

REPUBLICA ARGENTINA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE LA NACION

# METEOROS

BIBLIOTECA  
NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Ing. Alfredo G. Galmarini

## SUMARIO

EDITORIAL .....	221
W. SCHWERDTFEGER y F. PROHASKA. — Análisis de la marcha anual de la presión y sus relaciones con la circulación atmosférica, en Sudamérica austral y la Antártida .....	223
EMILIO L. DÍAZ. — Método abreviado para calcular correlaciones y otros procedimientos prácticos .....	238
EMILIO A. M. MACHADO y ADOLFO A. MARCHETTI. — Régimen de días de lluvia en la República Argentina .....	243
ROBERTO M. QUINTELA y CÉSAR J. VASINO. — Bases de la climatización artificial en Buenos Aires .....	277
G. DEDEBANT y E. A. MACHADO. — Inferencia estadística en meteorología (Aplicación a la lluvia y otros problemas) .....	305
DEMETRIO BRAZOL. — Enfermedades tropicales originadas por el clima en el Continente Sudamericano .....	323
HILDA B. FESQUET. — Pronóstico de la fecha de culminación de las crecientes del río Paraná .....	345
KAZIMIERZ PIETRZYKOWSKI. — Variación de la temperatura de la atmósfera en la Argentina .....	363
ARTÍCULOS BREVES: G. DEDEBANT. - Una observación sobre el viento térmico .....	369
NOTAS Y COMENTARIOS: FÉLIX ALBANI. - Congreso mundial sobre utilización de energía solar .....	373
RECORDACIONES: WOLCKEN K. - Alfred Wegener (1880-1930) .....	379
ACTUALIDADES .....	383
RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS .....	386
INDICE DEL TOMO V .....	391

REVISTA DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA  
PUBLICADA POR EL  
SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL  
BUENOS AIRES — (REPUBLICA ARGENTINA)



# METEOROS

REVISTA TRIMESTRAL DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA  
DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. BUENOS AIRES



*La responsabilidad por los artículos firmados corresponde a sus autores. La Dirección se reserva el derecho de aceptar originales y el de darles orden de publicación. La propiedad intelectual queda protegida por la ley 11.723. Reg. Prop. Int.: 347.584.*

AÑO V

OCTUBRE-DICIEMBRE 1955

Nº. 4

## PRESENCIA ACTUANTE

*EN el orden del tiempo METEOROS cubre el último lustro de la activísima vida del Servicio Meteorológico Nacional. Son también años intensos, vertiginosos, para el desarrollo de la ciencia. Dramáticamente se suceden valores nuevos a los antiguos en todos los sectores del conocimiento. Durante el largo lustro —psicológicamente brevísimo para nosotros— esta publicación ha cumplido con sus fines esenciales: estimular la investigación, facilitar el intercambio y reflejar el resultado de la eficiente búsqueda de la verdad. Es el objetivo que ha polarizado la acción de un calificado sector de colaboradores de la Casa. A este sector se ha sumado el aporte de destacados especialistas, miembros de otros organismos nacionales. Casi un centenar de artículos representan la labor de estos autores, plasmada trimestre a trimestre en nuestras columnas. Son la expresión pública de trabajos que enaltecen el nombre de la Argentina, fruto de hipótesis personales y de experiencias complejas y difíciles, originales todos ellos e inéditos, llevados a su culminación por obra de sus firmantes, muchas veces con la colaboración de eficaces equipos del SMN, y apoyados, casi siempre, en valiosos antecedentes locales y extranjeros. La honestidad científica de los autores al citar esas fuentes de información, conjuntamente con la serie de reseñas bibliográficas que abarca todos los idiomas, son una norma respetada desde el primer número y que ha venido a constituir a estas páginas en un vehículo de la cultura mundial, sin distingos ideológicos. Lo más estimable y vibrante de la producción universal se da así cita en la coexistencia, siempre pacífica, de nuestra composición tipográfica. En realidad, ningún avance surge hoy en el campo científico que no reconozca algún tributo anterior, y muchos de estos artículos argentinos, a su vez, han merecido el elogio de la cita extranjera por representar aportes insustituibles para el progreso de la meteorología o de la geofísica.*

*Axiológicamente, pues, se integran y suceden los valores. Las muta-*

ciones ocurridas en la química, los descubrimientos biológicos y los de fisión y fusión nucleares revolucionan la economía. Sin ir más lejos, en este mismo número hay extensos párrafos dedicados a la novedosa "explotación" de la inagotable energía solar. En lo geográfico, aparece un territorio que antes se pintaba de blanco en los mapa-mundi y que hoy va coloreándose: la Antártida. Caben en él cinco Argentinas, o si se prefiere la expresión de Byrd, toda Norteamérica y casi toda Europa. Atrae por sus inmensas reservas, su ubicación estratégica, su relevancia para el estudio de la circulación general de la atmósfera. Polarizará la atención científica. El Año Geofísico Internacional lo hallará sembrado de bases de todas las banderas. Lo que descubran unos servirá indudablemente para todos. La población mundial crece en forma inusitada. Hay que buscar alimentos para los seres que vendrán y procurarles el grado de civilización que merecen por el hecho de haber nacido, según es tendencia sociológica actual. La Naturaleza sigue ofreciéndose como siempre al trabajo y a la ciencia del hombre. Por eso tenemos fe en el investigador, en el que "des-cubre", en el que revela lo que la Naturaleza mantenía a cubierto. Por ello tenemos confianza en los científicos de esta Casa, y en los de otros organismos que han escrito en la revista o escribirán en ella. Espontáneamente el hilo de la reflexión nos lleva hacia los nuevos Licenciados en Meteorología que esperan culminar sus estudios en el Doctorado universitario. ¿Bastaría repetir que el descubrimiento científico, además de prenda intelectual y espiritual irrevocable, suele ser fuente millonaria de recursos para el país que lo fomenta? ¿No convendría citar un caso concreto, reciente, nuestro? Pensamos en el "temple" del trigo contra la sequía, proceso desarrollado en la Argentina por dos conspicuos investigadores del Departamento de Agrometeorología del SMN. A sus hipótesis de trabajo y a su tesón se debe el que pueda sembrarse el trigo en una región marginal de escasas lluvias —La Pampa, por ejemplo— y donde antes era todo aleatorio se tenga hoy la seguridad casi absoluta de lograr una espléndida cosecha. El aparente milagro está en someter a la semilla a un régimen de calentamientos y enfriamientos, tal como desde antiguo se temple el acero. Si el año en lugar de seco viene llovedor, el grano templado rendirá de un 10 a un 50 por ciento más que el normal. Tal lo han demostrado las experiencias en escala piloto y a campo abierto. ¿Cuántos millares de millones, en estimación dineraria, no supone este descubrimiento para la Argentina, especialmente en estos críticos momentos? Todo ello ha sido posible por el clima de trabajo eficaz que impera en los distintos Departamentos operativos, técnicos y científicos que actúan coordinadamente dentro del Servicio Meteorológico Nacional, y que cumplen su misión con confianza entusiasta a pesar de las ineludibles adversidades que el itinerario suele ofrecer.

METEOROS, con la responsabilidad de su presencia actuante, se halla en el nervio de la inmensa labor que en el orden predicho aguarda al Servicio Meteorológico Nacional, y al cumplir un nuevo año agradece el aporte asiduo de sus colaboradores, la consideración de sus lectores y colegas, la dedicación y esmero del personal de la Redacción y de la Imprenta, y el estímulo y apoyo que para el despliegue de su función periodística ha merecido siempre de parte de las autoridades del Ministerio y de las de la Casa.

551.543.2 : 551.513(8)(99)

## ANÁLISIS DE LA MARCHA ANUAL DE LA PRESIÓN Y SUS RELACIONES CON LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA, EN SUDAMÉRICA AUSTRAL Y LA ANTÁRTIDA

POR W. SCHWERDTFEGER \* y F. PROHASKA \*\*

**Resumen.** — La marcha media anual de la presión en Tierra de Fuego tiene el máximo en el mes de octubre, el mínimo en noviembre. Se estudia este raro fenómeno, y se exponen los resultados de un análisis armónico de las curvas medias anuales de la presión, incluyendo consideraciones acerca del carácter de la circulación atmosférica en latitudes medias y polares de este hemisferio. Finalmente, se discuten las posibles causas de la oscilación semi-anual de la presión y otros elementos meteorológicos.

**Summary.** — The mean annual pressure variation at Tierra de Fuego shows the maximum in October, the minimum in November. This uncommon phenomenon is exposed in descriptive form and by means of harmonic analysis for a great number of stations and latitude/longitude grid points over the southern hemisphere. The possible causes of the semi-annual oscillation of pressure and its relations to the atmospheric circulation and some meteorological elements in the extratropical, inclusive the antarctic zones, are discussed.

### I. INTRODUCCION

Un estudio de la marcha media anual de la presión atmosférica en América del Sur muestra que el tipo continental de las latitudes extratropicales (máximo en invierno y mínimo en verano) no se extiende hasta la parte meridional del continente, sino que allí existen modificaciones bien características. Al sur de 40°S, en efecto, el máximo se atrasa hasta la primavera, mientras el mínimo se mantiene en la época de la mayor altura del sol, o se adelanta aun al mes de noviembre, como es el caso en Tierra del Fuego.

Resulta, pues, para esta región una curva anual muy asimétrica, con el máximo y el mínimo en la misma estación del año. En la Fig. 6, en efecto, se advertirá, como ejemplos típicos, las curvas anuales de la presión de dos lugares en Tierra de Fuego, Ushuaia y San Isidro. Sólo con fines de comparación allí hemos agregado la curva de Corrientes, representante de la marcha continental normal.

### II. DESCRIPCION

Antes de analizar tal comportamiento poco común de la presión, examinaremos la extensión geográfica de dicho fenómeno. Una simple clasificación según la posición temporal de los extremos de la curva anual (definida por los 12 promedios mensuales calculados a base de todo el

\* Doctor en Filosofía (Meteorología y Geofísica), Universidad de Leipzig. Asesor Técnico de la Dirección de Investigaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Doctor en Filosofía (Meteorología y Geofísica), Universidad de Viena. Asesor Técnico de la Dirección de Investigaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

récord disponible) deja ver que una marcada asimetría se encuentra en una extensa región, aunque ella no aparece en forma tan extrema como en Tierra de Fuego.

En el mapa de la Fig. 1 hemos delimitado, aproximadamente, las zonas en que se agrupan los distintos tipos de la marcha anual de la presión. Surge con evidencia que los máximos primaverales son un fenómeno de las zonas templadas, mientras que los mínimos en esta estación del año se observan en las zonas polares.

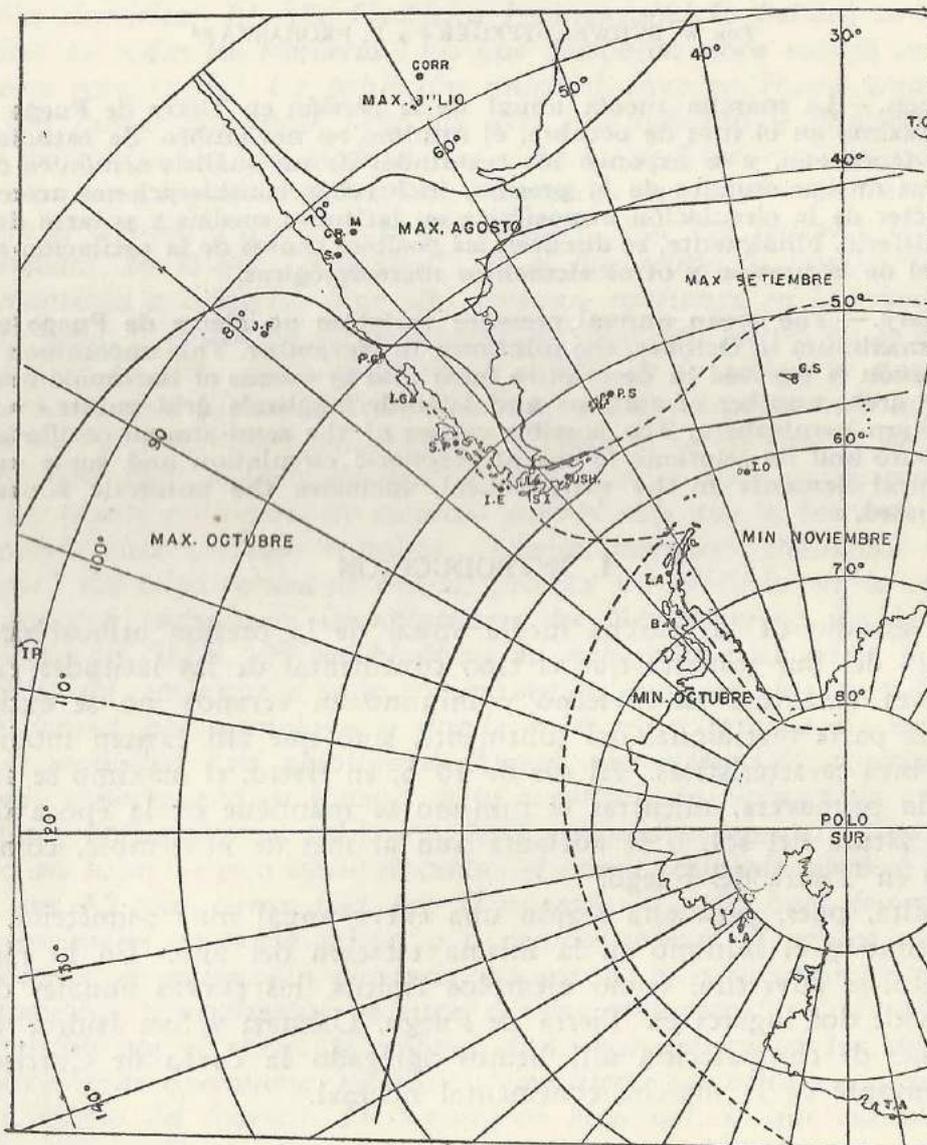


FIG. 1. — Distribución de los máximos y mínimos primaverales de la marcha anual de la presión.

El máximo de primavera (en octubre) existe sobre el Océano Pacífico sudoriental entre 25 y 55°S, por lo menos. Manifiéstase ello con seguridad en las estaciones Isla de Pascua, Juan Fernández e Islote de los Evangelistas, Fig. 7, mientras que las delimitaciones mar afuera quedan algo inciertas, dado que se basan sólo en las escasas observaciones de buques, resumidas en los Atlas Climáticos de los océanos. Este régimen del Pacífico influye la costa chilena al S de 40°S y está visible todavía en el centro de la Patagonia y en Tierra de Fuego.

La zona atlántica, con el máximo en setiembre, representada por las series largas de las Islas Malvinas y Georgia del Sur y la serie corta de Tristán da Cunha, es más pequeña. Se extiende sólo entre los paralelos 35 y 55°S, y hacia el E no se continúa mucho más allá del meridiano de Greenwich.

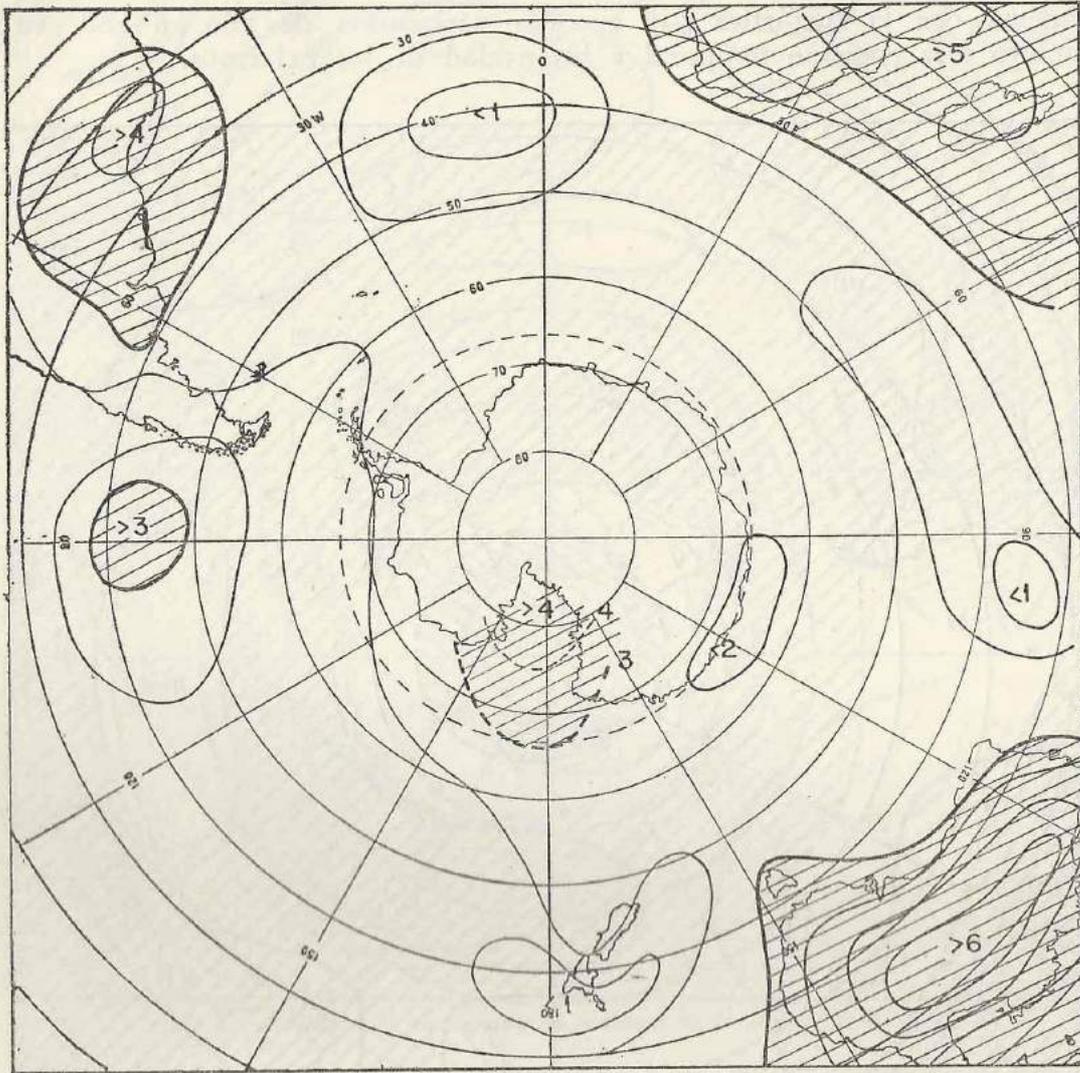


FIG. 2. — Semiamplitud de la oscilación anual de la presión,  $r_1$  en mb.

La zona con el mínimo anual en la primavera abarca las costas del continente antártico y los mares adyacentes. También allí notamos una diferencia entre el sector atlántico donde el mínimo se observa en noviembre, y el sector pacífico, con el mínimo en octubre. En la Fig. 8 están reunidas las tres únicas series existentes con un récord relativamente largo de aquella región.

Volviendo al problema de la asimetría extrema de la marcha anual de la presión sobre Tierra de Fuego, podemos decir que allí encontramos el máximo que corresponde al régimen de las latitudes templadas del Océano Pacífico, y el mínimo del régimen de la zona polar del Atlántico.

Los gráficos de las Figs. 7 y 8 ya sugieren la noción de que existe una relación bien definida entre el régimen de las latitudes medias y el de las regiones polares. Sin embargo, nos pareció adecuado entrar en un análisis crítico de los datos relevantes, dado que las curvas de la Fig. 7 se basan en los registros de muchos años, mientras las de la Fig. 8 son el resultado de las observaciones de algunos años sueltos. Además, en la Antártica hay grandes variaciones de año en año, en cuanto a la posición temporal e intensidad de los extremos.

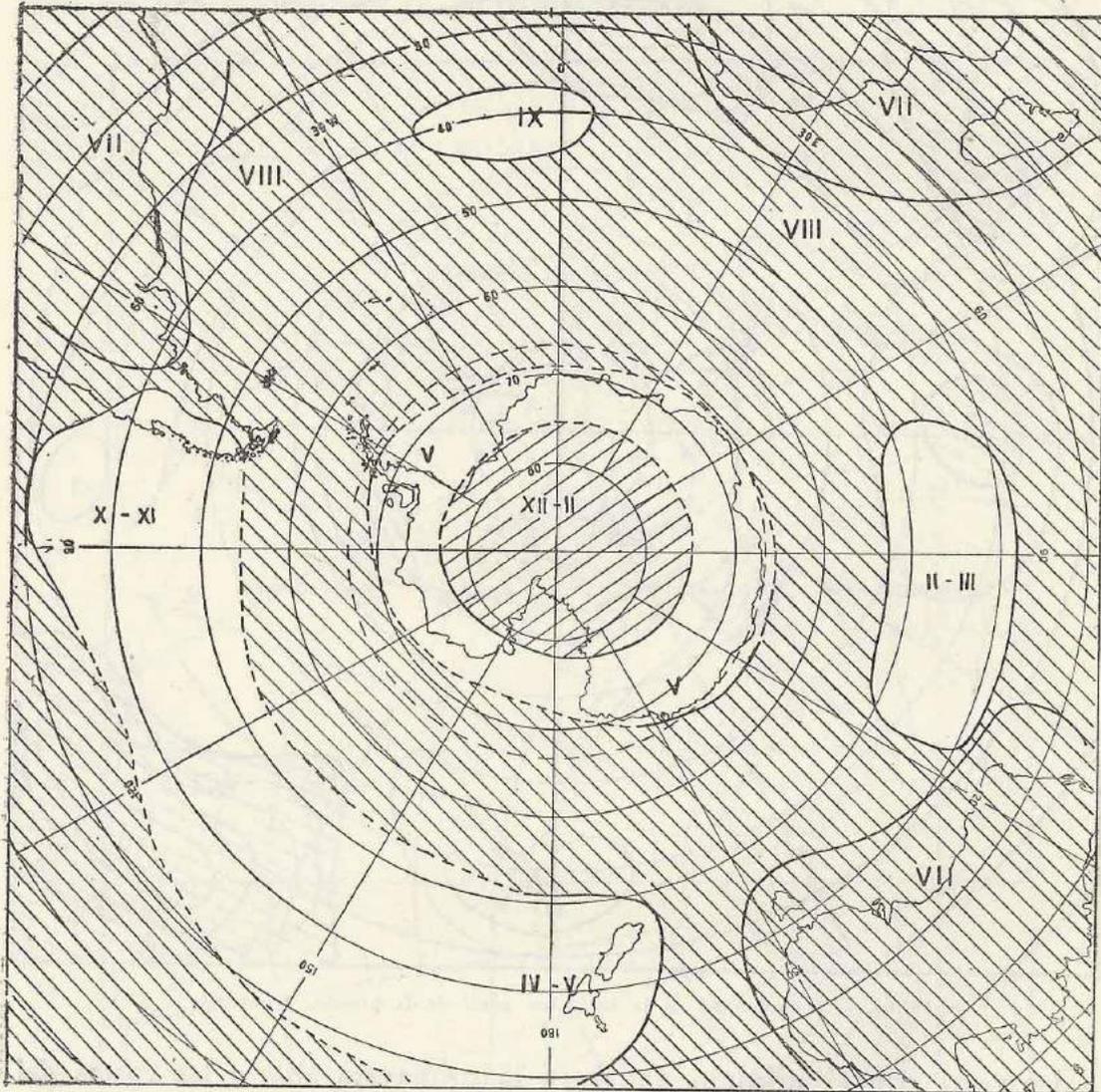


FIG. 3.— Época de la ocurrencia del máximo de la oscilación anual de la presión. (En este mapa, y análogamente en el de la Fig. 5, se han trazado sólo las isobarcas necesarias para poner de relieve las zonas características principales).

Por lo tanto, hemos determinado la *variación intermensual* de la presión para aquellos períodos en los que hubo observaciones en las dos zonas, y hemos calculado los coeficientes de correlación correspondientes. Resulta, por ejemplo, un valor  $r = -0,48$  para la variación intermensual (simultánea) de Little América y la costa del sur de Chile (representada por la estación Punta Galera,  $40^{\circ}\text{S}$ ). Dicho valor de  $r$ , calculado en base a 102 pares de datos (lo que corresponde, en consi-

deración de la persistencia de las series de presión, a 85 pares "independientes" según BARTLETT, en obra de QUENOUILLE<sup>1)</sup> es altamente significativo.

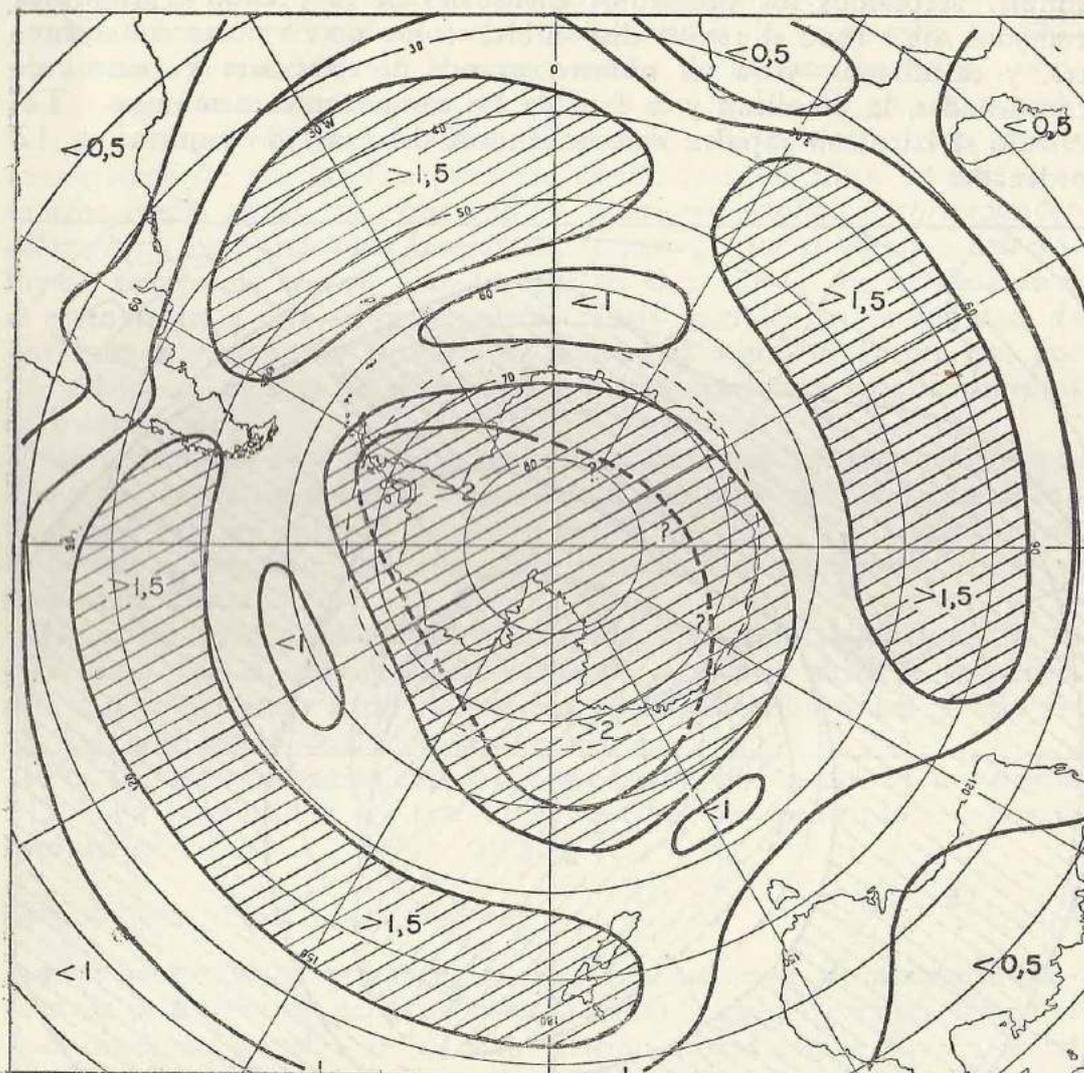


FIG. 4. — Semiamplitud de la oscilación semianual de la presión,  $r_2$  en mb.

