

bios potenciales en los proyectos de planificación urbana. Las evaluaciones bioclimatológicas basadas en la información climática y el resultado de los modelos de capa límite acoplados a modelos de balance energético de los seres humanos de importancia fisiológica, pueden proporcionar una información valiosa a los planificadores urbanos, a las autoridades, a los profesionales de la salud, y a otros responsables de la toma de decisiones. Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales pueden facilitar los medios para proporcionar el tipo de servicios climáticos que sirvan tanto para las decisiones económicas como para el confort que se derive para las futuras poblaciones urbanas.

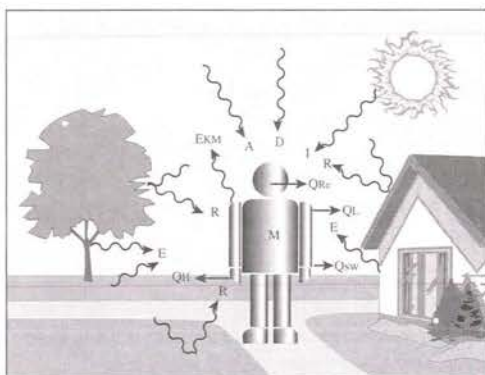
Sistemas operativos de aviso calor-salud

Existen pruebas bien documentadas de que el tiempo caluroso contribuye a incrementar la morbilidad y la mortalidad en grandes áreas urbanas. En algunas ciudades se han utilizado sofisticados sistemas de vigilancia y aviso, en lo referente a calor-salud, con el fin de reducir las repercusiones que pueda producir el "tiempo nocivo". Sin embargo, la mayoría de las ciudades cuentan con pocos medios para hacer frente a estos problemas sanitarios. Los sistemas deficientes o la carencia de ellos no son una excepción, sino la regla. En los EE. UU., las ciudades de Filadelfia, Washington y Phoenix han adoptado sistemas de vigilancia-aviso en lo referente a calor-salud, que se basan en la respuesta real de los humanos a los factores meteorológicos. En Filadelfia, donde el sistema lleva funcionando dos veranos, el Departamento de Salud Pública ha estimado que durante el tórrido verano de 1995 se salvaron aproximadamente 300 vidas.

Estos sistemas consisten en un procedimiento basado en la climatología sinóptica, que identifica las masas de aire de "alto riesgo" asociadas históricamente con incrementos de la mortalidad humana. La invasión de una masa de aire puede predecirse hasta con 48 horas de antelación mediante el uso de los productos de datos estadísticos orientativos realizados por los modelos. Para cuando se prevé la entrada de una masa de aire de riesgo

alto, se ha desarrollado un algoritmo que estima el número de muertes relacionadas con el calor esperado para cada ciudad. El Departamento de Salud de la ciudad usa esta información para poner en marcha los procesos de mitigación de los efectos con la intención de reducir los riesgos de la mortalidad relacionada con el calor. Se han hecho pruebas sobre lo que ya ha pasado que sugieren que el algoritmo es un buen predictor de la mortalidad debida al calor.

La OMM, en colaboración con la OMS, está considerando recomendar que se desarrollen sistemas de este tipo en todo el mundo, especialmente para que se adapten a las mayores urbes de los países en desarrollo, donde la mortalidad debida al calor es una amenaza en aumento para poblaciones de crecimiento rápido. Se considera que una aplicación más amplia de las técnicas bioclimatológicas actuales puede salvar vidas humanas en episodios meteorológicos extremos.



Balance térmico de un ser humano-modelo alemán Klima-Michel: M = producción de calor; Q_H = flujo de calor sensible; Q_{SW} = flujo de calor latente; Q_L = flujo de calor de la humedad; Q_{RE} = flujo de calor de la respiración (sensible y latente).

