

Mejoras en los pronósticos probabilísticos usando redes neuronales artificiales

Maximiliano A. Sacco¹, Juan Jose Ruiz^{2,3} y Manuel Pulido^{4,5}

1 Servicio Meteorológico Nacional Argentino

2 Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEyN - UBA

3 Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (UBA-CONICET)

4 UMI-IFAECI (CNRS-UBA-CONICET)

5 Departamento de Física - FACENA-UNNE

Pronósticos Probabilísticos

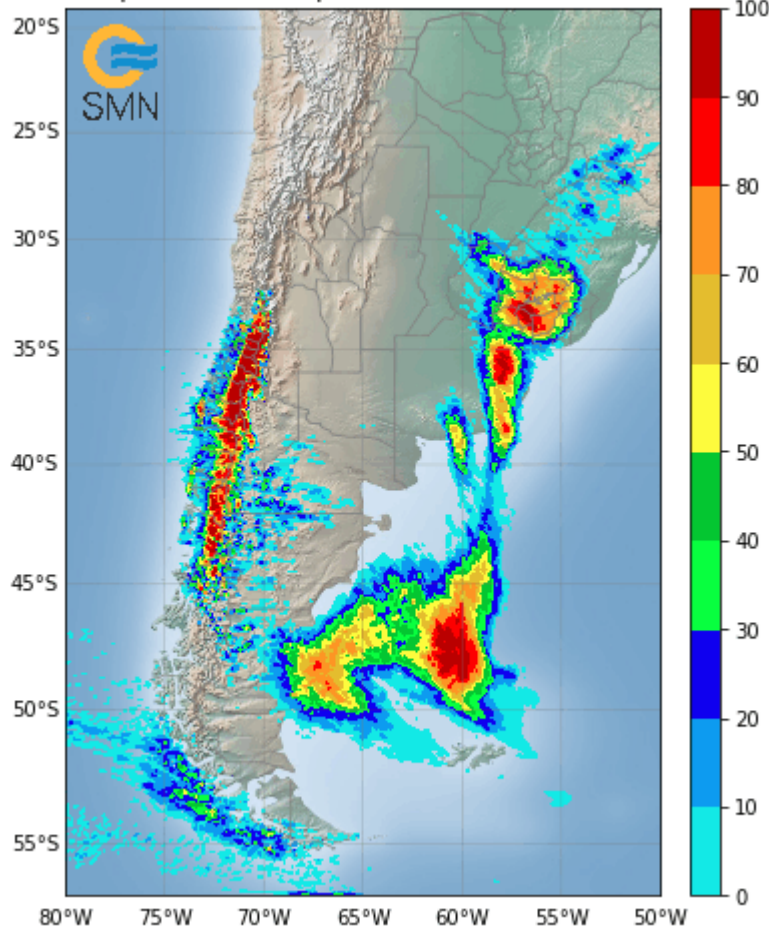
Los pronósticos probabilísticos cuantifican el nivel de incertidumbre asociado a la ocurrencia de un evento determinado.

Los pronósticos probabilísticos son una herramienta fundamental de apoyo a la toma de decisiones.

Permiten al usuario ajustar sus decisiones. Frente a un mismo pronóstico, por ejemplo 20% de probabilidad de mal tiempo, para algunos alcanzara para suspender un evento al aire libre y para otro no.

2

Ensamble WRF - Probabilidad de precipitación (%) >1mm
Válido para el 19 de septiembre de 2024 a las 15HOA



