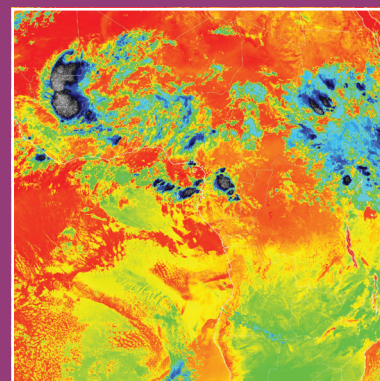


Predecibilidad más allá del límite determinista



por Brian Hoskins¹

En este artículo se cuestiona la idea tradicional de un límite determinista al considerar la posibilidad de que haya alguna capacidad predictiva en todas las escalas temporales que van desde horas a décadas. La discusión se encuadra en el problema de la predicción unificada tiempo-clima. Se pone el foco en fenómenos que evolucionan en las escalas temporales de interés y en la predecibilidad que tienen asociada, así como los sesgos producidos por condiciones de escalas temporales más largas.

¿Cómo se puede predecir más allá del límite determinista?

El título que me dieron para esta charla refleja la aparente contradicción entre el hecho de que cada vez se realizan más predicciones mensuales, estacionales y de mayor escala temporal y la idea de que la atmósfera es esencialmente impredecible más allá de las dos semanas. Lo último se basa en la teoría y surgió con el trabajo de Lorenz (1969). La sensibilidad a las condiciones iniciales descubierta por él y desarrollada en la teoría del caos implica que los inevitables errores en las condiciones iniciales tienen que influir con el tiempo en el flujo en todas las escalas espaciales. Desde el punto de vista de la turbulencia, se observa un decrecimiento relativamente lento de la energía en las escalas más pequeñas y esta incertidumbre en las escalas pequeñas afecta a los flujos en escalas más y más grandes de modo que todas las escalas reflejarán la incertidumbre en un tiempo limitado. Experimentos con modelos globales de alta resolución sugieren que el límite para la predicción determinista está en las dos semanas incluso para las escalas más grandes en la atmósfera.

Sin embargo hay indicaciones de fenómenos y estructuras que persisten más allá de lo esperado basándonos en los argumentos del caos y la turbulencia. Cada 26 meses

más o menos los vientos ecuatoriales en la estratosfera cambian de oeste a este cíclicamente. Los anticlones de bloqueo en latitudes medias tienden a persistir con pocos cambios en su estructura durante periodos que abarcan muchos ciclos de vida típicos de las borrascas y anticlones sinópticos. En esos casos, la dinámica atmosférica parece desempeñar un papel crucial para aumentar la predecibilidad y no para disminuirla.

La idea de la predicción determinista se basa en la predicción del tiempo en latitudes medias y se refiere a la determinación explícita del flujo a escala sinóptica. Nunca se ha esperado predecir cada chubasco convectivo: siempre se ha considerado la noción de su probabilidad de ocurrencia. En los últimos años se ha visto que las predicciones a cualquier escala deberían de ser probabilistas. Se han desarrollado sistemas de predicción por conjuntos basados en varias integraciones del modelo de predicción con diferentes condiciones iniciales que son posibles teniendo en cuenta el error del análisis de las observaciones. La inevitable aleatoriedad en la representación de los procesos subrejilla se imita añadiendo algo de ruido estadístico (p. ej. Slingo y Palmer, 2011). Para escalas temporales más largas se están empezando a utilizar distintos valores de los parámetros clave de las representaciones de los procesos subrejilla.

Estas técnicas pueden ser aplicadas en todas las escalas temporales para determinar la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos que evolucionan en las escalas temporales de interés y las características estadísticas de los fenómenos que tienen lugar en escalas menores. Desde los trabajos pioneros de Charney y Shukla (1981) se ha visto que condiciones en partes del sistema Tierra externas a la atmósfera, como la temperatura del agua del mar en los trópicos o la humedad de la superficie terrestre, pueden evolucionar lentamente o de una manera predecible. Es decir, son capaces de producir un sesgo en el comportamiento de la atmósfera y, por lo tanto, servir de base para contar con alguna capacidad predictiva. La variabilidad solar y las erupciones

¹ Instituto Grantham sobre el Cambio Climático, Imperial College London, Departamento de Meteorología de la Universidad de Reading

volcánicas podrían también proporcionar capacidad predictiva aunque las erupciones volcánicas durante el periodo de predicción podrían disminuir la precisión de las predicciones.

