

PRUEBAS PARA VALORAR LA REPERCUSION ECONOMICA DE LA INFORMACION METEOROLOGICA

Por JAMES D. McQUIGG *

En las dos últimas décadas se ha venido observando un rápido aumento del número de investigadores interesados en la "meteorología económica". Ello fue consecuencia de varias circunstancias:

Apremio en los presupuestos.—Es grande la competencia que hay para obtener fondos destinados a programas científicos y técnicos. Los intentos para justificarlos en los presupuestos nacionales conducen a los administradores a evidenciar las elevadas relaciones beneficio/coste que resultan del uso de sus productos. Mason (1966), Thompson (1966) y tres informes recientes de planificación de la Vigilancia Meteorológica Mundial (números 17, 22 y 27) incluyen ejemplos de tales intentos.

Modificación del tiempo.—El interés por las interacciones entre la atmósfera y el bienestar económico y social de una región, se está incrementando con la posibilidad que tiene el hombre de modificar deliberadamente, bajo ciertas condiciones, determinadas situaciones atmosféricas, y con la convicción de que el hombre está modificando inadvertidamente el clima de ciertas zonas a causa de la contaminación atmosférica.

La Fundación Nacional para las Ciencias de Estados Unidos creó una Comisión especial sobre Modificación del Tiempo para examinar los aspectos físicos biológicos, legales, sociales y políticos vinculados a esas modificaciones del tiempo. Como resultado del trabajo de esta comisión se constituyó un grupo de investigación con el fin de estudiar las dimensiones humanas de la atmósfera. Los miembros de este grupo provenían de los diversos campos de la economía, geografía, sociología, ciencias políticas, derecho, ecología y meteorología. Después de varias reuniones y tras consultas con especialistas invitados, este grupo de trabajo presentó un interesante informe (1968).

Interés por los sistemas de información.—El desarrollo de ordenadores y los sistemas de comunicaciones de alta velocidad han incrementado grandemente el interés por el estudio de los valores económicos de la información. La obtención, comunicación, análisis, almacenamiento y reenvío de información está llamada a ser una de las mayores industrias en amplias zonas del mundo actual. Puesto que la información lleva consigo grandes gastos, es natural que haya pasado a ser objeto de atención para algunos economistas. Existen algunos sistemas de información que han rebasado las posibilidades que tienen los servicios meteorológicos representados en la OMM para producir, comunicar y analizar la información. Cuando se

* NOTA DEL EDITOR: Este artículo se basa en una conferencia que, a invitación, se pronunció en la quinta reunión de la Comisión de Climatología de la OMM (Ginebra, octubre 1969). El Dr. McQuigg es climatólogo en Missouri en el Servicio de Datos Ambientales de la ESSA.

logren los objetivos perseguidos con la Vigilancia Meteorológica Mundial la capacidad para producir información meteorológica será sustancialmente mayor.

En resumen, entonces estaremos involucrados en la meteorología económica y en la información del tiempo a base de: presupuestos apremiantes y competencia en la adjudicación de fondos; interés por el impacto potencial de la modificación del tiempo y por la necesidad de interés general en el uso de toda clase de información, aportada por el desarrollo de poderosos sistemas para elaborar esa información.

La atmósfera como fuente de recursos

Desde hace pocos años, varios autores vienen considerando a la atmósfera como un origen de recursos. Sewell (1968) ha contribuido a este concepto al considerar a la atmósfera como un medio ferozmente competitivo frente a otras fuentes de recursos naturales, a tomar muy en consideración, porque "... el agradecimiento obliga a tan sustancial título".

Hufschmidt (1968) mantiene un interesante punto de vista sobre la atmósfera, estableciendo: "En efecto, la noción de atmósfera como una fuente natural es muy potente, lo cual permite aplicar a los problemas del uso humano de la atmósfera todas las teorías, métodos y perspectivas de la planificación de recursos naturales (incluyendo los recursos hidráulicos)".

