

# TECNICAS ESTADISTICAS EMPIRICAS DE PREDICCION ESTACIONAL

Por SUN Zhaobo\*

Hoy en día, por varias razones, la predicción numérica del tiempo (PNT) a largo plazo no es lo suficientemente fina. Por ello, los métodos estadísticos empíricos tienen en la predicción meteorológica operativa a largo plazo un papel importante que no se vería disminuido aunque mejorase mucho la exactitud de la PNT a largo plazo. En este artículo se analizarán algunos aspectos del problema referidos a la predicción estacional.

## Predictandos y predictores

Los predictandos son fenómenos o elementos meteorológicos que se deben predecir; los predictores son elementos o fenómenos que guardan alguna relación con un predictando y que, por lo tanto, se pueden emplear para predecirlo. Un método de predicción citado frecuentemente por los meteorólogos consiste en seleccionar predictores apropiados y en establecer una relación útil entre el predictando y los predictores.

En oposición a la predicción a corto plazo, en la predicción estacional sigue siendo imposible una predicción día a día, a causa del nivel actual de la predicción a largo plazo. En general, la predicción estacional puede proyectar la tendencia media del estado del tiempo sobre la estación siguiente, incluyendo principalmente la temperatura media y la precipitación total, como hacen los centros meteorológicos de la mayoría de los países.

La temperatura y la lluvia se dan en forma cualitativa más que numéricamente. Según una escala dada, se predice si estarán por encima o por debajo de las normales. En algunos casos, se puede precisar si muy por encima o muy por debajo de las normales. Sin embargo, algunos centros meteorológicos dan predicciones probabilísticas que calculan la probabilidad de que haya una temperatura o una precipitación dadas en un punto en el futuro.

En la práctica, las predicciones del tiempo a largo plazo se realizan regularmente para el

mes y para la estación siguientes, pero ello no es suficiente para las demandas de las economías nacionales y del público. Por ejemplo, puede haber peticiones urgentes de predicción del comienzo del monzón y de la precipitación en las zonas afectadas, mientras que en otros lugares, puede existir preocupación por el riesgo de enfermedades causadas por el frío. En suma, diferentes regiones predicen fenómenos concretos para distintas estaciones, los cuales influyen habitualmente en la economía nacional y en las actividades públicas. La predicción de esos fenómenos que son de vital importancia en momentos cruciales, es, a menudo, difícil de realizar y tiene un impacto desfavorable en la fama de exactitud de los predictores. Por otra parte, una predicción especial con éxito puede producir importantes beneficios económicos y sociales, y los países en los que se efectúan predicciones meteorológicas a largo plazo les prestan una atención especial.

La selección de predictores, que pueden ser variables internas o externas a la atmósfera, como la temperatura superficial del mar o la humedad del suelo, es un proceso complicado. En general, se debe tener en cuenta lo siguiente: los predictores están estrechamente relacionados con un predictando dado y permiten definirlo, pero están poco ligados entre ellos. Y lo más importante, tienen un significado físico claro.

## Técnicas estadísticas empíricas

Una predicción mensual puede seguir la tendencia dominante de la evolución del aire en un intervalo que va desde varios días a medio mes y emplea también los resultados de la PNT. Una predicción estacional emplea un método principalmente estadístico. La mayoría de los centros que realizan predicciones meteorológicas estacionales preparan directamente predicciones de temperatura y de precipitación.

Es evidente que las predicciones operativas con una estación o un mes de adelanto se basan por ahora, sobre todo en la experiencia. A pesar de tener en cuenta en los análisis algunas consideraciones físicas, el método es todavía imperfecto.