Es muy probable que exista una relación análoga en el sector atlántico, pero no hemos dispuesto de datos simultáneos de Bahía Margarita y Tristán da Cunha. Por ello, se ha podido calcular solamente la relación entre Orcadas (a  $60^\circ\text{S}$ , es decir en la zona marginal del régimen antártico) y Tristán da Cunha:  $r = -0,31$  y la relación entre Bahía Margarita y Orcadas:  $r = +0,72$ . Así se comprueba la existencia de una relación real, aunque débil, entre los regímenes de la presión en las zonas antárticas y las templadas.

### III. LAS COMPONENTES DE LA MARCHA ANUAL DE LA PRESION

#### a) ANÁLISIS ARMÓNICO

El método más adecuado para obtener una visión integral de los fenómenos y relaciones expuestas y para facilitar la consideración de sus

posibles causas, consiste en el análisis armónico de las curvas que representan la marcha anual media de la presión atmosférica en las distintas regiones del hemisferio. Para realizar tal análisis en la forma más simple, aceptamos los promedios mensuales de la presión (promedios tomados sobre todo el récord disponible) como doce valores equidistantes, y calculamos, para un número grande de estaciones y puntos de coordenadas, la amplitud y la fase de las componentes armónicas. Tal cálculo se hace con rapidez aprovechándose del conocido esquema de 12 ordenadas <sup>2</sup>.

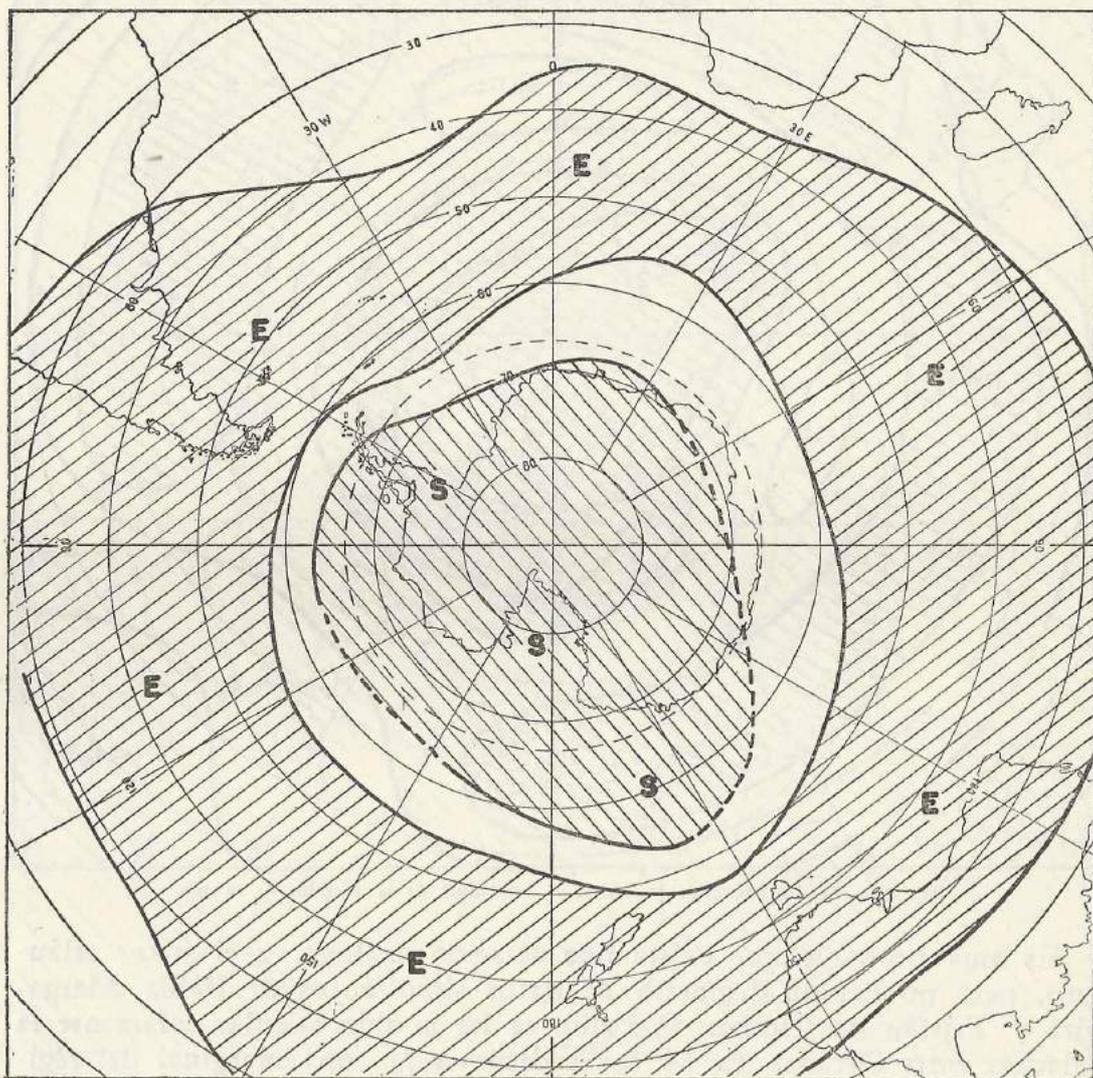


FIG. 5. — Época de la ocurrencia de los máximos de la oscilación semianual. E = máximos en los equinoccios, S = máximos en los solsticios.

En otras palabras, tal cálculo determina los valores característicos  $r_v$  y  $\varphi_v$  de la función

$$g(x) = \frac{r_0}{2} + \sum r_v \text{ sen } (v x + \varphi_v)$$

con  $v = 1 \dots a 5$ , y con  $x = 30^\circ$  para mitad de enero hasta  $x = 360^\circ$  para mitad de diciembre.

En efecto, nuestro interés se concentra aquí en las dos primeras armónicas,  $v = 1$  y  $v = 2$ , las que representan la oscilación anual y la oscilación semi-anual de la presión atmosférica. Hay que poner de relieve que, para la gran mayoría de las series basadas en observaciones de muchos años ( $> 30$ ), la marcha media anual de la presión se halla muy bien aproximada por la superposición de las dos primeras armónicas, como lo mostramos en los gráficos de la Fig. 9, que se refieren a la zona costera del sur de Chile. Casos de esta índole podrían sugerir la hipótesis de que las dos primeras oscilaciones describen la verdadera marcha media anual, mientras que las ulteriores armónicas corresponden solamente a las variaciones irregulares, impuestas por el variable desarrollo del tiempo de año en año, las que en el promedio de muchos años se aproximan a cero. Por supuesto, cabría también la posibilidad de que existan variaciones seculares de la marcha anual de la presión, por lo cual los  $r_3$ ,  $r_4$  y  $r_5$  no se acercarían a cero, aun para series promedios de muchos años.

Pero aparte de ello, debemos mencionar que en el noroeste de Europa, donde las oscilaciones anual y semi-anual son muy débiles, aparece una oscilación con un período de cuatro meses ( $v = 3$ ). Tal fenómeno no lo hemos encontrado, con apreciable magnitud y estabilidad, sobre el hemisferio austral.

De todos modos, el ejemplo de la Fig. 9 es muy ilustrativo. Se ve bien claro que el máximo dominante de primavera debe su existencia a la casi coincidencia entre el máximo de la oscilación anual y uno de los máximos de la oscilación semi-anual.

Por lo tanto, debemos exponer brevemente, por medio de los mapas 2 a 5, la amplitud y la fase de las oscilaciones principales en escala hemisférica.

#### b) LA OSCILACIÓN ANUAL

Está comprobado, por trabajos de otros autores y últimamente confirmada por nosotros para casi toda la tierra<sup>3</sup>, que la primera armónica —la oscilación anual— se halla en relación directa con la marcha anual de la temperatura, de modo que la amplitud depende en forma directa, y la fase en forma inversa, de la temperatura. Como la marcha anual de la temperatura es mucho más pronunciada sobre tierra firme que sobre el agua, los continentes se destacan por amplitudes relativamente grandes de la primera armónica, con el máximo en invierno y el mínimo en verano.

En lo que a esta relación se refiere, las latitudes extratropicales del hemisferio sud muestran un comportamiento normal. Las amplitudes (mapa de la Fig. 2) en los continentes son en general mayores de 3 mb, mientras se mantienen por debajo de este valor en los océanos, con excepción de la región del pacífico oriental. Se distinguen, además, zonas de amplitud mínima en los océanos alrededor de  $40^{\circ}\text{S}$ , cuyas probables causas discutiremos juntamente con las fases. Sobre el continente antártico las amplitudes son inseguras. Sin embargo, las pocas observaciones y otros indicios hacen suponer que la amplitud aumenta también aquí desde la costa hacia el interior.

Las líneas de igual fase (mapa de la Fig. 3) muestran en gran parte una configuración similar sobre mar y tierra. El máximo se encuentra en los meses de temperatura mínima, vale decir, en junio o julio sobre los continentes y mares adyacentes, y en agosto sobre los océanos, excepción hecha de una parte del Pacífico.

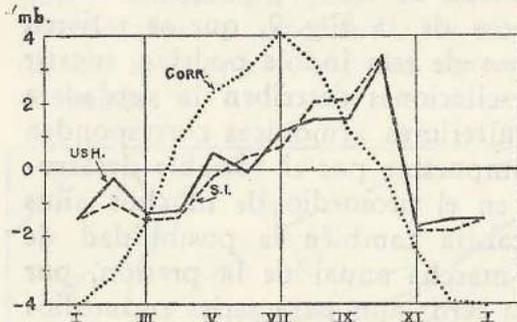


FIG. 6. — Marcha anual de la presión (desviaciones respecto al promedio anual) en Ushuaia (1901-1940), San Isidro (1912-1940) y Corrientes (1901-1950).

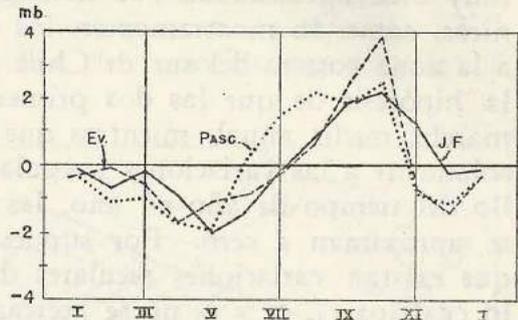


FIG. 7. — Marcha anual de la presión (desviaciones respecto al promedio anual) en Isla de Pascua (11 años), Juan Fernández (1921-1950) e Islote de los Evangelistas (1911-1940).

Hay, por lo tanto, una diferencia fundamental entre el comportamiento de la oscilación anual sobre los océanos del hemisferio sur y sobre los del hemisferio norte. Allí, la oscilación anual tiene una fase opuesta a la que se encuentra sobre los continentes, por lo cual sobre los océanos existe una oscilación anual paralela a la de la temperatura, en lugar de una oscilación inversa. Al analizar detalladamente la onda anual en los océanos de aquel hemisferio, resulta que no se trata de un fenómeno sui géneris, sino de un efecto compensatorio a la oscilación anual muy marcada sobre los continentes. Se ve así que los continentes de las latitudes extratropicales del hemisferio sur no son suficientemente extendidos como para cambiar por completo el régimen de los océanos. La influencia de la oscilación anual continental se hace notar en los océanos de este hemisferio, sólo en forma tal que disminuye la amplitud en ciertas regiones, mayormente al este de los continentes: son éstas las zonas antes mencionadas con las amplitudes muy pequeñas. También la fase de la onda anual muestra un comportamiento fuera de lo normal en dichas regiones, lo que analizamos, en forma detallada, en nuestro trabajo antes mencionado.

La única zona marítima con la amplitud de la oscilación anual superior a 3 mb se encuentra sobre el Océano Pacífico sudoriental, donde el máximo de dicha oscilación se presenta en la primavera. Ello puede deberse a la influencia de las corrientes oceánicas polares (dirigidas hacia el norte por el obstáculo del continente), las que en tal época del año, a causa de la mayor extensión del "pack-ice", acusan la menor temperatura.

En la Antártida encontramos el máximo de la oscilación anual en las costas pacíficas alrededor de los  $68^\circ$  en el mes de mayo, mientras que Little America, unos 10 grados más cerca al polo, muestra el máximo en el verano. Cabe notar que es éste un comportamiento contrario al de la zona ártica.

## c) LA OSCILACIÓN SEMI-ANUAL

Los mapas de las Figs. 4 y 5 ponen de manifiesto que la amplitud y la fase de la oscilación semi-anual varían esencialmente con la latitud. Sobre la parte extratropical del hemisferio sur, se encuentran dos grandes regiones de características bastante uniformes, la cinta zonal alrededor de  $40^\circ$  de latitud, con la amplitud superior a 1 mb y los máximos en los meses equinocciales, y la zona subantártica y —probablemente— antártica, también con la amplitud grande, pero con los máximos en los meses alrededor de los solsticios. Entre ambas regiones, se halla una zona relativamente estrecha de transición de la fase, con la amplitud pequeña y poco segura en el sentido estadístico. Se nota, además, que la amplitud  $r_2$  en la cinta zonal mencionada es menor en la vecindad de los tres continentes que sobre los océanos. Podemos asegurar que aquí no se trata de un efecto ficticio, producido por la escasez o heterogeneidad del material a base del que se han elaborado los mapas de la presión media mensual para los océanos, sino de un fenómeno real. Documentase ello por los valores de  $r_2$  calculados para algunas islas: Heard 2,5 mb, Marion 2,4 mb, Georgia del Sur 1,6 mb, Chatham 2,8 mb.

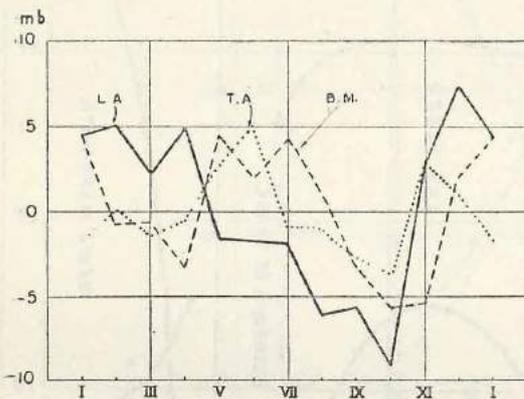


FIG. 8. — Marcha anual de la presión (desviaciones respecto al promedio anual  $P_m$ ) en Bahía Margarita (6 años)  $P_m = 989.0$  mb, Little América (9 años)  $P_m = 987.9$  mb y Tierra Adélice (5 años)  $P_m = 988.2$  mb.

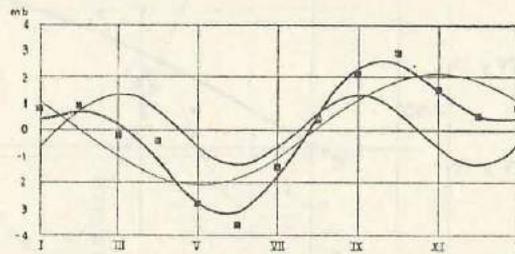


FIG. 9. — Marcha anual de la presión (desviaciones respecto al promedio anual) en la costa austral de Chile: Isla Guafo + San Pedro/2 (1911-1940), con la primera y la segunda armónica y la suma de ambas.

La única zona en la que se encuentra un número relativamente grande de estaciones con largo récord, es el sector sudamericano. Para él hemos compuesto los datos relevantes en la Fig. 10, la que muestra bien claro el brusco cambio de la fase entre  $55$  y  $62^\circ$  de latitud, y los dos máximos de la amplitud, uno alrededor de  $45^\circ$  S y el otro, más pronunciado aún, al S de  $63^\circ$ . El valor en  $65^\circ$  S, de Islas Argentinas, se basa en registros de 13 años y puede estimarse, por ello, más representativo que el valor muy alto de Bahía Margarita, deducido de registros de no más de 5 años. Mencionaremos, al pasar, que para la zona de Little América ( $78,5^\circ$  S,  $165^\circ$  W) resulta, a base de datos de 9 años, un valor de  $r_2 = 2,3$  mb y  $\varphi_2 = 77^\circ$ , equivalente a la ocurrencia de los máximos de la segunda armónica en los meses de junio y diciembre.

En resumen digamos, entonces, que la oscilación semi-anual se presenta de manera tal que a los máximos en las latitudes medias corresponden los mínimos en las zonas subpolares y polares, y viceversa, todo

esto en conformidad con lo expuesto en el párrafo anterior, referente a una correlación negativa entre las variaciones intermensuales de la presión en Little America y la costa chilena. Entre Bahía Margarita y dicha costa al norte de  $50^{\circ}\text{S}$  no existen correlaciones significativas, lo que se explica, supuestamente, por la distancia mucho menor entre los puntos en cuestión: La oscilación semianual actúa en pro de una marcha opuesta de la presión, pero la extensión ordinaria de los sistemas béricos singulares favorece una marcha paralela. De tal modo, los coeficientes de correlación de la variación intermensual de la presión resultan significativamente positivos sobre una distancia menor (B. Marg.  $\times$  Punta Arenas:  $r = 0,47$ ), cerca de cero sobre una distancia media (B. Margarita  $\times$  Puerto Aysen:  $r = -0,17$ , y significativamente negativos sobre una distancia mayor (Little Am.  $\times$  Punta Galera:  $r = -0,48$ ).

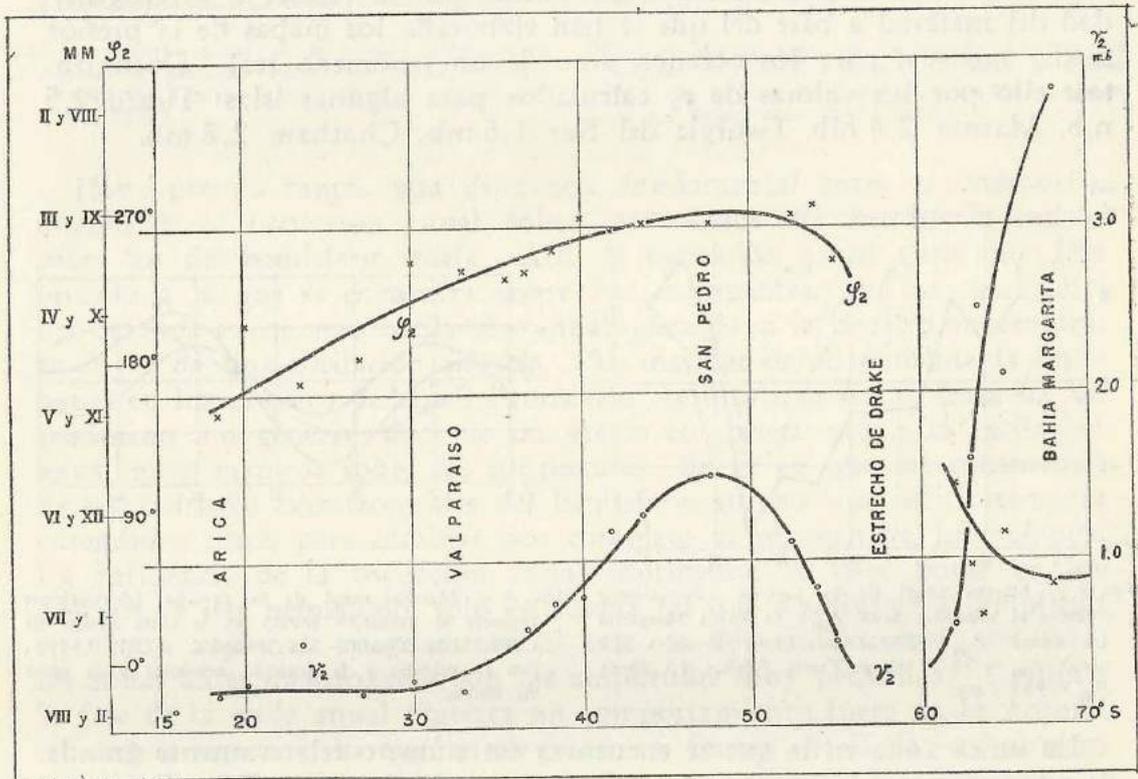


FIG. 10. — Fase ( $\phi_2$ ) y amplitud ( $r_2$ ) de la oscilación semianual de la presión a lo largo de la costa chilena y en Tierra de Graham. MM = mes del máximo de la oscilación semianual.

#### d) LA VARIACIÓN DE LAS OSCILACIONES ANUAL Y SEMI-ANUAL CON LA ALTURA

La variación intermensual del gradiente vertical de la presión depende de la variación correspondiente de la densidad media de la capa considerada, la cual tiene una marcha anual bien definida (opuesta a aquella de la temperatura), con el máximo en el invierno y el mínimo en verano. Lo mismo vale, entonces, para el gradiente vertical de la presión. Para poner en evidencia las repercusiones que esto tiene respecto de la amplitud y fase de la oscilación anual de la presión misma en distintos niveles de altura, hay que distinguir entre las regiones con el máximo de

esta oscilación en la estación fría, y aquellas (se trata en primera instancia de los océanos del hemisferio norte) con tal máximo en la estación cálida, siempre en superficie. En las últimas, la amplitud puede aumentar con la altura ya en las capas inferiores, y la fase no varía esencialmente. En las primeras, y entre ellas en la parte extratropical del continente sudamericano, la amplitud debe disminuir con la altura en las capas inferiores hasta que ella se acerca a cero, con la fase no definida, en un "nivel de equilibrio" que se encuentra, término medio, entre 1 y 2 Km de altura sobre el suelo (según la magnitud de las oscilaciones anuales de la presión en superficie y de la densidad). A partir de dicho nivel, la amplitud va en aumento con la altura, y la fase se establece opuesta a la de las capas inferiores, es decir, con el máximo en la estación cálida. Un ejemplo de semejante situación lo dan los gráficos de la Fig. 11, con lo cual se contesta también la cuestión formulada por CONRAD <sup>4</sup>.

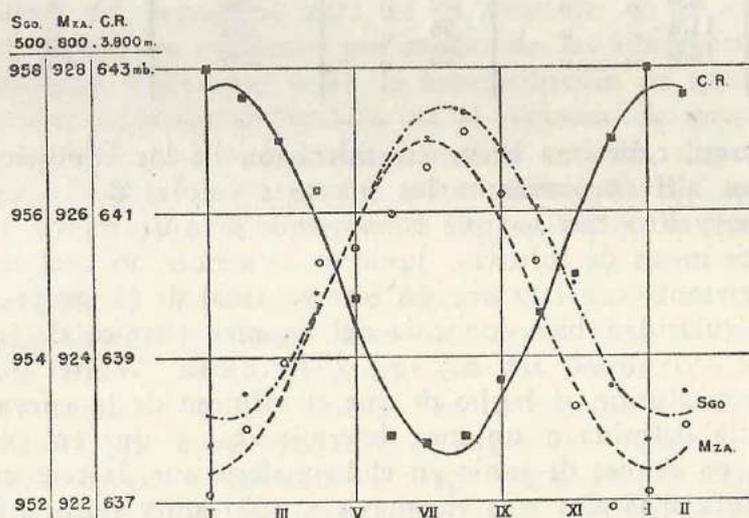


FIG. 11. — Promedios mensuales de la presión en Mendoza, 1901-1940, (círculos); Santiago de Chile, 1911-1940 (puntos); Cristo Redentor, 1937-1952, (cuadrados). Las curvas representan las primeras armónicas correspondientes.

La variación con la altura de la oscilación *semi-anual*, según el escaso material aerológico disponible del hemisferio sur, muestra características definidas sólo en ciertas cintas latitudinales, y son éstas las zonas en que buscamos la principal sede del fenómeno, como explicaremos en el párrafo siguiente. Aprovechamos aquí los sondeos de Puerto Stanley, Islas Malvinas, del período 1948 a 54, para exponer el pronunciado aumento de la amplitud hacia las capas superiores, el que consideramos típico de la zona de óptimo desarrollo de dicha oscilación en las latitudes medias (Cuadro I).

Dado que se trata de alturas mayores, conviene basar el análisis en los valores promedios del geopotencial de ciertos niveles béricos, en lugar de los promedios de la presión en ciertas alturas, ya que aparte de otras razones, así se facilita un estudio comparativo de los posibles efectos dinámicos de la oscilación en alturas muy distintas.

Estos datos no dejan duda alguna acerca del aumento de la amplitud de la oscilación semi-anual, hasta el nivel de la tropopausa aproximadamente, y tampoco acerca de la ocurrencia de los máximos en los meses

equinocciales, marzo y setiembre. Sería muy deseable efectuar un análisis análogo para varias estaciones en distintas latitudes, pero por falta del material requerido del hemisferio sur debe postergarse semejante proyecto.

CUADRO I. — *Amplitud y fase de la oscilación semi-anual del geopotencial de distintos niveles béricos, sobre Puerto Stanley, Malvinas*

Nivel bérico	Altura aprox.	$r_2$	$\varphi_2$	Fechas de la ocurrencia de los máximos
1000 mb	0 Km s.n.m.	11 gpm	270°	15 III y IX
800 "	1.8 " "	13 "	278°	11 " " "
600 "	4.0 " "	16 "	282	9 " " "
400 "	7.0 " "	19 "	286	7 " " "
300 "	8.9 " "	22 "	288	6 " " "
200 "	11.6 " "	26 "	294	3 " " "
100 "	16.0 " "	22 "	299	1 " " "

Sin embargo, cabe una breve consideración de las condiciones antárticas, ya que allí encontramos los mayores valores de la amplitud  $r_2$  en superficie, y una fase  $\varphi_2$  que corresponde a la ocurrencia de los máximos en los meses de solsticio, junio y diciembre, lo cual implica una relación interesante con la variación intermensual de la temperatura.

Una particularidad bien conocida del régimen térmico de las regiones polares es el "invierno sin núcleo" ("Kernloser Winter"), concepto ilustrativo con alusión al hecho de que el mínimo de la curva anual no da preferencia definida a un mes determinado, y que en plena noche polar, e. g., en el mes de junio en el hemisferio sur, la temperatura media se presenta más alta que en mayo y sólo muy poco inferior a la de abril; esto es, por ejemplo, el caso de Little América. Tales condiciones térmicas, automáticamente, traen consigo que la amplitud de la oscilación semi-anual de la presión (con la fase: máximos a los solsticios) aumenta con la altura mientras prevalece dicha marcha anual de la temperatura.

#### IV. HIPOTESIS ACERCA DE LA CAUSA DE LA OSCILACION SEMI-ANUAL DE LA PRESION ATMOSFERICA Y OTROS ELEMENTOS METEOROLOGICOS

El fenómeno de la oscilación semi-anual de la presión de por sí ya lo conocían los meteorólogos del siglo pasado, y desde aquellos años ha perdurado, en los textos de meteorología y climatología, la idea de que esta oscilación se deba al período semi-anual de la radiación solar recibida por la cinta ecuatorial de la tierra, por intermedio de un período análogo de la temperatura del aire, el cual se muestra, efectivamente, en los registros de algunas estaciones ubicadas cerca del ecuador, aunque no en todos.

Sin embargo, el análisis armónico de la marcha anual de la presión en varios puntos de la zona ecuatorial pone en evidencia que la fase de la segunda armónica de ninguna manera es uniforme. Por ejemplo, en

la región de Nueva Guinea los máximos de la oscilación semi-anual se presentan en los meses equinocciales, mientras que en la región de África oriental lo hacen en los solsticios, siempre con la amplitud  $r_2$  bastante pequeña, alrededor de 0,3 mb.

Además, el análisis armónico correspondiente a las latitudes medias y subpolares muestra una distribución bien definida de la fase  $\varphi_2$  y valores relativamente grandes, mayores de 1 mb, de la amplitud  $r_2$ , como lo hemos expuesto en los mapas de las Figs. 4 y 5 del párrafo anterior. Estos hechos sugieren que el período semianual de la radiación solar en la zona ecuatorial no es la causa del fenómeno en cuestión, o, por lo menos, no es la única y principal causa del mismo.

