



AZARES DEL CLIMA

POR JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

Una paradoja señal/ruido en los modelos climáticos

Desde hace unos años se viene observando, sobre todo en el Atlántico Norte, que los modelos basados en *ensembles* usados para predecir la NAO muestran una correlación con las observaciones que es claramente superior que la que se deduce de la proporción entre la señal del ensemble y su varianza. Esto supone que los modelos son mejores prediciendo las observaciones futuras que prediciéndose a sí mismos, lo cual es difícil de explicar, de ahí la paradoja. Más en detalle, como es sabido, el planteamiento en la generación de predicción con ensembles es tratar de capturar la parte irreductiblemente caótica, y por tanto impredecible del clima, por medio de múltiples predicciones partiendo de condiciones iniciales ligeramente alteradas. Subyace a este planteamiento la división de la variabilidad temporal del clima en señal S y ruido N , ambos incorrelacionados. Esta división se aplica tanto a la serie observada como a cada una de las simulaciones del ensemble:

$$O = S_O + N_O, \quad M = S_M + N_M$$

Con un número suficiente de simulaciones en el ensemble la señal del modelo S_M debe ser capaz de reproducir fielmente a la señal en el propio clima S_O , $S_M \sim S_O$. Esta señal del modelo S_M se estima típicamente por el promedio de las simulaciones $\langle M \rangle = S_M + N'_M$, con $N'_M \sim N_M / n^{1/2}$ debido a la independencia teórica entre los distintos miembros del ensemble, que hace que su desviación estándar sea la de cada simulación dividida por raíz de n , siendo n el número de miembros del ensemble. Vemos que al tender n a infinito $\langle M \rangle$ converge a S_M . Además el ruido del ensemble y el de las observaciones deben ser de magnitud semejante, pues las simulaciones del ensemble representan idealmente posibles trayectorias observacionales en condiciones iniciales alteradas, $\text{var}(N_O) \sim \text{var}(N_M)$. En estas condiciones, se tie-

ne que las proporciones de varianza de la señal (explicada) respecto al total deben ser semejantes en las observaciones y el ensemble:

$$\text{var}(S_O) / (\text{var}(S_O) + \text{var}(N_O)) \sim \text{var}(S_M) / (\text{var}(S_M) + \text{var}(N_M))$$

Expresando esto en términos de una razón de componentes prededibles RPC entre observaciones y modelo:

$$\text{RPC} = \{\text{var}(S_O) / (\text{var}(S_O) + \text{var}(N_O))\} / \{\text{var}(S_M) / (\text{var}(S_M) + \text{var}(N_M))\} \sim 1$$

El numerador de la RPC, función de la razón señal-ruido de las observaciones, se puede estimar por el cuadrado del coeficiente de correlación $r^2(O, \langle M \rangle)$ entre las observaciones y la señal del modelo. Las desviaciones de la RPC de la unidad esperables son hacia valores menores: si el número de miembros del ensemble n no es suficientemente grande, la estimación de la señal del modelo S_M a partir de $\langle M \rangle$ contendrá parte del ruido, lo que hace crecer el denominador de la RPC; si el modelo presenta un sesgo eso hará que la estimación de S_O a partir de S_M contendrá un error, y por tanto la estimación de $\text{var}(N_O)$ a partir de $N_O = O - S_M$ estará inflada y hará decrecer el numerador de RPC.

En efecto, valores de RPC inferiores a la unidad se observan comúnmente en amplias zonas, en particular en predicciones estacionales en áreas tropicales. Pero en el Atlántico Norte, en la predicción estacional de la NAO se observa todo lo contrario, con valores de la RPC que llegan a ser mayores que 2. También aparecen valores de la RPC > 1 en el Pacífico y el hemisferio sur, en la predicción del SAM (Southern Annular Mode). Una posible explicación sería que la varianza total del ensemble, $\text{var}(M) = \text{var}(S_M) + \text{var}(N_M)$, fuese inferior a la de las observaciones por no muestrear debidamente el ensemble el espacio

de las posibles trayectorias, pero en estos casos se comprueba que $\text{var}(M) \sim \text{var}(O)$. En cambio parece que hay una infraestimación de $\text{var}(S_M)$, es decir, la señal del ensemble está atenuada, aunque guarda buena correlación con la de las observaciones S_O . Sea cual sea la causa, en estos casos cada miembro del ensemble no se puede considerar como una realización equivalente del sistema climático real, al tener una razón señal-ruido inferior a este. Esto tiene un número de importantes consecuencias perturbadoras para la medida de la destreza de los modelos o para los estudios de atribución en zonas como el Atlántico Norte.

Se han propuesto varias causas posibles para este paradójico fenómeno, como una infraestimación de la intensidad de varias teleconexiones en los modelos. Otra posible razón que se me ocurre para esta armonía excesiva de los modelos con las observaciones, dada la dispersión del ensemble, podría estar en que este contenga información sobre el intervalo temporal que se predice en los experimentos en formas intrincadas, como parametrizaciones o uso de datos en rejilla que incorporan algoritmos ajustados a observaciones en este periodo que se trata de simular. Sea como fuere sería importante aclarar el asunto, que salió a relucir recientemente en el grupo de trabajo de CLIVAR (<https://www.clivar.org/events/clivar-climate-dynamics-panel-cdp-annual-workshop-external-versus-internal-variability>) en varias conferencias, en particular la de Amy Clement de la Universidad de Miami.

Referencias

- Scaife, A., Smith, D: *A signal-to-noise paradox in climate science*; npj Climate and Atmospheric Science (2018), www.nature.com/npj.climatsci; doi:10.1038/s41612-018-0038-4