\* Instituto de Meteorología de Nanjing, Nanjing 210044, China

Los métodos estadísticos empíricos en la actual predicción estacional incluye:

- *Análisis de regresión*, tendente a establecer una expresión de regresión entre un predictando y los predictores;
- *Análisis discriminante*, mediante el cual una predicción se expresa como una categoría sobre la base de una ecuación discriminante determinada;
- *Análisis tipológico*, en el cual se considera la probabilidad futura de una categoría dada para el predictando, es decir, de predecir la categoría;
- *Método analógico*: se determinan en primer lugar las características de evolución del predictando y de los predictores en el período anterior, después se escoge una analogía cercana entre los casos históricos cuyas características para el período siguiente se toman como parecen ser las del predictando en la estación siguiente;
- *Análisis de series cronológicas*: las series son las observaciones históricas del predictando y de los predictores, y se tratan con el análisis correspondiente para determinar un modelo de autorregresión con fines de predicción;
- *Análisis periódico*: un tipo de análisis de series cronológicas que consiste en extraer los períodos principales de las series de predictandos, superponerlos y extrapolarlos para predicción.

Todas las técnicas estadísticas se pueden emplear, de forma directa, en la preparación de un modelo de predicción. Se debe señalar, sin embargo, que todas ellas se basan en los registros históricos y que sólo se les puede aplicar un esquema estadístico apropiado cuando se haya detectado una cierta regularidad. El proceso de datos ha encontrado, en los últimos años, un amplio campo de aplicaciones en la predicción meteorológica, siendo las principales la función ortogonal empírica y el análisis de la componente principal, que ayudan a comprimir el volumen de información meteorológica y, por tanto, se usan mucho en el análisis de datos.

Todos los centros meteorológicos del mundo preparan sus predicciones estacionales en función de sus necesidades y condiciones específicas y elaboran un modelo matemático sintetizando estos métodos. Ningún modelo matemático de síntesis se puede tomar como ejemplo, porque difieren notablemente. A continuación se presentan algunos modelos de predicción estacional como referencia.

## ***Predicción estacional en el Servicio Meteorológico de Japón***

El Servicio Meteorológico de Japón (SMJ) emplea dos tipos de predicción a largo plazo. Uno de ellos es la predicción nacional realizada en el Centro Meteorológico Nacional de Tokio (CMNT) que incluye la evolución de la situación meteorológica general, de la temperatura y de la precipitación a escala nacional. El otro comprende predicciones regionales a largo plazo realizadas en 11 centros meteorológicos bajo la dirección del CMNT y suministra información sobre los elementos meteorológicos de interés para los usuarios.

El CMNT y algunos de los centros regionales son los responsables de una predicción realizada el día 20 de cada mes para los tres meses siguientes, así como de predicciones de períodos cálidos (abril a septiembre) y fríos (noviembre a marzo), que se realizan el 10 de marzo y el 20 de octubre de cada año, respectivamente, y que ofrecen la posible evolución del tiempo en la estación considerada.

Las predicciones de temperatura y de precipitación se dan en cinco niveles: extremadamente bajas (10 por ciento), bajas (20 por ciento), normales (40 por ciento), altas (20 por ciento) y extremadamente altas (10 por ciento). De hecho, en la predicción operativa actual, los niveles extremos se usan raramente.

Actualmente, en la predicción meteorológica operativa a largo plazo, se emplea el modelo estadístico. Naturalmente, el aprovechamiento de los datos representa el problema esencial en su definición. La tabla I muestra los tipos de datos usados.

La predicción meteorológica operativa a largo plazo que realiza el SMJ comprende cuatro métodos:

- *Modelo de regresión lineal con retraso*  
Actualmente están en uso el modelo de regresión múltiple por grados y el modelo de regresión lineal monovariante. El predictando es la anomalía media de la altura de 500 hPa sobre Japón y la temperatura y precipitación medias de las once regiones citadas anteriormente. Los predictores son las anomalías de la altura de 500 hPa promedias en los diferentes intervalos cronológicos que se listan en la tabla I. La anomalía de altura se predice escogiendo los puntos de rejilla que tienen buena correlación con el predictando. Se obtiene un modelo de regresión de fidelidad óptima mediante filtrado con un método de regresión por grados, con el cual el ordenador realiza el mapa de anomalías de 500 hPa automáticamente. Después, se compara con el archivo histórico, para obte-

