



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración del ensamble

Nota Técnica SMN 2020-79

**María Eugenia Dillon<sup>1,2</sup>, Cynthia Matsudo<sup>1</sup>, Yanina García Skabar<sup>1,2</sup>,  
Maximiliano Sacco<sup>1</sup> y Milagros Alvarez Imaz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Dirección de Productos de Modelación Ambiental y Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.*

<sup>2</sup>*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET).*

Noviembre 2020



Ministerio de Defensa  
Presidencia de la Nación

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

Esta Nota Técnica forma parte de una serie que recopila informes realizados en el marco de la implementación del sistema de pronóstico numérico en el sistema de cómputo de alta performance HPC, Huayra Muyu (HM), adquirido a través del proyecto CyT Alerta. En la presente se realiza un análisis de las configuraciones del modelo y cómo estas impactan en el tiempo de procesamiento, con el fin último de construir un ensamble multifísico. Consta de dos secciones, una primera donde se hace un análisis de la configuración de la cantidad de nodos utilizados, cómo se distribuyen los procesos y además se evalúan diferentes versiones de WRF y el uso de distintos compiladores. En la segunda parte se analizan un conjunto de 60 y 40 configuraciones físicas diferentes del modelo. Finalmente se define la configuración del ensamble que se implementa operativamente en HM.

## Abstract

This Technical Note is part of a series that describes the work carried out to implement the numerical forecast system in the High Performance Computer Huayra Muyu (HM), which was financed as part of the CyT Alerta project. In order to build a multiphysics ensemble forecast, an analysis of the model configurations and their impact on the processing time is carried out and presented in this technical note. It consists of two sections, in the first one different computational tests were performed, evaluating the number of nodes used, the distribution of the processes, the version of WRF model and also the compilers used. In the second part, a set of 60 and 40 different physical configurations of the model are analyzed. Finally, the configuration of the ensemble forecast system that is operationally implemented in HM is defined.

**Palabras clave:** pronóstico por Ensamble, WRF, HPC

## Citar como:

Dillon, M.E., Matsudo, C., Y. García Skabar, M. Sacco y M. Alvarez Imaz, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración del ensamble. Nota Técnica SMN 2020-79.

## PRÓLOGO

Esta Nota Técnica forma parte de una serie que recopila informes realizados en el marco de la implementación del sistema de pronóstico numérico en el sistema de cómputo de alta performance HPC, Huayra Muyu (HM), adquirido a través del proyecto CyT Alerta. Un mayor detalle del sistema de cómputo y del proyecto CyT Alerta se puede encontrar en de Elía y otros (2020). Con esta serie de Notas Técnicas se busca documentar el proceso de configuración del sistema de pronóstico numérico, en el cual se fueron tomando decisiones en función de los requisitos de usuarios, el desempeño de los modelos, la capacidad de cómputo y el almacenamiento disponible.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen diferentes desafíos a la hora de definir un sistema de pronóstico numérico por ensamble, donde se deben tomar compromisos para obtener la calidad del pronóstico deseado sin excederse en el tiempo de cómputo del mismo. El modelo numérico que se utiliza es el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) que se implementó en forma experimental en el SMN a fines de 2012, inicialmente en un dominio que abarcaba el Noreste de Argentina, y desde 2017 se generan pronósticos para todo el país en forma operativa (García Skabar y otros, 2018). La presente nota técnica consta de dos secciones diferentes donde se evalúan distintos aspectos de la configuración del pronóstico por ensambles.

En la primera sección se evalúa el impacto en el tiempo de cómputo al modificar cantidad de nodos, uso de procesadores y diferentes versiones del modelo WRF y opciones de compilación del mismo. Cabe destacar que estos resultados se tuvieron en consideración para la puesta operativa del modelo determinístico descrito en la Dillon y otros (2020). En la segunda sección se estudian diferentes variantes en la elección de parametrizaciones y otras configuraciones físicas, con el objetivo de construir un ensamble multifísico. Inicialmente se hacen pruebas con 60 configuraciones y luego, avanzando sobre los resultados, se propone evaluar un conjunto de 40 configuraciones del modelo. Finalmente se presenta la configuración del ensamble que se implementó operativamente.

## 2. SELECCIÓN DE CONFIGURACIONES DE EJECUCIÓN DEL WRF DESDE EL PUNTO DE VISTA COMPUTACIONAL

Con el fin de evaluar el tiempo de procesamiento del modelo WRF en HM (HPC del SMN), se tomó un caso de ejemplo, sobre el cual se realizaron los diferentes experimentos numéricos. Se inicializó el modelo WRF el 12/2/2019 a las 00UTC, utilizando como condición inicial y de borde los análisis y

pronósticos del modelo Global Forecast System (GFS) producido por el National Center of Environmental Prediction (NCEP). Se utilizó la versión de GFS que cuenta con 34 niveles verticales, excepto en la prueba 0 que se corrió con la versión anterior de GFS (que en esa fecha aún estaba operativa). Sin embargo, esto no debería impactar en el resultado, ya que lo que se pretende medir es el tiempo de cómputo del proceso de integración del modelo (wrf.exe) y no del preproceso (WPS y real.exe). Se consideró la configuración definida en el namelist.input que utilizó LENOVO (proveedor del HPC) para el benchmark y se modificaron solo las características que se mencionan. Se midió el impacto sobre el tiempo de ejecución del wrf.exe en un pronóstico a 6 horas. En la Tabla I se reflejan los resultados de los experimentos y a continuación se hace un análisis de los mismos.

En todos los experimentos se fijó el numtile en 8, y se usaron 4 threads para escritura y lectura de archivos (Input-output). Sacco (2018) da una mayor explicación del significado de estos parámetros y cómo afectan la configuración del modelo.

