

lluvia está fuera de duda. En abril y mayo, también, el hecho de que podamos rastrear las precipitaciones según se mueven por la región significa que no corremos el riesgo de rociar los productos químicos sólo para que los lave un aguacero. Tenemos acceso a información práctica y utilizable directamente que no nos abandona con la lluvia.

Otras grandes cosechas también están utilizando ahora predicciones meteorológicas e imágenes de radar. El champán es célebre en todo el mundo. Los productores de champán, que muy a menudo tienen que tratar con el riesgo de las heladas de primavera, han solicitado muchísimo durante años las predicciones meteorológicas de cuándo llegan. Generalmente están contentos con los resultados.

Existen otros numerosos ejemplos. Los meteorólogos de todo el mundo están familiarizados, por supuesto con las aplicaciones a la agricultura, las actividades en el mar y el turismo. Para las cadenas de televisión, los de la información meteorológica son a



Etiqueta de una botella de Château d'Yquem (Fuente: Météo-France)

aumentar las ventas de los automóviles, motores, lubricantes y neumáticos que se ven también como ganadores.

En este punto, la rentabilidad de los servicios meteorológicos es absolutamente evidente. La pregunta ya no surge. En los países desarrollados, los Servicios Meteorológicos ofrecen cada vez más productos para los que hay claramente una demanda. Aunque el mercado está creciendo rápidamente, por supuesto, es limitado. Las predicciones meteorológicas siguen siendo principalmente un servicio estatal orientado a la seguridad. No obstante, ahora mucho más que hace diez años, se está en disposición de mostrar cómo pueden producir beneficios considerables para la economía de mercado.

menudo los espacios con la mayor valoración de telespectadores, y el tiempo para los anuncios alrededor de los mismos encabeza las tarifas más altas. En la realización de deportes tales como las carreras de coches, la información meteorológica más sutil puede suponer una gran diferencia para dar la victoria a una escudería de coches o a un piloto, y así

Calidad de la predicción, aplicaciones de la predicción y valor de la predicción: casos de predicciones estacionales en el sur de África

Por M. S. J. HARRISON¹ y N. E. GRAHAM^{2,3}

Calidad de la predicción es cualquier medida que evalúe el error de las predicciones cuando se las compara

con las observaciones: medidas de calidad bien conocidas son el error cuadrático medio (ecm) y el porcentaje de predicciones correctas. El valor de la predicción, por otra parte, es una medida del beneficio que se alcanza al usar las predicciones para cambiar acciones: si una predicción no se usa para cambiar acciones, entonces no tiene ningún valor. Una de las dificultades para calcular el valor de las prediccio-

¹ Met. Office, Bracknell, Reino Unido

² Centro de Investigación Hidrológica de San Diego, California, EE.UU.

³ Instituto Scripps de Oceanografía de La Jolla, California, EE.UU.

nes, y cualquier cambio de valor a medida que mejora la calidad de las mismas, ha sido el desarrollo de relaciones analíticas entre medidas de calidad y de valor. En este artículo se describe un nuevo método para abordar la relación entre calidad y valor.

Tanto la calidad como los costes/pérdidas (definidos más adelante) se miden mediante una tabla de contingencia de 2×2 . Para la calidad, se usa un método conocido como Características de Funcionamiento Relativas (CFR), del que se pueden encontrar todos los detalles en Stanski *et al.* (1989; cf. Swets y Pickett, 1982). Para cualquier suceso, en el que el mismo puede ser una situación de sí o no (tal como lluvia o no lluvia; sequía o no sequía; o temperaturas por encima o por debajo de la media), se puede medir la calidad usando:

| | | PREDICCIÓN | |
|-----------|----|---------------------|-------------------------|
| | | Sí | No |
| OBSERVADO | Sí | <i>Acierto</i> | <i>Fallo</i> |
| | No | <i>Falsa alarma</i> | <i>Rechazo correcto</i> |

