



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC:

## Configuración de los pronósticos determinísticos

Nota Técnica SMN 2020-78

**María Eugenia Dillon<sup>1,2</sup>, Cynthia Matsudo<sup>1</sup>, Yanina García Skabar<sup>1,2</sup> y Maximiliano Sacco<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 definir la configuración del esquema determinístico y la posibilidad de incluir la ejecución de más de un pronóstico determinístico contemplando diferentes dominios, resoluciones y plazos de pronóstico, según las necesidades de distintos usuarios. Se describen los experimentos numéricos realizados y los resultados alcanzados. Finalmente se detalla la configuración definida para el modelo determinístico de pronóstico a ejecutarse operativamente en Huayra Muyu (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 this technical note both the model configuration and its impact in the processing time are analyzed with the aim of defining a deterministic configuration taking into account the possibility of including various deterministic executions considering different resolutions, domains and forecast times, according to distinct user needs. The numerical experiments are described along with their results, concluding with the defined configuration to be run as the forecast deterministic model operatively in Huayra Muyu (HM).

**Palabras clave:** pronóstico determinístico, WRF, HPC, configuración

## Citar como:

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.

## 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, donde se deben tomar compromisos para obtener la calidad del pronóstico deseada 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).

Se testean diferentes opciones para definir la configuración del pronóstico determinístico, con el objetivo de obtener un pronóstico a 72 horas similar al generado actualmente en forma operativa, en un plazo que no supere una hora de tiempo de cómputo en HM. Además se evalúa la posibilidad de generar en simultáneo, utilizando los nodos libres del HPC, otros pronósticos determinísticos que cubran los requerimientos en cuanto a dominio, resolución y plazo para el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC, por sus siglas en inglés), el pronóstico marítimo, el pronóstico de olas y agrometeorología. Se realizan todas las pruebas para estimar los tiempos de cómputo usando como condición inicial y de borde los análisis y pronósticos del Global Forecast System (GFS) producido por el National Center of Environmental Prediction (NCEP), siempre correspondientes al mismo día, 15 de marzo de 2019. En la primera sección se analizan diferentes dominios, luego se evalúan los tiempos de cómputo de preprocesamiento y procesamiento del modelo y finalmente se presentan las conclusiones.

## 2. DOMINIOS

Se consideran 6 dominios diferentes cuyas características se presentan en la tabla I. Todos consideran la misma configuración física que el pronóstico determinístico actualmente operativo, a excepción de la parametrización de la radiación en la que se utiliza una parametrización más

compleja. Además se aumenta la cantidad de niveles verticales de 38 a 45. En el anexo 1 se pueden ver los mapas correspondientes a los distintos dominios.

El VAAC requiere un dominio más extenso (en longitud y latitud) que el operativo actual (DET1) y que el dominio marítimo (MAR). Dado que en el caso VAAC el objetivo es usar el pronóstico del WRF para inicializar y dar condiciones de borde al modelo FALL3D, en lugar de utilizar el GFS de 0.25° como se hace en la actualidad, si se utiliza una resolución de 10 km para el WRF representaría una mejora.

**Tabla I.** Características de los diferentes dominios evaluados, incluyendo parámetros propios de la configuración del WRF.

DOMINIO	Resolución / Área contenida	Parámetros WPS/input	Observaciones
<b>DET1</b>	4 km -80 a -50 °W -15 a -56 °S tope 10 hPa	e_we=1000 e_sn=1250 ref_lat=-35 ref_lon=-65	Plazo 72h, cada 1h. Configuración física similar al determinístico actual, pero con 45 niveles.
<b>VAAC</b>	10 km -90 a -10 °W -10 a -60 °S tope 10 hPa	e_we=1000 e_sn=900 ref_lat=-35 ref_lon=-50	Plazo 48h, cada 1 h. Este dominio sirve también para el pronóstico marítimo y el modelo de olas.
<b>MAR</b>	4 km -80 a -20 °W -22 a -60 °S tope 10 hPa	e_we=1900 e_sn=1700 ref_lat=-38 ref_lon=-50	Plazo 48h, cada 1h. El dominio no alcanza para la VAAC, sí para el modelo de olas.
<b>VAACMAR</b>	4 km -90 a -10 °W -10 a -60 °S tope 10 hPa	e_we=2600 e_sn=2600 ref_lat=-35 ref_lon=-50	Plazo 48h, cada 1h. Sirve para VAAC, el pronóstico marítimo y el modelo de olas.
<b>AGRO1</b>	4 km -25 a -43 °S -66 a -55 °W tope 10 hPa	e_we=600 e_sn=600 ref_lat=-34 ref_lon=-60	Plazo 7 días. Sólo el ciclo 00Z (se necesitan pronósticos de GFS a 168h)
<b>AGRO2</b>	2 km -25 a -43 °S -66 a -55 °W tope 10 hPa	e_we=1200 e_sn=1200 ref_lat=-34 ref_lon=-60	Plazo 7 días. Sólo el ciclo 00Z (se necesitan pronósticos de GFS a 168h)

