



Servicio
Meteorológico
Nacional

Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC:

Postproceso y almacenamiento de los pronósticos numéricos

Nota Técnica SMN 2020-80

Milagros Alvarez Imaz¹, Federico Cutraro¹, María Eugenia Dillon^{1,2}, Yanina García Skabar^{1,2}, Cynthia Matsudo¹, Silvina Righetti¹ y Maximiliano Sacco¹

¹Dirección de Productos de Modelación Ambiental y Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.

²Consejo 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. El sistema de pronóstico implementado en el HPC, implica un gran volumen de información que debe ser postprocesado para poder ser utilizado. En la presente nota técnica se describe la metodología de postproceso seleccionada, se mencionan las variables que se generan y la nomenclatura con la que se guardan los diferentes tipos de archivos. Además, se evalúa el tiempo de postproceso y el espacio en disco necesario para ejecutar el sistema de pronóstico y mantener un archivo histórico de la información.

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. The forecasting system implemented at the HPC involves a great volume of data that must be post processed in order to be useful. In this technical note the selected post-processing methodology is described, along with the generated variables and the corresponding files nomenclature. In addition, post processing time and storage space required for both the forecasting system execution and maintenance of a historical dataset are evaluated.

Palabras clave: Determinístico, ensamble, asimilación, WRF, HPC, almacenamiento

Citar como:

Alvarez Imaz, M., F. Cutraro, M.E. Dillon, 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.

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

El sistema de pronóstico numérico genera actualmente un pronóstico determinístico a 72 horas y un pronóstico por ensambles de 20 miembros por un plazo de 48 horas. Ambos sistemas se generan con el modelo Weather Research and Forecasting (WRF), utilizando una configuración según se describió en las Notas Técnicas SMN 78 y 79 (Dillon y otros, 2020 a,b). Además se encuentra en desarrollo un sistema de asimilación de datos que generará análisis horarios.

La salida del sistema de pronóstico numérico consta de distintas variables en los niveles propios del modelo en un archivo de formato NetCDF (Network Common Data Form). Muchos usuarios requieren el pronóstico de variables del modelo en niveles de presión y también variables derivadas que requieren un postprocesamiento. Asimismo es necesario realizar un postproceso para conservar históricamente sólo una parte de las variables, debido a la limitación en el espacio para almacenar las salidas.

Por esos motivos se definió el conjunto de variables sobre las que se realizará un postproceso a niveles de presión y la generación de otras variables derivadas. El objetivo es que estos archivos puedan ser utilizados por las diferentes áreas del SMN para generar los diversos productos y además es la información que se conservará para realizar verificaciones posteriores.

En la presente nota técnica se describen los archivos producidos por los distintos sistemas de análisis y pronósticos propuestos en el HPC del SMN (HM), el espacio en disco que ocupan mientras se encuentran en ejecución operativa y una estimación del espacio necesario para almacenar los datos históricos con el fin de realizar verificaciones a-posteriori de los sistemas.

2. METODOLOGÍA DE POSTPROCESO

Considerando: (1) los desarrollos realizados previamente para el sistema RRA (Dillon y otros, 2019) implementado en RELAMPAGO con el paquete NCL, (2) la decisión de no continuar usando el paquete UPP¹ debido a algunas desventajas encontradas (entre ellas el tiempo que consume), y (3) la necesidad de disponer de la salida del modelo interpolada a niveles de presión; se decidió como primera instancia generar los archivos postprocesados utilizando el NCL, siendo esta una posibilidad viable considerando los tiempos operativos y los recursos de HM (HPC del SMN). A la vez, se desarrollaron nuevos scripts utilizando Python, con el fin de evaluar si era posible generar el postproceso con dicho lenguaje.

Los resultados de las pruebas mostraron que el tiempo de cómputo entre NCL y Python era similar, y con este último se logró escribir archivos más pequeños. Teniendo en cuenta que según nuestro expertise poseemos más herramientas para optimizar el código en Python, y que el NCL no presentará nuevas actualizaciones por sus desarrolladores, **se decidió optar por el lenguaje Python para realizar los postprocesos en HM.**

Un detalle a destacar relacionado a los NetCDF es que son generados siguiendo las NetCDF Climate and Forecast (CF) Metadata Conventions, que definen los metadatos asociados al archivo y a las variables con el objetivo de que sea autodescriptivo. Además, la inclusión de estos metadatos, permiten que los NetCDF generados puedan ser utilizados correctamente por programas que operan sobre este tipo de archivos.

3. NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS

Se decidió adoptar los siguientes nombres para los archivos NetCDF generados por el postproceso:

model.WRF_{\$tipo_de_corrida}_4km.YYYMMDD_hhmmss.fff.{\$descripcion}.nc

Donde

{\$tipo_de_corrida} = Designa con 3 letras a qué corrida del modelo corresponde: ENS (ensamble), DET (determinístico)

YYMMDD_hhmmss = AÑOMESDIA_horaminutosegundo correspondiente a la inicialización de la corrida.

fff = Horas de pronóstico correspondientes al archivo.

{\$descripcion} = Una breve descripción sobre las variables contenidas en los archivos (ver las especificaciones en los próximos puntos)

3.1. Determinístico

Considerando los productos requeridos a partir del modelo determinístico, se plantea generar una salida incluyendo el cálculo de variables derivadas, para facilitar la visualización posterior, y una salida más reducida con el fin de almacenamiento.

En ambos casos, la $\{descripción\}$ será la siguiente:

$\{descripción\} = \{guardado\}\{tipo_de_variables\}$

Donde:

$\{guardado\}$ = Corresponde a la naturaleza del archivo, diferenciando si su existencia será temporal "OPER" o histórica "HIST".

$\{tipo_de_variables\}$ = Tres letras que indica el conjunto de variables que posee el archivo. Se definen inicialmente como "SFC" y "LEV"

Entonces, por ejemplo, el archivo:

model.WRF_DET_4km.20190331_000000.012.OPERSFC.nc

contiene el pronóstico a 12 hs inicializado el 31/03/2019 a las 00 UTC, de las variables operativas de superficie del modelo WRF determinístico.

Las variables de WRF_DET /OPER van a ser las siguientes:

SFC.nc → [PSFC, T2, TD2, Q2, PP, REFL1KM, REFL4KM, MDBZ, MCAPE, CIN, Umet10, Vmet10, Gust10, SLP, SNOWH, SNOWNC, GRAUPELNC, PBLH, TSK, SWDOWN, SWNORM, SWDNB, SWDNBC, UmetS1, VmetS1, UmetS2, VmetS2, UmetS3, VmetS3, LCL, LFC, PW, SRH_1000, SRH_3000, TPE850] y [W] en (/700, 500/)

LEV.nc → [T, Q, GEOPT, Umet, Vmet, QCLOUD, QRAIN, QICE, QSNOW, QGRAUP, CLDFRA,TD] en (/1000,975,950,925,900,850,800,750,700,650,600,550,500,400,300,250,200,150,100/)

Ambos archivos tienen las matrices XLAT(latitud), XLONG(longitud) y LEV(niveles verticales) y las variables x, y y Lambert_Conformal asociadas a la proyección. Las variables se encuentran enmascaradas respecto a la presión de superficie. En el Anexo 1 se detalla que variable representa cada sigla mencionada y la forma en que fue calculada.

Las variables de WRF_DET /HIST van a ser las siguientes:

SFC.nc → [PSFC, T2, Q2, PP, REFL1KM, REFL4KM, MDBZ, MCAPE, CIN, Umet10, Vmet10, SNOWNC, SLP] y [W] en (/700, 500/)

LEV.nc → [T, Q, GEOPT, Umet, Vmet] en (/1000,975,950,925,900,850,800,750,700,650,600,550,500,400,300,250,200,150,100/)

Ambos archivos tienen las matrices de XLAT, XLONG y LEV. Las variables se encuentran enmascaradas respecto a la presión de superficie.