Un modelo idealizado

En una investigación realizada en cooperación con la Universidad de Missouri tuvimos bastante éxito al desarrollar un modelo un tanto imperfecto, que puede usarse para estudiar la respuesta del hombre (en sentido económico) a los fenómenos meteorológicos.

El modelo, cuyo esquema aparece en la figura 1, está tomado de un trabajo presentado por Russell Thompson y el que suscribe (1966). Aparecen dos corrientes básicas: una de *acontecimientos reales* (en línea continua) y la otra un flujo relacionado con la *información* (en línea de trazos).

El aporte de información puede no existir. Las decisiones pueden tomarse (y frecuentemente así se hace) sin ninguna información disponible, o por planificadores que optan por ignorar la información. La aportación de información no afecta directamente al proceso en ensayo. La información sólo adquiere valor cuando efectivamente se la tiene en cuenta en los procesos de decisión.

Es relativamente fácil preparar un modelo ideal tal como el que acabamos de describir. No es tan fácil llegar a una objetiva y bien documentada estimación del incremento de rendimiento económico que resultaría de aplicar una información más precisa del tiempo por el planificador de una empresa particular que fuese sensible a las fluctuaciones meteorológicas, o bien estimar el resultado económico que la modificación del tiempo pudiera acarrear a esa misma empresa.

Hemos desarrollado también algunas relaciones cuantitativas entre los acontecimientos meteorológicos y la planificación de importantes procesos económicos. Es difícil llevar a cabo directamente experimentos en los que la cantidad, la fecha o la exactitud de la información meteorológica ha sido deliberadamente variada. Existe también una gran laguna de observaciones económicas que es comparable en cuanto a cantidad o precisión a la de observaciones del tiempo. Hemos conseguido el éxito de obtener una buena serie de observaciones económicas procedentes de operaciones sensibles al tiempo, y en ellas nos hemos apoyado para establecer relaciones cuantitativas que se han incluido en el desarrollo de varios modelos simulados.

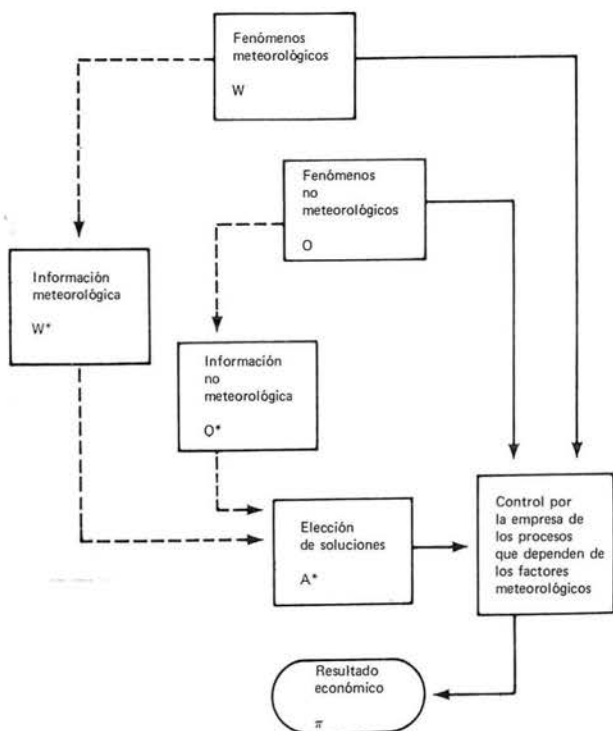


Figura 1.—Diseño esquemático que relaciona las consecuencias de incluir información meteorológica, o prescindir de ella frente a la elección de alternativas por el planificador y el resultado económico de una empresa. (De McQuigg y Thompson, 1966.)

