

SIMULACIONES ESTACIONALES ENSAMBLADAS DEL CEPMPM¹ EN CD-ROM

Por Bernd Dieter BECKER²

Introducción

Los CD-ROM de las predicciones estacionales ensambladas procedentes de un modelo numérico completo se han preparado para que los científicos de todo el mundo consigan experiencia en el uso de los datos de la predicción compuesta y para desarrollar las pertinentes herramientas de la predicción probabilística estacional de interés particular. Con el fin de que la predicibilidad de los campos medios estacionales pueda determinarse respecto a una base regional, las integraciones ensambladas pueden validarse utilizando tanto los reanálisis del CEPMPM (proporcionados en los CD) como otros conjuntos de datos (p. ej. la precipitación nacional). Además, se espera que con este proyecto se aliente el desarrollo de las técnicas de postproceso (salidas estadísticas del modelo (MOS)) para superar los efectos de los errores sistemáticos y de otro tipo de los modelos para una base regional.

En los últimos 10 años, ha aumentado enormemente la capacidad de comprensión de la dinámica fundamental del fenómeno *El Niño/Oscilación Austral* (ENOA). Los progresos realizados por la comunidad mundial de meteorólogos, oceanógrafos e hidrólogos han obtenido un éxito notable: ahora es posible predecir el ENOA en el Pacífico tropical (Sarachik y col., 1996). Las predicciones climáticas a corto plazo pueden ofrecer información útil para reducir los impactos de las destructivas fluctuaciones naturales del clima tales como la sequía, las inundaciones y los valores extremados de calor y frío.

Los trabajos de investigación han demostrado que el ENOA puede predecirse con un nivel de pericia y con un tiempo de antelación suficiente para que puedan prevenirse las pérdidas de cientos de millones de dólares EE.UU., al año (Sarachik y col., Lukas). Estos logros se han conseguido a partir de programas de la OMM tales como el del Océano Tropical y la Atmósfera Mundial y su sucesor, el Estudio de la Variabilidad y Predicibilidad del Clima/Sistema

Mundial Océano-Atmósfera-Suelo, y el Experimento de la Energía Mundial y el Ciclo del Agua.

Palmer y Anderson destacan que "es posible la predicción más allá del límite medio de la predicibilidad determinística para el tiempo a escala sinóptica, ya que:

- la circulación atmosférica promediada cronológicamente es, en cierto modo, más predecible que su estado instantáneo;
- algunos tipos de circulación son más predecibles que la media;
- las variaciones lentas y predecibles del forzamiento en frontera más baja (especialmente la temperatura superficial del mar) influyen en la estadística de la circulación atmosférica".

En particular, dos logros han conducido a considerar que es factible conseguir la pericia operativa en la predicción estacional: la aparición de modelos acoplados océano/atmósfera realistas, y la mejor capacidad de medida en el océano superior tanto mediante una intensificación de las observaciones *in situ*, como de las medidas por teledetección.

La influencia del forzamiento de la frontera inferior en la variabilidad atmosférica depende de la posición, de la estación y de la fortaleza de las anomalías en la frontera. Los datos contenidos en los CD pueden ser utilizados para cuantificar esta dependencia de forma más explícita.

Se han ejecutado las integraciones para el período del reanálisis del CEPMPM (1979-1993) utilizando los datos del reanálisis del CEPMPM como condiciones iniciales y se han tomado las temperaturas observadas en la superficie del mar (TSM) del proyecto de reanálisis. Estas TSM están basadas en el análisis GISST de la Oficina Meteorológica del Reino Unido hasta octubre de 1981, y posteriormente en el análisis Reynolds OI (Gibson y col., 1996). Las TSM se actualizan cada día durante las integraciones del modelo. Además, el reanálisis se utiliza para verificar las integraciones ensambladas.

Las predicciones estacionales de los CD-ROM están basadas en los ensamblajes de las integraciones. Algunos análisis de los campos básicos ensam-

¹ Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio, Reading, Reino Unido

² Departamento de Meteorología, Universidad de Reading, Reino Unido

blados (p. ej. para obtener la probabilidad de las predicciones) serán necesarios para ofrecer una guía de predicción útil respecto a las escalas cronológicas estacionales. Dichos análisis pueden variar de región a región, dependiendo de las necesidades locales y de los conjuntos de datos de verificación de los que se puede disponer regionalmente (p. ej. la precipitación).

