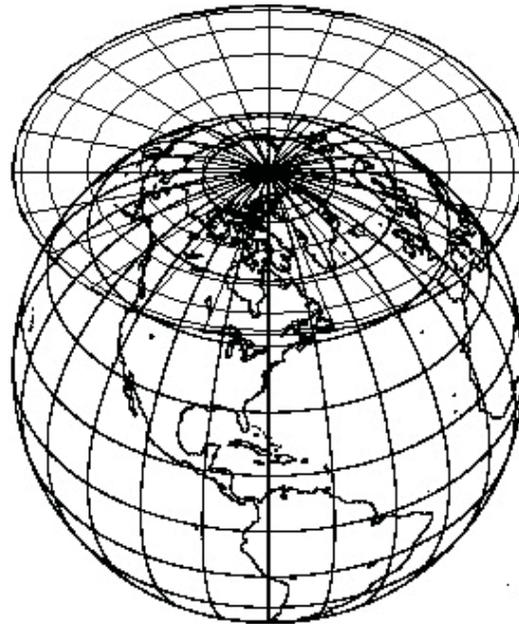


- Es la proyección que mejor se adapta a las latitudes bajas
- Requiere especificar una única latitud real
- El cilindro intersecta la superficie en las dos latitudes determinadas por \pm la latitud real

WPS

geodrid.exe

Proyecciones: Polar estereográfica



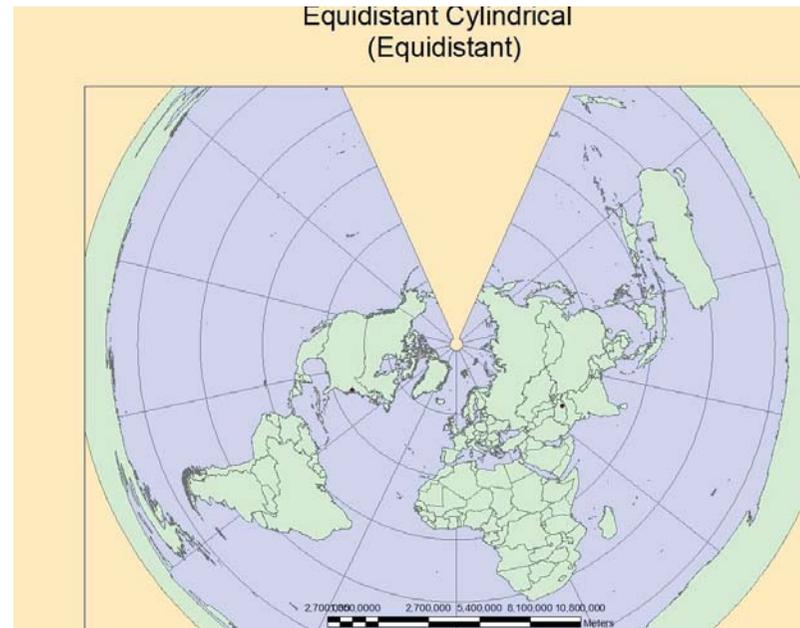
- Esta proyección es adecuada para latitudes altas (incluyendo a los polos)
- Requiere que se especifique una única latitud real



WPS

Proyecciones: Cilíndrica equidistante

geodrid.exe



- Es una proyección de tipo cilíndrica
- Puede usarse en dominios regionales pero es la única posible para dominios globales

WPS

geodrid.exe

Proyecciones: Malla lat-lon rotada

- En algunos casos puede ser útil rotar los polos de la proyección lejos de los polos terrestres
- En el caso del NMM la tierra es rotada de tal forma que la zona de interés tiene 0° lat. y 0° lon. El usuario sólo debe elegir el punto geográfico que desea que aparezca en el centro del dominio.



WPS

geodrid.exe

Múltiples métodos de interpolación de los campos estáticos:

- 4-point bilinear
- 16-point overlapping parabolic
- 4-point average (simple or weighed)
- 16-point average (simple or weighed)
- Grid cell average
- Nearest neighbor
- Breadth-first search



WPS

geodrid.exe

ungrib.exe

Lee condiciones iniciales:

- Es capaz de leer archivos en formato GRIB1 y GRIB2.
- Extrae los campos con los datos meteorológicos
- Tiene capacidad para generar campos de las variables afines, por ejemplo la humedad relativa



WPS

geodrid.exe

ungrib.exe

Lee condiciones iniciales:

- Es capaz de leer archivos en formato GRIB1 y GRIB2.
- Extrae los campos con los datos meteorológicos
- Tiene capacidad para generar campos de las variables afines, por ejemplo la humedad relativa
- Con la información extraída genera los archivos en formato intermedio propio del modelo.
- Para asignar cada variable necesita los códigos GRIB correspondientes al archivo fuente.
- Dichos códigos deben estar en un archivo de texto llamado Vtable.

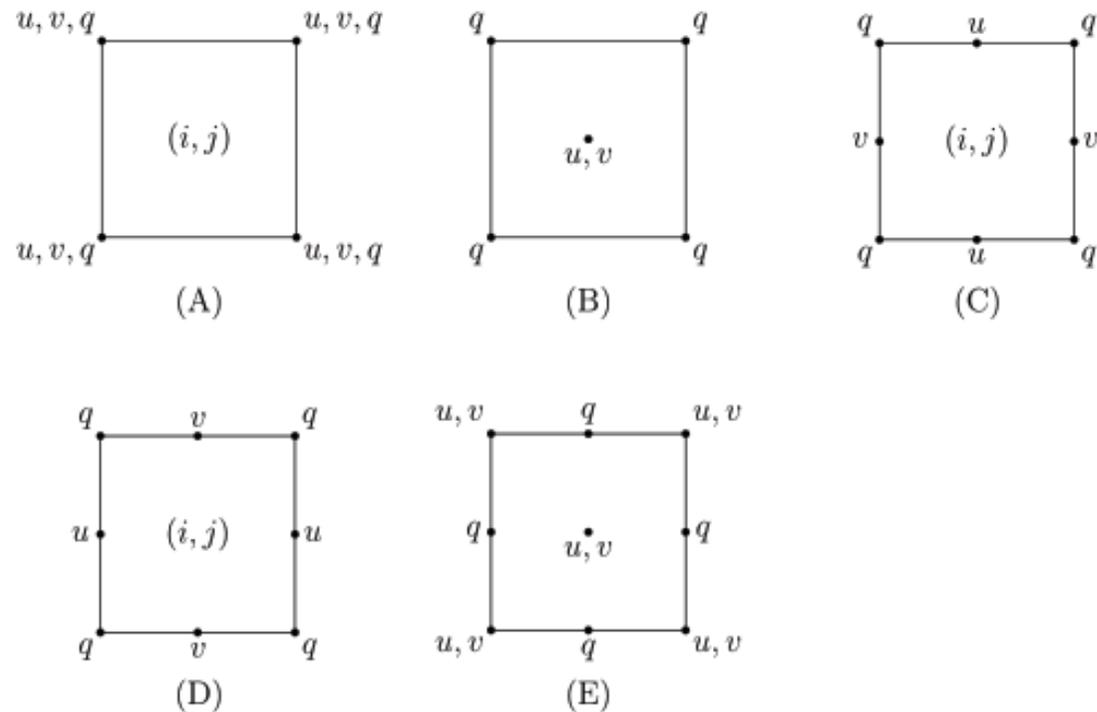
WPS

geodrid.exe

ungrib.exe

metgrid.exe

- Realiza la interpolación horizontal de los datos meteorológicos al dominio del modelo.



- La malla del WRF es una Arakawa C en el caso del ARW y una Arakawa E para el NMM.
- metgrid rota el campo de viento a la malla del WRF

WPS

geodrid.exe

ungrib.exe

metgrid.exe

Múltiples métodos de interpolación:

- 4-point bilinear
- 16-point overlapping parabolic
- 4-point average (simple or weighed)
- 16-point average (simple or weighed)
- Grid cell average
- Nearest neighbor
- Breadth-first search



WPS

geodrid.exe

ungrid.exe

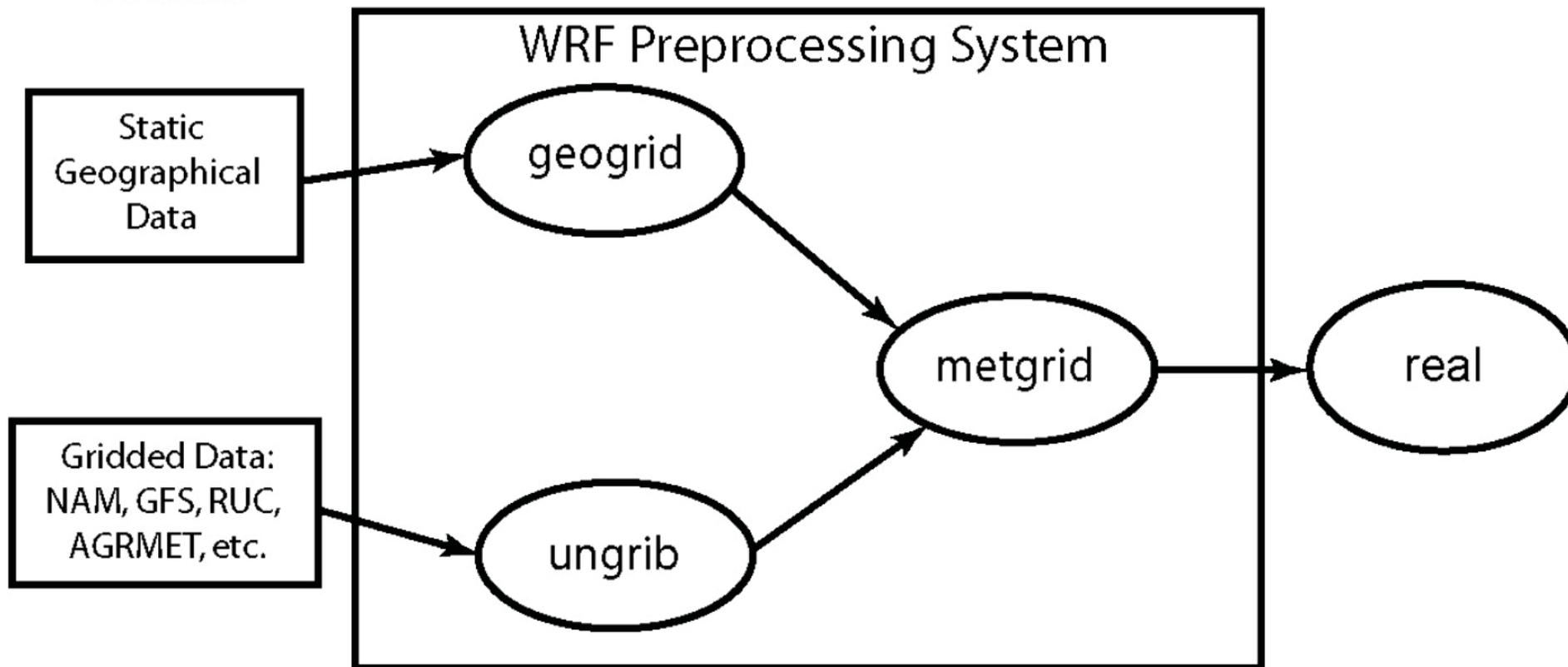
metgrid.exe

Interpolación

- Es capaz de interpolar campos con una máscara de valores.
- Por ejemplo, el campo con la temperatura del mar sólo tiene valores válidos en la superficie del agua.
- Para ello metgrid puede recurrir a una bien a una máscara (ejem. tierra-mar) o a valores especiales (ejem. -9999).
- Adicionalmente metgrid permite que algunos campos se puedan mantener constantes en el tiempo.