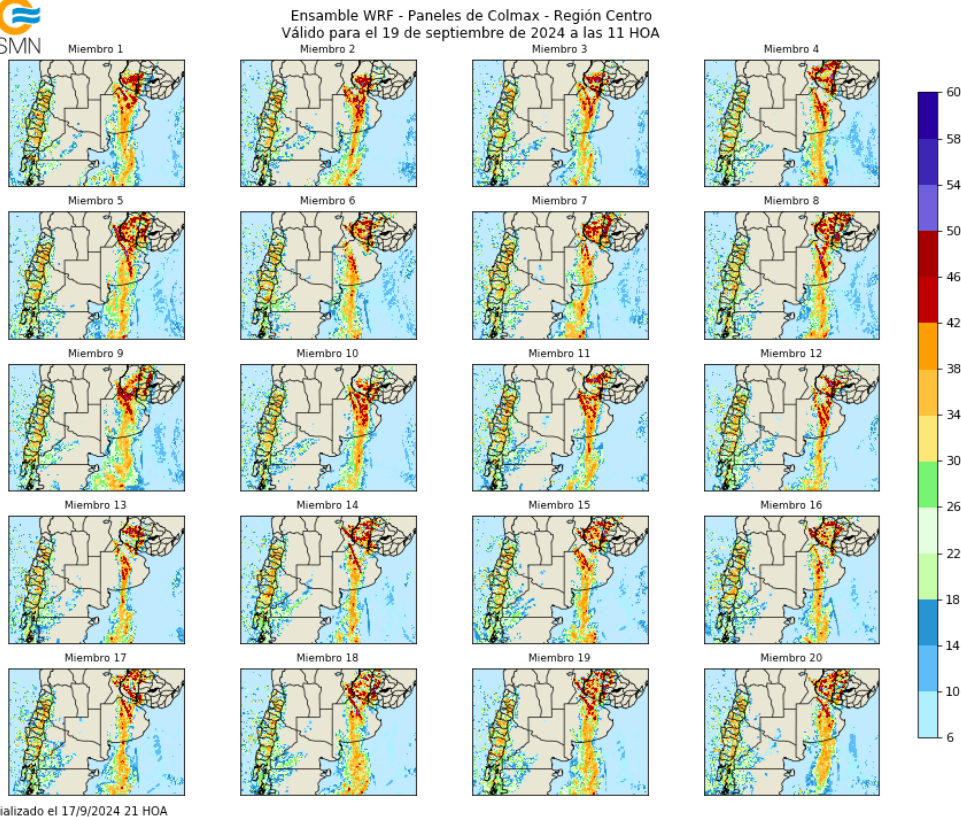
Inicializado el 18/9/2024 03 HOA

Pronósticos Probabilísticos

Para generar pronósticos probabilísticos los Servicios Meteorológicos mundiales utilizan ensambles de pronósticos

Cada miembro del ensamble muestra una posible evolución del estado del tiempo

Cual de todas ellas se acerca más a la verdad es una incógnita y representa la incertidumbre del pronóstico



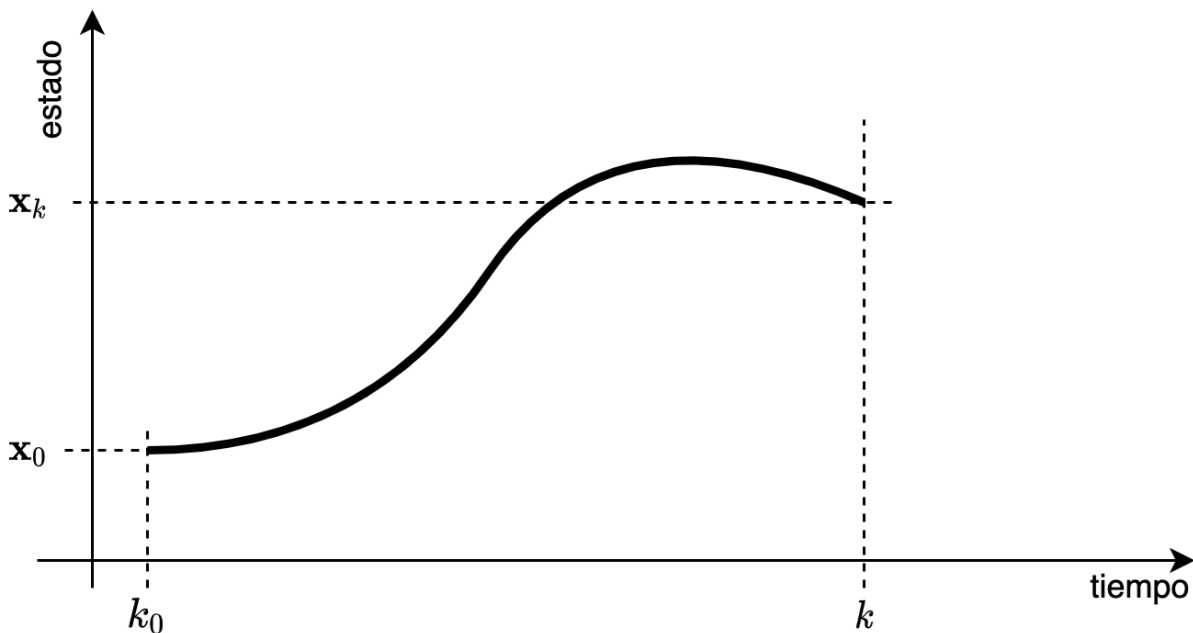
Error e incertidumbre en los pronósticos numéricos

Modelo Numérico

Es un conjunto de **expresiones matemáticas** que describen el comportamiento de un sistema físico-químico.

