



¿Pronóstico Numérico del Tiempo ?



Conocer la distribución espacial y temporal de las variables que caracterizan la atmósfera

La circulación atmosférica esta gobernada por un conjunto de ecuaciones de la fluido-dinámica

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + f\hat{k} \times \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \vec{F}_R + \vec{g}$$

Conservación de Momentum

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right)T - S_p w = Q_{RAD} + Q_{Conv} + Q_{Sfc}$$

Conservación de Energía

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial w}{\partial p} = 0$$

Conservación de Masa

$$\frac{\partial(gz)}{\partial p} = -\frac{RT}{p}$$

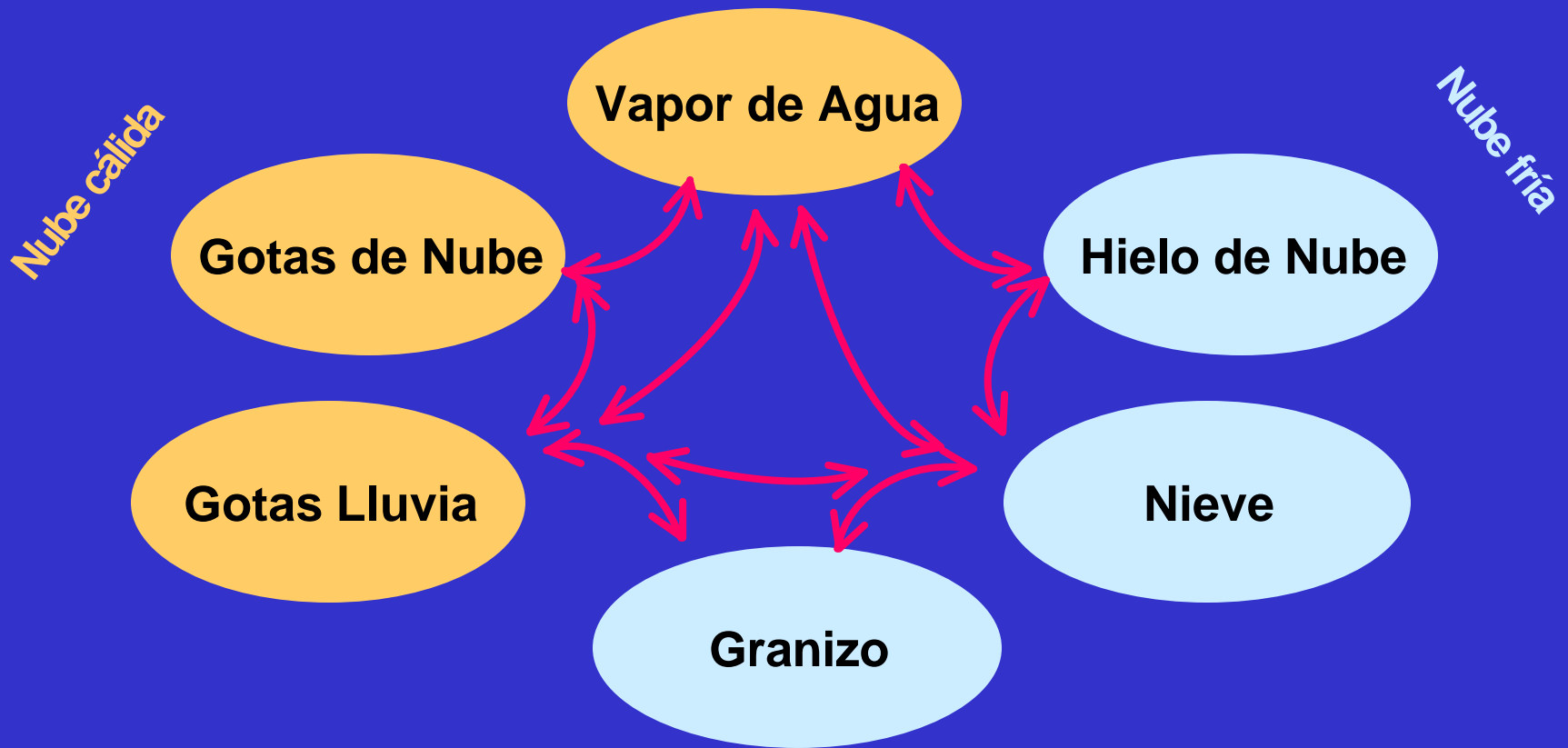
Ec. gases ideales

$$\frac{dq_v}{dt} = -C + E$$

$$\frac{dq_r}{dt} = +C - E + S_r$$

Conservación de vapor y agua precipitable

¿¿¿Donde aparece la precipitación???