External Data Sources



Inicializadores



Inicializadores

Caso ideal

- Los casos ideales permiten hacer pruebas sencillas de situaciones concretas.
- Por ejemplo en escalas temporales de segundos y espaciales de metros.
- Los casos ideales reproducen situaciones cuya solución es suficientemente conocida.



Inicializadores

Caso ideal

- Los casos ideales permiten hacer pruebas sencillas de situaciones concretas.
- Por ejemplo en escalas temporales de segundos y espaciales de metros.
- Los casos ideales reproducen situaciones cuya solución es suficientemente conocida.
- Se usan por ejemplo para hacer nuevos desarrollos en la física del modelo.
- Además pueden usarse como punto de partida para un nuevo experimento idealizado.
- También son una forma sencilla de hacer pruebas del código

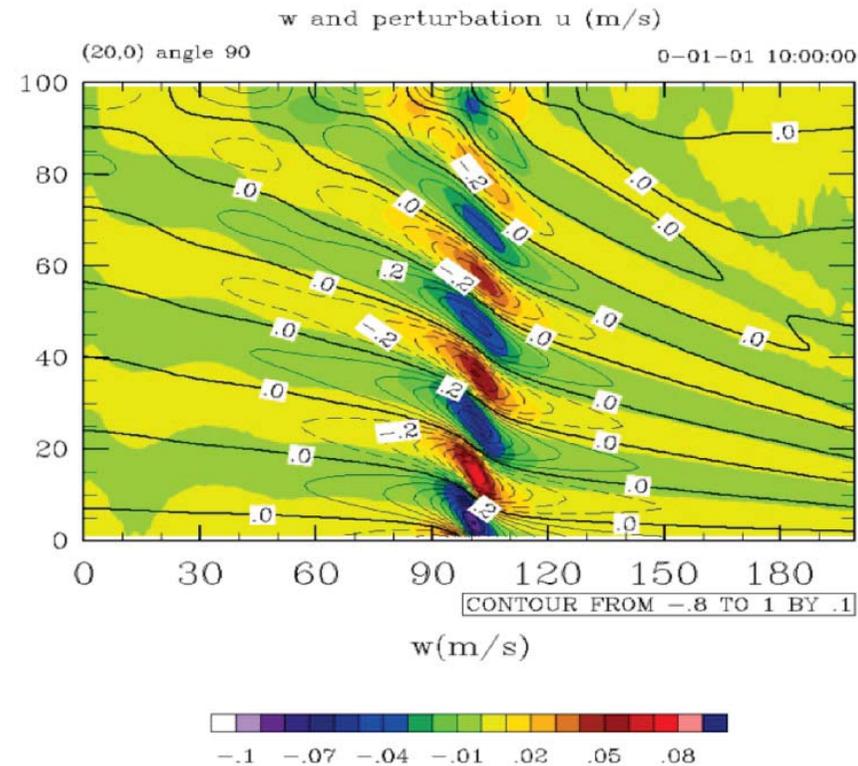


Inicializadores

Caso ideal

2D Flow Over a Bell-Shaped Mountain

(dx = 2 km, dt = 20 s, T=10 hr)



Inicializadores

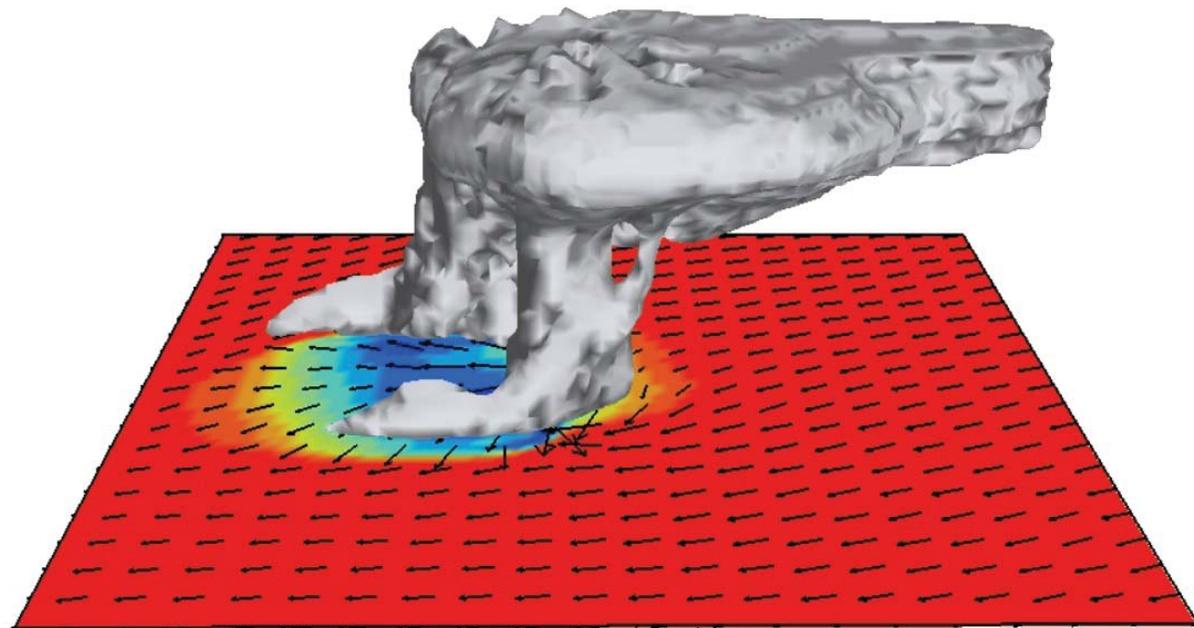
Caso ideal

3D supercell simulation

Height coordinate model

($dx = dy = 2 \text{ km}$, $dz = 500 \text{ m}$, $dt = 12 \text{ s}$, $160 \times 160 \times 20 \text{ km}$ domain)

Surface temperature, surface winds and cloud field at 2 hours

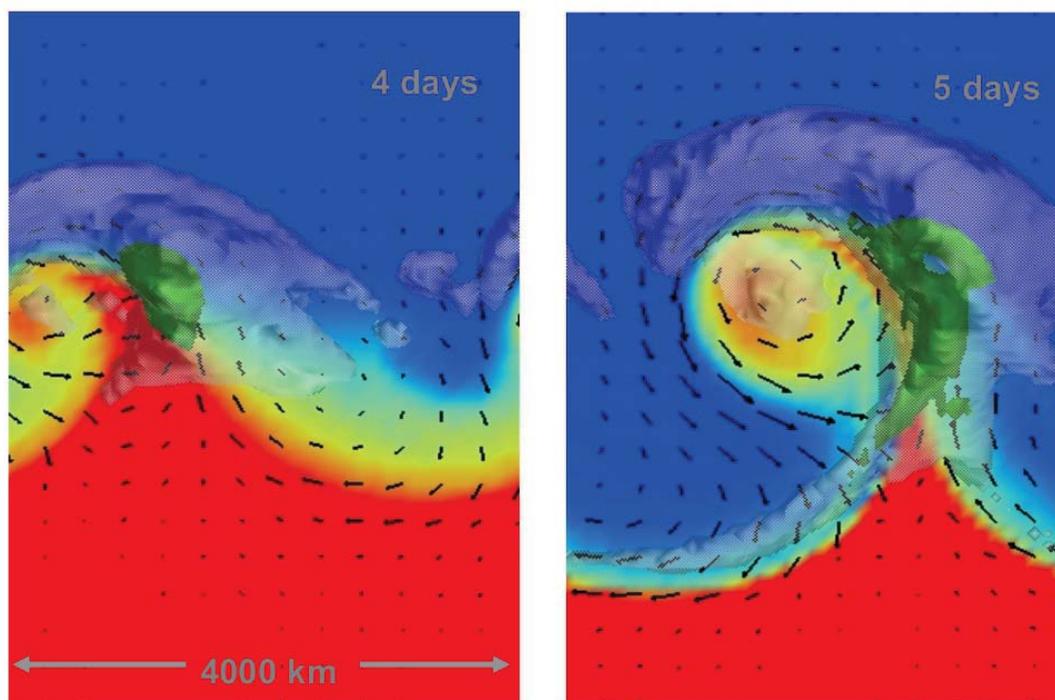


Inicializadores

Caso ideal

Moist Baroclinic Wave Simulation

Height coordinate model ($dx = 100$ km, $dz = 250$ m, $dt = 600$ s)
Surface temperature, surface winds, cloud and rain water