Estas ecuaciones son resueltas en un entorno de cálculo computacional.

Nos permiten evolucionar de un estado presente a un estado futuro



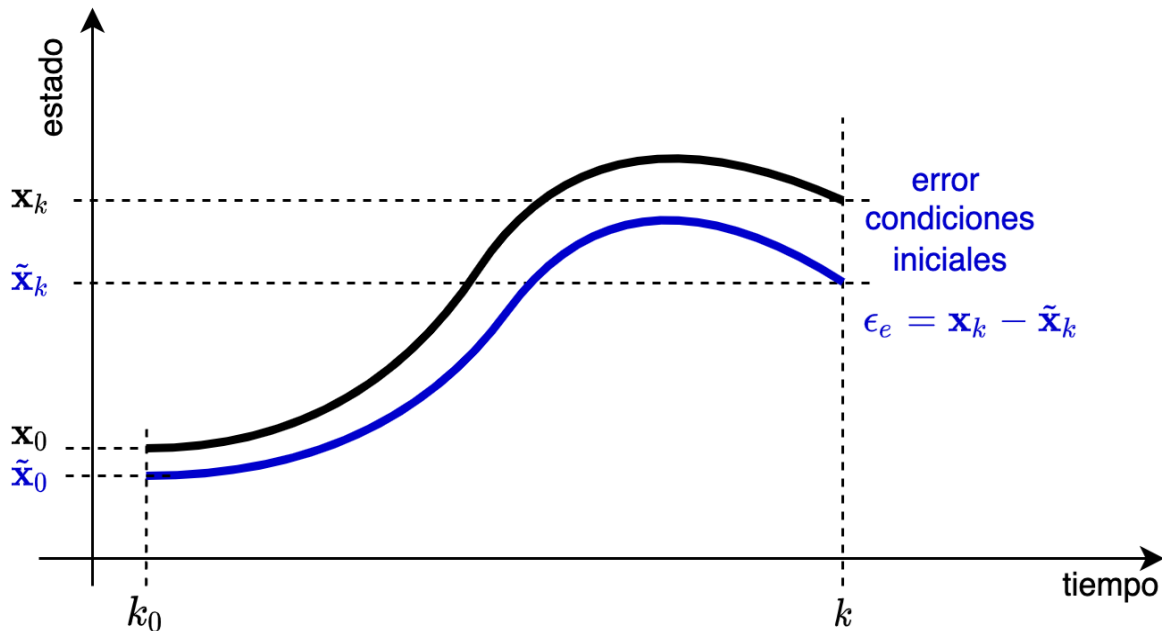
Error e incertidumbre en los pronósticos numéricos

Fuentes de error

Condiciones Iniciales:

