

MAAS, S. J. and P. C. DORAISWAMY, 1996: Integration of satellite data and model simulations in a GIS for monitoring regional evapotranspiration and biomass production. *Proc. National Center for Geographic Information and Analysis*. Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Monitoring, Santa Fe, NM.

MARACCHI, G., V. PERARNAUD and A. D. KLESCHENKO, 1999: *Applications of geographic information systems and remote sensing in agrometeorology*. International Workshop on Agrometeorology in the 21st Century, Needs and Perspecti-

ves, Accra, Ghana. February 1999, WMO, Geneva.

SIVAKUMAR, M. V. K., U. S. DE, K. C. SINHA RAY and M. RAJEEVAN, 1998: User requirements for agrometeorological services. *Proc. of an International Workshop*. Pune, India. November 1997.

WEISS, A., L. VAN CROWDER and M. BERNARDI. 1999: *Communicating agrometeorological information to farming communities*. International Workshop on Agrometeorology in the 21st Century, Needs and Perspectives, Accra, Ghana. February 1999, WMO, Geneva. □

METEOROLOGÍA AGRÍCOLA: EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN

Por J. L. MONTEITH*

Antecedentes históricos

Para el aprovechamiento de sus recursos, la agricultura es mucho más dependiente de la meteorología que los demás sistemas biológicos tales como la silvicultura y la pesca. Desde que el hombre comenzó a cultivar los campos y a criar ganado, los agricultores y ganaderos comprendieron que la meteorología durante la época de crecimiento establece un límite superior a la producción, que depende principalmente de la radiación solar y de la lluvia. De hecho, este límite rara vez se alcanza, debido a la temperatura adversa o al impacto de enfermedades y patógenos con ciclos vitales que también dependen del tiempo.

Los primeros agricultores tuvieron que aprender de la experiencia la manera de maximizar las cosechas en una buena temporada y de minimizarlas en una mala. La sabiduría que adquirieron fue pasando de generación en generación y, eventualmente, quedó registrada en sencillos manuales de agricultura. En el siglo I a. C., un agrónomo chino, Fan Sheng-Chi, dejó escrita una relación de sus experiencias que se han traducido al inglés bajo el título de *An Agriculturalist Book of China* (Shih, 1974). Esta obra contiene muchas aplicaciones prácticas sobre el tema identificadas muchos siglos después como "meteorología agrícola". Por ejemplo, se aconsejaba a los agricultores compactar la nieve con rodillos en el invierno y al comienzo de la primavera para aumentar el agua almacenada en el

suelo después de fundirse la nieve. Esta primera etapa descriptiva de la meteorología agrícola dominó la materia durante siglos y todavía estaba vigente cuando, en 1898, Edward Mawley, Presidente de la Real Sociedad Meteorológica de Gran Bretaña, pronunció su discurso presidencial: "Influencias de la meteorología en la producción agrícola y hortícola". Dijo: "Hay pocas ciencias tan interrelacionadas como la meteorología, la agricultura y la horticultura" (Mawley, 1898) aunque las conexiones que identificó eran casi exclusivamente cualitativas.

El siglo XX

Doce años después de Mawley, otro Presidente con mentalidad agrícola, Henry Mellish, también se refirió al impacto de la meteorología sobre las cosechas y, de nuevo, apenas si trató de establecer relaciones cuantitativas entre la gestión, el tiempo y la productividad (Mellish, 1910). Sin embargo, el surgir de la meteorología agrícola como ciencia no estaba muy lejos. R. H. Hooker, Presidente durante 1921/22, abogó por la utilización de la estadística para correlacionar la producción con las variables meteorológicas. Afirmó: "Hay una gran cantidad de trabajo por hacer antes de que podamos determinar el efecto de un cambio dado en cualquier fenómeno en cualquier período dado del crecimiento de la planta, hasta la producción última de la cosecha" (Hooker, 1921). En una observación más positiva, indicó que "recientemente, unos pocos autores europeos... han realizado contribuciones al tema, y las cuestiones sobre la "meteorología agrícola"

* Meteorólogo Subjefe, Departamento de Agricultura de EE. UU. Washington D. C.