Son posibles cuatro resultados, dependiendo de si el suceso está o no previsto y de si se produce o no. Si se produce y está previsto, entonces decimos que esa predicción concreta es un acierto. Si el suceso no está previsto pero se produce, entonces decimos que la predicción es un fallo, y así sucesivamente. Sumando los resultados de cada caja de la tabla para muchas predicciones, es posible calcular la tasa de aciertos como la proporción de sucesos observados que fueron previstos (es decir, aciertos/(aciertos + fallos)) y la tasa o índice de falsas alarmas como la proporción de ocasiones en las que no se produjo el suceso aunque estuviera previsto que sucediera (es decir, falsas alarmas/(falsas alarmas + rechazos correctos)). Los dos índices juntos caracterizan completamente el sistema de predicción en términos del suceso; cualquier estrategia de adivinación produce la misma tasa de aciertos que de falsas alarmas y el sistema de predicción tiene pericia si la tasa de aciertos supera a la de falsas alarmas. El cálculo de los índices de aciertos y de falsas alarmas para predic-

ciones deterministas es directo, siempre que se cuente con un archivo de predicciones lo suficientemente grande. Lo que hace al CFR especialmente atractivo desde un punto de vista meteorológico es que también se pueden calcular las tasas de aciertos y de falsas alarmas a partir de predicciones probabilísticas (incluidas las provenientes de los sistemas de conjuntos), aunque no podemos ofrecer aquí todos los detalles. De todas formas, un resultado importante que surge de tales cálculos es que, excepto para períodos de tiempo inferiores a, quizás, 48 horas, las predicciones probabilísticas casi siempre ofrecen más valor a las aplicaciones que las correspondientes predicciones deterministas.

También se usa una tabla de contingencia 2×2 en el modelo coste/pérdida de cálculo del valor de una predicción (Murphy, 1994). Si no se predice un suceso que tiene probabilidad de originar pérdidas, entonces el usuario no tomará ninguna medida de protección y no contraerá ningún gasto financiero para acometer esa acción. Si el suceso no ocurriera, el usuario estaría contento, pero si se produce, entonces el usuario sufre una pérdida. Por otra parte, el usuario puede proteger, con un coste, si se predice el suceso. Si el suceso no se produce, entonces el usuario tiene que soportar los costes de una protección innecesaria pero, si el suceso se produce como estaba previsto, el usuario se beneficiaría de la reducción de pérdidas. La posición se resume en la tabla siguiente.

| | | PREDICCIÓN | |
|-----------|----|--|---|
| | | Sí | No |
| OBSERVADO | Sí | Se producen pérdidas pero se mitigan mediante acciones de protección adecuadas | Se producen pérdidas totales que no se mitigan mediante acciones de protección |
| | No | Se corre con los costes de protección pero no se producen pérdidas | Ni pérdidas, ni costes: el resultado es el que cabría esperar de las actividades normales sin el suceso |

Los usuarios de información de predicción tienen que rellenar las cajas de esta tabla usando una variable respuesta adecuada, ya sea dinero, rendimiento de cosecha, números de pacientes, etc. Una vez hecho esto y realizados los cálculos CFR para el sistema de predicción usando el mismo suceso, es sencillo calcular el valor de dicho sistema para la aplicación concreta (en general, habrá que repetir el ejercicio para todos los sucesos y todas las aplicaciones). Se puede demostrar con facilidad que, para cualquier aplicación concreta, el valor aumenta de forma lineal con la calidad de la predicción según se ha medido con este sistema. En la práctica, puede que el cálculo no sea sencillo, ya

que los usuarios pueden tener dificultades para obtener datos de pérdidas por sucesos meteorológicos y costes de protección. Sin embargo, el sistema ofrece un método consistente mediante el cual los predictores y los usuarios pueden discutir, dentro de un marco común, el valor de las predicciones en una aplicación dada y los ajustes de valor a medida que cambia la calidad.

La prueba inicial de este método se realizó en el primer Foro Regional sobre Perspectiva Climática en África Meridional (SARCOF), celebrado durante el período comprendido entre octubre de 1997 y mayo de 1998. En la reunión final del Foro se entrevistó a distintos usuarios para que los predictores pudieran comprender con mayor detalle las necesidades de aquéllos, para que los usuarios pudieran darse cuenta de las limitaciones de las predicciones, y para poder obtener los cálculos preliminares del valor potencial.