Inicializadores

Caso ideal

Lista de casos ideales

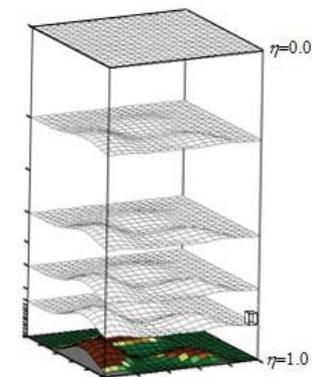
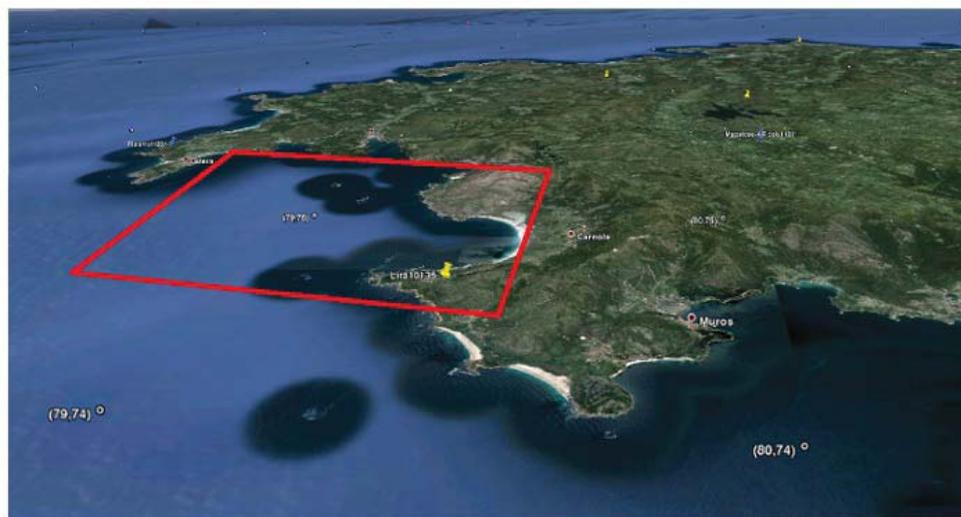
- 2D flow over a bell-shaped mountain – WRFV3/test/em_hill2d_x
- 2D squall line (x, z ; y, z) – WRFV3/test/em_squall2d_x, em_squall2d_y
- 3D quarter-circle shear supercell thunderstorm – WRFV3/test/em_quarter_ss
- 3D baroclinic wave – WRFV3/test/em_b_wave
- 2D gravity current – WRFV3/test/em_grav2d_x
- 3D large-eddy simulation case – WRFV3/test/em_les
- 3D global: Held-Suarez case – WRFV3/test/em_heldsuarez
- 2D sea-breeze case – WRFV3/test/em_seabreeze2d_x
- 3D tropical cyclone – WRFV3/test/em_tropical_cyclone



Inicializadores

Caso ideal

Caso real

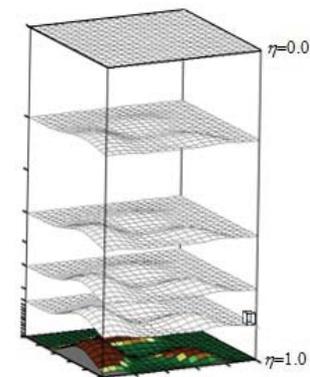
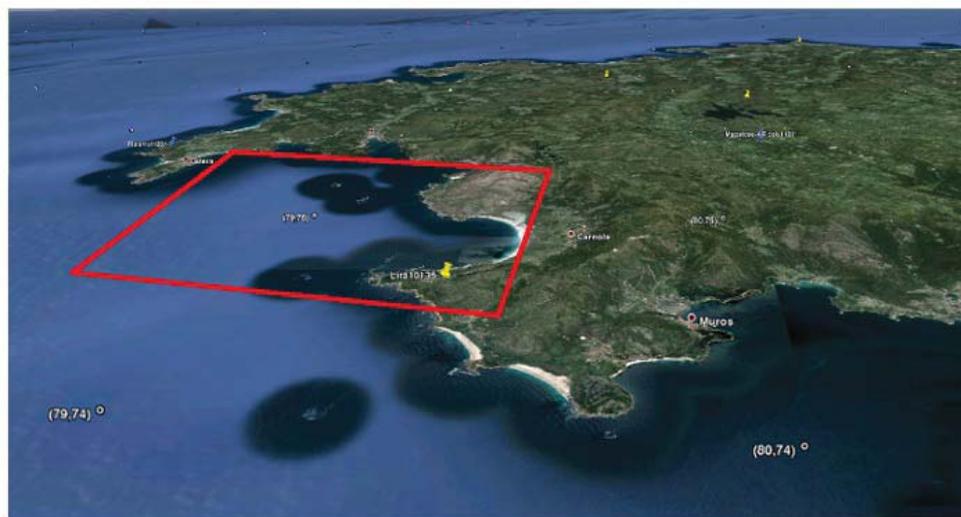


- Prepara los datos de entrada para una simulación de un caso real
 - Campos estáticos realistas de topografía, uso de suelo, vegetación y categoría del suelo.
 - Condiciones iniciales obtenidos de un análisis
 - Para dominios regionales además requiere de condiciones de contorno.

Inicializadores

Caso ideal

Caso real

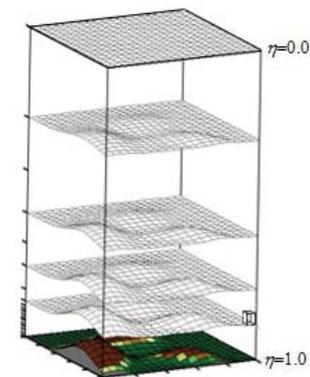
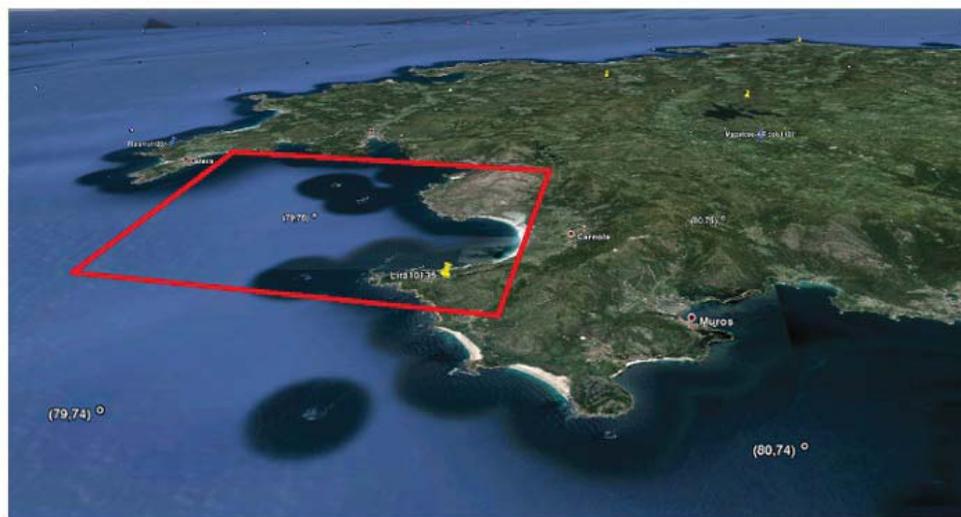


- En función del núcleo dinámico el binario será real.exe o real_nmm.exe.
- La salida del paquete WPS provee de los archivos y datos necesarios para ejecutar real.
- Genera el estado inicial para cada uno de los dominios del ARW.
- En el caso del NMM sólo para el dominio más grosero o externo.

Inicializadores

Caso ideal

Caso real



- Crea un archivo con las condiciones de contorno del dominio más externo.
- Realiza la interpolación vertical de los campos 3d de los campos meteorológicos
- y de los datos de suelo bajo la superficie.

Inicializadores

Caso ideal

Caso real

- Requerido por ARW
 - Campos 3d y superficiales de: Viento, temperatura, humedad relativa y altura geopotencial.
 - Campo 3d de temperatura del suelo.
 - Campos 2d: Presión en superficie, presión a nivel del mar y máscara tierra-mar.



Inicializadores

Caso ideal

Caso real

- Requerido por ARW
 - Campos 3d y superficiales de: Viento, temperatura, humedad relativa y altura geopotencial.
 - Campo 3d de temperatura del suelo.
 - Campos 2d: Presión en superficie, presión a nivel del mar y máscara tierra-mar.
- No requerido por ARW pero deseable
 - Soil moisture (cantidad de agua en el suelo).
 - Campos 2d: Elevación topográfica, temperatura superficial del agua del mar, fracción de agua de mar - hielo y temperatura superficial (skin temperature).

Núcleos dinámicos



Núcleos dinámicos

ARW

- Advanced Research WRF (ARW) cuyo desarrollo está liderado desde el NCAR/MMM.
- Totalmente compresible y no hidrostático (opcional)
- Malla Arakawa C
- Dinámica Euleriana.
- Coordenadas verticales en niveles de presión hidrostático que siguen el terreno y opcionalmente niveles híbridos (sigma-pressure) que siguen el terreno.
- Esquema de integración temporal es un Runge-Kutta de segundo ó tercer orden.
- Conserva la masa, momento, dry entropy y escalares (definidos positivos).

Núcleos dinámicos

ARW

- Los esquemas de discretización de la advección pueden ser de 2º orden hasta 6º orden, tanto horizontal como vertical.
- Renormalización definida positiva.
- Útil para variables definidas positivas
- Como regla general el paso temporal en segundos debe ser del orden de 6 veces el tamaño de la red en kilómetros para mantener la estabilidad del esquema.



Núcleos dinámicos

ARW

Filtros

- Modos acústicos (divergence damping)
- Modos externos
- Modos acústicos verticales
- Velocidades verticales anormalmente grandes
- Mezcla horizontal 2º orden (Kh, Smagorinsky)



Núcleos dinámicos

ARW

Condiciones de contorno

- Laterales
 - Especificadas (malla externa, casos reales)
 - Frontera abierta (gravity-wave radiative)
 - Simétricas
 - Periódicas
 - Anidadas (especificadas)
- Superior
 - Presión constante
 - Amortiguación (Rayleigh damping)
 - Absorción (aumenta difusión horizontal)
 - Gravity-wave
- Inferior
 - Deslizamiento libre
 - Capa límite con flujos de arrastre superficiales

Núcleos dinámicos

ARW

NMM

- Nonhydrostatic Mesoscale Model (NMM) cuyo desarrollo está liderado desde el NCEP/EMC con soporte proporcionado por NCAR/DTC.
- Totalmente compresible y no hidrostático (opcional)
- Dinámica Euleriana.
- Coordenadas verticales en niveles híbridos (sigma-pressure) que siguen el terreno.
- Malla Arakawa E
- Integración temporal Adams-Bashforth de 2º orden.
- Conserva la energía cinética rotacional, la energía total, la masa, entropía y momento.
- Discretización espacial de 9 puntos y 2º orden para la advección.