- Falta de observaciones
- Error de observaciones

Los errores introducidos evolucionan junto con la dinámica caótica del sistema



Error e incertidumbre en los pronósticos numéricos

Fuentes de error

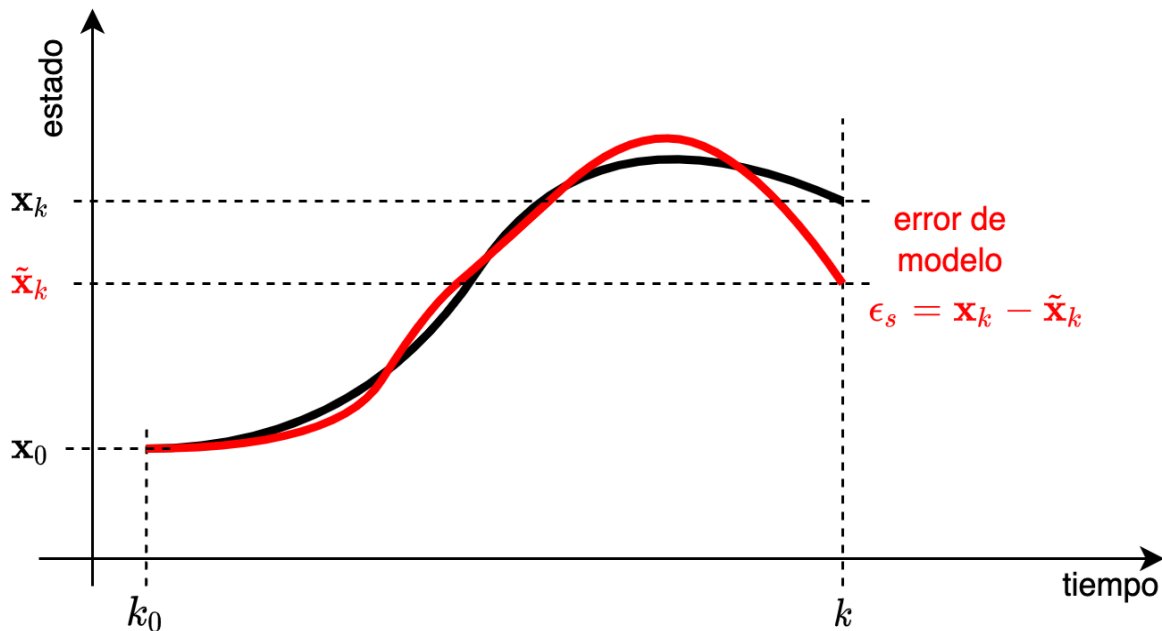
Condiciones Iniciales:

- Falta de observaciones
- Error de observaciones

Error de Modelo:

- Procesos de subgrilla
- Resolución
- Numericos

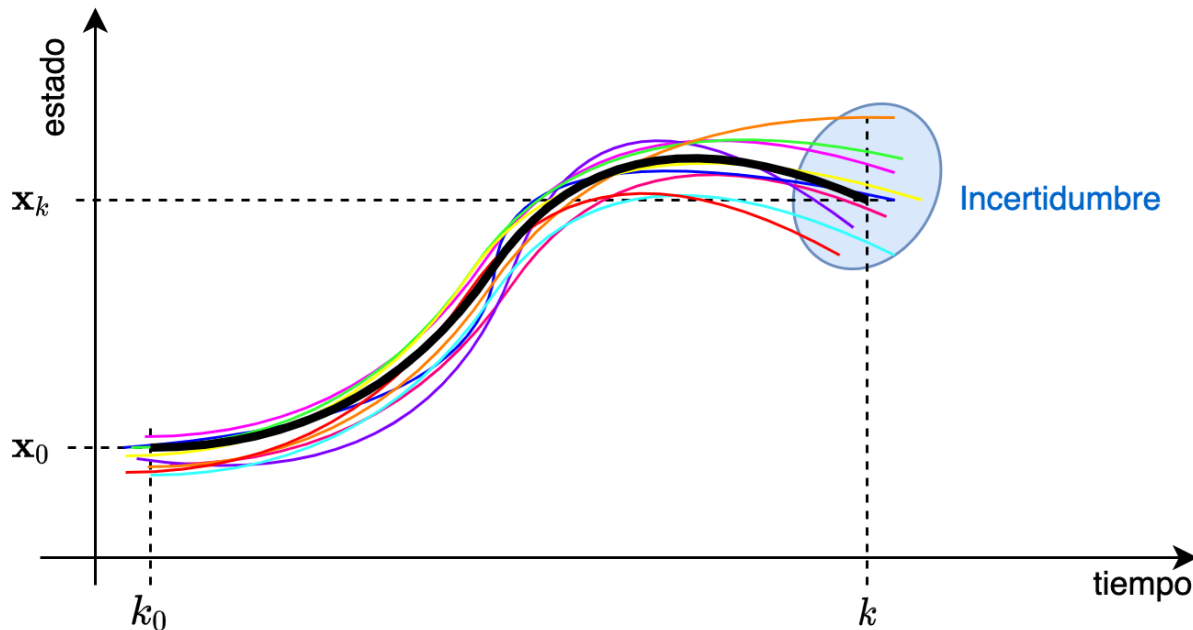
5



Error e incertidumbre en los pronósticos numéricos

La dispersión del ensamble es una muy buena estimación de la incertidumbre asociada al pronóstico y en general la más usada y confiable.