Balance radiativo: I = radiación solar directa; D = radiación solar difusa; R = radiación reflejada; A = radiación de la atmósfera; E = emisión del entorno; E_{KM} = radiación desprendida de la superficie del ser humano

SERVICIOS CLIMÁTICOS Y PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Por W. BAIER*

Introducción

El clima afecta a todos los sectores económicos, pero la agricultura, la silvicultura y la pesca (a todas las cuales atiende la agrometeorología) son los más sensibles y

Asociado Honorario de Investigación en el Centro Oriental de Cereales y Semillas Oleaginosas, de Agricultura y Alimentación Agraria, Canadá

realmente vulnerables a la variabilidad climática. Los elementos climáticos y sus valores extremos controlan muchos aspectos de la biología vegetal y animal y, por tanto, el potencial de los ecosistemas. A su vez, su productividad afecta a las condiciones socioeconómicas de las sociedades, tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados. Además, las consecuencias de la variabilidad climática no sólo las sienten los productores de alimentos o de fibras, sino también quienes apoyan a las industrias que suministran servicios. Estos efectos sobre las actividades agrícolas y forestales son mayores en los países en desarrollo de África, Asia y América Latina, donde estos sectores no tienen una infraestructura bastante flexible para soportar las fluctuaciones climáticas anormales.

La OMM, en el marco de su Programa de Meteorología Agrícola y mediante su Comisión de Meteorología Agrícola (CMAg), analiza los efectos que el clima y la variabilidad climática tienen sobre la agricultura y la silvicultura. Con sus conocimientos científicos y técnicos, la CMAg trata una gran variedad de aplicaciones agrometeorológicas en materias como el clima y la producción de alimentos y de fibras, la silvicultura y la pesca (sólo en sus aspectos alimenticios).

Tradicionalmente, los registros climáticos de largo plazo se han utilizado mucho para planificar el uso del suelo, las operaciones agrícolas y la producción agropecuaria, así como para administrar los recursos forestales. Cualquiera predicción, como la de las cosechas que se esperan o las de datos fenológicos, se basan en las condiciones meteorológicas medias pasadas, actuales y previstas. El proyecto de Servicios de Información y Predicción Climáticas (CLIPS) de la OMM está tendiendo un puente entre estos registros meteorológicos pasados y el tiempo que se espera en un futuro próximo, en función de las anomalías climáticas. Esta información es básica para formular estrategias tendientes a mitigar las consecuencias socioeconómicas que el cambio climático tiene sobre la producción de alimentos y de fibras.

Aplicaciones agroclimáticas

La producción de alimentos depende todavía del clima y del tiempo meteorológico, a pesar de los avances impresionantes que la tecnología agrícola ha tenido en los últimos decenios. De hecho, la demanda de aplicaciones agroclimáticas ha ido creciendo para emplearlas tanto en la investigación como en la práctica de la vigilancia y predicción de los cultivos, la protección de las plantas, la diversificación de cultivos, la planificación de un uso sostenible del suelo, la administración forestal y la producción pesquera. Las estadísticas indican que, para la mayoría de las economías nacionales, de todos los servicios meteorológicos que se les suministran, los más



La aplicación de la información agrometeorológica ha ayudado a transformar en prósperos arrozales esta zona del oeste de Java, Indonesia, antes totalmente seca y propensa a la sequía

Fotografía: FAO/Pexton Johnson

importantes son los que se dedican a la agricultura. La gran variedad de aplicaciones meteorológicas con las que se apoya la producción de alimentos se puede clasificar como sigue:

Planificación a largo plazo (gobiernos y organismos de planificación)

El análisis de los datos climáticos de largo plazo relativos a la producción agraria y a otra información pertinente se ha convertido en una herramienta eficaz de investigación para planificar el uso del suelo y para formular estrategias tendientes a aumentar la producción de alimentos con distintas condiciones climáticas. Por ejemplo, el Grupo Interorganismos de Biometeorología Agrícola (FAO/UNESCO/OMM) realizó estudios agroclimatológicos en muchos países para evaluar el potencial agrícola de las zonas y, aplicando el conocimiento y la información meteorológicos, climatológicos e hidrológicos, logró que aumentase la producción agraria. Los resultados de estos estudios se publicaron como Notas Técnicas de la OMM para las zonas siguientes: zonas áridas y semiáridas del Oriente Próximo (Nº 56), zona semiárida africana al sur del Sáhara (Nº 86), tierras altas del este de África (Nº 125), regiones montañosas de los

Andes (Nº 161), y trópicos húmedos del sudeste asiático (Nº 179).