Los resultados de la simulación ensamblada del CEPMPM para invierno, primavera, verano y otoño están grabados en cuatro CD. Cada uno contiene 12 campos medios de 10 días por parámetro, para cada uno de los nueve miembros ensamblados. Las simulaciones se inicializaron a partir de análisis consecutivos de las 12 z inmediatamente precedentes a la estación estudiada. Los miembros ensamblados, 1 al 9, se inicializaron a partir de los campos iniciales reanalizados de uno a nueve días antes del principio prefijado de la estación; es decir, el 1 de diciembre (invierno), el 1 de marzo (primavera), el 1 de junio (verano) y el 1 de septiembre (otoño). El miembro ensamblado número 10 contiene las medias de 10 días de las predicciones a 24 horas del proyecto de reanálisis del CEPMPM. Los efectos que surgen del alargamiento de la predicción del modelo en la precipitación y en algunos flujos superficiales son pequeños e irrelevantes para el objetivo de este proyecto.

El modelo

El modelo usado para las simulaciones estacionales fue el modelo espectral versión 13r4 del CEPMPM con truncamiento triangular y número de onda 63 (lo que corresponde a una rejilla gaussiana de $1,875^\circ$ o cerca de 210 km de resolución horizontal (Ritchie y col., 1995)). Los 31 niveles verticales del modelo están definidos por coordenadas híbridas (Simmons y Strüfing, 1981) con tres a ocho niveles en la capa límite.

El conjunto físico consiste en el esquema de radiación de Morcette (1990), el esquema de flujo de masa y de las nubes de Tiedtke (1989, 1993) y el esquema de arrastre de la onda gravitatoria de Miller y col., (1989). El esquema de la capa límite y el esquema de la superficie del suelo fueron descritos por Viterbo y Beljaars (1995).

Los datos

El volumen total de datos archivados de los valores diarios de 25 campos escogidos para los 15 años del período de reanálisis, 1979-1993, y los 120 días de las predicciones estacionales más el reanálisis alcanza los 19 Gbytes por estación. Los CD-ROM contienen estos campos: promediados sobre 10 días y comprimidos de 12 a 7 bits en **GRIB** (=649 Mb por CD). Todos estos campos de los CD-ROM han sido conver-

tidos a una rejilla mundial de resolución de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ en latitud-longitud.

Los cuatro CD-ROM contienen los campos seleccionados para la estación de invierno (DJFM), primavera (MAMJ), verano (JJAS) y otoño (SOND) del período 1979 a 1993. Están incluidos los siguientes campos medios de 10 días (12 para cada uno de los 120 días de la estación por cada uno de los 15 años):

- geopotencial de los niveles de 700, 500 y 200 hPa (*z*);
- temperatura de 850, 500 y 200 hPa (*t*);
- componentes U y V del viento a 850 y 200 hPa (*u*, *v*);
- velocidad vertical a 500 hPa (*w*);
- contenido de humedad del suelo en la primera capa (7 cm de profundidad) del modelo de suelo empleado (*swt*);
- espesor de la nieve (*sd*);
- precipitación (a gran escala más la convectiva) (*tp*);
- flujo de calor sensible en superficie (*sshf*);
- flujo de calor latente en superficie (*slhf*);
- presión media a nivel del mar (*msl*);
- cobertura nubosa total (*tcc*);
- radiación solar en superficie (*ssr*);
- radiación térmica en superficie (*str*);
- radiación térmica en la cima (*ttr*);
- componentes de la fuerza del viento en superficie (*ewss*, *nsss*);
- temperatura mínima a 2m (*mn2t*);
- temperatura máxima a 2m (*mx2t*);
- temperatura en superficie (*stf*, Miembro 10 (reanálisis) solamente);
- máscara tierra-mar (*ism*, solamente un fichero).

En total, cada CD proporciona nueve realizaciones diferentes de 120 días de predicción por estación más los datos del reanálisis con fines de verificación, por cada uno de los 15 años, y 10 realizaciones de simulaciones climáticas estacionales de los 15 años. (El CD de invierno contiene sólo 14 ensamblajes de nueve miembros y los datos del reanálisis del CEPMPM (ERA); el período 1979 a 1993 cubre solamente 14 inviernos).