Pero un ensamble de modelos atmosféricos requiere mucho poder de cómputo para poder ejecutarlo en tiempos razonables.



Metodología

Asumiendo una distribución normal del error, se utiliza una evolución temporal del sistema al tiempo ℓ como entrada a la RNA y se entrena para estimar los parámetros de la distribución al tiempo ℓ

La red no hace pronóstico

Pronóstico Determinístico

$$\mathbf{x}_l^d = \mathcal{M}_l(\bar{\mathbf{x}}_a)$$

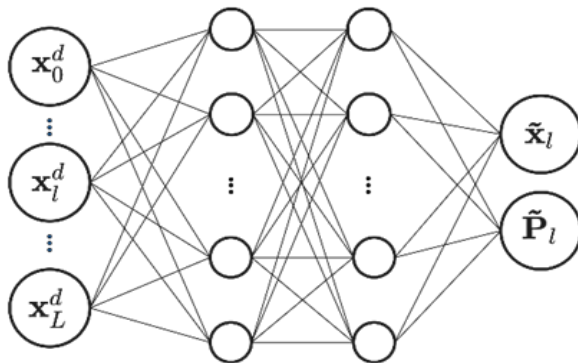
$$\mathbf{x}_0^d = \langle x_0^{d,0}, x_0^{d,1}, \dots, x_0^{d,s} \rangle$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{x}_l^d = \langle x_l^{d,0}, x_l^{d,1}, \dots, x_l^{d,s} \rangle$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{x}_L^d = \langle x_L^{d,0}, x_L^{d,1}, \dots, x_L^{d,s} \rangle$$



Pronóstico Probabilístico

$$\mathcal{N}(\tilde{\mathbf{x}}_l, \tilde{\mathbf{P}}_l)$$

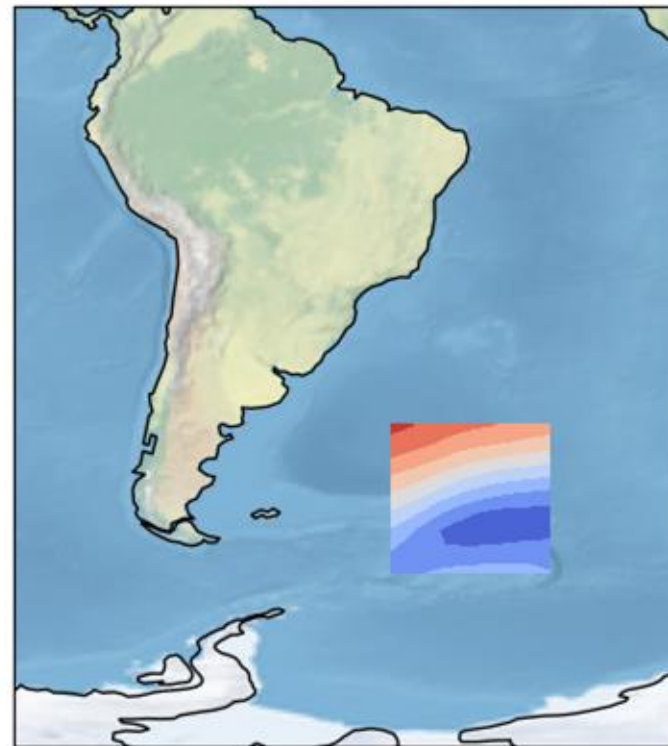
$$\mathcal{N}(\tilde{\mathbf{x}}_l, \tilde{\sigma}_l^2), \quad \tilde{\sigma}_l^2 = \text{diag}(\tilde{\mathbf{P}}_l)$$

Metodología

Conjunto de Datos

Se usaron los pronósticos retrospectivos del NCEP Version 2 (National Centers for Environmental Prediction) de la presión a nivel del mar.