Opciones a plazo medio (organismos de planificación, industrias y agricultores adelantados)

Las opciones a plazo medio o las predicciones agroclimáticas se ocupan de evaluar las condiciones actuales de los cultivos y de la humedad del suelo basándose en las observaciones y en los productos resultantes de los modelos meteorológicos para los cultivos, pero tienen en cuenta las condiciones probables y medias del clima del futuro basándose en el análisis de los datos climáticos.

Entre esas opciones a plazo medio están:

- predecir los momentos óptimos de realizar las labores del campo, de sembrar, de cosechar, y las fases de crecimiento de los cultivos; por ejemplo, las predicciones del comienzo de la floración de los árboles frutales o de las fechas de maduración de los frutos son importantes para la toma de decisiones de gestión relativas a tomar medidas de protección contra las heladas, a las necesidades de laboreo o a la comercialización;
- predecir la cantidad y calidad de las cosechas de los cultivos principales (trigo, arroz, cebada, avena, maíz, patatas) es importante por el papel clave que tienen en el suministro mundial de alimentos y por su importancia económica en el comercio internacional; las predicciones para otros cultivos (soja, lino, remolacha azucarera, palma de aceite, fruta fresca) son importantes para el suministro regional y local de alimentos y de fibras;
- predecir la producción láctea, de carne o de lana (Nueva Zelanda) o predecir la calidad y la cantidad de leche (Inglaterra y Gales) permite tomar decisiones adecuadas (transporte, comercialización) que conducen a un sistema mucho más eficaz "fuera de la puerta de la granja".

Decisiones prácticas a corto plazo (agricultores y comunidades agrícolas)

Las decisiones prácticas a corto plazo se refieren a un período que va desde pocas horas a pocos días y se basan en las condiciones de los suelos y de los cultivos y en las predicciones meteorológicas. Estas aplicaciones tratan de diversas medidas para mejorar la producción agraria y para alejar de la producción los peligros. Son ejemplos:

- el calendario de riegos se fija basándose en las hojas de los balances hídricos, teniendo en cuenta la precipitación diaria y las estimaciones de la evapotranspiración potencial para decidir cuánta agua

dedicar a los cultivos y cuándo;

- las enfermedades y plagas de las plantas se controlan mediante una gestión integrada de las plagas, los pesticidas e insecticidas se esparcen basándose en la meteorología, para reducir el número de veces que se rocían y así minimizar los costes de fumigación y la contaminación del aire y del suelo;
- los cultivos se protegen contra los daños que causa el viento mediante protecciones y cinturones de barrera, contra las pérdidas de calor y de humedad mediante invernaderos y cubiertas plásticas, contra los daños por heladas mediante plantas que protejan, o aire caliente, o aire mezclado o aspersión de agua;
- a los animales se les protege contra el calor, el frío, el viento y la radiación excesivos procurándoles abrigo, y contra las zoonosis suministrando los parámetros meteorológicos apropiados (por ejemplo, el índice de humedad) para predecir la propagación de las enfermedades;
- los recursos forestales se administran adecuadamente si entre las actividades de gestión forestal están el fumigar insecticidas desde aviones, hacer clasificaciones acerca del peligro de incendios forestales y utilizar fuegos de control.

El cambio climático y la agricultura

El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC de las NU) reconoce explícitamente en su Artículo 2 la importancia de los ecosistemas naturales, de la producción de alimentos y del desarrollo económico sostenible.

Hay dos procesos relacionados con el clima que afectan a la producción de alimentos:

- el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera; y
- el cambio climático originado por el efecto invernadero.