En vista de ello, nos pareció sensato dirigir la atención particularmente, sobre tres resultados bien claros de nuestro análisis:

1) La antes mencionada oposición de la fase  $\varphi_2$  en las latitudes templadas y polares del hemisferio sur; 2) el aumento de la amplitud  $r_2$  con la altura, puesto en evidencia por medio de las observaciones aerológicas de las Islas Malvinas; y 3) la comprobación de que una oscilación semi-anual se muestra también en el régimen de precipitaciones en la zona subpolar, un hecho que, sin tener relación directa con los valores de presión, puede interpretarse como indicio de la "actividad de la atmósfera", o en otras palabras, de la intensidad de la zona frontal casi-permanente.

Esto último sugirió un estudio del régimen de vientos en la vecindad de dicha zona, lo cual pudimos hacer otra vez a base de los sondeos aerológicos de Port Stanley. Resulta que la componente zonal del viento en esta latitud ( $52^\circ\text{S}$ ), muestra, en su marcha anual, una oscilación semi-anual que, siendo pequeña en superficie, aumenta considerablemente con la altura y presenta el rasgo principal de dicha marcha anual en las capas altas de la troposfera y en el nivel de la tropopausa, con los máximos en los meses equinociales, los mínimos en los meses del solsticio. Tal variación periódica corresponde perfectamente a aquella que se calcula para el gradiente bórico entre Malvinas y Tierra de Graham, o en un sentido más amplio, entre zonas templadas y zonas polares, según sugiere el mapa de la Fig. 5 y está demostrado en la parte inferior de la Fig. 12. En relación con este resultado es interesante e importante que también en el hemisferio norte el régimen del viento zonal en la altura revela una oscilación en el mismo sentido, como se ve en los cortes verticales elaborados y publicados por KOCHANSKI<sup>(5)</sup>, a los que nos referimos con más detalles en otra exposición pronto a aparecer en el *Journal of Meteorology*. Además, ya en el año 1948 SCHERHAG<sup>(6)</sup> llamó la atención sobre el hecho de que el gradiente bórico en la altura sobre Europa, calculado a base de los radiosondeos realizados durante la última guerra en Sicilia y el extremo norte de Noruega, muestra una oscilación semi-anual bien marcada.

La consideración de estos hechos nos lleva, con naturalidad, a la de la causa principal de las grandes corrientes atmosféricas, la radiación solar. En efecto, aunque la radiación recibida por la tierra (y/o la atmósfera de la misma) no tiene una oscilación semi-anual sino anual, la *diferencia entre la radiación recibida en latitudes medias y aquella en lati-*

tudes polares tiene un período semi-anual muy pronunciado, en el sentido de que el contraste de la calefacción solar entre latitudes medias y polares es muy grande en los meses equinocciales, pequeño alrededor del solsticio invernal, y muy pequeño alrededor del solsticio estival. Ahora bien, dado que el distinto calentamiento solar de las distintas cintas latitudinales de la tierra es la causa principal de la circulación general de la atmósfera, se sugiere que el período semi-anual de dicha diferencia es la causa principal de la oscilación semi-anual en las grandes corrientes zonales de las latitudes medias. Y dado que ésta se presenta en la forma más marcada en la región de la tropopausa, en la que

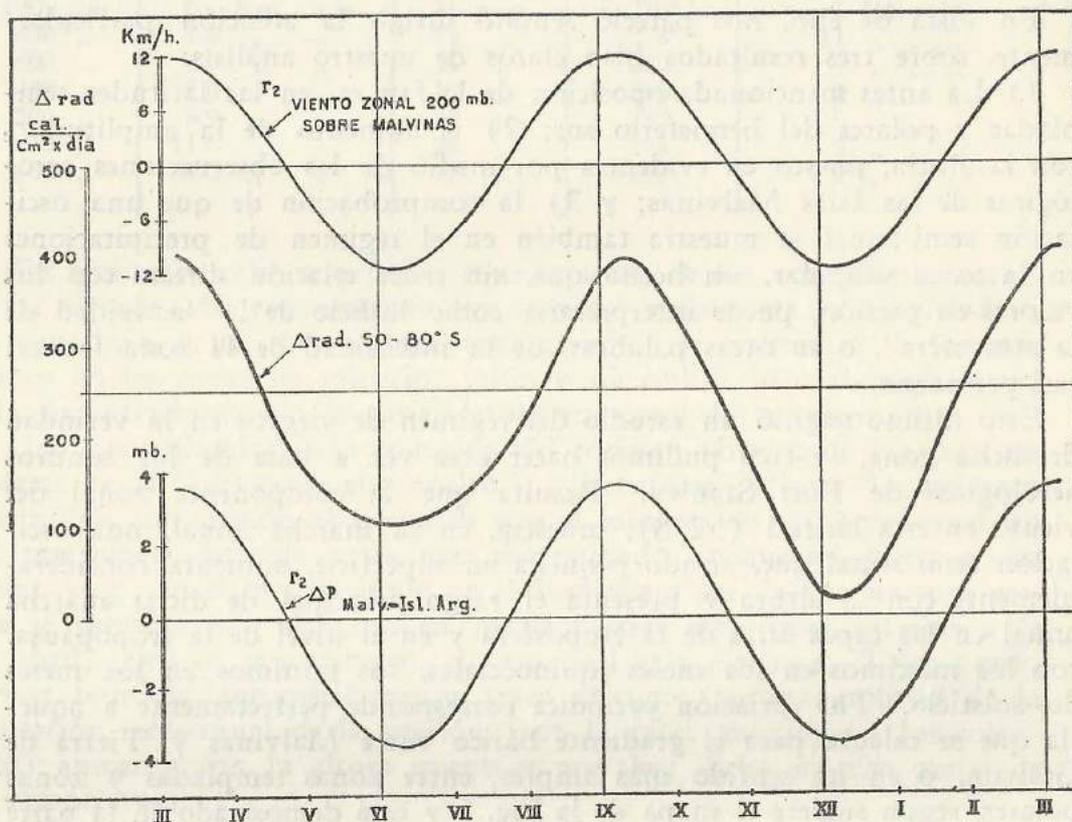


FIG. 12. — " $\Delta$  rad" = Marcha anual de la diferencia entre las sumas diarias de radiación recibida en  $50^{\circ}$  y  $80^{\circ}$ S; coeficiente de transmisión  $p = 0,9$ .  
 "Viento zonal" = Segunda armónica de la marcha anual de la componente zonal del viento en el nivel de 200 mb, sobre Puerto Stanley, Malvinas.  
 " $\Delta P$ " = Segunda armónica del gradiente bórico Malvinas - Islas Argentinas, en el nivel del mar.

se encuentra también la sede primordial del flujo ageostrófico desde la baja hacia la alta presión o, en otros términos, la sede principal de los procesos anticiclo- y ciclogénéticos, se sugiere que la variación intermensual de la intensidad de las corrientes zonales en altura está directamente relacionado con la variación intermensual de la presión en altura y en superficie. Estas relaciones se manifiestan en los gráficos de la Fig. 12, de los que la curva gruesa (en el medio) representa la marcha anual de la diferencia entre las sumas diarias de radiación recibida en  $50^{\circ}$ S y en  $80^{\circ}$ S, contándose con un coeficiente de transmisión a razón de 0,9, según los datos calculados y publicados por MILANKOVITCH (7). Un

estudio más detallado de dichas relaciones y del supuesto mecanismo lo daremos en el trabajo antes mencionado (3).

## V. CONCLUSIONES

De todo ello llegamos a la siguiente noción sinóptica del porqué de la marcha anual de la presión atmosférica en las zonas extratropicales de la tierra: La primera componente armónica, la oscilación anual, está en relación inversa con la oscilación de la temperatura en la superficie terrestre, salvo aquellas partes de los océanos en las que la oscilación más intensa sobre los continentes adyacentes imponen una oscilación compensatoria de sentido opuesto. La segunda componente armónica, la oscilación semi-anual, se debe, en primera instancia, al período semi-anual del calentamiento desigual de la alta troposfera y, tal vez, de las capas superiores, en las latitudes medias y polares, y se lleva a efecto por intermedio de una variación periódica semi-anual de las grandes corrientes zonales en aquellas capas. En la mayor parte del mundo, estas dos componentes armónicas en conjunto describen la marcha anual de la presión con buena aproximación, la que se muestra tanto mejor cuanto que más largo es el récord de observaciones barométricas en las que se basa la curva media anual, o dicho de otra manera cuanto menor es la influencia de las perturbaciones irregulares y temporarias de índole sinóptica.

## RECONOCIMIENTO

Dejamos especial constancia de la valiosa colaboración prestada por las profesoras señoritas, Luisa J. Calcagno, F. Yolanda Allevato y Celia I. Lozzia, quienes han tenido a su cargo el laborioso trabajo de cálculo del análisis armónico para las numerosas estaciones, y determinados aspectos estadísticos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. QUENOUILLE, M. H. — «Associated Measurements», Butterworth, London 1952.
2. BAUR, F. — «Meteorologisches Taschenbuch» (nueva edición) 2do. tomo, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1953.
3. SCHWERDTFEGER, W. y PROHASKA, F. — Jahrgang des Luftdrucks auf der Erde, unter besonderer Berücksichtigung der halbjährigen Komponente, ihrer Ursache und Beziehung zur allgemeinen Zirkulation. *Meteorologische Rundschau* (en prensa).
4. CONRAD, V. — «Der Höheneinfluss auf die Jahresschwankung des Luftdrucks». *Meteorologische Zeitschrift*, 1938, 429.
5. KOCHANSKI, A. — «Cross sections of the mean zonal flow and temperature along 80°W». *Journal of Meteorology*, tomo 12, 95, 1955.
6. SCHERHAG, R. — «Wetteranalyse und Wetterprognose», Springer, Berlín, 1948.
7. MILANKOVITCH, M. — «Mathematische Klimalehre, en Köppen-Geiger: Handbuch der Klimatologie», Teil A tomo 1.

519.272

## MÉTODO ABREVIADO PARA CALCULAR CORRELACIONES Y OTROS PROCEDIMIENTOS PRÁCTICOS

Por EMILIO L. DIAZ \*

**Resumen.** — Los métodos y procedimientos indicados son parte de un trabajo de investigación próximo a terminarse. El método abreviado para calcular correlaciones se funda en la distribución de los valores de la variable independiente, asociados a determinados valores de la variable dependiente. Se incluye un coeficiente de aglutinación destinado a proporcionar un criterio para apreciar el grado de significación de los resultados de diferentes series de observaciones, la definición de anomalía relativa y relaciones entre diversas magnitudes estadísticas.

**Summary.** — Methods and procedures here indicated are part of a research work nearly completed. The short cut method to compute correlations is based on distribution of values of the independent variable for certain values of the dependent variable. An agglutination coefficient is also mentioned in object to have a criterion to estimate significance of results of different series of observations. The relative anomalie is defined and also relations among statistical magnitudes.

### 1. MÉTODO ABREVIADO PARA CALCULAR CORRELACIONES.

El método y procedimientos que siguen forman parte de los trabajos realizados en relación con una investigación destinada a buscar vinculaciones entre las anomalías mensuales de la lluvia en la zona agropecuaria argentina más importante y las anomalías de diversas variables meteorológicas en el Hemisferio Sur.

Surgió como una necesidad para abreviar cálculos y cálculos, tanto más sentida cuanto más largas y tediosas eran las series a relacionar.

La determinación de los coeficientes de correlación significa una labor fatigosa y larga, como ya se dijo, sobre todo cuando las observaciones a correlacionar son numerosas y muchas las instancias, en el tiempo, para las cuales deben calcularse.

Con objeto de obviar estos inconvenientes y acelerar el trabajo, se ideó un coeficiente ( $q$ ) que se basa en la distribución de los valores de la variable independiente para magnitudes determinadas de la variable dependiente. Los valores de ( $q$ ) son de cálculo directo y próximos a los del coeficiente de correlación ( $r$ ). La diferencia con ( $r$ ), es decir ( $r - q$ ), ha sido aquí calculada experimentalmente para las distribuciones que comúnmente se encuentran en las variables meteorológicas. El método es el siguiente:

- a) Seleccionar los valores de la variable dependiente ( $y$ ) que sean  $\geq +D_y$  y los que sean  $\leq -D_y$ . ( $D_y$  es el desvío medio).
- b) Determinar el número de valores, en la variable independiente ( $x$ ),  $\geq +D_x$ , entre  $+D_x$  y  $-D_x$  e  $\leq -D_x$ , ligados a  $y \geq +D_y$  y a  $y \leq -D_y$ .

\* Capitán de Navío. Comandante de la Fuerza Naval Antártica.

c) El proceso equivale a llenar el Cuadro I:

CUADRO I

<i>y</i>	$\geq +D_x$	$+D_x/-D_x$	$\leq -D_x$
$\geq +D_y$	$n_a$	$n_b$	$n_c$
$\leq -D_y$	$n_d$	$n_e$	$n_f$

d) El coeficiente (*q*) es:

$$q = \frac{n_a + n_f - n_c - n_d}{n_a + n_b + n_c + n_d + n_e + n_f}$$

donde  $n_a, n_b, \dots, n_f$  son el número de casos en cada casilla.

e) El cuadro indicado en c) se confecciona para cada intervalo de tiempo para el cual se hace el cómputo de (*q*). Los valores de  $x = +D_x$  y de  $x = -D_x$  se anotan en las casillas de las columnas laterales y no en la central. Un arreglo conveniente para trabajar es el esquematizado en el Cuadro II.

CUADRO II

Intervalos de tiempo	Para valores $y \geq +D_y$ Nº de valores de <i>x</i>			Para valores $y \leq -D_y$ Nº de valores de <i>x</i>			$n_a + n_f$	$n_c + n_d$	$N_t$	<i>q</i>
	$\geq +D_x$	$+D_x/-D_x$	$\leq -D_x$	$\geq +D_x$	$+D_x/-D_x$	$\leq -D_x$				
.										
— 3										
— 2										
— 1										
0										
Casilla	$n_a$	$n_b$	$n_c$	$n_d$	$n_e$	$n_f$				

f) La diferencia entre el coeficiente de correlación (*r*) y el coeficiente (*q*), es decir (*r - q*), puede expresarse en función de la siguiente fórmula, Fig. 1, obtenida empíricamente en base a 31 determinaciones [valores de (*r*) comprendidos entre 0 y 1.00]:  
para (*q*) positivo:

$$r - q = f(q) = -0,028 q + 1,24 q^2 - 1,26 q^3$$

para (*q*) negativo:

$$r - q = f(q) = -0,028 q - 1,24 q^2 - 1,26 q^3$$

g) Con las fórmulas anteriores se calculó la tabla de corrección que constituye el Cuadro III, cuyos valores se aplican con su signo a (*q*) para obtener (*r*):

CUADRO III. — Valores de la función de corrección [ $f(q)$ ]

$q$	$q$ positivo	$q$ negativo	$q$	$q$ positivo	$q$ negativo	$q$	$q$ positivo	$q$ negativo
0	0	0	0,4	+ 0,11	- 0,11	0,8	+ 0,13	- 0,13
0,1	+ 0,01	- 0,01	0,5	+ 0,14	- 0,14	0,9	+ 0,06	- 0,06
0,2	+ 0,03	- 0,03	0,6	+ 0,16	- 0,16	1,0	- 0,05	+ 0,05
0,3	+ 0,07	- 0,07	0,7	+ 0,16	- 0,16			

h) El error cuadrático medio de  $f(q)$  es de  $\pm 0,046$ .

i) La expresión de  $(r)$  en función de  $(q)$  es:

$$r = q + f(q) \pm 0,05$$

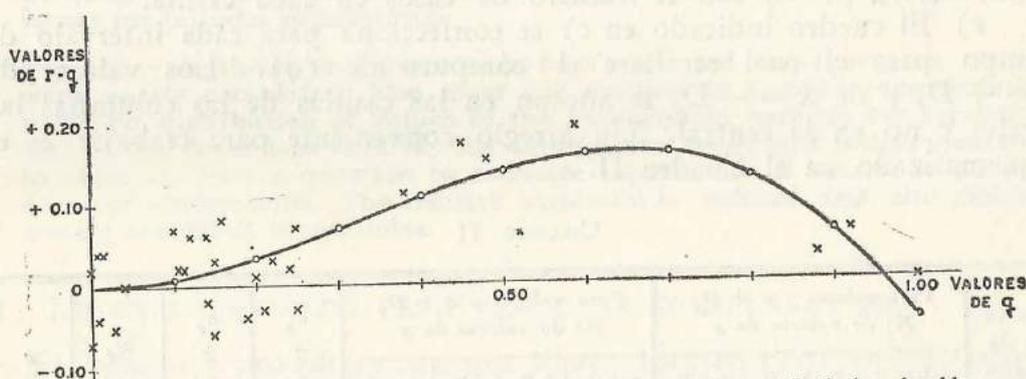


FIG. 1. — Representación de  $r - q = f(q)$ . Símbolos: X = valores individuales obtenidos experimentalmente;  $\sigma_{r-q} = \pm 0,046$ .

## 2. COEFICIENTE DE AGLUTINACIÓN ( $k$ ).

Los resultados de las determinaciones correspondientes a distintas épocas normalmente presentan discrepancias. El coeficiente de aglutinación permite introducir un criterio para juzgar los resultados.

Este coeficiente, que denominaremos ( $k$ ), recíproco del coeficiente de variación, tiene por expresión:

$$k = \frac{(\sum x)^2}{N \sum x^2}$$

donde:

$x$ : valor del resultado en cada época.

$N$ : número de épocas.

Así, por ejemplo, si los valores medios de una variable cualquiera correspondientes (vinculados) a un determinado fenómeno (sea el caso de los valores de  $x$ , tres meses antes de ocurrencia de anomalías de lluvia iguales o superiores a su desvío medio), son:

para el período 1915-1919:  $x_a$

para el período 1921-1925:  $x_b$

para el período 1931-1935:  $x_c$

resulta:

$$k = \frac{(x_a + x_b + x_c)^2}{3(x_a^2 + x_b^2 + x_c^2)}$$

El coeficiente ( $k$ ) oscila entre 0 y 1, y proporciona una idea del grado de aglutinación de los valores de ( $x$ ) en torno al ( $x$ ) medio correspondiente al total de series de observación. Ofrece, así, un criterio para juzgar las vinculaciones que, aparentemente, indican los resultados de una investigación estadística.

Si las determinaciones de ( $k$ ) se hacen para magnitudes positivas y negativas, de manera separada, de la variable dependiente, es posible lograr una inferencia adicional sobre el tipo de ligazón que pudiera haber presente. Así, si ( $k$ ) fuera próximo a la unidad para alguna de las magnitudes mencionadas y vecino a cero para la otra, puede presumirse la presencia de algún tipo de vinculación selectiva.

Es evidente que cuanto mayor sea el número de series (épocas) utilizadas, tanto más dignas de confianza serán las indicaciones que proporcione el coeficiente ( $k$ ).

Desde el punto de vista práctico interesa no sólo que ( $k$ ) esté próximo a la unidad, sino también que  $x_m = \frac{\sum x}{N}$  sea lo más grande posible en valor absoluto, lo que representa una asociación más estrecha entre las variables analizadas. El producto ( $kx_m$ ) da una idea del grado de significación de los resultados obtenidos.

### 3. ANOMALÍAS RELATIVAS.

La variabilidad de las diversas variables es distinta entre sí y en las diferentes zonas geometeorológicas que hemos utilizado en nuestro trabajo. Para que sus variaciones fueran comparables de manera directa era necesario expresarlas, ya fuera en función de su desvío cuadrático medio o de su variabilidad media absoluta.

Como el cálculo de la variabilidad media absoluta, o desvío medio,

$$D = \frac{\sum |An. |}{N},$$

es más simple y el número de observaciones era suficientemente grande, se eligió a dicho desvío para expresar la anomalía relativa:

$$An. \text{ rel.} = \frac{An.}{D}$$

con lo cual las magnitudes de las anomalías de las diversas variables se tornan comparables.

### 4. RELACIONES ESTADÍSTICAS.

A los efectos de abreviar los procedimientos de cómputo y teniendo en cuenta que las observaciones eran suficientemente numerosas, se efectuó una determinación de las relaciones entre las diferentes magnitudes

estadísticas correspondientes a las variables meteorológicas (valores mensuales), obteniéndose (distribuciones casi normales):

$$d = 0,55 D$$

$$A_d = 1,33 D$$

$$A_D = 1,63 D$$

$$\sigma = 1,25 D$$

$$\sigma_{A_D} = 1,07 A_D = 1,74 D$$

donde:

$D$  : desvío medio (en valor absoluto).

$d$  : magnitud dentro de la cual (dentro de  $\pm d$ ) caen la tercera parte de las observaciones.

$A_d$  : valor medio de la variable para valores iguales o superiores a ( $d$ ).

$$\left( A_d = \frac{\sum x}{n} \text{ para } x \geq |d| \right).$$

$A_D$  : valor medio de la variable para valores iguales o superiores a ( $D$ ).

$$\left( A_D = \frac{\sum x}{n} \text{ para } x \geq |D| \right).$$

$\sigma$  : desvío cuadrático medio  $\left( \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} \right).$

$\sigma_{A_D}$  : desvío cuadrático medio de los valores de la variable iguales o superiores a ( $D$ ).

$$\left( \sigma_{A_D} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}} \text{ para } x \geq |D| \right).$$

551.577.22(82)

## RÉGIMEN DE DÍAS DE LLUVIA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

POR EMILIO A. M. MACHADO \* y ADOLFO A. MARCHETTI \*\*

**Resumen.** — Se estudia por métodos estadísticos, mediante esquemas típicos, el régimen de días de lluvia en la República Argentina, en base a una serie, de 45 años de observación en las estaciones Posadas, Tucumán, La Rioja, Córdoba, Buenos Aires y Trelew.

**Summary.** — By means of statistical methods, making use of typical schemes, the regime of rainy days in the Argentine Republic is studied, based upon an observational series of 45 years in the stations Posadas, Tucumán, La Rioja, Córdoba, Buenos Aires and Trelew.

### 1. INTRODUCCION

El presente trabajo constituye una contribución al conocimiento del régimen de días de lluvia en varias estaciones características de nuestro país, con la aplicación de métodos y conceptos que la estadística ha elaborado en los últimos tiempos. Se ensaya la aplicación de los esquemas estadísticos a un fenómeno meteorológico: el número de días de precipitación por mes, deducidos de una serie de 45 años de observación (1910 a 1954).

Para realizar el estudio en cuestión se han elegido seis estaciones en zonas climáticas con caracteres bien diferenciados, a saber: Posadas, en la zona norte subtropical, con precipitaciones de 1634 mm y 91 días de lluvia, por año (máximos en el país); Tucumán, en la zona norte, calurosa, con precipitación de 940 mm y 90 días de lluvia por año; La Rioja, en la zona cordillerana, de precipitación (escasa) y días de lluvia, de 328 mm y 38 por año, respectivamente; Córdoba, en la zona central, con precipitaciones y días de lluvia de 688 mm y 71 anual, respectivamente y Trelew, en la zona patagónica, fría, con influencia marítima, de precipitación (escasa) y días de lluvia de 152 y 45 anual, respectivamente.

Los datos estadísticos utilizados se incluyen en las Tablas 1 a 6 y la representación gráfica cronológica de los mismos la expresan las figuras 1 a 6. Proviene estos datos del Archivo Meteorológico Nacional y han sido compilados de las estadísticas de lluvia que están a cargo del Departamento de Hidrometeorología. Se deja constancia de la valiosa colaboración prestada por dicho Departamento y por el de Estudios y Asesoramiento Científico en la elaboración de este trabajo.

\* Doctor en Matemáticas. Asesor Técnico de la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Ingeniero Civil. Director de los Servicios Técnicos Meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional.

TABLA I. — Número de días de lluvia — Período 1910-1954

Estación: Posadas

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	9	8	7	13	5	9	6	8	5	2	6	2	80
1911	16	7	9	9	7	7	4	10	11	5	13	13	111
1912	8	10	4	11	10	4	2	4	7	3	5	9	77
1913	7	9	15	11	3	4	2	8	4	6	4	4	77
1914	9	8	8	7	8	6	9	10	7	9	11	6	98
1915	10	6	7	13	9	4	6	7	10	8	3	4	87
1916	5	6	4	5	8	12	6	4	9	5	7	7	78
1917	3	5	4	3	3	1	7	7	12	6	3	6	60
1918	5	8	10	8	13	8	7	2	5	9	9	10	94
1919	6	6	7	7	6	10	7	6	10	11	13	9	98
1920	13	12	3	9	10	11	11	4	10	9	8	12	114
1921	9	7	9	7	3	7	8	10	14	10	4	10	98
1922	13	5	9	9	10	12	11	6	5	10	5	8	103
1923	8	4	2	10	8	11	5	8	9	12	11	16	102
1924	3	6	5	7	7	9	4	6	9	1	7	3	67
1925	3	8	1	11	8	2	6	6	8	7	9	8	77
1926	9	2	3	5	8	4	11	3	12	8	8	8	81
1927	8	5	11	8	4	11	5	5	9	8	10	5	89
1928	10	9	8	10	8	8	6	7	13	13	8	7	107
1929	6	6	5	3	3	8	5	8	11	12	4	8	79
1930	9	11	7	7	9	5	5	10	7	9	7	4	90
1931	8	6	4	9	10	7	3	3	5	6	7	6	74
1932	3	7	4	6	5	3	3	7	12	6	6	6	68
1933	3	7	4	6	5	3	2	5	8	9	2	4	58
1934	6	12	4	6	5	8	1	5	6	7	6	3	69
1935	3	6	5	4	3	8	4	9	3	10	6	12	73
1936	3	3	5	6	12	12	6	4	5	8	3	5	72
1937	3	6	9	7	3	6	10	12	11	3	9	4	83
1938	13	7	7	12	10	15	7	3	6	7	5	5	97
1939	11	11	11	7	10	9	6	10	11	10	12	12	120
1940	17	7	13	14	12	12	12	8	6	10	12	9	132
1941	12	11	11	14	11	9	7	10	4	10	11	8	118
1942	8	6	14	7	8	10	9	9	10	7	3	3	94
1943	6	5	12	3	9	15	6	3	8	7	5	8	87
1944	10	7	7	4	5	7	3	5	7	12	6	6	79
1945	7	7	6	3	3	2	8	8	12	8	6	8	79
1946	13	12	9	4	15	9	8	8	6	15	7	9	115
1947	10	8	7	10	8	11	6	6	12	7	4	5	94
1948	7	19	9	15	10	6	14	2	18	10	11	5	126
1949	12	6	19	6	7	13	6	10	15	10	10	11	125
0950	8	11	7	7	13	14	8	6	10	9	11	8	112
1951	12	11	6	3	3	3	1	5	6	10	7	5	72
1952	3	8	7	3	7	8	7	5	11	11	8	5	83
1953	10	6	7	8	11	6	4	8	12	10	5	1	86
1954	10	13	5	6	11	17	13	6	15	16	1	5	118

