

Introducción a la modelización climática regional: experimentos de regionalización con WRF

Deniz Bozkurt

Departamento de Meteorología, Universidad de Valparaíso

Center for Climate and Resilience Research (CR)²

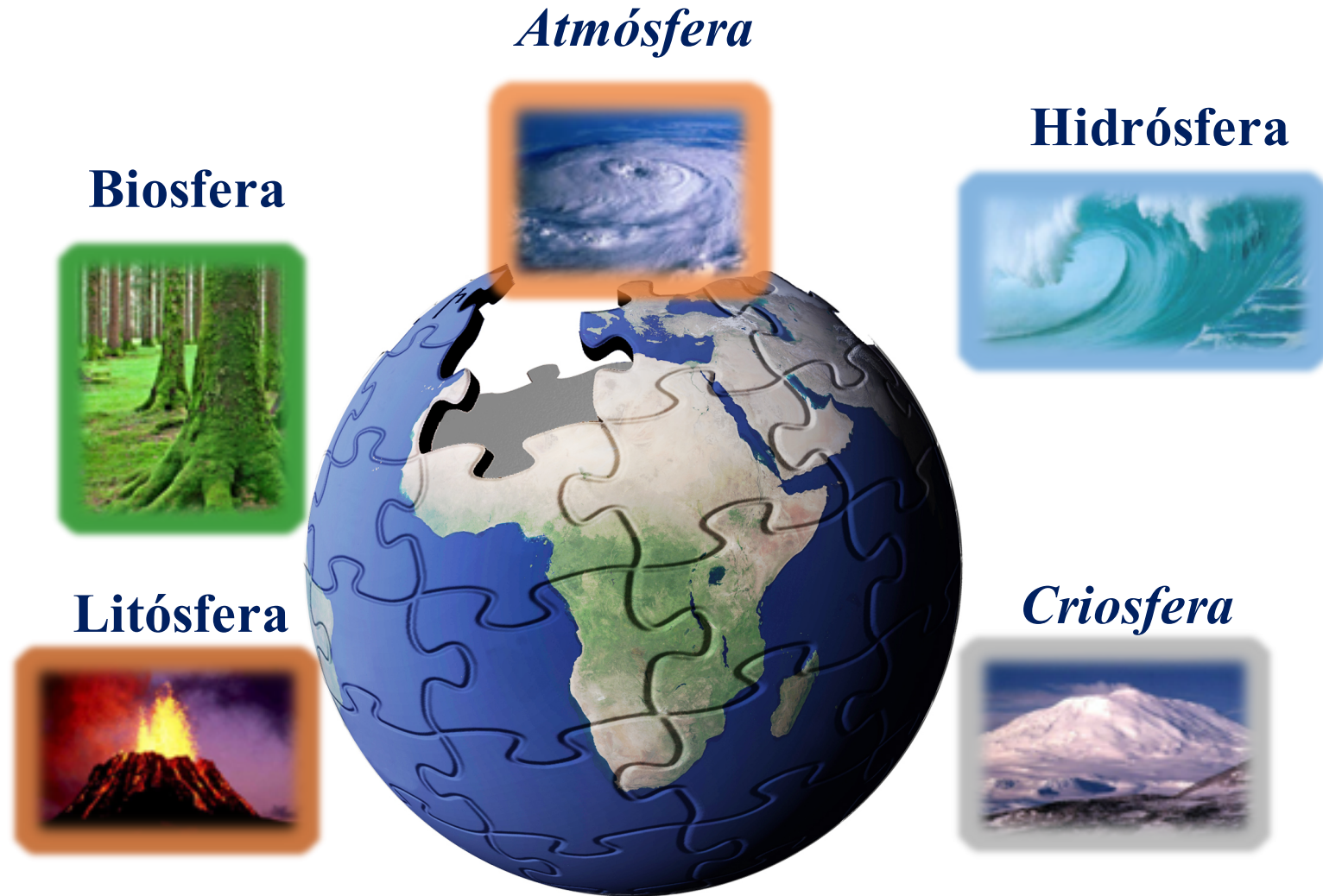
Center for Oceanographic Research COPAS COASTAL, University of
Concepción, Chile

deniz.bozkurt@uv.cl

Taller de introducción a WRF en la infraestructura NLHPC, 15 de noviembre de 2022, virtual

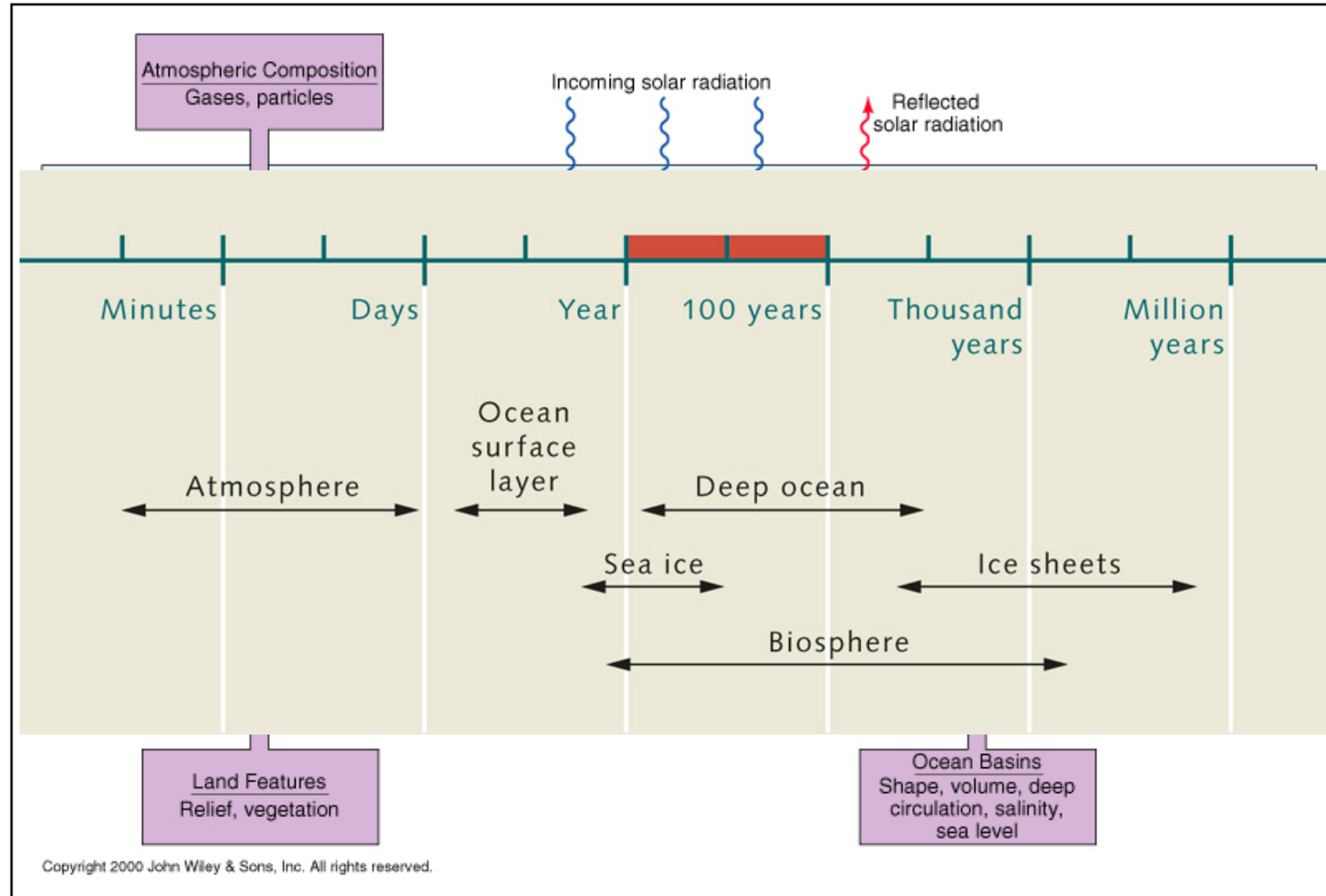
- ¿Qué es un modelo climático?
- Downscaling dinámica (regionalización)
- Modelo WRF
- Cómo trabajar con WRF: ejemplos de la Antártica y Chile

Sistema climático



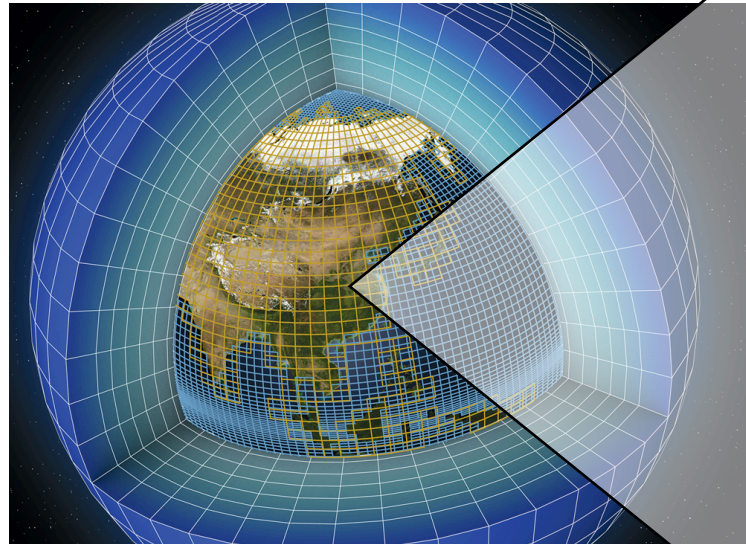
El sistema climático se define como una entidad compuesta por cinco componentes interactuantes (**atmósfera, hidrósfera, criosfera, litósfera y biosfera**) que en conjunto funcionan complejamente como un todo.

Sistema climático

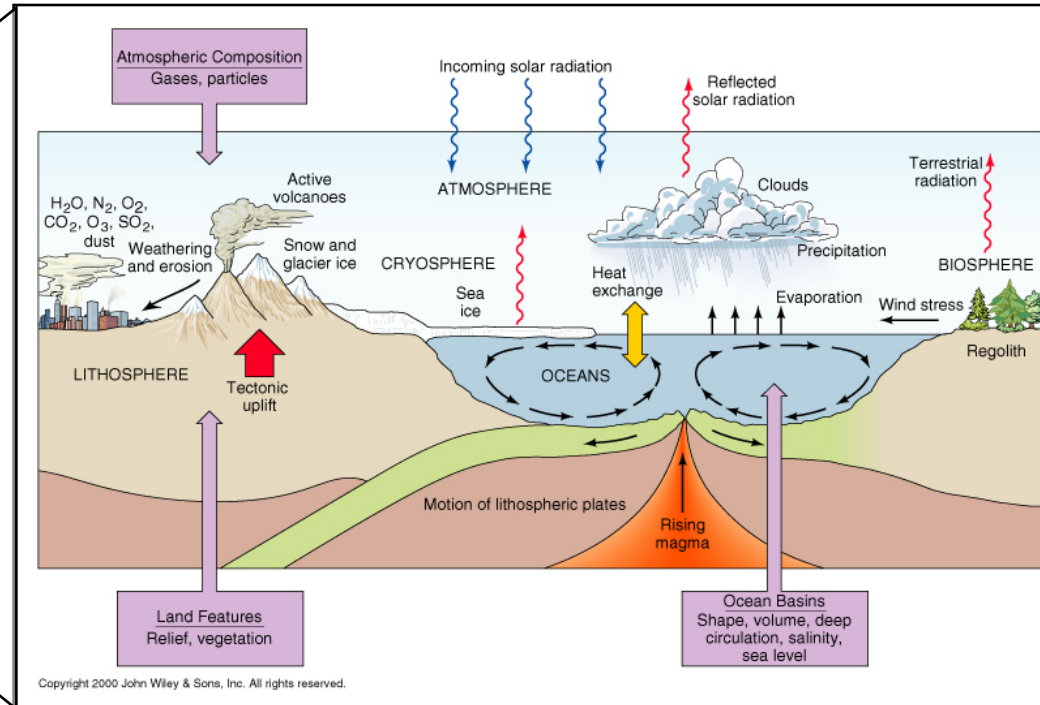


La naturaleza de los componentes del sistema climático es muy diferente, pero aún así, interactúan entre sí a través de flujos de materia y energía.

¿Qué es un modelo climático?



Sistema de ecuaciones que describen el movimiento del fluido, radiación, composición química, etc..



Un modelo computacional que busca representar el sistema climático y sus componentes y sus interacciones.

¿Qué es un modelo climático?

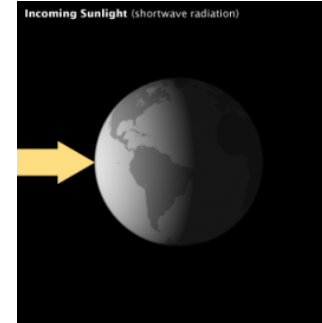
Un modelo climático simple

- Lo que entra

$$S\pi r^2 (1 - a)$$

Constante solar
1367 W/m²

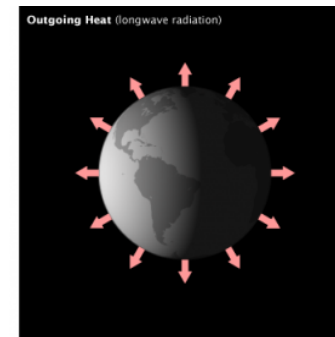
Albedo
0.3



- Debe salir

$$4\pi r^2 \epsilon \sigma T^4$$

Emisividad
(invernadero, nubes)



Constante de Stefan Boltzmann
 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2)$

¿Qué es un modelo climático?

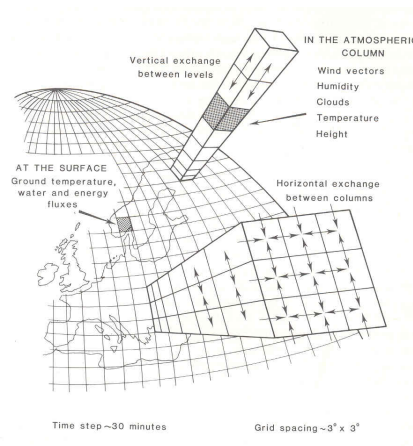
Características y procesos físicos que ocurren en cada caja están catalogadas



¿Qué es un modelo climático?

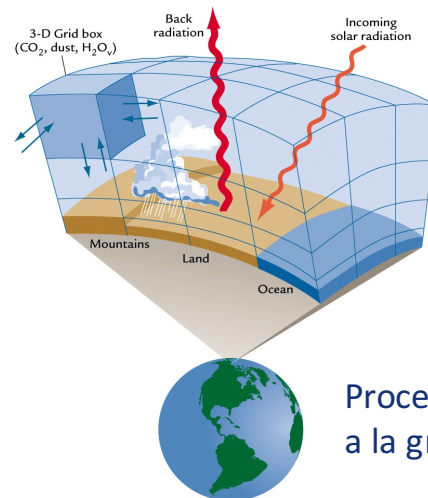
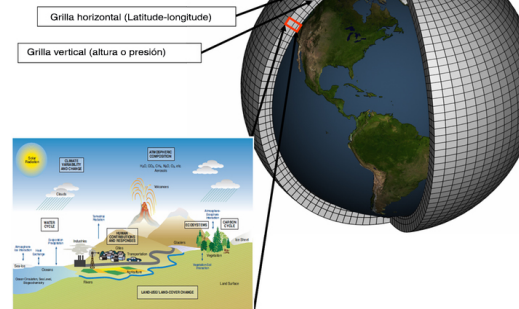
Ecuaciones matemáticas que representan lo físico. Las características y los procesos se ingresan para cada grilla

Ejemplo de grilla



Procesos se calculan en la grilla

Esquema de un modelo atmosférico global



Momentum conservation:
$$\frac{d\bar{\mathbf{V}}}{dt} + f\mathbf{k} \times \bar{\mathbf{V}} + \nabla\bar{\phi} = \mathbf{F},$$

Energy conservation:
$$\frac{d\bar{T}}{dt} - \kappa\bar{T}\omega/p = Q/c_p,$$

Mass conservation:
$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} + \partial\bar{\omega}/\partial p = 0,$$

Hydrostatic balance:
$$\partial\bar{\phi}/\partial p + R\bar{T}/p = 0,$$

Water vapor conservation:
$$d\bar{q}/dt = S_q.$$

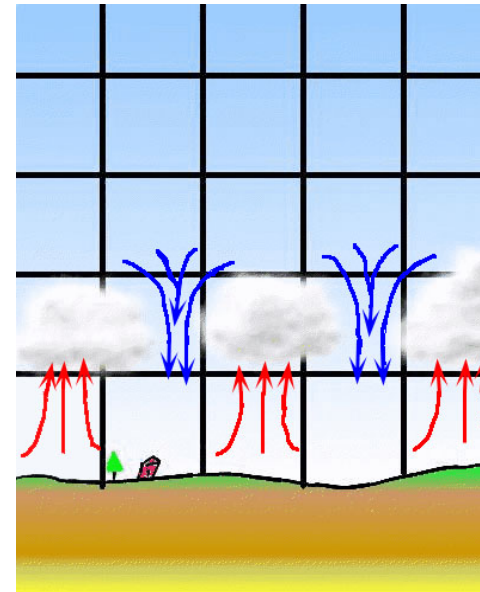
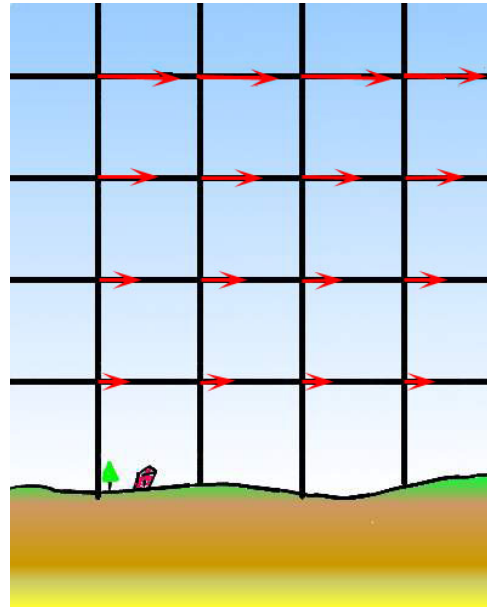
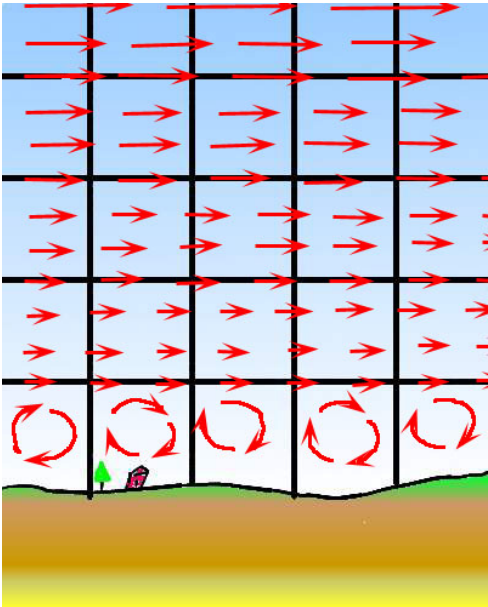
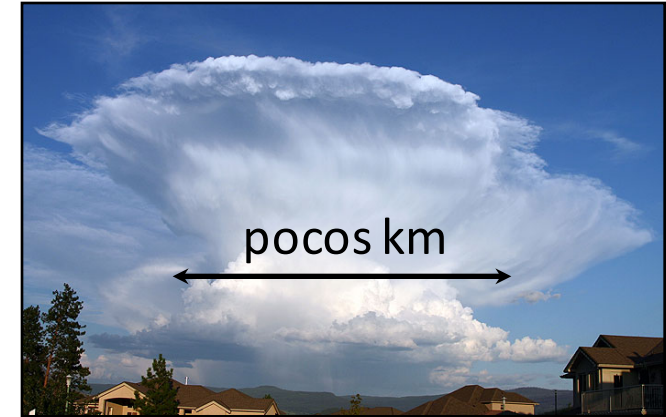
Procesos que tienen una escala menor a la grilla se PARAMETRIZAN

¿Qué es un modelo climático?