**Tabla I:** Detalle de los tiempos medidos en 6 horas de pronóstico y la configuración de los experimentos. Referencias: **Exp:** número de experimento; **tiempo wrf.exe:** es el tiempo medido en segundos de ejecución del wrf.exe; **%:** Porcentaje tomando el experimento 0 como 100%, se calcula el porcentaje de aumento o disminución del tiempo respecto al experimento 0; **WRF/comp:** Versión de WRF /versión de compilación (I16: Intel 16, I19: Intel 19, I19v2: Intel 19 con optimizaciones más agresivas); **niv.vert. /p\_top:** Niveles verticales/ presión del tope (hPa); **nodos:** Cantidad de nodos; **procesos x thread- IO:** Procesadores por thread -procesadores para IO; **nproc\_X x nproc\_Y;** **time step:** Paso de tiempo del modelo(seg).

EXP.	Tiempo (s)	%	WRF/Comp.	Niv.vert. / p_top	nodos	procesos x thread-IO	nproc_X, nproc_Y	time step (s)
0	461	100	3.8.1/I16	38/50	7	120x2 -4	4, 29	30
1	561	121	4.0/I19	38/50	7	120x2 -4	4, 29	30
2	692	150	4.0/I19	38/50	6	96x2 -4	4, 23	30
3	731	159	4.0/I19	51/10	7	120x2 -4	4, 29	30
4	909	197	4.0/I19	51/10	6	96x2 -4	4, 23	30
5	790	171	4.0/I19	51/10	6	96x2 -4	4, 23	variable
6	442	95	3.8.1/I19V2	38/50	7	120x2 -4	4, 29	30
7	505	110	4.0/I19V2	38/50	7	120x2 -4	4, 29	30
8	676	146	4.0/I19V2	51/10	7	120x2 -4	4, 29	30
9	844	183	4.0/I19V2	51/10	6	96x2 -4	4, 23	30
10	785	170	3.9.1/I19V2	51/10	6	96x2 -4	4, 23	30

## 2.1. Impacto de cambio de versión y optimizaciones en la compilación

Se testeó la *versión 3.8.1 compilada con Intel 16 por LENOVO (usando librerías estáticas) [I16]* y por otro lado se compiló la misma versión con el *compilador Intel 19* y usando librerías dinámicas [I19]. Con esta nueva compilación obtuvimos *una reducción en el tiempo de procesamiento de wrf.exe del 5% (exp. 0 y 6)*.

Por otro lado se testeó la versión 4.0 de WRF. Se compiló con Intel 19, con optimizaciones [I19v2] y por otro lado solo con las optimizaciones sugeridas por el manual de instalación [I19]. Al *agregar las optimizaciones en la compilación del WRF 4.0 se obtuvo una reducción del 10%* en el tiempo de ejecución del wrf.exe (exp. 1 y 7).

Sin embargo *al pasar de la versión 3.8.1 a la 4.0* ambas compiladas con Intel 19 [I19V2] incluyendo optimizaciones, *el tiempo de ejecución aumentó un 15%* (exp. 6 y 7). También se testeó la versión 3.9.1 y el tiempo de cómputo fue menor que con la versión 4.0 (exp. 9 y 10).

**La versión más rápida es la 3.8.1 compilada con Intel 19 e incluyendo optimizaciones, reduce un 5% respecto al Benchmark (exp. 6).**

## 2.2. Impacto en el cambio de nodos utilizados en la ejecución

El benchmark realizado por LENOVO consideraba el uso de 240 cores para la ejecución del WRF. De esa forma dado que se cuentan con 4096 cores se podría realizar un ensamble de 17 miembros. Con el fin de generar un ensamble de 20 miembros se considera el uso de 6 nodos por cada miembro (192 cores), de manera de dejar libres 8 nodos para diferentes procesos menores y por posibles fallas que surjan.

Utilizando la misma versión, ya sea la 4.0 compilada con Intel 19, sin incluir las optimizaciones con 38 niveles verticales (exp. 1 y 2) o 51 niveles verticales (exp. 3 y 4); o incluyendo optimizaciones con 51 niveles verticales (exp. 8 y 9), en todos los casos ***el tiempo de cómputo al reducir la cantidad de cores de 240 a 196 (en un 20%), aumentó entre un 23 y 25%***.

## 2.3. Impacto de variar la cantidad de niveles verticales

Por un lado, se toman 38 niveles verticales, con el tope del modelo en 50 hPa, similar a la configuración operativa del WRF actual. Por otro lado, se consideran 51 niveles verticales y se eleva el tope a 10 hPa.

Comparando diferentes combinaciones de experimentos que sólo difieren entre ellos en la cantidad de niveles (exp. 1 y 3; exp. 2 y 4; exp. 7 y 8) **el aumento en el tiempo de cómputo por pasar de 38 a 51 niveles varía entre un 30 y 33 %.**

## 2.4. Impacto de la configuración del paso de tiempo

Se testeó el uso de un paso de tiempo fijo de 30 segundos (utilizado para el benchmark), en comparación con el uso del paso de tiempo variable con límites entre 10 y 50 segundos, con paso inicial de 20 segundos. Esta medición no es precisa, dado que el paso de tiempo variable en algunas situaciones es mayor a 30 segundos con lo cual el tiempo de cómputo se reduce y en otras puede resultar a la inversa (esto responde a la situación meteorológica simulada). **En esta fecha en particular** que se utilizó para realizar las pruebas, **el uso de paso de tiempo variable reduce el tiempo de cómputo en un 15% (exp. 4 y 5).**

En la Tabla II se presenta un resumen de los resultados obtenidos a partir de los experimentos numéricos realizados. Este análisis contribuirá a seleccionar la configuración del modelo más adecuada, que permita realizar los pronósticos en los tiempos que se requiere.