Distribución de artículos en la revista de meteorología agrícola y forestal

Volúmenes Fechas Artículos totales Campo	1-9 Dic. 64-junio 72 187		80-91 Junio 96- junio 98 185	
	Núm.	%	Núm.	%
Clima	5	2,7	4	2,4
Microclima				
Campo	35	18,5	27,1	3,9
Invernaderos	3	1,6	8	4,7
Estabulación	3	1	0	0
Almacenamiento de productos	0	0	0	0
Cosechas				
Crecimiento	2	1,1	12	7,1
Producción	1	0,5	1	0,6
Desarrollo	1	0,5	4	2,4
Temperatura	16	8,6	7	4,2
Radiación	12	6,4	14	8,3
Intercambio de CO ₂	2	1,1	10	4,3
Balance hídrico	39	20,8	41	24,4
Pestes y enfermedades	8	4,3	1	0,6

están empezando a atraer la atención, especialmente en Italia". Las comillas en meteorología agrícola recuerdan que era un nuevo término a principios de 1920, introducido para cubrir un campo de investigación que inicialmente se basaba en el análisis estadístico más que en los mecanismos.

En el período 1920-1960, la meteorología agrícola y la materia, íntimamente relacionada, de la micrometeorología estableció sus raíces y floreció fundamentalmente en Europa, América del Norte, Australia, China y Japón. Se dispuso de nuevos instrumentos para las medidas del medio ambiente físico tanto de las cosechas y del ganado y sus respuestas a dicho medio ambiente. Sin embargo, inicialmente aparecieron pocos libros de texto importantes aparte del *Das Klima den Bodennahen Luftschicht* (1927), de Geiger, que aún hoy es una buena introducción al tema, aunque tiene una tendencia más hacia la silvicultura que hacia la agricultura. Rudolf Geiger falleció en 1981 aunque la quinta edición, con material nuevo, se publicó póstumamente (Geiger et al., 1995).

Meteorología agrícola y forestal

En 1968, Elsevier lanzó la revista internacional *Agricultural Meteorology*, que floreció y, en

1984, se convirtió en *Agricultural and Forest Meteorology* (en adelante denominada AFM). Muchos de los primeros artículos eran característicos de las fases descriptivas y estadísticas de la meteorología agrícola pero, ya hace tiempo que han sido sustituidos por trabajos experimentales de primer orden y por estudios de modelización. El cuadro siguiente contiene datos extraídos de (a) los primeros nueve volúmenes de la AFM desde el lanzamiento de la revista en diciembre de 1964 hasta junio de 1972; y (b) desde junio de 1966 a junio de 1988. Estos períodos contienen unos 190 artículos cada uno.

Como índice del crecimiento de la materia durante los últimos 34 años, el promedio de publicaciones aumentó desde los dos mensuales inicialmente hasta el 7,7 mensual en la actualidad. El primer número, fechado en marzo de 1964, comenzó con artículos describiendo los orígenes y el trabajo que por entonces desarrollaba la OMM y, en concreto, su Comisión de Meteorología Agrícola (CMAg). El primero de éstos, "Meteorología agrícola internacional", fue escrito por Milton Blanc de Arizona y L. P. Smith de la Oficina Meteorológica del Reino Unido y presidente de la CMAg (Blanc y Smith, 1964). El segundo, de O. M. Ashford (1964) era "Asistencia técnica en meteorología agrícola". El artículo

estaba ilustrado con una fotografía de "un técnico midiendo la radiación sobre un campo en plena producción" –de hecho, el autor del artículo, estaba asignado por la OMM al Servicio Meteorológico de Israel para evaluar cómo podrían analizarse mejor las series largas de medidas de la evaporación–.

