

# LA VIGILANCIA METEOROLOGICA MUNDIAL Y EL TRIGO

Por G. W. ROBERTSON\*

Probablemente la mayoría de los meteorólogos consideran la Vigilancia Meteorológica Mundial como un programa puramente meteorológico. Fundamentalmente sirve como fuente de información para la preparación de mapas sinópticos y predicciones meteorológicas, así como una protección bajo la cual se pueden realizar las investigaciones meteorológicas a escala mundial, tales como el Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP) y su Experimento Tropical en el Atlántico (GATE). Actualmente parece bastante probable que la información básica del sistema mundial de observación de la VMM se utilizará como orientación en un asunto relacionado con la subsistencia humana que supone muchos millones de dólares: la producción mundial de alimentos.

Esta aplicación de la VMM puede parecer demasiado ambiciosa, pero el desarrollo actual y los progresos alcanzados en este campo, particularmente en lo que se refiere a la producción y abastecimiento mundial de trigo, son tales que esta predicción puede ser una realidad en un futuro no muy lejano. El objeto de este artículo es poner de manifiesto lo necesario que está llegando a ser dicha aplicación.

**T A B L A I**

## Situación mundial del trigo (principales exportadores)

*Promedios del quinquenio 1967/68 — 1971/72*

(Millones de toneladas métricas)

Nación	Producción	Consumo nacional	Explotación	Reserva al final del año agrícola		
				Promedio	1972/73 <sup>(1)</sup>	1973/74 <sup>(2)</sup>
U. S. A. ...	40,7	20,5	17,9	20,9	11,6	5,7
CEE* ...	31,9	30,0	5,2	7,5	6,6	6,0
Canadá .....	15,2	4,6	10,5	20,9	9,9	8,1
Australia ...	9,9	2,6	7,5	4,1	0,3	0,5
Argentina ...	6,1	4,3	1,9	0,7	0,1	0,7
TOTAL .....	103,8	62,0	43,0	54,1	28,5	20,4

(Fuente de información: *International Wheat Council Reports*)

(1) Provisional (2) Prevista

\* Comunidad Económica Europea.

(\*) Al escribir este artículo, el Sr. Robertson estaba actuando como consultor de la División de Aplicaciones Especiales del Medio Ambiente del Secretariado de la OMM.

## *Estado mundial de la alimentación*

Bajo el punto de vista de la alimentación, el mundo se encuentra en una situación extremadamente delicada. El Sr. Lester R. Brown del Consejo de Desarrollo Exterior, escribiendo en el *Wall Street Journal* (10 de octubre de 1973), atribuía esto a la desaparición de dos reservas de la mayor importancia: las enormes cantidades de grano almacenadas antes de 1972 (*Tabla 1*), y a las extensiones de terrenos de barbecho, principalmente en EE. UU. Las reservas de grano almacenado han alcanzado actualmente su nivel más bajo de los últimos 20 años y la mayoría de los terrenos de barbecho, particularmente en los Estados Unidos de América, han vuelto a dedicarse a la producción.

Esta delicada situación se ve aún más acrecentada al haberse alcanzado el mayor índice de consumo de alimentos de todos los tiempos a causa del incremento de población y al aumento de riqueza en muchas naciones en vías de desarrollo. Estos hechos se reflejan en la tendencia descendente durante 25 años en el balance entre el abastecimiento mundial de trigo y el consumo (*Figura 1*). Los rasgos más sobresalientes en este balance, aparte de la tendencia descendente, son el índice de excedentes alcanzados en 1968/69\*, el déficit en 1970/71, cuando grandes extensiones de terreno dejaron de emplearse para la producción de trigo, y el déficit máximo alcanzado en 1972/73 a consecuencia del tiempo adverso en muchas partes del mundo.

A pesar del tiempo adverso en muchas zonas, los rendimientos y la producción total mundial de trigo han estado subiendo durante el último cuarto de siglo y para 1973/74 se prevé que lleguen a un nivel nunca alcanzado. Sin embargo, se espera que el balance mundial de trigo continúe cerca o por debajo de la línea de tendencia descendente (*Figura 1*).