TABLA 2. — Número de días de lluvia — Período 1910-1954

Estación: Tucumán

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	17	14	18	15	6	0	0	0	3	13	6	11	103
1911	7	14	7	2	6	4	3	3	4	5	12	16	83
1912	16	8	9	7	8	1	1	6	0	7	10	11	84
1913	11	9	7	7	5	4	0	6	1	9	12	14	85
1914	10	10	11	9	3	7	9	3	4	8	11	9	94
1915	15	12	16	12	4	2	1	2	3	7	8	10	92
1916	8	12	6	11	6	1	1	2	0	4	2	11	64
1917	7	11	7	5	1	0	2	0	4	9	9	7	62
1918	13	13	12	6	11	5	0	3	4	7	12	10	96
1919	12	5	20	9	8	6	8	2	5	11	10	9	105
1920	10	12	13	8	2	3	4	4	5	7	13	9	90
1921	16	13	20	5	4	0	0	4	4	10	7	9	92
1922	10	10	12	12	4	7	6	8	9	11	9	11	107
1923	15	10	8	5	3	5	2	0	3	11	10	13	85
1924	10	7	10	6	4	2	7	0	5	7	7	10	75
1925	11	8	7	10	8	0	5	3	4	7	10	11	84
1926	12	5	10	11	8	7	2	2	3	5	9	11	85
1927	13	6	18	5	8	5	3	0	4	4	6	13	85
1928	13	12	14	11	10	6	3	4	6	8	13	9	109
1929	10	3	10	7	1	7	0	1	1	6	9	7	62
1930	13	13	13	17	13	6	7	10	0	7	11	9	119
1931	14	15	13	4	5	1	0	1	3	9	5	14	84
1932	11	9	10	12	8	3	6	7	2	9	11	10	98
1933	12	11	16	9	12	1	1	0	5	9	9	11	96
1934	8	6	14	11	8	7	3	2	10	2	10	15	96
1935	8	8	7	6	1	4	0	2	1	1	8	16	64
1936	9	9	7	9	7	9	1	0	1	4	12	9	77
1937	10	7	6	8	4	5	2	3	3	6	5	8	67
1938	17	15	12	8	6	8	3	5	0	4	6	8	92
1939	16	6	14	6	4	5	0	0	11	9	12	15	98
1940	15	11	8	6	8	4	6	3	3	12	14	13	103
1941	7	14	16	9	11	6	5	2	4	2	7	6	89
1942	10	10	10	12	12	4	3	1	1	3	8	7	81
1943	11	11	16	11	7	4	8	4	2	8	8	12	102
1944	15	8	9	4	2	7	2	0	2	9	11	4	73
1945	9	9	9	12	3	3	2	0	4	8	9	12	80
1946	12	8	14	4	10	6	2	6	3	11	11	9	96
1947	11	11	9	13	6	9	5	2	9	4	10	7	96
1948	13	9	14	5	2	4	1	2	3	6	9	16	84
1949	16	13	21	6	6	8	4	3	6	16	13	13	125
1950	16	11	6	5	12	5	0	1	4	8	11	10	89
1951	15	13	15	7	6	3	1	3	2	6	10	16	97
1952	16	16	10	5	8	5	4	9	5	4	16	10	108
1953	9	10	11	5	6	9	3	0	0	9	9	13	84
1954	9	11	5	14	3	11	6	5	5	10	11	6	96

TABLA 3. — Número de días de lluvia — Período 1910-1954

Estación: La Rioja

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	6	4	6	4	3	0	0	0	0	1	2	0	26
1911	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2	5	4	16
1912	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4	2	11
1913	0	2	1	1	1	0	0	2	0	1	5	6	19
1914	9	5	8	3	1	2	1	0	1	3	7	4	44
1915	7	6	7	4	2	0	0	0	1	5	1	4	37
1916	3	7	1	3	1	0	2	1	0	1	0	4	23
1917	4	9	4	0	0	0	2	0	4	4	4	4	35
1918	7	9	4	1	1	0	0	0	2	0	5	9	38
1919	9	4	14	0	2	1	0	0	0	1	3	4	38
1920	5	15	2	0	0	3	2	3	4	3	3	6	46
1921	10	7	11	3	0	0	0	2	0	2	3	6	44
1922	7	5	4	3	4	1	1	0	0	1	2	10	38
1923	12	6	4	1	0	1	0	1	0	0	3	2	30
1924	6	3	3	1	2	0	0	0	3	4	1	5	28
1925	7	6	3	4	3	0	3	1	1	4	4	5	41
1926	10	3	4	7	3	1	2	1	0	2	2	7	42
1927	8	3	8	1	4	1	1	0	1	0	1	4	32
1928	6	8	5	0	4	3	1	2	3	6	4	5	47
1929	6	6	2	5	2	3	1	1	1	2	4	0	33
1930	4	10	6	9	5	1	4	4	0	4	6	6	59
1931	8	5	6	4	2	2	0	0	3	3	5	7	45
1932	6	7	3	3	1	0	2	0	2	1	4	6	35
1933	7	5	4	2	0	0	1	0	1	2	2	4	28
1934	3	2	5	2	2	2	0	1	4	0	6	8	35
1935	2	7	6	3	0	0	0	0	0	0	2	6	26
1936	6	8	3	2	1	0	0	0	0	3	4	4	31
1937	5	1	2	4	3	0	1	1	2	2	0	2	23
1938	7	8	9	3	0	2	1	4	0	0	3	4	41
1939	12	1	10	3	1	0	0	1	1	6	5	12	52
1940	8	9	5	4	4	0	0	2	3	7	5	6	53
1941	5	12	7	7	5	1	3	2	1	0	2	5	51
1942	8	6	4	8	3	6	1	0	0	4	7	6	53
1943	5	7	7	3	4	2	4	2	2	5	2	6	49
1944	14	6	7	3	0	2	0	0	2	4	7	3	48
1945	7	11	4	7	1	0	2	0	1	3	5	6	45
1946	9	5	6	0	4	1	1	4	1	6	3	2	42
1947	4	12	2	2	1	2	1	4	3	6	7	0	44
1948	8	10	6	0	2	0	0	0	0	4	3	11	44
1949	9	4	10	3	1	1	1	1	3	10	5	3	51
1950	8	7	5	0	3	1	1	1	4	5	2	0	37
1951	3	2	4	2	0	0	0	0	0	2	0	8	21
1952	12	6	4	1	3	0	0	2	2	4	6	8	48
1953	3	3	6	1	1	3	0	0	0	2	4	4	27
1954	3	9	3	4	2	4	3	2	3	0	3	8	39

TABLA 4 — Número de días de lluvia — Período 1910-1954

Estación: Córdoba

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	8	6	11	7	6	0	0	0	4	7	11	8	62
1911	8	10	7	0	6	2	3	5	3	10	11	14	79
1912	8	8	5	9	3	2	1	5	0	4	5	8	58
1913	11	6	4	7	3	3	0	8	4	8	11	8	73
1914	8	6	9	13	11	5	9	5	3	5	12	12	98
1915	12	10	6	10	0	2	0	0	4	9	8	8	69
1916	7	9	4	9	2	0	0	0	0	4	5	10	50
1917	6	10	6	8	0	0	0	0	6	8	3	8	60
1918	14	12	7	2	2	1	0	0	6	8	8	8	68
1919	10	7	14	4	4	2	5	2	4	9	6	9	86
1920	9	13	8	3	1	0	4	3	2	9	9	12	73
1921	10	5	11	0	3	0	0	3	5	9	5	10	61
1922	8	14	3	9	9	7	5	7	4	6	9	12	98
1923	15	7	11	5	4	3	5	1	2	10	6	7	76
1924	10	4	9	4	3	4	6	0	4	6	5	9	64
1925	12	9	8	3	6	0	4	4	6	12	10	7	81
1926	13	4	10	8	4	7	6	6	2	7	10	8	85
1927	9	7	7	3	5	6	1	3	3	6	7	9	66
1928	11	11	9	3	5	2	3	5	6	13	12	8	88
1929	13	4	5	2	1	4	0	0	3	4	9	7	52
1930	5	11	6	11	10	3	2	8	2	10	9	14	91
1931	10	9	12	6	5	3	1	4	5	5	7	15	82
1932	7	9	8	6	4	2	1	4	3	10	10	6	70
1933	9	5	9	2	4	0	1	4	3	10	10	6	63
1934	10	5	9	2	4	1	3	2	9	3	10	9	67
1935	11	3	6	4	0	0	0	1	4	9	6	10	54
1936	7	7	7	9	2	3	3	1	2	6	10	12	69
1937	8	7	9	4	2	3	0	1	6	3	5	9	57
1938	7	9	15	9	4	6	1	3	0	4	7	1	66
1939	12	6	8	4	5	2	0	4	11	11	6	10	79
1940	11	9	8	4	3	7	5	4	4	10	11	16	92
1941	3	9	9	7	8	2	5	2	2	3	12	7	69
1942	12	8	9	5	6	7	0	2	5	2	11	11	78
1943	11	10	10	4	5	7	6	0	2	8	11	12	86
1944	15	4	6	4	2	1	0	0	1	9	8	8	58
1945	7	9	7	6	4	1	2	2	7	6	5	12	68
1946	7	2	8	3	3	7	3	9	4	10	9	8	73
1947	10	10	8	6	2	2	0	3	8	10	7	7	73
1948	8	10	10	4	3	3	0	2	1	3	5	8	57
1949	7	9	14	5	4	1	4	2	6	11	6	10	79
1950	7	9	6	3	8	5	1	0	3	8	11	7	68
1951	8	7	6	6	5	0	0	2	0	6	9	13	62
1952	13	11	4	3	6	4	2	2	6	12	11	14	88
1953	9	5	10	3	3	6	0	0	1	6	8	12	63
1954	5	6	3	9	3	4	2	4	3	6	9	6	60

TABLA 5. — Número de días de lluvia — Período 1910-1954.

Estación: Buenos Aires (Villa Ortúzar)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	10	8	7	9	3	2	4	6	6	7	5	6	73
1911	5	7	3	9	9	3	10	9	8	8	12	11	94
1912	6	2	9	6	6	8	7	9	5	6	11	8	83
1913	2	7	5	9	11	3	4	8	6	13	7	4	79
1914	6	8	8	12	13	8	10	9	7	11	11	9	112
1915	10	11	7	15	7	2	3	7	7	6	9	6	90
1916	3	3	6	11	3	3	0	2	4	3	10	9	50
1917	7	8	7	9	2	8	6	5	5	7	4	9	77
1918	9	8	4	6	6	9	0	6	11	4	9	10	82
1919	9	7	8	9	10	8	10	3	12	7	9	7	99
1920	4	8	7	6	5	1	7	3	5	7	12	8	73
1921	10	6	8	9	6	4	7	5	6	10	7	13	91
1922	7	12	7	5	7	12	5	15	4	8	6	6	94
1923	5	9	9	8	1	6	5	12	8	7	9	7	86
1924	8	6	7	5	7	6	3	2	5	4	8	6	67
1925	5	6	5	8	6	1	3	5	8	5	11	6	69
1926	5	4	2	6	8	7	6	13	3	10	10	5	89
1927	8	9	4	5	2	8	3	4	10	5	11	8	77
1928	9	7	4	8	10	5	3	8	9	6	9	6	84
1929	6	8	4	5	5	7	6	3	7	8	6	6	71
1930	9	9	9	7	9	9	4	7	4	4	10	6	87
1931	9	4	7	8	4	2	6	10	3	8	10	8	79
1932	5	10	5	6	4	7	13	6	3	9	5	9	82
1933	7	7	10	7	8	1	5	2	10	7	5	6	75
1934	5	6	13	6	6	10	6	5	11	7	11	7	93
1935	6	7	7	5	2	6	4	5	4	8	11	12	77
1936	8	4	9	8	8	11	6	8	5	6	7	11	91
1937	3	6	8	6	4	9	3	5	8	7	7	4	70
1938	3	5	13	7	6	7	8	3	10	7	7	5	81
1939	10	9	8	4	4	10	4	6	10	13	5	5	88
1940	8	4	9	12	9	11	13	5	12	7	5	16	111
1941	7	7	7	15	7	3	5	10	2	5	13	7	88
1942	3	8	6	2	7	7	4	10	4	8	5	4	68
1943	7	2	10	5	10	10	5	4	7	10	11	9	90
1944	13	6	6	4	11	2	4	8	6	11	7	9	87
1945	7	10	9	5	2	3	6	12	7	11	7	9	88
1946	7	7	11	8	4	8	7	7	13	6	9	12	99
1947	7	10	8	7	5	8	3	2	8	2	6	6	72
1948	11	3	10	11	7	10	11	4	12	9	3	8	99
1949	4	10	10	4	10	7	8	8	7	7	8	8	91
1950	4	5	8	7	14	6	6	5	11	11	9	8	94
1951	10	10	5	5	13	6	1	9	6	11	14	5	95
1952	7	3	12	7	14	7	9	6	12	10	7	10	104
1953	16	6	12	7	7	9	10	3	8	10	12	7	107
1954	10	5	8	9	5	14	10	9	5	9	5	13	102

TABLA 6, — *Números de día de lluvia — Período 1910-1954.*

Estación: Trelew

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
1910	2	2	8	4	3	3	4	2	2	1	2	2	35
1911	3	4	1	5	5	3	4	2	9	2	4	4	46
1912	3	2	1	3	0	4	2	4	1	4	3	3	30
1913	2	2	2	5	5	3	5	0	0	1	3	3	31
1914	5	0	5	5	5	9	5	3	7	3	8	7	62
1915	5	5	4	3	7	4	2	1	1	5	3	4	44
1916	2	3	4	2	2	2	4	4	5	6	5	3	42
1917	3	5	3	5	4	2	1	3	4	2	2	1	35
1918	2	5	1	4	10	4	5	2	6	3	3	3	48
1919	4	6	5	4	14	4	4	5	2	2	4	0	54
1920	1	3	5	4	5	1	3	1	5	2	3	1	34
1921	4	2	2	1	4	1	1	5	8	7	1	0	36
1922	3	4	5	4	3	7	3	1	5	4	4	3	46
1923	2	3	5	2	2	4	1	5	5	7	5	4	45
1924	8	5	5	2	1	1	4	3	5	3	3	0	40
1925	0	6	0	2	4	3	4	0	5	1	3	3	31
1926	4	5	5	1	4	6	6	5	5	7	3	1	52
1927	1	2	2	1	4	6	1	3	7	2	3	3	35
1928	2	4	1	1	7	4	4	1	2	6	1	0	33
1929	0	6	2	2	3	0	1	5	0	2	3	4	28
1930	1	8	4	1	4	7	7	3	3	7	4	5	54
1931	0	3	6	2	1	4	4	4	1	4	4	3	36
1932	0	4	2	3	2	3	9	6	0	5	3	3	40
1933	6	3	1	0	6	4	2	4	0	3	4	6	39
1934	1	5	3	5	4	5	0	4	3	6	4	5	45
1935	3	4	3	2	4	1	7	3	7	8	0	5	47
1936	0	3	2	6	0	1	1	2	2	5	0	1	23
1937	1	5	3	1	3	8	6	8	2	5	3	1	46
1938	6	1	4	4	2	0	0	0	5	0	1	0	23
1939	1	5	0	4	4	6	4	8	6	6	3	7	54
1940	0	3	3	3	7	10	6	2	3	4	1	3	45
1941	2	4	10	5	8	6	7	7	5	3	4	10	71
1942	3	2	6	5	5	5	4	8	8	6	5	0	57
1943	1	1	4	3	3	5	7	6	5	4	4	1	44
1944	4	3	7	7	2	10	8	5	4	5	3	5	63
1945	0	5	1	2	10	4	3	3	6	0	6	11	51
1946	6	2	12	3	4	5	8	0	13	3	8	4	68
1947	4	2	6	1	6	5	3	0	1	2	4	9	43
1948	6	2	6	3	10	0	3	5	10	2	0	4	61
1949	2	5	3	5	15	5	6	2	2	2	0	9	56
1950	1	3	3	1	14	1	2	9	8	5	13	2	62
1951	8	6	4	2	9	11	4	3	2	3	3	12	67
1952	4	1	3	4	2	9	2	4	4	3	0	2	38
1953	5	3	1	4	5	4	5	4	6	2	3	5	47
1954	2	1	4	5	11	7	2	4	3	4	3	3	49

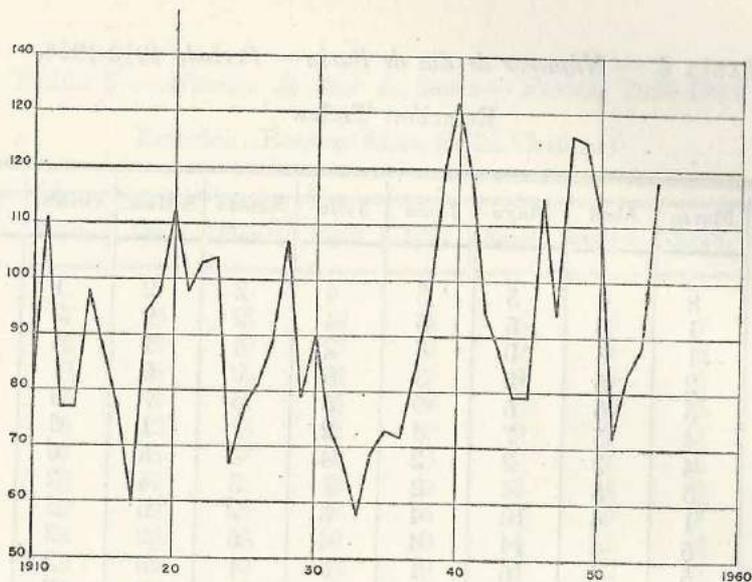


FIG. 1. — POSADAS. Nº de días de lluvia-años.

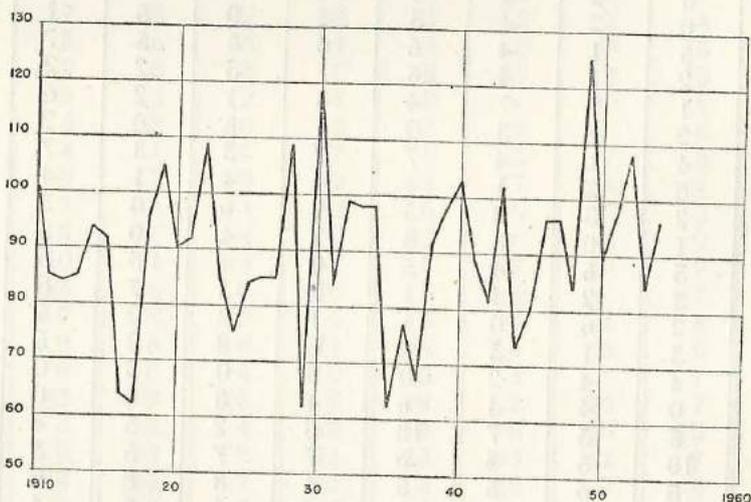


FIG. 2. — TUCUMÁN. Nº de días de lluvia-años.

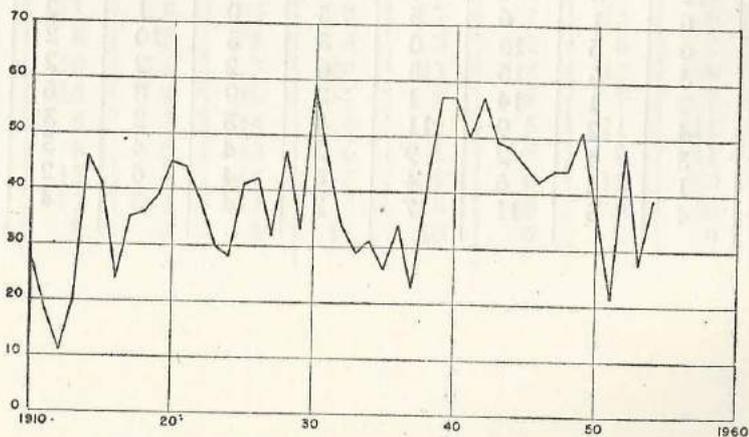


FIG. 3. — LA RIOJA. Nº de días de lluvia-años.

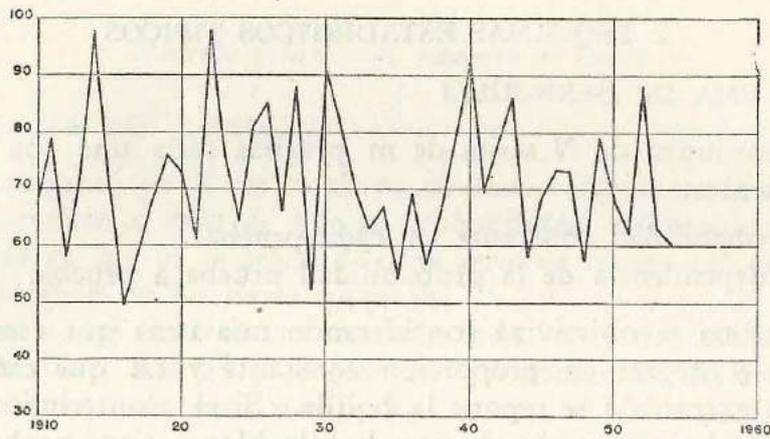


FIG. 4. — CÓRDOBA. Nº de días de lluvia-años.

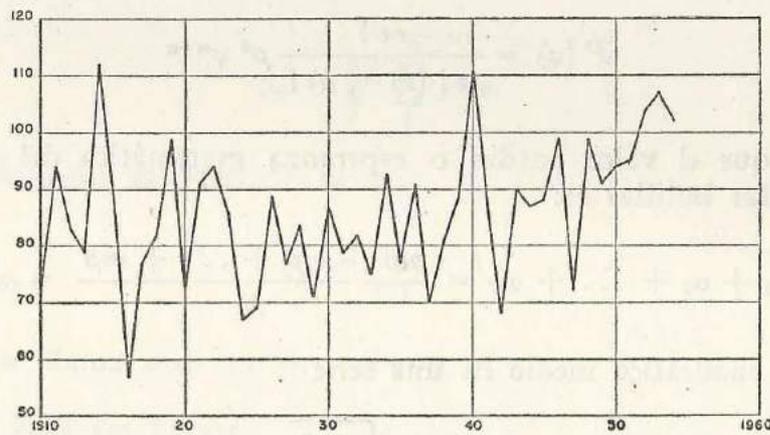


FIG. 5. — BUENOS AIRES. Nº de días de lluvia-años.

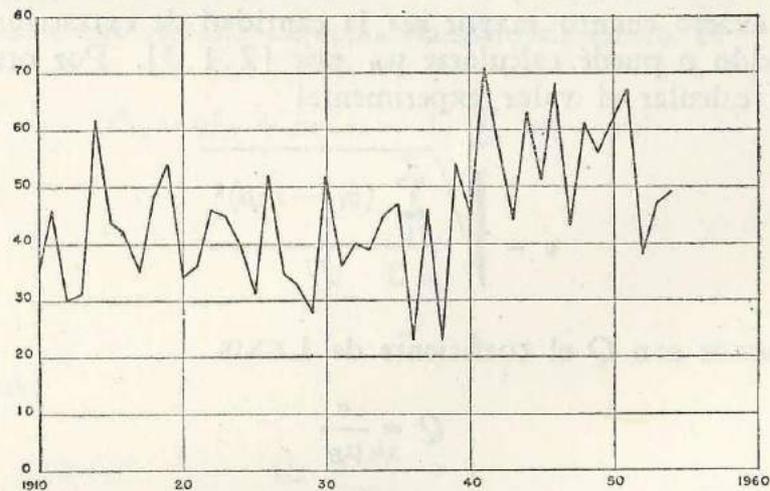


FIG. 6. — TRELEW. Nº de días de lluvia-años.

## 2. ESQUEMAS ESTADISTICOS TIPICOS

## 2.1. ESQUEMA DE BERNOULLI

Sea un conjunto de  $N$  series de  $m$  pruebas cada una con las condiciones siguientes:

- 1) Probabilidad constante en cada prueba.
- 2) Independencia de la probabilidad prueba a prueba.

Este esquema se objetiviza considerando una urna que contiene bolillas blancas y negras en proporción constante y tal que cada vez que se hace una extracción se repone la bolilla. Si el acontecimiento favorable, por ejemplo, extracción de una bolilla blanca tiene probabilidad  $p$ , el acontecimiento contrario tendrá probabilidad  $q = 1 - p$ .

La probabilidad de obtener  $\alpha$  bolillas blancas en  $m$  pruebas de una serie es:

$$P(\alpha) = \frac{m!}{\alpha!(m-\alpha)!} p^\alpha q^{m-\alpha} \quad [2.1.]$$

Resulta que el valor medio o esperanza matemática del número de salidas de las bolillas es:

$$\alpha_m = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N = \frac{mp + mp + \dots + mp}{N} = mp \quad [2.1.2]$$

y el desvío cuadrático medio en una serie

$$\mu_B = \sqrt{mpq} \quad [2.1.3]$$

Si realizamos un gran número de series de extracciones, la fórmula [2.1.2] permite calcular  $p$  cuando no la conocemos; este valor será tanto más exacto cuanto mayor sea la cantidad de extracciones realizadas. Conocido  $p$  puede calcularse  $\mu_B$  por [2.1.3]. Por otra parte, es importante calcular el valor experimental

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\alpha_i - mp)^2}{N}} \quad [2.1.4.]$$

Si indicamos con  $Q$  el coeficiente de LEXIS

$$Q = \frac{\sigma}{\mu_B}$$

relación entre los desvíos experimental y teórico, tendremos que en el caso  $Q = 1$  nos hallamos frente a un esquema de BERNOULLI, en cuyo caso los resultados siguen una ley normal.

Si  $Q \neq 1$  tendremos un esquema más complejo.

## 2.2. ESQUEMA DE POISSON

Sea un conjunto de  $N$  series de  $m$  pruebas cada una; el esquema de POISSON se refiere al caso de que la probabilidad del acontecimiento favorable varía en las  $m$  pruebas de cada serie en forma tal que se mantienen inalterables en las series sucesivas.

Este esquema se materializa considerando  $m$  urnas numeradas que contienen bolillas blancas y negras en proporciones diversas. Si las probabilidades en cada urna son  $p_1, p_2, \dots, p_m$ , el valor medio de salida resulta

$$\alpha_m = p_1 + p_2 + \dots + p_m \quad [2.2.1]$$

con dispersión

$$\mu_p = \sqrt{\sum_1^N p_i q_i} \quad [2.2.2]$$

Para el esquema de POISSON es

$$Q_p = \frac{\mu_p}{\alpha_m} < 1 \quad [2.2.3]$$

y por ello se llama distribución *subnormal*.

## 2.3. ESQUEMA DE LEXIS

Sean  $N$  series de  $m$  pruebas cada una; ahora la probabilidad del acontecimiento permanece constante en las  $m$  pruebas de cada serie pero varía de serie a serie.

Se demuestra que en este esquema llamado de LEXIS es:

$$\mu_L^2 = \mu_B^2 + m(m-1) \sum_1^N (p_i - p)^2 \quad [2.3.1]$$

con

$$p = \frac{\sum p_i}{N} \quad [2.3.2]$$

evidentemente:

$$Q_L = \frac{\mu_L}{\alpha_m} > 1 \quad [2.3.3]$$

siendo entonces un esquema *supernormal*.

Por otra parte (2.3.1) muestra que  $Q_1$  crece al aumentar  $m$ . Debemos observar que en el esquema de LEXIS el conjunto de las  $\alpha_i$  (número de salidas favorables), o si se quiere, de las frecuencias  $\alpha_{i/m}$ , no es típico, es decir, no satisface a una ley normal de oportuna constante de precisión como es el caso del esquema de POISSON.

#### 2.4. ESQUEMA DE INTERDEPENDENCIA EN RACIMOS

Sea una urna que contiene  $p$  bolillas blancas y negras, pero con la condición de que estén unidas en racimos de  $a$  bolillas del mismo color cada uno, de modo que una extracción nos dará o bien  $a$  bolillas blancas o bien  $a$  bolillas negras.

El desvío cuadrático medio en este caso es:

$$\mu_R = \sqrt{m \cdot a \cdot p \cdot q} \quad [2.4.1]$$

Es:

$$Q_R = \frac{\mu_R}{\mu_B} = \sqrt{a} > 1 \quad [2.4.2]$$

Si se considera la distribución de los desvíos de los racimos es claro que resulta  $Q = 1$ . En cambio, si se consideran los desvíos de los números de salidas de las bolillas blancas en cada serie, tendrán la característica de presentarse unidad a unidad, sino a intervalos de  $a$  unidades; salvo esto la distribución es típica.

En los fenómenos naturales la interdependencia en racimo no será rígida y la curva de frecuencias se presentará ondulada con onda de igual longitud alrededor de la línea media dada por la curva de GAUSS; por esto la llamamos *distribución típica a banda*.

#### 2.5. ESQUEMA DE POLYA

Otro esquema interesante es el esquema del contagio, o esquema de POLYA, que representa la particularidad de que la salida de una bolilla blanca o negra en una prueba hace que se repongan ciertos números  $\Delta + 1$  de bolillas del color de la extraída, o sea, que la probabilidad varía prueba a prueba por variación del número de bolillas contenidas en la urna. Es claro que si  $\Delta = 0$  tendremos el esquema de BERNOULLI si  $\Delta = -1$  tendremos pruebas repetidas sin reposición.

Es en este esquema:

$$Q_P = \frac{\mu_P}{\mu_B} = \sqrt{\frac{1 + m\delta}{1 + \delta}} \quad [2.5.1]$$

donde

$$\delta = \frac{\Delta}{N}$$

que podrá ser supernormal o subnormal según sea el signo de  $\Delta$ .