El dominio MAR, que se requiere para el pronóstico marítimo y el modelo de olas, si bien es más pequeño que el dominio VAAC, su resolución debería alcanzar los 4 km con el fin de representar una mejora significativa respecto a la información con la que cuentan actualmente. El dominio MAR es igualmente más extenso que el DET1. En el caso del modelo de olas se utilizan las variables de superficie que actualmente se obtienen del GFS en su retícula nativa en una resolución aproximada de 13 km.

Como una solución alternativa y para cumplir con los requerimientos de VAAC y MAR en forma conjunta, se plantea el dominio VAACMAR que cubre tanto el dominio VAAC como el MAR y cuenta con una resolución de 4 km, mejorando así la opción para VAAC.

Por otro lado, se considera la necesidad del área de agrometeorología que requiere un pronóstico solamente para la región pampeana pero por un plazo mayor, alcanzando los 7 días de pronóstico, y una resolución entre 4 y 2 km. Este pronóstico sólo debería generarse una vez al día. Por ese motivo se testean AGRO1 y AGRO2.

### 3. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN DE PREPROCESO EL MODELO

Se realizaron diferentes experimentos para disminuir el tiempo de cómputo del preproceso, en particular del proceso `real.exe`. En un principio, no se había logrado paralelizar de manera eficiente el proceso: las ejecuciones más rápidas se obtenían ejecutando en un solo nodo y con un solo procesador. De esa forma los tiempos rondaban los 25 minutos para el caso DET1.

Estos tiempos resultaban excesivos y en el caso de los dominios más grandes como VAACMAR era absolutamente inviable de procesar. Analizando los archivos de error, se identificó que el problema era de input/output, en la lectura de los archivos generados en el paso previo (`metgrid.exe`). Existe una forma de mejorar el tiempo de lectura de los archivos `met_em.nc` generados en el `metgrid.exe` que consiste en dividir ese archivo en tantas partes como procesos se deseen ejecutar en el `real.exe`. Para que esto funcione, esa misma metodología se debe realizar en el `geogrid.exe` (formato de archivo "102" en la variable "io\_form\_auxinput1"). Es decir que se deben ejecutar los tres componentes del preproceso (`geogrid.exe`, `metgrid.exe` y `real.exe`) con la misma cantidad de procesos. Estos determinarán en cuántos archivos se divide el archivo `geo_em.d01.nc` (producido por `geogrid.exe`) que contiene las características de la condición de borde inferior y los `met_em.nc` (producidos por `metgrid.exe`), que contienen la información de las variables atmosféricas que serán utilizadas como condición inicial y de borde.

En la tabla II se presentan los resultados de la evaluación de la cantidad de procesos a utilizar mediante dicha metodología. Se encontró que usar muchos procesadores disminuye los tiempos de lectura pero aumenta los de escritura generando una mala performance general. Mientras que

con la ejecución de 32 procesos en un solo nodo se obtienen bajos tiempos de lectura, escritura y procesamiento.

**Tabla II.** Balance de los procesos en la ejecución del *real.exe*

Nro de procesos	Nro de nodos	Tiempo por hora de pronóstico (seg)	Tiempo para 72hs de pronóstico (seg)
192	6	49	3528
32	1	1	72

#### 4. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN DEL PRONÓSTICO NUMÉRICO

La prioridad es generar el pronóstico del dominio DET1 en el menor plazo posible y luego utilizar el tiempo de la hora de cómputo disponible para intercalar la ejecución del resto de los dominios en los nodos libres. Se evalúa la ejecución del dominio DET1 en 30, 60 y 120 nodos de cómputo. En la tabla III se muestran los resultados obtenidos variando la configuración de distribución de procesos. Se utiliza para las pruebas la versión 4.0 del modelo WRF compilada con el *compilador Intel 19*, usando librerías dinámicas e incluyendo optimizaciones, según los resultados presentados en la Nota Técnica SMN 2020-79(Dillon y otros, 2020).