Parametrización

- Las ecuaciones se discretizan sobre una grilla determinada:
 - Modelo global: $\Delta x = 100\text{-}300\text{ km}$

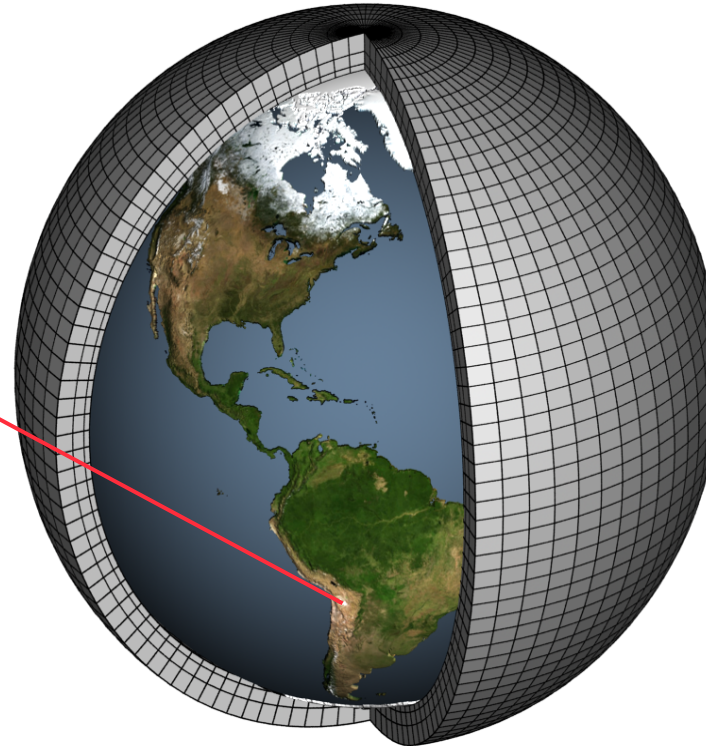
Todos los procesos atmosféricos que ocurren a escalas menores a la grilla deben ser parametrizados!



¿Qué es un modelo climático?

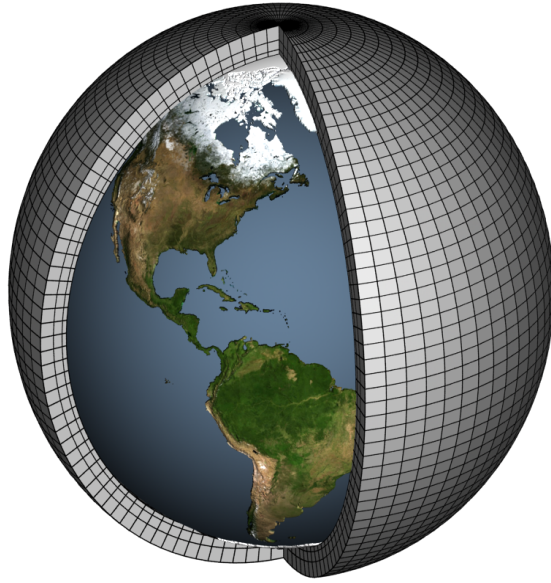
Las ecuaciones se convierten a computadorase establecen las variables de código y clima

```
if (diagts .and. eots) then
  do 1500 m=1,nt
    do 1490 k=1,km
      fx = cst(j)*dym(j)*dzt(k)/(c2dtt*dtxccl(k))
      do 1480 i=2,intml
        boxfx      = fx*dxt(i)*fm(i,k,jc)
        sddt       = (ta(i,k,m)-t(i,k,jc,nm,m))*boxfx
        svar       = (ta(i,k,m)**2-t(i,k,jc,nm,m)**2)
                   *boxfx
        n          = 0
        termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
        tvar(k,m,n)      = tvar(k,m,n)      + svar
        n            = nhreg*(mskvr(k)-1) + mskhr(i,j)
        if (n .gt. 0 .and. mskhr(i,j) .gt. 0) then
          termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
          tvar(k,m,n)      = tvar(k,m,n)      + svar
```



¿Qué es un modelo climático?

Una supercomputadora resuelve todas las ecuaciones, pasar los resultados a las cajas vecinas y calcular el siguiente conjunto de condiciones iniciales

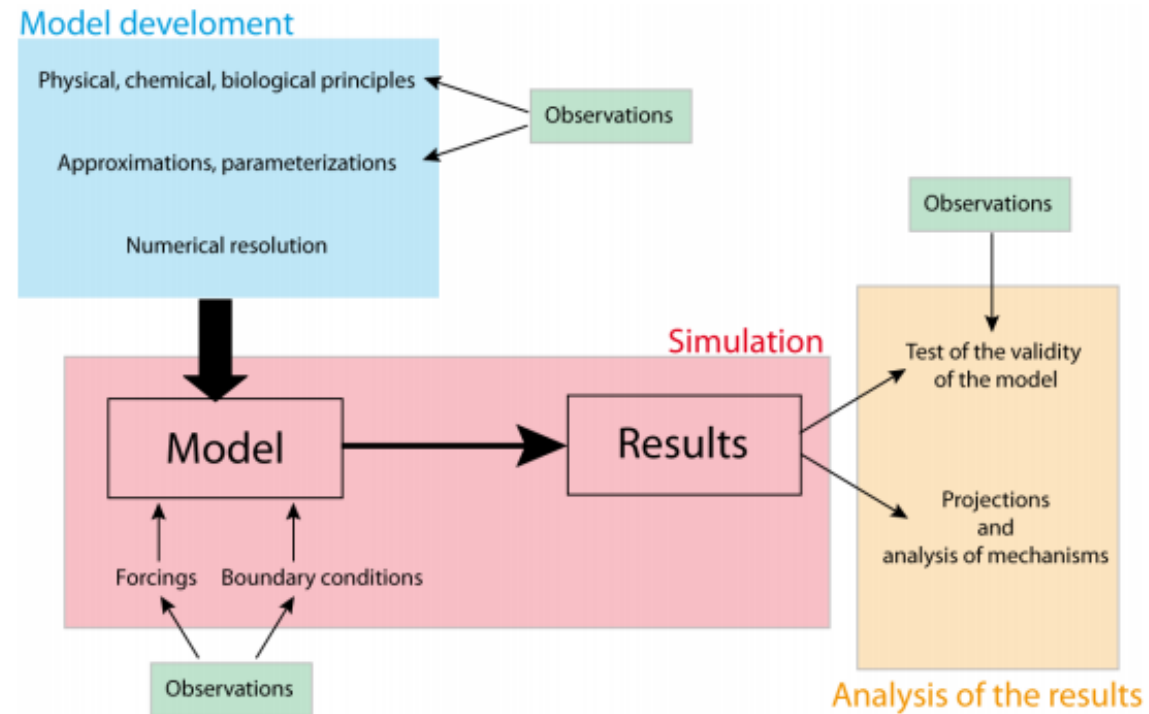


```
if (diagts .and. eots) then
do 1500 m=1,nt
do 1490 k=1,km
fx = cst(j)*dyt(j)*dzt(k)/(c2dtt*dtxccl(k))
do 1480 i=2,imtm1
boxfx      = fx*dxt(i)*fm(i,k,jc)
sddt       = (ta(i,k,m)-t(i,k,jc,nm,m))*boxfx
svar       = (ta(i,k,m)**2-t(i,k,jc,nm,m)**2)
            *boxfx
n          = 0
termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
tvar(k,m,n)    = tvar(k,m,n) + svar
n             = nhreg*(mskvr(k)-1) + mskhr(i,j)
if (n .gt. 0 .and. mskhr(i,j) .gt. 0) then
termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
tvar(k,m,n)    = tvar(k,m,n) + svar
```



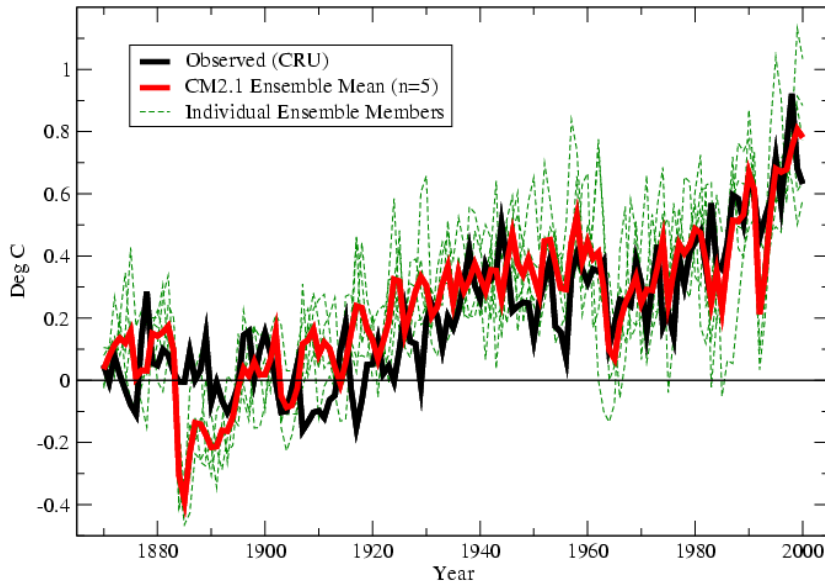
¿Qué es un modelo climático?

Configuración y enfoque del modelado



¿Qué es un modelo climático?

Los modelos se prueban y refinan mediante la simulación del clima pasado luego verificando qué tan bien los resultados coinciden con las observaciones



¿Qué es un modelo climático?

Los grupos de modelado también trabajan juntos, promediando los resultados de sus modelos con otros modelos que usaron las mismas condiciones iniciales.

Estos resultados de modelos múltiples se denominan "ensembles".

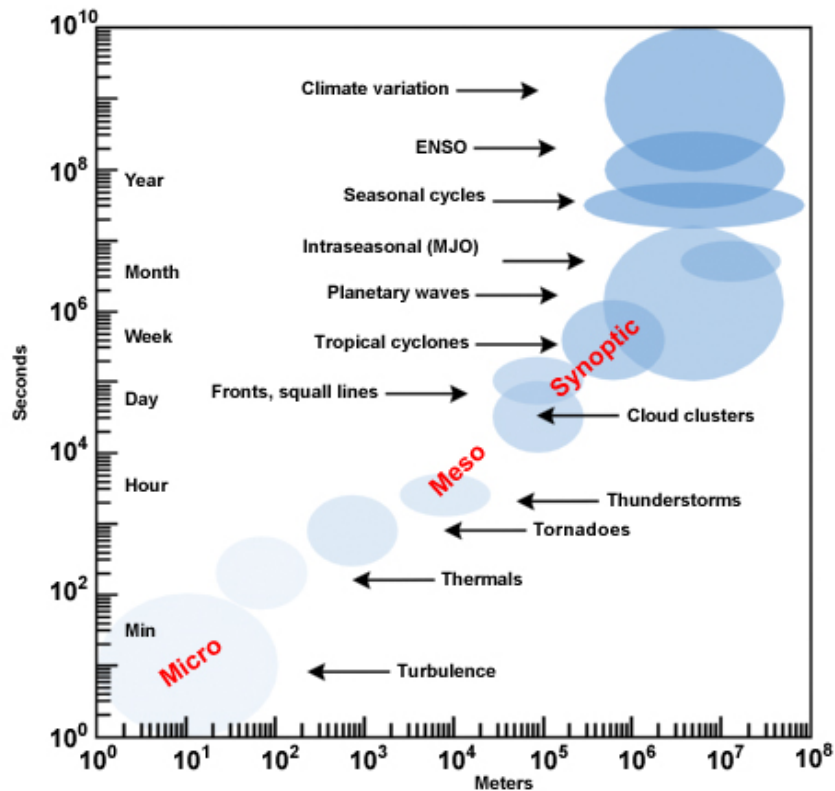


~40 Modelos Climáticos: Acoplados Atmósfera-Océano desarrollados y corridos por distintos centros internacionales. **Proyecto de inter-comparación** de modelos de clima **acoplados** (CMIP en inglés)

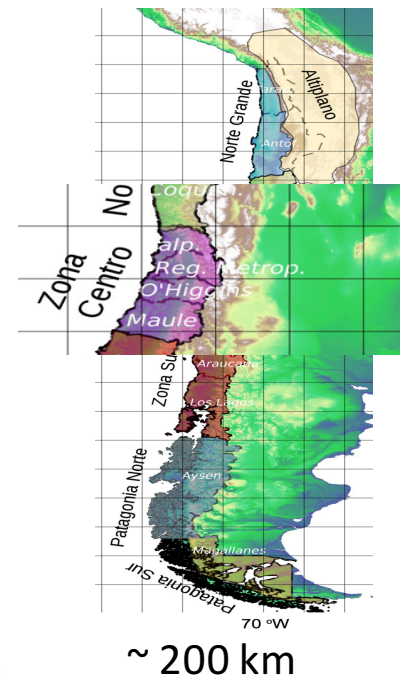


Downscaling dinámica (regionalización)

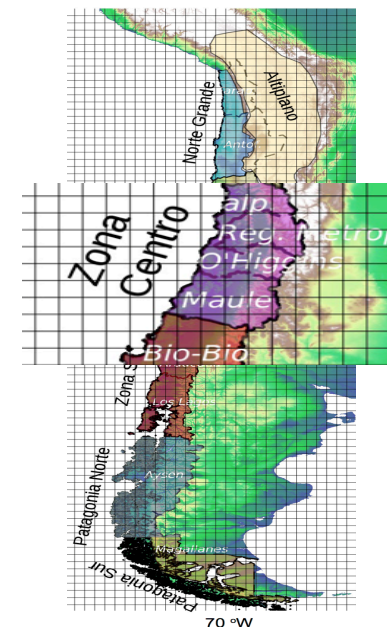
- En muchas regiones (sobre todo con paisajes complejos), las simulaciones globales no permiten medir adecuadamente importantes procesos dinámicos debido a la falta de escalas espaciales y temporales.
- En estos casos se deben implementar técnicas de **regionalización** que traduzcan la información de modelos globales (~100 km) en impactos regionales (~10 km) o, incluso, en escala local (~ 1 km).



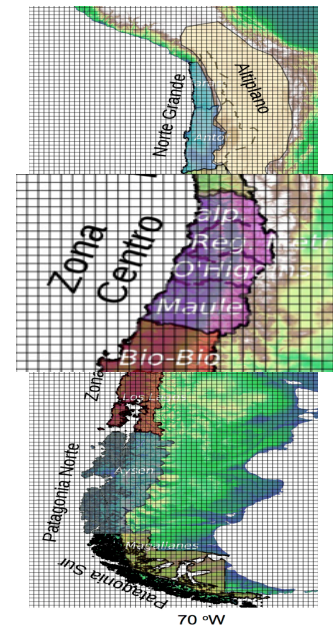
©The COMET Program



~ 200 km



~50 km



~25 km

Downscaling dinámica (regionalización)

Reanálisis* o GCM

Condiciones iniciales
(SST, hielo marino)
&
Condiciones de bordes
(vientos, presión, temperatura, humedad)
cada ~ 6 horas

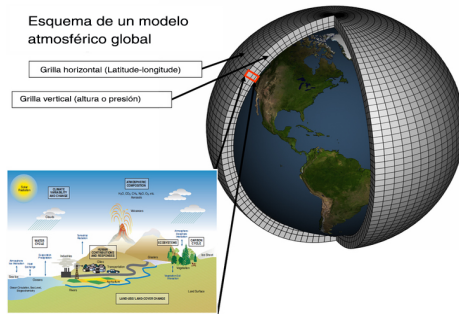
Modelo climático regional

- topografía de alta resolución
- interfaces tierra / atmósfera
- uso del suelo / cobertura del suelo
- posibles mejoras físicas en los procesos atmosféricos de superficie terrestre

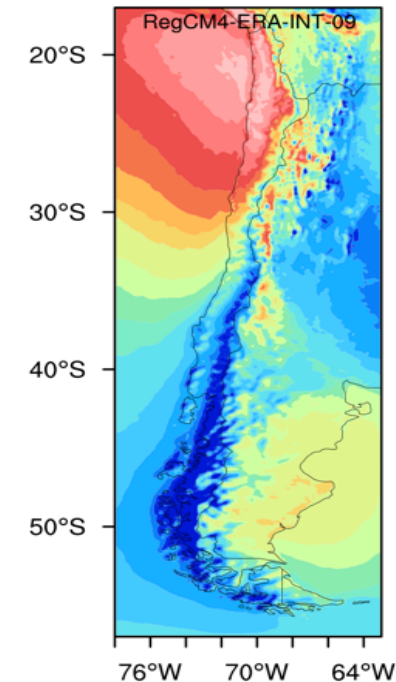
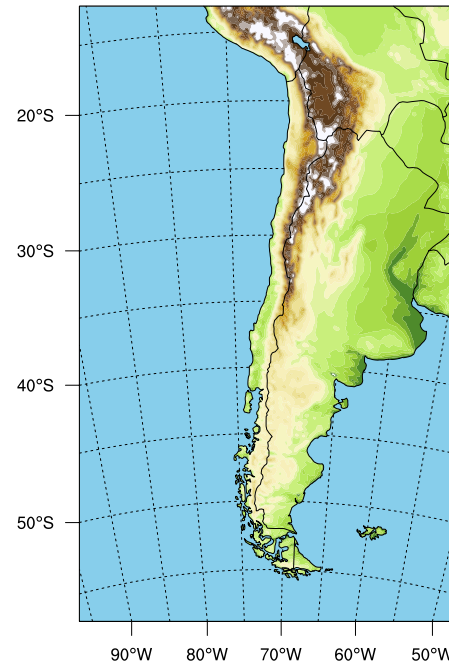
Modelo climático regional

Salidas:

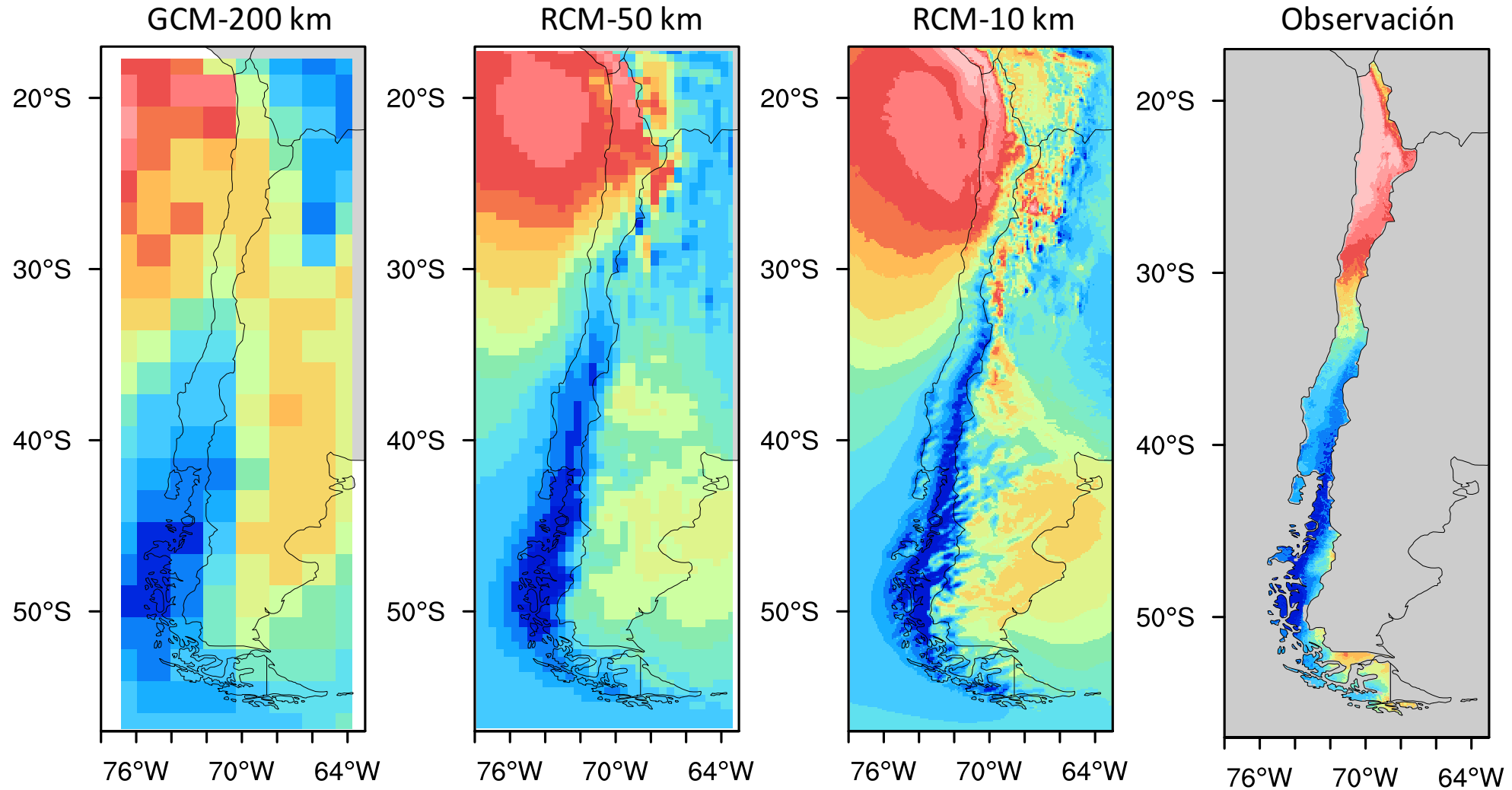
- Superficie
- Atmosféricos
- Radiación



***Reanálisis:** un producto grillado que combina grandes cantidades de observaciones históricas en estimaciones globales utilizando sistemas avanzados de modelado y asimilación de datos



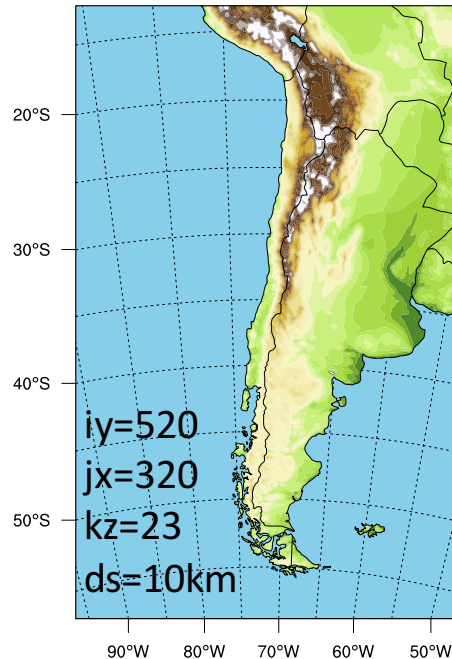
Downscaling dinámica (regionalización)



un ejemplo de salida de regionalización (downscaling) para precipitación

Downscaling dinámica (regionalización)

Simulaciones de modelos climáticos regionales



1 mes ~ 2.7 horas (300 procesador)
1 año ~ 32 horas
30 años ~ 40 días

Proyecciones (2006-2050):

RCP8.5: 1 modelo de CMIP5: ~120 años

RCP2.6: 1 modelo de CMIP5: ~80 años

~ 120 días

entrada

1 mes de ICBC ~ 7GB

1 año ~ 84 GB

30 año ~ 2.5 TB

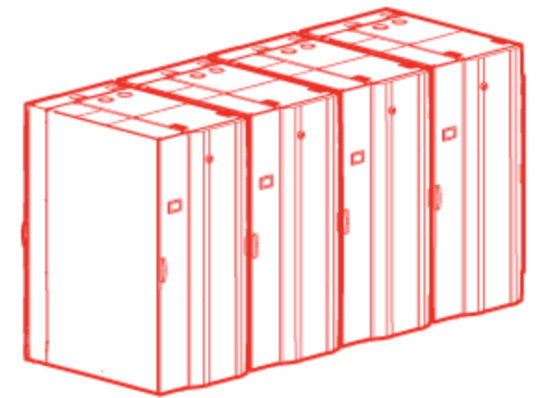
salida

30 año de SRF ~ 1.7 TB

30 año de ATM ~ 1.1 TB

30 año de RAD ~ 500 GB

alto costo computacional y pocas simulaciones!

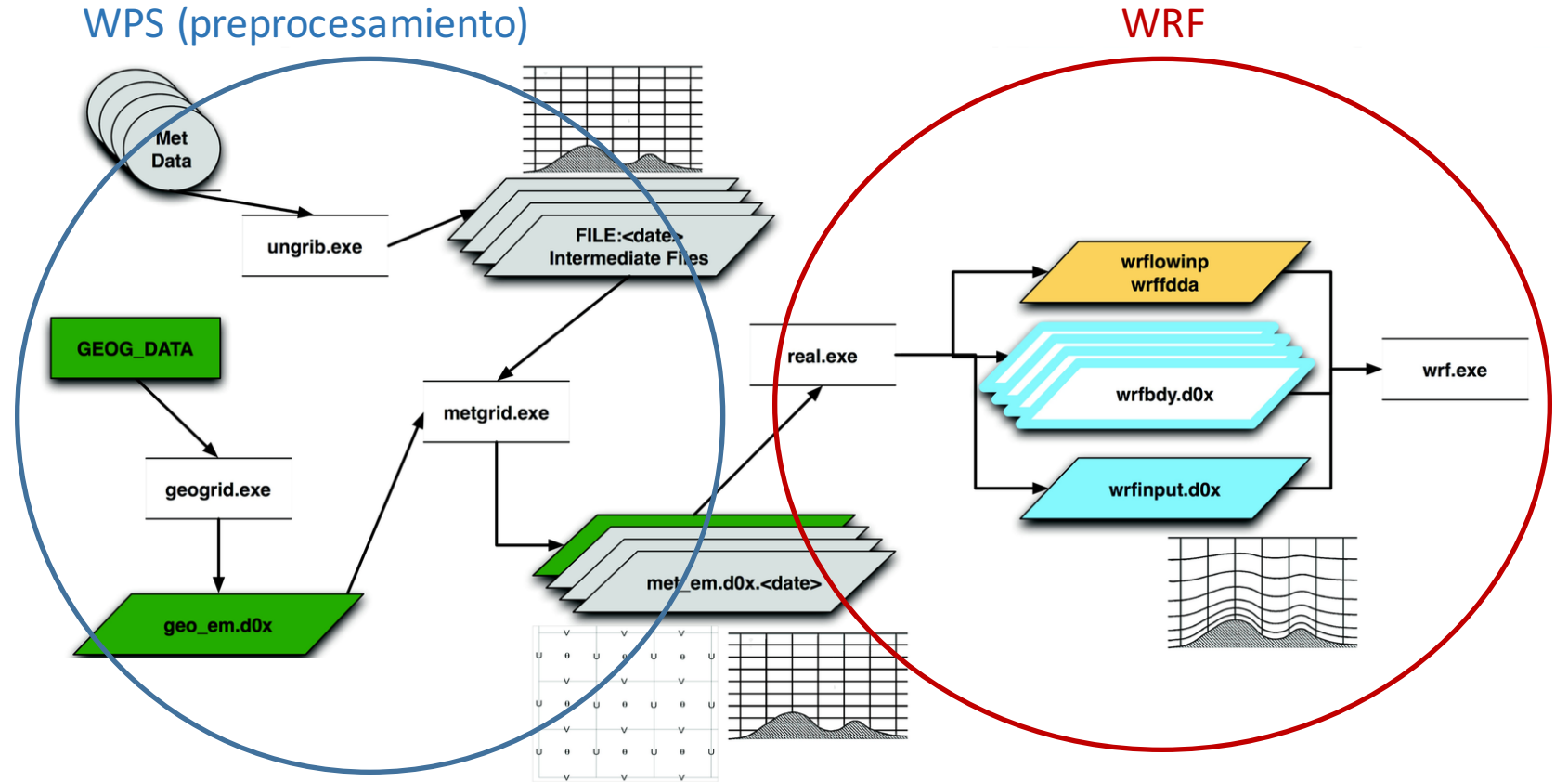


Modelo WRF

WRF: Weather Research and Forecasting Model

WRF workflow

- Co-desarrollado por comunidades operativas y de investigación
- ARW: “Advanced Research WRF”
- NMM : “Nonhydrostatic Mesoscale Model”
- El modelo sirve para una amplia gama de aplicaciones meteorológicas en escalas que van desde decenas de metros hasta miles de kilómetros
- Principalmente desarrollado por NCAR, NCEP, etc.



V1.0: Diciembre 2000

V2.0: Mayo 2004

...

V4.0: Junio 2018

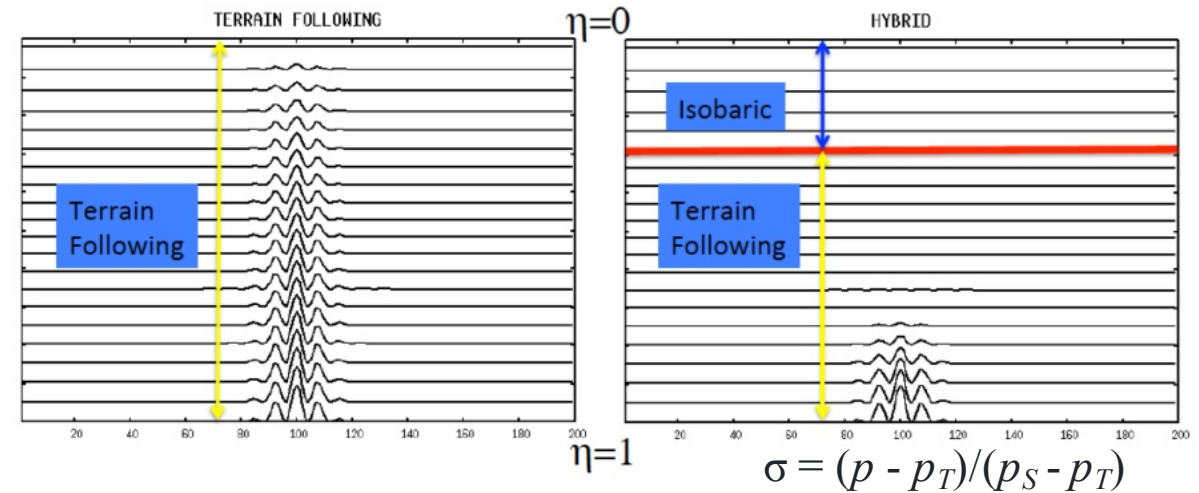
V4.4: 2022

Modelo WRF

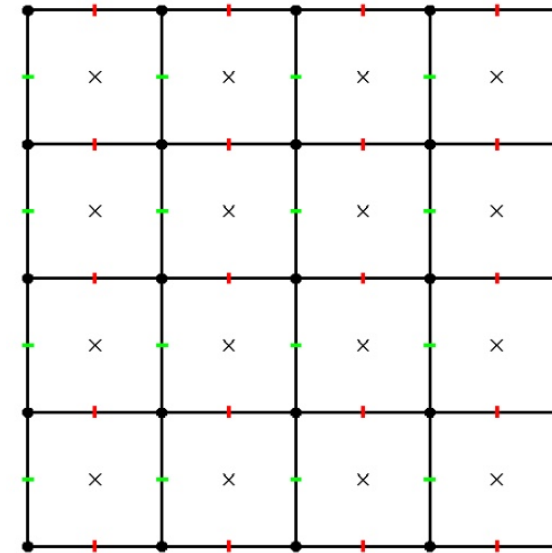
Resumen:

- Totalmente comprimible, euleriano y no hidrostático con una opción hidrostática en tiempo de ejecución.
- El modelo utiliza coordenadas verticales híbridas de presión sigma que siguen el terreno y la parte superior del modelo es una superficie de presión constante.
- La cuadrícula horizontal es la cuadrícula de Arakawa-C.
- El modelo admite aplicaciones tanto idealizadas como de datos reales con varias opciones de condiciones de contorno lateral.
- Se ejecuta en computadoras de un solo procesador, con memoria distribuida y compartida.

vertical



horizontal



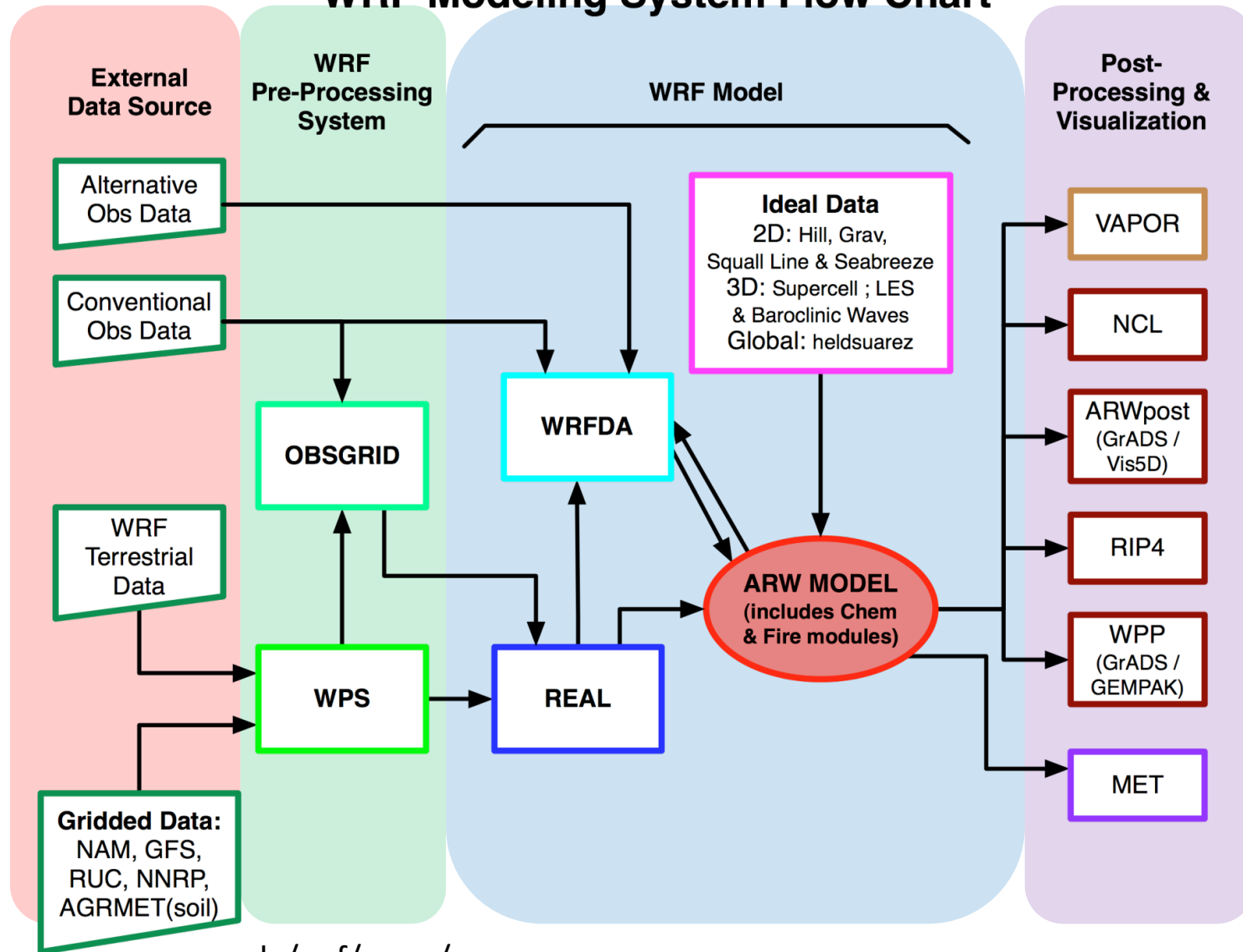
x : Mass point
• : Staggered point
— : u point
I : v point

- x (mass points): presión, temperatura, humedad etc.
- u points: el componente u del viento horizontal se calcula en el centro de los lados izquierdo y derecho de una celda de cuadrícula
- v points: la componente v del viento horizontal se calcula en el centro de los lados superior e inferior de una celda de cuadrícula
- Staggered points: los puntos que definen las esquinas de las celdas de la cuadrícula de masa