Las predicciones que se usaron en el ejercicio abarcaban veinticinco años y fueron calculadas usando un modelo de circulación global. El modelo se usó como si las predicciones se hubieran obtenido en tiempo real si aquél hubiera estado disponible a lo largo de ese período de veinticinco años. El cálculo global obtenido de todos los usuarios entrevistados fue que el valor anual medio de estas predicciones en la región del sur de África es del orden de 10^8 - 10^9 \$ EE.UU. en una razón coste/beneficio de orden 20-200 basada en los costes marginales de ofrecer servicios climatológicos en la región. En este artículo solamente se tratarán los resultados de un único entrevistado que representa a una organización de ayuda internacional, aunque estos resultados son típicos. De todas formas, habría que observar que los valores de coste/pérdida son un tanto artificiales y que, aunque realistas, solo deberían tomarse a título indicativo.

A los usuarios se les formularon cuatro preguntas:

Pregunta 1 — ¿Qué suceso necesita que se pronostique?

La experiencia tanto en el SARCOF como en cualquier otro sitio es que a los usuarios esta pregunta les supone un desafío. No parece que hayan pensado siempre detalladamente en sus necesidades de predicciones

meteorológicas, contando con que el conocimiento de los sucesos meteorológicos tiene consecuencias sobre sus aplicaciones pero sin definición objetiva. Muchos usuarios del SARCOF, por ejemplo, necesitaban predicciones de sequía pero, sobre todo al principio, no podían definir la sequía de tal forma que permitiera su predicción (¡una definición que se dio era cuando el Embajador de los EE.UU. en un país declaró que había sequía!). A través de las conversaciones, todos los usuarios ofrecieron al final definiciones objetivas de

los sucesos que habían elegido, un ejercicio que no solo ofreció a los predictores una mejor percepción de las necesidades de los usuarios sino que también centró la atención del usuario en los asuntos de las predicciones importantes para su aplicación concreta.

Pregunta 2 — ¿Qué calidad de predicción necesita su aplicación?

Se pidió a los usuarios que definieran de forma subjetiva qué tasa de

aciertos mínima y qué tasa máxima de falsas alarmas del suceso pensaban que sería útil para sus aplicaciones. La cuestión centraba la atención del usuario en las limitaciones prácticas de la calidad de la predicción y también permitía discutir las opciones de contingencia en el caso de que fallara la predicción.

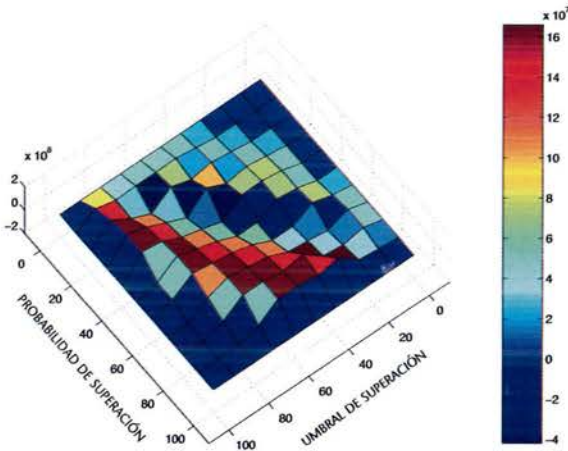
Pregunta 3 — ¿Qué costes y qué pérdidas implica su aplicación?

En otras palabras, se preguntaba a los usuarios que rellenaran las cifras de la segunda tabla lo mejor que pudieran.

El valor de la predicción se calculó de tres formas. La primera, preguntando:

Pregunta 4 — suponiendo unas predicciones del suceso con la calidad deseada, ¿qué valor espera que tengan las predicciones?

En segundo lugar, mediante el cálculo directo del valor a partir de las respuestas a las preguntas segunda y tercera. En tercer lugar, introduciendo directamente valores de la tabla de coste/pérdida en los resultados de la predicción probabilística a partir de las predicciones estacionales históricas usando el modelo de circulación global para una región entre, aproximadamente, 23° y 36° de latitud S y entre 15° y 32° de longitud E. Esta región abarca el sur de Namibia, el sur de Botswana, el extremo meridional de Mozambique y



Reducciones de coste: el ejemplo de gestión de desastres internacionales

todo Sudáfrica, Suazilandia y Lesotho. A lo largo del período de predicción, la correlación entre la precipitación prevista y la observada entre diciembre y enero en esta región es de 0,61.