#### 2.6. INTERDEPENDENCIA DE SUCESIONES

Cuando cada prueba de la serie influye sobre la prueba siguiente y hace variar en ella la probabilidad de salida del acontecimiento favorable (como es el caso  $\Delta < 0$ ) la dispersión resulta *subnormal* y la *distribución de los desvíos es no típica*.

## 2.7. APLICACIONES ESTADÍSTICAS

Tengamos de las observaciones una sucesión de  $N$  números  $\alpha_i$  que indican la cantidad de ocurrencias del acontecimiento favorable en  $N$  series de  $m$  pruebas cada una.

La primera hipótesis a hacer es que el fenómeno que ha dado lugar a la sucesión  $\alpha_i$  se puede asimilar a una serie de extracciones de una urna según el esquema de BERNONLLI.

Para verificar esta hipótesis se supone como probabilidad constante incógnita de cada extracción la media de la frecuencia sobre el conjunto de pruebas.

$$p = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N}{mN} \quad [2.7.1]$$

valor tanto más atendible cuanto mayor es el número total  $mN$  de pruebas. Se calcula luego el valor medio de la frecuencia sobre las sucesiones

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N}{N} = mp \quad [2.7.2]$$

y luego el desvío típico:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^N (\alpha_i - mp)^2}{N} \quad [2.7.3]$$

y ahora se verifica lo siguiente:

a) Si el coeficiente de dispersión  $Q$  (ó  $Q^2$ ) es próximo a la unidad, lo que nos indica si estamos en presencia de un esquema de BERNOULLI.

Como prácticamente nunca resultará  $Q^2 = 1$  se fijan los límites de variabilidad admitido para  $Q^2$  y en cuyo intervalo diremos que  $Q^2 = 1$ . Para ello debemos tener en cuenta que el desvío medio cuadrático de

$Q^2$  es  $\sqrt{\frac{2}{N}}$  y por lo tanto, el intervalo de variación será el intervalo abierto

$$1 - \sqrt{\frac{2}{N}} ; 1 + \sqrt{\frac{2}{N}}$$

Sabemos, además, que si consideramos los desvíos del valor  $Q$  en la hipótesis de normalidad ellos deben estar contenidos en el intervalo

$$1 - 3 \sqrt{\frac{2}{N}} ; 1 + 3 \sqrt{\frac{2}{N}}$$

b) Se verifica en segundo lugar y cumplido a) si la sucesión de los desvíos  $\gamma$  sigue aproximadamente la ley normal de precisión  $h = 1/\sigma\sqrt{2}$ ; esto sucede cuando aproximadamente el 68 % de los  $\alpha_i$  está comprendido entre  $mp - \sigma$  y  $mp + \sigma$ ; el 50 % entre  $mp - 0,67\sigma$  y  $mp + 0,67\sigma$ . Si a) ó b) no se verifica no vale la hipótesis del esquema de BERNONLLI. Se trata entonces de ver si es posible verificar alguno de los esquemas estudiados.

Entonces:

c) Si la dispersión es subnormal [ $Q^2 < 1$ ] y la distribución es típica [se verifica b] estamos en las condiciones del esquema de POISSON.

d) Si la dispersión es subnormal [ $Q^2 < 1$ ] y la distribución es no-típica [no se verifica b] podemos encontrarnos frente a un caso de probabilidad influenciada por las pruebas precedentes, esto es, variable en el tiempo. Eventualmente del tipo POLYA.

e) Si la dispersión es supernormal [ $Q^2 > 1$ ] y la distribución no es típica, debemos examinar la posibilidad de que sea del tipo LEXIS.

f) Si, por último, la dispersión es supernormal y la distribución es típica a bandas, nos hallamos presumiblemente frente a un esquema en racimos.

### 3. APLICACION A LAS LLUVIAS

#### 3.1. ESQUEMA DE BERNONLLI

Se determina  $M =$  número medio de días de lluvia al mes. De aquí obtenemos  $p = \frac{m}{M}$  donde  $m$  es el número de casos posibles, es decir, de días al mes. Tenemos aquí un  $p$  mensual que representa la probabilidad de lluvia en un día del mes correspondiente. Luego se calculó el desvío tipo efectivo  $\sigma$ . Por otra parte hemos determinado el desvío tipo teórico  $\mu_B$  y por fin calculamos:

$$Q = \frac{\sigma}{\mu_B}$$

Calculamos ahora el desvío cuadrático medio de  $Q^2$  que en nuestro caso es

$$\sqrt{\frac{2}{45}} = 0,21 \quad \text{de donde} \quad 3\sqrt{\frac{2}{45}} = 0,63$$

Los valores obtenidos para cada una de las estaciones consideradas están indicados en los Cuadros I a VII y figuras 7 a 12.

CUADRO I. — Posadas

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\Sigma \alpha_i$	367	350	330	343	346	366	287	297	406	381	318	312
$M = \frac{\Sigma \alpha}{45}$	8,16	7,78	7,33	7,62	7,69	8,15	6,38	6,60	9,02	8,47	7,07	6,93
$m = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{m}$	0,26	0,28	0,24	0,25	0,25	0,27	0,21	0,21	0,30	0,27	0,24	0,22
$\sigma^2 = \frac{\Sigma (\alpha - M)^2}{45}$	13,15	9,06	12,76	10,55	10,08	14,25	9,30	6,24	11,18	9,23	9,40	9,80
$q = 1 - p$	0,74	0,72	0,76	0,75	0,75	0,73	0,79	0,79	0,70	0,73	0,76	0,78
$\mu^2 B = mpq$	6,01	5,62	5,60	5,68	5,78	5,93	5,07	5,19	6,31	6,15	5,40	5,38
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2 B}$	2,19	1,61	2,28	1,86	1,74	2,40	1,84	1,20	1,77	1,50	1,74	1,82

CUADRO II. — Tucumán — Período 1910-1954

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\sum \alpha_i$	558	458	522	371	280	209	132	124	161	332	431	480
$M = \frac{\sum \alpha}{45}$	11,96	10,18	11,60	8,24	6,22	4,64	2,93	2,76	3,58	7,38	9,58	10,67
$m = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{m}$	0,39	0,36	0,37	0,27	0,20	0,15	0,95	0,89	0,12	0,24	0,32	0,34
$\sigma^2 = \frac{\sum (\alpha - M)^2}{45}$	0,71	8,55	16,77	11,25	10,10	7,34	6,39	6,36	6,20	9,59	6,91	8,58
$q = 1 - p$	0,61	0,64	0,63	0,73	0,80	0,85	0,05	0,11	0,88	0,76	0,68	0,66
$\psi^2_B = mpq$	7,55	6,48	7,26	5,98	4,97	3,92	1,61	3,03	3,15	5,62	6,52	6,70
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\psi^2_B}$	1,19	1,32	2,31	1,88	2,03	1,87	3,94	2,10	1,97	1,67	1,06	1,25

CUADRO III. — *Ia Rioja. — Período 1910-1954*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\sum x_i$	292	275	226	122	83	46	42	45	79	125	159	221
$M = \frac{\sum \alpha}{45}$	6,49	6,11	5,02	2,71	1,84	1,02	0,93	1,00	1,75	2,78	5,53	4,91
$m = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{m}$	0,21	0,22	0,16	0,09	0,06	0,03	0,03	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16
$\sigma^2 = \frac{\sum (\alpha - M)^2}{45}$	9,18	9,97	8,07	5,01	2,22	1,76	1,26	1,53	2,98	5,15	3,58	7,32
$q = 1 - p$	0,79	0,78	0,84	0,91	0,94	0,97	0,97	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84
$\mu_B = mpq$	5,13	4,78	4,21	2,46	1,73	0,99	0,90	0,97	1,65	2,53	3,12	4,13
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu_B^2}$	1,79	2,09	1,92	2,03	1,29	1,78	1,40	1,58	1,81	2,04	1,15	1,77

CUADRO IV. — Córdoba. — Período 1910-1954

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\Sigma x_i$	421	351	366	238	183	130	94	123	169	335	580	425
$M = \frac{\Sigma x}{45}$	9,36	7,80	8,13	5,29	4,07	2,89	2,09	2,73	3,76	7,44	8,44	9,44
$m = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{m}$	0,30	0,28	0,26	0,18	0,13	0,10	0,07	0,09	0,13	0,24	0,28	0,30
$\sigma^2 = \frac{\Sigma (x_i - M)^2}{45}$	7,14	7,18	6,92	8,43	5,91	5,43	5,19	5,66	5,65	7,80	5,09	8,11
$q = 1 - p$	0,70	0,72	0,74	0,82	0,87	0,90	0,93	0,91	0,87	0,76	0,72	0,70
$\mu^2_B = mpq$	6,53	5,63	6,00	4,36	3,53	2,61	1,95	2,48	3,29	5,65	6,07	6,57
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2_B}$	1,09	1,28	1,15	1,93	1,67	2,08	2,66	2,28	1,72	1,58	0,82	1,24

CUADRO V. — Buenos Aires. — Período 1910-1954

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\sum \alpha_i$	520	507	551	532	507	294	263	295	524	545	375	354
$M = \frac{\sum \alpha}{45}$	7,11	6,82	7,80	7,38	6,82	6,53	5,84	6,51	7,20	7,67	8,33	7,87
$m = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{m}$	0,23	0,24	0,25	0,25	0,22	0,22	0,19	0,21	0,24	0,25	0,28	0,25
$\sigma^2 = \frac{\sum (\alpha - M)^2}{45}$	7,88	5,72	6,07	7,32	10,81	10,17	9,24	9,68	8,34	6,22	6,98	6,85
$q = 1 - p$	0,77	0,76	0,75	0,75	0,78	0,78	0,81	0,79	0,76	0,75	0,72	0,75
$\mu^2_B = mpq$	5,80	5,16	5,84	5,56	5,32	5,11	4,74	5,14	5,47	5,77	6,02	5,87
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2_B}$	1,36	1,11	1,04	1,32	2,02	1,99	1,95	1,88	1,52	1,08	1,16	1,16

CUADRO VI. — *Trelew. — Período 1910-1954*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$\sum \alpha_i$	123	158	167	141	233	197	184	159	195	167	149	165
$M = \frac{\sum \alpha}{45}$	2,75	3,51	3,71	3,15	5,18	4,38	4,09	3,53	4,29	3,71	3,31	3,67
$n = \text{días del mes}$	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$p = \frac{M}{n}$	0,09	0,13	0,12	0,10	0,17	0,15	0,13	0,11	0,14	0,12	0,11	0,12
$\sigma^2 = \frac{\sum (\alpha - M)^2}{45}$	4,55	2,87	6,03	2,65	12,81	7,66	6,84	5,23	8,25	4,03	5,53	8,76
$q = 1 - p$	0,91	0,87	0,88	0,90	0,83	0,85	0,87	0,89	0,86	0,88	0,89	0,88
$\mu^2_B = mpq$	2,49	3,07	3,27	2,80	4,31	3,74	3,55	3,15	3,68	3,27	2,94	3,24
$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2_B}$	1,83	0,94	1,85	0,94	2,97	2,05	1,93	1,67	2,24	1,23	1,81	2,71

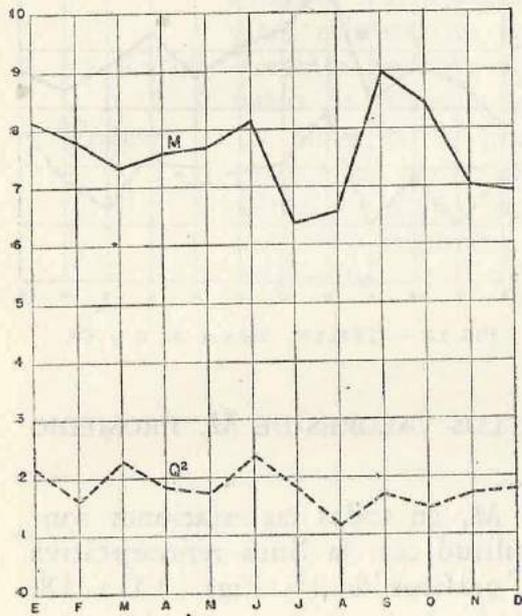


FIG. 7. — POSADAS. Valores de M y Q².

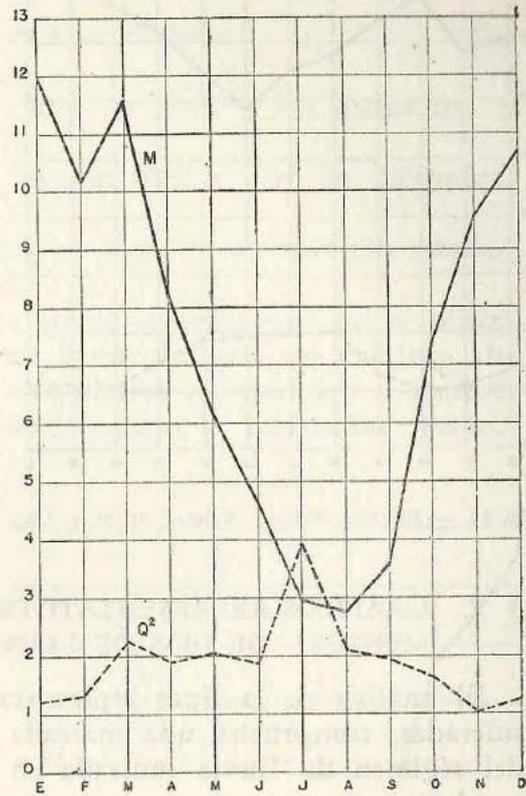


FIG. 8. — TUCUMÁN. Valores de M y Q².

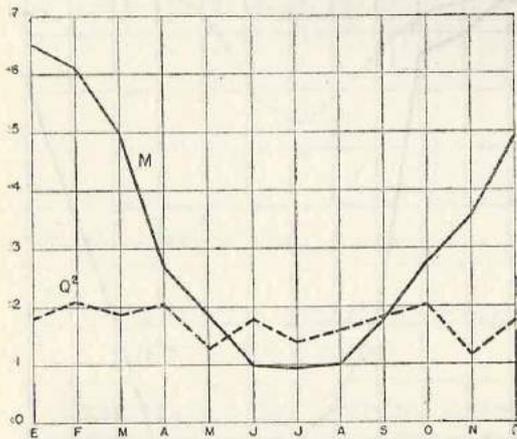


FIG. 9. — LA RIOJA. Valores de M y Q².

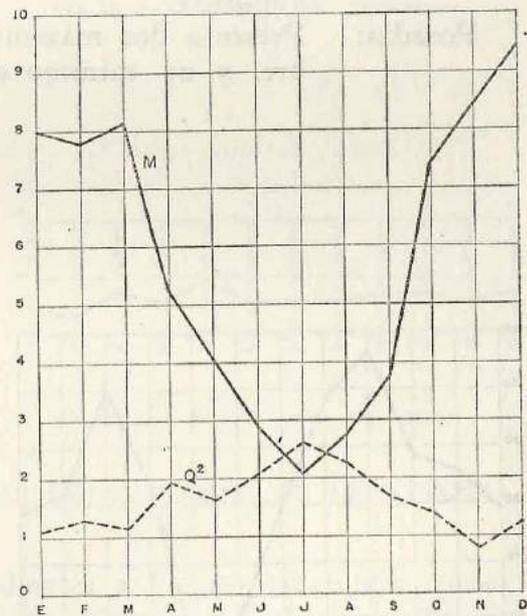
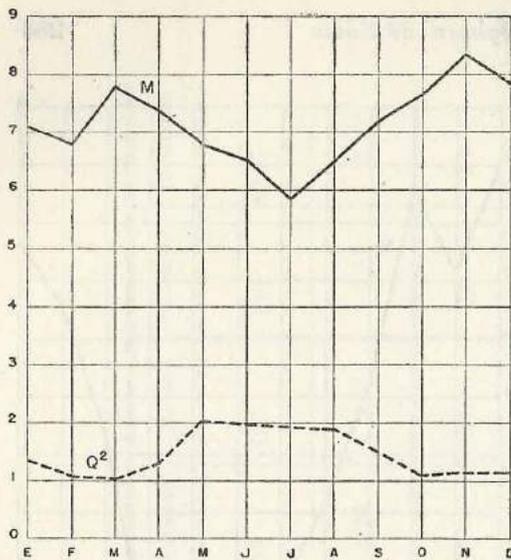
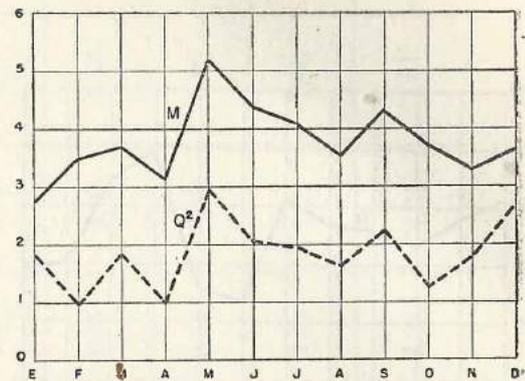


FIG. 10. — CÓRDOBA. Valores de M y Q².

FIG. 11. — BUENOS AIRES. Valores de  $M$  y  $Q^2$ .FIG. 12. — TRELEW. Valores de  $M$  y  $Q^2$ .

### 3. 2. GRÁFICOS REPRESENTATIVOS DE LOS VALORES DE $M$ , PROMEDIO MENSUAL DE DÍAS DE LLUVIA

El análisis de la línea representativa  $M$ , en todas las estaciones consideradas, comprueba una marcada similitud con la línea representativa del régimen de lluvia indicada en los gráficos de las Figs. 13 a 18, a saber:

- Tucumán: Presenta un valor máximo al final del verano, otro máximo al principio del verano, y el mínimo en el invierno (agosto).
- Posadas: Presenta dos máximos: uno en junio y otro en setiembre, y un mínimo en julio.

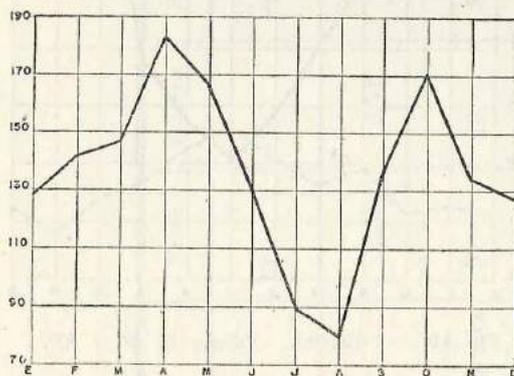


FIG. 13. — POSADAS. mm lluvia-meses.

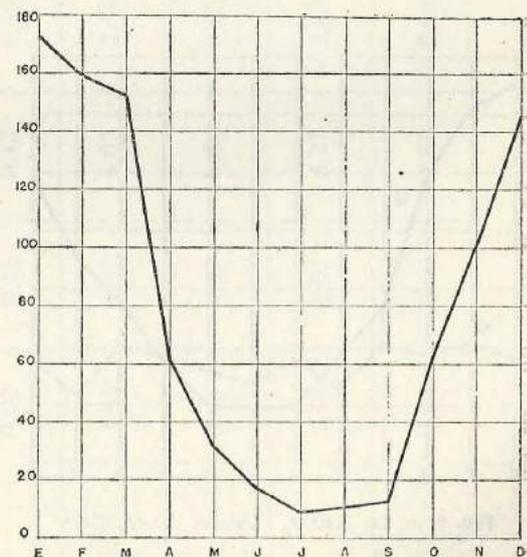


FIG. 14. — TUCUMÁN. mm lluvia-meses

Córdoba: Presenta dos máximos: uno en abril y en diciembre, y un mínimo en julio.

Presenta dos máximos: uno en abril y otro en diciembre, y un mínimo en julio.

La Rioja: Presenta un solo máximo en enero y un mínimo estacionario de junio a agosto.

Trelew: La línea de *M* presenta irregularidades que no se observan en las otras; tiene un desarrollo con un máximo absoluto en mayo, otros secundarios en marzo y setiembre, con tres mínimos en abril, agosto y noviembre, respectivamente.

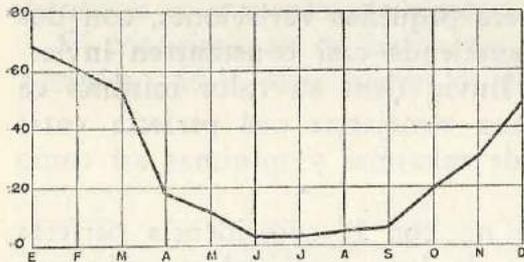


FIG. 15. — LA RIOJA. mm lluvia-meses.

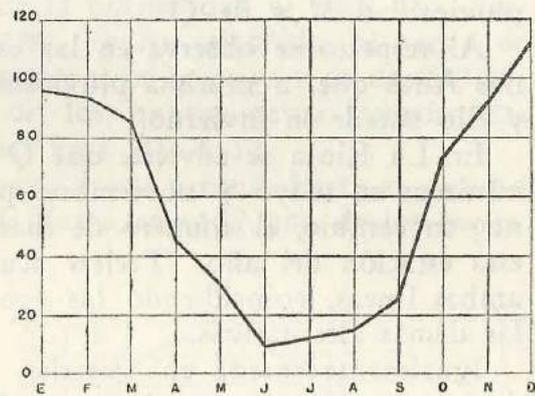


FIG. 16. — CÓRDOBA. mm lluvia-meses.

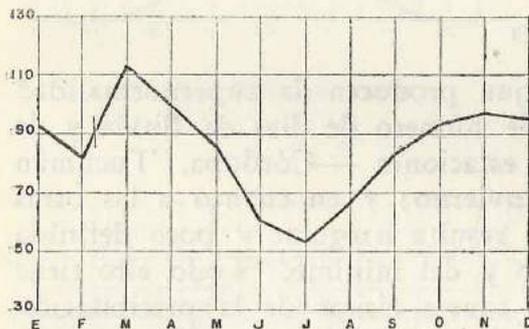


FIG. 17. — BUENOS AIRES. mm lluvia-meses.

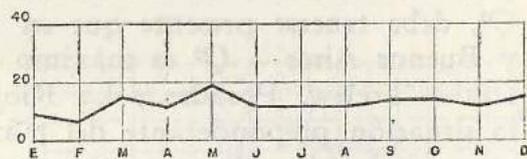


FIG. 18. — TRELEW. mm lluvia-meses.

### 3.3. GRÁFICOS REPRESENTATIVOS DE LOS VALORES DE $Q^2$ (COEFICIENTE DE LEXIS)

Examinando los gráficos correspondientes a las seis estaciones consideradas, surgen de inmediato dos grupos distintos en el desarrollo de las mismas a lo largo del año, a saber: el 1er. grupo, al que pertenecen las estaciones de Posadas, La Rioja y Trelew; y el 2º grupo, al que corresponden las estaciones de Córdoba, Tucumán y Buenos Aires.

Las líneas de cada grupo presentan características similares en el desarrollo. Así, las líneas del primer grupo presentan un desarrollo aproximado regular, varios máximos y varios mínimos dentro de una faja de moderada amplitud, siendo las de Posadas y La Rioja de mayor regularidad.

En cuanto a las líneas del segundo grupo, se destaca un máximo en invierno y dos mínimos en primavera y otoño, respectivamente. Buenos Aires presenta su máximo valor constante durante junio, julio y agosto, es decir, durante todo el invierno y en las otras dos estaciones, el máximo en julio con una tendencia a aumentar en marzo en Tucumán y en abril en Córdoba.

Estos valores máximos son aquellos en los cuales la supernormalidad es más marcada. Los valores mínimos corresponden aproximadamente a curvas normales.

3.4. Las características del valor  $Q^2$  de cada estación, que aparecen claramente diferenciadas en los gráficos correspondientes, deben relacionarse con la evolución del tiempo en las respectivas regiones. Para ello ha de hacerse un examen minucioso de correlación de las curvas de pluviosidad  $M$  y de  $Q^2$ .

Al respecto se observa en las estaciones Tucumán, Córdoba y Buenos Aires que, a mínima pluviosidad, corresponde máximo valor ( $Q^2$ ), y ello sucede en invierno.

En La Rioja se advierte que  $Q^2$  ofrece pequeñas variaciones, con dos mínimas en mayo y noviembre, permaneciendo casi constante en invierno; en cambio, el número de días de lluvia tiene su valor mínimo en esta estación del año. Trelew acusa una semejanza casi perfecta entre ambas líneas, coincidiendo las épocas de máximas y mínimas así como las demás alternativas.

Igualmente sucede en Posadas, pero no con la coincidencia perfecta de las anteriores, acusando concordancia de épocas en valores máximos y mínimos y en algunos otros valores.

### 3.5. CAUSAS DE SUPERNORMALIDAD

Entrando a considerar las causas que producen la supernormalidad y la coincidencia o no en las curvas de número de días de lluvia y de  $Q^2$ , debe tenerse presente que en tres estaciones —Córdoba, Tucumán y Buenos Aires—  $Q^2$  es máximo en invierno; y en cuanto a las otras tres —Trelew, Posadas y La Rioja— resulta irregular y poco definida la situación preponderante del máximo y del mínimo. Todo ello tiene que relacionarse directamente con las causas físicas de la precipitación y con las características del tiempo, más o menos permanente, que da lugar a una sucesión de días de precipitación de diverso orden.

### 3.6. HIPÓTESIS POSIBLES

Los estudios realizados por diversos investigadores sobre la frecuencia mensual de días de lluvia muestran, en largo período de años, una distribución en las frecuencias que, en líneas generales, satisfacen leyes netamente supernormales. Tal comportamiento puede atribuirse a dos causas distintas; a una variación lenta de tipo progresivo o cíclico en la probabilidad de la lluvia para cada día del mes en años sucesivos; o bien a una interdependencia entre los días de lluvia con la cual ésta tiende a presentarse según el esquema de "racimos" (contagio).

La primera hipótesis se acomoda con la investigación de la periodicidad pluviométrica; la segunda, con la observación común y con la teoría de la familia de ciclones. EZIO ROSSINI se inclina a creer que, con métodos sugeridos por la teoría de la dispersión, que un examen profundo conduce a poner seriamente en duda la existencia de la hipótesis eliminando la base de las investigaciones de la periodicidad; mientras confiere a la segunda hipótesis un contenido real que tal vez podría dar interesantes contribuciones al estudio de las perturbaciones meteorológicas.

### 3.7. COORDENADAS NORMALES

De acuerdo con los valores de  $Q^2$  mensuales para las distintas estaciones se han calculado las coordenadas normales al esquema de CHARLIER, y en los casos en que a pesar de la normalidad se nota una diferencia marcada con la curva de GAUSS, se ha calculado la curva de PEARSON correspondiente. La curva continua es la curva tipo de GAUSS; la cortada, la resultante del ajuste de los puntos cuyas coordenadas normales se encuentran ubicados en las Figs. 19 a 33.

El conocimiento de las curvas en estos casos permite hacer el estudio completo de la distribución de días de lluvia en cada uno de los meses.

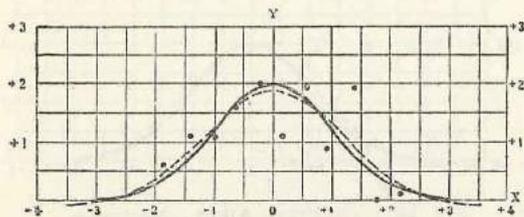


FIG. 19. — POSADAS. Agosto

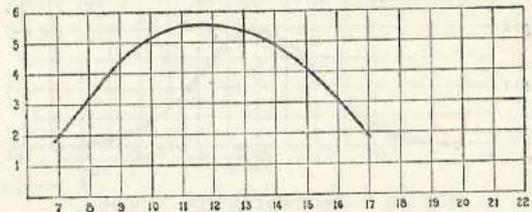


FIG. 20. — TUCUMÁN Enero.

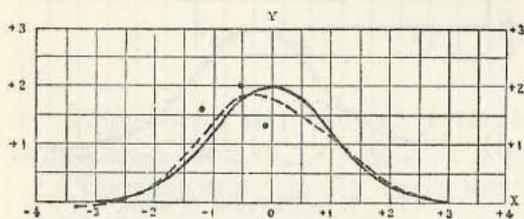


FIG. 21. — LA RIOJA. Mayo.