3.2. Ensamble

Dado el volumen de datos que implica tener un ensamble de 20 miembros, se consideran salidas con una menor cantidad de variables. En este caso la $\{descripción\}$ será la siguiente:

$\{descripción\} = M\{miembro\}_{\{guardado\}}\{tipo_de_variables\}$

Donde:

$\{miembro\}$ = Corresponde al número de miembro de ensamble, va de 01 a 20

$\{tipo_de_variables\}$ = Tres letras que indica el conjunto de variables que posee el archivo. Por ahora van a ser "SFC" y "LEV"

Entonces, por ejemplo, el archivo:

model.WRF_ENS_4km.20190331_000000.012.M19_OPERLEV.nc

contiene el pronóstico a 12 hs inicializado el 31/03/2019 a las 00 UTC, de las variables en altura del miembro 19.

Las variables de WRF_ENS/HIST van a ser las mismas que WRF_DET /HIST. Los archivos OPER del ensamble por el momento solo difieren en que se agrega la variable GUST10 con el fin de calcular la probabilidad de ráfagas en tiempo operativo.

3.3. LETKF-WRF análisis por ensamble:

De este sistema se van a generar postprocessing de:

- Análisis medio, $\{tipo_de_corrida\} = AME$
- Todos los miembros del análisis, $\{tipo_de_corrida\} = ANA$
- Spread del análisis al cuadrado, $\{tipo_de_corrida\} = ASP$
- Guess medio, $\{tipo_de_corrida\} = GME$
- Todos los miembros del guess, $\{tipo_de_corrida\} = GUESS$
- Spread del guess al cuadrado, $\{tipo_de_corrida\} = GSP$
- Perfiles verticales del RMSD update (es decir el error cuadrático medio de la diferencia entre la media del análisis y la media del guess), $\{tipo_de_corrida\} = UPD$

Cabe destacar que los archivos ANA y GUESS serán de carácter temporal, mientras que los archivos AME, ASP, GME, GSP y UPD serán almacenados de forma histórica. Para una completa descripción de las variables involucradas en cada archivo referirse Dillon y otros (2020c).

Además se guardará un archivo conteniendo las observaciones asimiladas y las diferencias (Obs-Ana) y (Obs-Guess), y los archivos de observaciones disponibles para asimilar (obsXX.dat con frecuencia 10 minutos). El espacio en disco requerido depende de la cantidad de observaciones asimiladas, lo cual es muy variable. Haciendo una estimación:

	1 h	24 ciclos por día:
obsXX.dat	3 Mb	72 Mb (0.07 Gb) (168 archivos)
obs.dat	2 Mb	48 Mb (0.05 Gb) (24 archivos)

4. TIEMPOS DE PROCESAMIENTO Y ESPACIO EN DISCO

Se propone ir procesando cada archivo de salida del modelo wrfout.nc a medida que éstos se van escribiendo, tanto en el pronóstico determinístico como por ensambles. Tiempo de ejecución aproximado de cada archivo (en 1 procesador):

	WRF_DET / OPER		WRF_ENS / OPER	
	1 h de pronóstico	72 h de pronóstico	1 h de pronóstico	48 h de pronóstico
SFC.nc	80 s.	5760 s.	90 s.	4320 s.
LEV.nc	180 s.	12960 s.	85 s.	4165 s.

En ambos casos se ejecuta solamente el postproceso OPER y luego se utiliza el software NCO (netCDF Operators) para recortar el archivo y así el archivo HIST tiene solo las variables que se desean conservar a más largo plazo. Este último proceso tiene un tiempo de cómputo muy bajo.

Espacio en disco aproximado requerido para cada archivo:

WRF_DET / OPER	1 h de pronóstico	72 h de pronóstico	4 ciclos por día:
SFC.nc	80 Mb	5760 Mb (~5.6 Gb)	22.5 Gb
LEV.nc	330 Mb	23760 Mb (~23.2 Gb)	92.8 Gb

WRF_DET / HIST	1 h de pronóstico	72 h de pronóstico	4 ciclos por día:
SFC.nc	40 Mb	2880 Mb (~2.8 Gb)	11.2 Gb
LEV.nc	260 Mb	18720 Mb (~18.3 Gb)	73.2 Gb

WRF_ENS / HIST	1 h de pronóstico	48 h de pronóstico	20 miembros	4 ciclos por día:
SFC.nc	40 Mb	1920 Mb (~2 Gb)	40 Gb	160 Gb
LEV.nc	260 Mb	12480 Mb (~13 Gb)	260 Gb	1040 Gb

Estos valores implican que por día se debería disponer de 1285 Gb (~ 1.25 Tb) diarios para almacenar todas las horas de pronóstico de los 4 ciclos de los 20 miembros de ensamble y del determinístico. Si bien el /data de HM cuenta con 870 Tb, guardar estos archivos históricos no es el único uso que tendrá este espacio, con lo cual se podría almacenar sólo un año de corridas (~ 456 Tb).