Los títulos de los artículos publicados en la AFM a lo largo de los años revelan los campos en los que se ha realizado la mayoría de los trabajos publicables y los modos en que han variado con el tiempo las prioridades de la investigación. Los principales temas y tendencias pueden resumirse del siguiente modo:

- El impacto de la meteorología en el rendimiento de las cosechas constituyó la parte principal de los artículos en los dos períodos con una fuerte tendencia hacia el balance hídrico y la evaporación en climas templados (aproximadamente el 40 por ciento). Las implicaciones fisiológicas del aumento de las concentraciones del dióxido de carbono han recibido cada vez más atención durante el período abarcado.
- Los estudios microclimáticos de campo constituyen prácticamente el 20 por ciento de los artículos. El descenso de esta proporción con el paso del tiempo se ha equilibrado con un aumento de los artículos que estudian la física de los microclimas del efecto invernadero.
- En contraste con la literatura sobre el dióxido de carbono, la AFM sorprendentemente ha publicado pocos artículos sobre la manera en que los incrementos globales de la temperatura es probable que (a) aumenten la proporción del crecimiento de las cosechas en muchos entornos; aunque (b) aumente la proporción del desarrollo reduciéndose la temporada de crecimiento de ciertas cosechas; y (c) aumenten las proporciones de infestación a causa de plagas y enfermedades.
- Unos pocos artículos sobre los aspectos microclimáticos de la estabulación se publicaron en los primeros números pero recientemente no ha aparecido ninguno. De cualquier modo, la respuesta del ganado al estrés climático ha recibido escasa atención.
- El microclima de los productos almacenados, que es un asunto particularmente importante en los trópicos, no se trata en ninguno de los períodos.
- El interés inicial por el desarrollo de los instrumentos ha quedado sustituido por el entusiasmo sobre la modelización del crecimiento y rendimiento de las cosechas, tema que representa prácticamente un quinto de los artículos en los números recientes. La elaboración de estos modelos conlleva la combinación de muchos algoritmos de los procesos fisiológicos y el impacto de los factores medioambientales sobre el ritmo de los procesos. Generalmente, los valores de los parámetros del modelo se extraen de distintas fuentes, un procedimiento que con frecuencia no es válido por dos razones; primera, se presupone que la información procedente de distintas fuentes es compatible pero la incompatibilidad es normalmente difícil de detectar y su impacto sobre el resultado del modelo es complicado de cuantificar; segunda, la incertidumbre de los parámetros de entrada se ignora casi invariablemente con la consecuencia de que los resultados del modelo también se presentan como si estuvieran libres de errores. Las pruebas de campo de los modelos, sobre todo en una gama de climas, son, por lo tanto, fundamentales para establecer la validez de un modelo aunque pueden encontrarse ejemplos relativamente poco rigurosos en estas comprobaciones en los artículos sobre este tema. En algunos casos, las predicciones de los modelos se ajustan bien a las mediciones. Por ejemplo, Hammer *et al.* (1998) estimó con éxito las diferencias regionales de las cosechas de cacahuetes en varios lugares de Australia. Por el contrario, el modelo de trigo de invierno de Landau *et al.* (1998) falló claramente a la hora de predecir el rendimiento de las cosechas en el Reino Unido. Igualmente, amplias variaciones se han demostrado en los rendimientos de las cosechas que los distintos modelos predicen para un cultivo en concreto como el arroz (Matthews *et al.*, 1995) o cuando las entradas climáticas de un modelo de cosecha se toman a

partir de los resultados de distintos modelos de la circulación general (por ejemplo, Seino, 1995).

Otras fuentes

Un análisis similar en el *Handbook of Agricultural Meteorology* editado por Griffiths (1994) revela un mayor énfasis en el crecimiento y rendimiento de las cosechas y en la relación entre la meteorología y el estrés en los animales. Por el contrario, se hace poco hincapié en el balance hídrico. Sin embargo, la diferencia más importante entre las dos fuentes es que Griffiths dedicó un tercio de su análisis al impacto del tiempo y el clima en la toma de decisiones, la gestión y la economía. Como este importante campo prácticamente no se trata en los artículos de la AFM, resulta apropiada su inclusión en el *Handbook* de Griffiths.