## *Efectos a gran escala del tiempo*

Las consecuencias derivadas de todos estos factores se combinan para hacer que la existencia de épocas de escasez, como resultó tan evidente en la situación de la alimentación mundial de hace años, dependa ahora más que nunca de las condiciones del tiempo. La permanente vulnerabilidad del trigo ante las condiciones meteorológicas sobre extensas zonas queda bien reflejada por las recientes cifras de producción de la URSS, EE. UU. y Australia.

La fuerte disminución que experimentó la producción en la URSS durante 1972 se debió a un duro invierno, seguido del calor y la sequía durante la época de cultivo. La producción total estuvo en 13,9 millones de t por debajo de los 99,7 millones de t del precedente máximo de 1970, una reducción del 14 por ciento resultante de una escasa superficie de siega y de una baja cosecha que sólo llegó a 1470 kg ha<sup>-1</sup>. La producción en 1973 se recobró notablemente, alcanzando el mayor índice de todos los tiempos con 107,0 millones de t atribuibles a una cosecha récord estimada en unos 1600 kg ha<sup>-1</sup> y a un récord de superficie segada estimada en unos 66,5 millones de hectáreas.

---

(\*) Esto comprende las cosechas del hemisferio norte, recogidas en 1968, y, para el hemisferio sur, las recogidas a finales de 1968 y principios de 1969.

Las cosecha de trigo en Australia también sufrió un retroceso debido a la sequía en 1972/73. El rendimiento medio sólo fue de 840 kg ha<sup>-1</sup> frente a los 1507 kg ha<sup>-1</sup> en 1966/67, 1370 kg ha<sup>-1</sup> en 1973/74, y al promedio del último quinquenio de 1150 kg ha<sup>-1</sup>.

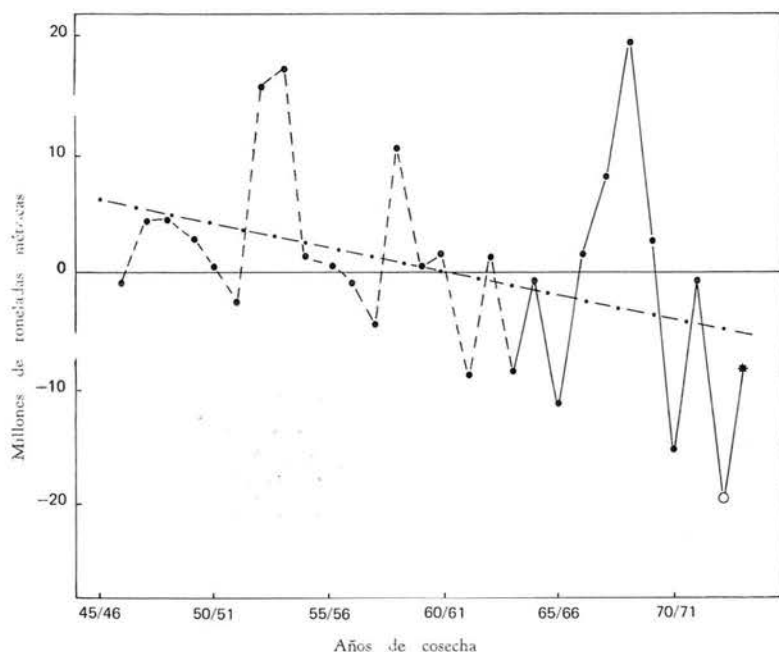


Figura 1.—Tendencia en el balance mundial del trigo (= abastecimiento — consumo) según se deduce de las siete mayores zonas de exportación: U. S. A., Canadá, CEE, Australia, Argentina, España, Suecia (Fuente de estos datos: *International Wheat Council Reports*).

Nota: — Incluidas las naciones de la CEE o provisional  
 ..... Incluida sólo Francia \* prevista  
 - - - Tendencia general

En EE. UU., donde se produce más de la mitad del trigo que se exporta en el mundo (Tabla 1), tuvieron lugar dos importantes sequías, una en 1961/62 cuando el rendimiento medio fue de 1326 kg ha<sup>-1</sup> en contra de un rendimiento esperado de 1460 kg ha<sup>-1</sup>, y la otra en 1967/68 cuando el rendimiento medio fue de 1597 kg ha<sup>-1</sup> frente a un rendimiento esperado de 1800 kg ha<sup>-1</sup>.