Uso de modelos de imitación

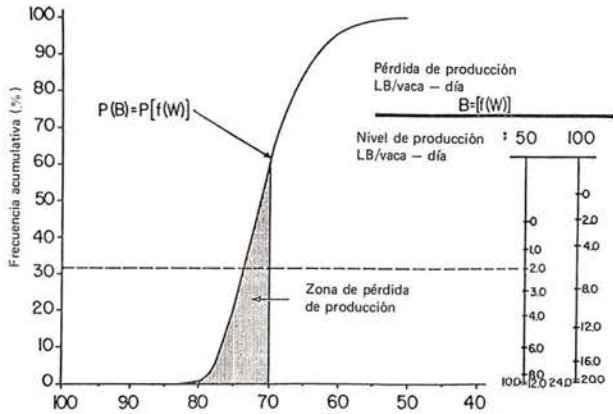
Se dan a continuación algunos ejemplos de aplicación de modelos hipotéticos al estudio de la respuesta económica a los acontecimientos meteorológicos y al uso de la información meteorológica.

Ambientación de los animales de una granja.—Desde mayo de 1946, la Universidad de Missouri y el Departamento de Agricultura de EE. UU. han llevado a cabo una investigación para determinar las condiciones de habitabilidad más eficaces en animales de granja. Una excelente reseña de los primeros trabajos realizados en este proyecto puede verse en un trabajo de Yeck y Steward (1959). El ingeniero del Departamento de agricultura de los Estados Unidos, encargado corrientemente del laboratorio de psicología de la Universidad de Missouri, es Mr. LeRoy Hahn, que prepara

una tesis doctoral en ciencias atmosféricas en dicha universidad, utilizando los resultados de experiencias de laboratorio como material de su tesis. Después de recalcar que una de las mayores dificultades para estudiar el impacto económico del tiempo es la falta de relaciones cuantitativas, pasamos a estudiar algunos de los trabajos realizados por el Sr. Hahn y el que suscribe (1969).

Nosotros combinamos el trabajo del laboratorio de psicoenergética de Columbia, Missouri, con el análisis de una serie de veinte años de observaciones horarias de verano relativas a la temperatura y al punto de rocío, procedentes de la estación que el «Weather Bureau» tiene instalado en el aeropuerto de dicha ciudad. La fórmula usada para relacionar la producción de leche con los cambios de tiempo fue una utilizada por Berry y otros en 1964. Los resultados se muestran en la fig. 2. Por ejemplo, una vaca

Figura 2.—Curva empírica de probabilidad relativa al decrecimiento de producción de vacas de la raza Holstein, en Columbia, Missouri, basada en valores de la función de distribución de la temperatura media diaria T en 20 años (1.º de junio al 30 de septiembre). (De Hahn y McQuigg, 1969.)



que normalmente produce 23 litros de leche por día, acusaba una merma de producción de 1 litro diario cuando la temperatura media del termómetro húmedo se aproximaba a los 23° C. Y una merma de este tipo bien puede ocurrir un día de cada tres en un verano normal.

M. L. Nicodemus y el que suscribe, publicamos recientemente los resultados de aplicación de un modelo simulado para estudiar las modificaciones de temperatura en superficie (1969). Se especula mucho ahora con la posibilidad de influir en la producción de leche a base de modificar el tiempo, pero aunque no sean muy teóricos, existen métodos para influir en la producción de leche a base de usar en los establos persianas (sombra), ventilación o aire acondicionado. Hahn analizó datos meteorológicos de un determinado número de localidades de Estados Unidos y combinó éstos con los resultados de los experimentos realizados en el laboratorio de psicoenergética de la Universidad de Missouri. El resultado de tal ensayo es el que se muestra en la fig. 3.

El encargado de un rebaño de ganado lechero debería poder combinar estos valores de la pérdida de producción con el tamaño de su rebaño, el precio de la leche, el coste de construcción de persianas de los equipos de ventilación o acondicionamiento de aire, la relación entre los intereses obtenidos y el capital empleado y otros factores de su incumbencia; así podría tomar una decisión racional ligada a una respuesta a largo plazo en función del clima.