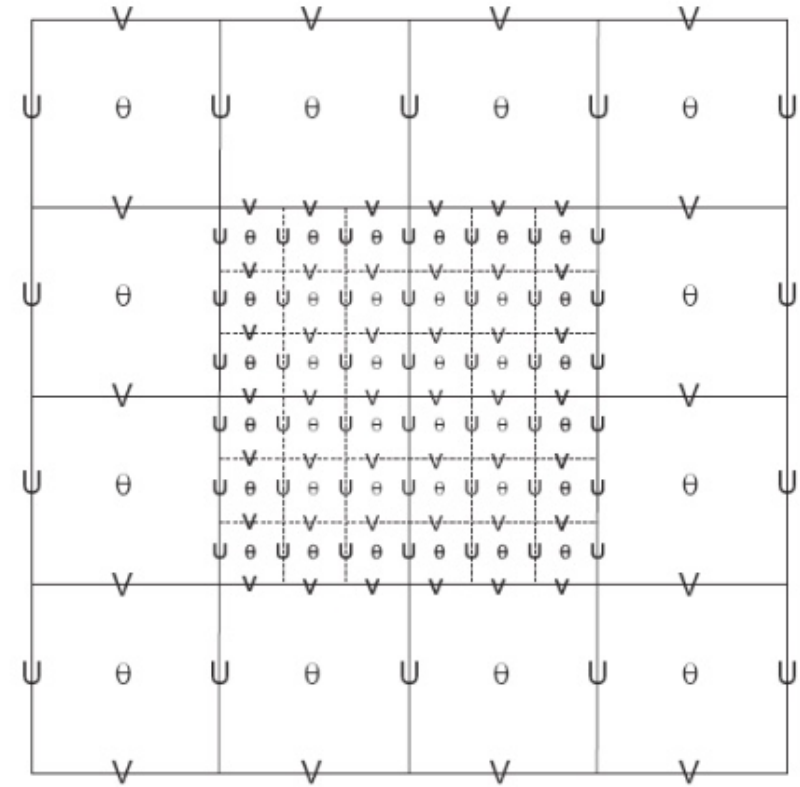
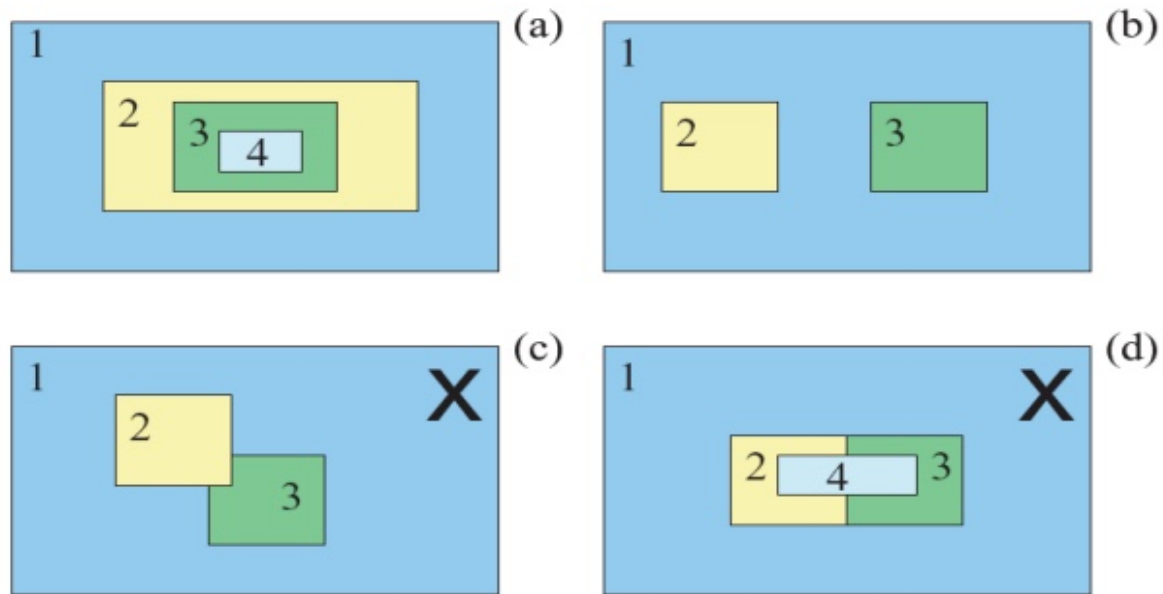
Modelo WRF

Sec. 1 Sec. 2 Sec. 3 Sec. 4

WRF Modeling System Flow Chart



Modelo WRF

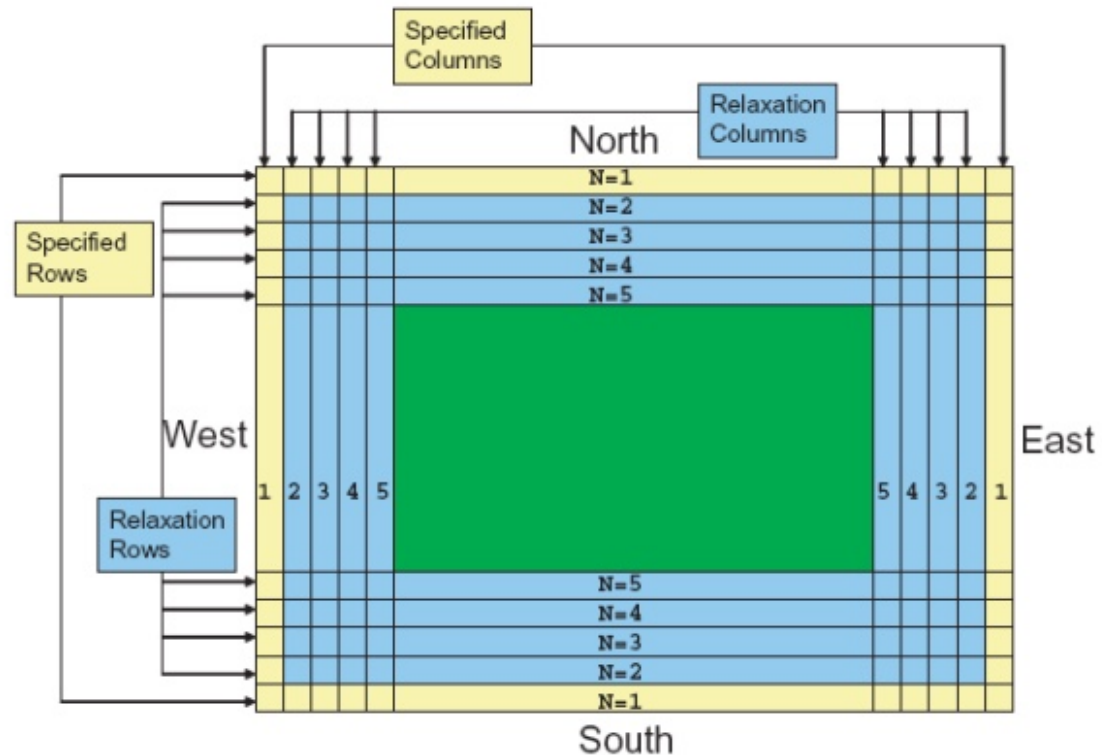


Una simulación ARW involucra una cuadrícula externa y puede contener varias cuadrículas anidadas internas. Cada región anidada está completamente contenida dentro de una sola cuadrícula más gruesa (“the parent grid”).

No se permite la superposición de cuadrículas. Ninguna cuadrícula puede tener más de un solo parent.

Modelo WRF

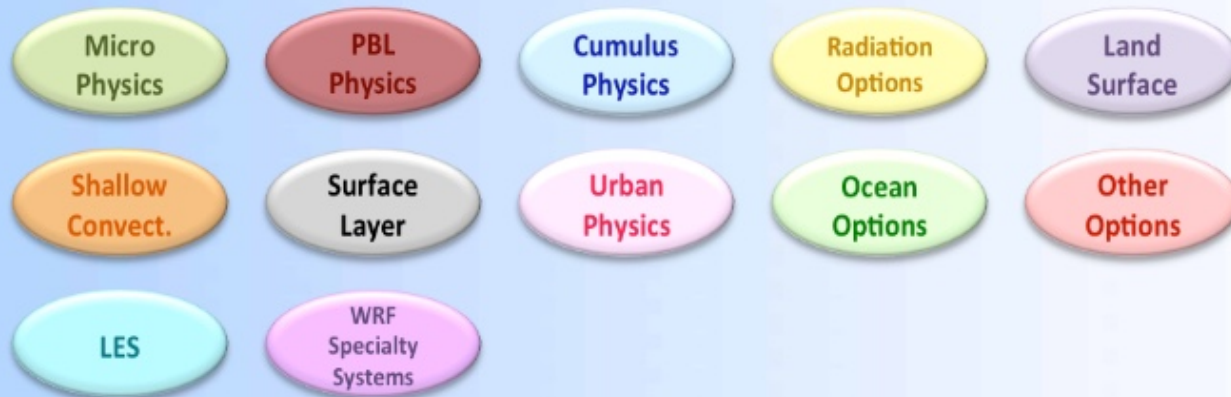
Condiciones de borde lateral WRF: Zona específica + Zona de relajación



- Zona especificada: interpolación temporal de un externo pronóstico o análisis
- Zona de relajación: donde el modelo es empujado (nudged) o relajado hacia (relaxed) el pronóstico o análisis a gran escala

WRF MODEL PHYSICS OPTIONS AND REFERENCES

For quick navigation, click buttons below:



Opciones de física del modelo:

- Microfísica
- Parametrizaciones de cúmulos
- Física de superficies
- Física de la capa límite planetaria
- Física de las radiaciones atmosféricas.

https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/physics/phys_references.html

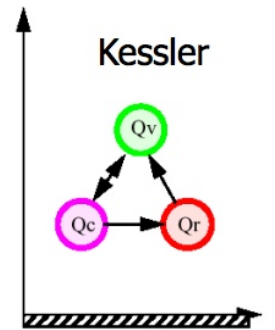
Modelo WRF

Microfísica:

- Proporciona tendencias de humedad y calor atmosférico, tasas microfísicas y lluvia de superficie
- Liberación de calor latente de
 - Condensación, evaporación, deposición, sublimación, congelación, fusión
- Tipos de partículas
 - Agua de nubes, gotas de lluvia, cristales de hielo, nieve, granizo (también granizo en algunos)
- Procesos
 - Agregación, acreción, crecimiento, caer (fall-out)

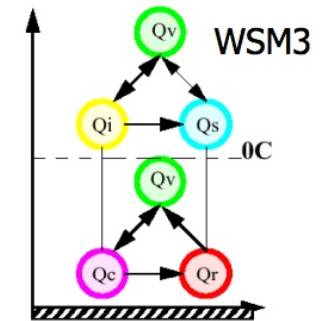
mp_physics=1

Esquema de Kessler: lluvia cálida, sin hielo



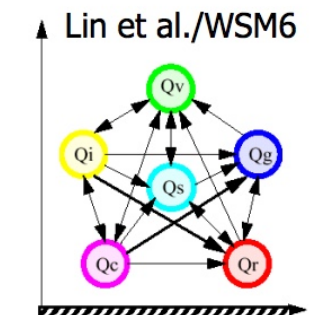
mp_physics=3

Esquema de WSM3: microfísica de 3 clases con hielo, procesos de hielo por debajo de 0 grados C, el número de hielo es función del contenido de hielo, sedimentación de hielo



mp_physics=6

Esquema de WSM6: microfísica de 6 clases con graupel, el número de hielo es función del contenido de hielo, nueva velocidad de caída combinada de nieve/graupel



Modelo WRF

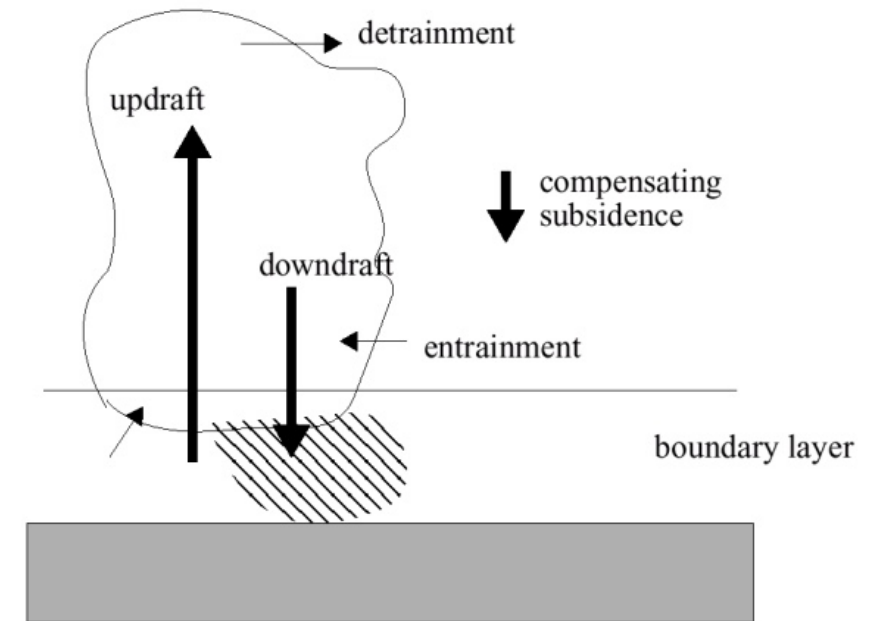
Cumulus:

Proporciona

- perfiles de tendencia al calor atmosférico y la humedad/nubes
- Precipitación (convectiva) a escala de subcuadrícula de superficie
- Para columnas de cuadrícula que contienen completamente nubes convectivas
- Redistribuya el aire en la columna para tener en cuenta los flujos convectivos verticales:
 - Updrafts: llevan el aire de la capa límite hacia arriba
 - Downdrafts: llevan el aire de nivel medio hacia abajo

Para $dx \geq 10$ km: probablemente necesite un esquema de cúmulos

Para $dx \leq 3$ km: probablemente no necesite esquema (es decir, sin parametrización, el modelo resuelve nubes convectivas explícitamente)

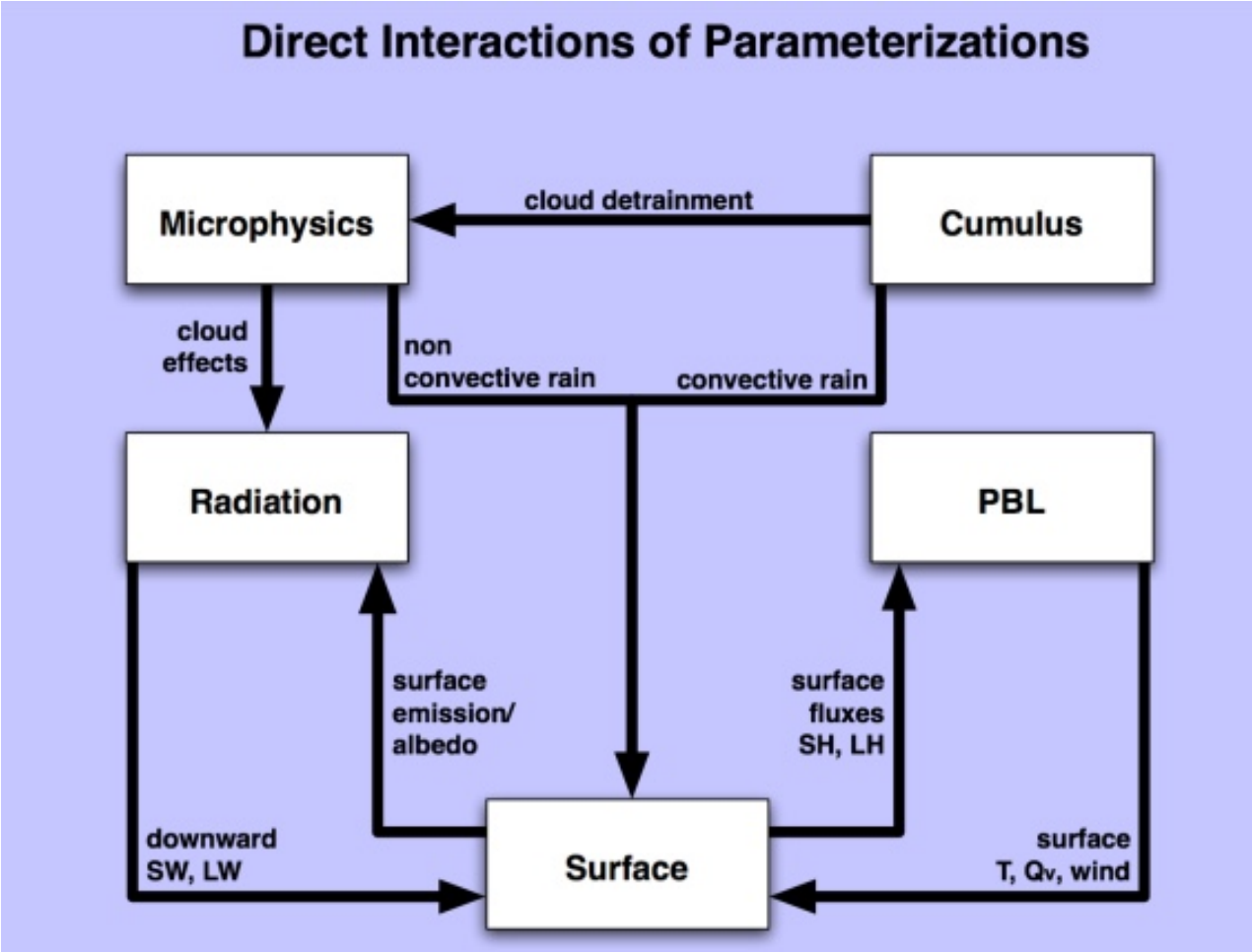


Cumulus schemes in V3.3

mp_physics	Scheme	Reference	Added
1	Kain-Fritsch	Kain (2004, JAM)	2000
2	Betts-Miller-Janjic	Janjic (1994, MWR; 2000, JAS)	2002
3	Grell-Devenyi	Grell and Devenyi (2002, GRL)	2002
4	Simplified Arakawa-Schubert	Grell et al. (1994, MM5 NCAR Tech Note)	2002/2011
5	Grell-3	Grell and Devenyi (2002, GRL)	2008
6	Tiedtke	Tiedtke (1989, MWR), Zhang, Wang and Hamilton (2011, MWR)	2011
7	Zhang-McFarlane	Zhang and McFarlane (1995, AO)	2011
14	New SAS	Han and Pan (2010,...)	2011
99	Old Kain-Fritsch	Kain and Fritsch (1990, JAS; 1993 Meteo. Monogr.)	2000

Modelo WRF

WRF-ARW



Dudhia 2015

Table 1: Cross reference of physics parameterizations to namelist entry along with physical process represented and number of available options.

Parameterization	Namelist Entry	Physical Process	Options
Microphysics	mp_physics	Moisture Transport	17
Long wave radiation	ra_lw_physics	Long wave solar radiation	6
Short wave radiation	ra_sw_physics	Shortwave solar radiation	6
Surface layer physics	sf_sfclay_physics	Near earth effects	9
Surface physics	sf_surface_physics	Land/atmosphere interface	8
Planetary boundary layer (PBL)	bl_pbl_physics	Turbulent atmospheric layer near earth	12
Cumulus physics	cu_physics	Clouds	6

Smith and Penc 2017

Hay varias clases de parametrizaciones físicas entre las que un usuario selecciona mediante una "lista de nombres" para configurar WRF-ARW. Dentro de cada clase de parametrización hay una serie de opciones para elegir para modelar un proceso físico particular.