Aquí nos concentraremos en los fenómenos cuya evolución en la escala temporal de interés proporcionan esperanza de tener alguna capacidad predictiva. A menudo, el comportamiento de la atmósfera puede parecer ruido pero estamos buscando patrones de comportamiento: la música. La discusión se encuadra en el problema de la predicción unificada tiempo-clima ilustrado en la Figura 1. Fenómenos potencialmente predecibles ocurren en todas las escalas temporales. Cada escala temporal evoluciona en el contexto de escalas temporales más largas y condiciones externas que pueden sesgar su evolución. Los fenómenos de escalas menores que no pueden representarse explícitamente pueden estar parcialmente "sometidos" a las escalas que sí se representan, como en el caso de las zonas de convección dentro de un frente donde parte de su influencia en las escalas representadas puede ser determinada por las características de esas escalas representadas explícitamente. Al mismo tiempo pueden tener "libertad" en su localización y naturaleza de las distintas torres convectivas por lo que se requerirá algún tratamiento estadístico.

Como se indica en la Figura 1, la complejidad del sistema Tierra que se requiere para la predicción dependerá de la escala temporal de la predicción. Además de la atmósfera, la complejidad con que el océano, la superficie terrestre, la química atmosférica y la capa de hielo tienen que ser incluidos explícitamente dentro del sistema de predicción dependerá de la escala temporal que nos interese. Entender y mejorar la simulación y predicción

en una escala, puede servir para mejorar la predicción en escalas temporales más largas. Por ejemplo, la mejora de la predicción de eventos individuales de bloqueo en los últimos años ayudará a mejorar la simulación de su frecuencia y características durante el siglo XX mediante los modelos climáticos y, por tanto, dará más confianza para las proyecciones de cambios en el bloqueo para el final del siglo XXI.

Ejemplos de potencial de capacidad predictiva para distintas escalas temporales

Día 1 – Se ha mejorado mucho en el desarrollo de sistemas de predicción para el primer día a escala kilométrica anidados en modelos regionales o globales. Por ejemplo, la Oficina Meteorológica del Reino Unido ha anidado un modelo a 1,5 km que cubre el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte en varios miembros de un sistema por conjuntos basado en un modelo de 24 km para un caso de precipitación local extrema en octubre de 2008. El sistema de gran escala proporciona varias localizaciones para un frente y el sistema de escala fina pone de manifiesto que puede esperarse precipitación elevada en algún lugar de la región definida por el frente de gran escala. El desarrollo de un sistema de predicción por conjuntos de escala fina capaz de proporcionar capacidad predictiva es un desafío hoy día.

Semana 1 – En los últimos 30 años se ha progresado mucho en las predicciones a escala sinóptica en latitudes medias gracias a las mejoras en los modelos de predicción, las observaciones y los análisis. En los trópicos hay potencial de predecibilidad asociado a fenómenos que actualmente no están bien representados en los modelos de predicción. Por ejemplo, en los datos observados se ven ondas ecuatoriales acopladas con convección que