Administración de riegos.—La irrigación de cultivos es, seguramente, una de las tareas más sensiblemente condicionadas al tiempo atmosférico. Hashemi y Decker (1969) elaboraron un interesante modelo de simulador para estudiar la irrigación del maíz en la región central de Missouri. En la introducción a su trabajo afirman ellos: "El clima de una región condiciona la factibilidad y remunerabilidad de muchas empresas agrarias. Lo ideal sería usar información *cuantitativa* del clima como guía para tomar decisiones en empresas de este tipo. La información climática se ha usado frecuentemente en plan *cualitativo* en el establecimiento o planificación de una actividad agrícola, pero hay varios ejemplos de decisiones basadas en estimaciones numéricas que aclaran éxitos o fracasos".

Esto supuesto, lo mejor para un asesor agrícola que proyectase el establecimiento de un equipo de irrigación supletorio, sería el disponer de un beneficioso registro de datos actuales de diez a treinta años sobre los que

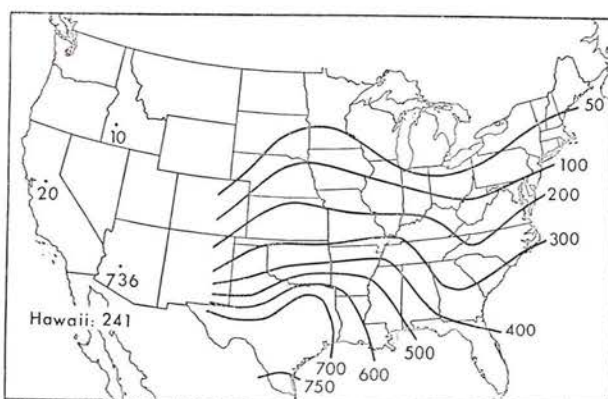


Figura 3.—Pérdidas previstas en la producción de leche durante un verano. (De un trabajo de Hahn y McQuigg, 1969.)

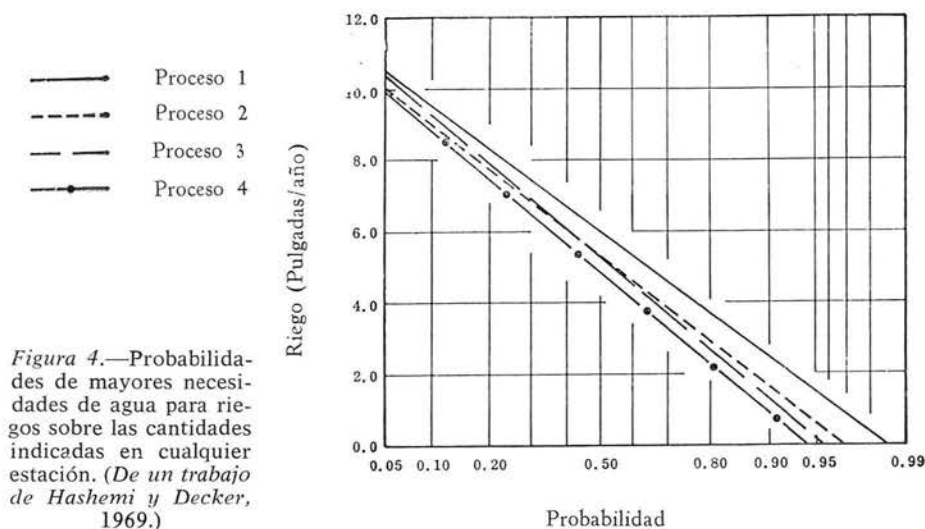
se podría relacionar el efecto de la irrigación sobre la producción del maíz. Como tales registros de producción no existían, se utilizó un sistema de controlar la humedad del suelo desarrollado por Baier y Robertson (1966) y un método de evapotranspiración presentado por Shaw (1963), bajo los auspicios de la ESSA, para crear una serie cronológica de *observaciones* diarias de humedad del suelo. Hashemi y Decker suponen cuatro hipótesis de administración de riego:

1. No tener en cuenta la información meteorológica.
2. Aplicación de una cantidad de agua equivalente a la perdida por evapotranspiración durante un período de sequía de duración esperada. Neumann (1955), Fayerherm y otros (1965).
3. Tomar en consideración una probabilidad de precipitaciones previstas a corto plazo.
4. Combinación de las hipótesis 2 y 3.