Por ese motivo, se optó por almacenar las salidas LEV del ensamble y del determinístico cada 6 horas, y así reducir el requerimiento de espacio de 1040 Gb diarios a ~183 Gb (260 Mb x 9 horas de pronóstico x 20 miembros x 4 ciclos) en el ensamble y de 73 Gb a ~4Gb en el determinístico. De esta manera por día se debería disponer sólo de ~360 Gb diarios para los archivos históricos, resultando en aproximadamente 130 Tb el espacio correspondiente a un año de corridas históricas. Los detalles completos serán dados en la sección 8.

5. GENERACIÓN DE DATAFRAMES

Para poder ejecutar la calibración, verificación y graficado de diferentes variables en puntos geográficos de interés, se incluyó la generación de estructuras de datos en python llamados dataframes tanto para el modelo determinístico como para el ensamble. Se agrega a la cadena de postproceso la ejecución de un script de python que genera estos dataframes con las variables pronosticadas y observadas necesarias en ambos esquemas. Los dataframes son archivos mucho más pequeños y permiten hacer una lectura y extracción de los valores de las variables en puntos más rápidamente. Actualmente se generan dos tipos de dataframe uno que incluye solo los puntos de la red convencional de estaciones y otro que incluye ciudades de interés pero que no cuentan con observaciones.

Dicho script lee los archivos postprocesados que incluyen solo las variables de superficie (model.WRF_{\$tipo_de_corrida}_4km.YYYYMMDD_hhmmss.fff.OPERSFC.nc) y toma los pronósticos de las siguientes variables T2, TD2, Umet10, Vmet10, PP, PSFC y Gust10 en forma

horaria para las 72hs de plazo para las estaciones de superficie del SMN y otras ciudades de interés (considerando el punto de retícula más cercano a dicha ubicación). Estos dataframes se nombran como $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{estaciones.h5}}$ y $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{ciudades.h5}}$. Los dataframes además de incluir los datos de las variables pronosticadas cuentan con los datos observados de T2, TD2 y la magnitud del viento y también con las variables calibradas. Una descripción de la metodología de calibración se presenta en la Nota Técnica SMN 81(Cutraro y otros, 2020).

Además de los dataframes con información horaria, se generan dataframes con valores diarios de temperatura máxima y mínima, pronosticada, observada y calibrada. Estos dataframes se nombran como $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{estaciones_minmax.h5}}$ y $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{ciudades_minmax.h5}}$.

Por último, se generan dataframes con los pronósticos de la fracción nubosa (CLDFRA) en los niveles verticales que se guardan bajo el formato $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{estaciones_lev.h5}}$ y $\{\text{YYYYMMDD_hhmmss}\}_{\text{ciudades_lev.h5}}$.

Estos dataframes se generan en forma operativa con cada corrida del postproceso y quedan almacenados.

6. CONSIDERACIONES SOBRE EL CÁLCULO DE VARIABLES DERIVADAS

6.1. Ráfagas de viento cerca de superficie

Las ráfagas de viento (GW) deben ser calculadas ya que no son un producto del modelo y es una variable de interés para diferentes usuarios. Existen varias parametrizaciones que calculan GW, siendo uno de los métodos más utilizados el que considera la energía cinética turbulenta en la capa límite (TKE_PBL). Sin embargo, la variable TKE_PBL no es una variable de salida de todas las parametrizaciones de la capa límite planetaria (PBL). En las parametrizaciones de PBL Mellor-Yamada Janjic (MYJ), que es utilizada actualmente para el pronóstico determinístico, y Shin-Hong Scale-aware Scheme (SH), unas de las parametrizaciones consideradas para el pronóstico por ensamble, sí es posible tener como variable de salida TKE_PBL. No obstante, para la parametrización Yonsei University Scheme (YSU), que es utilizada en el pronóstico por ensamble, la variable TKE_PBL no se encuentra disponible por lo que se debe considerar otro método para calcular GW.