$$\frac{dq_v}{dt} = -C + E_c + E_r$$

$$\frac{dq_c}{dt} = +C - E_c - A_c - K_c$$

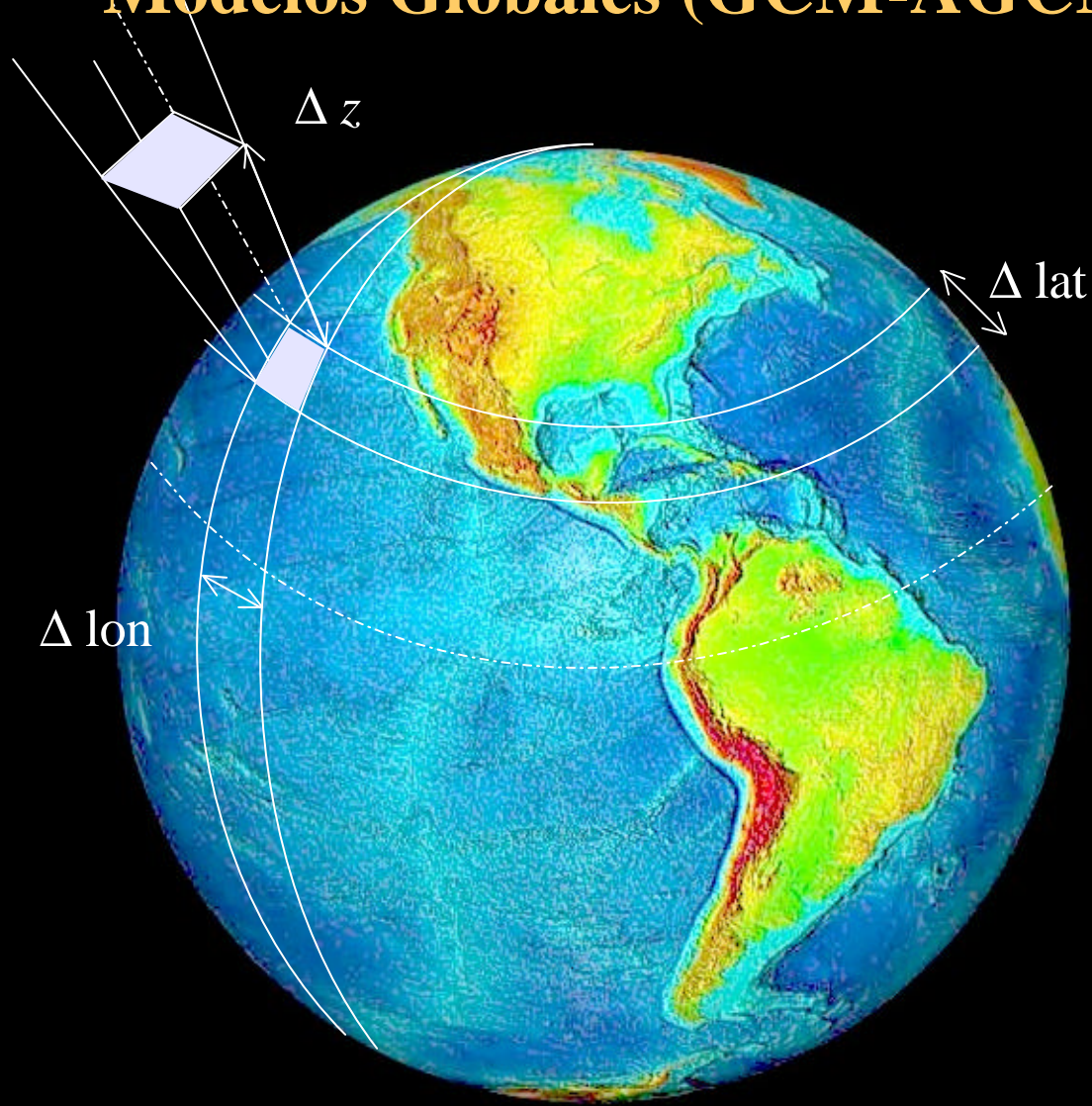
$$\frac{dq_r}{dt} = A_c + K_c - E_r - F_r \rightarrow PP_s \propto F_r$$

Pero el sistema anterior es altamente no lineal y no se pueden encontrar soluciones analíticas...