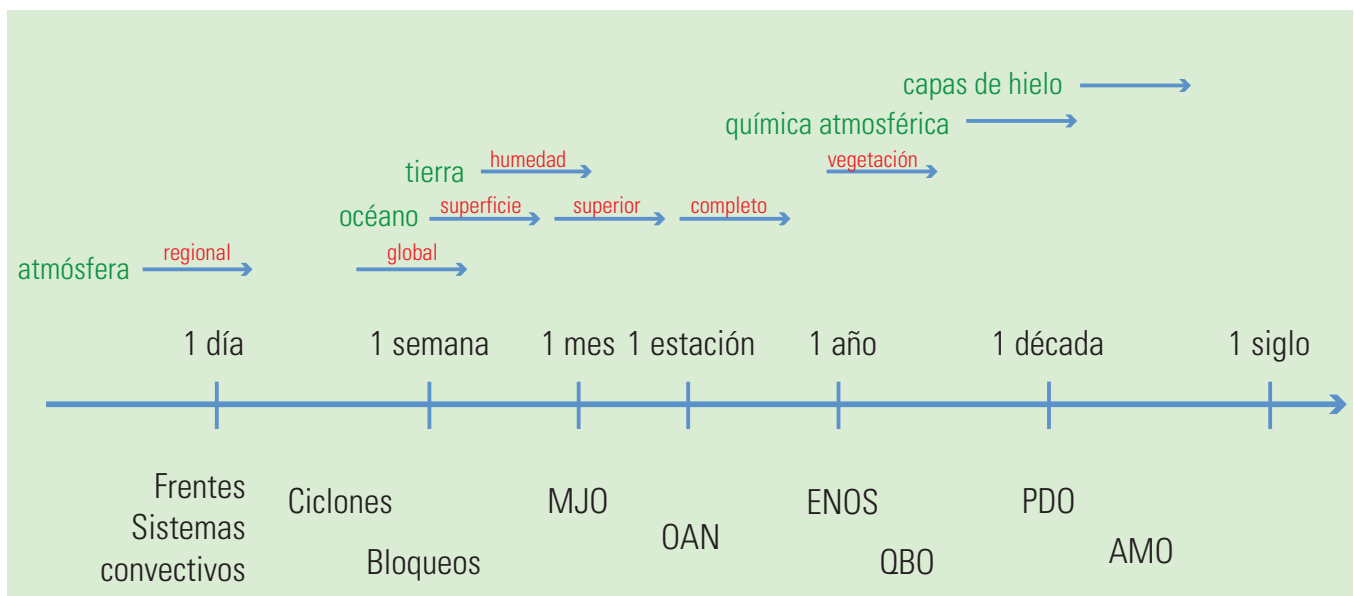


Figura 1 – El problema de la predicción unificada tiempo-clima. Las escalas temporales se indican a lo largo del eje central y debajo de él se señalan algunos de los fenómenos que ocurren en las diferentes escalas temporales. En la parte superior se indican los componentes del sistema Tierra que es necesario representar y la extensión en la que es necesario hacerlo. Para escalas temporales a la derecha de las flechas puede ser necesaria una representación aún más completa.



Deutscher Wetterdienst

Avances en la modelización y predicción unificada

presentan estructuras típicas, se mueven de una forma coherente y que evolucionan en escalas temporales de una semana.

1 semana a 1 mes – Casi todos los miembros del sistema de predicción por conjuntos de la Agencia Meteorológica Japonesa iniciados a mediados de diciembre de 2010 mostraron una ola de frío empezando a finales de diciembre y continuando hasta principios de enero de 2011 que realmente ocurrió. Las inundaciones en el noroeste de Pakistán estuvieron asociadas a una sucesión de eventos de grandes precipitaciones que tuvieron lugar desde julio a principios de agosto. Cada uno de los casos fue recogido por el modelo del Centro europeo de predicción a plazo medio con más de 10 días de antelación. En ambos casos, la capacidad predictiva estuvo asociada a los mismos fenómenos, la propagación de una onda de Rossby y un anticiclón de bloqueo. En el caso de invierno, la onda estaba presente en las condiciones iniciales y se propagó a lo largo del chorro subtropical antes de alcanzar la zona de Japón. Aquí la onda se extendió en latitud y se rompió para formar un anticiclón de bloqueo que persistió. En el caso de verano cada evento de precipitación fue iniciado por una vaguada en una onda que se propagó desde cerca del Reino Unido a lo largo de los oeste hasta el sur de un anticiclón de bloqueo sobre Rusia y que llevó a una ola de calor allí. Los casos de precipitación ocurrieron cuando la vaguada alcanzó el principio de un fuerte chorro cerca de Pakistán.

En ambos casos es la evolución predecible de los fenómenos lo que permite tener capacidad predictiva. Análogamente, la evolución de la Oscilación de Madden-Julian (MJO) promete capacidad predictiva significativa para los trópicos que se transmitirá a los dos hemisferios. Sin embargo, tal capacidad predictiva no se ha conseguido todavía debido a las limitaciones en la simulación de la MJO.

1 mes-estaciones – La bien conocida El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno asociado a la evolución acoplada del océano Pacífico tropical y la atmósfera. Ha sido la base de la capacidad predictiva en escalas temporales estacionales en los trópicos y, en mayor o menor medida, en latitudes más altas. Los vientos asociados con eventos MJO son importantes para la evolución de El Niño y, por tanto, una mejor simulación de la MJO podría llevar a una mejora en las predicciones de El Niño. Aunque más difícil que la predicción de El Niño, también hay esperanzas en poder predecir la Oscilación del Atlántico Norte (OAN). Ha habido indicaciones de predecibilidad debido a su interacción con la estratosfera y, más recientemente, debido al impacto del océano Ártico y de la cobertura de nieve en Asia. El impacto de la OAN atmosférica en el océano está claro pero el impacto inverso que podría ayudar a proporcionar predecibilidad es menos claro.