Para el caso donde TKE_PBL es variable de salida del modelo WRF, se calculan las ráfagas de viento según el método que se encuentra descrito en la ecuación 1 del trabajo de Kurbatova y otros. (2018):

$$GW = U + 3 \sqrt{q},$$

donde U es el módulo de la velocidad del viento a 10 metros y q es TKE_PBL. Este método lo denominaremos GW_TKE.

Para los casos donde no se encuentra disponible TKE_PBL, se utiliza la velocidad de fricción ($U_{fricción}$) que es una variable de salida para la parametrización YSU. Este método se presenta en la ecuación 3 de Born y otros (2012):

$$GW = |V_{30m}| + 3.0 * 2.4 * U_{fricción}$$

donde V_{30m} es la magnitud del viento a 30 m. Este método lo denominaremos GW_Ufric

7. REQUERIMIENTOS DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO PARA EJECUTAR EL SISTEMA DE PRONÓSTICO

Para poder ejecutar diariamente los sistemas propuestos hasta el momento (WRF_DET, WRF_VAAC, WRF_ENS, LETKF-WRF), es necesario contar con un determinado espacio libre en el disco para contener toda la información requerida. A continuación se presenta una estimación del espacio necesario para ejecutar 1 ciclo, en función de los experimentos realizados. Cabe destacar que la mayor incertidumbre reside en el sistema LETKF-WRF ya que todavía se encuentra en estado de desarrollo. Tampoco se consideran en esta instancia el archivo histórico completo de las figuras generadas por el sistema.

Los recuadros sombreados indican que o bien el sistema no requiere de los archivos o bien el archivo es requerido por más de un sistema, con lo cual se cuenta una sola vez (ej. el WRF_ENS necesita el GFS pero ya está contabilizado por WRF_DET). Todos los valores son aproximados.

Espacio para 1 ciclo	Sistemas			
	WRF_DET	WRF_VAAC	WRF_ENS	LETKF-WRF
GFS	6.7 Gb			
GEFS			19 Gb	
met_em.nc originales	37 Gb		459 Gb	
met_em.nc perturbados			1.5 Tb	
WRFOUT	363 Gb	207 Gb	4.8 Tb	1.4 Tb
POST operativo	29 Gb			5.4 Gb

POST histórico	6 Gb		84 Gb	330 Mb
PLOT operativo			61 Mb	20 Mb
Observaciones originales				1 Gb
Observaciones procesadas				3 Mb
First Guess				200 Gb
Análisis				203 Gb
TOTAL	442 Gb	232 Gb	7 Tb	2 Tb

Considerando que:

- para los sistemas WRF_DET, WRF_VAAC y WRF_ENS se ejecutan 4 ciclos diarios, y que para el sistema LETKF-WRF se ejecutan 24 ciclos diarios;
- es deseable mantener los datos por 48 horas por cualquier imprevisto;
- se ejecuta un script de “limpieza” una vez por día;

el espacio requerido para mantener siempre 72 horas de datos es:

Sistemas	24 horas	72 horas
WRF_DET	1768 Gb	5304 Gb (~5.2 Tb)
WRF_VAAC	928 Gb	2784 Gb (~2.7 Tb)
WRF_ENS	28 Tb	84 Tb
LETKF-WRF	48 Tb	144 Tb
TOTAL	79 Tb	237 Tb

8. REQUERIMIENTO DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO HISTÓRICO DEL SISTEMA DE PRONÓSTICO

En cada una de las tablas se realiza una estimación del almacenamiento histórico del determinístico, el ensamble y el sistema de análisis. Se propone también almacenar los GFS y GEFS utilizados como condiciones iniciales y de borde para WRF_DET y WRF_ENS, con el fin de poder reprocesar los sistemas regionales. Por otro lado, no se hace mención del determinístico para VAAC ya que no se almacenará ningún archivo en forma histórica.