Instalación de WRF

Librerías necesarias

- NetCDF o Parallel NetCDF (pnetcdf)
 - <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>
 - <https://parallel-netcdf.github.io/>
- HDF5
 - <https://support.hdfgroup.org/HDF5/>
- Jasper
 - <https://www.ece.uvic.ca/~frodo/jasper/>
- Libpng
 - <http://www.libpng.org/pub/png/libpng.html>
- Zlib
 - <https://www.zlib.net/>

Archivos de entrada y salida
Son en este format

Majenar optimizadamente
archivos de datos heterogeneos

Librerías para representar
Imagenes
(Jasper: JPEG / libpng : PNG)

Compresión de datos

Instalación de WRF

Software necesario

- Message Passing Interface (MPI)
 - OpenMPI - <https://www.open-mpi.org/>
 - Mpich - <https://www.mpich.org/>
 - Intel MPI - <https://software.intel.com/en-us/mpi-library>
- Clima Data Operators (CDO)
 - <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/>
- NCView (visualizador de archivos NetCDF)
 - http://meteora.ucsd.edu/~pierce/ncview_home_page.html
- NCAR Command Language (NCL)
 - https://www.ncl.ucar.edu/Download/list_of_binaries.shtml

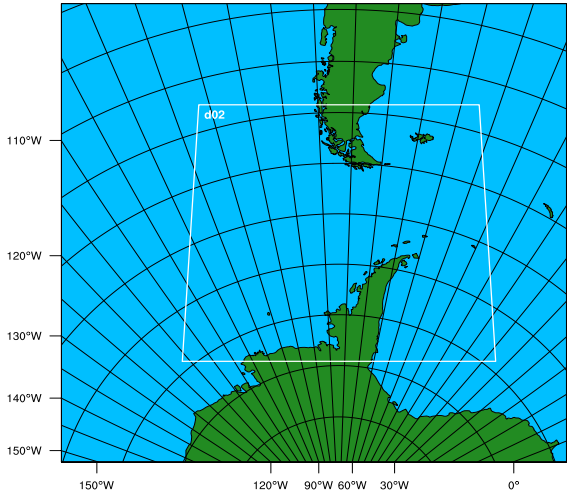
Modelo WRF

WRF: Weather Research and Forecasting Model



Polar-WRF (PWRF): Especializado para regiones polares

Nombre Simulación	Condiciones de Borde	Resolución Especial	Periodo de Simulación
PWRF-HINDCAST	Reanálisis	0.4 ° x 0.4 ° (~45 km) 0.13 ° x 0.13 ° (~15 km)	1989-2015
PWRF-HIST	GCM (modelo climático global)	0.4 ° x 0.4 ° (~45 km) 0.13 ° x 0.13 ° (~15 km)	1975-2005
PWRF-RCP8.5	GCM (modelo climático global) bajo de RCP8.5 (un escenario pesimista)	0.4 ° x 0.4 ° (~45 km) 0.13 ° x 0.13 ° (~15 km)	2006-2050

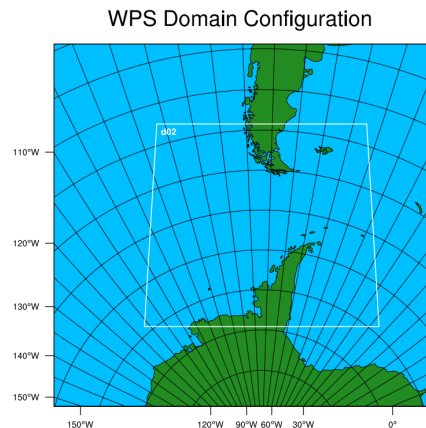


Microfísica	Morrison
Radiación	RRTMG
Superficie de la tierra	Noah-MP
Planetary Boundary Layer	Capa de límite planetario
Cumulus	Grell-Freitas

- One-way nesting
- 45 km: 118 x 114 grid cells
- 15 km: 208 x 190 grid cells
- 61 niveles verticales (parte superior del modelo a 10 hPa)
- Spectral nudging

Definición del Dominio

- La herramienta de WPS usada
 - Geogrid.exe
- Salidas:
 - geo_em.d01.nc
 - geo_em.d02.nc



```
&share
wrf_core='ARW',
max_dom=2,
start_date='2010-01-01_00:00:00','2010-01-01_00:00:00'
end_date='2010-01-31_00:00:00','2010-01-31_00:00:00'
interval_seconds=21600,
io_form_geogrid=2,
debug_level=0
/
```

```
&geogrid
parent_id      = 1,1
parent_grid_ratio = 1,3
e_we          = 118,208,
e_sn          = 114,190,
i_parent_start = 1,25
j_parent_start = 1,26
dx            = 45000,
dy            = 45000,
geog_data_res = '5m','30s','30s','30s','30s',
map_proj      = 'polar',
ref_lat       = -61.985,
ref_lon       = -72.011,
truelat1      = -61.985,
truelat2      = -90.0,
stand_lon     = -72.011,
geog_data_path = '/shared/antartica/inputs/wps_geog_cr2/'
/
```

namelist.wps

Extracción de condiciones de borde

- La herramienta de WPS usada
 - Ungrib.exe
- Salidas:
 - Una ejecucion por cada condicion de borde
 - UPA
 - SRF
 - SST
 - XICE viene ya en formato ungrib

```
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 2,
start_date = '2010-01-01_00:00:00','2010-01-01_00:00:00'
end_date = '2010-01-31_00:00:00','2010-01-31_00:00:00'
interval_seconds = 21600,
io_form_geogrid = 2,
debug_level = 0
/
```

```
&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'UPA'
/
=====
&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'SRF'
/
=====
&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'SST'
/
```

Interpolacion de datos

- La herramienta de WPS usada
 - metgrid.exe
- Salidas:
 - Archivos met_em por dominio
 - Salidas cada 6 horas
 - Cada archivo integra las condiciones de borde
 - UPA, SRF, SST, XICE

```
&share  
wrf_core = 'ARW',  
max_dom = 2,  
start_date = '2010-01-01_00:00:00','2010-01-01_00:00:00'  
end_date = '2010-01-31_00:00:00','2010-01-31_00:00:00'  
interval_seconds = 21600,  
io_form_geogrid = 2,  
debug_level = 0  
/
```

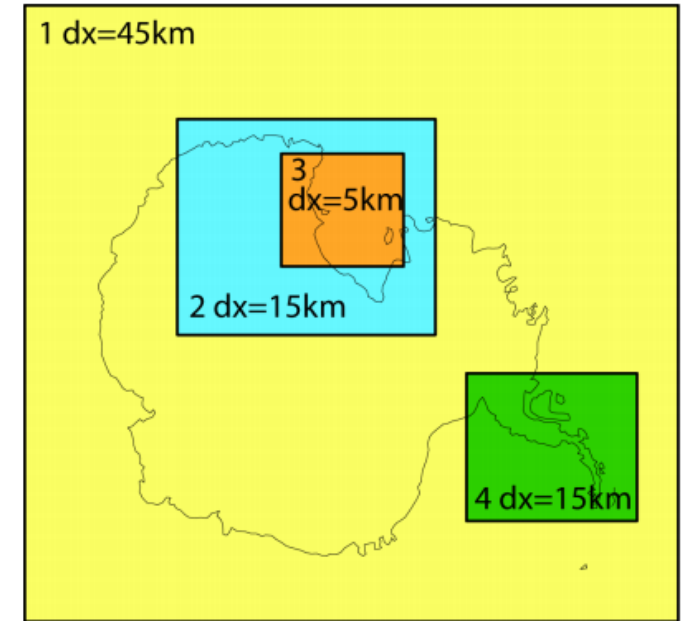
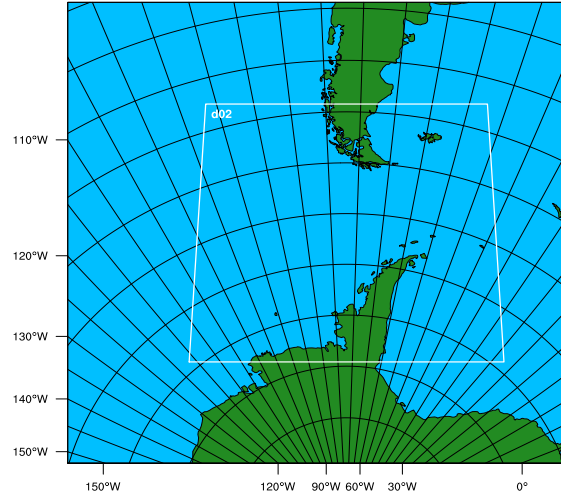
```
&metgrid  
fg_name = 'UPA', 'SRF', 'SST', 'XICE',  
constants_name = 'FIX:1989-01-01_12',  
io_form_metgrid = 2,  
/
```

namelist.wps

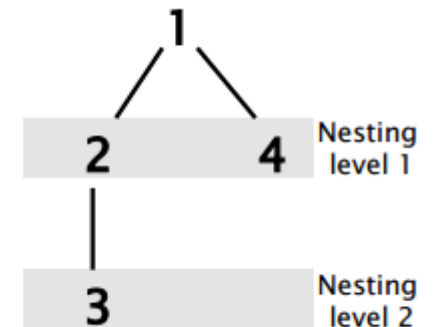
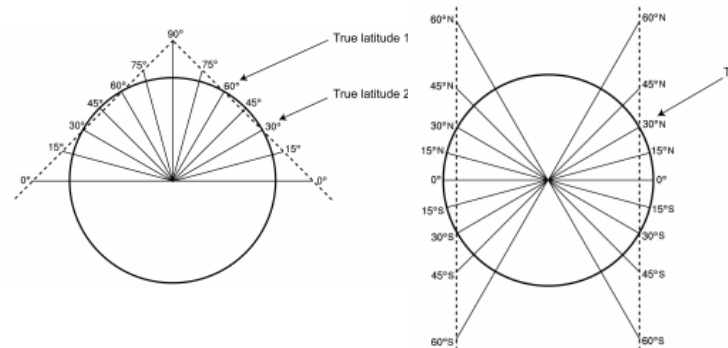
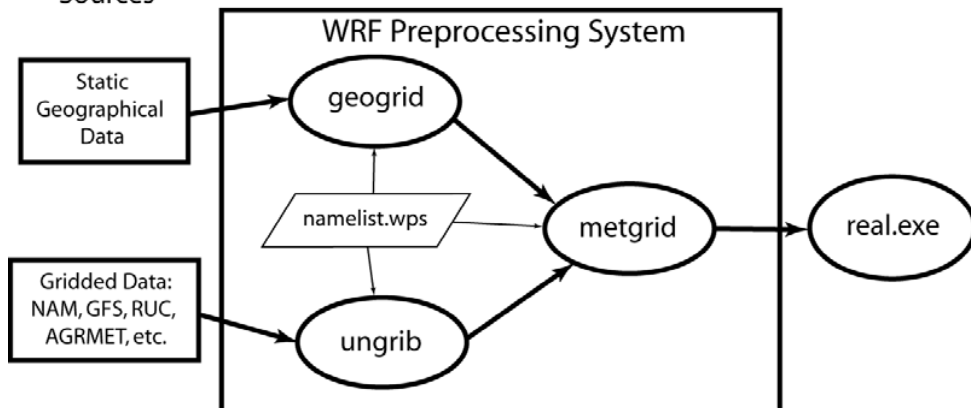
Modelo WRF

Namelist.wps

- Definir parámetros de dominio:
- Número de dominio
- Fecha de inicio, finalización
- Resolución de datos geográficos
- Plano de cuadrícula, tipo de proyección



External Data Sources



Modelo WRF

- Ejecute real.exe (para finalizar la creación de datos de entrada del modelo WRF)
- Ejecute wrf.exe
- Ambos usan namelist.input
- Configurado por separado de namelist.wps pero incluye información superpuesta
- Verificar inputs
 - wrfbdy_d01
 - wrfinput_d01, wrfinput_d02
- Salidas:
 - wrfout_d01_2010-01-01_00:00:00
 - wrfout_d01_2010-01-01_06:00:00

Ejecutando WRF (wrf)

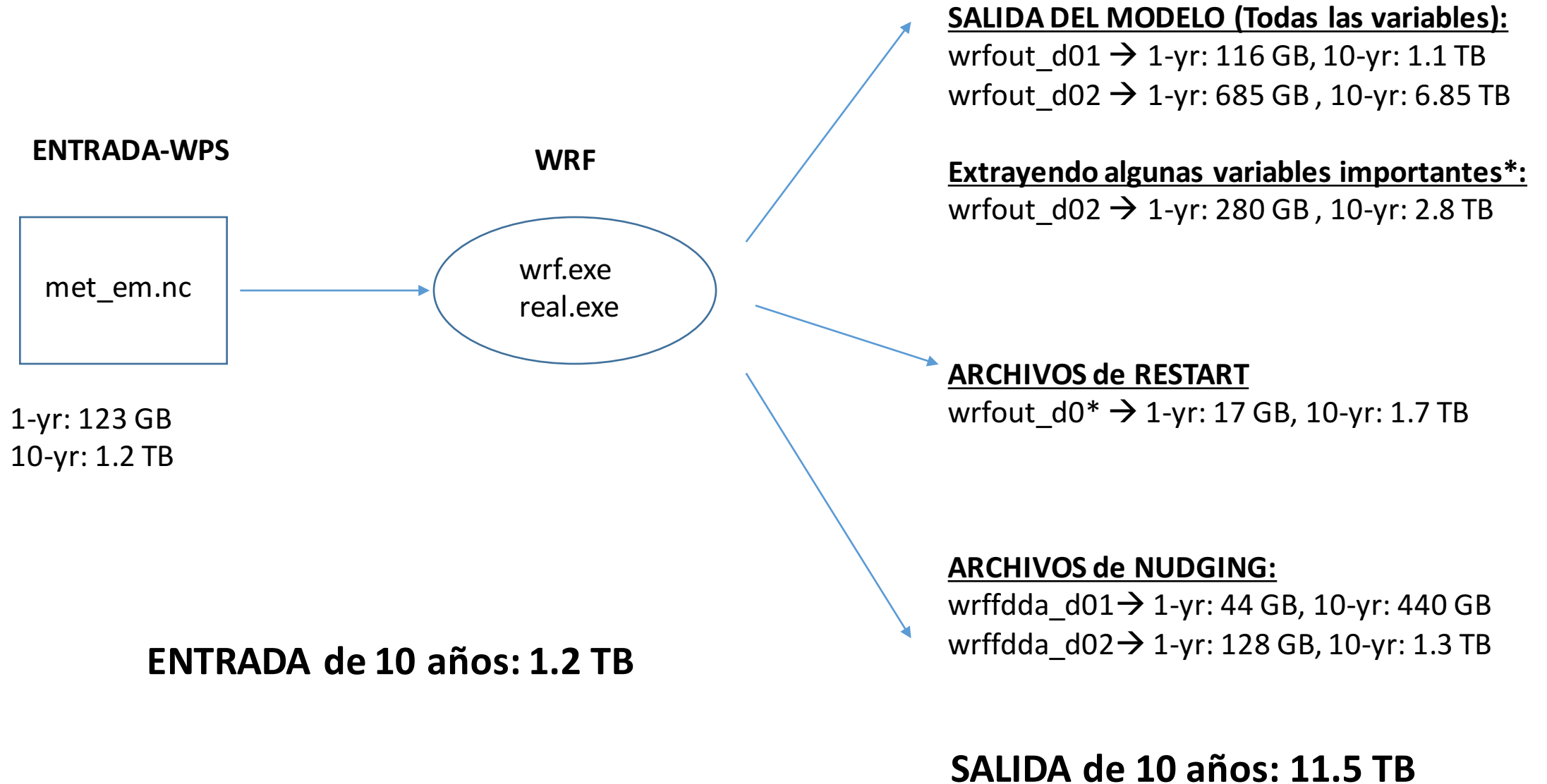
```
&time_control
run_days      = 0,
run_hours     = 0,
run_minutes   = 0,
run_seconds   = 0,
start_year    = 1975, 1975,
start_month   = 01, 01,
start_day     = 01, 01,
start_hour    = 00, 00,
start_minute  = 00, 00,
start_second  = 00, 00,
end_year      = 1975, 1975,
end_month     = 01, 01,
end_day       = 02, 02,
end_hour      = 00, 00,
end_minute    = 00, 00,
end_second    = 00, 00,
interval_seconds = 21600
input_from_file = .true.,.true.,
history_interval = 360, 180,
frames_per_outfile = 1, 1,
restart       = .false.,
restart_interval = 44640,
```

```
&domains
use_adaptive_time_step = .false.
step_to_output_time    = .true.
target_cfl              = 1.2,1.2,
max_step_increase_pct  = 5,51,
starting_time_step      = 90,90,
max_time_step           = 120,120,
min_time_step           = 30,30,
time_step               = 90,
time_step_fract_num     = 0,
time_step_fract_den     = 1,
max_dom                 = 2,
e_we                   = 118,208,
e_sn                   = 114,190,
e_vert                 = 61,61
```

```
&physics
mp_physics              = 10, 10,
mp_zero_out             = 0,
ra_lw_physics           = 4, 4,
ra_sw_physics           = 4, 4,
radt                   = 15, 15,
sf_sfclay_physics       = 2, 2,
sf_surface_physics      = 4, 4,
bl_pbl_physics          = 2, 2,
bldt                   = 0, 0,
cu_physics              = 3, 3,
cudt                   = 0, 0,
maxiens                 = 1,
maxens                  = 3,
maxens2                 = 3,
maxens3                 = 16,
ensdim                  = 144,
isfflx                  = 1,
ifsnow                  = 0,
icloud                  = 1,
surface_input_source    = 1,
num_soil_layers         = 4,
num_land_cat            = 21,
num_soil_cat            = 16,
```