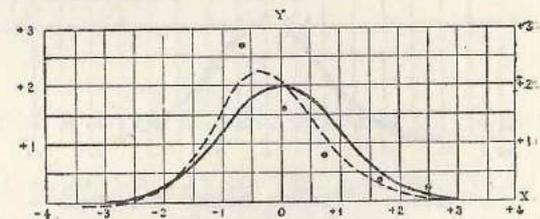


FIG. 22. — LA RIOJA. Julio.

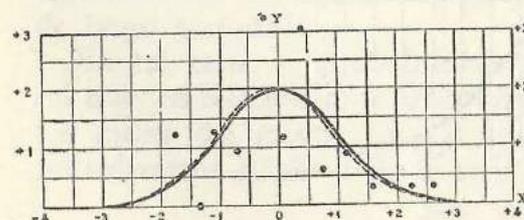


FIG. 23. — LA RIOJA. Diciembre

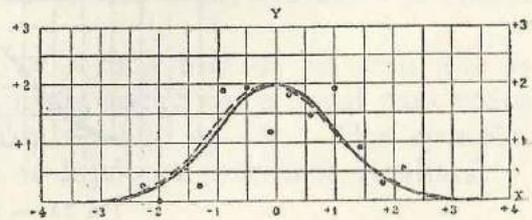


FIG. 24. — CÓRDOBA. Enero.

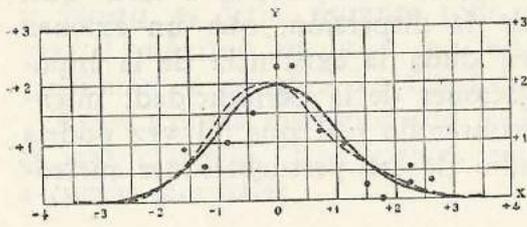


FIG. 25. — CÓRDOBA. Marzo

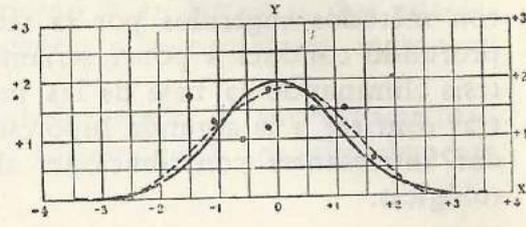


FIG. 26. — CÓRDOBA. Noviembre.

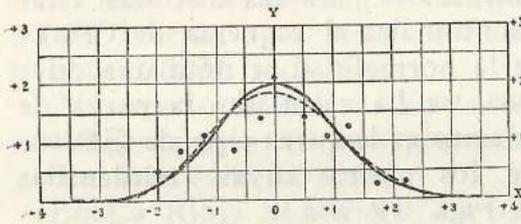


FIG. 27. — BUENOS AIRES. Febrero.

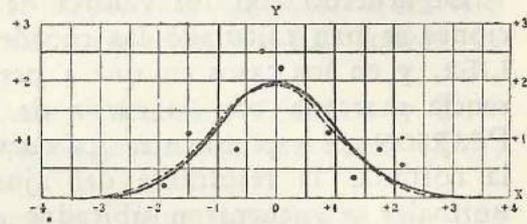


FIG. 28. — BUENOS AIRES. Marzo.

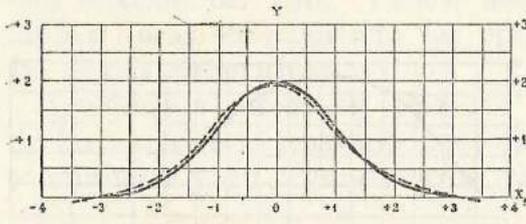


FIG. 29. — BUENOS AIRES. Octubre.

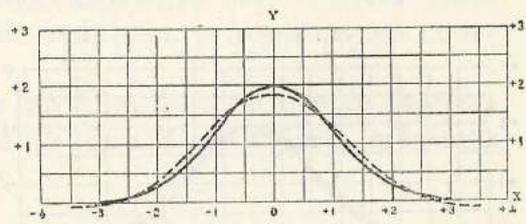


FIG. 30. — BUENOS AIRES. Noviembre.

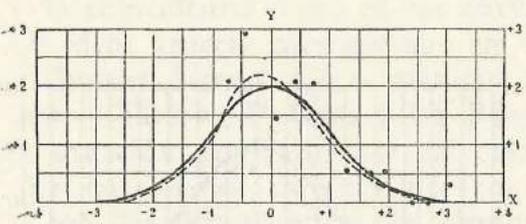


FIG. 31. — BUENOS AIRES. Diciembre.

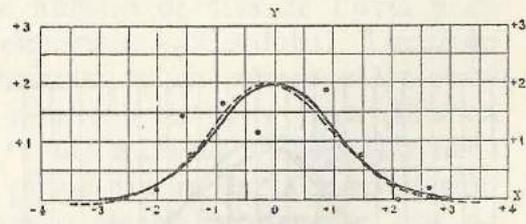


FIG. 32. — TRELEW. Febrero.

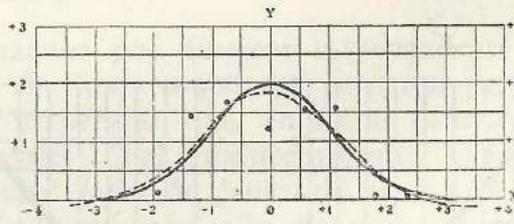


FIG. 33. — TRELEW. Abril.

## 3.8. ESQUEMA DE LEXIS

Consideremos ahora  $N = 45$  series de  $m = 30$  pruebas cada una (para cada mes). La probabilidad es constante en cada serie y varía de serie en serie (vale decir, es constante entre los meses de cada año, pero varía de año en año). Se tienen, entonces,  $N$  valores incógnitas de estas probabilidades:

$p_1, p_2, \dots, p_{45}$ . La probabilidad media es

$$p = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_{45}}{45}$$

Sean  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{45}$  los números efectivos de días de lluvia respectivamente en el 1º, 2º, ..., 45º años. Estos números, divididos por  $m$ , dan la frecuencia efectiva  $f_i = \alpha_i/m$ . El cuadrado del desvío medio cuadrático de la media (que es  $M = mp$ ) es:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (\alpha_i - mp)^2}{45} = \frac{m^2}{45} \sum (f_i - p)^2$$

Tal desvío cuadrático medio, resuelto empíricamente, debe hallarse teóricamente, si se conoce la probabilidad  $p$ , mediante la fórmula

$$\mu^2_L = \mu^2_B + m(m-1) \frac{\sum (p_i - p)^2}{N}$$

...

$$\frac{\sum (p_i - p)^2}{N} = \frac{1}{m(m-1)} (\sigma^2 - \mu^2_B)$$

De aquí puede deducirse, puesto que se conocen  $m, \sigma^2, \mu_B$ , el desvío cuadrático medio de la probabilidad  $p_i$  con respecto a  $p$  dado por

$$\mu_p = \sqrt{\frac{\sum (p_i - p)^2}{N}}$$

Repitiendo este cálculo para cada mes se tiene la serie de doce  $\mu_p$  (que indicamos con  $\mu_{p,e}; \mu_{p,f}; \dots, \mu_{p,d}$ ).

Supongamos que la variación de la probabilidad de año en año (por ejemplo, en enero) no se deba a una causa exclusiva del mes, sino a una causa que permanecerá de modo aproximadamente constante para todo el año (tal causa, si existe, presumiblemente tendrá una marcha regular en el transcurso del año, es decir, una causa evolutiva periódica de largo período).

En tal caso, la probabilidad relativa a cada mes de un solo año es tal que, en relación a la probabilidad media respectiva, es igual para todos los meses del mismo año y varía sólo de año en año. Por ejemplo, consideremos el año  $i$  de la serie; en la hipótesis enunciada resultará:

$$\frac{p_{i,e}}{p_e} = \frac{p_{i,f}}{p_f} = \dots = \frac{p_{i,c}}{p_c} = K_i$$

El valor  $K_i$  puede tomarse como característica pluviométrica del año. Si la marcha es evolutiva se tendrá:  $K_i = K_i + \gamma_i$ , donde  $\gamma_i$  es la variación anual de  $K_i$ ; si es periódica se tendrá:

$$K_i = K_i + \alpha \operatorname{sen} \left( \frac{i}{T} + \varphi \right)$$

donde  $\alpha$  es la amplitud,  $T$  es la duración en años del período y  $\varphi$  la fase inicial.

Podemos, a partir de los doce valores  $\mu_{p,e}$ ;  $\mu_{p,f}$ , etc., deducir si  $K_i$  es constante; en otras palabras, si es cierta la hipótesis hecha. Consideremos el primer año ( $i = 1$ ). Tenemos, tomando enero:

$$K_1 = \frac{\rho_{1,e}}{\rho_e}$$

Si es  $K_i$  válido para febrero, se tiene

$$\rho_{1,f} = K_1 \rho_f$$

...

$$\rho_{1,f} = \frac{\rho_f}{\rho_e} \rho_{1,e}$$

...

$$(\rho_{1,f} - \rho_f)^2 = \left( \frac{\rho_f}{\rho_e} \right)^2 (\rho_{1,e} - \rho_e)^2$$

Esto vale para todos los años, luego

$$\sum_1^N (\rho_{i,f} - \rho_f)^2 = \left( \frac{\rho_f}{\rho_e} \right)^2 \sum_1^N (\rho_{i,e} - \rho_e)^2$$

...

$$\mu_{p_i,f} = \frac{\rho_f}{\rho_e} \mu_{p_i,e}$$

Por lo tanto, si se consideran los doce meses, resulta con buena aproximación

$$\mu_{p,e} : \mu_{p,f} : \dots = \rho_e : \rho_f : \dots$$

Podemos, entonces, afirmar que la variación de la probabilidad de lluvia se debe a una causa general variable (lentamente) de año en año.

Cálculo práctico: Supongamos  $N = 45$  e indiquemos con  $\sigma_e, \sigma_f, \dots, \sigma_d$  los  $\sigma$  hallados para cada mes, con  $\mu_{B,e}; \mu_{B,f} \dots$  los  $\mu_B$  hallados para los distintos meses y con  $m_e, m_f \dots$  la duración en medias de los distintos meses. Se tiene:

$$\mu_{p,e} = \sqrt{\frac{1}{m_e(m_e - 1)} (\sigma_e^2 - \mu_{B,e}^2)} = a_e \text{ etc.,}$$

Lógranse así 12 valores  $a_e, a_f, \dots, a_d$ . Calculemos luego los cocientes:

$$A_e = \frac{a_e}{\rho_e}; A_f = \frac{a_f}{\rho_f}; \dots A_d = \frac{a_d}{\rho_d}$$

Ha de verse entonces si los 12 valores  $\bar{A}_e, \bar{A}_f, \dots$  son muy vecinos entre sí y si se distribuyen alrededor de su valor medio o no; esto es, si la distribución es normal o no. Para ello calculamos

$$\bar{A} = \frac{A_e + A_f + \dots + A_d}{12}$$

y el desvío cuadrático medio

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(A_e - \bar{A})^2 + \dots + (A_d - \bar{A})^2}{12}}$$

Para ver si la distribución es normal podemos utilizar sólo algún criterio empírico puesto que las  $A$  son magnitudes intensivas y no extensivas; por ejemplo, el 50 % de ellas deben distar de la media  $\bar{A}$  en menos de  $0,67 \sigma_A$  y el 68 % en menos de  $\sigma_A$ .

En el caso de normalidad tendremos la validez del esquema tratado y de lo dicho.

Para Buenos Aires (Villa Ortúzar) se tienen los valores que integran el Cuadro VII.

CUADRO VII

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_p$	,047	0,027	0,016	0,045	0,077	0,076	0,070	0,070	0,057	0,022	0,033	0,032
$\rho_i$	0,229	0,244	0,252	0,246	0,220	0,218	0,18	0,210	0,240	0,247	0,278	0,254
$A_i$	0,205	0,111	0,064	0,183	0,350	0,349	0,372	0,333	0,237	0,089	0,119	0,126

$\bar{A} = 0,211$	$\sigma_A = 0,109$
$\bar{A} - \sigma_A = 0,102$	$\bar{A} - 0,67 \sigma_A = 0,138$
$\bar{A} + \sigma_A = 0,320$	$\bar{A} + 0,67 \sigma_A = 0,284$

Se observa, en primer lugar, que los  $A_i$  son fuertemente variables de mes a mes, ya que los valores extremos según el Cuadro VII son 0,064 en marzo y 0,372 en julio, y que sólo el 50 % está comprendido en  $\bar{A} - \sigma_A$ ;  $\bar{A} + \sigma_A$ .

Por lo tanto, debe descartarse la normalidad de la distribución de los  $A_i$ . Además, el valor de  $\sigma_A$  es muy grande respecto al valor  $\bar{A}$ , como consecuencia de la gran variabilidad de los  $A_i$ ; es por ello que parece imposible poder detectar un ciclo de pluviosidad.

Para la Rioja el Cuadro VIII ilustra la situación.

Como en el caso de Buenos Aires hay fuerte variabilidad de los  $A_i$ ; valor máximo en junio y mínimo en noviembre. El 67 % de los valores se encuentran en el intervalo  $\bar{A} - \sigma_A$ ;  $\bar{A} + \sigma_A$  y el 40 % en  $\bar{A} - 0,67 \sigma_A$ ;  $\bar{A} + 0,67 \sigma_A$ , lo que indica una tendencia a la normalidad de la marcha de los  $A_i$ .

CUADRO VIII

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_p$	0,066	0,083	0,065	0,054	0,023	0,030	0,019	0,025	0,039	0,053	0,023	0,059
$\rho_i$	0,209	0,218	0,162	0,090	0,059	0,034	0,030	0,032	0,058	0,090	0,118	0,158
$A_i$	0,315	0,380	0,401	0,598	0,387	0,882	0,633	0,774	0,669	0,591	0,195	0,372

$$\begin{array}{r|l}
 A = 0,517 & \sigma_A = 0,196 \\
 \hline
 A - \sigma_A = 0,321 & A - 0,67 \sigma_A = 0,386 \\
 \hline
 A + \sigma_A = 0,713 & A + 0,67 \sigma_A = 0,648
 \end{array}$$

Para Posadas el Cuadro IX resume los valores.

CUADRO IX

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_p$	0,088	0,067	0,088	0,075	0,068	0,098	0,068	0,034	0,075	0,058	0,068	0,069
$\rho_i$	0,263	0,278	0,236	0,254	0,248	0,271	0,205	0,213	0,301	0,273	0,236	0,223
$A_i$	0,334	0,241	0,372	0,295	0,274	0,362	0,330	0,160	0,249	0,212	0,288	0,309

$$\begin{array}{r|l}
 A = 0,286 & \sigma_A = 0,060 \\
 \hline
 A - \sigma_A = 0,226 & A - 0,67 \sigma_A = 0,246 \\
 \hline
 A + \sigma_A = 0,346 & A + 0,67 \sigma_A = 0,326
 \end{array}$$

En este caso se da una mayor regularidad en los  $A_i$ . Además, el 67 % de los casos está en el intervalo  $A - \sigma_A$ ;  $A + \sigma_A$ , y el 40 %, en  $A - 0,67 \sigma_A$ ;  $A + 0,67 \sigma_A$ ; es decir, hay fuerte tendencia a la normalidad en los  $A_i$ .

Para Tucumán el ordenamiento lo señala el Cuadro X.

CUADRO X

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_p$	0,038	0,052	0,101	0,07	0,074	0,063	0,063	0,065	0,059	0,064	0,021	0,041
$\rho_i$	0,386	0,364	0,374	0,275	0,201	0,155	0,094	0,089	0,119	0,238	0,319	0,344
$A_i$	0,098	0,143	0,270	0,284	0,369	0,407	0,667	0,730	0,494	0,269	0,066	0,119

$A = 0,326$	$\sigma_A = 0,209$
$A - \sigma_A = 0,117$	$A - 0,67 \sigma_A = 0,186$
$A + \sigma_A = 0,535$	$A + 0,67 \sigma_A = 0,466$

En es caso fuerte variabilidad de los  $A_i$  consecuencias análogas a Buenos Aires.

En los casos de Córdoba y Trelew se ha considerado el  $\sigma = \mu_B$  cuando  $\sigma < \mu_B$ , pero dentro de la tolerancia de  $Q$  para la normalidad; así tenemos:

Córdoba está expresado por el Cuadro XI.

CUADRO XI

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_p$	0,025	0,045	0,031	0,068	0,051	0,057	0,059	0,059	0,052	0,048	0,000	0,041
$\rho_i$	0,302	0,279	0,262	0,176	0,131	0,096	0,067	0,088	0,125	0,240	0,281	0,340
$A_i$	0,083	0,162	0,118	0,386	0,389	0,592	0,874	0,670	0,415	0,200	0,000	0,135

$A = 0,335$	$\sigma_A = 0,257$
$A - \sigma_A = 0,078$	$A - 0,67 \sigma_A = 0,160$
$A + \sigma_A = 0,592$	$A + 0,67 \sigma_A = 0,507$

Trelew tiene expresión en el Cuadro XII.

CUADRO XII

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\mu_i$	0,047	0,000	0,055	0,000	0,096	0,067	0,060	0,047	0,072	0,029	0,052	0,077
$\rho_i$	0,088	0,125	0,120	0,104	0,167	0,146	0,132	0,114	0,143	0,120	0,110	0,118
$A_p$	0,533	0,000	0,459	0,000	0,574	0,45	0,455	0,314	0,504	0,242	0,471	0,650

$A = 0,397$	$\sigma_A = 0,200$
$A - \sigma_A = 0,197$	$A - 0,67 \sigma_A = 0,263$
$A + \sigma_A = 0,597$	$A + 0,67 \sigma_A = 0,531$

Para Córdoba fuerte variabilidad de los  $A_i$ ; 75 % en  $A \pm \sigma_A$  y 33 % en  $A \pm 0,67 \sigma_A$ , hipótesis de normalidad descartada pero con tendencia fuerte a cumplirse.

El caso Trelew cumple la hipótesis de normalidad 75 % en  $A \pm \sigma_A$  y 50 % en  $A \pm 0,67 \sigma_A$  y, por lo tanto, puede valer en este único caso el esquema trazado y suponer que la variación de la probabilidad de lluvia obedece a una causa general lentamente variable de año en año.

### 3.9. ESQUEMA DE POISSON

Sean  $N$  series de  $m$  pruebas cada una con probabilidad variable de prueba a prueba en cada serie, pero invariable de serie en serie. Cuando  $N$  es el número de años  $m = 365$  es el número de días del año. No poseyendo los datos diarios sino sólo los totales mensuales podemos atribuir la misma probabilidad a todos los días del mismo mes; vale decir, aquella del mes. Indicando con  $p_e$  la probabilidad de cada día de enero, con  $p_f$  la de febrero, etc., será:

$$p_e = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de días de lluvia en enero}}{31 N}$$

$$p_f = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de días de lluvia en febrero}}{28 N}$$

.....

La probabilidad media anual es:

$$P_A = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de días de lluvia en los años}}{365 N}$$

El desvío cuadrático medio del número de días de lluvia al año en el esquema de BERNOULLI estará dado por  $\mu_B^2 = 365 p_q$ . En el esquema de POISSON (la probabilidad no varía de año en año) el desvío cuadrático medio será:

$$\mu_p^2 = \sum_1^m p_i q_i = 31 p_e q_e = 28 p_f q_f + \dots$$

Este valor debe compararse con el desvío cuadrático medio efectivo o empírico  $\sigma$ . Para el cálculo de  $\sigma$  y para tener la distribución efectiva de las frecuencias se calcula una tabla de frecuencias  $f_j$  con el número de años en los cuales el número de días ha sido  $j$ . El valor  $\sigma$  está dado por:

$$\sigma^2 = \sum_0^{365} f_j (j - 365 p)^2$$

Se calcula así:

$$Q^2 = \frac{\sigma^2}{\mu_p^2}$$

Para Buenos Aires (Villa Ortúzar) tenemos:

$$p = 0,235$$

$$\mu_B = 65,68$$

$$\mu_p^2 = 65,80$$

$$\sigma^2 = 147,62$$

Media diaria al año = 85,89

$$Q^2 = 2,25$$

$$Q_p^2 = 1,00$$

Como se advierte, la aplicación pura del esquema de POISSON no da un  $Q_p^2 = 1,00$  igual a la unidad, lo que significa que la probabilidad mensual de lluvias permanece aproximadamente constante a través de los años.

En cambio, la  $Q^2$  es netamente supernormal (superior al triple de su desvío cuadrático medio); esto es, la variación de la probabilidad de año en año es tal que anula el efecto deprimente sobre  $Q^2$ , debido a la variación de la probabilidad en el año, y la sobrepasa netamente. Ello será un indicio de que la causa del fenómeno de la lluvia debe investigarse fuera de estos esquemas simétricos de LEXIS y POISSON.

#### *Tucumán*

$$p = 0,246$$

$$\mu_B^2 = 67,66$$

$$\mu_p^2 = 63,41$$

$$\sigma^2 = 149,22$$

#### *Posadas*

$$p = 0,250$$

$$\mu_B^2 = 86,40$$

$$\mu_p^2 = 68,13$$

$$\sigma^2 = 345,66$$

Media diaria al año: 89,73

Media diaria al año: 91,18

$$Q^2 = 2,944$$

$$Q_p^2 = 0,937$$

$$Q^2 = 5,05$$

$$Q_p^2 = 0,996$$

#### *La Rioja*

$$p = 0,104$$

$$\mu_B^2 = 34,13$$

$$\mu_p^2 = 32,59$$

$$\sigma^2 = 123,74$$

#### *Córdoba*

$$p = 0,196$$

$$\mu_B^2 = 57,46$$

$$\mu_p^2 = 54,6$$

$$\sigma^2 = 141,18$$

Media diaria al año: 38,11

Media diaria al año: 71,44

$$Q^2 = 3,62$$

$$Q_p^2 = 0,955$$

$$Q^2 = 2,457$$

$$Q_p^2 = 0,951$$

#### *Trelew*

$$p = 0,124$$

$$\mu_B^2 = 39,62$$

$$\mu_p^2 = 39,49$$

$$\sigma^2 = 138,27$$

Media diaria del año: 45,24

$$Q^2 = 3,49$$

$$Q_p^2 = 0,997$$

En todos estos casos es  $Q_p^2 < 1$ , como ocurre para el esquema de POISSON. En cambio, si la  $Q^2$  es netamente supernormal (superior al triple de su desvío cuadrático medio), equivale a decir que la variación de las probabilidades de año en año es tal que anula el efecto deprimido sobre  $Q^2$ , debido a la variación de las probabilidades dentro del año y aún llega a sobrepasarla netamente. Esto puede ser un indicio de que las causas del fenómeno de la lluvia deben ser investigadas fuera de los esquemas, simétricos y correlacionados en muchos aspectos, de LEXIS y de POISSON; por ejemplo, un esquema de POLYA, en particular a racimo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- RIMOLDI ANNA MARÍA. — «Dispersioni non normali dei gruppi Statistico e applicazioni meteorologiche». *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, XII, N° 2, 1952.  
ROSINI EZIO. — «Statistica e Meteorologia». *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, VII, N° 1, 1948.

551.586 : 628.(821.1)

**BASES DE LA CLIMATIZACIÓN ARTIFICIAL EN BUENOS AIRES**

POR ROBERTO M. QUINTELA \* Y CESAR J. VASINO \*\*

**Resumen.** — La climatología aplicada tiene, entre otras, la misión de fijar condiciones climáticas, elaborando convenientemente los datos para su uso en la técnica de la Ingeniería. Análizanse las condiciones para la climatización artificial en Buenos Aires, comenzando por una breve reseña y discusión de los principales estudios realizados en nuestro país, y en otros, sobre el tema en general, la relación entre el hombre y su ambiente climático y los distintos parámetros que intentan fijar el grado de confort humano.

Luego de recomendar las condiciones interiores más convenientes, se encara la determinación de las básicas de diseño de temperatura y humedad para Buenos Aires en verano e invierno. En la última parte se extienden los resultados a los alrededores de la ciudad y se formulan algunas consideraciones sobre el reglamento que fija los días-calefacción en Buenos Aires.

**Summary.** — Applied Climatology has, among others, the purpose of establishing climatic conditions, by the convenient elaboration of data, for its use in the technique of Engineering. In the present work the condition for artificial climatization in Buenos Aires are studied, beginning by a brief outline and discussion of principal investigations about artificial climatization carried out in our country and others, the relation between man and his climatic environments and some parameters wich attempts to determine the degree of human comfort.

After establishing indoor conditions, the problem of determining the basic ones of temperature and humidity in Buenos Aires during Summer and Winter are faced. It is intended, in the last part, to extend the results to the town surroudings and some considerations are stated about the reglamentation that fixes the heating-days in Buenos Aires.

**INTRODUCCION**

El hombre ciudadano permanece gran parte del día en locales artificialmente climatizados con condiciones higrotérmicas que difieren sensiblemente de las exteriores. Justifícase, entonces, que el estudio racional de las condiciones climáticas de tales ambientes interese por igual al biólogo, al ingeniero y al meteorólogo. Lamentablemente, en la práctica no siempre las instalaciones de climatización son estudiadas con criterio integral y, en muchos casos, privan en forma preponderante el factor económico u otros factores anexos (disponibilidad de energía eléctrica, por ejemplo) en detrimento de las consideraciones de orden técnico, que son aconsejables.

El examen de los pedidos de informes que llegan cotidianamente al Servicio Meteorológico Nacional y las sugerencias que nos han hecho llegar instituciones y profesionales, nos han movido a iniciar este estudio preliminar que hoy publicamos, con el propósito de que pueda servir de partida para investigaciones ulteriores, que determinen las condiciones básicas necesarias desde el punto de vista climático, para su aplicación a

\* Ingeniero Civil, Jefe del Departamento de Enseñanza y Servicios Complementarios de Investigación del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Ingeniero Civil, 2º Jefe del Departamento de Estudios y Asesoramiento Científico del Servicio Meteorológico Nacional.

las instalaciones de acondicionamiento del aire y calefacción. Forma parte este estudio de una rama de la climatología aplicada que en el último decenio ha tomado gran incremento, tanto en Europa como en EE. UU., habiendo sido abordado por distintos especialistas desde diversos enfoques.

Pese a que el hombre, como dice Bedford, es un ser que se adapta a grandes diferencias higrotérmicas, necesita de protección adecuada para soportar dichos cambios. El vestido, la alimentación y la vivienda configuran las tres variables que permiten al hombre tal adaptación. En lo que respecta a la vivienda, la civilización ha ido creando paulatinamente a través de los siglos, medios de modificar el clima interior en forma artificial, llegándose a las instalaciones de aire acondicionado, con control automático.

La profunda influencia que las condiciones ambientales ejercen sobre el individuo es hecho constatado desde antiguo y ya Hipócrates hacía notar los grandes efectos del clima sobre el físico, la inteligencia y el temperamento de los pueblos. Huntington y Markhan, entre otros, han estudiado en detalle el desarrollo de los centros de civilización en relación con la estimulación climática.

Los elementos climatológicos más importantes a tener en cuenta en los problemas de calefacción y ventilación son temperatura, humedad y viento. Estas variables combinadas actúan sobre el organismo humano, máquina térmica de bajo rendimiento que sólo aprovecha un 20 % de energía, necesitando que las condiciones ambientales sean favorables para perder calor de modo tal que permanezca constante la temperatura del cuerpo. La "New York Commission of Ventilation" ha calculado que un individuo normal de zona templada produce 28 % menos trabajo a  $t = 30^{\circ}\text{C}$  y  $\varphi = 80\%$  que a  $t = 20^{\circ}\text{C}$  y  $\varphi = 50\%$ . Citaremos más adelante algunos trabajos que sobre el tema han publicado varios autores.

#### LA CLIMATIZACION

Definimos la climatización artificial como el resultado de "combinar en grado adecuado las funciones necesarias para proporcionar la atmósfera interior más saludable y confortable para la vida de las personas y el mejoramiento de los procesos industriales" (Instituto Argentino de Electricidad Aplicada, 1939).