WRF determinístico 4km			
WRF_DET / HIST	1 h de pronóstico	72 h de pronóstico	4 ciclos por día:
SFC.nc	40 Mb	2920 Mb (~2.85 Gb) (Frecuencia 1h) (73 archivos)	11.4 Gb (292 archivos)
LEV.nc	260 Mb	3380 Mb (~3.3 Gb) (Frecuencia 6h) (13 archivos)	13.2 Gb (52 archivos)

WRF pronóstico por ensamble 4km				
WRF_ENS/HIST	1 h de pronóstico	48 h de pronóstico	20 miembros	4 ciclos por día:
SFC.nc	40 Mb	1960 Mb (~1.9 Gb) (Frecuencia 1h) (49 archivos)	38.3 Gb	155 Gb (196 archivos)
LEV.nc	260 Mb	2340 Mb (~2.3 Gb) (Frecuencia 6h) (9 archivos)	45.7 Gb	183 Gb (36 archivos)

LETKF-WRF			
	1 h	5 tipos de arch (AME, ASP, GME, GSP, UPD)	24 ciclos por día:
SFC.nc	35 Mb	140 Mb (Frecuencia 1h)	3360 Mb (3.3 Gb) (96 archivos)
LEV.nc	50 Mb	200 Mb (Frecuencia 1h)	4800 Mb (4.7 Gb) (96 archivos)

GFS/GEFS			
	1 h de pronóstico	Todos los plazos de pronóstico	4 ciclos por día:
GFS 0.25°	100 Mb	7300 Mb (~7.1 Gb) (72 h, frec 1h) (73 archivos)	28.5 Gb (292 archivos)
GEFS 0.5° (20 miembros)	1200 Mb (60 Mb x miembro)	25200 Mb (~24.6 Gb) (60 h, frec 3h) (420 archivos)	98.4 Gb (1680 archivos)

8.1. Almacenamiento total requerido para todos los sistemas

A continuación se presenta una estimación del espacio requerido por día, por mes y por año para almacenar en forma histórica los datos de cada sistema que se ejecutará de manera operativa en HM:

Sistemas	1 día	30 días	365 días
GFS/GEFS	127 Gb	3810 Gb	46355 Gb (45.3 Tb)
WRF_DET	25 Gb	750 Gb	9125 Gb (9 Tb)
WRF_ENS	340 Gb	10200 Gb	124100 Gb (121 Tb)
LETKF-WRF	8 Gb	240 Gb	2920 Gb (2.8 Tb)
TOTAL	498 Gb	14928 Gb (14.6 Tb)	178 Tb

9. REFERENCIAS

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., P. Corrales, P. Maldonado, Y. García Skabar, J. Ruiz, M. Sacco, F. Cutraro, L. Mingari, C. Matsudo, P. Hobouchian, L. Vidal, M. Rugna, P. Salio, S. Nesbitt, E. Kalnay, T. Miyoshi, 2019: A Rapid Refresh ensemble based Data Assimilation and Forecast system (RRA) for the RELAMPAGO field campaign in Argentina. RELAMPAGO-CACTI, Data Analysis Workshop. <https://drive.google.com/open?id=1tuOO81XYJWdHuJTIEh5xwBw3vSRY2Ehp>

Cutraro, F., S. Righetti, Y. García Skabar y M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Calibración de temperaturas pronosticadas. Nota Técnica SMN 2020-81.

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

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

Dillon, M. E., P. Maldonado, F. Cutraro, Y. García Skabar y M. Sacco, 2020c: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Características del sistema de asimilación de datos LETKF-WRF. Nota Técnica SMN 2020-82.

Kai Born, Patrick Ludwig & Joaquim G. Pinto ,2012: Wind gust estimation for Mid-European winter storms: towards a probabilistic view, Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 64:1, DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.17471

Kurbatova, Maria & Rubinstein, Konstantin & Gubenko, Inna & Kurbatov, Grigory,2018: Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia. Advances in Science and Research. 15. 251-255. 10.5194/asr-15-251-2018.