namelist.input

Modelo WRF

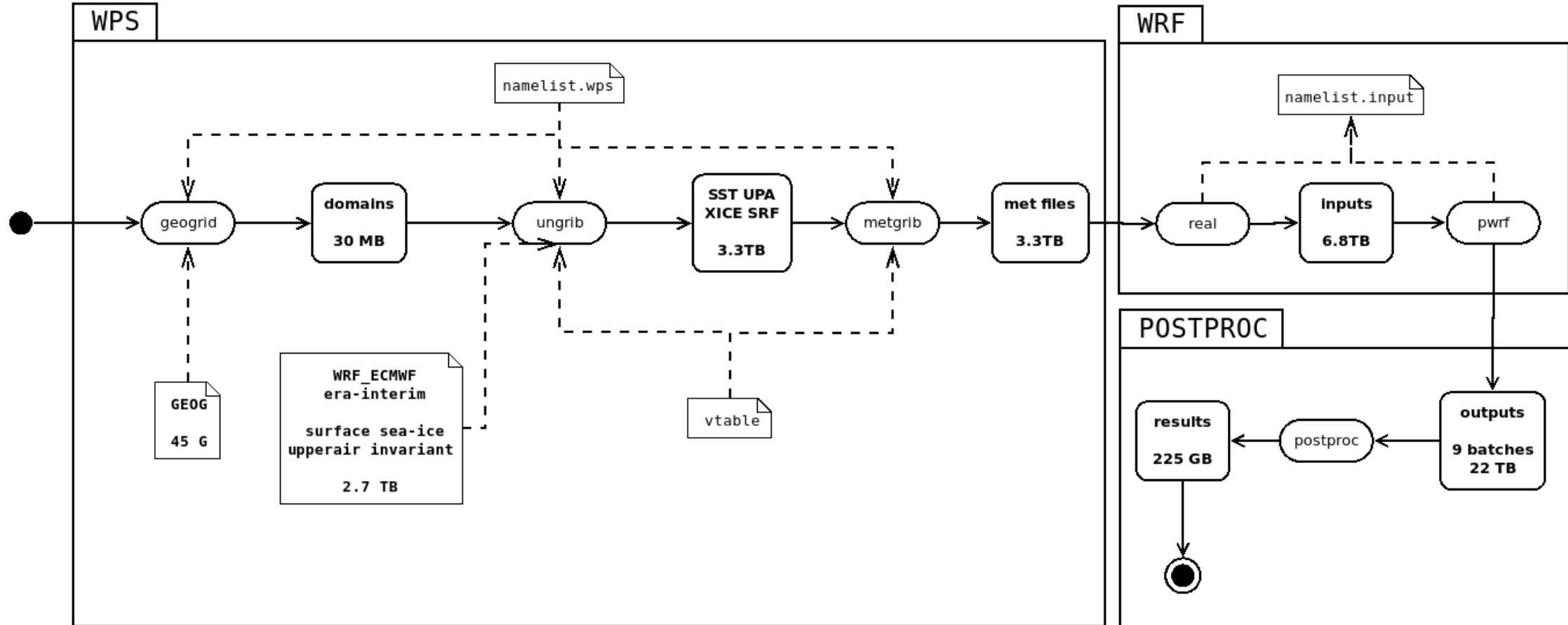


*4D: T, P, PB, QVAPOR, QCLOUD, QICE, U, V, PH, PHB

3D: T2, U10, V10, Q2, PSFC, SEAICE, SST, RAIN, RAINC, OLR, AIBEDO, EMISS, SNOWC, SNOW, SNOWH, HGT, LH

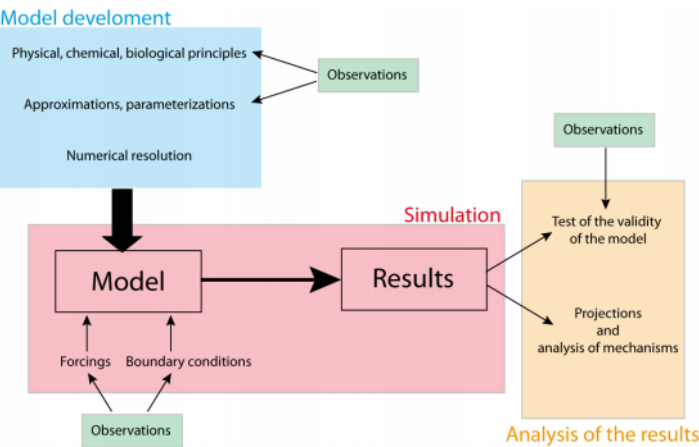
Modelo WRF

PWRF-ERA-Int



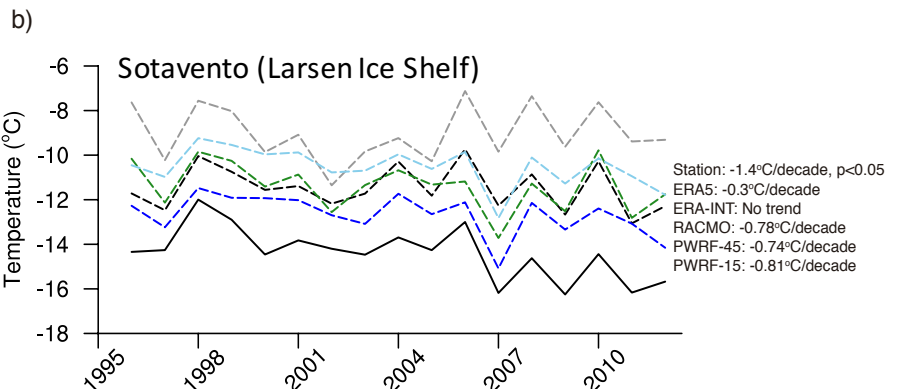
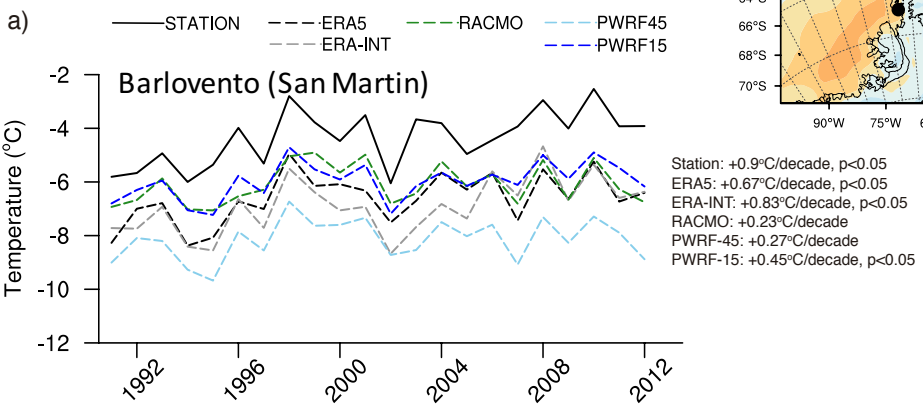
- 360 núcleos (10 nodos de 36 núcleos cada uno)
- 3 años de lotes (~ 5,5 días, 2,4 TB), en total, 9 lotes generaron 22 TB de datos, que se redujeron a 225 GB de resultados finales.

Resultados

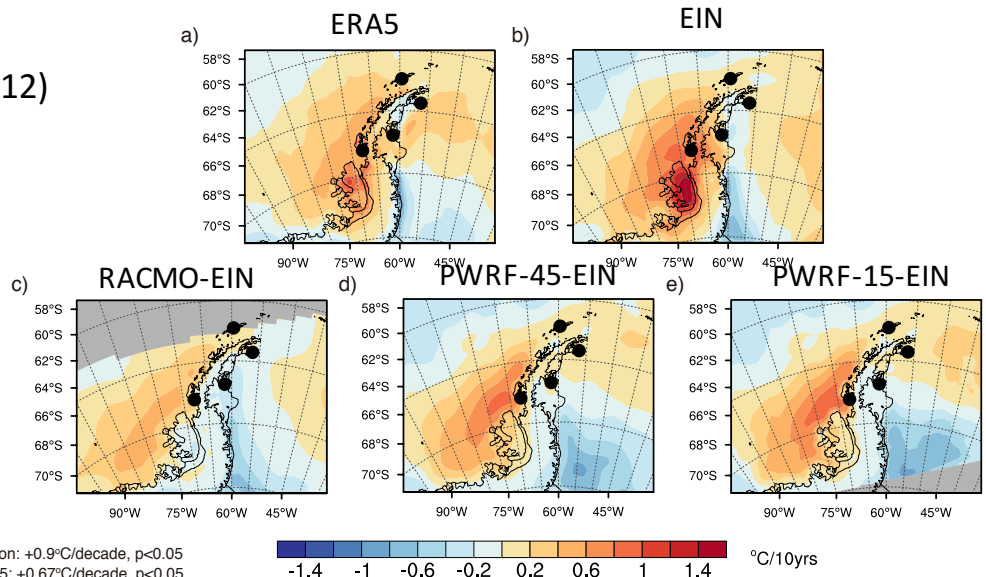


i) Prueba de validez del modelo

Período de enfriamiento reciente (1991-2012)



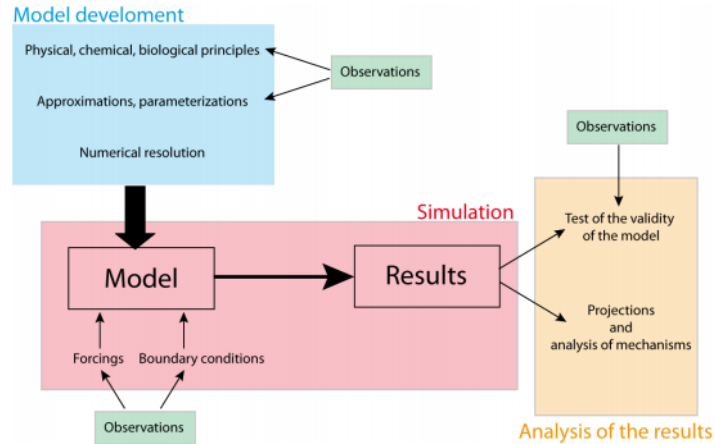
T2m, anual



Bozkurt et al. 2020

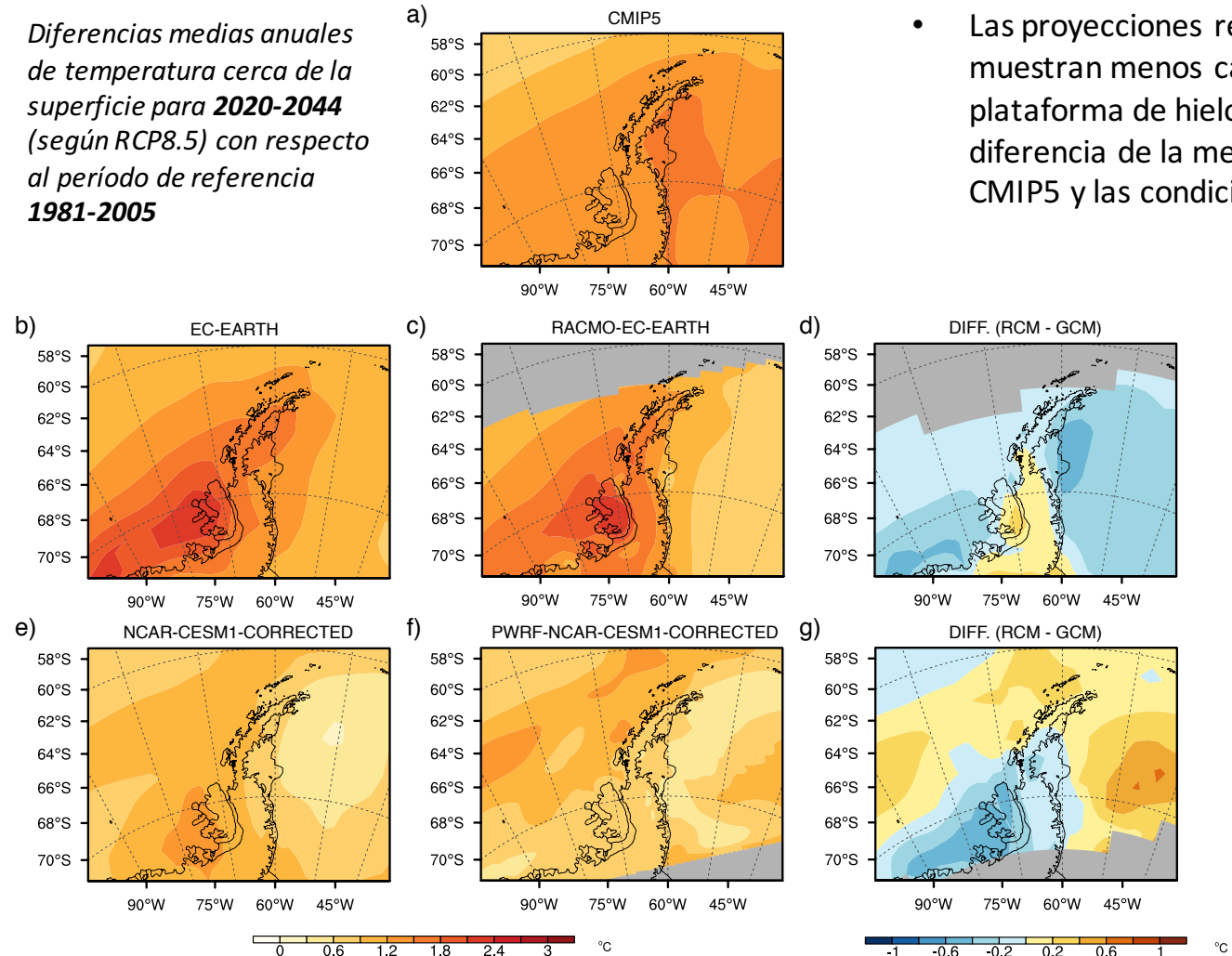


Resultados



ii) Proyecciones y análisis de mecanismos

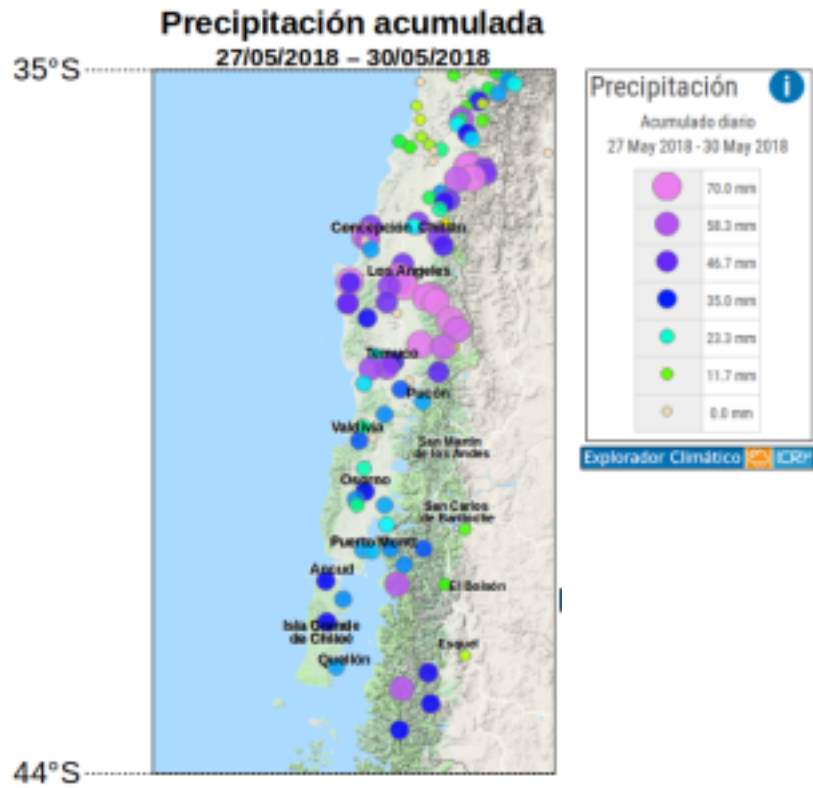
*Diferencias medias anuales de temperatura cerca de la superficie para **2020-2044** (según RCP8.5) con respecto al período de referencia **1981-2005***



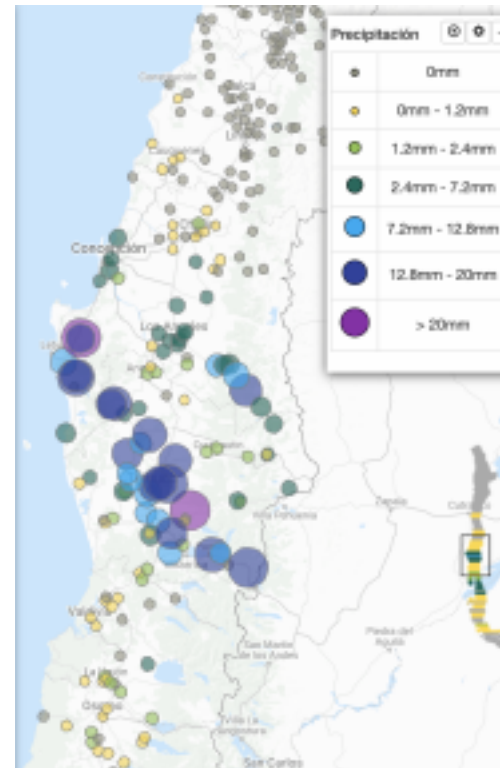
- Las proyecciones regionalizadas muestran menos calentamiento sobre la plataforma de hielo de Larsen, a diferencia de la media del conjunto CMIP5 y las condiciones de borde.

Modelo WRF

Sistema Frontal 27-29 de mayo de 2018 con río atmosférico asociado

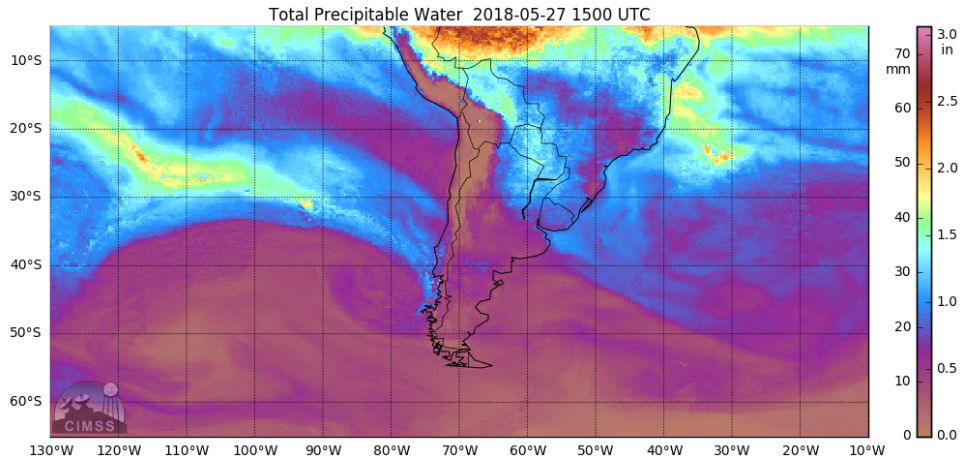


Precipitación acumulada en 3 hrs
28/05/2018 06 UTC

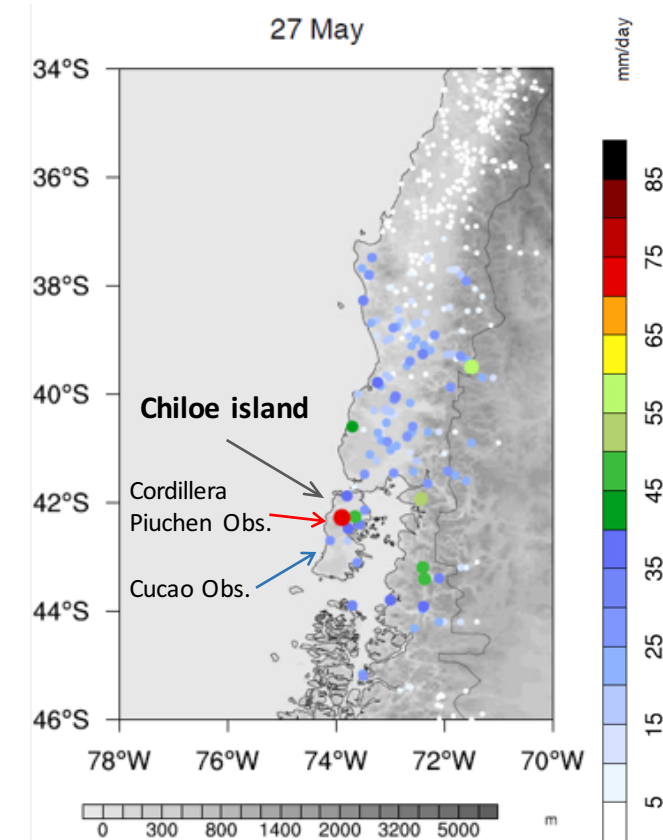
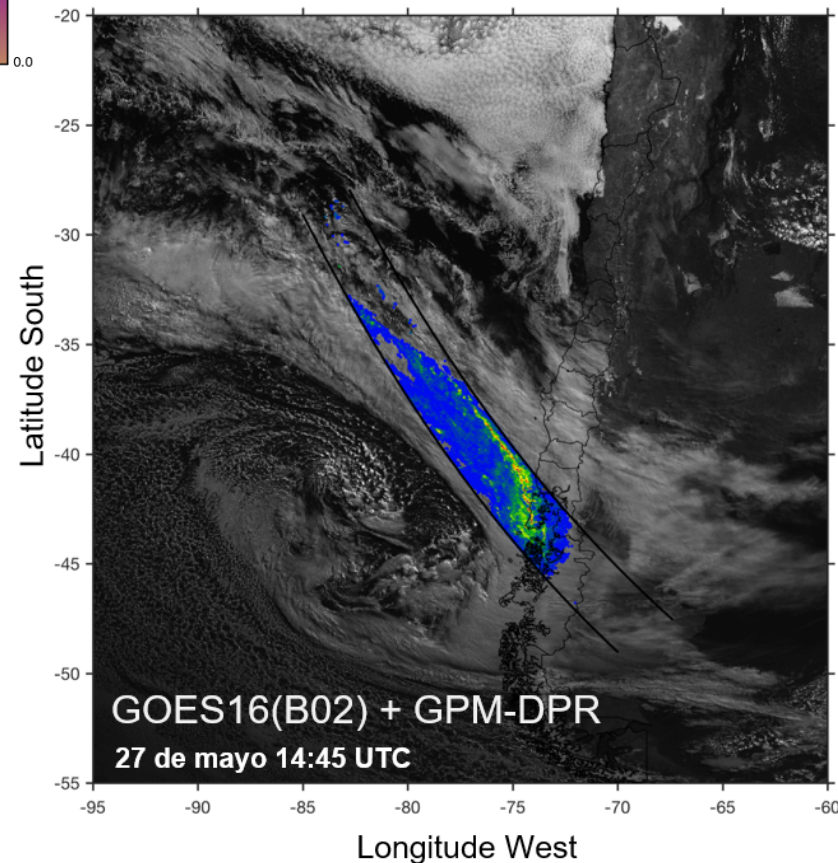