.... entonces se recurre a métodos de modelamiento numérico comenzando por la discretización de la atmósfera a nivel global o regional

Modelos Globales (GCM-AGCM)



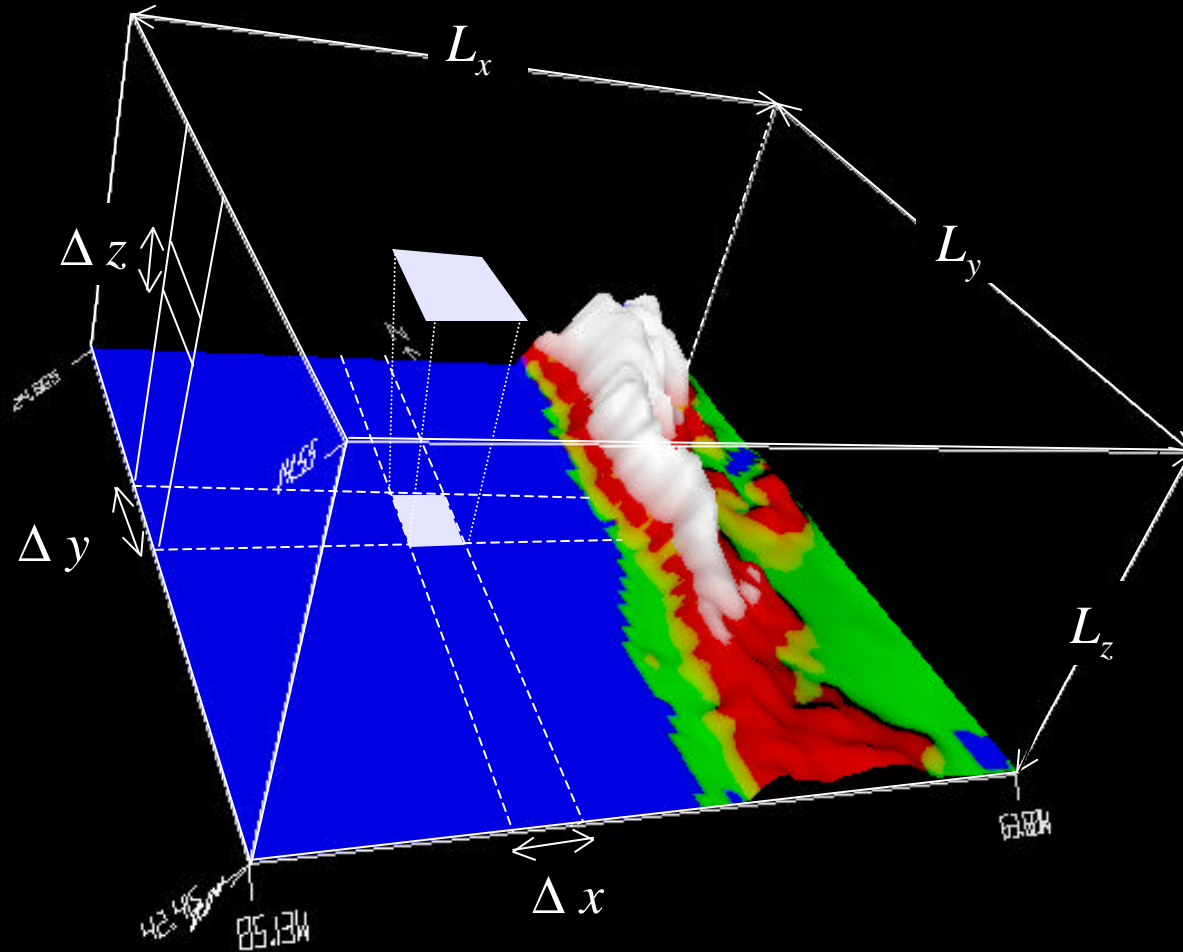
$\Delta \text{lat} \sim \Delta \text{lon} \sim 1^\circ - 3^\circ$

$\Delta z \sim 1 \text{ km}$

$\Delta t \sim \text{minutos-horas}$

Tope de la atmósfera: 15-50 km

Modelos Regionales (LAM, MM)



$\Delta x \sim \Delta y \sim 1-50 \text{ km}$ $\Delta z \sim 50-200 \text{ m}$ $\Delta t \sim \text{segundos}$
 $L_x \sim L_y \sim 100-5000 \text{ km}$ $L_z \sim 15 \text{ km}$

Una vez elegida la discretización del dominio se emplean diferencias finitas en el espacio y tiempo...