Núcleos dinámicos

ARW

NMM

Usa las ecuaciones completas de compresibilidad separadas en la parte hidrostática y no hidrostática.

- Facilita la comparación entre las soluciones hidrostática y no hidrostática.
- Reduce el gasto computacional en resoluciones bajas.



Opciones y parametrizaciones



Opciones y

parametrizaciones

Opciones físicas

- Microfísica (mp_physics)
- Radiación
 - Longwave Radiation (ra_lw_physics)
 - Shortwave Radiation (ra_sw_physics)
 - Cloud fraction option
- Superficie
 - Surface Layer (sf_sfclay_physics)
 - Land Surface (sf_surface_physics)
 - Urban Surface (sf_urban_physics)
 - Lake Physics (sf_lake_physics)
- Planetary Boundary Layer (bl_pbl_physics)
- Cumulus (cu_physics)



Opciones y

parametrizaciones

Difusión y amortiguación (damping)

- Difusión (diff_opt)
- Turbulencia (km_opt)
- Amortiguación

Advección

Condiciones de contorno

- Casos ideales
 - Periódicas
 - Abiertas
 - Simétricas
- Casos reales
 - “Specified”
 - Anidados



Unified Post Processor (UPP)



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

meteo**g**alicia

UPP

- El UPP transforma las salidas del WRF para su uso posterior
 - Por ejemplo para visualización (por sí mismo no incluye software de visualización)
 - Para interpolar a una nueva malla, etc.
- Los archivos de salida pueden ser tanto en formato GRIB1 como GRIB2.
- Dos componentes principales
 - unipost.exe
 - copygb.exe

UPP

unipost.exe

- Calcula nuevos campos de diagnóstico no calculados directamente en el modelo
 - Por ejemplo la RH a partir de T y vapor de agua
- Realiza interpolaciones verticales en superficies isobáricas, en altura u otras superficies que no sean del modelo.
- Recalcula el viento en la malla del ARW
- El código es paralelo (MPI)



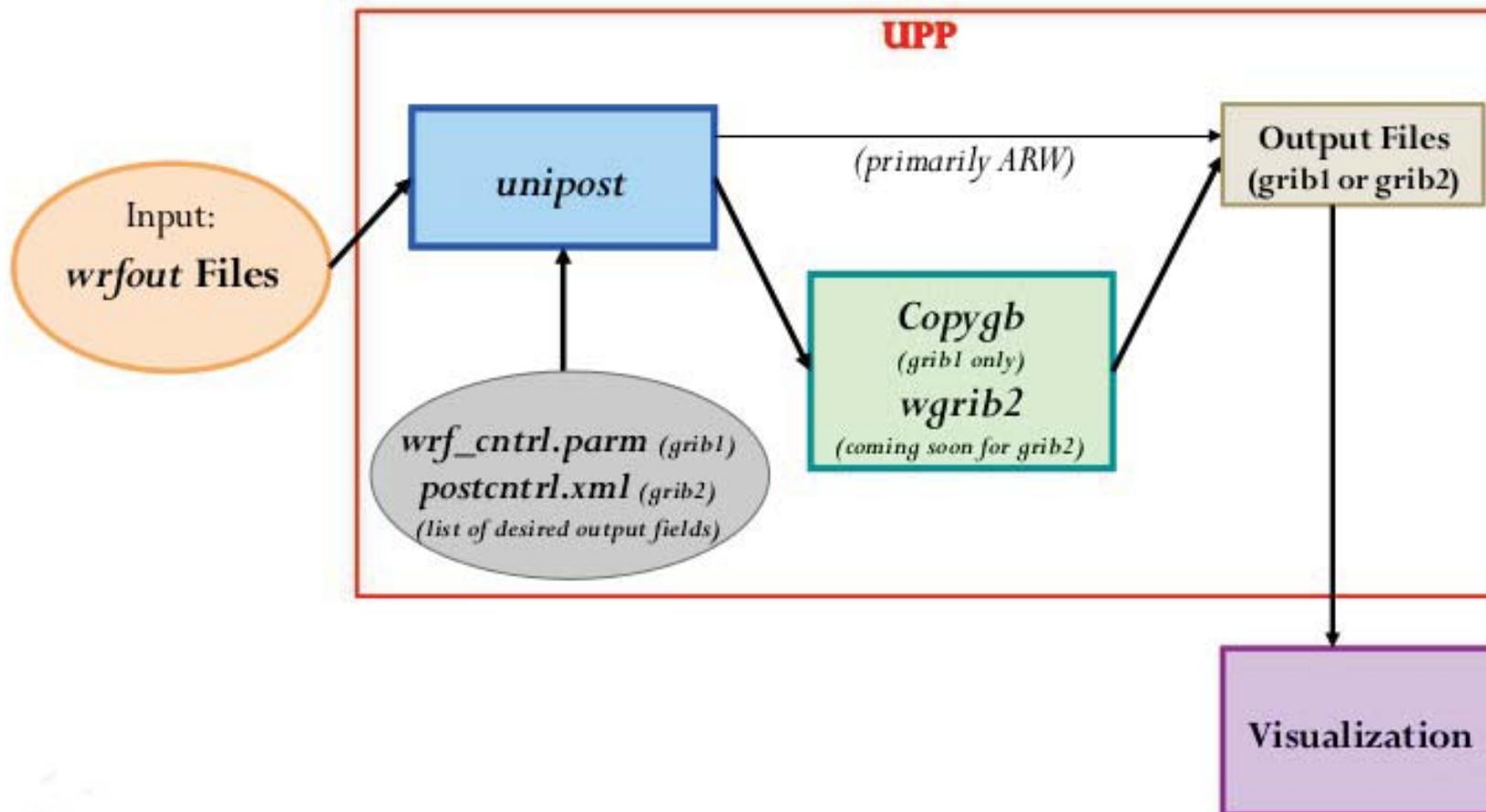
UPP

unipost.exe

copygb.exe

- Permite interpolar horizontalmente la malla del modelo a una nueva malla.
- Regenera la malla del NMM ya que muchos paquetes de software no soportan estas mallas (destaggering)
- Permite recalcular la malla en una nueva proyección
 - Por ejemplo pasar de Lambert a Lat-Lon.





Asimilación



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

meteogalicia

Asimilación



- La asimilación permite mejorar el estado inicial del modelo (first guess).
- Tradicionalmente solían ser observaciones directas de temperatura, humedad y viento tanto en superficie como de radiosondeos.
- El paquete OBSGRID asimila este tipo de datos.

Asimilación



- Cada vez existe una mayor cantidad de observaciones “indirectas”.
- La asimilación de este tipo de datos es más complejo y requiere técnicas variacionales.
- 3DVAR y 4DVAR son las más utilizadas.
- Estas técnicas variacionales están incluidas en el paquete WRFDA (WRF-Var).

Asimilación



- Tradicionalmente este estado inicial procede de un análisis global de baja resolución.
- Hoy en día existe una gran variedad de fuentes con información de alta resolución, y a escala regional.
- Estas fuentes de alta resolución hacen que no siempre sea relevante la ejecución de OBSGRID.

Otras opciones en WRF



Otras opciones en WRF

- Digital filter
- Nudging
- SST update
- Esquemas de parametrización estocástica
- Orographic gravity wave drag