Dos reuniones internacionales, copatrocinadas por la OMM, se centraron en los cultivos tropicales que habían recibido escasa atención por parte de los meteorólogos antes de la fundación de los centros internacionales de investigación agrícola. En 1982, en Hyderabad, India, el Instituto Internacional para la Investigación de las Cosechas en los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) celebró un simposio internacional sobre la agrometeorología de Shorghum y Millet (Virmani y Sivakumar, 1984). A éste le siguió una reunión similar en 1985 sobre la agrometeorología de Groundnut (Sivakumar y Virmani, 1986). Completando estas dos publicaciones, el Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia y otros han publicado recientemente la *Agrometeorology of Multiple Cropping in Warm Climates*, en el que Baldy y Stigter (1997) conjugan abundantes medidas tropicales en sistemas físicamente complejos.

Una antigua fuente de información son los *Agroclimatological Methods*, que son los documentos de trabajo de un simposio de la UNESCO celebrado en Reading, Reino Unido, en 1966. Dan una visión general de la situación hace 30 años, frente a la cual se puede evaluar el progreso en campos específicos. Resulta útil leer la introducción de Austin Bourke a "The aims of agrometeorology". Tras expresar su insatisfacción por las definiciones contemporáneas de la meteorología agrícola, establece su propia definición de la forma siguiente:

La tarea del agrometeorólogo es aplicar cada experiencia meteorológica importante para ayudar al agricultor a utilizar de la manera más efi-

caz su entorno físico, con el objetivo fundamental de mejorar la producción agrícola, tanto en cantidad como en calidad... El meteorólogo agrícola puede ser útil, sólo en la medida en que inspire al agricultor a organizar y activar sus propios recursos para beneficiarse del asesoramiento técnico.

Parece improbable que Austin Bourke estuviera satisfecho de encontrar tanto énfasis en la experimentación y en la teoría que aparece en los siguientes números de la AFM y tan poco en ayudar a los agricultores a ser más productivos y más eficientes. Por el contrario, la lista de publicaciones de la OMM seleccionadas por la Organización como de interés para la agrometeorología* revela un interés especial en la amplia respuesta de la meteorología a cosechas concretas y en el impacto de las plagas y enfermedades sobre las cosechas y animales. Estos temas resultan claramente apropiados para la rama agrícola de la OMM debido a su preocupación por las múltiples maneras en que la meteorología afecta al crecimiento, la salud, la producción y, por último, al suministro de alimentos.

Referencias

- ASHFORD, O. M., 1964: Technical assistance in agricultural meteorology. *Agric. and Forest Meteor.* **1**, 14-21.
- AUSTIN BOURKE, P. M., 1968: Introduction: the aims of agrometeorology. En *Agroclimatological Methods: Proceedings of the Reading Symposium*. UNESCO. París.
- BALDY, C. y C. J. STIGTER, 1997: *Agrometeorology of Multiple Cropping in Warm Climates*. Institut National de la Recherche Agronomique. París, Francia, Oxford e IBH Publishing Co., Nueva Delhi, India y Science Publ. Inc., Enfield, EE. UU.
- BLANC, M. L. y L. P. SMITH, 1964: International Agricultural Meteorology. *Agric. and Forest Meteor.* **1**, 3-13.
- GEIGER, R., 1927: *Das Klima der Bodennahen Luftschicht*. Vieweg, Braunschweig.
- GEIGER, R., R. H. ARON y P. TODHUNTER, 1995: *The Climate Near the Ground*. Vieweg, Braunschweig, Alemania.
- GRIFFITHS, J. F., 1994: *Handbook of Agricultural Meteorology*. Oxford University Press, Oxford.

* *Catálogo de Publicaciones de la OMM*, 21-25. El catálogo es gratis previa petición. También está disponible en la página de Internet de la OMM: <http://www.wmo.ch> (Ed.).