Hasta hace algunos años el grado de pureza de una masa de aire se fijaba de acuerdo con su contenido de  $\text{CO}_2$ , pero investigaciones más recientes han demostrado que sólo bajo condiciones muy especiales dicho porcentaje puede llegar a ser peligroso para la salud (1,50 %). Es por ello que actualmente las especificaciones se establecen en base al mantenimiento de condiciones físicas y fisiológicas convenientes.

Los ocupantes de un ambiente están de continuo viciando el aire al reducir su contenido de  $\text{O}_2$ , aumentando el  $\text{CO}_2$  y exhalando materia orgánica que, en casos extremos, puede producir olores. Para evitar la acumulación de aire viciado se recurre a la ventilación, natural o forzada, con la cual se consigue: a) eliminar las substancias tóxicas, y b) modificar en cierto grado las condiciones higrotérmicas del ambiente. Con respecto a los valores mínimos normales de aire requeridos para

una ventilación adecuada, los autores sustentan opiniones dispares. Se siguen tres criterios: a) según el número de ocupantes, b) de acuerdo con el volumen de los locales, conforme al destino de los mismos, fijado generalmente por reglamentación municipal, y c) por el límite máximo admisible de  $\text{CO}_2$ . Las normas del Instituto Argentino de Electricidad Aplicada fija para teatros  $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$  pers. y para restaurants de 17 a  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  pers.

Un adulto en reposo, a las temperaturas ordinarias, consume de 20 a 25 litros de oxígeno por hora y de 2 a 6 veces más cuando efectúa actividad física intensa. El aire exhalado tiene la siguiente composición media:  $\text{O}_2$ : 16,5 %;  $\text{CO}_2$ : 4 % y,  $\text{N}_2$ : 79,5 %. Por otra parte el aire atmosférico en condiciones normales contiene en volumen alrededor del 21 % de oxígeno, pero es posible vivir en una atmósfera que contenga hasta 12 % de  $\text{O}_2$  sin que sea mortal.

Sabemos, además, que mientras el calor total emitido por el cuerpo permanece aproximadamente constante, existen diferencias entre las cantidades de calor sensible y latente emitidas, según sea la temperatura ambiente.

En lo que respecta a la humedad, no debe bajar de cierto límite pues el aire muy seco provoca inconvenientes en las mucosas de los órganos respiratorios y en la piel. El efecto de la humedad con el confort no ha sido determinado satisfactoriamente, a pesar de que el mismo ejerce gran influencia en el organismo. Por ejemplo, un ambiente a baja temperatura y con una humedad relativa alta es, por regla general, más confortable y saludable que uno a alta temperatura y baja humedad.

Los investigadores norteamericanos estiman como conveniente un valor de 35 al 65 % de humedad relativa, mientras que los alemanes son partidarios de un grado higrómetro más bajo, y los franceses admiten un orden del 50 %. Cabe señalar que el grado higrométrico adecuado ha de estar en relación con la pureza del aire.

Otro factor que se tiene en cuenta en los estudios modernos es la cantidad de iones, a pesar de no conocerse con certeza cuáles son los efectos reales que produce la ionización del aire. El Harvard School of Public Health (EE. UU.) ha efectuado interesantes experiencias, comprobándose que en los ambientes ocupados el contenido de iones disminuye sensiblemente, restituyéndose a su valor inicial un lapso después de abandonar las personas dichos locales (de 300 iones positivos por  $\text{cm}^3$  a 65).

La enérgica acción oxidante del ozono y su poder desodorizante se utilizan para purificar los ambientes, pero su aplicación no se ha generalizado en lugares habitados por los inconvenientes que presenta su concentración elevada en los mismos, lo que exige un sistema perfecto de distribución y circulación. En los últimos años M. Curry dirigió sus experimentos en el sentido de investigar la influencia de los elementos químicos presentes en el aire (amoníaco, iodo, y en especial ozono). En contraposición con los resultados negativos obtenidos con los dos primeros, observó que la atmósfera está dotada de un gran poder oxidante capaz de producir la misma reacción química que origina el ozono. En un determinado punto en sus investigaciones Curry y sus colaboradores llegaron a dudar de si era el ozono la substancia oxidante

que se valora en la atmósfera, y posteriores ensayos dieron pie a la suposición de la existencia de otro elemento desconocido, que denominaron "arán". Estas conclusiones han desatado una controversia científica, todavía no dilucidada.

Para purificar el aire se utilizan también las lámparas bactericidas, generadores de rayos ultravioletas de una longitud de onda del orden de los 2600 Å.

Aparte de los factores señalados, se producen modificaciones de la temperatura y la humedad, variables que serán el motivo fundamental de la presente investigación para la ciudad de Buenos Aires.

Para una consideración integral de los climas controlados es necesario tener en cuenta las condiciones interiores y exteriores. Las primeras comprenden:

1) Sensación térmica, que depende de: a) temperatura de bulbo seco del aire; b) temperatura de bulbo húmedo del aire; c) velocidad del aire; d) temperatura y naturaleza de las paredes y del suelo; y e) grado de actividad del sujeto y vestimenta.

Este factor se avalúa por medio de *índices térmicos*, que detallaremos más adelante, y se regula por medios mecánicos con los equipos de acondicionamiento.

2) Pureza del aire, que depende de la existencia de: a) gases y vapores nocivos; b) partículas sólidas tóxicas; c) olores, en especial emanaciones humanas; y d) microbios, bacterias.

Se regula por medio de la renovación, evacuando lo más rápidamente posible los gérmenes y gases expirados.

3) Repartición adecuada de los movimientos del aire. Se adopta normalmente una velocidad máxima del aire a 1 m del suelo; de 0,20 a 0,50 m/seg.

Debe evitarse en lo posible crear movimientos del aire susceptibles de mantener en suspensión partículas microbianas. Tan sólo conviene producir corrientes ascendentes de poca velocidad cuando hay humo en el aire, por ejemplo en cafés, salas de fumar, etc.

4) Presencia de iones y de ozono.

5) Valor absoluto de la presión atmosférica y su variación.

Puede existir ventaja, según los casos en dejar los locales acondicionados, en un estado de sobrepresión o de depresión, según que las condiciones de funcionamiento hagan o no conveniente el paso de aire de los locales adyacentes.

6) Audibilidad e iluminación convenientes.

En las instalaciones de aire acondicionado se aplican métodos destinados a amortiguar los ruidos producidos por los motores, por los ventiladores y en la red de conductos.

Las condiciones exteriores dependen de:

1) Temperatura exterior, tomada como base del proyecto según las estadísticas climatológicas del lugar.

2) Estado higrométrico estadístico, en relación con la temperatura exterior. En términos generales, para altas temperaturas, humedades relativas más bien bajas y lo contrario para temperaturas bajas.

## 3) Dirección y fuerza de los vientos prevalentes.

Se le tiene en cuenta en los estudios sobre pérdidas por infiltración.

4) Impurezas del aire, tales como: a) gases: CO (producido en gasógenos, usinas, combustiones incompletas), NH<sub>3</sub> (putrefacciones, usinas), SO<sub>2</sub> (combustión, fábricas de ácido sulfúrico), cloro, ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico, nitrobenceno. b) partículas sólidas inertes, de origen natural (producidas por erosión, putrefacción, viento) o artificial (combustión, pulverización). Tienen una composición mineral u orgánica y su tamaño varía entre 0,1 y 10  $\mu$ . Son nocivas en concentraciones grandes. Su presencia varía mucho; en el campo: 0,1 a 0,5 mg/m<sup>3</sup>; calles de circulación intensa: 20; en combustiones > 1000. c) microorganismos: bacterias, hongos, etc. Proviene del suelo y en las ciudades se les encuentra en un promedio de 500 a 1000 gérmenes por cm<sup>3</sup>.

## 5) Insolación.

Se la considera para el cálculo de la carga térmica por incidencia de los rayos solares sobre los muros.

Para el cálculo de una instalación de acondicionamiento climático es necesario efectuar el análisis de la carga térmica y dentro de él adquieren especial interés para nuestro estudio la transmisión de calor a través de los muros, el aporte de calor debido a la insolación directa y el producido por las personas.

El flujo de calor a través de las paredes es aproximadamente sinusoidal, suponiendo régimen estacionario. Para vidrios y paredes muy delgadas, debe agregarse un flujo periódico, cuya intensidad depende de la capacidad calorífica de cada pared. Para paredes espesas, el efecto de la capacidad calorífica entraña dos consecuencias: a) un amortiguamiento de amplitud, y b) un retardo con respecto a la temperatura exterior.

El calor debido a la insolación se divide en dos partes: el absorbido superficialmente por la pared y el reflejado. De la primera fracción solamente una parte llega por conductibilidad al aire del local, pues el resto se gasta en aumentar la temperatura de la pared. La insolación puede considerarse también prácticamente como un fenómeno periódico, de período igual a 24 horas.

Los trabajos más modernos sobre el tema encaran el cálculo sobre la base de combinar los dos factores, mediante la temperatura "sol-aire", tema abordado por Enrique Luis Samatán y César Vasino en una comunicación presentada al Primer Congreso Universitario de Matemática, Física, Meteorología y Geología, realizado en Buenos Aires en noviembre de 1954.

## EL HOMBRE Y SU AMBIENTE CLIMATICO

La Bioclimatología estudia los procesos que vinculan al clima con los seres humanos, fijando los valores térmicos óptimos para el bienestar, mediante índices de confort, en base a los intercambios energéticos con el medio ambiente.

En el cuerpo humano se producen transformaciones energéticas muy complejas, en las que la energía química potencial se transforma en energía térmica y mecánica, manteniéndose un equilibrio en el balance total, manifestado en el individuo en estado de salud por el valor cons-

tante de la temperatura del cuerpo humano (homeotermia). Existe una relación constante entre la producción interna de energía (metabolismo) y el trabajo realizado más el calor cedido al ambiente (sensible y latente). El metabolismo basal es el umbral mínimo de producción de calor en el hombre (aproximadamente 60 Kcal/hora en el adulto).

Se llama temperatura de neutralidad (variable para cada individuo, actividad y clima) la ideal para que se establezca este equilibrio, denominándose termogénesis la cantidad de calor suplementaria que debe producir el individuo por debajo de dicha temperatura, y termolisis, el exceso de calor que se cede al ambiente, especialmente en forma de calor latente, por arriba de la misma. La emisión de humedad en forma de calor se ve dificultada cuando la humedad excede de 80 %, y si en estas condiciones la temperatura es elevada, se perturba gravemente la termorregulación animal. El metabolismo durante el trabajo, estudiado entre otros por Bedford en Inglaterra, puede aumentar enormemente, llegándose en los casos extremos a 1000 Kcal/hora. La influencia del elevado grado higrométrico a una temperatura alta es más sensible que a una baja, invirtiéndose este efecto a una determinada temperatura, por debajo de la cual el aire seco parece más caliente que el húmedo. Esto es evidente en Buenos Aires, ciudad en que las temperaturas extremas dan la sensación de ser más rigurosas por el efecto del alto contenido de humedad.

La influencia de la velocidad del viento es mayor a baja temperatura, provocando la sensación de que el aire en actividad parezca más frío que el que está en reposo. Al llegar a los 37°C (temperatura normal del cuerpo humano) se anula el efecto del viento y para temperaturas mayores el aire en movimiento parece más cálido que el que está en calma.

De acuerdo con consideraciones físico-fisiológicas que analizaremos someramente más adelante, las condiciones térmicas interiores de los lugares habitables se fijan mediante índices de confort, el más conocido de los cuales es la temperatura efectiva.

Desde mucho tiempo atrás se ha procurado encontrar un índice o una escala que represente adecuadamente la influencia ejercida por el ambiente sobre la salud del hombre y su actividad. Puede decirse que hasta ahora la técnica no ha hallado un índice ideal y los investigadores continúan experimentando en tal sentido. Las razones que explican las dificultades encontradas son varias; por de pronto, la complejidad del fenómeno a caracterizar, dado que intervienen varios factores intervinculados entre sí y, por otra parte, la "ecuación personal" de cada individuo frente a los estímulos externos. Las experiencias que se realizan son de carácter estadístico y ha de tenerse en cuenta que los valores obtenidos son válidos solamente dentro de las condiciones en que se efectúan los ensayos, no debiendo aplicarse los mismos a otros climas y a otros individuos. Tal es lo que ocurre con los diagramas de confort, trazados en base a la temperatura efectiva con datos obtenidos en EE. UU. y que, sin embargo, se aplican sin discriminación en países de condiciones climáticas y raciales muy distintas. Mencionaremos sucintamente los índices más conocidos que se han propuesto, en orden aproximadamente cronológico:

## 1) Temperatura de bulbo seco:

Fué desde luego el índice más primitivo, pero ya en 1826 Heberden observaba que es una medida muy imperfecta del grado de bienestar. Debe tenerse en cuenta, por otra parte, que las temperaturas registradas en las publicaciones meteorológicas se refieren a observaciones realizadas en abrigos especiales, con condiciones ambientales diferentes a las que habita el individuo normalmente. Esto vale, por supuesto, no sólo para la temperatura sino también para los demás elementos meteorológicos que intervienen en las sensaciones de confort.

## 2) Temperatura de bulbo húmedo:

Se pensó luego en tomar como indicador esta temperatura, sobre la cual influye no sólo la temperatura del aire sino también la humedad. Algunos autores la llamaron temperatura sensible (Herrington).

Morize trató de expresar en una fórmula el valor de la humedad que debe corresponder a una sensación "templada":

$$H = -8,75 t + 274,3$$

siendo  $t$  la temperatura de bulbo seco.

## 3) Catatemperaturas:

Como el termómetro húmedo deja de lado algunos elementos que influyen en la pérdida del calor, Leonardo Hill ideó en 1914 un instrumento especial destinado a tal fin, llamado catatermómetro. Consiste en un termómetro de alcohol de mayor diámetro que los comunes y que lleva el tubo con dos graduaciones separadas de 3 grados generalmente (37°C y 34°C por ejemplo).

Se calcula el llamado "poder de enfriamiento" que es la cantidad de calor perdida por el bulbo en milicalorías/cm<sup>2</sup> seg. Mediante fórmulas y cartas especiales se puede determinar también la velocidad del aire, combinando el poder de enfriamiento con la temperatura de bulbo seco.

Para tomar en cuenta la humedad se puede revestir el bulbo con una muselina mojada obteniéndose así la catatemperatura húmeda.

En el primer momento este aparato gozó de gran aceptación, pero con posterioridad se argumentó que las condiciones de enfriamiento de un bulbo termométrico son muy distintas a aquellas en que el cuerpo humano dispersa su calor.

En 1924 C. Yaglou critica al catatermómetro como indicador térmico, admitiendo su utilización como anemómetro, debido a que la variación de la velocidad del viento influye sobre el enfriamiento del bulbo.

En la técnica moderna, para la medición de velocidades del aire en conductos y ambientes se utiliza también el anemómetro de hilo caliente. Consiste en una resistencia que es calentada por el pasaje de una corriente eléctrica, permitiendo medir los efectos del movimiento del aire por su temperatura.

## 4) Temperatura efectiva:

El mismo Yaglou, junto con Houghten, idea en 1923 un nuevo índice llamado "temperatura efectiva", que ha tenido una aplicación enorme.

Utilizando dicho índice se trazan en el diagrama psicrométrico rectas de igual temperatura efectiva, que permiten delimitar zonas de bienestar y también se construyen nomogramas de puntos alineados.

También existen en la técnica comercial "comfort charts" derivadas del diagrama psicrométrico, que en una escala estadística muestran el porcentaje de personas que, en las experiencias, se han encontrado en condiciones confortables.

Se han trazado dos escalas de temperatura efectiva: la fundamental, obtenida mediante sujetos con la parte superior del cuerpo desnudo, y la normal, con personas normalmente vestidas.

Fundadas objeciones se han hecho, al empleo de la misma, por los siguientes motivos:

a) No tiene en cuenta el calor irradiado por los objetos situados en el ambiente, a pesar de la importancia de este elemento en la dispersión del calor.

b) No puede aplicarse a otras regiones del mundo, según lo que hemos expresado. Por ejemplo, Paulo Sá ha encontrado en el Brasil diferencias de 5° en la temperatura efectiva óptima con respecto a los valores norteamericanos.

c) Algunos autores la consideran complicada, en el sentido de que los tres factores que intervienen son independientes.

#### 5) Temperatura equivalente (según Dufton).

A. Dufton proyectó un aparato que llamó eupateoscopio, consistente en un cilindro metálico ennegrecido superficialmente, alimentado con lámparas eléctricas de modo de mantener poco variable la temperatura de su superficie, para lo cual es necesario variar la energía provista por las lámparas. Haciendo que el cable eléctrico envuelva el bulbo de un termómetro, la temperatura de éste puede servir de índice térmico, que se denomina temperatura equivalente.

Tiene la ventaja de ser simple y de tener en cuenta el calor por radiación, pero deja de lado la influencia de la humedad. Aconseja por ello Dufton limitar su uso para temperaturas menores de 24°C. Otro índice análogo es el determinado por un instrumento debido a Winslow llamado termómetro integrador, constituido también por un cilindro metálico. La temperatura de la superficie variará conforme al poder refrigerante del aire, y como índice de las condiciones del ambiente.

#### 6) Temperatura equivalente (según Knoche).

La idea general de la temperatura equivalente se debe a Robitzch, quien la definió como la temperatura que adquiere una masa de aire húmedo si todo el vapor de agua que contiene se condensa a presión constante y el calor de vaporización liberado se utiliza en calentar el aire. Matemáticamente se la expresa por:

$$t_e = t + \frac{L}{c_p} x$$

siendo  $x$  la relación de mezcla para saturación a la temperatura  $t$ .

Recordando que  $t = t' + \frac{I}{c_p} (x' - x)$ , puede también expresarse en función de la temperatura del bulbo húmedo:

$$t_e = t' + \frac{I}{c_p} x$$

W. Knoche la utilizó como índice térmico, teniendo en cuenta que involucra el calor sensible y latente. Tiene, además, la ventaja de poder calcularse fácilmente:

$$t_e = t + \frac{I}{c_p} \left( 0,622 \frac{e}{p - e} \right) \approx t + \frac{595 \times 0,622}{0,24 \times 760} e \approx t + 2 e$$

Es decir, es igual a la temperatura seca más el duplo de la tensión de vapor (en mm). Esto es válido para presiones atmosféricas cercanas a 760 mm. Knoche ha trazado mapas con isolíneas de la temperatura equivalente media, para Sudamérica (ver "Clima de la República Argentina" GAEA).

#### 7) Radiación efectiva.

Para tener en cuenta el efecto de radiación, Vernon ideó el "termómetro esfera" (globe thermometer). Se trata de un termómetro común con el bulbo situado en el centro de una esfera hueca pintada de negro. Sobre el termómetro influye la temperatura del aire y la de los objetos circundantes, además del movimiento del aire.

Según la teoría de Vernon, las indicaciones del termómetro esfera, en relación a la temperatura del aire, miden la pérdida de calor del cuerpo en el ambiente, llamándose dicha diferencia "radiación efectiva".

Los tres aparatos citados tienen especial interés en lo que respecta a la determinación de la "temperatura radiante media" (MRT), entendiéndose por tal la temperatura media de las paredes y objetos circundantes, de difícil medición directa.

Humphreys halló que a medida que la TE se eleva, la importancia de una variación de la MRT disminuye, debido a la mayor influencia que adquiere la evaporación.

Tales conceptos modernos sobre la influencia de la radiación, han orientado la técnica de la climatización hacia la obtención de ambientes con aire relativamente fresco entre paredes calientes, como los más confortables para el individuo.

La experiencia ha demostrado que en un ambiente con una temperatura del aire de 30°C y las paredes a 15°C se experimenta fresco, mientras que resulta confortable otro con una temperatura del aire de 0°C y las paredes a 25°C. A ello se debe la sensación de fresco agradable que se percibe en los días calurosos al entrar a grandes recintos con paredes y pisos de piedra o mármol (por ejemplo templos). Al mismo principio obedece la construcción de casas de madera, material con un bajo coeficiente de conductibilidad, en los países nórdicos fríos.

En esta idea se basa la calefacción por losas y paneles radiantes, consistente en una red de tuberías por las que circula vapor o agua caliente situadas en el interior de las paredes, piso y/o techo de las habitaciones.

## 8) Temperatura de la piel.

Yaglou mismo, uno de los creadores de la temperatura efectiva, reconoció, junto con otros investigadores, que dicho índice sobreestima la influencia de la humedad a temperaturas ordinarias y subestima el efecto para muy altas temperaturas, al aproximarse al límite de tolerancia al calor.

La sobreestimación de los efectos de la humedad en ausencia de sudor, puede explicarse por el fenómeno de absorción (por la piel y vestimenta) y por la falta de adaptación.

La TE es así de aplicación discutible desde el punto de vista de la humedad, mientras que su importancia subsiste para atmósferas calientes y húmedas cuando los efectos de absorción son insignificantes, pues la piel está húmeda por transpiración. Esta afirmación de Yaglou (1947) contradice las experiencias realizadas por Sá en el Brasil.

Se recomienda entonces como índice dentro de los límites de no transpiración, la temperatura de la piel. Las experiencias de Hardy, Du Bois, Winslow, etc., muestran que hombres y mujeres se encuentran confortables en verano e invierno cuando la temperatura media de la piel oscila entre 33°C y 34°C estando convenientemente vestidas, cualquiera que sea la temperatura ambiente hasta 28°C. Para temperaturas del aire superiores a 28°C la temperatura de la piel varía muy lentamente y no puede tomarse como índice seguro. También falla como índice, en exposiciones a cambios bruscos de temperatura, donde la temperatura de la piel cambia rápidamente, o durante un trabajo muscular pesado, en que generalmente baja, debido a la desviación de la sangre a los músculos activos.

El inconveniente más notorio reside en las dificultades que se presentan para medir la temperatura de la piel, según lo ha señalado Bedford. Se han efectuado mediciones utilizando termómetros de mercurio, haciéndolo rodar sobre la piel, procedimiento que da buen resultado si ésta no está húmeda. Los métodos más modernos se basan en la utilización de termómetros especiales a resistencia eléctrica. Además de los métodos directos de medición de la temperatura de la piel, existen fórmulas para el cálculo de la misma, como la de Vincent, por ejemplo:

$$P = 30,1 + 0,2 t - v (4,12 - 0,13t)$$

donde  $v$  = velocidad del viento, y  $t$  = temperatura seca del aire.

De acuerdo con estos resultados experimentales parece factible corregir la TE por humedad, mediante las temperaturas de la piel. Bedford ha efectuado 2.500 observaciones sobre un gran número de personas en reposo, siendo sus resultados, en promedio, representados en la Fig. 1. Hace notar que existe considerable variación en la temperatura de la piel para distintas personas y es variable, según puede verse en el gráfico, la relación entre la temperatura del aire y la de la piel, conforme sea el sitio en que se mida ésta.

Citamos anteriormente la rápida variación de esta temperatura cuando el cuerpo está expuesto a cambios bruscos. El diagrama de la Fig. 2 muestra, según Bedford la caída que experimenta la temperatura de la frente debido a la acción de una corriente de viento producida artificialmente y el tiempo que tarda en adquirir la temperatura pri-

mitiva. Este efecto lo produce el mecanismo de la vasoconstricción, que opera en forma de defender el organismo de las variaciones exteriores.

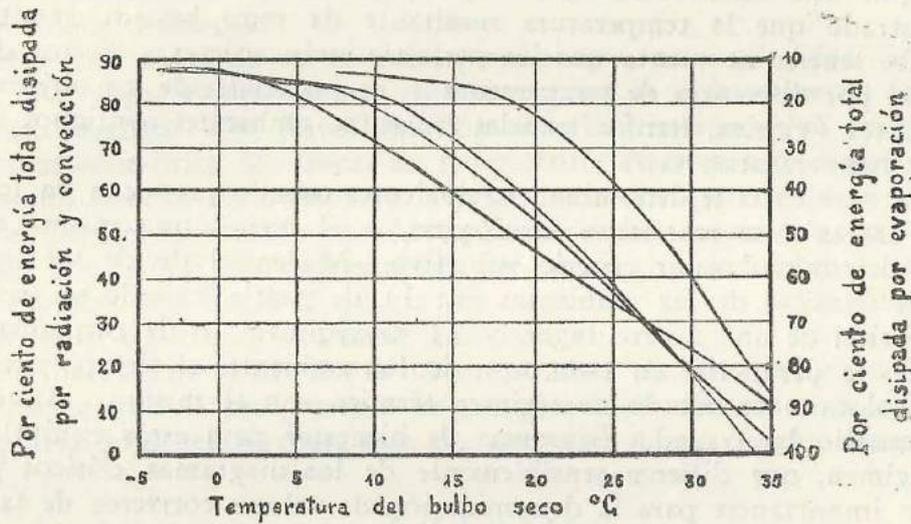


FIG. 1.

La piel emite radiación como un cuerpo negro, absorbiendo casi totalmente la de onda larga que le llega y reflejando en gran parte la visible e infrarroja.

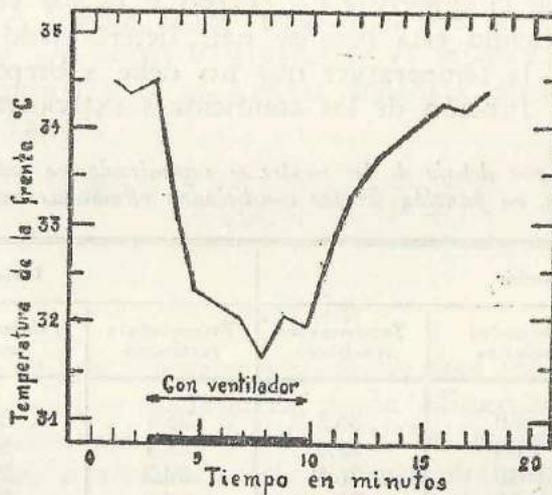


FIG. 2.

9) Temperatura resultante.

Para tener en cuenta el calor irradiado sin despreciar la influencia de la humedad, André Missenard utiliza un instrumento análogo al termómetro esfera (de 8 cm de diámetro) pero recubierto en parte por una muselina humedecida, de área previamente calculada. A las indicaciones de dicho aparato les llama "temperaturas resultantes".

Además de la ventaja de ser influenciado por todos los factores actuantes (hasta ahora conocidos), tiene la de poder sustituir el termómetro por un termostato, permitiendo el control automático del equipo

acondicionador. Las experiencias realizadas por Paulo Sá, al determinar el coeficiente de correlación entre la impresión subjetiva de bienestar — según una escala numérica — y los distintos índices térmicos, han demostrado que la temperatura resultante da muy buenos resultados.

Debe tenerse en cuenta que las personas están sujetas a efectos de radiación por diferencia de temperatura y de materiales de los objetos circundantes (vidrios, estufas, paneles radiantes, ambientes contiguos a distintas temperaturas, etc.).

Dos ambientes se denominan equivalentes cuando provocan en los sujetos las mismas reacciones fisiológicas, o al menos una misma sensación, determinada por criterio subjetivo. Missenard divide las equivalencias térmicas de los ambientes en: 1) de pasaje, cuando se pasa sin transición de uno a otro lugar, y 2) de régimen (o de permanencia), cuando se permanece en cada uno de los ambientes el tiempo necesario para colocarse en estado de régimen térmico con el mismo. Basado en este criterio ha trazado diagramas de bienestar para estas equivalencias de régimen, que difieren sensiblemente de los diagramas clásicos y que tienen importancia para la determinación de valores correctos de la temperatura resultante en un local donde permanezcan personas.

En cambio, las de pasaje sirven para establecer saltos de temperatura perjudiciales para el cuerpo humano, especialmente bajo la forma de enfriamientos.

Missenard ha llegado a establecer en tal sentido que las características de dos ambientes deben ser tales que la variación instantánea de pérdida del calor en la superficie del cuerpo y de los vestidos no exceda del 80 %. Admitiendo esta base se han determinado los valores del Cuadro I, que da la temperatura que no debe sobrepasarse en los lugares enfriados en función de las condiciones exteriores.