**Tabla III.** Pruebas de tiempos de ejecución del *wrf.exe* para DET1.

Nodos	Procesadores	MPI grid	Numtiles	I/O quilting (grupo,proc)	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
30	960	25*38	1	(1,10)	2316	38,6
60	1920	23*83	1	(1,11)	1732	28,8
60	1920	36*53	1	(2,6)	1474	24,5
60	1920	36*53	4	(3,4)	1538	25,6
<b>60</b>	<b>1920</b>	<b>36*53</b>	<b>2</b>	<b>(2,6)</b>	<b>1374</b>	<b>22,9</b>
60	1920	36*53	1	(3,4)	1768	29,4
90	2880	53*54	1	(3,6)	1241	20,6
90	2880	53*54	4	(3,6)	2337	38,9
90	2880	53*54	1	(2,9)	1437	23,9
120	3840	53*72	1	(4,6)		Desestimada, excesivo tiempo de escritura

Considerando el uso de 60 nodos para la ejecución del wrf.exe para DET1, el mejor tiempo que se obtuvo fue de 23 minutos aproximadamente para generar un pronóstico a 72 horas. En ese caso, los restantes 60 nodos pueden ser usados para otro dominio determinístico de los mencionados en la tabla I. En la tabla IV se muestran los resultados para la ejecución de VAAC y en la tabla V se incluyen los resultados para el dominio AGRO1.

**Tabla IV.** Pruebas de tiempos de ejecución del wrf.exe para VAAC.

Nodos	Procesa- dores	MPI grid	Numtiles	I/O quilting (grupo,proc)	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
30	960	18*53	1	(1,6)	925	15,4
60	1920	36*53	1	(2,6)	693	11,5
90	2880	53*54	1	(3,6)	581	9,6

**Tabla V.** Pruebas de tiempos de ejecución del wrf.exe para AGRO1.

Nodos	Procesa- dores	MPI grid	Numtiles	I/O quilting (grupo,proc)	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
30	960	25*38	1	(1,10)	2039	33,98
5	160	12*13	1	(1,4)	7177	119,62

## 4. CONCLUSIONES

A partir de las pruebas realizadas se confirma que en el plazo de 1 hora de cómputo se podrían ejecutar tanto la configuración DET1 como VAAC, 4 veces al día, utilizando 60 nodos para cada uno de los pronósticos. Por otro lado, una vez al día, a las 00UTC se podría ejecutar VAAC y AGRO1 en 30 nodos cada pronóstico. Resta aún seguir realizando tests para considerar el tiempo de postproceso del dominio DET1 y ajustar el tiempo de preprocesamiento.

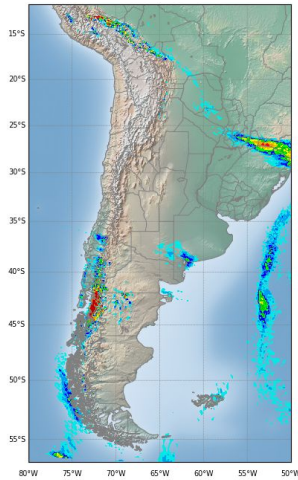
Una vez definidos completamente estas tres versiones, considerando los avances obtenidos en cuanto a los tiempos del preprocesamiento, se podría evaluar nuevamente la inclusión de los dominios VAACMAR y AGRO2 que fueron descartados inicialmente dado que la ejecución del preproceso era inviable.

Se definió una configuración inicial para el pronóstico determinístico DET1 Y VAAC, cuyos detalles se indican en las tablas VI y VII, respectivamente. Actualmente se encuentra operativo solamente el determinístico DET1. Se incluye en el anexo 2 el archivo de configuración del pronóstico (namelist.input).

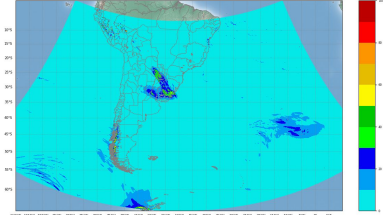


Es importante destacar que en el caso de VAAC, este pronóstico se utilizará para inicializar el modelo de dispersión de cenizas FALL3D y no requiere un postproceso. Asimismo se quiere resaltar que el determinístico de VAAC será de utilidad para un gran área del pronóstico marítimo, y podría ser usado para el modelo de olas ya que la resolución es mayor a la del GFS.

**Tabla VI:** Características de pronóstico determinístico. (\*) 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 la Nota Técnica SMN 2020-80 (Alvarez Imaz y otros, 2020).