La aplicación de este modelo a una serie de treinta años de observaciones climatológicas en Columbia, Missouri, dio interesantes resultados. Es posible así llegar a la conclusión de que el uso racional de la información meteorológica puede suponer un ahorro de agua, con la consiguiente reduc-

ción del costo que llevaría implícito este gasto de agua, sin que quepan esperar pérdidas en la cosecha de maíz. Los resultados de este *experimento* simulado se resumen en la fig. 4.

Aplicación del análisis climatológico y económico de una industria sensible a los cambios de tiempo.—Tuvimos la suerte de obtener permiso del Instituto Edison de Electricidad para disponer de un gran número de datos relativos a la demanda observada de energía eléctrica horaria y diaria, recogidos en un período de cinco años en los EE. UU. Estos datos se com-



binaron con los concernientes al costo de producción de energía eléctrica, publicados por la Comisión Federal de Energía del Gobierno de EE. UU., y con los registros de temperatura del servicio de Datos Ambientales del "Weather Bureau"; con todos estos datos se hizo un estudio en modelo simulado del impacto económico que supondría potencialmente una modificación del tiempo. Los resultados de este trabajo pueden verse al detalle en una comunicación de S. R. Johnson, T. P. Rothrock y el que suscribe (diciembre 1969).

El costo de producción de energía eléctrica varía considerablemente, dependiendo del método que se use para generar esa energía (Comisión de Energía Federal de EE. UU., 1962, 1963, 1966). Sin entrar en muchos detalles, creemos haber hallado una forma de estudiar la respuesta económica potencial de una industria de energía eléctrica ligada a una modificación de la temperatura, supuesta una planificación estratégica racional, y disponiendo de un conjunto bastante preciso de relaciones cuantitativas entre los cambios de tiempo y una serie razonablemente larga de observaciones climatológicas.

Repercusión económica del tiempo atmosférico en la construcción de carreteras.—Muchos de los trabajos precisos para la construcción de carreteras son sensibles a los cambios de tiempo. Estamos construyendo ahora un modelo simulado que permitirá la *experimentación* relacionada con la construcción de un típico tramo de carretera.

Algunas de las resoluciones importantes sensibles al tiempo atmosférico en la construcción de carreteras son factores a largo plazo. La construcción de muchas carreteras en EE. UU. se adjudica a compañías privadas mediante contratos; la Comisión de Carreteras del Estado selecciona los contratos particulares a base de subastas. Por ello, la estrategia condicionada a las subastas influye mucho; a una firma privada de construcción se le dará información sobre el tipo de suelo, estimaciones sobre la cantidad y clase de tierras que tiene que mover, también sobre los puentes y drenajes que habrá de construir, etc. Parte de la estrategia de licitación depende de la disponibilidad y coste de la maquinaria, del trabajo y del capital requerido. La otra parte se referirá a que la obra pueda ser felizmente entregada en la fecha estipulada, siempre que no se presenten interrupciones imprevistas causadas por el mal tiempo.