**Tabla II. Resumen de los resultados**

	Versión de WRF (3.8.1 a 4.0 ambas con l19 optimizado)	Reducción en la cantidad de cores (240 a 196)	Cantidad de niveles verticales (38 a 51)
Aumento de tiempo de cómputo en %	15%	24%	31%

## 3. SELECCIÓN DE CONFIGURACIONES DE EJECUCIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA FÍSICO: EVALUACIÓN DE PARAMETRIZACIONES PARA EL ENSAMBLE

Durante enero, febrero y la primera quincena de marzo de 2019 se realizaron diferentes pruebas de configuraciones del WRF 4.0, utilizando como condición inicial y de borde los análisis y pronósticos del GFS determinístico para todas ellas, en el dominio actual del modelo operativo que abarca toda la Argentina. El objetivo de estos experimentos es evaluar la estabilidad, los tiempos de cómputo y la performance de las distintas configuraciones. Se plantea como objetivo generar un ensamble de pronóstico de 20 miembros por un plazo de 48 horas, en un tiempo de cómputo que no supere las 2 horas. Cabe destacar que se considera la versión 4.0 del WRF a pesar de ser menos rápida que la 3.8.1 (Tabla II) debido a actualizaciones de importancia en el modelo.

En una primera etapa se generaron 60 configuraciones, que a medida que se obtuvieron los resultados se fueron descartando y modificando. En una segunda etapa se trabajó con 40 configuraciones. A continuación se describen algunas consideraciones previas, y luego los

resultados de cada una de las etapas por separado. Para ahondar en detalles sobre los esquemas y opciones del WRF mencionados en este informe, remitirse al manual del modelo<sup>(\*)</sup>.

(\*)[http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_V4/WRFUsersGuide.pdf](http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V4/WRFUsersGuide.pdf)

### 3.1. Parametrización de la microfísica

Considerando que en un futuro cercano el ensamble diseñado será inicializado mediante un sistema de asimilación de datos regional en el cual se incluyan datos de radar, es necesario tener en cuenta las especies con las que trabaja cada parametrización y también si son de uno o dos momentos (1-m y 2-m, respectivamente). No es imposible combinar parametrizaciones de diferentes características, pero requiere de un desarrollo adicional previo a la implementación. Por estos motivos se relevó y se evaluó especialmente este tema. En la Tabla III se listan las parametrizaciones con las cuales se realizaron pruebas y sus características específicas.

**Tabla III.** Características de los esquemas de microfísica evaluados. *Esquema(#momentos)*: indica el nombre de referencia del esquema y si es de 1 o 2 momentos, *mp\_physics*: número del esquema en el *namelist.input*, *Especies*: Especies contempladas en el esquema, *Concentraciones*: N contempladas en el esquema ( c:cloud,r:rain,i:ice,s:snow,g:graupel,h:hail,n:CCN number)

Esquema (# momentos)	mp_physics	Especies	Concentraciones
Lin (1-m)	2	Qc Qr Qi Qs Qg	
WSM6 (1-m)	6	Qc Qr Qi Qs Qg	
Thompson (2-m)	8	Qc Qr Qi Qs Qg	Nr Ni
Morrison (2-m)	10	Qc Qr Qi Qs Qg	Nr Ni Ns Ng
CAM 5.1 (2-m)	11	Qc Qr Qi Qs Qg	Nr Ni Ns Ng
WDM6 (2-m)	16	Qc Qr Qi Qs Qg	Nn Nc Nr
NSSL (2-m)	22	Qc Qr Qi Qs Qg	Nc Nr Ni Ns Ng
HUJI fast (2-m)	30	Qc Qr Qi Qs Qg	Nc Nr Ni Ns Ng Nn
Mildbrandt (2-m)	9	Qc Qr Qi Qs Qg Qh	Nc Nr Ni Ns Ng Nh
NSSL (2-m)	17	Qc Qr Qi Qs Qg Qh	Nc Nr Ni Ns Ng Nh
NSSL (1-m)	19	Qc Qr Qi Qs Qg Qh	
NSSL (2-m) +CCN	18	Qc Qr Qi Qs Qg Qh	Nc Nr Ni Ns Ng Nh Nn Vg
SBU (1-m)	13	Qc Qr Qi Qs	
Eta (Ferrier) (1-m)	5	Qc Qr Qs (Qt*)	

Es de interés dejar asentado que se probaron las parametrizaciones de microfísica Eta (Ferrier), de 1 momento, y HUI Fast, CAM 5.1 y NSSL (2-m) + CCN, de 2 momentos, sin tener éxito, es decir que no funcionaron sin importar con qué esquema de capa límite planetaria (PBL) se combinaron. En algunos casos el problema fue que no corrió el preproceso (real.exe) y en otros casos la integración del modelo (wrf.exe) dio segmentation fault en pocos pasos de tiempo. Este hecho puede estar relacionado con las optimizaciones agresivas que se incluyeron en la compilación del modelo con el fin de obtener los tiempos de cómputo necesarios. No se testearon estas parametrizaciones con diferentes niveles de optimizaciones en la compilación.

### 3.2. Parametrización de la capa límite planetaria (PBL)

En la Tabla IV se muestran los esquemas de PBL considerados, junto con el esquema asociado para resolver la capa superficial. Las características entre ellos difieren tanto en las variables de pronóstico y diagnóstico que poseen como en la manera de calcularlas. La diferencia en la complejidad de los esquemas implica un desempeño distinto no sólo en la meteorología sino también a nivel computacional, impactando en la ejecución del modelo.