Vismet-CR2

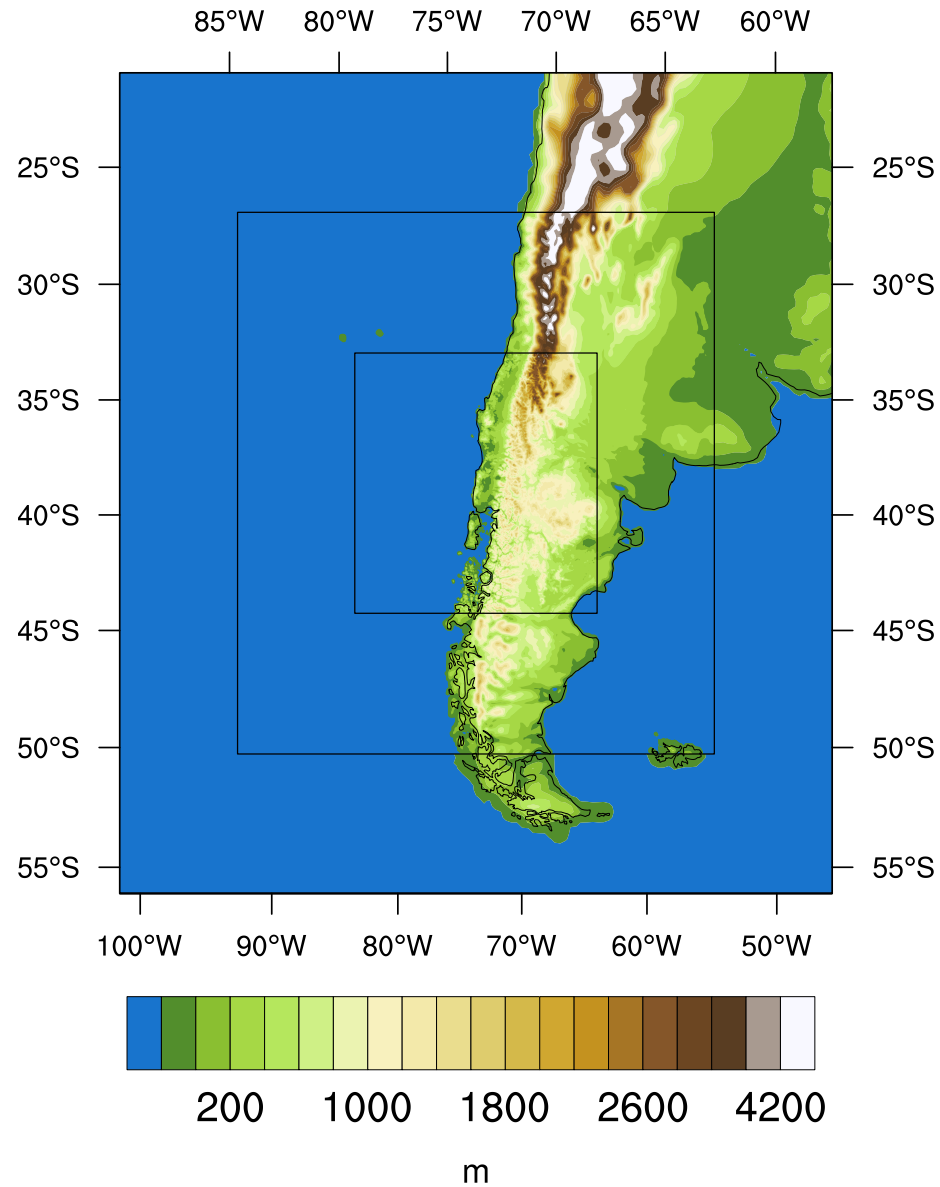
Modelo WRF



- El sistema de precipitación frontal fue del tipo de tormentas intensas con “ríos atmosféricos” que transportan grandes cantidades de vapor de agua desde el océano Pacífico hacia la costa montañosa de Chile.
- El evento de precipitación fue extraordinario, con tasas de precipitación horaria por encima de los 20 mm/h y acumulados en 48h que superaron los 150 mm, ocasionando fuerte crecidas y desbordes en los ríos e inundaciones en ciudades de la región de Biobío y en la isla Juan Fernandez de Chile.



Modelo WRF



Setup:

27 km, 9 km, 3km

Lambert projection, (lat: -40.4, lon: -73.7)

Condiciones de borde:

Era-Interim Reanalysis (0.75 deg)

Era-Interim SST (0.75 deg)

ERA5 (0.3 deg)

Period:

2018-05-22-00:00:00 to 2018-31-22-00:00:00

Simulaciones:

A1: WSM6, Grell 3D

A2: Thompson, Grell 3D

A3: WSM6, Kain-Fritsch

A4: Thompson, Kain-Fritsch

```
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 3,
start_date = '2018-05-25_00:00:00','2018-05-25_00:00:00','2018-05-25_00:00:00',
end_date = '2018-05-29_18:00:00','2018-05-29_18:00:00','2018-05-29_18:00:00',
interval_seconds = 10800
io_form_geogrid = 2,
debug_level = 0
/

&geogrid
parent_id = 1, 1, 2,
parent_grid_ratio = 1, 3, 3,
i_parent_start = 1, 23, 66,
j_parent_start = 1, 27, 79,
e_we = 133, 265, 403,
e_sn = 153, 301, 433,
!
```


Modelo WRF

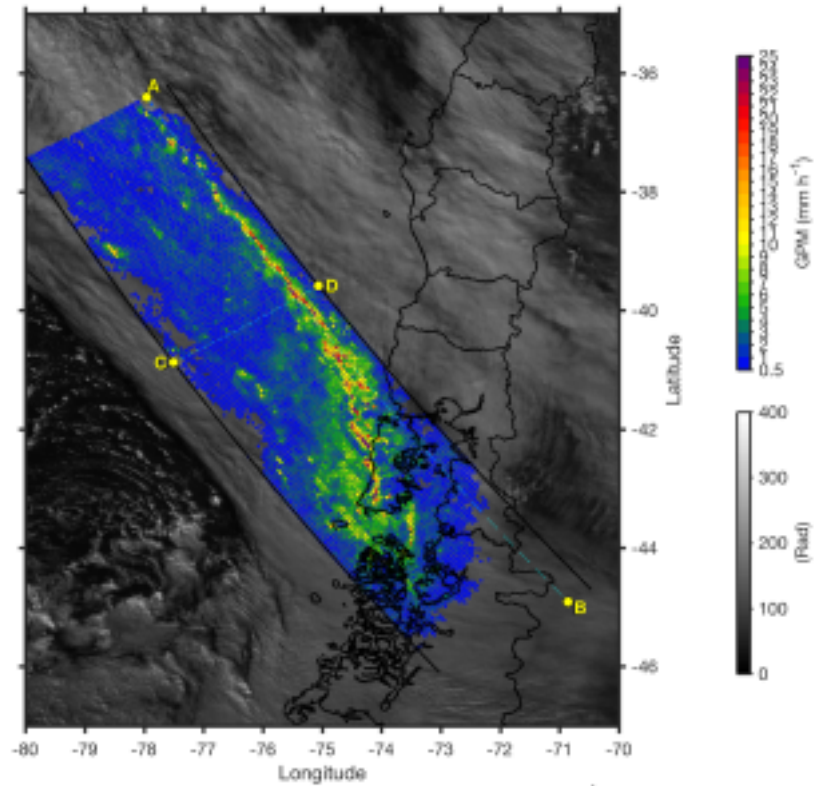
A1: WSM6, Grell 3D

A2: Thompson, Grell 3D

A3: WSM6, Kain-Fritsch

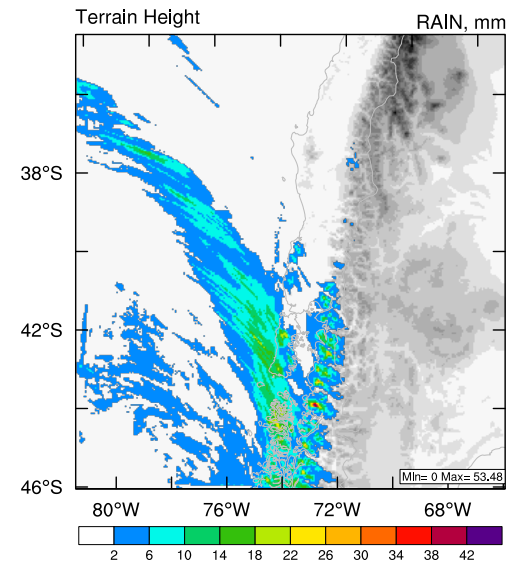
A4: Thompson, Kain-Fritsch

a)



A1

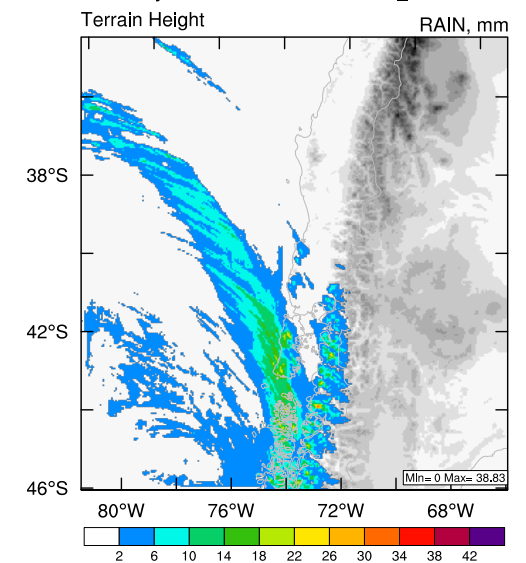
hourly RAINC+RAINNC 2018-05-27_15:00:00



3-km

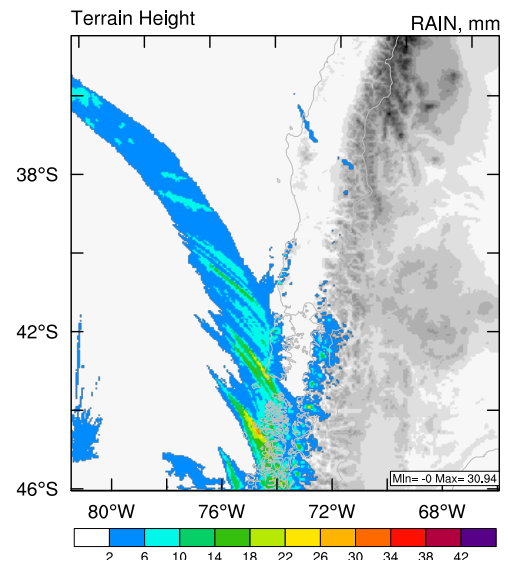
A2

hourly RAINC+RAINNC 2018-05-27_15:00:00



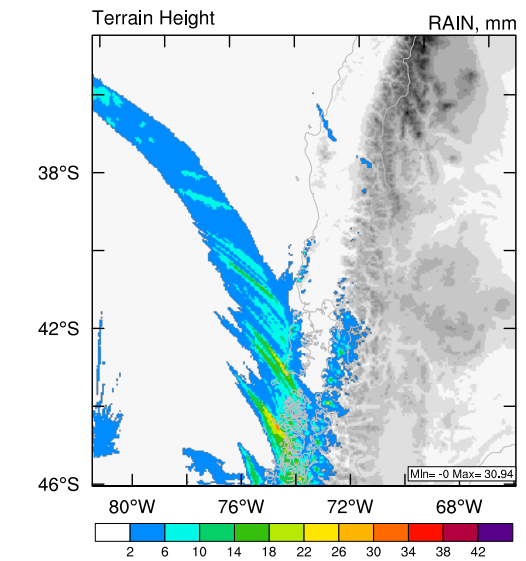
A3

hourly RAINC+RAINNC 2018-05-27_15:00:00



A4

hourly RAINC+RAINNC 2018-05-27_15:00:00

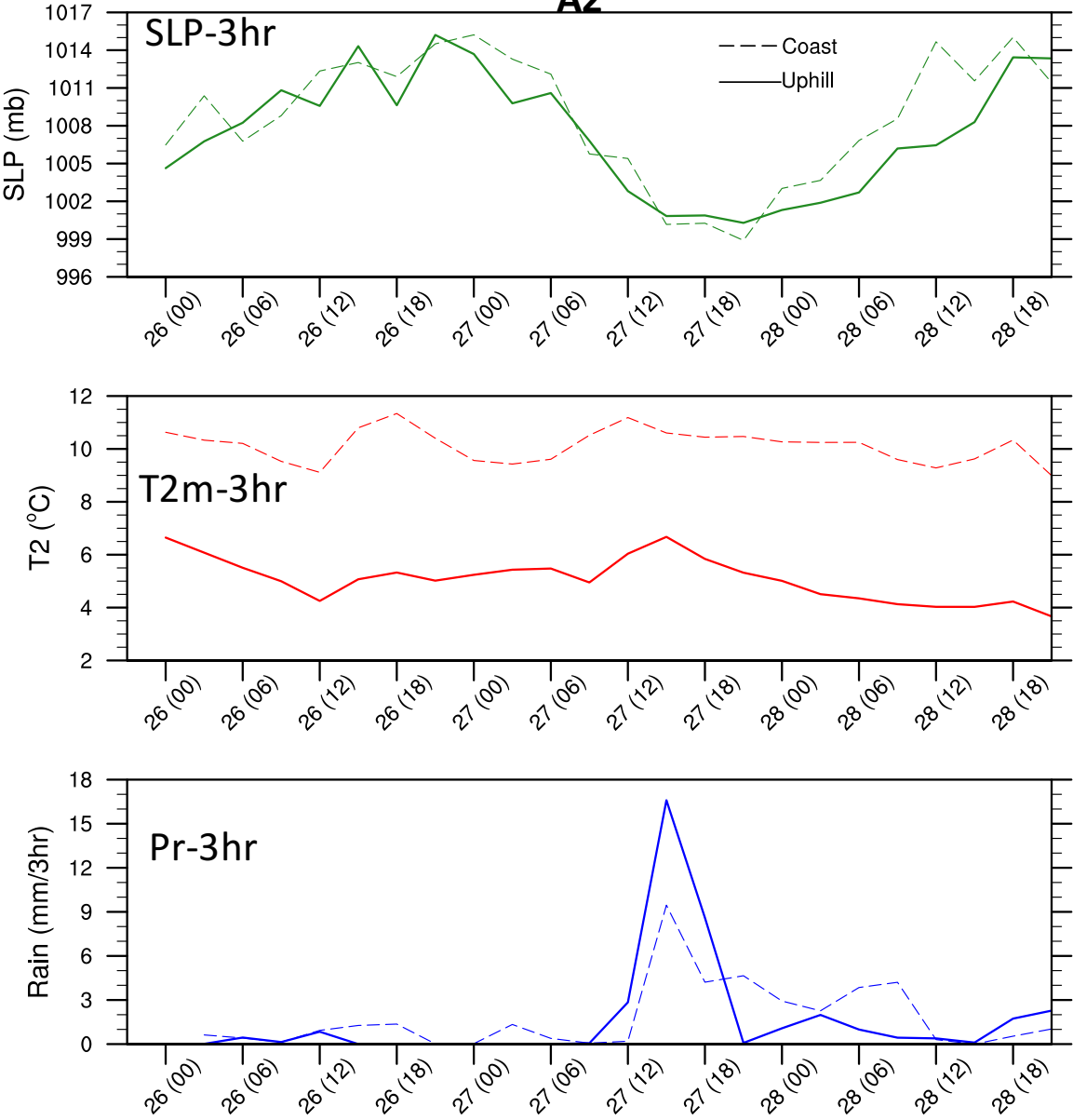
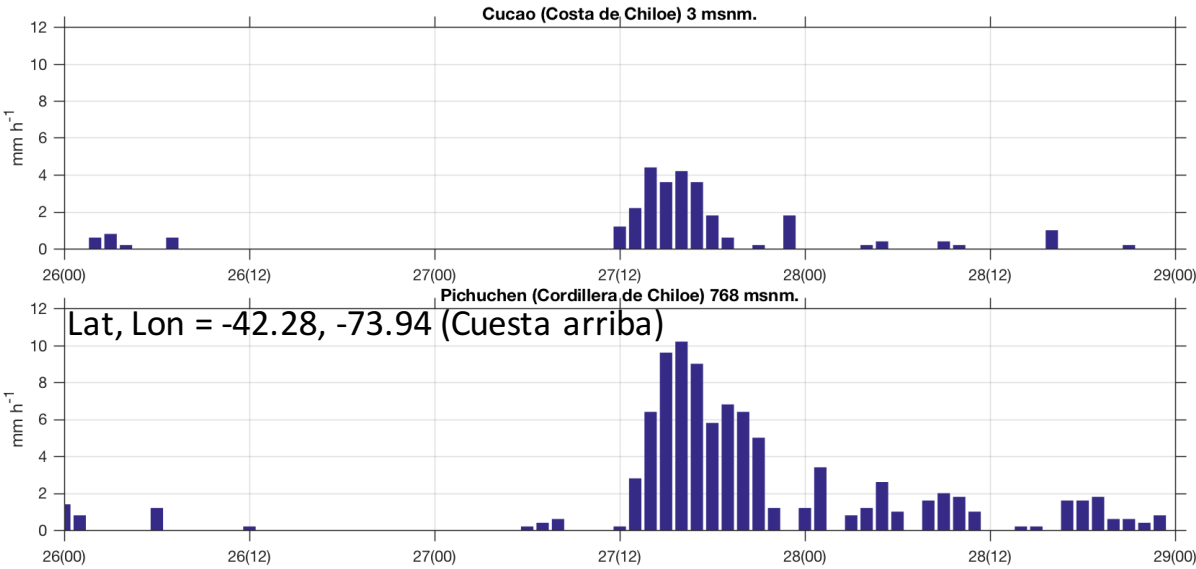