Determinístico				
Configuración física	Dominio	Configuración de cómputo		
Ciclos: 00, 06, 12 y 18 UTC Condición inicial: GFS, res 0.25° Condición de borde: GFS horarios, res 0.25° Plazo: 72 horas Resolución horizontal : 4km Niveles verticales: 45, tope 10 hPa Convección: resuelta explícitamente Parametrizaciones: Capa Límite: Mellor-Yamada-Janjic Microfísica: WSM6 Paso de tiempo: variable		Proceso	Nodos utilizados	tiempo aproximado en minutos
		WPS	1	9
		REAL	1	3
		WRF	60	26
		POST	1 (*)	26
		TOTAL		38

**Tabla VII:** Características de pronóstico determinístico VAAC.

VAAC				
Configuración física	Dominio	Configuración de cómputo		
Ciclos: 00, 06, 12 y 18 UTC Condición inicial: GFS, res 0.25° Condición de borde: GFS horarios, res 0.25° Plazo: 48 horas Resolución horizontal : 8km Niveles verticales: 45, tope 10 hPa Convección: resuelta explícitamente Parametrizaciones: Capa Límite: Mellor-Yamada-Janjic Microfísica: WSM6 Paso de tiempo: variable		Proceso	Nodos utilizados	tiempo aproximado en minutos
		WPS	1	5
		REAL	1	2
		WRF	60	21
		TOTAL		28

## 5. REFERENCIAS

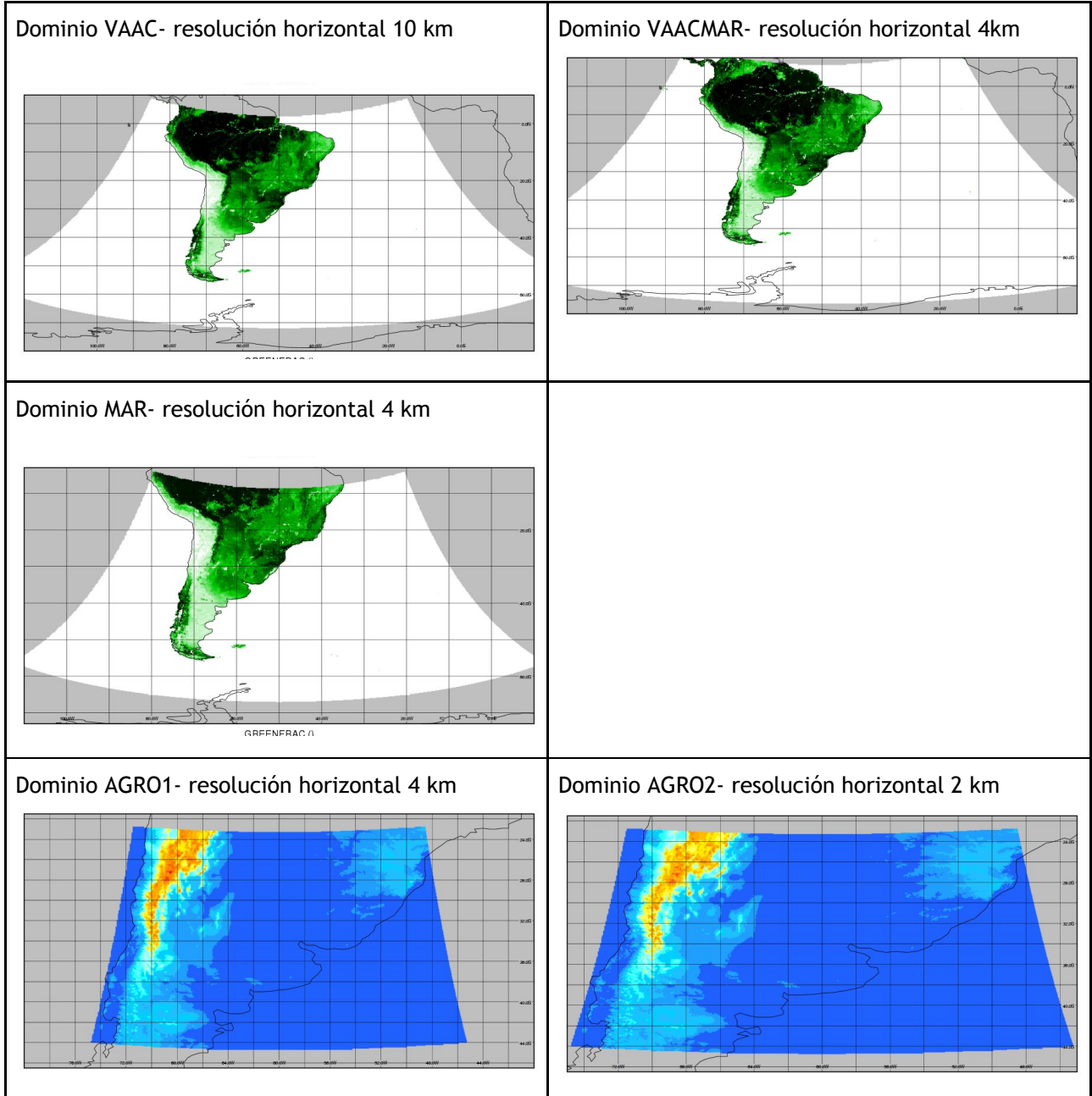
Alvarez Imaz, M., F. Cutraro, M.E. Dillon, M. E., Y. García Skabar, C. Matsudo, M. Sacco y S. Righetti, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Postproceso y almacenamiento de los pronósticos numéricos. Nota Técnica SMN 2020-80.