Hemos tenido acceso a los registros de la oficina de Ingeniería de la Comisión de Carreteras del Estado, relativos al avance diario de dos proyectos de construcción de carreteras; también, a los registros de las compañías constructoras relativos al número de máquinas y hombres que trabajaron en las mismas tareas cada día y a la cantidad de trabajo que fue realizado en cada jornada. Existen varios problemas que habremos de resolver antes de decir que ya tenemos un modelo simulado que sea capaz de realizar una estimación razonable del impacto económico imputable al tiempo atmosférico y del buen aprovechamiento económico que la información del tiempo pueda tener en la construcción de carreteras. En primer lugar, los registros obtenidos por la Comisión de Ingeniería de las Carreteras del Estado, no son suficientemente precisos como para permitir un cómputo exacto de todas las necesidades previstas y eventuales a introducir en nuestro modelo, pero estimamos que podremos alcanzar valores bastante razonables. Igualmente, los registros de la mencionada Comisión y los de los constructores privados no son lo suficientemente detallados como para permitir una estimación precisa de la cantidad media de trabajo que puede ser realizada en una unidad de tiempo para cada uno de los distintos tipos de máquinas usadas en la construcción de carreteras. Con toda imparcialidad respecto a mis amigos ingenieros hago constar que sus datos no son adecuados para permitir que un grupo de investigadores pueda sacar consecuencias relacionadas con el aspecto que pudiera achacarse a factores atmosféricos. Ello es típico para muchas de las operaciones a las que intentamos aplicar información climatológica y de predicciones a corto plazo.

Conclusiones

En meteorología existe un número de modelos útiles relativos a procesos físicos que ocurren en la atmósfera; también para el balance entre las fuerzas y energías que en ella tienen lugar. Estos procesos son muy complejos y sólo son conocidos parcialmente, pero estamos haciendo grandes progresos en nuestro intento de medir, comunicar, analizar y almacenar crecientes cantidades de información relativa a la atmósfera.

Gran parte de la meteorología aplicada se basa en interacciones entre la atmósfera y los procesos físicos o biológicos. Es así como hemos llegado

a explicar cómo el flujo de agua atraviesa las distintas capas del suelo en las que los cultivos se desarrollan; o bien el efecto de la temperatura y humedad sobre los animales, o la fuerza ejercida por el viento sobre edificaciones o aeroplanos.

Un concepto más amplio de la meteorología aplicada debiera incluir las interacciones entre la atmósfera y el hombre como ser capaz de tomar decisiones. En otras palabras, hay situaciones en las que el impacto del tiempo sobre procesos físicos o biológicos viene influido en un *doble aspecto* tanto por los meteoros que puedan ocurrir, como por la elección de alternativas hechas por el hombre.

Nosotros, los meteorólogos, venimos diciendo: "El conocimiento de la marcha del tiempo y del clima es importante bajo el punto de vista económico. Si dispusiéramos de los recursos necesarios para obtener información más completa respecto a la atmósfera, el hombre sería capaz de *mejorar* el rendimiento de las actividades sensibles al tiempo". Pero la función del hombre como un ser capaz de tomar decisiones es muy difícil de estudiar: él no ejecuta sus procesos de una manera medible o reproducible. Puede decidirse a realizar una cuestión sin contar con información abundante, incluso hacerlo con una información deficiente o sin ninguna información. Maunder y Whitmore (1969) expresan muy bien este concepto cuando escriben: "Se supone, generalmente, que al proporcionar una mejor información debe resultar una mejor decisión; sin embargo, depende mucho de cómo esta información —especialmente la información meteorológica— se presente al cliente, y de cómo éste la vaya a utilizar".

Cada uno de los cuatro ejemplos aquí tratados incluyen aspectos que conciernen a complejas interacciones entre los cambios en la marcha del tiempo, la cantidad de información meteorológica y el uso que de ella haga el hombre como sujeto capaz de tomar decisiones. El resultado económico de cada uno de los ejemplos queda condicionado a la marcha y cambios del tiempo, pero también variará con la elección de alternativas hechas por el hombre. El problema de alojamiento de animales comprende decisiones estratégicas de planificación a largo plazo. El problema de producción de las industrias de energía eléctrica lleva consigo decisiones, tanto a largo plazo como a corto plazo. Lo mismo ocurre con la planificación de riegos o con la construcción de carreteras.