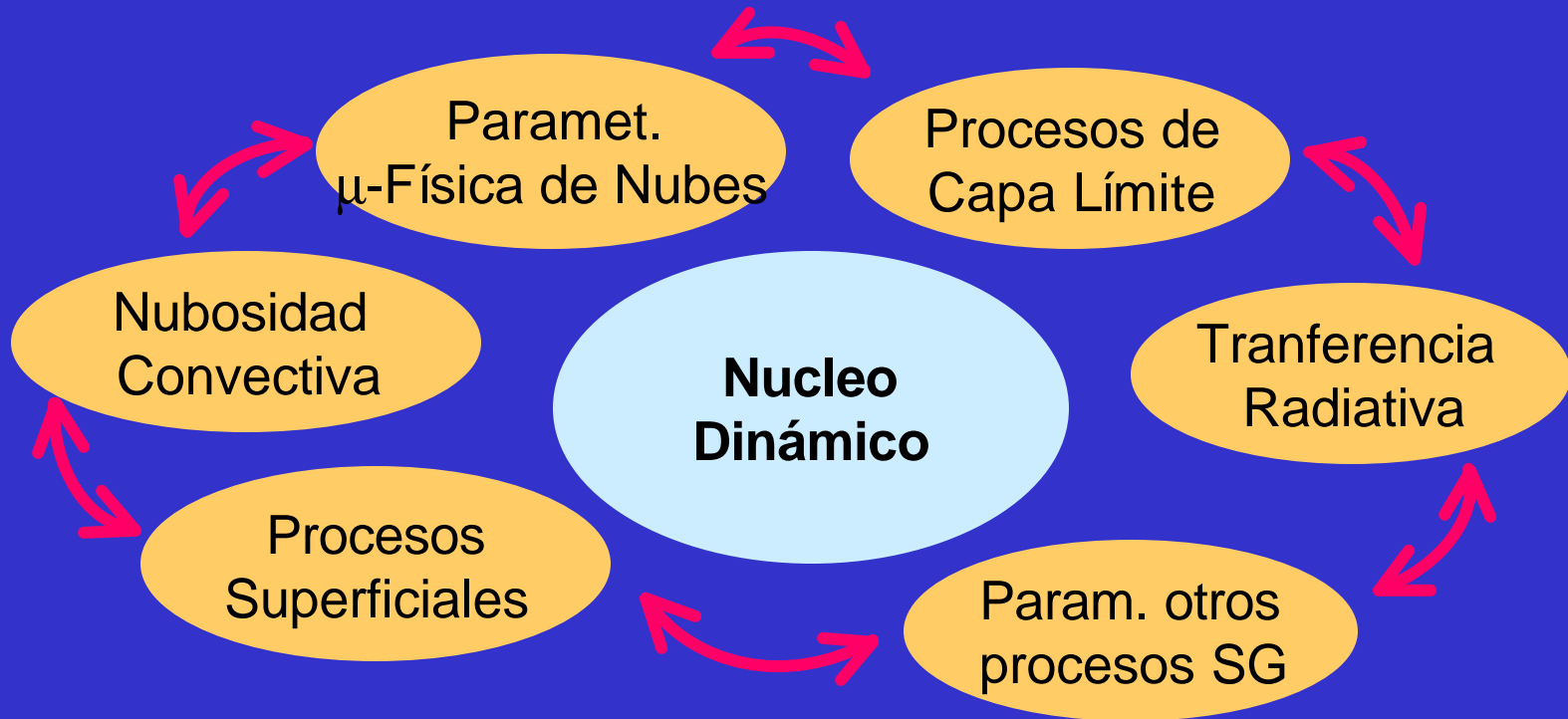
$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = Q_{diab}$$

Metodos numéricos
estables y eficientes

$$\frac{T_{t+1}^i - T_{t-1}^i}{\Delta t} + u_{t-1}^i \frac{T_t^{i+1} - T_t^{i-1}}{\Delta x} = Q_{diab}$$