**Tabla IV.** Características de los esquemas de PBL y capa superficial evaluados. Esquema: nombre de referencia del esquema, valores de *bl\_pbl\_physics* y *sf\_sfclay\_physics* correspondientes al esquema en el *namelist.input*

Esquema	bl_pbl_physics	sf_sfclay_physics
YSU	1	1
MYJ	2	2
QNSE	4	4
MYNN2	5	1,2,5
MYNN3	6	1,2,5
Shin Hong	11	1
ACM2	7	1
Boulac	8	1
GBM	12	1

Primero se evaluó el funcionamiento de las parametrizaciones MYNN3 y MYNN2, ya que según la documentación representan distintas mejoras sobre el esquema MYJ. Se encontró que al combinarlas con las microfísicas WDM6, Mildbrant y NSSL (1-m y 2-m), y utilizando diferentes valores de *sf\_sfclay\_physics*, el modelo no funcionó. Como se señaló anteriormente, es

importante mencionar que se podría haber continuado evaluando diferentes opciones con distinto nivel de optimización en la compilación y tal vez de esa forma se hubiese podido generar el pronóstico pero se decidió avanzar en otras líneas, dado que las parametrizaciones de la microfísica de dos momentos llevaban más tiempo de cómputo que el requerido.

Dadas estas dificultades y con el fin de completar la cantidad de miembros del ensamble para llegar a 60, cuando alguna combinación de PBL y microfísica no funcionaba se fue reemplazando por otros esquemas de PBL. Se testearon de esta manera las parametrizaciones de QNSE, ACM2, Boulac y GBM. Se destaca que QNSE no funcionó con las microfísicas de Morrison, WDM6 y NSSL (2-m).

### 3.3. Opciones dinámicas

Siguiendo la recomendación para simulaciones en alta resolución del manual del WRF y la experiencia de otros grupos de trabajo respecto al parámetro `w_damping`, se decidió testear la opción `w_damping=1`. Esto implica una moderación de la velocidad vertical en el caso de ascendentes muy intensas localmente, lo cual podría provocar una inestabilización del tipo CFL. Sin embargo se encontraron fallas en varias configuraciones, que fueron solucionadas usando `w_damping=0`. Cabe destacar que esta es la opción que se usa actualmente en la versión determinística operativa. Por estas razones se decidió utilizar `w_damping=0` para todos los miembros del ensamble.

### 3.4. Perturbaciones estocásticas

Se probaron dos maneras distintas de generar perturbaciones estocásticas, los esquemas Kinetic Energy Backscatter Scheme (SKEBS) y Stochastically Perturbed Parametrisation Tendencies (SPPT) ambas disponibles en el WRF, con 20 configuraciones diferentes en cada caso, pero ninguna funcionó. Dado que estas opciones se habían utilizado exitosamente con el WRF 3.8 y en un dominio que abarcaba el noreste del país, donde el número de puntos era inferior a 500x500, se probó si usando ese mismo dominio pequeño pero con el WRF 4.0 andaban. Esta prueba fue exitosa, con lo cual se descartó que la dificultad en implementar las perturbaciones estocásticas se debiera a la versión del WRF.

Luego, pensando que el problema podría estar relacionado con la topografía compleja se decidió probar un dominio grande (1250x1000) pero sobre el océano, y tampoco funcionó. Se concluyó que estos esquemas (SKEBS y SPPT) tienen algún tipo de error y no funcionan correctamente en dominios grandes, por lo cual se desestimó su utilización.

### 3.5. Niveles verticales

Se testearon diferentes opciones de distribución y cantidad de niveles verticales, y también el tope del modelo. Inicialmente se fijaron 51 niveles y se planteó comparar la distribución default del modelo con la utilizada por Benjamin et al (2016), ya que es la usada por el sistema RAP del NCEP.

### 3.6. Primera etapa: 60 configuraciones

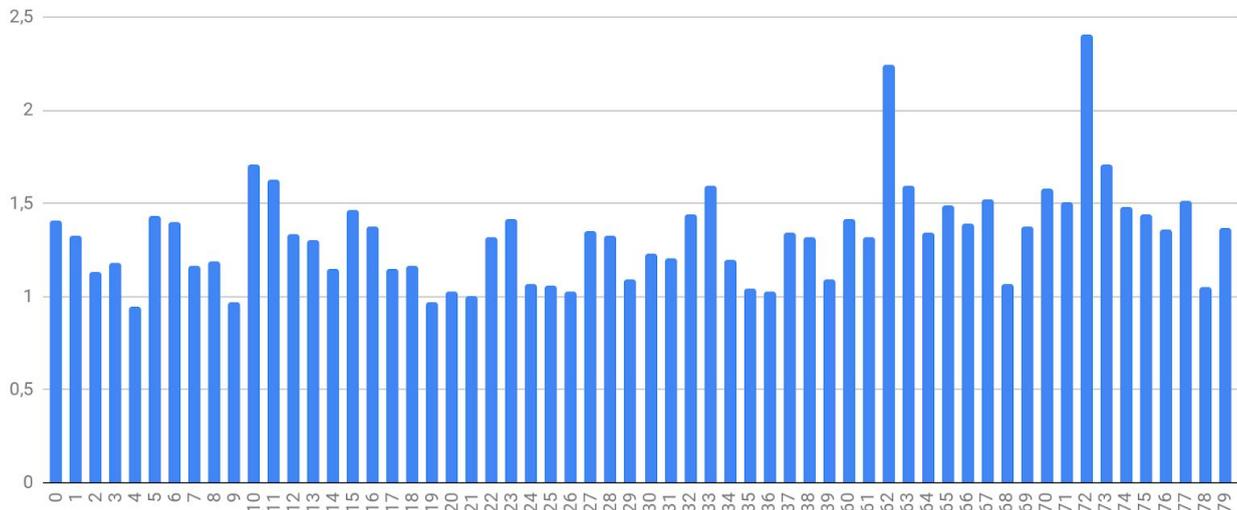
En el Anexo 1 se muestran las combinaciones que se usaron al menos durante algunos días. Las pruebas consistieron en correr el WRF utilizando los GFS de las 00 UTC, por un plazo de 6 horas. Se evaluó el tiempo de ejecución del wrf.exe procesado en 6 nodos. A continuación se listan los resultados más relevantes:

- Dada una configuración de PBL-Microfísica, la que posee la distribución de niveles verticales por default disminuye el tiempo de ejecución en un 25% respecto de la que posee la distribución de Benjamin et al (2016). Además, estos tiempos se escapan del límite considerado para una implementación operativa. **Conclusión: descartamos el uso de la distribución de niveles verticales según Benjamin et al (2016).**
- Las parametrizaciones de microfísica de 2 momentos resultaron ser muy lentas, con todas las PBL. Por ejemplo, tanto con YSU como con MYJ, WSM6 corrió un 16% más rápido que WDM6; y con SH lo hizo un 14% más rápido. Siguiendo con YSU, WSM6 corrió un 11 y 9% más rápido que Morrison y Thompson, respectivamente. **Conclusión: descartamos el uso de parametrizaciones de microfísica de 2 momentos.**
- Dada una parametrización de microfísica, la ejecución del wrf.exe según la utilización de los siguientes esquemas de PBL resultó de más rápida a más lenta: 1) YSU, 2) MYJ, 3) SH, 4) MYNN3.
- Si bien la microfísica SBU fue la más rápida se desestimó ya que no posee ni graupel ni granizo entre sus especies. Se decidió seguir testeando las microfísicas Lin, WSM6 y NSSL (1-m) que incluyen graupel y son de 1 momento. Lin y WSM6 trabajan con las mismas 5 especies pero NSSL incluye además el granizo. Queda pendiente evaluar la posibilidad de combinarlas o no en el esquema de asimilación.
- Las combinaciones más veloces son las siguientes (Microfísica-PBL), listadas en orden de más rápida a más lenta:
  1. Lin - YSU
  2. WSM6 - YSU

3. WSM6 - SH
4. Lin - SH
5. Lin - MYJ
6. NSSL (1-m) - YSU
7. WSM6 - MYJ
8. NSSL (1-m) - SH
9. NSSL (1-m) - MYJ
10. WSM6 - MYNN3

Cabe destacar que las primeras nueve tardan aproximadamente la misma cantidad de segundos, mientras que la combinación número 10 tarda un poco más. Sin embargo, consideramos oportuno utilizar esta selección de 10 combinaciones para continuar con las pruebas.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo del tiempo de cómputo de cada una de las 60 configuraciones (Anexo 1), normalizadas respecto de la número 21, que es la más rápida de las 10 seleccionadas y corresponde a Lin-YSU.



**Figura 1:** Tiempos de las 60 configuraciones normalizados con el miembro 21 (el más rápido de los 10 seleccionados) para el día 12 de febrero de 2019. Los números de los miembros corresponden con los de las tablas del anexo 1.

### 3.7. Segunda etapa: 40 configuraciones

Considerando que los tiempos de las 10 configuraciones más rápidas no se ajustan al tiempo operativo deseado, se evaluó la utilización de una menor cantidad de niveles verticales (45) y dos alturas de tope del modelo (10 y 50 hPa). Con estas opciones se armó una nueva tabla y se decidió

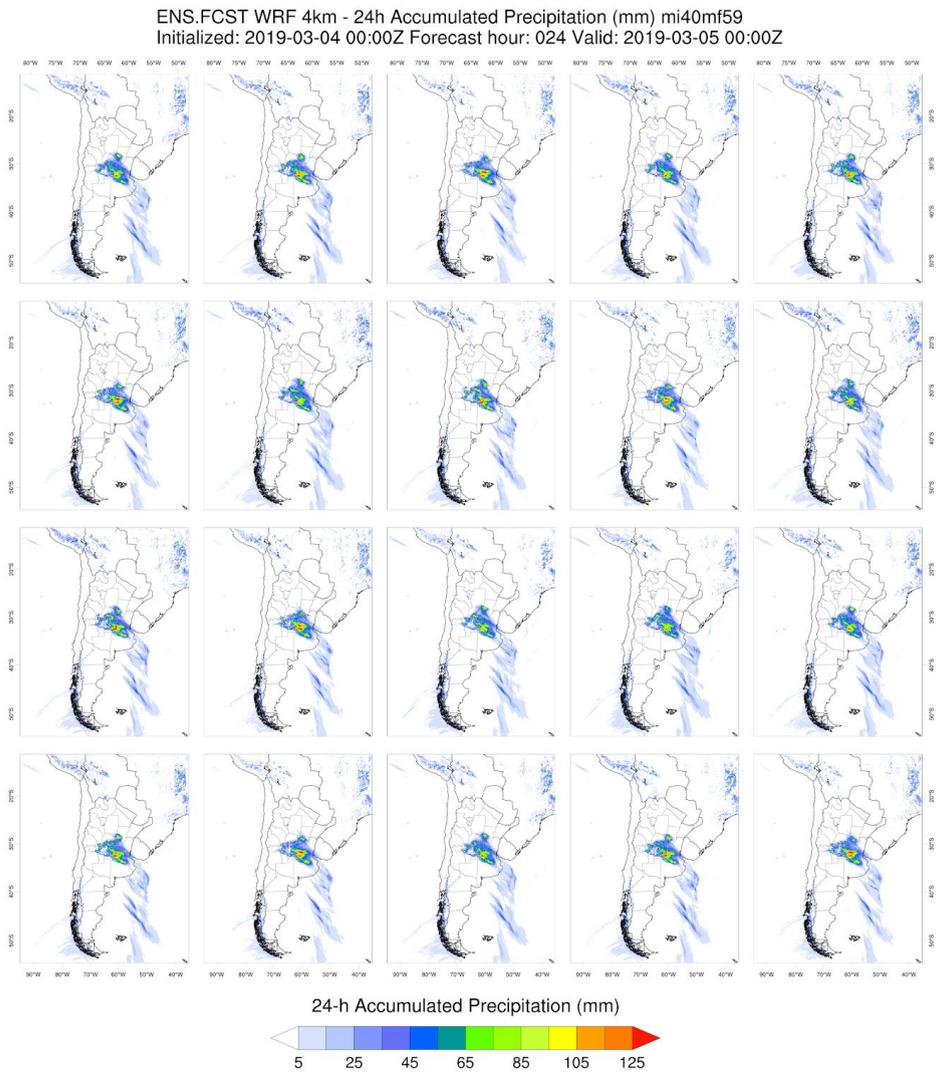
correr tanto estas nuevas configuraciones (ver Anexo 2) como las correspondientes a A.2 del Anexo 1 durante algunos días. Se siguió con el esquema de ejecutar el WRF diariamente inicializado con los GFS de las 00 UTC en 6 nodos, pero esta vez extendiendo el plazo a 48 hs.