Los programas

Los datos de los CD-ROM están almacenados en

GRIB (binario enrejillado), que es un empaquetamiento en formato binario y que no puede leerse directamente. En los CD-ROM se incluyen dos conjuntos de programas. Las herramientas para visualización y análisis son:

- el GrADS (Centro de Estudios Océano-Tierra-Atmósfera) para:
 - MS-DOS (proporcionado en el CD)
 - Linux (proporcionado en el CD)
- decodificador **GRIB**
 - gribex (CEPMPM)
 - wgrib (NCEP; NCAR)
 - gribsimp (Science Applications International Corporation, Naval Research Laboratory).

El primer conjunto se utiliza para ver y manipular y el segundo para desempaquetar los datos de modo que los usuarios puedan importarlos a sus propios programas de aplicación. Hay una serie de razones para utilizar el GrADS: es más pequeño (4 Mb); está disponible para muchos sistemas operativos de ordenadores diferentes; muchas personas lo utilizan; y decodifica el **GRIB** antes de la visualización. El GrADS reside en todos los CD en formato ejecutable para ordenadores que funcionen en Linux (UNIX para PC).

Ejemplos

Por razones de espacio, no han podido imprimirse las figuras de este artículo. Sin embargo, estas pueden verse en Internet en la dirección:

<<http://www.met.rdg.ac.uk/ssim/html/present/present.html>>.

La figura 1 ofrece una visualización disponible directamente de cada uno de los CD. Para este ejemplo se requiere el programa de visualización GrADS con un sistema operativo UNIX. En este ejemplo, pueden visualizarse en un instante todos los datos de un ensamblaje (una estación por año, nueve simulaciones de 120 días más los datos ERA, 10 x 12 campos medios de 10 días de 25 parámetros). Puede elegirse un nivel vertical pulsando en el cuadro de niveles (izquierda), un período de tiempo pulsando en la barra de tiempos (derecha) y una variable seleccionándola en la lista que se muestra abajo. Pulsar en "Visualizar" o seleccionar entre todos los miembros ensamblados pulsando consecutivamente en el cuadro inferior de los tres que aparecen en la esquina superior izquierda. El botón central de los tres permite conmutar, para una variable seleccionada, un nivel y un tiempo, entre la visualización de la media y la varianza del ensamblado o los datos de un miembro en particular. El botón superior, conmuta entre la visualización de los datos

brutos o la diferencia respecto al reanálisis del CEPMPM. Pulsando en la imagen, se visualiza un subdominio aumentado de 80° x 120°, que puede desplazarse hasta la región geográfica deseada mediante una nueva pulsación sobre la imagen. Para volver al campo completo, pulsar en el botón superior de la derecha. Para conseguir animación, seleccionar los tiempos inicial y final en la barra de tiempos y pulsar en "Visualizar".

La demostración general (DOS) de la figura 2, ofrece 11 ejemplos que pueden visualizarse para cualquier tiempo o área mediante el cambio de los atributos en las opciones a, e o t. En MS-DOS-GrADS no es posible interactuar con la pantalla del ordenador mediante una pulsación en ella con el ratón.

El conjunto de datos ofrece numerosas posibilidades para investigar la variabilidad intraestacional e interanual. Para demostrar esto, observaremos, por ejemplo, el índice de oscilación austral para el período de reanálisis. La figura 3 muestra las anomalías medias de la presión en superficie de la zona de Darwin menos Tahití, teniendo en cuenta sólo las nueve primeras medias de 10 días para cada estación en particular. Los valores se han normalizado mediante la desviación típica de la media de 10 días apropiada. Entre los datos del reanálisis pueden identificarse claramente los fenómenos de *El Niño* de los años 1982/1983, 1987 y 1992 (figura 3(a)) y están razonablemente bien simulados por las medias ensambladas (figura 3(b)). También está bien capturado el fuerte fenómeno de *La Niña* de 1988. Partiendo de los dos cuadros inferiores (figura 3(c)), precipitación total media ensamblada, superficie promediada entre 60°E-100°E, 5°N-30°N, y figura 3(d), reanálisis de las TSM, superficie promediada para el área 3 de *El Niño*, entre 150°W-90°W, 5°S-5°N, parece deducirse una relación entre las fuertes lluvias del monzón de verano en la India y las TSM del ENOA. (Estas series temporales sugieren también una importante componente caótica en el monzón de la India y merecería la pena cuantificar en qué extensión es eso cierto).