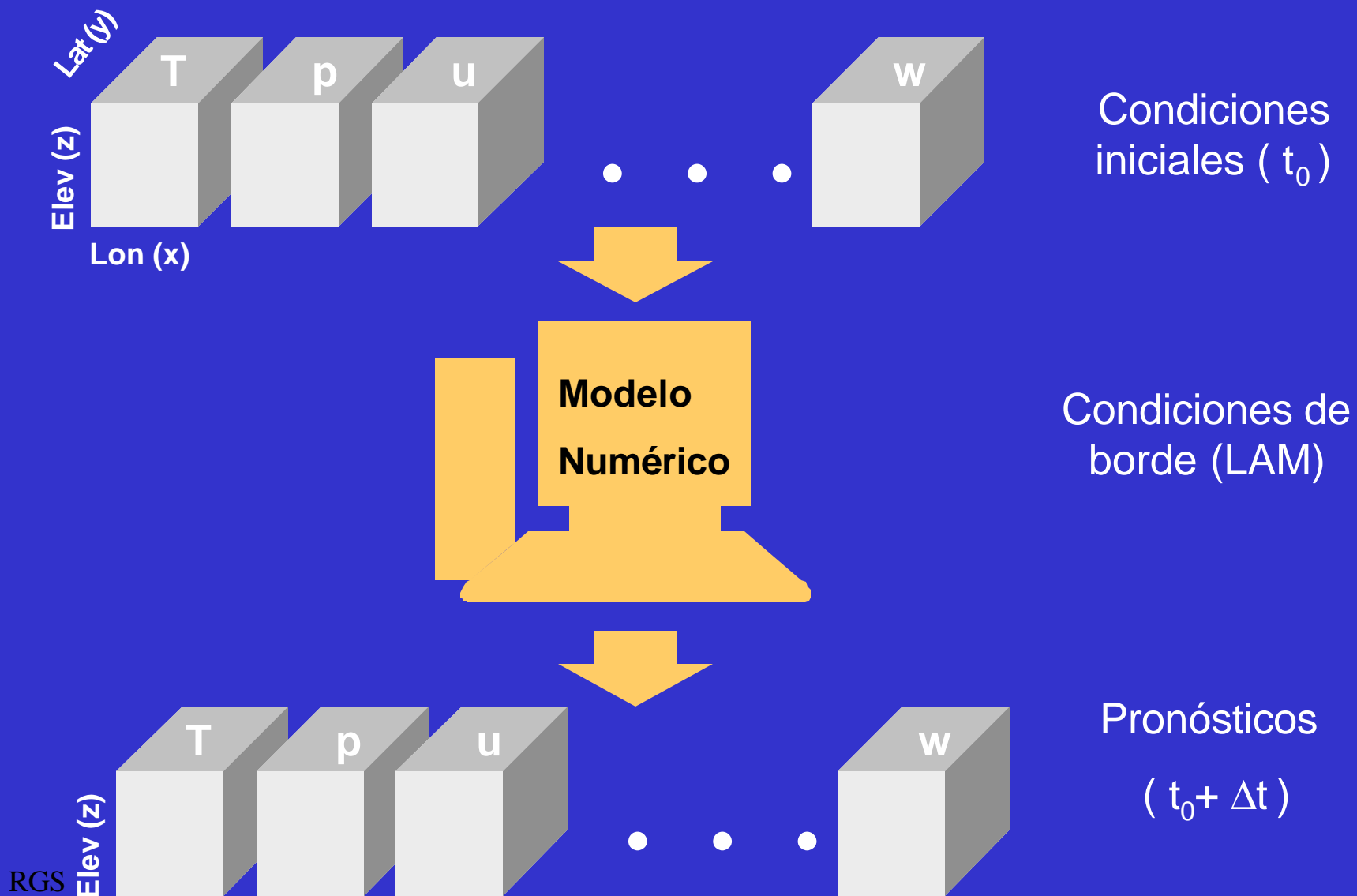
...y se deben parametrizar los procesos de subgrilla

Entonces un modelo se compone de:



En el caso del MM5, se requieren 220 subrutinas, en 50 directorios y 55.000 líneas de código F77...Ufff!