Se encontró que bajar el tope de 10 a 50 hPa implica un aumento de tiempo (incluso comparando con mayor cantidad de niveles). Por ejemplo, dada la combinación Lin-YSU: con 51 niveles y tope en 10 hPa tardó 6870s; con 45 niveles y tope en 10 hPa tardó 5757s; con 45 niveles y tope en 50 hPa tardó 7166s. Por otro lado, se notó que al cambiar el tope de 10 hPa a 50 hPa la cantidad de niveles en capas bajas (por debajo de 850 hPa) no se modificó. Por estos motivos, se decidió utilizar la opción de 45 niveles verticales distribuidos según el default, con tope en 10 hPa, los cuales están detallados en el Anexo 3.

### 3.8. Otras consideraciones

Cabe destacar que se estuvo monitoreando para todas las configuraciones el pronóstico de precipitación acumulada en 24 hs, tanto para el plazo de 24 como para el de 48 horas. Se compararon dichos pronósticos con la estimación satelital IMERG-LR (Huffman y otros, 2020). Dependiendo del día y la situación en particular, se observó que algunos miembros mostraban un desfase en la ubicación de los máximos de precipitación respecto a la estimación. Sin embargo, no se distinguió ningún patrón específico ni errores sistemáticos. Tampoco se detectaron diferencias significativas entre las simulaciones con tope en 10 y 50 hPa. A su vez, los resultados de todas las configuraciones fueron razonables y aceptables meteorológicamente. En la Figura 2 se muestra a modo de ejemplo la precipitación pronosticada por las configuraciones de la tabla A.3 (Anexo 2).

Finalmente, en base a errores en la ejecución de algunas configuraciones de manera aleatoria durante un período de 10 días, se decidió cambiar la configuración de sincronización de procesos de paralelización de (MPI+OpenMP) a solo MPI, lo cual hasta el momento pareciera haber solucionado el problema.

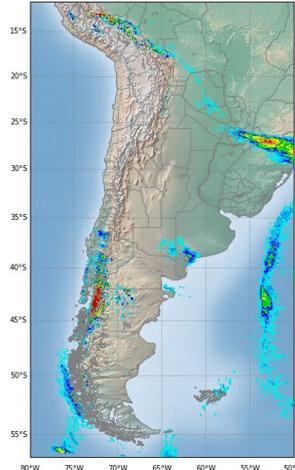


**Figura 2.** Ejemplo del pronóstico de precipitación acumulada en 24 hs, para los miembros de la tabla A.3 del Anexo 2.

#### 4. CONCLUSIONES

Considerando todos los puntos descritos previamente, se continuaron realizando pruebas de estabilidad, performance y tiempo de cómputo de las 10 configuraciones más rápidas, con 45 niveles verticales y el tope ubicado en 10 hPa, para los cuatro ciclos de pronóstico. En función de esos resultados se definió la configuración inicial con las características que se presentan en las tablas V y VI. En el anexo 4 se presenta una hoja resumen del sistema de pronóstico por ensamble actualmente operativo.

**Tabla V:** Características de pronóstico por ensambles. (\*) El postproceso se ejecuta en un solo nodo por ese motivo se realiza en simultáneo con el proceso WRF y no extiende el tiempo total de proceso del pronóstico. Las características del postproceso se describen en Alvarez Imaz y otros(2020).

Ensamble				
Configuración física	Dominio	Configuración de cómputo		
Ciclos: 00, 06, 12 y 18 UTC Condición inicial: GFS res 0.25°, perturbado con GEFS res 0.5° (cada miembro tiene una c.i. distinta) Condición de borde: GFS res 0.25°, perturbado con GEFS res 0.5° (cada miembro tiene una c.b. distinta) Miembros: 20 Plazo: 48 horas Resolución horizontal : 4km Niveles verticales: 45, tope 10 hPa Convección: resuelta explícitamente Parametrizaciones: Se combinan 3 parametrizaciones de capas límites y dos parametrizaciones de la microfísica (Tabla VI) Capa Límite: Mellor-Yamada-Janjic, Universidad de Yonsei (YSU), Shin Hong Microfísica: WSM6, LIN (1 momento) Paso de tiempo: variable		Proceso	Nodos utilizados	tiempo aproximado en minutos
		WPS	20	6
		PERT	1*49=49	8
		REAL	1 * 20=20	4
		WRF	6 * 20=120	110
		POST	20 (*)	110
		TOTAL		130