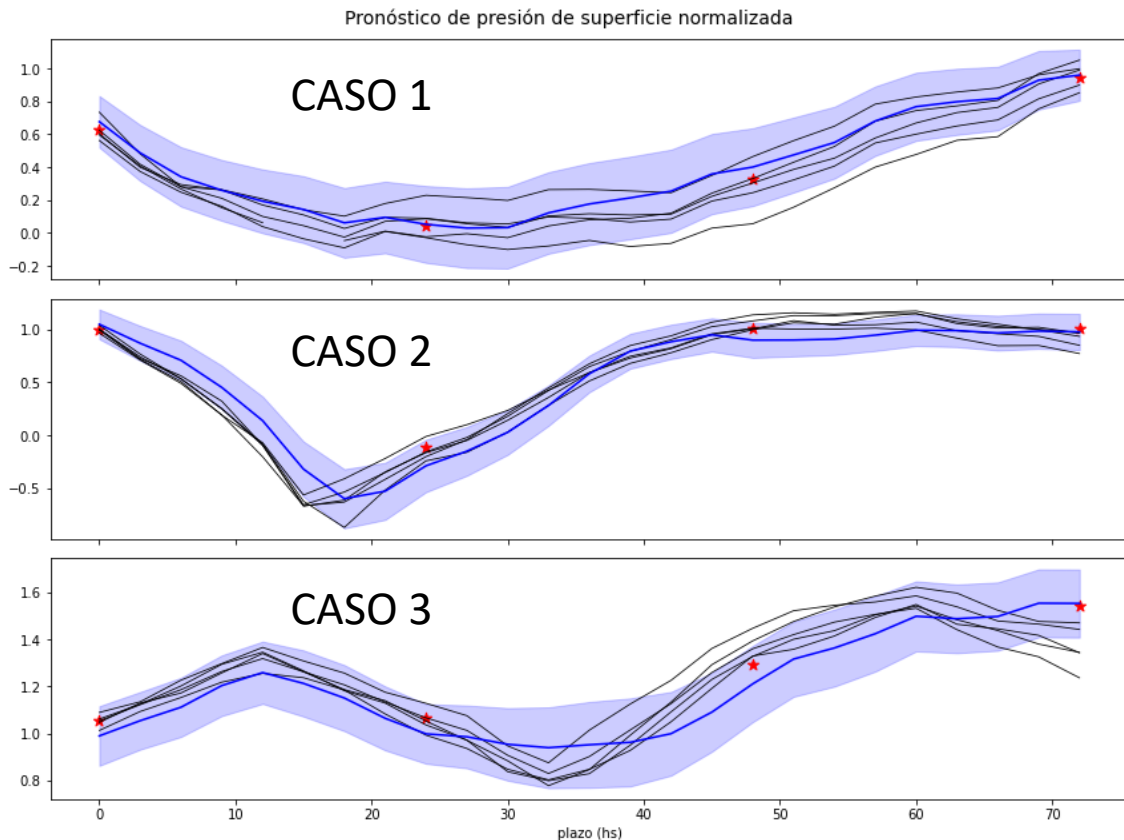
- Disponible desde 1/1/2000 hasta 31/12/2019
- Ensamble global de 5 miembros (un pronóstico de control y 4 pronósticos perturbados).
- Pronósticos a 72 hs con resolución temporal de 3 hs e inicializados una vez al día a las 00 UTC.
- Resolución espacial de 0,25°.
- Un total de 7302 pronósticos.
- Para entrenar la red neuronal se utilizó el miembro de control normalizado con media=0 y dev. std.= 1
 - 5096 pronósticos para el entrenamiento
 - 1104 pronósticos para la validación
 - 1102 pronósticos para la prueba.