ANEXO 1: Significado de los nombres de las variables

Nombre	Significado	Unidades	Comentarios
PSFC	Presión de superficie	hPa	Extraído del wrfout
T2	Temperatura a 2 m	K	Extraído del wrfout
Q2	Humedad específica a 2 m	g Kg-1	Extraído del wrfout
PP	Precipitación acumulada	mm	Extraído del wrfout
REFL1KM	Reflectividad a 1 km	dBZ	Calculado e interpolado por wrf-python
REFL4KM	Reflectividad a 4 km	dBZ	Calculado e interpolado por wrf-python
MDBZ	Reflectividad máxima de la columna	dBZ	Calculado por wrf-python
MCAPE	Máximo CAPE	J Kg-1	Calculado por wrf-python
CIN	Máximo CIN	J Kg-1	Calculado por wrf-python
Umet10	U meteorológico a 10 m	m s-1	Calculado por wrf-python
Vmet10	V meteorológico a 10 m	m s-1	Calculado por wrf-python
SNOWNC	Nieve y hielo acumulado	mm	Extraído del wrfout
SLP	Presión a nivel del mar	hPa	Calculado por wrf-python
W	Velocidad vertical	m s-1	Calculado e interpolado por wrf-python
T	Temperatura	K	Calculado e interpolado por wrf-python
Q	Humedad específica	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
GEOPT	Altura geopotencial	m ² s-2	Calculado e interpolado por wrf-python
Umet	U meteorológico	m s-1	Calculado e interpolado por wrf-python
Vmet	V meteorológico	m s-1	Calculado e interpolado por wrf-python

QCLOUD	Relación de mezcla de agua de nube	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
QRAIN	Relación de mezcla de agua de lluvia	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
QICE	Relación de mezcla de hielo	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
QSNOW	Relación de mezcla de nieve	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
QGRAUP	Relación de mezcla de graupel	g Kg-1	Calculado e interpolado por wrf-python
CLDFRA	Fracción de nubosidad	-	Extraído del wrfout, interpolado por wrf-python
GRAUPELNC	Graupel acumulado	mm	Extraído del wrfout
PBLH	Altura de la Capa Límite Planetaria	m	Extraído del wrfout
TSK	Temperatura de superficie (skin)	K	Extraído del wrfout
SWDOWN	Flujo de onda corta hacia abajo (downward) en la superficie terrestre	W m-2	Extraído del wrfout. Para energía solar
SWNORM	Flujo de onda corta normal a la superficie terrestre	W m-2	Extraído del wrfout. Para energía solar
SWDNB	Flujo de onda corta hacia abajo (downward) instantáneo bottom	W m-2	Extraído del wrfout. Para energía solar
SWDNBC	Flujo de onda corta hacia abajo (downward) instantáneo bottom en cielo claro	W m-2	Extraído del wrfout. Para energía solar
UmetS1	U meteorológico en nivel sigma 1	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica
VmetS1	V meteorológico en nivel sigma 1	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica
UmetS2	U meteorológico en nivel sigma 2	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica
VmetS2	V meteorológico en nivel sigma 2	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica
UmetS3	U meteorológico en nivel sigma 3	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica

VmetS3	V meteorológico en nivel sigma 3	m s-1	Extraído del wrfout. Para energía eólica
LCL	Nivel de Condensación por ascenso	m	Calculado por wrf-python
LFC	Nivel de Libre Convección	m	Calculado por wrf-python
PW	Agua precipitable	Kg m-2	Calculado por wrf-python
TD	Temperatura de rocío	K	Calculado e interpolado por wrf-python
GUST10	Ráfagas a 10 m	m s-1	Depende de la parametrización de PBL
SRH_1000	Helicidad relativa a la tormenta integrada de 0-1000m	m2 s-2	Calculada por wrf-python
SRH_3000	Helicidad relativa a la tormenta integrada de 0-3000m	m2 s-2	Calculada por wrf-python
TPE_850	Temperatura potencial equivalente en 850hPa	K	Calculado e interpolado por wrf-python

Documentación de las librerías de wrf en python:

https://wrf-python.readthedocs.io/en/latest/user_api/generated/wrf.getvar.html

<https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/wrf-python/1.0a3/wrf-python.pdf>

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), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (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).