Tomando un nivel medio de utilización de tierra y de superficie sembrada, las pérdidas en la producción de trigo debidas al tiempo adverso en cada uno de estos casos se estima de la siguiente manera: para la URSS en 1972/73, 16,3 millones de t; para EE. UU. en 1967/68, 7,3 millones de t y en 1961/62, 4,2 millones de t y para Australia en 1972/73, 2,8 millones de t. Estas pérdidas debidas a factores meteorológicos constituyen una proporción sustancial del promedio mundial anual del comercio de exportación de trigo de 43 millones de t (Tabla 1).



### *Información precisada por los expertos en planificación*

Resulta obvio que aquellos que están en los puestos de planificación y dirección de la distribución y transporte del trigo necesitan, con la mayor antelación posible, información concerniente a la demanda y producción. Teniendo en cuenta la precaria situación actual de la alimentación, es lógico que ahora dichos dirigentes y expertos en planificación esperen un retraso en la información del orden de sólo un día o dos en lugar de contentarse con retrasos de semanas o varios meses.

La información anticipada sobre la producción de las cosechas es necesaria con fines tanto nacionales como internacionales. Con fines nacionales dicha información resulta útil para: planificar las medidas de emergencia en los casos de insuficiencia en la producción de alimentos; tomar las medidas adecuadas para la distribución de los excedentes cuando estos se produzcan; administrar las reservas nacionales de alimentos, dirigiendo las importaciones, exportaciones y sus cambios; tomar las decisiones sobre la política a seguir en la producción nacional de alimentos; concertar acuerdos internacionales sobre el comercio de alimentos y tomar las medidas apropiadas para su almacenaje y transporte.

Con fines internacionales la mayor aplicación sería dirigir las medidas relacionadas con la propuesta de la FAO sobre Política de una Seguridad Mínima Mundial de Alimentación\*, de acuerdo con las siguientes líneas de acción: controlando las entradas y salidas de las reservas en las unidades de almacenaje; planificando con adelanto lo relativo a los programas de ayuda mediante alimentos; dirigiendo los sistemas de transporte de alimentos; y tomando las decisiones oportunas para la distribución adecuada de las materias estratégicas para la producción de trigo tales como la energía y los fertilizantes.

### *Exigencias climáticas del trigo*

Las exigencias climáticas del trigo son bastante bien conocidas, así como también lo es su comportamiento frente a los cambios diarios del tiempo atmosférico. Estos conocimientos hacen factible realizar modelos de rendimiento/tiempo con el fin de poder hacer estimaciones del rendimiento de las cosechas basadas en las condiciones meteorológicas.

El trigo común (*T. aestivum*) se adapta, gracias al desarrollo de numerosas variedades, a una amplia gama de condiciones ambientales. Esta adaptabilidad se debe fundamentalmente a la gran variedad de genes que la especie ha heredado de sus antiguos antecesores.

El trigo se da generalmente en las partes del mundo que tienen un tipo de clima templado. También se pueden encontrar condiciones igualmente favorables para la perfecta existencia del trigo en las grandes altitudes de zonas subtropicales, y ecuatoriales o en altitudes menores durante períodos de elevación solar baja. El trigo ha crecido en algunos países muy al norte, incluso en zonas del círculo polar ártico. Muchas variedades tienen características fotoperiódicas de «día largo» y, por tanto, se benefician de los largos días del Artico para su rápido desarrollo y para madurar en la época de cultivo relativamente corta del Artico.

(\*) *World Food Security*. Resolución 3/73, Informe de la decimoséptima reunión de la Conferencia de la FAO, 10-19 de noviembre de 1973.