XUNTA DE GALICIA

CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

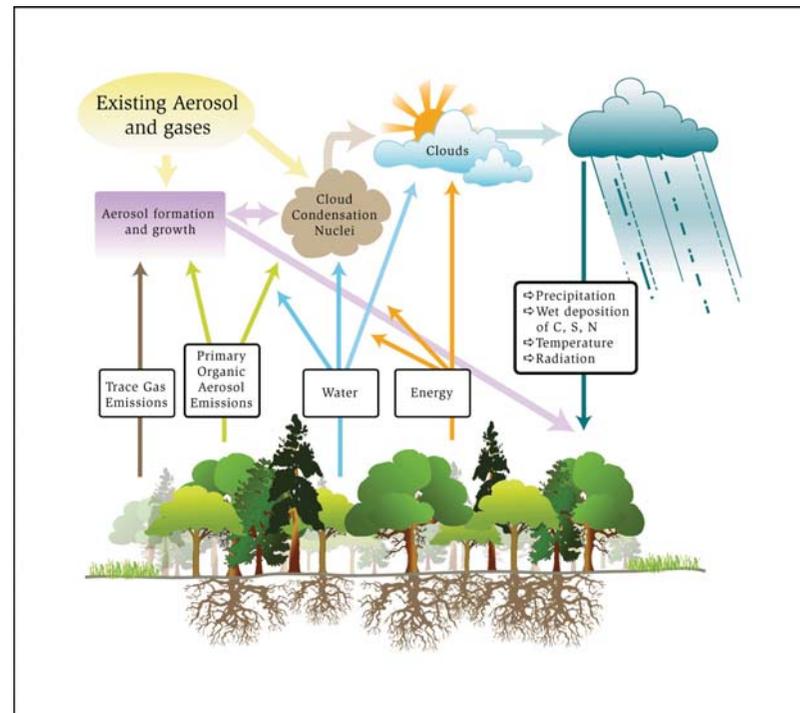
meteogalicia

Extensiones



Extensiones

WRF-Chem

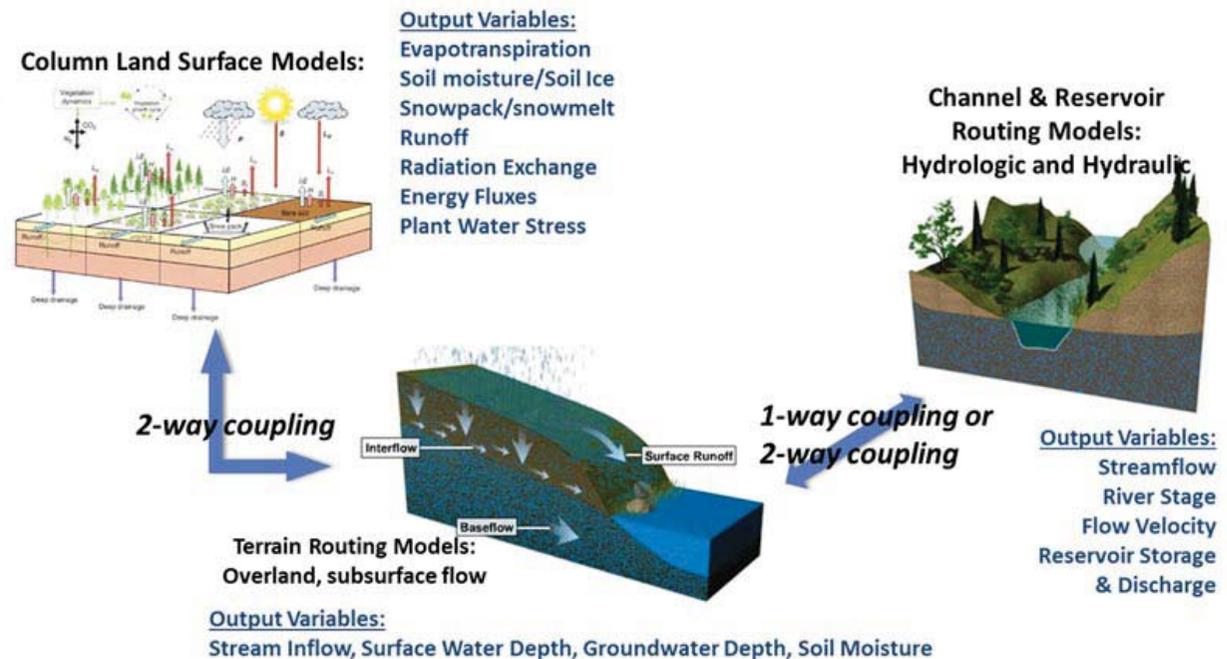


- Modelo de predicción/dispersión de contaminantes
- Dispersión/calidad del aire acoplados al modelo con interacción de especies químicas y O₃, UV y partículas materiales.
- Estudios de forzamientos directos e indirectos con aerosol.

Extensiones

WRF-Chem

WRF-Hydro



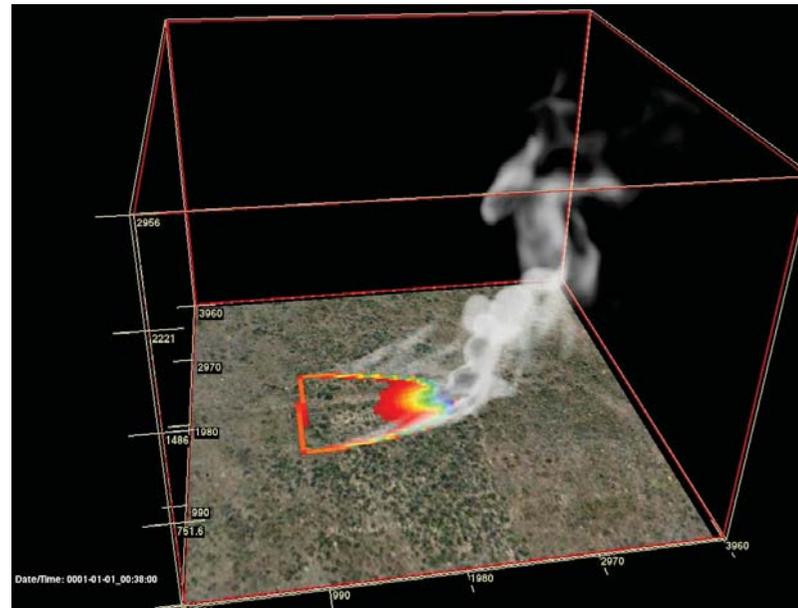
- Inicialmente fue diseñado como un entorno para acoplar el WRF y componentes de modelos hidrológicos.
- Actualmente WRF-Hydro ha evolucionado para ser tanto un entorno en sí mismo así como una arquitectura de acoplamiento con otros modelos meteorológicos.

Extensiones

WRF-Chem

WRF-Hydro

WRF-Fire



- Acopla al WRF con un modelo de propagación de incendios (SFIRE).
- Basado en fórmulas semiempíricas es capaz de calcular el ritmo y la dirección de propagación de la línea de fuego.
- Para ello usa las propiedades del combustible, la velocidad del viento (WRF) e inclinación del terreno.



Rendimiento



Rendimiento

Mallas anidadas

Anidamiento offline

- Unidireccional
- Primero correo el dominio padre



Rendimiento

Mallas anidadas

Anidamiento offline

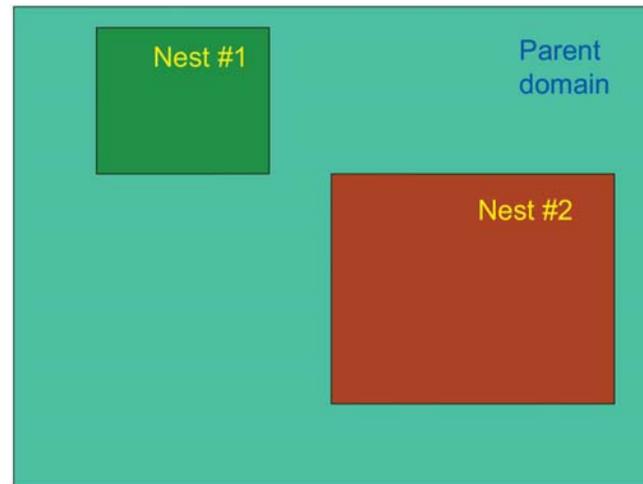
- Unidireccional
- Primero correo el dominio padre



- ndown.exe genera C.C. para la malla anidada
- Condiciones iniciales a partir del fichero para la malla anidada
- La malla anidada corre después del ndown.

Rendimiento

Mallas anidadas

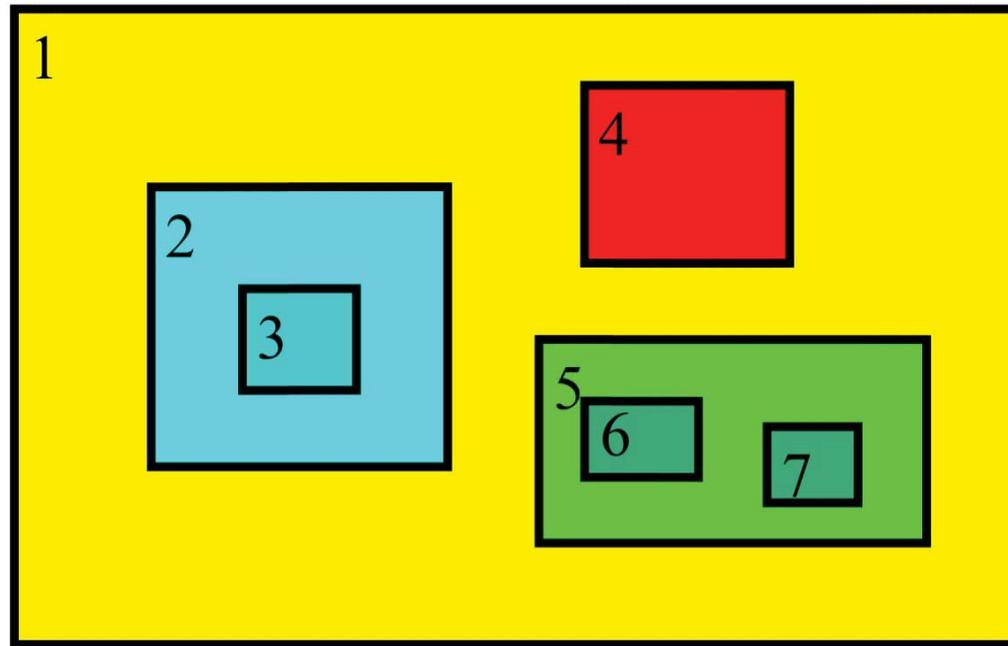


Anidamiento online

- WRF permite ejecutar simultáneamente varias mallas con resolución creciente.
- Una malla anidada cubre una parte de la malla de resolución más grosera y sus condiciones de contorno las obtiene de ésta.
- La localización de la malla anidada puede ser dinámica (útil en simulaciones de huracanes HWRF)
- Anidamiento uni/bidireccional (feedback)

Rendimiento

Mallas anidadas



Anidamiento online

- Evitan tener que ejecutar todo el dominio a alta resolución
- Reduce el costo computacional
- Permite la ejecución de la malla de alta resolución se inicie más tarde

Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal
variable

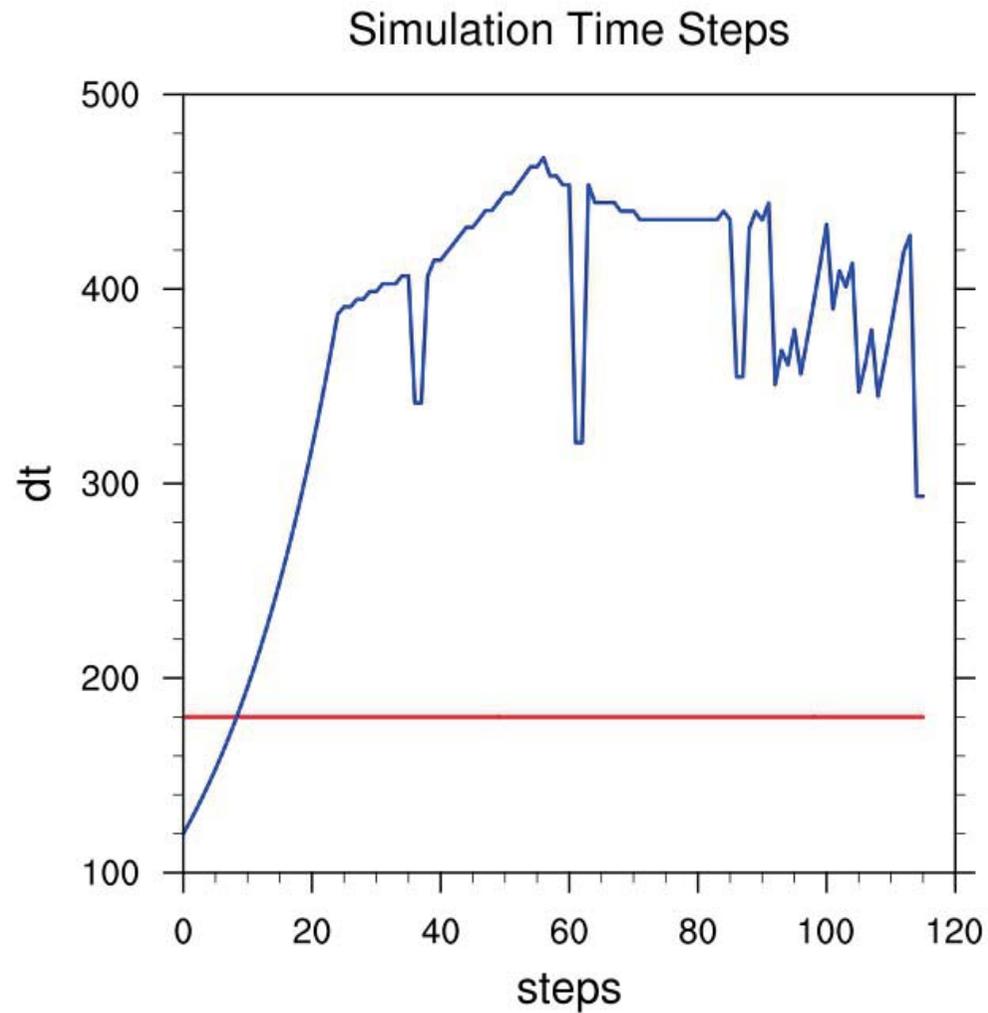
```
use_adaptive_time_step = .true.,  
step_to_output_time   = .true.,  
target_cfl             = 1.2, 1.2,  
target_hcfl           = .84, .84,  
max_step_increase_pct = 5, 51,  
starting_time_step     = -1, -1,  
max_time_step          = 480, 480,  
min_time_step          = 120, 120,  
adaptation_domain      = 1,
```



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal variable



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal
variable

Binarios sin versión
paralela

Varias opciones para paralelizar binarios serie

- Sistema de colas



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal
variable

Binarios sin versión
paralela

Varias opciones para paralelizar binarios serie

- Sistema de colas
- Shell
 - background
 - GNU Parallel



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal
variable

Binarios sin versión
paralela

Varias opciones para paralelizar binarios serie

- Sistema de colas
- Shell
 - background
 - GNU Parallel
- Python
 - PyMPI
 - MPI4Python

```
$ mpiexec -n 5 python -m mpi4py helloworld  
Hello, World! I am process 0 of 5 on localhost.  
Hello, World! I am process 1 of 5 on localhost.  
Hello, World! I am process 2 of 5 on localhost.  
Hello, World! I am process 3 of 5 on localhost.  
Hello, World! I am process 4 of 5 on localhost.
```



Rendimiento

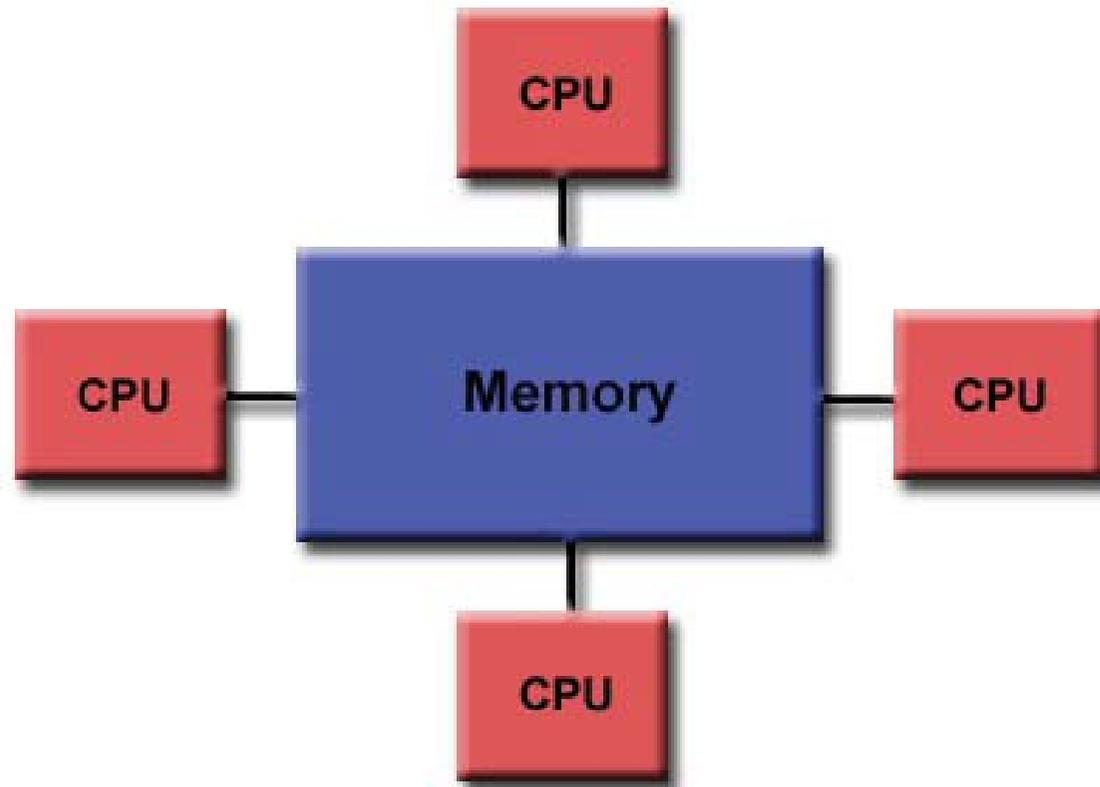
OpenMP

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela



Rendimiento

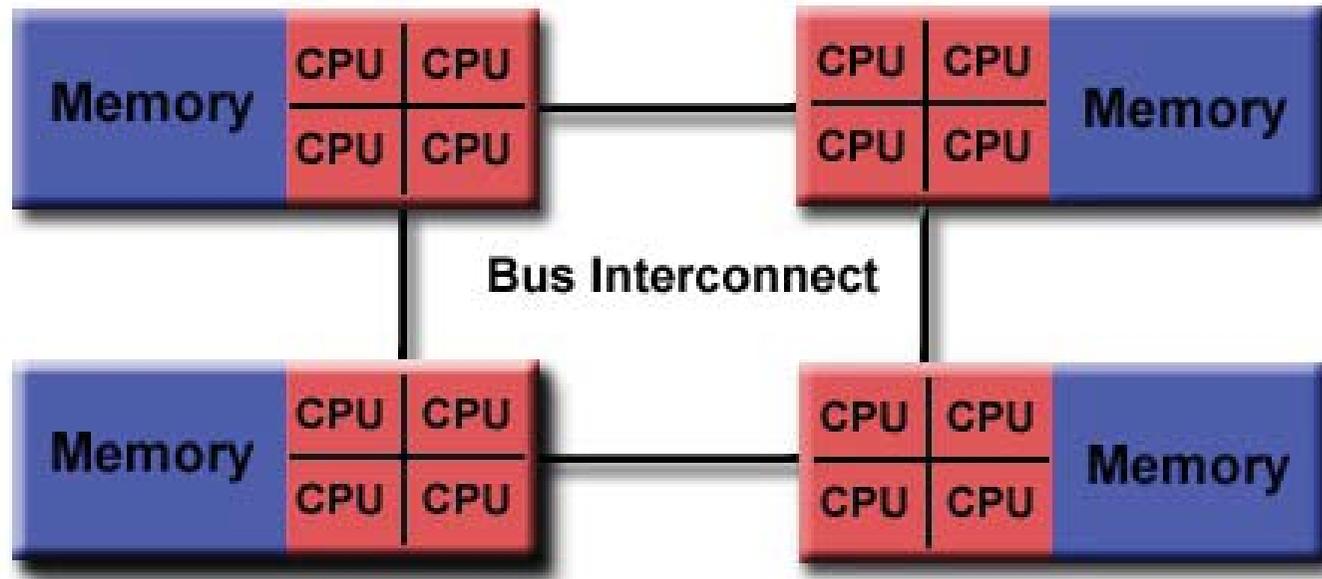
MPI

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela



Rendimiento

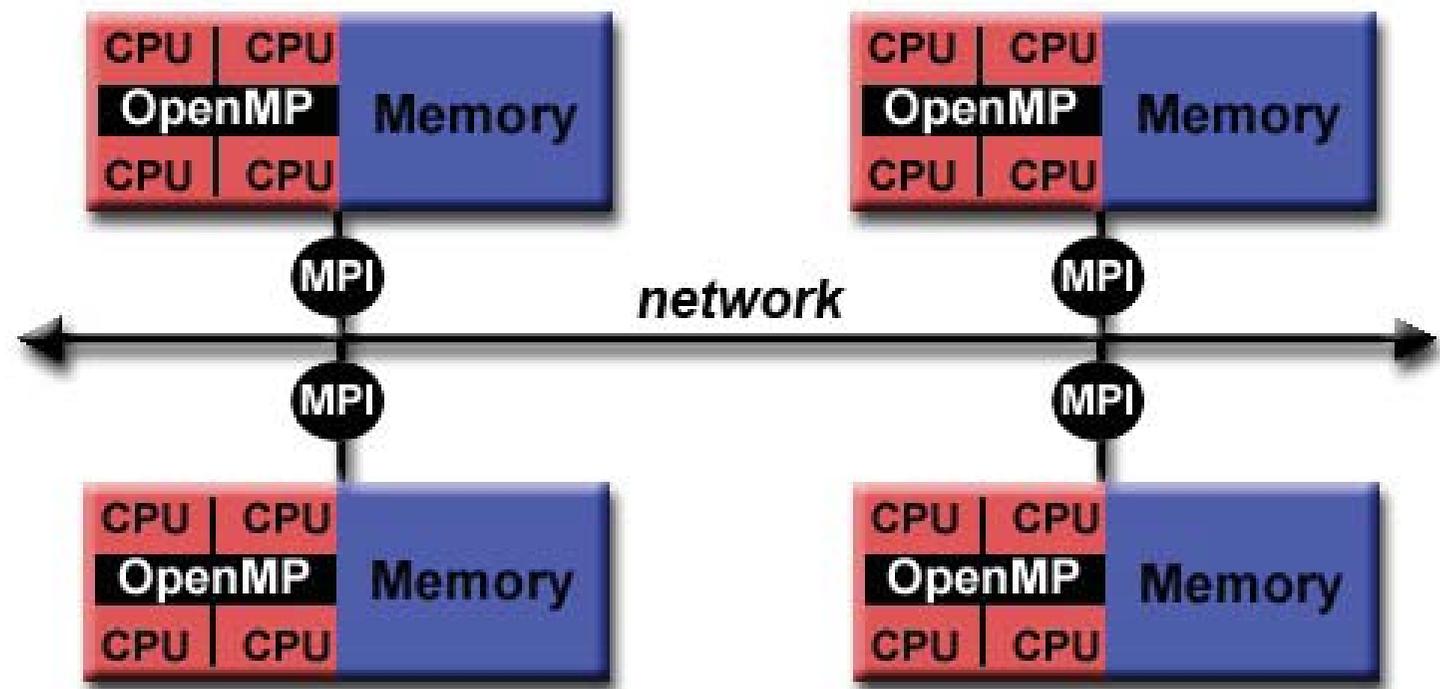
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