En el caso de la aplicación de la organización de ayuda internacional, el suceso en cuestión era la sequía (Pregunta 1). Después de una larga conversación, el término "sequía" se interpretó inicialmente como el 10 por ciento más seco de los sucesos históricos. De todas formas, después de demostrar que los sistemas de predicción no tienen la suficiente calidad como para ofrecer un valor positivo usando esa definición, se cambió la definición al 20 por ciento más seco de los sucesos históricos, una cantidad para la que se obtuvo valor. Como respuesta a la Pregunta 2, el usuario creía que se necesitaba una proporción de aciertos mínima del 80 por ciento, pudiéndose tolerar una proporción de falsas alarmas máxima del 25 por ciento. La tabla de coste/pérdida (Pregunta 3) dio valores de 5 600, 7 000, 1 000 y 350 millones de \$ EE.UU., leída en el sentido de las agujas del reloj a partir del extremo superior izquierdo. Tomando estos datos como base, el valor de un sistema que diera las proporciones de aciertos y de falsas alarmas que pedía el usuario era, como promedio anual, de 90 millones de \$ EE.UU. El usuario calculaba el valor anual potencial en 40 millones de \$ EE.UU. (Pregunta 4). Usando las predicciones del modelo, se calculó el valor anual en 8 millones de \$ EE.UU. o en 167 millones de \$ EE.UU. si se modificaba la definición de sequía hasta el 30 por ciento más seco de los años.

También se puede calcular una superficie de valor para las predicciones que abarque todas las opciones para cualquier aplicación concreta usando este sistema de predicción particular. Estas opciones incluyen la probabilidad de predicción del suceso en el que el usuario toma medidas de protección (al lado de la parte izquierda del diagrama: se refiere al ejemplo de la ayuda internacional) y el valor umbral de sequía en el clima del modelo, aunque el valor umbral en el clima real se mantiene constante en el 30 por ciento de los años más secos (parte derecha). La superficie representa la diferencia (en ahorro) entre los costes medios anuales de funcionamiento que aumentan entre: (a) la estrategia de acción fijada más barata (es decir, asumiendo siempre que habrá sequía y preparándose para esa contingencia o no haciéndolo nunca); y (b) las predicciones de clima retrospectivas. En este escenario, la estrategia de acción fijada más barata es asumir que nunca hay sequía, lo cual tiene para la organización un coste medio anual asociado de funcionamiento de 2 470 millones de \$ EE.UU. En comparación, los costes medios anuales usando un sistema de predicción perfecto serían de 1 790 millones de \$ EE.UU.,

resultando un valor potencial máximo de 680 millones de \$ EE.UU. En el diagrama que utiliza las predicciones "reales", la región de máximos ahorros alcanzables se sitúa en una diagonal. De este modo, como es típico en tales cálculos, hay varias formas distintas de poder usar un sistema de predicción para obtener el máximo valor. En este caso, el coste neto mínimo usando predicciones climáticas es de 2 300 millones de \$ EE.UU., resultando unos ahorros anuales (un valor) de 167 millones de \$ EE.UU. o el 24,6 por ciento del valor obtenible con un sistema de predicción perfecto. De todas formas, es importante observar del diagrama que es bastante posible ganar menos del valor potencial máximo, o incluso perder dinero, si las predicciones en esta aplicación concreta se usan de forma inadecuada. Por lo tanto, en ciertas circunstancias puede que los usuarios critiquen un sistema de predicción por no ofrecer valor, cuando es el uso que ellos hacen del sistema el que está calibrado de forma incorrecta.

A través de todos los usuarios entrevistados, fue alentador encontrar una consistencia razonable entre las estimaciones de valor realizadas por los usuarios y las de los métodos más objetivos. Sin embargo, estos resultados indicaron también que o bien la calidad de la predicción era insuficiente, dada la tecnología actual de la predicción, o bien que las necesidades de los usuarios estaban demasiado fuertemente trazadas como para poder obtener valor en todas las aplicaciones. En estos casos, es necesario o bien (o a la vez): (a) mejorar la calidad de la información de la predicción; o (b) que los usuarios consideren si alternar estrategias para responder a la información de la predicción podría hacer más eficaz el uso de las actuales predicciones climáticas disponibles.