**Tabla VI.** Combinación de las configuraciones físicas en el ensamble.

Combinación configuración de los miembros del ensamble					
Microfísica	Nro de miembro- capa límite				
WSM6	001-MYJ	002-MYJ	003-MYJ	004-SH	005-SH
	006-SH	007-YSU	008-YSU	009-YSU	010-MYJ
LIN	011-MYJ	012-MYJ	013-MYJ	014-SH	015-SH
	016-SH	017-YSU	018-YSU	019-YSU	020-YSU

## 5. REFERENCIAS

Alvarez Imaz, M., F. Cutraro, M.E. Dillon, , M. E., Y. García Skabar, C. Matsudo, M. Sacco y S. Righetti, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Postproceso y almacenamiento de los pronósticos numéricos. Nota Técnica SMN 2020-80.

Benjamín y coautores, 2016: A North American Hourly Assimilation and Model Forecast Cycle: The Rapid Refresh. Monthly weather review, vol 144, pag. 1669-1694. DOI: 10.1175/MWR-D-15-0242.1

de Elía R., M. Gené, V. Sala, P. Loyber, Y. García Skabar, M. Arianna, 2020: Un salto en la potencia de cálculo en el SMN: cómo se adquirió el nuevo HPC. Nota Técnica SMN 2020-67. <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1296>

Dillon, M. E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración de los pronósticos determinísticos. Nota Técnica SMN 2020-78.

García Skabar Y., Matsudo C., Sacco M., Ruiz J.J., Righetti S., 2018: Implementación modelo de pronóstico numérico WRF. Nota Técnica SMN 2018-45. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/631>

Huffman G.J., Bolvin D.T. and Nelkin E.J., 2015: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation. NASA/GSFC Code 612, 47. [https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-10/IMERG\\_doc\\_201006.pdf](https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-10/IMERG_doc_201006.pdf)

Sacco, M. 2018: Bitácora de optimización de WRF en el cluster Rayo. Nota Técnica SMN 2018-47.

## ANEXO 1: Tablas de parametrizaciones-primera etapa 60 configuraciones

Se incluyen en las tablas las siglas que corresponden a cada parametrización, el valor numérico que se asigna en el namelist.input del modelo a las parametrizaciones y los niveles verticales considerados para cada configuración.

A.1			eta_levels Benjamin		eta_levels default		
			Microfísica				
PBL			WSM6 (1-m)	Lin (1-m)	Thompson (2-m)	Morrison (2-m)	SBU (1-m)
	bl_pbl_	sf_sfclay	6	2	8	10	13
YSU	1	1	000	001	002	003	004
MYJ	2	2	005	006	007	008	009
MYNN3	6	5	010	011	012		014
ACM2	7	1				013	
Shin-Hong	11	1	015	016	017	018	019

A.2			Microfísica				
Todos con eta_levels default			WSM6 (1-m)	Lin (1-m)	WDM6 (2-m)	NSSL (2-m)	NSSL (1-m)
PBL							
	bl_pbl_	sf_sfclay	6	2	16	22	19
YSU	1	1	020	021	022	023	024
MYJ	2	2	025	026	027	028	029
MYNN3	6	5	030	031			
ACM2	7	1			032	033	034
Shin-Hong	11	1	035	036	037	038	039

A.4			eta_levels benjamin		eta_levels default	
-----	--	--	---------------------	--	--------------------	--

			Microfísica				
PBL			NSSL (1-m)	WDM6 (2-m)	NSSL (2-m)	NSSL (2-m)	Mildbrant (2-m)
	bl_pbl_	sf_sfclay	19	2	17	17	9
YSU	1	1	<b>060</b>	<b>061</b>	<b>062</b>	<b>063</b>	<b>064</b>
MYJ	2	2	<b>065</b>	<b>066</b>			<b>069</b>
GBM	12	1	<b>067</b>	<b>068</b>			
ACM2	7	1	<b>070</b>	<b>071</b>	<b>072</b>	<b>073</b>	<b>074</b>
Shin-Hong	11	1	<b>075</b>	<b>076</b>			<b>079</b>
Boulac	8	1	<b>077</b>	<b>078</b>			

## ANEXO 2: Tablas de parametrizaciones-segunda etapa 40 configuraciones

A.3	todos con eta_levels default 45 niveles		tope 10 hPa			tope 50 hPa		
			Microfísica					
PBL			WSM6 (1-m)	Lin (1-m)	NSSL (1-m)	WSM6 (1-m)	Lin (1-m)	NSSL (1-m)
	bl_pbl_	sf_sfclay	6	2	19	6	2	19
YSU	1	1	X	X	X	X	X	X
MYJ	2	2	X	X	X	X	X	X
MYNN3	6	5	X			X		
Shin-Hong	11	1	X	X	X	X	X	X

## ANEXO 3: Niveles verticales

Utilizando las siguientes opciones en namelist.input:

&domains

```
e_vert           = 45,
p_top_requested  = 1000,
```

Resultan los siguientes niveles verticales eta:

ZNU =

```
0.9970323, 0.9902915, 0.9817508, 0.9710066, 0.9576101, 0.9410889,
0.9209845, 0.8969076, 0.8686075, 0.8360462, 0.7994573, 0.759369,
0.7165741, 0.6719424, 0.6260139, 0.579064, 0.5314198, 0.4834582,
0.435602, 0.3883129, 0.3420805, 0.2974089, 0.2553992, 0.2179807,
0.1858358, 0.1582213, 0.1344987, 0.1141195, 0.09661235, 0.08157264,
0.06865254, 0.05755335, 0.04801843, 0.03982732, 0.03279064, 0.02674568,
0.02155266, 0.01709153, 0.01325913, 0.00996685, 0.007138568, 0.004708896,
0.002621652, 0.0008285727 ;
```