El cultivo del trigo necesita como mínimo una temperatura de 90 días con temperatura media por encima de 5°C. normalmente, el ritmo de desarrollo crece con el aumento de las temperaturas, pero en algunas variedades este ritmo puede disminuir con temperaturas altas. Para numerosas variedades que son plantas de «día largo» el ritmo de desarrollo crece con el aumento de la duración del día. Aunque el trigo soporta un amplio margen de temperaturas, los valores excepcionalmente elevados resultan nocivos en determinados períodos de su desarrollo y pueden hacer que disminuya la cosecha.

Por lo general el trigo se cultiva en las zonas climáticas más secas del mundo. La cosecha tolerará cierto grado de sequía ante el cual no sobrevivirían otros tipos de cosechas. Además el trigo soporta con facilidad niveles moderados de lluvia y agua en el suelo. En general, la producción se limita a aquellas regiones con precipitación anual comprendida entre 225 y 750 mm. La distribución estacional de la precipitación es tan importante como la cantidad total anual. La precipitación fuera de la época de cultivo puede contribuir a la cantidad de agua almacenada en el suelo y disponible durante la época de cultivo, pero gran parte de ella se pierde debido a la escorrentía y evaporación. La lluvia durante la época de cultivo es esencial, en particular si las reservas de agua del suelo son inadecuadas, especialmente durante los períodos de formación del grano y crecimiento. Dado que con frecuencia el trigo se cultiva en regiones de lluvia marginal, el acaecimiento de sequías constituye un aspecto de la distribución de la precipitación de gran significado económico.

Las condiciones climáticas más favorables se encuentran allí donde una época de cultivo fresca, moderadamente húmeda, durante la cual las hojas basales llegan a desarrollarse plenamente y los retoños crecen libremente, se transforma gradualmente en una época de siega cálida, seca y soleada. Tales condiciones climáticas se encuentran en el interior de los continentes y en regiones costeras sometidas a un tipo de clima Mediterráneo.

La planta de trigo tiene una notable capacidad para adaptar su ritmo de desarrollo y forma de crecimiento tanto a las condiciones meteorológicas favorables como a las desfavorables. Si a lo largo de la vida de la planta todas las condiciones son favorables, se producirá un número máximo de retoños, hojas de superficie amplia para una máxima fotosíntesis, largas espigas con muchas espiguillas, muchos flósculos fértiles en cada espiguilla y granos de gran tamaño. Evidentemente, todos estos factores conducen a una gran cosecha.

Si las condiciones resultan desfavorables durante cualquier período o períodos del crecimiento, se producen algunas adaptaciones y modificaciones obvias. En los períodos tempranos, se pueden formar menos retoños. Después de surgir algunos de los retoños puede que no se desarrollen completamente y no produzcan espigas. La planta en conjunto puede resultar pequeña. En el período temprano de formación de la espiga, pueden formarse espigas cortas con pocas espiguillas, mientras que en el período posterior de formación de la espiga, pueden formarse pocos flósculos por espiguilla. Después de formarse las espiguillas y flósculos, algunos de éstos puede que no lleguen a crear grano como respuesta a las condiciones desfavorables. y después de la fertilización, pueden formarse

granos que sean menores de lo normal. En un período posterior, si se han formado granos grandes, estos granos pueden arrugarse. En casos de riguroso calor o sequías, parte de la espiga puede ir desapareciendo gradualmente (punta quemada), de manera que la planta tiene menos granos en formación para producir alimento.

Generalmente las condiciones ambientales varían bastante durante la época de cultivo obligando a la planta de trigo a pasar a través de una sucesión de condiciones favorables y desfavorables. Si durante un período la planta ha atravesado una situación desfavorable, puede neutralizar su influencia negativa, en parte o completamente, gracias a una situación favorable posterior. Por ejemplo, un período seco puede hacer que produzca menos retoños fértiles de lo normal en relación con su etapa de crecimiento, pero más tarde puede compensarse esta influencia durante un período más lluvioso con un mayor número de espiguillas por espiga, o de flósculos por espiguilla, o bien produciendo grano en una gran proporción de flósculos, o produciendo granos de mayor peso.