Resultados

Análisis temporal

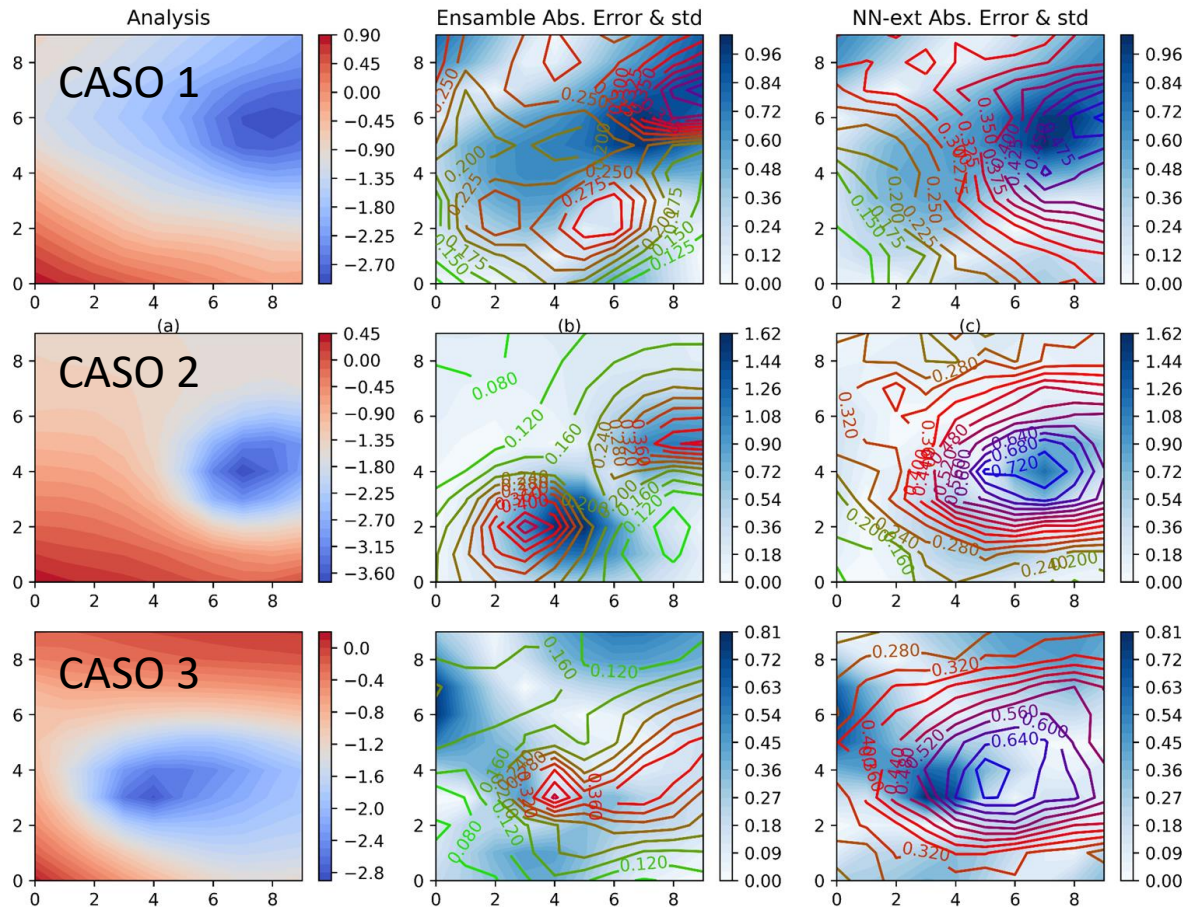
- Variabilidad de la incertidumbre en el tiempo.
- El análisis se encuentra dentro de la incertidumbre estimada por la red.
- La incertidumbre de la red abarca el ensamble.
- Se observa mayor incertidumbre en bajas presiones.



Resultados

Análisis espacial

- Los máximos de error están asociados a los mínimos de presión.
- Los máximos de incertidumbre están asociados a los máximos del error.
- Variabilidad de la incertidumbre en función del estado.
- Buena estructura espacial de la estimación.
- Buena correlación entre el máximo error y el máximo de incertidumbre



Conclusiones

- Dependiente del estado
- A partir de un pronóstico determinístico
- Se entrena solo con un conjunto de análisis
- Bajo costo operativo
- Buenas propiedades estadísticas
- Extender estos resultados a estimación de covarianza
- Aplicaciones en asimilación de datos

Sacco, M.A., Ruiz, J.J., Pulido, M. & Tandeo, P. (2022) Evaluation of machine learning techniques for forecast uncertainty quantification. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148(749), 3470–3490. Available from: <https://doi.org/10.1002/qj.4362>

Sacco, M.A., Pulido, M., Ruiz, J.J. & Tandeo, P. (2024) On-line machine-learning forecast uncertainty estimation for sequential data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(762), 2937–2954. Available from: <https://doi.org/10.1002/qj.4743>



Ministerio
de Defensa
República Argentina

Dorrego 4019 (C1425GBE) Buenos Aires . Argentina
Tel: (+54 11) 5167-6767 . smn@smn.gob.ar

www.smn.gob.ar