TABLA I

## Datos utilizados por el SMJ en la predicción meteorológica operativa a largo plazo

<i>Tipo de datos</i>	<i>Intervalo promediado</i>	<i>Resolución espacial</i>	<i>Zona</i>	<i>Recogida de datos</i>
Altura 500 hPa	5 días, 1 mes, 3 meses	10 x 10	N de 20° N	Desde ene. 1946
Altura 300 hPa, 100 hPa	5 días, 1 mes, 3 meses	10 x 10	N de 20° N	Desde ene. 1974
Temperatura superf. mar	10 días, 1 mes	1 x 1	Pacífico NW	Desde ene. 1950
Cubierta nubosa (nubosidad baja, alta y total)	5 días 1 mes	2,5 x 2,5	80°E-160°W 50°N-50°S	Desde ene. 1978

ner la temperatura y la precipitación previstas. El modelo de regresión monovariante se elabora con la predicción de la temperatura del mar en superficie;

- *El método analógico*

Las condiciones futuras de la circulación atmosférica se predicen suponiendo que, dentro de algunos años será similar la evolución de las circulaciones atmosféricas seleccionadas. En Japón se aplica el método analógico a la predicción del tiempo a largo plazo de la forma siguiente: la media de la anomalía en altura de 500 hPa de los cinco días venideros en el hemisferio norte se calcula por filtrado bajo o en función de la media cronológica, de forma que sólo se retiene la oscilación de baja frecuencia; se seleccionan por ordenador situaciones históricas similares y la anomalía en la altura de 500 hPa escogida del pasado se emplea para realizar la predicción;

- *Análisis de periodicidad*

En la predicción operativa del tiempo a largo plazo se obtienen algunos índices que pueden reflejar las características de la circulación atmosférica y se relacionan con el clima japonés. En ocasiones muestran una clara periodicidad, muy útil para elaborar predicciones del tiempo a largo plazo;

- *Análisis espectral*

Se emplea el modelo de predicción desarrollado por Akaike. El modelo actual emplea la autorregresión monovariante para establecer el modelo de predicción de mejor ajuste. Los principales espectros cronológicos se obtienen con ayuda de los criterios de información de Akaike (los criterios de información de Akaike se refieren a aquellos parámetros óptimos que se seleccionan mediante el método de la probabilidad máxima al establecer un modelo estadístico). Dichos parámetros se proyectan con el modelo de regresión. Si el espectro

tiene un valor grande, se tomará en consideración en las predicciones.

Los métodos anteriores se emplean simultáneamente en la predicción operativa del tiempo a largo plazo. La predicción final se obtiene por síntesis de los diversos resultados.

### **Predicción operativa de las lluvias de verano en China**

En China, la predicción de lluvias en verano (junio a agosto) es la misión más importante de la predicción a largo plazo. Todas las primaveras, los predictores del Centro Meteorológico de Beijing y de las oficinas meteorológicas provinciales se reúnen para mantener intensas discusiones acerca de la estación lluviosa anual. En abril, el Centro Meteorológico de Beijing publica una predicción de ámbito nacional para la estación de las lluvias, destinada al Gobierno, a los departamentos a los que atañe y a los servicios meteorológicos provinciales. Los distintos servicios regionales, centros meteorológicos y observatorios hacen lo propio para sus regiones respectivas. Estas predicciones son valiosas para el Gobierno y para los ministerios involucrados y de considerable utilidad para los usuarios.