Las concentraciones de CO₂, que están aumentando y que en el año 2030 llegarán a ser de 460 ppmv (partes por millón en volumen), puede que tengan efectos beneficiosos sobre la productividad fotosintética neta y sobre el rendimiento en el uso del agua, sobre todo en el caso de las especies C₃, entre las que están los principales alimentos habituales de hoy en día, como el trigo, el arroz y la soja. Las plantas C₄, como el maíz, el sorgo, el mijo y la caña de azúcar, que suelen darse en climas templados, responden menos a los niveles mayores de CO₂ que las especies C₃. Por tanto, es posible que el aumento de CO₂ beneficie a la agricultura tropical húmeda y tem-



Tradicionalmente, los registros climáticos de largo plazo se han utilizado mucho para planificar el uso del suelo, las operaciones agrícolas y la producción agropecuaria. En las tierras áridas de Ladakh, en la región himalaya de la zona más septentrional de la India, las prácticas agrícolas han permanecido sin cambios durante siglos. Sus habitantes se ganan una exigua subsistencia que podría peligrar si disminuyen las precipitaciones

plada más que a la de los trópicos semiáridos. El otro aspecto de los cambios de clima producidos por el CO_2 , es que pueden cambiar la temperatura, la precipitación, la insolación y la cobertura nubosa, lo que puede influir en la productividad de animales y plantas. El Segundo Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos en el Cambio Climático (IPCC) [1,2] prevé un aumento de la temperatura media mundial en superficie para el año 2010 de unos 2°C respecto del año 1990, como el valor "que refleja mejor" la sensibilidad climática. Los cambios de las temperaturas regionales pueden diferir notablemente del valor medio mundial. Se confía más en las previsiones de las temperaturas que en los cambios hidrológicos.

En los últimos años, el método del "marco hipotético" se ha empleado mucho para calcular el efecto probable del cambio climático sobre la agricultura, tomando como base de referencia la producción de 1990. La mayoría de los estudios han utilizado supuestos $2 \times \text{CO}_2$, basándose en los productos de los modelos de la circulación general. Éstos están ahora disponibles para una red de puntos de rejilla de $1^\circ \times 1^\circ$ que muestra el cambio simulado en los promedios diarios o mensuales de las variables climáticas (temperatura, precipitación y cobertura nubosa) entre las condiciones de equilibrio $1 \times \text{CO}_2$

(día de hoy o clima base) y $2 \times \text{CO}_2$ (futuro).

El informe de 1995 del IPCC prevé que las productividades de la agricultura y la silvicultura aumentarán en algunas zonas y disminuirán en otras. Es muy probable que cambie la distribución del suelo productivo, con lo que en algunas regiones mejorarán las cosechas pero en otras se producirán pérdidas importantes.

Producción de alimentos

Aunque la producción mundial de alimentos se podría mantener similar a la producción que se toma como base de referencia, podría haber consecuencias graves por las grandes diferencias a escala regional y local, incluso en las latitudes medias. En particular, están en riesgo de pasar hambre muchos de los pueblos más pobres del mundo, algunos que viven en zonas subtropicales y tropicales, y otros que dependen de sistemas agrícolas aislados en las regiones semiáridas y áridas. Muchas de estas poblaciones de gran riesgo se encuentran en el África subsahariana, en el sur, el este y el sudeste asiáticos, en las zonas tropicales de América Latina y en algunos estados insulares del Pacífico.

Ciertas regiones que actualmente son exportadoras netas de cereales podrían resultar también afectadas al disponer de menos agua para los cultivos, y por tanto ver

reducido su potencial productivo como resultado de los cambios climáticos. Cualquier disminución de la producción de estas regiones podría afectar notablemente a los futuros precios mundiales de los alimentos y a las actuaciones comerciales. Entre estas regiones están el sur de Europa, el sur de los EE. UU., partes de Sudamérica y el oeste de Australia. El riesgo mayor para la agricultura, tanto a nivel regional como mundial, lo plantea el cambio climático que se traduce en mayor frecuencia de sequías.

Producción ganadera

Para la producción ganadera los efectos más importantes del clima son los que recibe indirectamente a través de los cambios en la calidad y cantidad de alimentos que se producen y de las variaciones en la frecuencia de plagas y enfermedades. El cambio climático puede afectar a la producción de ganado porque cambien los precios de los granos y la productividad de las dehesas y pastizales. Están sobre todo en peligro los sistemas de pastoreo, porque adoptan las nuevas tecnologías a un ritmo muy lento.