Con todo esto se realiza la simulación numérica ($\Delta t \sim 1-5$ días)

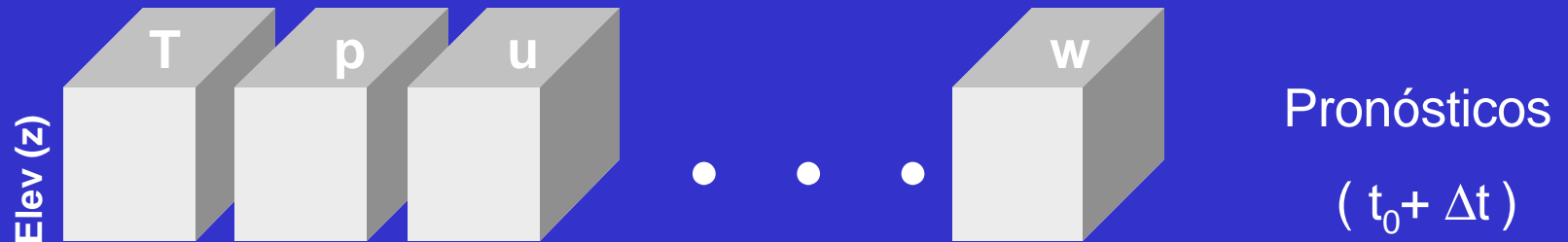


Condiciones iniciales y de borde inicial



- Matrices 3D (lat-lon-elev) de variables de estado (T, p, HR, viento, vel. vertical) en el tiempo inicial.
- Obtenidas usando interpolación “dinámica” de las observaciones (estaciones de superficie y altura, productos satelitales, etc.).
- Notar que CI no incluye observaciones de precipitación en forma directa (solo contenido de agua (vapor) en el aire).
- También se requieren condiciones de borde: TSM, contenido de humedad superficial, etc.

En general, los resultados del modelo numérico
no son directamente un pronóstico del tiempo



Post-procesamiento
estadístico (MOS, PP)
y manejo de errores

Productos para usuarios

(hidrología, minería, protección civil, aeronautica, energía, etc....)

Modelos Atmosféricos: ¿Determinísticos o Probabilísticos?

1. Los modelos que hemos descrito son DETERMINISTICOS
2. Dado un conjunto de CI y CB los resultados siempre serán los mismos, pues las ecuaciones no cambian.
3. El modelo no entrega “incertidumbre”

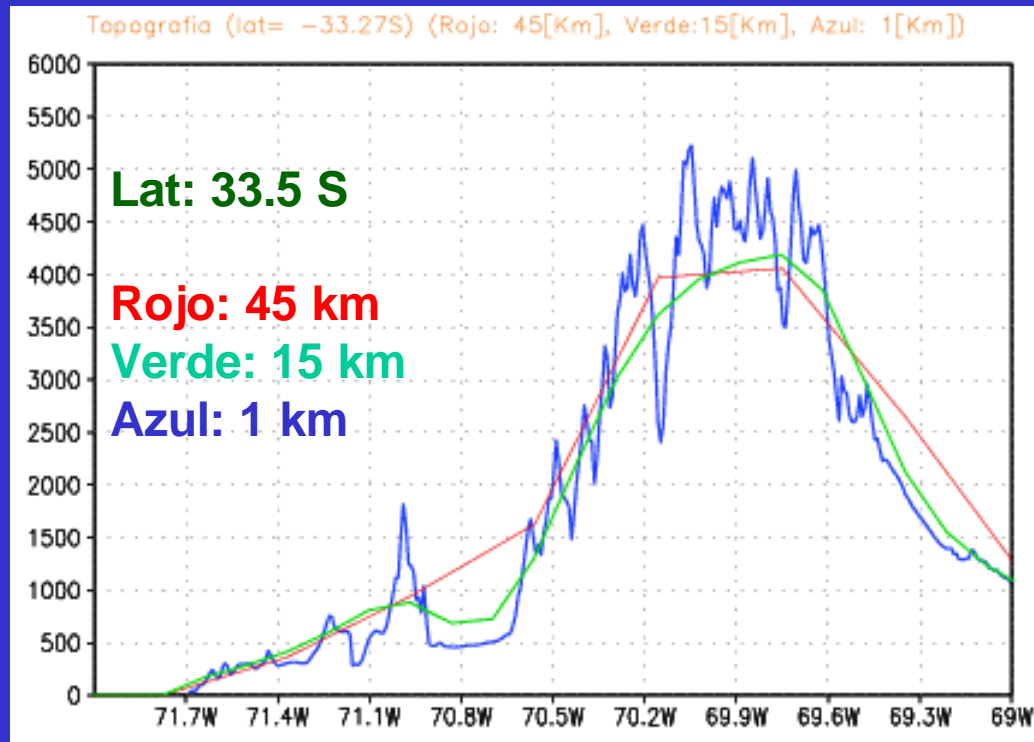
Sin embargo, los modelos “fallan” en cuanto sus resultados no son idénticos a la realidad, y sus pronósticos no son perfectos....