Estas respuestas fisiológicas del trigo a las condiciones meteorológicas han sido estudiadas durante muchos años y actualmente son bastante bien conocidas y entendidas. En los últimos años ha sido posible realizar modelos matemáticos que describen la influencia que ejercen los cambios diarios del tiempo en el desarrollo y cultivo del trigo y en su cosecha final. De hecho estos mismos modelos se pueden utilizar para estudiar el estado de la cosecha en cualquier momento de su período de desarrollo y expresar esta condición en términos numéricos de rendimiento potencial.

#### *Predicción del rendimiento de las cosechas de trigo*

Aunque parezca paradójico, la predicción previa del rendimiento basada en datos meteorológicos se puede hacer sin utilizar predicciones del tiempo. La base científica para realizar esto se basa en las cinco premisas siguientes:

El estado actual de la cosecha, que puede estimarse según las condiciones meteorológicas precedentes durante el período de cultivo que lleva la cosecha, determina su capacidad potencial de rendimiento con tal de que el tiempo siga el curso normal de los acontecimientos.

La humedad del suelo, uno de los factores ambientales más importantes que determinan el rendimiento potencial de una cosecha, puede evaluarse en cualquier momento de acuerdo con las condiciones del tiempo pasado y su disponibilidad en el futuro puede estimarse de acuerdo con las probabilidades climáticas.

Las condiciones del tiempo presente tienen una probabilidad superior a la media de persistir durante períodos posteriores comprendidos entre tres y siete días, y desde entonces hasta la época de la siega, tenderán estadísticamente hacia las normales con una distribución de probabilidad conocida.

La distribución de probabilidades de los estados del tiempo futuro, basada en índices climáticos, puede utilizarse para determinar la evolución futura probable del estado actual de la cosecha y su capacidad potencial de rendimiento.

Los elementos meteorológicos, particularmente la temperatura y la radiación, son elementos conservativos sobre extensas zonas, de manera que sólo son necesarias unas pocas estaciones de observación para evaluar el rendimiento y producción de las cosechas de trigo en zonas relativamente extensas.

La validez de estas premisas ha quedado justificada por el éxito alcanzado en las estimaciones del rendimiento basadas en las condiciones del

tiempo. Estos sistemas para hacer estimaciones periódicas del estado de las cosechas en términos del rendimiento esperado se utilizan con regularidad por la Unión Soviética, el Canadá y la India para cosechas seleccionadas, mientras que Nueva Zelanda emplea un sistema similar para predecir la producción diaria. Otras naciones como los Estados Unidos de América, Irán, Turquía, Israel y la República Federal de Alemania están fomentando continuamente las investigaciones con estos fines. En un reciente estudio de un modelo para evaluar el rendimiento de las cosechas de trigo en las grandes planicies canadienses basándose en datos meteorológicos, se demostró que el 27 por ciento de la variabilidad del rendimiento podía estimarse tan pronto como empezase la época de la siembra y que estas estimaciones mejoraban gradualmente a medida que avanzaba la temporada hasta llegar al 73 por ciento justo antes de la siega.

Estas estimaciones en tiempo real de la producción agrícola, basándose en las condiciones del tiempo, ya son posibles en zonas donde los datos meteorológicos pueden obtenerse con facilidad, pero cuando se intenta hacer lo mismo a escala mundial el problema es de otro orden de magnitud. Sin embargo, se dispone de las observaciones, los métodos y la teoría. Todo es simplemente cuestión de combinarlas y aguzar el ingenio para acometer dicho problema.

#### *Empleo de la Vigilancia Meteorológica Mundial*

El programa de la VMM para el intercambio de información meteorológica implica una red de estaciones de observación, satélites y un sistema de telecomunicaciones, sobre una base global. Los informes, basados en observaciones realizadas cada seis horas y transmitidas a los centros nacionales, regionales y mundiales al cabo de una o dos horas de haberse efectuado la observación, contienen algunos de los elementos esenciales para evaluar el progreso del estado de la cosecha y el rendimiento esperado. La técnica consiste esencialmente en acumular las informaciones de cada 6 horas en cinta magnética y en analizarlas tantos días como sea necesario. El realizar estos análisis nos puede dar información sobre: lluvia caída desde el último informe; lluvia recogida durante la época de cultivo; porcentaje de lluvia respecto a la media normal; y los mismos detalles para la temperatura. Entonces estos resultados pueden ser tratados mediante modelos matemáticos adecuados para dar el estado de la cosecha en términos de rendimiento esperado.