Estoy de acuerdo con las afirmaciones de Mason (1966), en las que indica que el asesoramiento meteorológico es poco usado y menospreciado. Pero sólo en cierto modo, porque nosotros hemos concentrado casi todo nuestro esfuerzo como meteorólogos en la obtención de información del tiempo y casi ninguno en intentar un estudio de las mutuas acciones entre el hombre y la atmósfera en función de su libre albedrío como sujeto capaz de tomar decisiones.

BIBLIOGRAFIA

- BAIER, W. y ROBERTSON, G (1966): *A new versatile soil moisture budget*. Canadian Journ. Plant Sci., 46: 299-315.
- BERRY, I. L., SHANKLIN, M. y JOHNSON, H. (1964): *Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity*. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 7(3): 329-331.

- FEYERHERM, A. M., BARK, L. D. y BURROWS, W. C. (1965): *Probabilities of sequences of wet and dry days in Missouri*. Kansas Agr. Expt. Sta. Tech. Bull., 139d: 59 páginas.
- HAHN, LEROY y MCQUIGG, J. D. (1969): *Evaluation of climatological records for rational planning of livestock shelters*. (Admitido para publicación en Agric. Met., diciembre 1969).
- HASHEMI, F. y DECKER, W. (1969): *Using climatic information and weather forecast for decisions in economizing irrigation water*. Agric. Met., 6: 245-257.
- HUFSCHMIDT, Maynard M. (Feb. 1968): *Needs for research on planning and decision-making aspects of human uses of the atmosphere*. En apéndice I. *Human dimensions of the atmosphere*. Ed., W. R. D. Sewell, Superintendent of Documents, U. S. Government. Printing Office, Washington, D. C.
- JOHNSON, S. R., MCQUIGG, J. D. y ROTHROCK, T. P. (1969): *Temperature modification and costs of electric power generation*. (Admitido para publicación en Journ. App. Met., diciembre 1969).
- MASON, B. J. (1966): *The role of meteorology in the national economy*. Weather, 21(11): 382-393.
- MAUNDER, W. J. y WHITMORE, A. D. (1969): *Challenge of assessment*. The Australian Geographer, IX(1): 22-28.
- MCQUIGG, J. D. y THOMPSON, R. (1966): *Economic value of improved methods of translating weather information into operational terms*. Mon. Wea. Rev., 94(2): 83-87.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (Feb. 1968): *Human dimensions of the atmosphere*. Ed. W. R. D. Sewell, Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
- NEUMANN, J. (1955): *On the frequency distribution of dry and wet spells in Tel Aviv*. Bull. Res. Council, Israel. Section A., 5 A(1): 28-39.
- NICODEMUS, M. L. y MCQUIGG, J. D. (1969): *A simulation model for studying possible modification of surface temperature*. Journ. App. Met., 8(2): 199-204.
- SEWELL, W. R. D. (1968): *Emerging problems in the management of atmospheric resources. The role of social science research*. Bull. Amer. Met., 49(4): 326-336.
- SHAW, R. H. (1963): *Estimation of soil moisture under corn*. Iowa State Univ. Agric. and Home Econ. Exp. Sta., Res. Bull., 520: 968-980.
- SMITH, L. P. (1967): Informe de planificación de la VMM n.º 22, *The World Weather Watch and meteorological service to agriculture*. OMM, Ginebra, Suiza.
- THOMPSON, J. C. (1966): Informe de planificación de la VMM n.º 4, *The potential economic and associated values of the World Weather Watch*. OMM, Ginebra, Suiza.
- U. S. FEDERAL POWER COMMISSION, *Statistics of Electric Utilities in the United States, Classes A and B Privately-owned Companies, 1962, 1963 y 1966*.
- Informe de planificación de la VMM n.º 17, (1967): *Assessing the economic value of a national Meteorological Service*. OMM, Ginebra, Suiza.
- YECK, R. G. y STEWART, R. E. (1959): *A ten-year summary of the psychroenergetic laboratory dairy cattle research at the University of Missouri*. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng., 2(1): 71-77.