Modo híbrido



Rendimiento

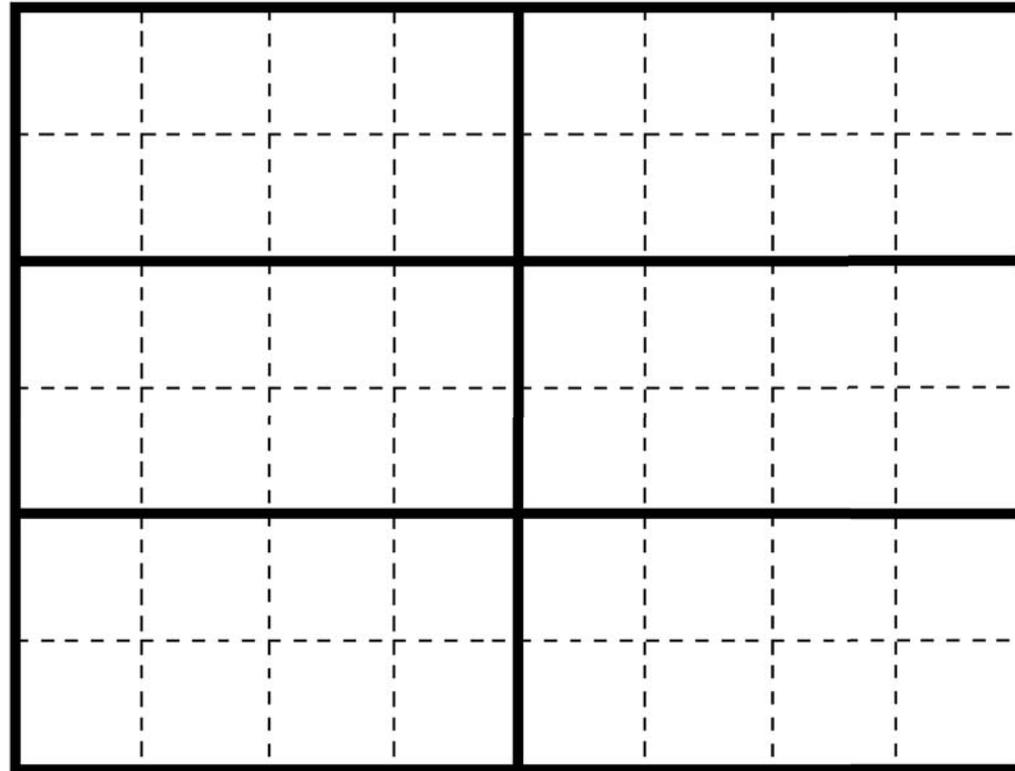
Modo híbrido

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela



Rendimiento

El WRF es muy dependiente de los procesos de lectura/escritura

Mallas anidadas

- Lectura de condiciones iniciales

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O

El WRF es muy dependiente de los procesos de lectura/escritura

- Lectura de condiciones iniciales
- Lectura de condiciones de contorno



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O

El WRF es muy dependiente de los procesos de lectura/escritura

- Lectura de condiciones iniciales
- Lectura de condiciones de contorno
- Escritura lectura de archivos de restart



Rendimiento

Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O

El WRF es muy dependiente de los procesos de lectura/escritura

- Lectura de condiciones iniciales
- Lectura de condiciones de contorno
- Escritura lectura de archivos de restart
- Repetidamente escribe en disco una serie temporal de la representación tridimensional de la atmósfera



Rendimiento

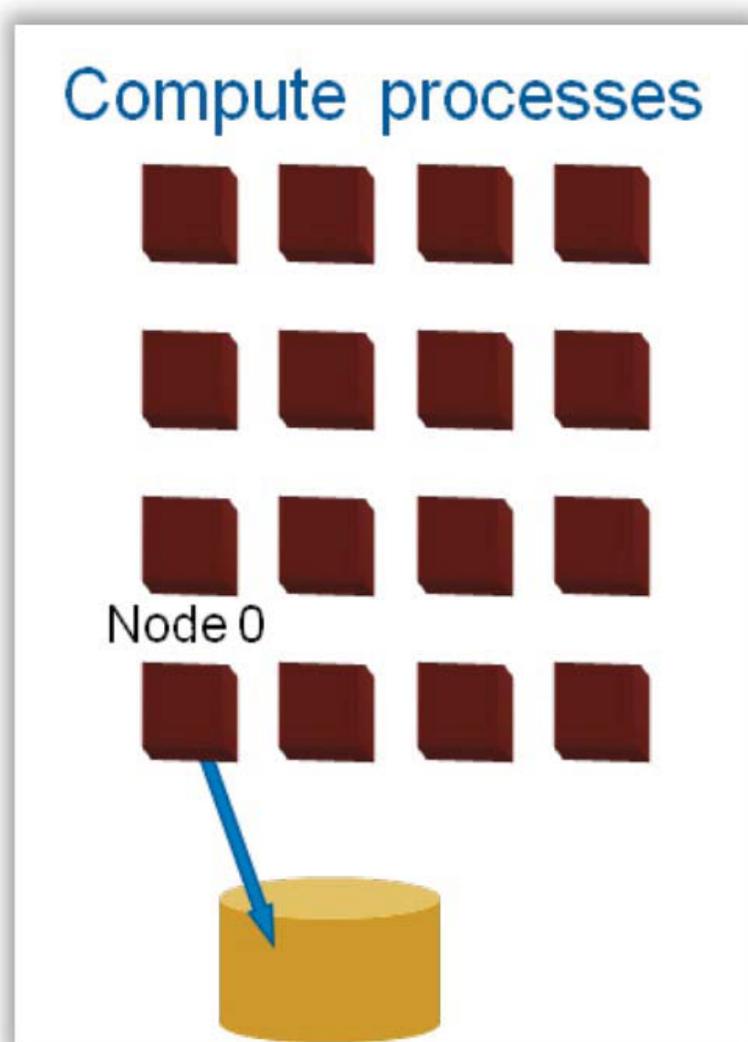
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



Rendimiento

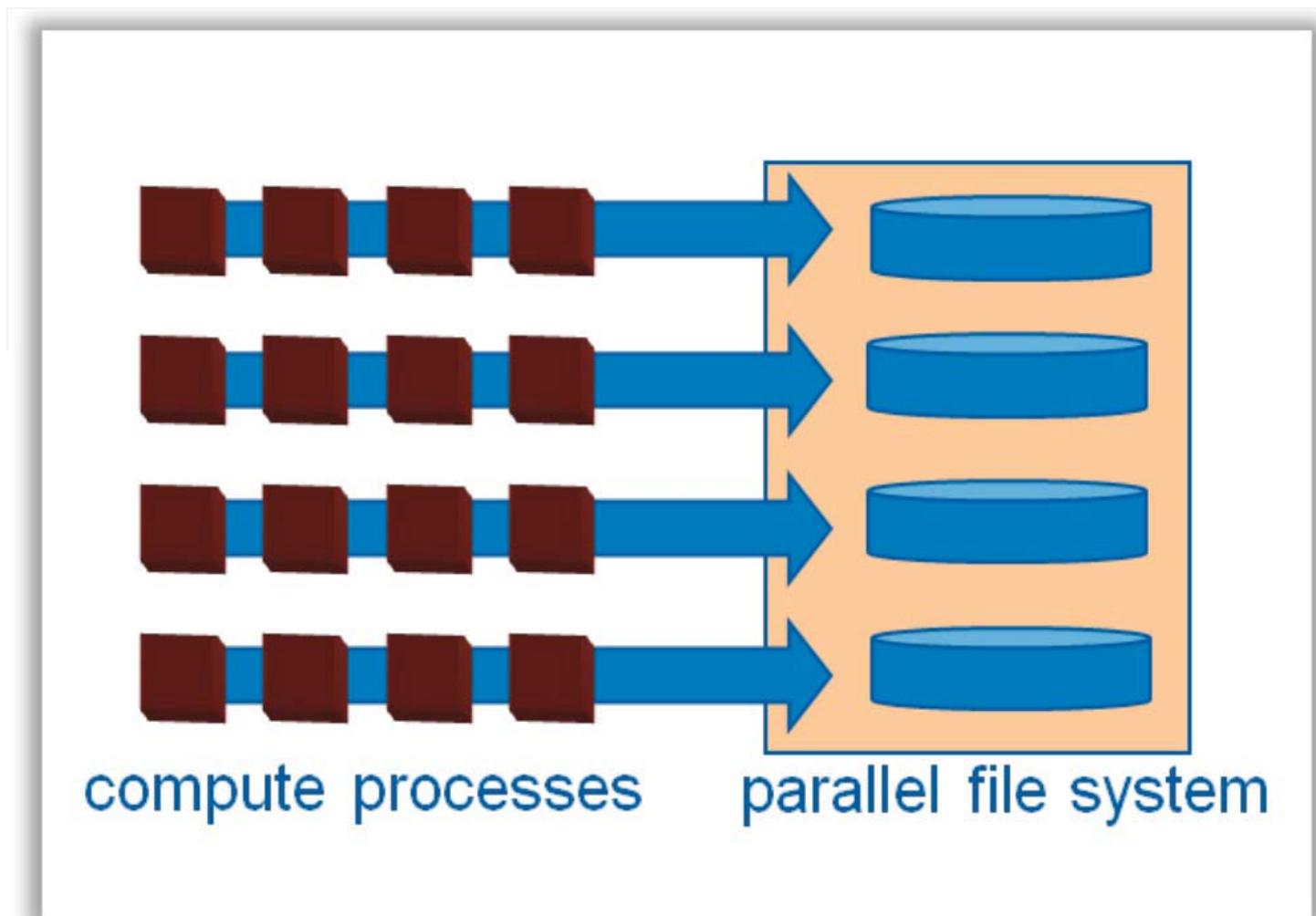
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