Este análisis puede repetirse todos los días, o cada pocos días, según la antelación necesaria que se requiera para poder tomar una decisión útil. La mayoría de los pequeños ordenadores que interpreten cintas magnéticas podrían realizar el análisis matemático necesario.

Un sistema tal como el descrito se está ensayando en el Canadá sobre una base semanal y la experiencia obtenida en proyectos piloto que se vienen realizando desde 1973 ha puesto de manifiesto la existencia de ciertos problemas. Estos se pueden superar promoviendo una investigación eficaz dedicada a ellos. Aunque las observaciones se pueden efectuar con regularidad por la mayoría de las estaciones del programa de la VMM, con frecuencia no llegan al lugar donde se necesitan. Algunos elementos tales como la cantidad de precipitación, altura de la nieve sobre el suelo y temperaturas extremas no son preceptivos y, por tanto,



faltan con frecuencia. Aún no se dispone de tablas de valores normales para muchas estaciones. En particular sería útil tener los valores normales para las horas sinópticas. Los modelos existentes tienen que ser adaptados a cosechas específicas en terrenos específicos. El personal operativo puede que aún no esté familiarizado con la información disponible de tal sistema y los agrometeorólogos tienen que aprender la manera de presentar los datos que puede utilizar aquel personal. Esto hará necesario un enlace estrecho entre el personal operativo y los agrometeorólogos con el fin de explotar de la forma más adecuada la información obtenida del sistema.

En resumen, se deben destacar ocho puntos:

En el futuro, parece que el abastecimiento mundial de trigo resultará insuficiente con más frecuencia ante la demanda y las necesidades.

Estas variaciones con frecuentes déficits de trigo y excedentes ocasionales serán consecuencia de las condiciones variables del tiempo a escala global.

Existe una necesidad real de información previa sobre el estado de cultivo de las cosechas y su rendimiento potencial.

La producción de trigo se puede estimar sobre una base de tiempo real a partir de las observaciones del tiempo presente y tiempo pasado, con verdadera ventaja, en adelanto de tiempo y precisión, sobre las técnicas que no se basan en las condiciones del tiempo.

Las redes de la VMM proporcionan datos globales básicos y la mayoría de las redes meteorológicas nacionales proporcionan datos locales apropiados para las mencionadas estimaciones. En algunos casos se pueden hacer mejoras.

Varias naciones ya están explotando estas técnicas para su provecho.

Un sistema que sirva para dar información del tiempo global en relación con el rendimiento de las cosechas resulta necesario para la eficaz ejecución del programa que se ha propuesto bajo la denominación de *minimum world food security* (seguridad mínima mundial de alimentación).

Los esquemas de predicción del rendimiento de cosechas basados en el tiempo, aunque ya han tenido éxito en algunas naciones, están emergiendo de su infancia y aún es necesario un gran desarrollo de la investigación. Esta labor ha de continuar y ser fomentada tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Y finalmente, el último objetivo es tener un enlace electrónico directo entre el sistema de telecomunicación de la VMM y un ordenador que pueda programarse para poner de manifiesto las condiciones actuales de las cosechas y los rendimientos potenciales para cualquier parte del mundo en una pantalla de T.V. con sólo pulsar un botón.

## FLUCTUACIONES CLIMATICAS: ESTUDIO DEL FENOMENO Y UTILIZACION DE MODELOS

Por J. KUTZBACH\*

La combinación de una serie de circunstancias ha hecho que se concentre la atención sobre el estudio del clima y de su variabilidad. La produc-

---

\* El Profesor Kutzbach, del Departamento de Meteorología de la Universidad de Wisconsin, está hoy actuando como asesor en la preparación de la Conferencia Internacional para el Estudio de las Bases Físicas del Clima y elaboración de Modelos Climáticos.