Producción forestal

Los bosques no se adaptan rápidamente, y las desviaciones de los parámetros climáticos respecto del óptimo del ecosistema forestal debilitan a los árboles. Las respuestas de los bosques al clima y a su variabilidad son diversas. Es probable que, como consecuencia del cambio climático previsto, los bosques boreales experimenten pérdidas irregulares y a gran escala de árboles vivos. Se espera que los efectos del clima y del uso del suelo sobre la cantidad de productos de los bosques templados sean relativamente pequeños. Está previsto que en las regiones tropicales se disponga de aproximadamente la mitad de productos forestales, por causas no climáticas relacionadas con las actividades humanas. Puede que durante el siglo próximo el suministro mundial de madera sea cada vez más insuficiente, debido tanto a factores climáticos como no climáticos.

Producción pesquera

Los efectos positivos del cambio climático (tales como estaciones de cría más largas, menor mortalidad invernal y crecimientos más rápidos en las latitudes altas) se pueden ver contrapesados por factores negativos, como los cambios de las pautas reproductoras habituales, de las rutas migratorias y de las relaciones con el ecosistema. Se espera que la producción pesquera de los mares del mundo permanezca igual, pero los efectos principales se sentirán a los niveles nacional y local. Lo más importante es que las consecuencias del cambio climático interactúen con la pesca excesiva generalizada, con la reducción de las zonas de cría y con la extensa contaminación cos-

tera y próxima a la orilla.

Evaluación de los efectos

Los problemas importantes a los que se enfrentan la agricultura y la producción de alimentos por razón del calentamiento mundial (efecto invernadero reforzado) son distintos según las diferentes zonas de latitud. El calentamiento climático alarga e intensifica notablemente la estación de cría en los climas marítimos fríos. Entre las zonas más amenazadas están las de clima de tipo mediterráneo. En estas zonas, y en otras semiáridas y áridas, disminuiría la precipitación, y podrían reducirse apreciablemente las productividades agrícola y ganadera. Una causa importante de variabilidad climática en las zonas templadas se puede vincular hoy día a los cambios de la circulación y de la temperatura del océano, siendo el más conocido el fenómeno *El Niño*/Oscilación Austral (ENOA), que tiene un gran efecto sobre la temperatura. Las fases alta y baja de la Oscilación Austral actúan acentuando las anomalías climáticas en muchas zonas como el norte de China, Etiopía, la India, el sur de África, Australia, Indonesia, el Pacífico tropical y Brasil. La fase baja (*El Niño*) produce sequías generalizadas.

Los ecosistemas agrícolas y forestales afectan también a las emisiones de gases invernadero y, a través de ese mecanismo, indirectamente al clima. En los años 80 han supuesto alrededor del 23% del equivalente total en CO₂ de las emisiones de gases invernadero. Los cálculos actuales indican que las actividades agrícolas suponen alrededor del 14% del equivalente en CO₂ de las emisiones de gases invernadero procedentes de emplear combustibles fósiles en las máquinas agrícolas; del CO₂ que se emite al cultivar el suelo y quemar la biomasa; del metano del arroz; de los rumiantes; del estiércol, la biomasa y el óxido nitroso producidos en los cultivos; de la quema de biomasa y combustibles fósiles; y del uso de fertilizantes. Hoy hay tecnologías que podrían reducir el ritmo de crecimiento de las emisiones. También se podría centrar la reproducción de animales y plantas en las especies que se adaptan mejor a la variabilidad climática y a los cambios en el suministro de alimentos. Los agricultores pueden aprovechar también los cambios climáticos variando el calendario de siembra de sus cultivos o el de sus actividades ganaderas, a fin de ajustarse mejor a la estación. El control de las plagas y enfermedades es lo más importante para preservar la adaptación de los cultivos y de los ganados al clima. Esto, al igual que la gestión del riesgo de incendios, reduce también la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales.