Posibles fuentes de errores

1. Errores en las condiciones iniciales (o de borde).
CI asimilan información, pero extrapolación dinámica es importante. Predictabilidad limitada a 5-7 días.
2. Errores en la parametrización de procesos sub-grilla
3. Errores derivados de falta de resolución espacial
4. Errores numéricos (mínimos)

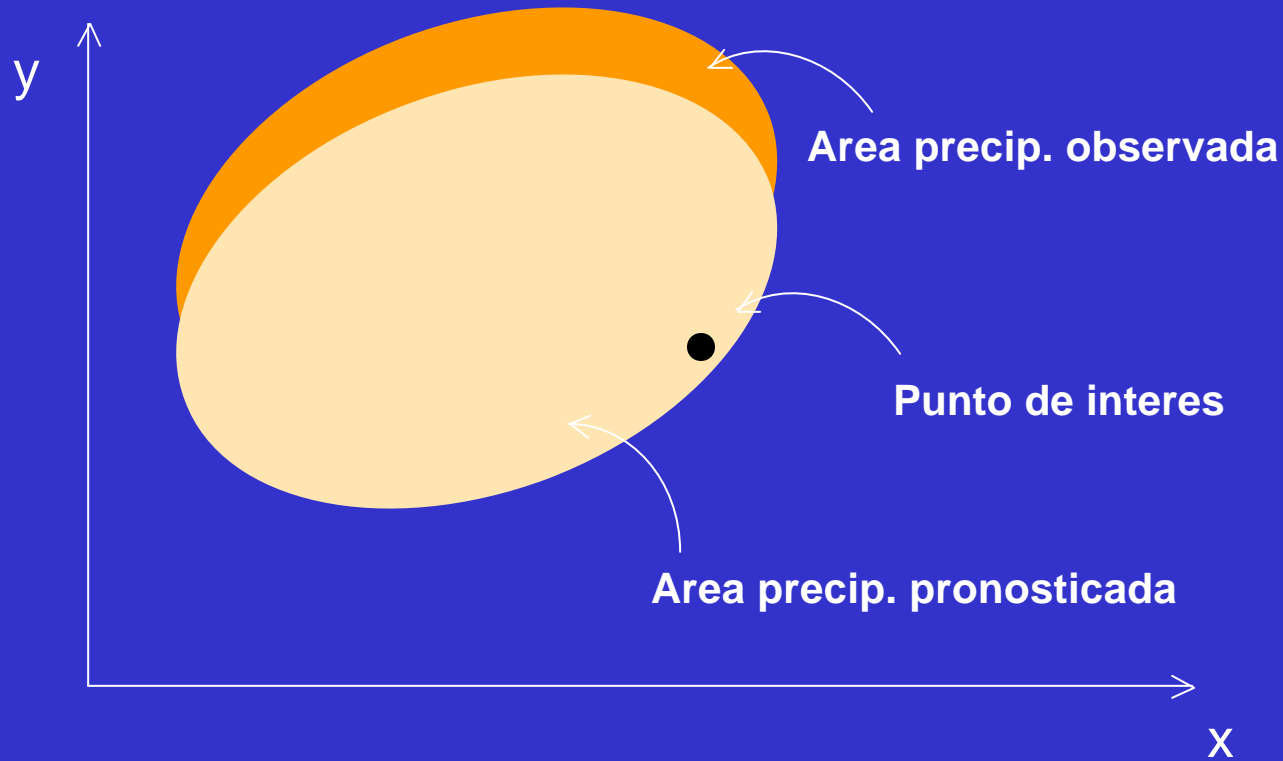
Resultados deben ser validados para estimar errores aleatorios y corregir errores sistemáticos

La resolución espacial es crítica en presencia de topografía compleja...



...pero incrementar la resolución se paga caro: mayor número de ^{RGS} puntos y paso de integración temporal más corto (CFL)

Validación de los pronósticos



¿Buen pronóstico? ¿Mal pronóstico?
La perspectiva (local-espacial) lo define todo...