La predicción operativa de las lluvias de verano en China se resume como sigue:

- Se definen tres modos principales de distribución de las precipitaciones;
- Se establece una relación entre esos tres modos, por un lado, y el anticiclón subtropical del Pacífico occidental y el anticiclón del Sur de Asia, por otro. Mediante el análisis se determina la anomalía o la desviación de la altura de 500 hPa para los tres modos de distribución de la precipitación. La investigación de la zona de altas presiones del sudeste asiático a 100 hPa es de gran ayuda: su posición más al oeste o más al este de lo normal afecta en gran medida a la localización del cinturón de lluvias;

- Se investigan las características de la circulación anticiclónica subtropical en los años de sequías o de inundaciones anormales, obteniendo así algunos índices útiles, por ejemplo: el índice de área del anticiclón subtropical del Pacífico occidental y su punto de cresta más al oeste. El llamado índice de área se refiere al área encerrada por la isohipsa de 5 880 m entre los 110° y los 180° E, mientras que el punto de cresta más occidental significa la longitud geográfica que la isohipsa de 5 880 m puede alcanzar en su extensión hacia el oeste;
- Se estudian las características de periodicidad y de persistencia en el cambio de intensidad y la transición estacional del anticiclón subtropical, en cuya predicción se emplearían;
- Se analiza la relación entre el anticiclón subtropical y los episodios de El Niño;
- Se estudian las características de los sistemas de circulación atmosférica extratropical: los centros de acción de la atmósfera tales como el anticiclón del sur de Asia (100 hPa), la altura geopotencial alrededor de las islas Aleutianas y la depresión de Islandia, tienen, todos ellos, alguna influencia sobre las lluvias de verano en China.

Se consideran también otros factores, como las condiciones térmicas por encima de la meseta de Qinghai y del Tibet. Los predictores analizan todos los factores y sistemas meteorológicos que pueden tener alguna influencia sobre las lluvias de verano.

### **Predicción estacional de temperaturas en los EE.UU.**

Livezey y Barnton dieron una descripción detallada de la predicción estacional de temperaturas en los EE.UU. mediante una técnica analógica que supone que, en el sistema climático, se dan episodios similares en los cambios estacionales. Por ejemplo, si el sistema aire-mar es semejante en dos otoños, se supone que tendrán condiciones análogas los dos respectivos inviernos. Así, se puede realizar una predicción para el invierno siguiente.

Para realizar con éxito una predicción analógica estacional, los datos de los estados climáticos previos a la estación que se quiere predecir deben cumplir dos condiciones: deben incluir todos los componentes climáticos que puedan describir el estado de la atmósfera; y deben constar de datos históricos en número

suficiente. La tabla II muestra los datos empleados en la predicción analógica en los EE.UU.

Los datos de la tabla pueden emplearse en la formación de un conjunto de series cronológicas para un determinado estado climático y ser analizadas posteriormente mediante una función ortogonal empírica, de forma que la información principal se pueda reducir a 12 series cronológicas o menos y que se pueda revelar la duración de la evolución del estado climático con menos series.

El predictando está formado por las temperaturas estacionales medias de 92 observatorios a lo ancho del país durante 35 años. Así, se dan 35 medias por estación que se clasifican en tres categorías, por encima, próximas y por debajo de la normal y se toman 12, 11 y 12 casos, respectivamente.

En predicción analógica se debe definir un índice que pueda reflejar analogía o antianalogía entre estados climáticos. El cuadrado de la distancia euclídea entre el estado climático que se va a predecir y otro estado climático observado en la misma estación histórica, se emplea como índice de medida de las predicciones analógicas.

En general, las predicciones analógicas se pueden realizar mediante índices analógicos o antianalógicos o mediante una combinación de ambos. Se puede obtener el cuadrado de la distancia euclídea de la estación que se va a predecir y lo mismo para una estación histórica dada que puede ser análoga o antianáloga. Cuando el producto de los valores de los factores de los estados climáticos en las dos estaciones es positivo, la última cae en la categoría analógica, y si es negativo, en la categoría antianalógica. Si las distancias de los tipos analógico o antianalógico se ordenan de manera ascendente, se pueden entresacar las estaciones análogas o antianálogas y realizar la predicción analógica. La manera más sencilla es realizar una predicción basándose en la estación más analógica que se deduzca de los registros históricos. En los EE.UU. se examina, igualmente, la probabilidad condicional de ocurrencia de cada una de las tres categorías de temperatura en cada estación. Y así se puede elaborar la predicción de la categoría de la temperatura para la estación siguiente, de acuerdo con las probabilidades condicionales calculadas.