En relación con los fenómenos de los monzones de 1987 y 1988, en la figura 4 se muestran las series temporales de las medias de 10 días de la precipitación total en la región (60°E-100°E, 5°N-30°N) para la estación de verano (JJAS). En realidad, los fenómenos monzónicos de 1987 y 1988 difieren mucho.

Se muestran las series temporales de cada uno de los nueve miembros ensamblados junto con el reanálisis de la precipitación total sobre la región del Índico (60°E-100°E, 5°N-30°N) (marcadores circulares). Las simulaciones del modelo concuerdan notablemente bien con el reanálisis de 1987, bastante me-

nos en 1988. También se destaca la pronta aparición del monzón en 1987 y un segundo máximo de la precipitación en agosto mientras que, en 1988, hay un único fenómeno monzónico intenso, de últimos de junio a julio, finalizando al cabo de seis semanas.

En las figuras 5 y 6, se representa una nueva demostración de la variabilidad intraestacional de estas simulaciones de los monzones. En la fila superior, yendo de izquierda a derecha, se muestran la media ensamblada (sombreada) y la varianza ensamblada (contorneada) para junio, julio, agosto y septiembre, la media de JJAS arriba y la media de JAS debajo. La varianza ensamblada está definida como:

$$var = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2},$$

donde X_i son los miembros ensamblados \bar{X} es la media ensamblada y n es el tamaño del ensamblado. Como es lógico, la varianza ensamblada es mayor cuando las cantidades de precipitación son mayores (junio y agosto de 1987 y julio de 1988). Durante los períodos de interrupción de julio de 1987, la varianza es sólo un tercio de su valor máximo.

En la figura 7 se ofrece otro ejemplo donde se muestra la correlación simultánea de la media de las TSM en la zona 3 de *El Niño* (150°W-90°W y 5°S-5°N) con la presión global en superficie (Blackmon y col., 1984). El cuadro superior representa la correlación entre las TSM y la presión en superficie procedente del reanálisis, el cuadro central muestra la correlación entre las TSM y la presión en superficie de la media ensamblada y el cuadro inferior es la diferencia entre el cuadro superior y el central. La relativamente buena concordancia entre la correlación de los campos de la figura 7(a) y 7(b) es indicadora del buen funcionamiento general de las simulaciones ensambladas.

Todos los resultados que se ofrecen aquí se calcularon y visualizaron con las herramientas proporcionadas en los CD.

Conclusión

Se ha descrito un amplio conjunto de datos grabado en cuatro CD-ROM, que contienen las integraciones estacionales ensambladas realizadas mediante el uso de un gran modelo de predicción meteorológica numérica con las TSM específicamente observadas incluyendo los datos del reanálisis para la verificación. Se han demostrado sus posibilidades como herramienta para examinar la variabilidad y predecibilidad de la atmósfera para escalas cronológicas estacionales.

· Puede disponerse de los CD-ROM mediante peti-

ción al: Director, ECMWF, Shinfield Park, Reading, Berkshire RG2 9AX, Reino Unido.

E-mail: <mat@ecmwf.int>.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado en parte por la Comisión de las Comunidades Europeas en el marco del contrato EV5C-CT93-0279 ("Variabilidad del clima a corto plazo").

Referencias

- BLACKMON, M.L., Y.-H. LEE and J.M. WALLACE, 1984: Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **41**, 961-979.
- GIBSON, R., P. KÄLLBERG and S. UPPALA, 1996: The ECMWF re-Analysis (ERA) project. *ECMWF Newsletter*, **73**, 7-17.
- LUKAS, R.B.: *Intersection of Seasonal to Interannual and Decadal to Centennial Climate Variability and Prediction*. <http://www.gcrio.org/USGCRP/LaJolla/appA.html>
- MILLER, M.J., T.N. PALMER and R. SWINBANK, 1989: Parametrization and influence of subgrid-scale orography in general circulation and numerical weather prediction models. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **40**, 84-109.
- MORCRETTE, J.-J., 1990: Impact of changes in the radiation transfer parametrization plus cloud optical properties in the ECMWF model. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 847-873.
- PALMER, T.N. and D.L.T. ANDERSON, 1994: The prospects for seasonal forecasting. *Quarterly Journal of the Royal Met. Soc.*, **120**, 755-793.
- RITCHIE, H., C. TEMPERTON, A. SIMMONS, M. HORTAL, T. DAVIES, D. DENT and M. HAMRUD, 1995: Implementation of the semi-Lagrangian method in a high-resolution version of the ECMWF Forecast Model. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, No. 2, 489-514.
- SARACHIK, E.S., NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996: Learning to Predict Climate Variations Associated with El Niño and the Southern Oscillation. National Academy Press, Washington, DC.
- SARACHIK, E.S., O.B. BROWN, M.T. CHAHINE, W.E. EASTERLING, R.B. LUKAS, P.J. SELLERS, J. SHUTTLEWORTH, S. SOROOSHIAN and P.J. WEBSTER: End-to-end seasonal to interannual prediction. *National Research Council Review of USGCRP, MTP/E/EOs*.