Rendimiento

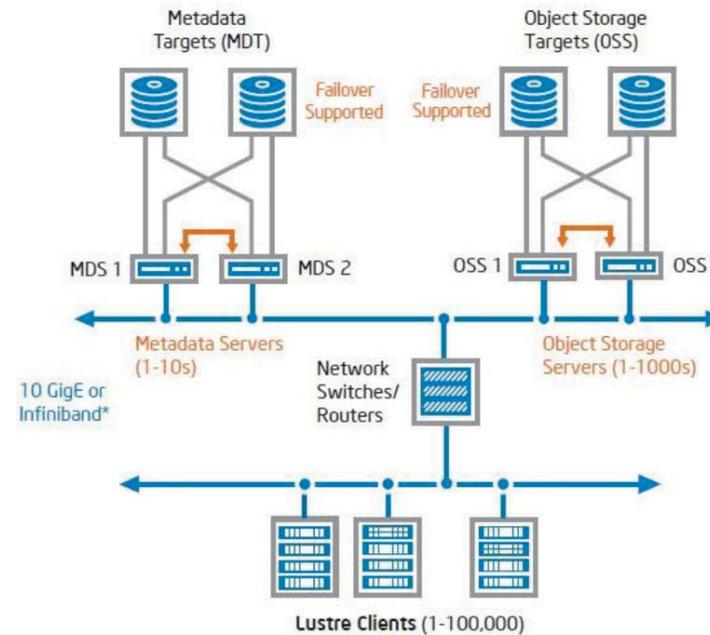
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



Sistema de almacenamiento paralelo

lustre®
File System

Rendimiento

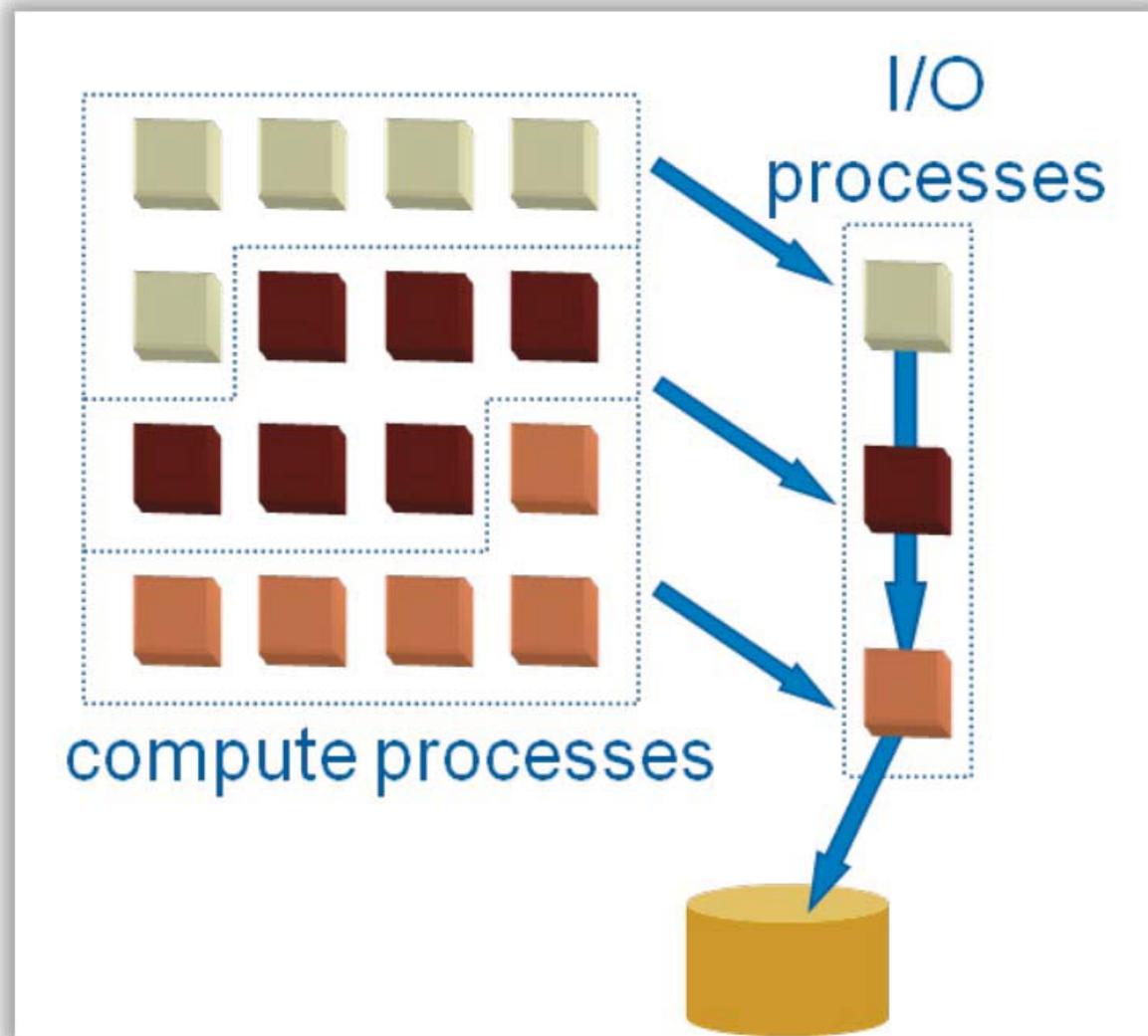
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



Rendimiento

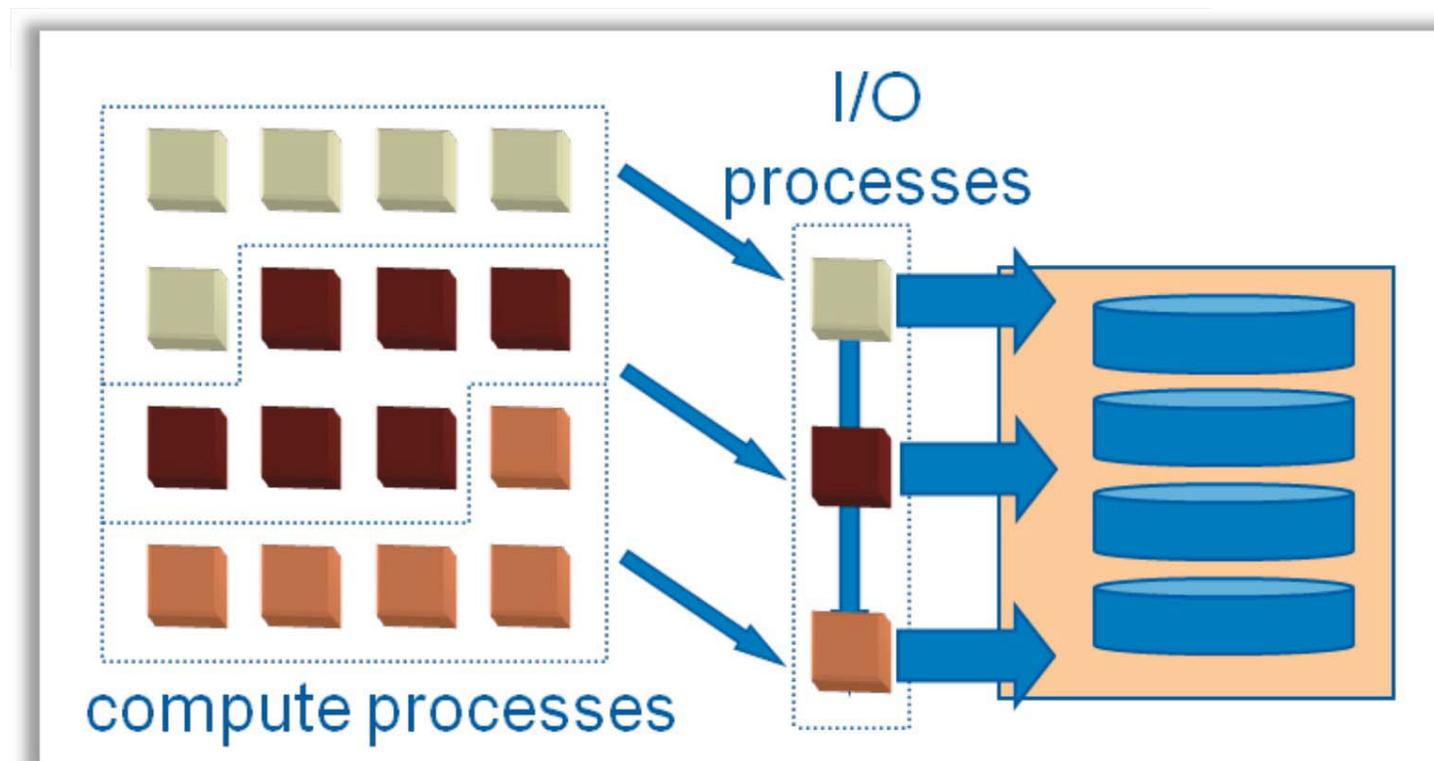
Mallas anidadas

Paso temporal variable

Binarios sin versión paralela

Computación paralela

I/O



GRACIAS



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
E ORDENACIÓN DO TERRITORIO

meteogalicia