Perspectiva general

Se han investigado ampliamente los efectos potenciales del cambio climático en la producción agrícola. Por suer-

te, hay buenas fuentes de información y son fácilmente accesibles. El IPCC ha estudiado y evaluado la bibliografía mundial relativa al cambio climático y a sus consecuencias en diversos sectores económicos, entre ellos la agricultura [1,2]. De las actividades de la CMAg, incluidas las relativas al clima y a la producción de alimentos, se informa en las Notas Técnicas de la OMM, en los Informes de la CMAg, numerados, y en publicaciones no numeradas. En la publicación OMM/DT N° 440 se documenta la historia de la CMAg. En la novena reunión de la CMAg se creó un grupo de trabajo para estudiar los efectos del clima en la agricultura, incluyendo los bosques, y los efectos de la agricultura y los bosques en el clima. El informe de este grupo de trabajo "Variabilidad Climática, Agricultura y Silvicultura" [3] y el informe de seguimiento "Variabilidad Climática: Agricultura y Bosques" [4] son las referencias más actuales sobre este tema en el mundo.

Muchas publicaciones e informes de distintos investigadores e instituciones del mundo entero tratan del cambio climático y de sus consecuencias. La mayoría de ellos se citan habitualmente en "Meteorología Agrícola y Silvicultura. Revista Internacional" [5]. Como Apéndice II a la "Guía de Prácticas de Meteorología Agrícola" de la OMM [6], se ofrece una lista de publicaciones periódicas de interés para los meteorólogos agrícolas. El Sistema de Aplicaciones Climáticas de Referencia, de la OMM, (CARS-FOOD) es una fuente útil de información. Hay muchos estudios excelentes sobre los efectos del cambio climático en la agricultura mundial [7]. Está bien documentado [8] el gran ámbito de aplicación de las oportunidades y los riesgos meteorológicos y climáticos con respecto a los sectores económicos importantes, incluyendo la agricultura.

"Clima y Seguridad Alimenticia" [9] sirve como ejemplo de libro que presenta un tratamiento amplio del clima, de la variabilidad climática y de la producción de alimentos. El prólogo contiene un mensaje de esperanza para el futuro que es simbólico para este artículo del *Boletín de la OMM*.

La buena noticia es que la información agroclimática, cuando se usa de forma sistemática y coordinada, puede ayudar a mantener y a estabilizar la producción de alimentos, a pesar de las fluctuaciones del tiempo y del clima.

Referencias

- [1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996: *Climate Change 1995—Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report. Cambridge University Press.
- [2] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996: *Climate Change 1995. IPCC Second Assessment Report*. Cambridge University Press.
- [3] OMM, 1994: *Climate Variability, Agriculture and Forestry*. OMM-N° 802. Technical Note n° 196, Geneva, Switzerland. 279 pp.
- [4] OMM (in preparation): *Climate Variability: Agriculture and Forests*. OMM-N° 841. Technical Note n° 199, Geneva, Switzerland.
- [5] ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS: *Agricultural Meteorology and Forestry—An International Journal*. Amsterdam, The Netherlands.
- [6] OMM, 1981: *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. OMM-N° 134, Geneva, Switzerland.
- [7] PERRY, M., 1990: *Climate Change and World Agriculture*. Earthscan Publications Limited, London. 167 pp.
- [8] MAUNDER, W.J., 1986: *The Uncertainty Business—Risks and Opportunities in Weather and Climate*. Methuen, London and New York. 420 pp.
- [9] INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1989: *Climate and Food Security*. Manila, Philippines. 602 pp. □

Regale una suscripción al Boletín de la OMM

¿Por qué no regalar, especialmente en los países en vías de desarrollo, a un amigo, a un colega o a un familiar que trabaje en meteorología, en hidrología o en climatología, o que se interese por ellas, una suscripción de un año al *Boletín de la OMM*?

Los precios de suscripción por un año son:

**Correo de superficie: 52 francos suizos
Correo aéreo: 72 francos suizos**

Envíe el nombre y la dirección del receptor, indicando el idioma deseado (español, francés, inglés o ruso), junto con su transferencia, al Secretario General, Organización Meteorológica Mundial, apartado de correos 2300, CH-1211, Ginebra 2, Suiza.