Dichos niveles representan aproximadamente los siguientes niveles de presión [Pa] (este cálculo se hizo promediando todos los puntos del dominio para un día en particular. Considerar que estos niveles de presión no son fijos):

P+PB =

```
[[97367.31 , 96711.57 , 95882.516 , 94840.72 ,
93542.98 , 91946.914 , 90006.93 , 87689.87 ,
84972.766 , 81856.234 , 78363.375 , 74544.734 ,
70475.42 , 66235.61 , 61873.51 , 57411.652 ,
52876.875 , 48300.547 , 43718.688 , 39171.773 ,
34704.168 , 30362.99 , 26255.738 , 22574.918 ,
19397.828 , 16663.951 , 14315.397 , 12297.845 ,
10564.639 , 9075.704 , 7796.6123, 6697.79 ,
5753.832 , 4942.912 , 4246.2793, 3647.8262,
3133.7173, 2692.0645, 2312.6567, 1986.7202,
1706.7196, 1466.1814, 1259.5438, 1082.0287]],
```

## ANEXO 4: Hoja técnica del ensamble

### Ensamble WRF-GFS sin asimilación de datos

versión experimental febrero 2020

#### ¿Cómo está construido?

El ensamble WRF-GFS tiene 20 miembros que:

- Combinan 2 parametrizaciones de **microfísica** (Qcloud, Qrain, Qice, Qsnow, Qgraupel donde Q es la relación de mezcla) y 3 de **capa límite**.
- La **convección** se resuelve **explícitamente**.
- Condiciones iniciales y de borde a partir de combinar el ensamble GFS\_0.5° y el GFS\_0.25° determinístico. Se calcula la media del ensamble de GFS\_0.5° y la dispersión de cada miembro. Esta dispersión se suma al GFS\_0.25° generando un conjunto de 20 pronósticos horarios del GFS 0.25° perturbados con dicha dispersión.

Versión WRF	4.0
Resolución espacial	4 km (1250x1000 ptos)
Resolución vertical	45 (tope 10 hPa)
Resolución temporal	1 hora
Paso de tiempo	variable
Plazo	48 hs
Ciclos	4 (00Z,06Z,12Z,18Z)

Combinación configuración de los miembros del ensamble					
Microfísica (1-momento)	Nro de miembro - Capa límite				
	WSM6	01-MYJ	02-MYJ	03-MYJ	04-SH
06-SH		07-YSU	08-YSU	09-YSU	10-MYJ
LIN	11-MYJ	12-MYJ	13-MYJ	14-SH	15-SH
	16-SH	17-YSU	18-YSU	19-YSU	20-YSU

\* La configuración física del miembro 01 es la misma de la corrida determinística

#### Ventajas del ensamble WRF-GFS frente al WRF determinístico

- ★ El ensamble permite simular 20 posibles estados futuros de la atmósfera.
- ★ La diversidad de estas parametrizaciones (microfísica y capa límite) permite resolver de distintas maneras los fenómenos de mesoescala.

Se puede cuantificar la incertidumbre del pronóstico a partir de la dispersión de los miembros.  
Conocer la **probabilidad de ocurrencia** de fenómenos.

#### Ventajas del ensamble WRF-GFS frente a los ensambles del GFS y ECMWF

- ★ Mayor resolución espacial ⇒ el ensamble WRF-GFS tiene una resolución horizontal de 4 km mientras que el ensamble GFS es de 0.5° y el ensamble ECMWF es de 0.2°.
- ★ Mayor resolución temporal ⇒ el ensamble WRF-GFS tiene una resolución horaria mientras que el ensamble del GFS es trihoraria. El ensamble ECMWF tiene resolución horaria pero los productos están disponibles cada 6 horas.

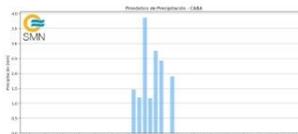
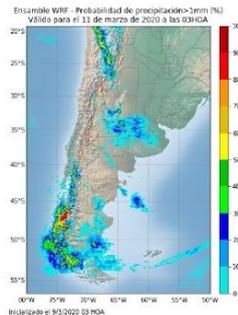
#### Limitaciones

- ★ Disponibilidad ⇒ dependencia de las condiciones iniciales y de borde provenientes del ensamble de GFS.
- ★ Desempeño ⇒ sujeto al desempeño del ensamble de GFS. Por ejemplo, el ensamble WRF-GFS no logrará resolver una situación sinóptica muy distinta a la que pueda resolver el ensamble de GFS. No obstante, el ensamble WRF-GFS, por su resolución, logra ser más independiente en la mesoescala.

#### Productos disponibles a la fecha

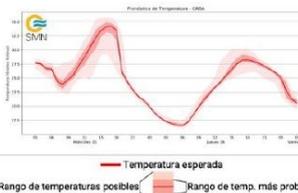
Estimación de probabilidad de ocurrencia de precipitación por encima de determinado umbral

Más info:  
[https://www.smn.gov.ar/sites/default/files/Comentarios\\_Emsable\\_c3horas.pdf](https://www.smn.gov.ar/sites/default/files/Comentarios_Emsable_c3horas.pdf)



#### Histograma de precipitación

**Barra celeste:** máxima precipitación pronosticada por alguno de los miembros  
**Barra azul:** mediana del ensamble



#### Metegram de T2m

**Sombreado claro:** dispersión de los miembros del ensamble  
**Sombreado oscuro:** rango de valores con 50% de probabilidad  
**Línea roja:** mediana

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martín Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).