El sistema de estimar el valor de forma objetiva tiene sus limitaciones en su forma actual. Entre ellas se incluye el hecho de que el uso general de predicciones puede afectar a la estructura macroeconómica dentro de la cual se asienta la aplicación, lo que influye, a su vez, en el valor. Por ejemplo, si un único agricultor se cambia de forma correcta a cultivos resistentes a la sequía, entonces puede beneficiarse. Pero si hacen lo mismo todos los agricultores pueden provocar un exceso de producción que reduzca los precios. Una segunda limitación es que las relaciones entre los valores previstos y los resultados de las aplicaciones podrían no ser lineales. Siguiendo en el ejemplo agrícola, no hay una relación sencilla entre la cosecha y la precipitación. Aunque la cosecha aumenta de forma general con la lluvia, se pueden obtener mayores cosechas en años secos, siempre que la distribución temporal de la precipitación sea favorable, y menores cosechas en años en los que lluvias por encima de la media originan inundaciones.

También existen otras limitaciones, pero numerosos SMHN están adoptando este método como un primer paso para obtener un modo analítico de relacionar la calidad de la predicción con el valor y está siendo útil para calcular el valor de la predicción para aplicaciones concretas. En particular, el método se está usando con éxito en el Proyecto de Demostración de Cadena Alimenticia del SIPC, cuyo informe está disponible a través de la página Web del SIPC (en la página de la OMM). El método también se basa en el nuevo sistema experimental de Verificación Normalizada de la OMM para Predicciones a Largo Plazo (para más detalles véase la página de la OMM —enlace a la VMM—).

Referencias

- MURPHY, A. H., 1994: Assessing the economic value of forecasts: an overview of methods, results and issues. *Met. Apps.* 1, 69-73.
- SWETS, J. A. y R. M. PICKETT, 1982: *Evaluation of Diagnostic Systems - Methods from Signal Detection Theory*. Academic Press.
- STANSKI, H. R. *et al.*, 1989: Survey of common verification methods in meteorology. OMM/TD N.º 358, 114 pp.

Agradecimientos

Los autores quieren dar las gracias a todos los que amablemente ofrecieron información en el desarrollo de este estudio.

Enfoque sistémico a la predicción del tiempo y al impacto de los productos meteorológicos sobre la sociedad

251

Por Winnifred A. MUTULI*

Introducción

Debido a su papel crucial en las economías nacionales de los países en vías de desarrollo, la comunidad agrícola constituye un importante grupo de usuarios de la información meteorológica. La comprensión e interpretación de la información climática tiene una repercusión directa en la productividad agrícola y en la seguridad alimentaria, aunque hay poco o ningún intercambio de información entre los SMN y el sector agrícola. Los desastres relacionados con el tiempo siguen alterando las economías de la mayoría de los países en vías de desarrollo, y a menudo encuentran a los gobiernos sin estar preparados.

Este análisis concibe el Centro Meteorológico Nacional (CMN) como sistema focal, y se basa en el impacto de los productos meteorológicos sobre los usuarios finales analizando el flujo de información desde el sistema hacia el entorno. Se pone de manifiesto el acoplamiento con las organizaciones y grupos de usuarios analizando las interacciones con el entorno del sistema, relacionándolas con los sistemas y controles de realimentación resultantes de las interacciones, y controlando el flujo de información de retorno al sistema. Proporciona un "gran cuadro" o visión holística

de las tareas implicadas en la localización de los problemas a los que se enfrentan los SMN individuales en la provisión de servicios.

Enfoque sistémico a la predicción del tiempo por los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN)

El enfoque sistémico es una herramienta para resolver problemas que observa con amplitud éstos al ofrecer soluciones. Se define un sistema como un todo que no puede dividirse sin pérdida de sus características esenciales y que debe estudiarse en su conjunto. Sus partes se explican en términos del todo, pero nunca al revés. El todo es siempre mayor que la suma de las partes individuales.

Schoderbek y otros (1975) definen un sistema como un conjunto de objetos junto con las relaciones entre ellos y sus atributos relacionados entre sí y con su entorno, de tal manera que forman una totalidad o un todo. Describe las organizaciones como sistemas jerárquicos complejos con ciertas características comunes.

Mintzberg (1979) describe la estructura de una organización como el conjunto de caminos que dividen el trabajo en distintas tareas, uniendo al mismo tiempo de forma coordinada las partes con el fin de lograr un objetivo.

* NOAA/NWS/IA