### **Resumen**

Los métodos actuales de predicciones meteorológicas mensuales y estacionales incluyen, generalmente, los procesos siguientes: (a) seleccionar un predictando adecuado; (b) dividir las zonas de predicción; (c) reunir los datos útiles, históricos y en tiempo real, de los cuales se deducirán provi-

TABLA II  
Datos utilizados en la predicción estacional de temperatura en los EE.UU.

<b>Tipo</b>	<b>Zona</b>	<b>Intervalo de datos</b>	<b>Fuente</b>	<b>Proceso</b>	<b>Número de series</b>
Altura 700 hPa	Hemisferio N. extratropical	Oct. 1949–Nov. 1984	CAC	Media temporal y componente rotacional principal	0–7
Espesor 700–1 000	Hemisferio N. extratropical	Oct. 1949–Nov. 1984	CAC	Media temporal y componente rotacional principal	0–6
Temperatura superf. del mar	Zonas tropicales y extratropicales	Oct. 1949–Feb. 1985	COADS antes 1980 CAC después 1980	Media espaciotemporal	0–5
Temperatura del aire	EE.UU.	Oct. 1949–Feb. 1985	CAC	Media temporal y componente rotacional principal	0–5
Índice E+R*	Islas de Pascua y Rapa	Oct. 1949–Ene. 1984	CAC	Media temporal	0–1

\* Las sumas de las presiones normalizadas en superficie en las islas de Pascua y Rapa se usan para indicar la Oscilación del Sur

CAC = Centro de Análisis del Clima, EE.UU.

COADS = Conjunto global de datos oceánicos y atmosféricos (Programa de Investigación del Clima, NOAA, EE.UU.)

sionalmente posibles predictores alternativos; (d) seleccionar los predictores; (e) establecer la relación entre el predictando y los predictores; y (f) dar los resultados para la predicción. Debe señalarse que, aunque las maneras de realizar predicciones operativas mensuales y estacionales varían en sus detalles de un país a otro y de una región a otra, las predicciones se generan básicamente mediante los pasos susodichos.

## Discusión

Con la mejora continua de la modelización numérica dinámica, la PNT tendrá un papel cada vez más importante en la predicción estacional. Sin embargo, se puede adelantar que, todavía durante mucho tiempo, los métodos estadísticos empíricos seguirán siendo los más eficaces en este campo.

Es frecuente, al adoptar técnicas estadísticas, que un modelo elaborado, aunque esté bien acoplado a los datos históricos, no suministre una buena predicción, deduciéndose que la relación establecida es inestable. En tal caso, eliminar la inestabilidad es fundamental para realizar una buena predicción estacional mediante méto-

dos estadísticos empíricos. Hay dos factores determinantes: (a) debe existir una relación física entre los predictores seleccionados y el predictando, de forma que el modelo estadístico pueda tener una sólida base física y ser, así, más fiable; y (b) al diseñar un modelo se debe prestar mucha atención a una adecuada proporción entre el número de muestras y el número de predictores, debiendo ser aquél tan grande como sea posible mientras que, por el contrario, éste debe ser menor y no exceder de la décima parte del primero. En caso contrario, no se podrá establecer una relación estadística satisfactoria.

La predicción estacional es un problema científico difícil. Para progresar en este terreno son necesarios cuidadosos esfuerzos. Debe realizarse, sobre todo, una investigación sistemática de la evolución estacional de las circulaciones atmosféricas, para llegar a un conocimiento más profundo de los procesos a largo plazo en la variación estacional, indispensable para hacer una buena predicción. Por otra parte, para mejorar el nivel de precisión de la predicción estacional, deben introducirse los progresos realizados en los campos de la física y de la matemática.