Modelo WRF

3-km

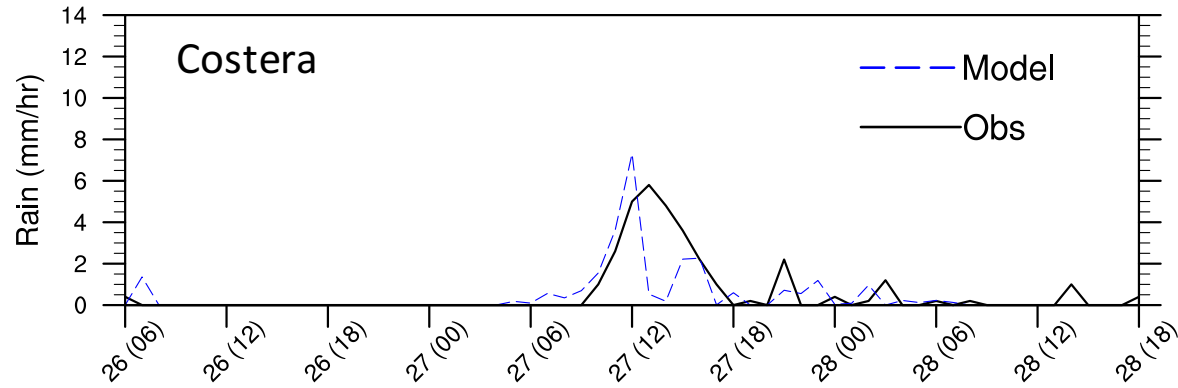
A2

Lat, Lon = -42.7, -74.11 (Costera) **OBS (Pr)**

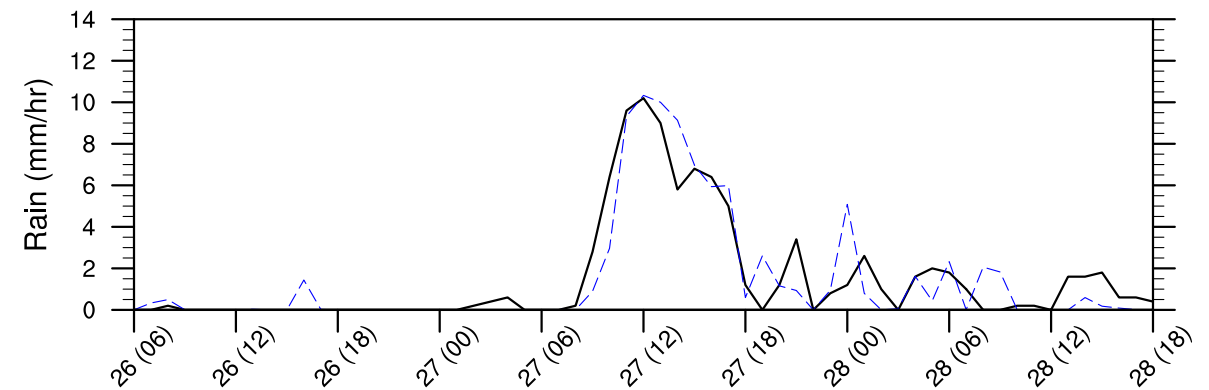
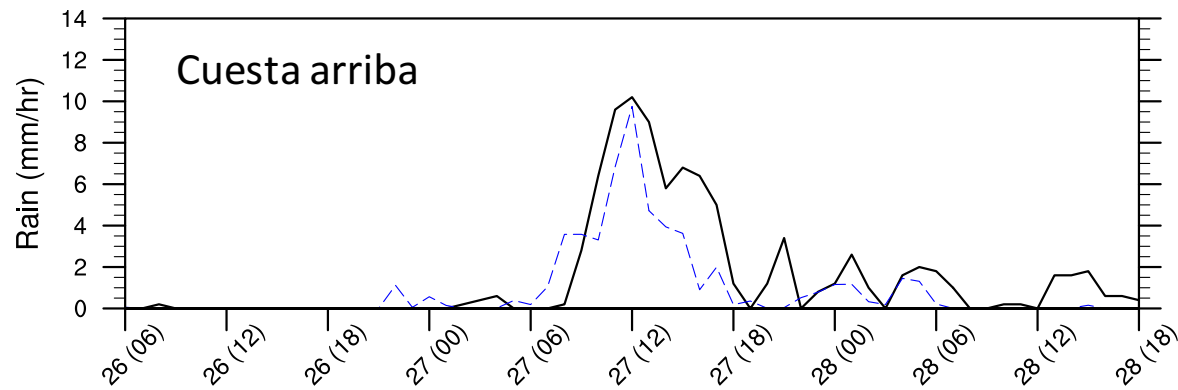
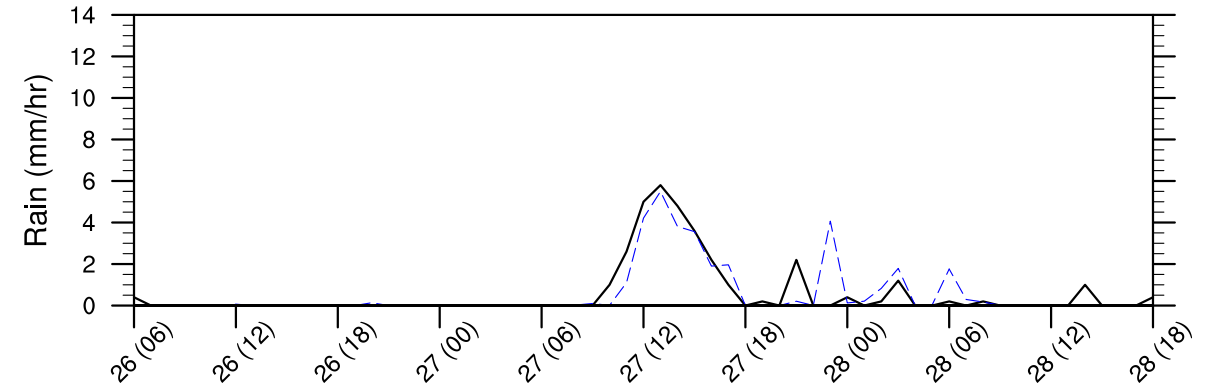


Modelo WRF

WRF-ERA-Interim

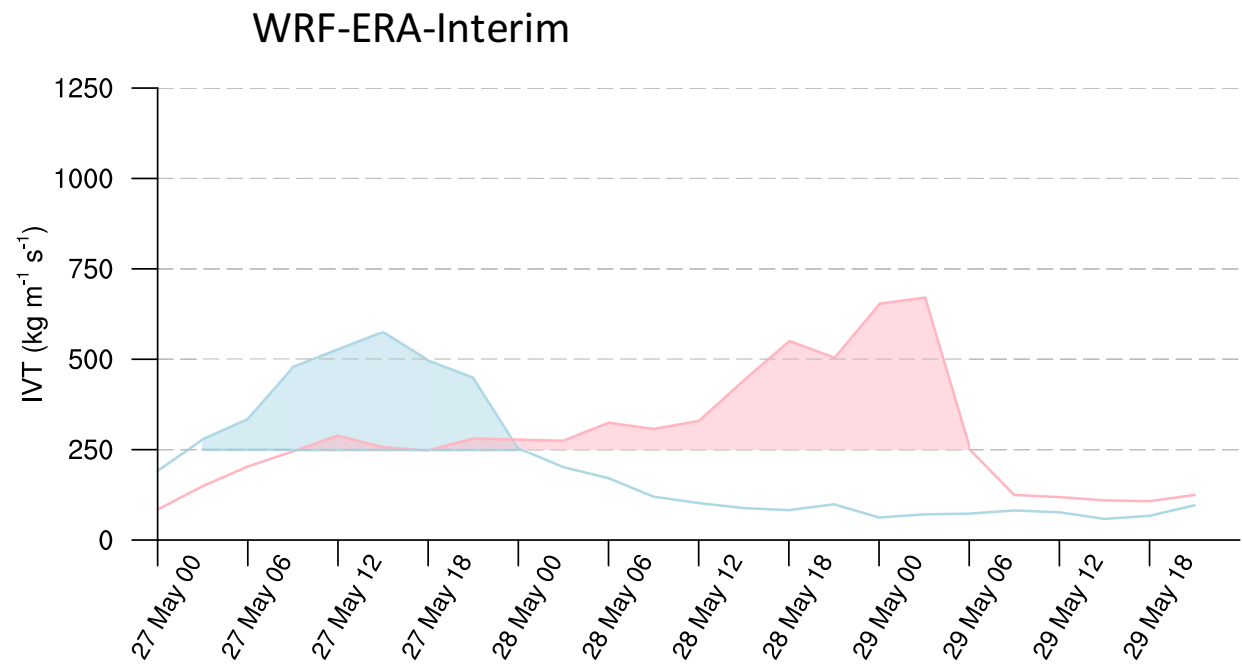
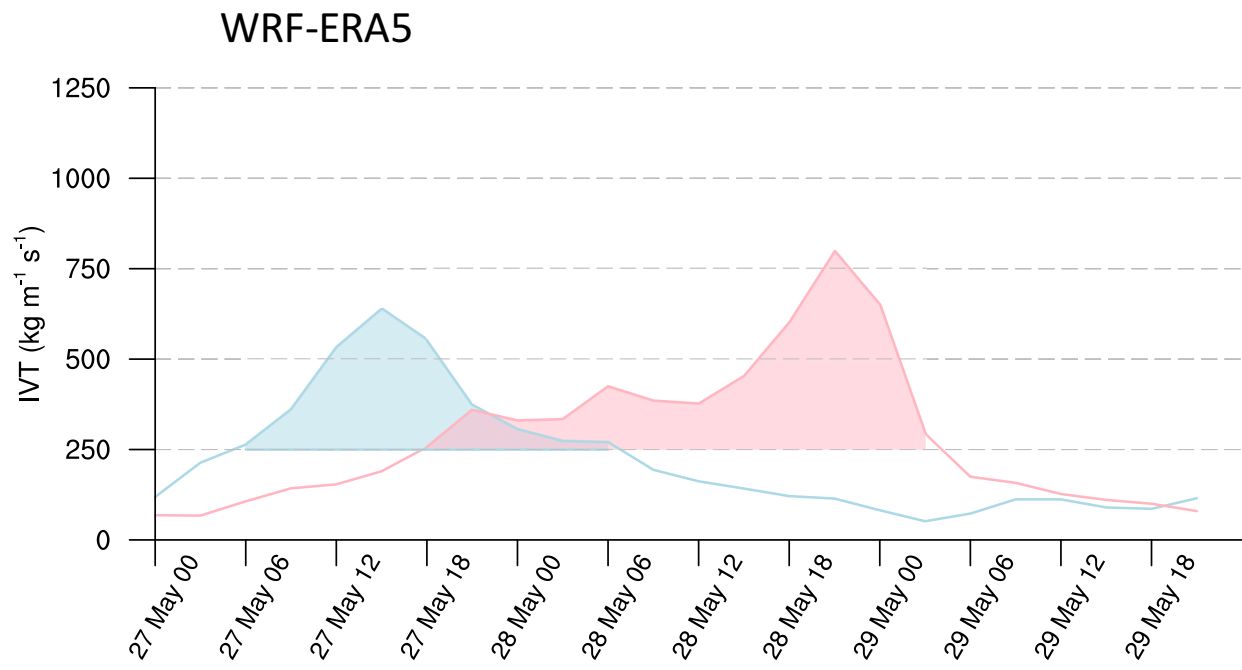


WRF-ERA5

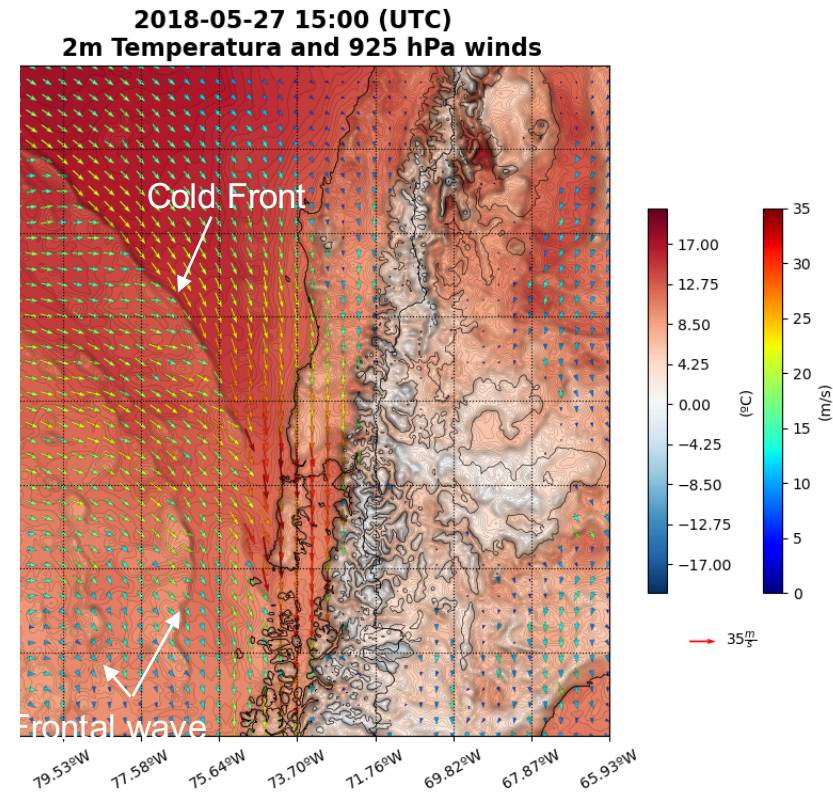
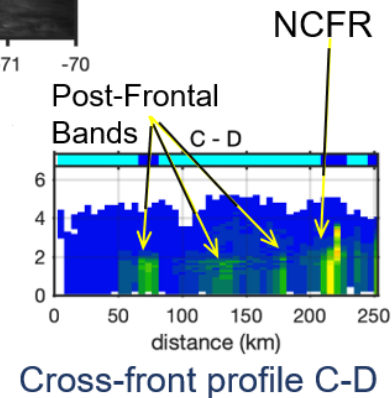
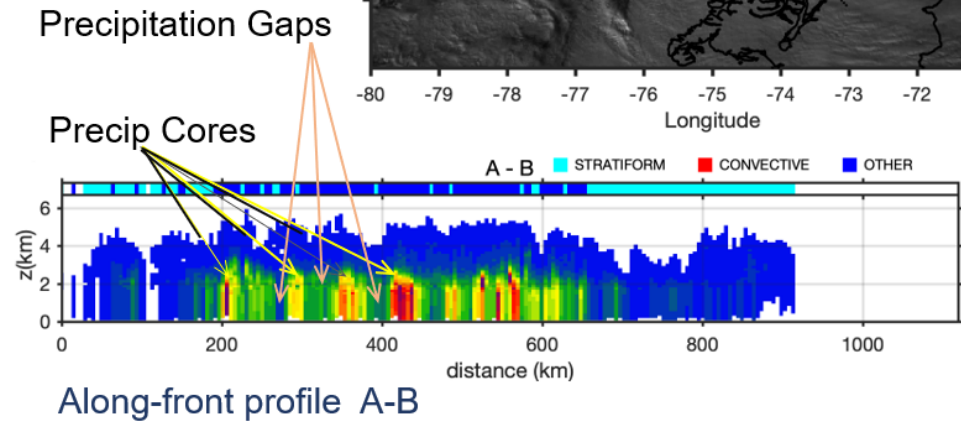
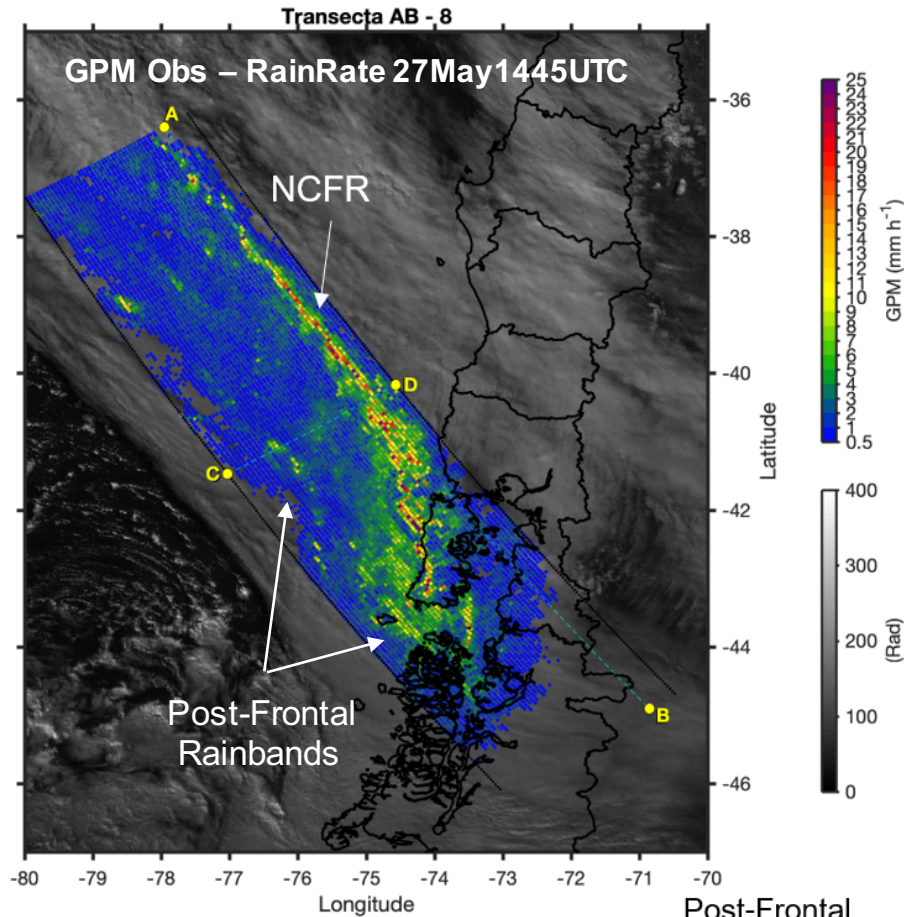
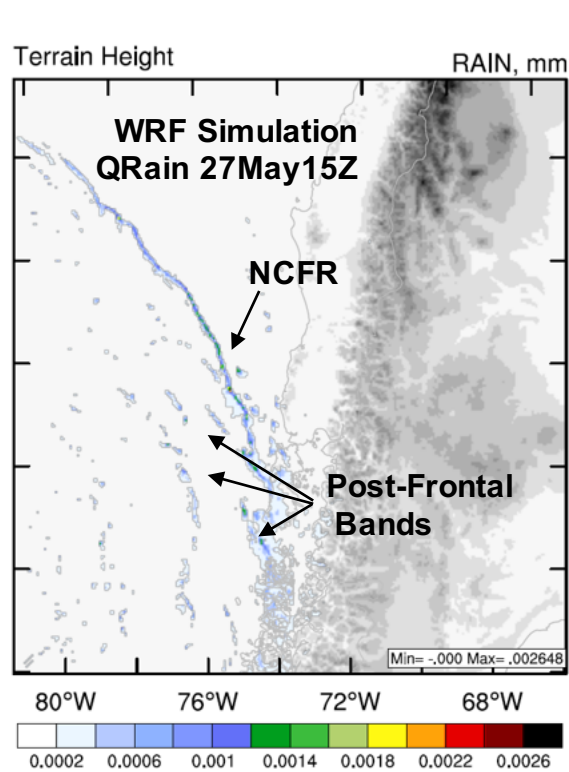


26-27-28 May 2018, 1-hr

Modelo WRF



Modelo WRF



WRF 3km output

Gracias