Algunas estaciones extremas como la ola de calor en Europa en verano de 2003 y el invierno frío 2009/10 no

fueron predichas pero ciertas simulaciones actuales de estos casos parecen esperanzadoras. Sin embargo, la prueba real será la predicción de estaciones extremas futuras.

1 año a 1 década – Varios fenómenos que son casi estacionarios en escalas de tiempo estacionales y que dan posibilidad de capacidad predictiva en esas escalas temporales pueden también dar capacidad predictiva en escalas de tiempo más largas debido a su evolución lenta y potencialmente predictiva. La OAN parece tener alguna persistencia en estas escalas temporales. La estratosfera tiene también escalas anuales, y quizás decenales, asociadas con cambios de composición persistentes. La evolución predecible de la actividad solar, mediante su impacto en la radiación de onda muy corta absorbida por la estratosfera, es probable que influya en la temperatura de esta región de la atmósfera. Están aumentando las evidencias de que estos cambios en la estratosfera pueden influir en las estadísticas del tiempo.

Se ha demostrado habilidad para predecir la temperatura de la capa más superficial del océano Atlántico Norte. En general, como se ha dicho antes, no está todavía claro que esto implique alguna predecibilidad para la atmósfera. Sin embargo, los ciclones tropicales están fuertemente influenciados por la temperatura del océano y se ha visto que hay capacidad predictiva para su frecuencia media en 5 años en el Atlántico Norte.

1 década a 1 siglo – En estas escalas temporales la tendencia asociada al incremento de los gases de efecto invernadero es importante y debe de dar capacidad predictiva. Hasta los últimos años el foco ha estado en los cambios en las variables medias pero está aumentando el interés en el posible impacto en fenómenos como el bloqueo o El Niño, o en patrones de variabilidad como la OAN. El impacto puede ser visto en una amplitud o frecuencia que cambian, o en una estructura que cambia.

Hay variaciones en la OAN en escalas temporales multi-decenales y hay fenómenos como la Oscilación Atlántica Multidecenal (AMO) y la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO) cuya evolución ocurre en estas escalas. Los modelos actuales pueden representar estructuras y su evolución, que se parecen algo a las de las AMO y PDO observadas. Cuando mejoren estas simulaciones y el comportamiento de la OAN se entienda mejor, es de esperar que estos fenómenos proporcionen alguna capacidad predictiva. Para comprobar esto se requerirán observaciones, análisis y métodos de inicialización adecuados. En el pasado estos fenómenos solían ser considerados como ruido que oscurecía la señal del cambio climático. En el futuro serán un componente importante de las proyecciones para décadas futuras.

Comentarios finales

El contexto que proporcionan las escalas temporales más largas y las condiciones externas, y los fenómenos que ocurren en cada rango de la escala temporal en

el problema de la predicción unificada tiempo-clima, proporcionan la esperanza de tener capacidad predictiva en todas las escalas temporales. La utilidad real de esta capacidad predictiva no será evidente para muchas escalas temporales antes de que la ciencia correspondiente haya sido desarrollada y las técnicas para usar las predicciones en aplicaciones concretas hayan sido exploradas. Creo que un aspecto crucial en la aproximación científica debe de ser poner el foco en los fenómenos y en su evolución: buscar y apreciar la música entre todo el ruido del sistema tiempo-clima. El desafío para nuestra ciencia es grande pero los beneficios para la sociedad pueden ser inmensos.

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a la OMM y a su Director General, Michel Jarraud, por invitarme a ofrecer la Conferencia de la OMI de 2011. Agradezco las valiosas aportaciones de muchos colegas como Jagadish Shukla, Tim Palmer, Julia Slingo, Tim Woollings, David Strauss, Roberto Buizza, Mike Blackburn, Nigel Roberts, Adam Scaife, Rowan Sutton, Jon Robson y Doug Smith. Se va a publicar un artículo científico completo basado en esta conferencia en el *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* con el título: "Predictability and the seamless weather-climate problem".

Referencias

- Charney, J. G. y J. Shukla, 1981: *Predictability of monsoons. Monsoon Dynamics*. Editores: Sir James Lighthill y R. P. Pearce, Cambridge University Press, pp. 99-109.
- Lorenz, E., 1969: The predictability of a flow which possesses many scales of motion. *Tellus*, 21, 289-307.
- Slingo, J. y T. Palmer, 2011: Uncertainty in weather and climate prediction. *Phil. Trans. R. Soc. A* 369, 4751-4767.