- HAMMER, G. L., T. R. SINCLAIR, K. J. BOOTE, G. C. WRIGHT, H. MEINKE y M. J. BELL, 1998: A peanut simulation model. Model development and testing. *Agron. J.* **87**, 1085-1093.
- HOOKE, R. H., 1921: Forecasting the crops from the weather. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **47**, 75-99.
- LANDAU, S., R. A. C. MITCHELL, V. BARNETT, J. J. COLLS, J. CRAIGON, K. L. MOORE y R. W. RAYBE, 1998: Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. *Agric. and Forest Meteor.* **89**, 85-99.
- MATTHEWS, R. B., M. J. KROPPF, D. BACHELET, H. H. VAN LAAR, 1995: Modeling the impact of climate change on crop production in Asia. CAB International, Wallingford, Oxon, Reino Unido.
- MAWLEY, E., 1898: Weather influences on farm and garden crops. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **24**, 57-82.
- MELLISH, H., 1910: Some relations of meteorology with agriculture. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **36**, 77-92.
- SEINO, H., 1995: Implications of climate change for crop production in Japan. En: *Climate Change and Agriculture: Analysis of Potencial International Impacts*. American Society of Agronomy, Special Publication No. 59, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, EE. UU.
- SHIH, Sheng-Han, 1974: An Agriculturalist Book of China, Traducción al inglés de Fan Sheng-Chih Shu, Science Press, Pekín, China.
- SIVAKUMAR, M. V. K. y S. M. VIRMANI (Eds.), 1986: *Agrometeorology of Groundnut*. ICRISAT, Hyderabad, India.
- VIRMANI, S. M. y M. V. K. SIVAKUMAR (Eds.), 1984: *Agrometeorology of Sorghum and Millet*. ICRISAT, Hyderabad, India.



TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN AGROMETEOROLÓGICA

Por A. WEISS¹, L. VAN CROWDER² y M. BERNARDI³

Introducción

Tanto directa como indirectamente, las nuevas tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) tendrán una influencia espectacular en nuestras vidas. Internet, la tecnología de los satélites y los sistemas de información geográfica son ejemplos evidentes de las TIC que han cambiado la forma de desarrollar nuestras actividades diarias. Datos e información sobre una cantidad casi infinita de temas están a nuestra disposición de forma inmediata en Internet con sólo presionar un botón. Nuestro objetivo en este artículo es tratar sobre los métodos de transmisión de la información agrometeorológica, que consiste en difundir y evaluar la informa-

ción, así como proporcionar ejemplos de estos procesos. Dada la naturaleza dinámica de las TIC, algunos de los ejemplos que aquí figuran pueden quedar obsoletos en poco tiempo, mientras que se desarrollarán y aceptarán nuevas aplicaciones que ahora resultan inimaginables. Al final, concluimos planteando y respondiendo a algunas cuestiones críticas sobre la difusión de la información agrometeorológica en el futuro. Como anexo figura una relación representativa de las páginas de Internet que contienen información agrometeorológica no tratada en este artículo (véase página 436).

La información agrometeorológica es parte de un ciclo que se inicia con el conocimiento y la comprensión científica y termina con la evaluación de la información. Los procesos intermedios son la obtención de los datos, su transformación en información útil y la difusión de dicha información. Mientras que el conocimiento y la comprensión científica traspasa las fronteras nacionales, los restantes componentes del ciclo pueden diferenciarse entre los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo. La causa principal de estas diferencias está en los recursos humanos, financieros y naturales. Para que la información resulte útil, debe de ser exacta, pun-

¹ Escuela de Ciencias de Recursos Naturales, Universidad de Nebraska, Lincoln, EE. UU.

² Funcionario Superior, Grupo de Comunicación para el Desarrollo, Servicio de Extensión, Enseñanza y Comunicación, División de Investigación, Extensión y Formación Profesional, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia

³ Funcionario de Agrometeorología, Servicio del Medio Ambiente y de Recursos Naturales, División de Investigación, Extensión y Formación Profesional, FAO, Roma, Italia