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., 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.

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>

## ANEXO 1: Dominios



## ANEXO 2: Namelist.input de modelo WRF para el DET1

```

&time_control
run_days           = 00,
run_hours          = 72,
run_minutes        = 00,
run_seconds        = 00,
start_year         = 2019,
start_month        = 10,
start_day          = 10,
start_hour         = 00,
start_minute       = 00,
start_second       = 00,
end_year           = 2019,
end_month          = 10,
end_day            = 13,
end_hour           = 00,
end_minute         = 00,
end_second         = 00,
interval_seconds   = 3600
input_from_file    = .true.,
history_interval   = 60,
frames_per_outfile = 1, 1000, 1000,
restart            = .false.,
restart_interval   = 5000,
io_form_history    = 11
io_form_restart    = 11
io_form_input      = 11
io_form_auxinput1  = 102,
io_form_boundary   = 11,
history_outname    = "./WRFOUT/wrfout_d<domain>_<date>",
debug_level        = 1
iofields_filename  = "SIHvigila_d01.txt"
ignore_iofields_warning = .true.,
auxhist1_outname   = "./SIHVIGILA/SIHpp_<date>"
auxhist1_interval  = 10
frames_per_auxhist1 = 6
io_form_auxhist1   = 11
/
&domains
numtiles           = 1,
nproc_x            = 36,
nproc_y            = 53,
use_adaptive_time_step = .true.
step_to_output_time = .true.
target_cfl         = 1.2
max_step_increase_pct = 5

```

```

starting_time_step      = 20
max_time_step          = 50
min_time_step          = 10
smooth_cg_topo         = .false.
time_step              = 24,
time_step_fract_num    = 0,
time_step_fract_den    = 1,
max_dom                = 1,
e_we                  = 1000,
e_sn                  = 1250,
e_vert                = 45,
p_top_requested        = 1000,
num_metgrid_levels    = 27,
num_metgrid_soil_levels = 4,
dx                    = 4000,
dy                    = 4000,
grid_id               = 1,
parent_id              = 0,
i_parent_start        = 1,
j_parent_start        = 1,
parent_grid_ratio      = 1,
parent_time_step_ratio = 1,
feedback              = 0,
smooth_option         = 0
/

&physics
mp_physics            = 6,
bl_pbl_physics        = 2,
sf_sfclay_physics    = 2,
ra_lw_physics         = 4,
ra_sw_physics         = 4,
radt                  = 10,
sf_surface_physics    = 4,
bldt                  = 0,
cu_physics            = 0,
cudt                  = 5,
isfflx                = 1,
ifsnow                = 1,
icloud                = 1,
surface_input_source  = 1,
num_soil_layers       = 4,
sf_urban_physics      = 0,
prec_acc_dt           = 60,
/

&fdda
/

```

```

&dynamics
w_damping           = 0,
diff_opt            = 1,
km_opt              = 4,
diff_6th_opt        = 0,
diff_6th_slopeopt   = 1,
diff_6th_thresh     = 0.10,
diff_6th_factor     = 0.12,
base_temp           = 290.,
damp_opt            = 3,
zdamp               = 5000.,
dampcoef            = 0.2,
khdif               = 0,
kvdif               = 0,
non_hydrostatic     = .true.,
moist_adv_opt       = 1,
scalar_adv_opt      = 1,
h_mom_adv_order     = 5,
v_mom_adv_order     = 3,
h_sca_adv_order     = 5,
v_sca_adv_order     = 3,
/
&bdy_control
spec_bdy_width      = 5,
spec_zone           = 1,
relax_zone          = 4,
specified           = .true., .false., .false.,
nested              = .false., .true., .true.,
/
&grib2
/

&namelist_quilt
nio_tasks_per_group = 6,
nio_groups = 2,
/

```

## 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 Martin 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)).