<http://www.gcrio.org/USGCRP/LaJolla/appA.html>

- SIMMONS, A.J. and R. STRÜFING, 1981: *An Energy and Angular-momentum Conserving Scheme, Hybrid Coordinates and Medium-range Weather Prediction*. ECMWF Technical Report, **28**, 68 pp.
- TIEDTKE, M., 1989: A comprehensive mass flux scheme for cumulus parametrization in large-scale mo-

dels. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1779-1800.

- TIEDTKE, M., 1993: Representation of clouds in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3040-3061.
- VITERBO, P. and A.C.M. BELJAARS, 1995: An improved land surface parametrization scheme in the ECMWF model and its validation. *J. Climate*, **8**, 2716-2748. □

EL PROYECTO ITALIANO DE INCREMENTO ARTIFICIAL DE LA PRECIPITACIÓN: EL PUNTO DE VISTA DE UN METEORÓLOGO

Por Abele NANIA*

Introducción

Durante varios de los meses de invierno de los años 1986 a 1995 se emprendió, en la región de Puglia, en el sur de Italia un proyecto de incremento artificial de la precipitación [1], [2]. La financiación corrió a cargo del Ministerio de Recursos Agrícolas y de la Administración Regional. El diseño científico original del proyecto (cruce aleatorio) fue formulado por el difunto Prof. A. Gagin.

En 1987, a petición de TECNAGRO (institución italiana sin ánimo de lucro) que actuaba como gestora general, el autor participó en el proyecto como coordinador científico. El proyecto se interrumpió prematuramente en 1995 por falta de fondos. Sólo se ejecutaron 260 de las 303 unidades de experimentación que los expertos consideraban necesarias para obtener una significación estadística del 95 por ciento.

Durante el proyecto se totalizaron 421 horas de siembra de nubes, 2 507 horas de observación por radar y 700 000 datos de medidas pluviométricas. Se suministró regularmente asesoramiento meteorológico a los decisores operativos. Pilotos y tripulaciones experimentados cooperaron en un intercambio abierto de información y opiniones con los decisores. Los meteorólogos analizaron situaciones sinópticas y mesosinópticas, imágenes de satélite, fenómenos meteorológicos y nubes, además de imágenes de radar de alta resolución.

Al pasar a la fase de evaluación se volvió cada

vez más difícil para un meteorólogo aportar una contribución útil. Muchos aspectos de la situación meteorológica parecieron perder el papel clave que tenían cuando se decidieron los procedimientos de insemianación a la vista de la situaciones meteorológicas en tiempo real.

En la fase de evaluación, los estadísticos trataron los fenómenos meteorológicos desatendiendo cualquier especificación que los meteorólogos pudieran emplear como explicación previa o posterior. Por otra parte, si hubiera habido que ampliar las clasificaciones estadísticas teniendo en cuenta las especificaciones de los meteorólogos, hubiera sido necesario recoger un gigantesco volumen de datos y, consecuentemente, llevar a cabo un experimento extremadamente largo (exploratorio y de confirmación), cuya financiación presumiblemente ningún decisor o administración hubiera garantizado [3].

En el informe oficial del Comité Científico (CC) [1] del Proyecto se afirma: "El resultado del análisis (estadístico) de los 260 días de lluvia disponibles fue que no podía hallarse ningún efecto apreciable de la insemianación". Al mismo tiempo, el informe del miembro del CC, B. Silverman, mostró algunos casos que mostraban efectos interesantes (63,5 por cien de incremento en la zona objetivo) y daban la oportunidad de proceder a estudios y clasificaciones adicionales de los datos.

En lo referente al proyecto italiano, la afirmación del CC significa verosímilmente el fin del experimento.

Quedan dudas y críticas sobre la definición de las unidades experimentales [3], [4], [5]. En necesi-

* Antiguo Director del Servicio Meteorológico de Italia