CUADRO I. — *Valores por debajo de los cuales se recomienda no reducir las temperaturas interiores, en función de las condiciones climáticas exteriores.*

Exterior			Interior		
Temp. seca	Humedad relativa	Temperatura resultante	Temperatura resultante	Temperatura seca	Humedad relativa
35	60	30,5	26,5	31	50
32	60	28,5	23,4	27	50
32	40	26,5	20,2	23	50
30	80	28	22,6	26	50
30	60	27,2	21,2	24	50
30	40	25	18	21	50

Como ya hemos visto, es común la representación de la temperatura efectiva en el diagrama psicrométrico, en el que las temperaturas húmedas están representadas por rectas, correspondiendo cada uno de estos diagramas a una misma actividad y vestimenta de los individuos. Esta representación gráfica tiene el inconveniente de exigir todo un juego de diagramas. Yaglou publicó más tarde los nomogramas que hemos citado anteriormente los que ofrecen la ventaja de ser de lectura directa y facilidad de interpolación.

Ahora bien, el pasaje del diagrama psicrométrico al nomograma de puntos alineados se efectúa mediante una transformación por polares recíprocas. Las rectas de igual temperatura seca se transforman en los puntos equidistantes de la escala lateral, y lo mismo ocurre para las temperaturas húmedas.

Sobre este ábaco la curva correspondiente a una velocidad determinada es el lugar de los puntos representativos de cada valor de la temperatura efectiva. Tal transformación es válida solamente si en el diagrama psicrométrico las líneas de temperatura efectiva son rectas, si son curvas no pueden rigurosamente representarse por puntos en el nomograma. Como de acuerdo con lo ya expuesto las experiencias modernas revelan que la TE está representada por curvas que se acercan a las rectas de bulbo seco en el diagrama psicrométrico, el uso del nomograma pierde todo significado en estas condiciones.

Los ábacos para el cálculo de la temperatura efectiva pueden utilizarse también cuando la temperatura de las paredes es distinta a la del aire, reemplazando la temperatura seca por un valor  $t_s$  que, según Missenard, vale:

$$t_s = 0,45 t + 0,55 R$$

siendo  $R$  una media de la temperatura de las paredes, que puede calcularse por la fórmula:

$$R = \frac{1}{4\pi} \sum \alpha_i t_i$$

en la que  $\alpha_i$  es el ángulo sólido bajo el cual se ve cada pared de temperatura  $t_i$  desde un punto 0 situado en el interior. Para paredes rectangulares de lados  $a$  y  $b$ , si  $f$  es la distancia desde 0 a la pared, el ángulo sólido  $\beta$  vale:

$$\text{sen } \beta = \frac{ab}{\sqrt{(a^2 + f^2)(b^2 + f^2)}}$$

siendo:

$$\alpha = \sum \beta$$

La obtención de las equivalencias de régimen por la medida de la temperatura de la piel es inadmisibles, según Missenard, pues, de acuerdo con sus experiencias, por debajo de  $32^\circ\text{C}$  es independiente del grado higrométrico y las equivalencias de régimen definidas por la igualdad de las temperaturas de la piel conducen, en aire calmo, a la igualdad de las temperaturas secas. Como se observa, esta conclusión difiere fundamentalmente de las opiniones sustentadas por los experimentadores estadounidenses que hemos mencionado.

Según dicho autor la humedad ejerce un papel más importante en las equivalencias de pasaje que en las de permanencia. La experiencia muestra que la noción de equivalencia es más general que la de bienestar, en el sentido de que los individuos están más de acuerdo sobre la igualdad de la sensación que sobre el valor absoluto de la misma.

Debe entenderse que son leyes de carácter estadístico y se acostumbra calcular la dispersión con respecto al valor medio, habiendo estimado

los norteamericanos que un 75 % de los sujetos están dentro del grado Fahrenheit de dicho valor.

Winslow, Gagge y Herrington han efectuado una serie de experiencias con sujetos vestidos normalmente y en reposo, para determinar el enfriamiento progresivo en un ambiente a 23°C y una velocidad de 2,5 m/seg. Se observa la gran sensibilidad térmica de la piel y la escasa variación que sufre la temperatura superficial de la vestimenta en

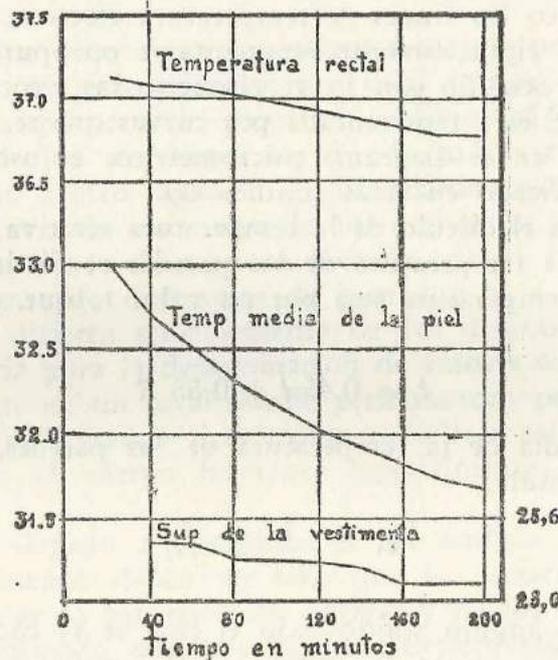


FIG. 3.

las equivalencias de permanencia (Fig. 3). Missenard calcula también la temperatura seca resultante mediante una fórmula simple:

$$T_{SR} = \frac{T_s + R}{2}$$

en la que  $T_s$  = temperatura seca del aire, y  $R$  = temperatura radiante media, válida para aire en calma y para individuos en que la actividad no provoca una velocidad relativa importante entre el aire y el cuerpo, para los dos tipos de equivalencia. Parece ser que los fenómenos de radiación y convección en la superficie del cuerpo humano no son perturbados por reacciones biológicas, como las que complican el estudio de la influencia del grado higrométrico en la sensación de pasaje. En caso de movimiento relativo se adopta un coeficiente de convección establecido por Winslow proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad del aire.

Además de los que hemos mencionado, se pueden encontrar en la bibliografía otros índices mediante los cuales se ha intentado representar el estado higrométrico de los ambientes cerrados.

Por ejemplo, Bergeiro en el Uruguay preconiza el promedio de las temperaturas seca y húmeda, dando una justificación que no nos satisface plenamente.

Con respecto al valor de los distintos índices, Bedford en 1936 realizó un estudio comparativo entre los obreros de fábricas en Inglaterra. Las investigaciones se efectuaron en los meses de invierno, con calefacción artificial, variando la temperatura del aire entre 12 y 24°C, interviniendo 2.000 individuos (hombres y mujeres) a los que se les hizo 3085 observaciones mediante la determinación de las temperaturas de la piel y vestidos y la sensación subjetiva de confort. La vinculación de las distintas escalas con la sensación de confort, se efectuó por el método de correlación, llegándose a los siguientes resultados, para el coeficiente de correlación:

Temperatura equivalente .....	— 0,52 ± 0,10
» del termómetro esfera .....	— 0,51 ± 0,01
» efectiva .....	— 0,48 ± 0,01
» del bulbo seco .....	— 0,48 ± 0,01
Catatemperatura seca .....	— 0,43 ± 0,011

Teniendo en cuenta que un coeficiente de correlación igual a 1 indica que hay asociación perfecta entre las dos variables, y  $-1$  que existe una relación inversa perfecta, parecería que hasta 24°C el mejor índice es, entre los incluidos en el cuadro, la temperatura equivalente, según estas investigaciones.

En las condiciones de la experiencia, con aire en calma y dentro de las temperaturas citadas, no existe ventaja de la temperatura efectiva sobre la de bulbo seco.

En base a estos estudios de correlación, Bedford ha deducido la fórmula siguiente:

$$S = 11,16 + 0,0556 t - 0,0538 t_R - 0,372 M + 0,00144 \sqrt{v} (100 - t)$$

en la que  $S$  es la sensación de confort según una escala que va de 1 a 7, siendo 4 confortable;  $t$  = temperatura seca (°F);  $t_R$  = temperatura radiante media (°F);  $e$  = tensión del vapor (mm Hg) y  $v$  = velocidad del aire (pie/min).

Paulo Sá, en el Brasil, que realizó investigaciones similares aunque para clima cálido, obtuvo los siguientes valores:

a) Invierno:

Correlación entre la sensación de confort y

Temperatura del bulbo seco .....	— 0,74 ± 0,03
» efectiva .....	— 0,80 ± 0,02
Catatemperatura seca .....	0,71 ± 0,05
Humedad relativa .....	0,12 ± 0,06

b) Verano

Temperatura de bulbo seco .....	— 0,80 ± 0,03
» efectiva .....	— 0,70 ± 0,04
Catatemperatura seca .....	0,75 ± 0,03
Humedad relativa .....	0,38 ± 0,07

En una investigación posterior efectuada con el termómetro resultante de Missenard, en 1936, encontró un  $r = 0,861 \pm 0,025$ .

Cabe aclarar que hemos invertido los signos de los valores obtenidos por Sá, a fin de poderlos comparar con los de Bedford, ya que

en el trabajo del investigador brasileño la escala de sensación térmica es inversa.

En nuestro país hemos realizado algunas experiencias con el termómetro resultante de Missenard, llegando a la conclusión de que su uso se justifica solamente cuando la temperatura de las paredes difiere sensiblemente de la del aire (paneles radiantes, por ejemplo).

Mediante un enfoque original del problema, en esta misma revista ["Meteoros" 1(1)], D. Brazol ha definido la temperatura biológica óptima, basada en la entalpía del aire. En su documentado estudio, dicho autor fija como índices de bienestar climático máximo los valores: temperatura húmeda =  $13,8^{\circ}\text{C}$ ; temperatura equivalente =  $37,5^{\circ}\text{C}$ , y entalpía =  $9,2$  kcal/kg.

### CONDICIONES INTERIORES

La temperatura interior que se adopta corresponde a la que debe reinar a una altura de 1,50 m sobre el suelo y a no menos de 1 m de distancia de las paredes. Dicha temperatura dependerá del tipo y uso del local y también de la humedad y movimiento del aire. En locales calefaccionados, debe esperarse un gradiente vertical promedio de  $0,7^{\circ}\text{C}$  por metro. El laboratorio de investigaciones de la American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE) recomienda el valor  $20^{\circ}\text{C}$  de temperatura efectiva, para personas en reposo. Si se mantiene un  $\varphi = 50\%$  (mediante humidificadores), dicha T. E. corresponde a una temperatura del seco superior a  $22^{\circ}\text{C}$ . Cuando no se provee humidificación artificial la humedad relativa puede caer a  $20\%$  o menos y, por lo tanto, debe aumentarse la temperatura seca para proporcionar igual sensación climática.

Evidentemente, por razones económicas y hasta de ambiente, estos valores tan altos no son recomendables para nuestro país.

Para fijar las condiciones de verano ha de tenerse en cuenta si se trata de locales en que los ocupantes permanecen largo tiempo o sólo momentáneamente. En el primer caso, la ASHVE recomienda como término medio  $25$  a  $26^{\circ}\text{C}$  y en el segundo,  $27^{\circ}\text{C}$  siempre que la humedad relativa no exceda de  $50\%$ .

El Instituto Argentino de Electricidad Aplicada ha fijado las siguientes normas para las condiciones interiores:

#### a) Verano:

Máxima aceptable: temperatura efectiva =  $23,5$  ;  $\varphi = 30$  a  $70\%$   
 Recomendable:                   »                   »                   » =  $21,7$  ;  $\varphi = 40$  »  $61$  »

#### b) Invierno:

Confort: temperatura seca  $20^{\circ}\text{C}$ .

Como es dable observar, los valores no son congruentes y, además, son incompletos.

Por otra parte, la máxima de  $TE = 23,5^{\circ}\text{C}$ , adoptando  $\varphi = 50\%$ , corresponde a una temperatura del seco de  $27^{\circ}\text{C}$ , valor alto y que sólo puede aceptarse para lugares en que exista movimiento continuo de público, teniendo en cuenta lo prescripto por Missenard para equivalen-

CUADRO II\* — Valores medios, absolutos y frecuencias del Observatorio Central Buenos Aires  
Período: 1901-50

Elementos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septbre.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Año
Presión atmosférica media al nivel de la estación (1936-50), mb .....	1008,8	1009,3	1011,2	1013,2	1013,8	1015,0	1016,5	1015,6	1015,2	1014,0	1010,6	1008,6	1012,6
Temperatura media, °C .....	23,5	22,9	20,5	16,9	13,3	10,3	10,0	11,0	13,1	15,8	19,0	21,9	16,5
Temperatura máxima media, °C .....	29,5	28,7	26,1	22,2	18,1	14,7	14,5	15,9	18,0	20,9	24,5	27,8	21,7
Temperatura mínima media, °C .....	17,6	17,3	15,3	11,9	8,6	5,8	5,8	6,4	8,2	10,6	13,3	15,9	11,4
Temperatura máxima absoluta, °C .....	40,5	38,7	37,2	36,0	31,0	25,9	28,9	30,7	34,0	33,5	35,3	39,3	40,5
Temperatura mínima absoluta, °C .....	5,9	4,2	3,6	-2,3	-4,0	-5,0	-5,4	-4,0	-2,4	-2,0	2,4	3,7	-5,4
Tensión del vapor media, mm. Hg .....	14,5	14,7	13,5	11,4	9,4	7,8	7,7	7,7	8,7	10,1	11,7	13,4	10,7
Humedad relativa media, % .....	67	71	75	79	82	84	83	78	77	75	71	68	76
Nubosidad media, escala 0-10 .....	4,3	4,1	4,1	4,2	5,1	5,8	5,9	5,5	5,4	5,1	4,8	4,6	4,9
Velocidad media del viento, Km/hora .....	11	10	9	9	8	8	8	10	11	11	11	11	10
Precipitación media, mm	85,8	77,5	110,6	103,1	75,4	54,4	54,7	63,8	82,1	86,6	90,4	98,3	980,6
Frecuencia media de días con heladas (total) .....				2	29	147	165	80	14	6			443
Frecuencia media de días con cielo claro .....	6,2	6,6	6,6	6,9	4,6	4,0	3,9	4,1	4,6	4,6	5,5	6,0	63,6
Frecuencia media de días con cielo cubierto .....	5,8	5,6	4,8	5,6	7,5	9,4	9,6	8,5	7,9	6,5	5,2	4,2	76,6
Temperatura media 8 hs.	23,0	22,1	19,9	15,9	11,9	8,6	7,9	9,3	12,4	15,5	19,0	21,8	15,6
Temperatura media 14 hs.	28,0	27,2	25,0	21,0	17,2	13,9	13,2	14,7	16,9	19,6	23,1	26,2	20,5
Temperatura media term. húmedo 8 hs. ....	19,1	19,1	17,8	14,8	11,9	9,3	8,7	9,0	11,0	13,0	15,8	17,8	13,9
Temperatura media term. húmedo 14 hs. ....	20,7	20,6	19,2	18,2	13,8	10,9	10,6	11,2	12,9	15,1	17,4	19,2	15,8

\* Facilitado por el Departamento de Estudios y Asesoramiento Científico del Servicio Meteorológico Nacional.

cias de pasaje. En ambientes en que las personas permanecen el tiempo suficiente para alcanzar el estado de régimen térmico con el mismo, entendemos que los valores máximo y óptimo deben ser algo menores. En la práctica se regulan las condiciones interiores en función de las exteriores, dentro de límites razonables.

Con los valores recomendados por los distintos experimentadores citados y en base al criterio adecuado en cada caso, deberán adoptarse las condiciones interiores más convenientes. Sugerimos los siguientes valores:

- a) Invierno: temperatura seca = 19 a 20° C ;  $\phi$  = 40 a 60 %  
 b) Verano:                   »                   » = 23 » 25° C ;  $\phi$  = 40 » 60 %

#### CONDICIONES BASICAS DE DISEÑO PARA BUENOS AIRES

Cuando se trata de proyectar una instalación de acondicionamiento o de calefacción es necesario fijar las condiciones básicas exteriores (temperatura y humedad), llamadas de diseño, y por razones económicas y funcionales no conviene adoptar valores extremos, que tan sólo ocurrirán en aisladas oportunidades. Además, debe tenerse en cuenta la inercia térmica de las paredes, que permitirá contar con una cierta tendencia al mantenimiento de las condiciones interiores. El objeto de este trabajo, como lo hicimos notar en la introducción, es precisamente establecer, en la forma más racional posible, las condiciones básicas exteriores que deben adoptarse en la zona del gran Buenos Aires. Para ello es necesario estudiar el régimen climático de la ciudad, el que se ha sintetizado estadísticamente en el Cuadro II, donde figuran los valores más representativos para nuestro objeto.

#### a) VERANO.

Para calcular la temperatura de diseño para verano hemos computado las frecuencias de las 31.200 observaciones horarias (entre 8 y 20 horas, período de luz solar) correspondientes a los meses de diciembre a marzo, en el lapso 1931-50. Ver Cuadro III.

CUADRO III

t	40	39 a 39,9	38 a 38,9	37 a 37,9	36 a 36,9	35 a 35,9	34 a 34,9	33 a 33,9	32 a 32,9	31 a 31,9	30 a 30,9
Nº de casos .	1	11	11	50	80	124	259	413	616	889	1200
t	$\geq 40$	$\geq 39$	$\geq 38$	$\geq 37$	$\geq 36$	$\geq 35$	$\geq 34$	$\geq 33$	$\geq 32$	$\geq 31$	$\geq 30$
Acumuladas .	1	12	23	73	153	277	536	949	1565	2454	3454
%	0,003	0,04	0,07	0,23	0,49	0,89	1,72	3,04	5,02	7,9	11,7

La American Society of Refrigerating Engineers adopta la temperatura que sólo haya sido excedida de 2,5 a 5 % durante las horas de luz solar de la estación de verano. En cambio, el A.S.H.V.E. Techni-

cal Advisory Committee on Weather Design Conditions fija la temperatura horaria que haya sido superada sólo el 2,5 % de los casos, para todas las horas del día, durante 4 meses estivales.

Adoptando el primer criterio para Buenos Aires, resultaría:  $t_a = 32^\circ\text{C}$  a  $33^\circ,5$ , y con el segundo,  $t_a = 32^\circ,5$ . Para determinar la seguridad estadística de estos valores se ha calculado el error standard de los mismos con la expresión

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sqrt{N p (1 - p)}}{f_p} u$$

donde:

- $\sigma_{x_p}$ : error standard del percentil;
- $N$ : número total de casos de la serie;
- $p$ : valor del percentil;
- $f_p$ : frecuencia absoluta de la clase en que cae el percentil;
- $u$ : intervalo de clase.

Los valores del error standard para los percentiles de 5 y 2,5 % han dado:

$$\sigma_{x_5\%} = \pm 0,062^\circ\text{C} \quad \sigma_{x_{2,5\%}} = \pm 0,066^\circ\text{C}$$

que implican una absoluta seguridad estadística de las temperaturas de diseño determinadas.

Si tenemos en cuenta que las temperaturas son algo mayores en las zonas céntricas de la ciudad que las utilizadas en el cálculo (Observatorio Central, ubicado en el parque de Agronomía), conviene adoptar:  $t_a = 33^\circ$  a  $34^\circ\text{C}$ , con una humedad relativa del 40 % aproximadamente. Dicho valor es más bajo que el establecido en 1939 por el Instituto de Electricidad Aplicada ( $35^\circ\text{C}$  y  $\varphi = 40\%$ ).

Veamos ahora como está relacionado dicho valor con los extremos: máxima media del mes más cálido:  $29,5^\circ$ , y máxima absoluta:  $40,5^\circ$ . En Francia se adopta generalmente el primero, pero no es aplicable para climas con una gran amplitud estacional.

Interesa también saber en qué proporción las temperaturas máximas diarias superarán a la de diseño:

$$t \geq 35^\circ \dots 4\% ; \quad t \geq 34^\circ \dots 7\% ; \quad t \geq 33^\circ \dots 12\% .$$

Para fijar el grado higrométrico hemos calculado los valores de humedad relativa que corresponden a la observación de 14 horas, en el período 1931-50, durante el mes de enero:

a) para  $t \geq 33^\circ$ :

- máxima absoluta: 58 %
- máxima media: 35 %
- mínima absoluta: 16 %

b) para  $30^\circ < t < 33^\circ$ :

- máxima absoluta: 70 %
- máxima media: 42 %
- mínima absoluta: 19 %

Se calculó también la frecuencia de las temperaturas horarias de bulbo húmedo aprovechando el récord disponible 1939-52 para el Observatorio Central Buenos Aires, correspondiente a los meses de diciembre a marzo, conforme al Cuadro IV.

CUADRO IV

t .....	22 a 22.9	23 a 23.9	24 a 24.9	25 a 25.9	26 a 26.9	27 a 27.9	28 a 28.9	total de observaciones
Nº de casos .....	2234	1275	589	223	45	4	0	40.320
t .....	≥ 22	≥ 23	≥ 24	≥ 25	≥ 26	≥ 27	≥ 28	
Acumuladas .....	4370	2136	861	272	49	4	0	
% .....	10,8	5,3	2,1	0,7	0,1	0,01	0	

La A.S.H.V.E. sugiere adoptar como temperatura de diseño de bulbo húmedo la que haya sido igualada o excedida solamente el 5 % de las horas de los meses de verano.

Recomendamos adoptar para Buenos Aires,  $t' = 24^{\circ}\text{C}$ , valor que da un amplio margen de seguridad. El error standard de  $t'$ , calculado con el procedimiento indicado al tratar las temperaturas de diseño, ha resultado de  $\pm 0,034^{\circ}\text{C}$  que refirma una absoluta seguridad estadística del mismo. Con  $t = 34^{\circ}\text{C}$  y  $t' = 24^{\circ}\text{C}$  resulta  $\varphi = 40\%$ , humedad que ya habíamos establecido.

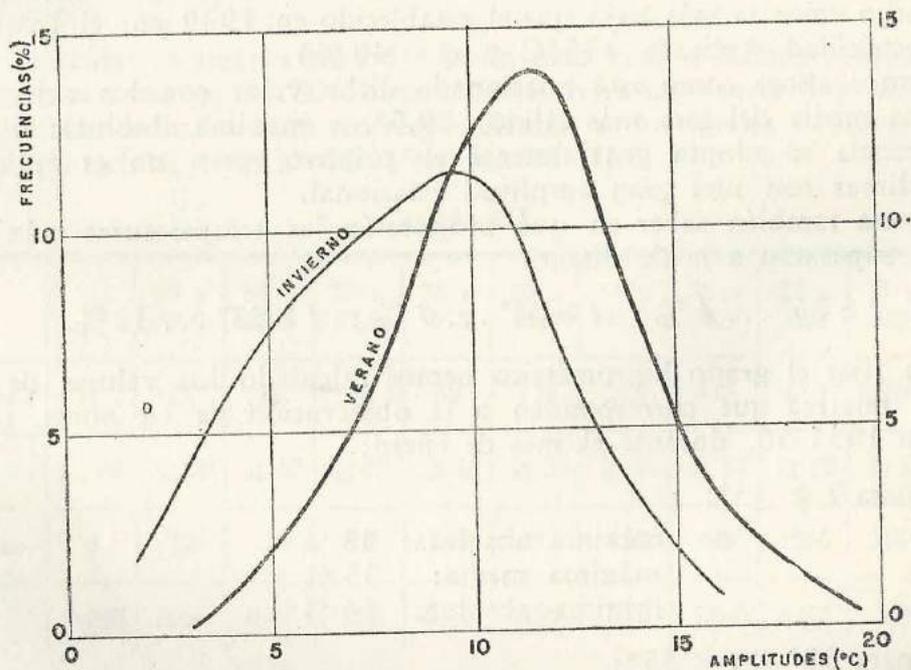


FIG. 4.

En confirmación de los resultados obtenidos se ha graficado también la depresión psicrométrica, a la hora de temperatura máxima diaria, observándose que la frecuencia máxima corresponde a  $8^{\circ}\text{C}$  (Fig. 4).

Hemos calculado también la diferencia de tiempo (en horas) entre las máximas horarias de bulbo seco y húmedo, para días con temperaturas máximas superiores a 30°C (período 1941-50). Ver cuadro V.

CUADRO V

Diferencias (horas)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
% .....	7,5	5,0	4,0	8,0	8,7	23,0	9,5	11,8	9,5	5,8	5,0	2,2

En el cuadro de frecuencias hemos establecido diferencias positivas cuando la temperatura máxima de bulbo húmedo se ha producido antes que la del seco, y negativas, en caso inverso. Observamos que solamente hay coincidencia en el 23 % de los casos, y que la diferencia es de  $\pm 2$  horas en el 61 % y de  $\pm 3$  horas en el 75 %. Cuando la diferencia supera las 3 horas, el 41 % de las veces  $|t - t'| \leq 1^\circ\text{C}$ ; el 77 %  $|t - t'| \leq 2^\circ\text{C}$  y se produce un máximo de 4,3°C.

Dado que la temperatura de diseño de bulbo húmedo ha sido calculada en base a las máximas, siempre es favorable el criterio adoptado, pues a la hora en que se produce la máxima del húmedo, la carga térmica es menor que la supuesta.

Hemos repetido el cálculo para días con temperatura máxima del termómetro húmedo  $\geq 21^\circ\text{C}$ , encontrando prácticamente los mismos valores de frecuencias.

#### b) INVIERNO.

En la determinación de la temperatura de diseño para invierno se han computado las frecuencias de las 73.440 observaciones horarias correspondientes a los meses de mayo a setiembre, para el período 1931-1950. Ver Cuadro VI.

CUADRO VI

t .....	$\leq -5,0$	-4,0 a -4,9	-3,0 a -3,9	-2,0 a -2,9	-1,0 a -1,9	0,0 a -0,9	0,1 a 1,0	1,1 a 2,0	2,1 a 3,0
Nº de casos.	1	5	19	47	113	296	451	590	877
t .....	$\leq -5,0$	$\leq -4,0$	$\leq -3,0$	$\leq -2,0$	$\leq -1,0$	$\leq 0,0$	$\leq 1,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$
Acumuladas	1	6	25	72	185	481	932	1522	2399
% .....	0,001	0,008	0,034	0,098	0,252	0,656	1,269	2,072	3,267

El A. S. H. V. E. Technical Advisory Committee on Weather Design Conditions fija como temperatura de diseño la temperatura horaria que haya sido igualada o superada el 97,5 % de los casos en el total de horas de los meses de invierno. Resulta con este criterio para Buenos Aires  $t_d = 2,4^\circ\text{C}$ . Aunque las temperaturas de la zona céntrica pudieran

ser mayores que las utilizadas en el cálculo estimamos que conviene mantener el valor, dado el uso que del mismo se pudiera hacer en edificios altos. Conviene entonces adoptar  $t_a = 2,0$  a  $2,5^\circ\text{C}$  con humedad relativa de 95 a 100 %. Dichos valores concuerdan sensiblemente con los establecidos en 1939 por el Instituto de Electricidad Aplicada ( $t_a = 2^\circ\text{C}$  y  $\varphi = 95\%$ ).

Los valores extremos son: mínima absoluta:  $-5,4^\circ\text{C}$  y la proporción en que las temperaturas mínimas diarias superarán a las de diseño:  $t \leq 2^\circ\text{C} \dots 12\%$ ;  $t \leq 1,0^\circ\text{C} \dots 7,5\%$ ;  $t \leq 0,0^\circ\text{C} \dots 5,0\%$ ;  $t \leq -1,0^\circ\text{C} \dots 2,3\%$ ;  $t \leq -2,0^\circ\text{C} \dots 0,9\%$ .

En correspondencia con las temperaturas iguales o menores de  $2^\circ\text{C}$  se ha investigado la velocidad horaria del viento, en el período 1941-50, llegando a los siguientes resultados:

Velocidades (Km/h)	Número de casos	%
$\geq 19$	9	1
$\geq 13$	74	3
$\geq 7$	331	43
$\geq 2$	764	86
$\geq 0$	770	100

Velocidad máxima en el período considerado: 27 Km/h.

Se recomienda adoptar una velocidad de 13 Km/h, valor excedido solamente el 3 % de las veces.

La determinación del estado higrométrico de diseño resulta insegura y engorrosa por la gran variación que sufre la humedad relativa, en temperaturas bajas, para pequeños cambios de la temperatura del húmedo.

Hemos comenzado por computar la frecuencia de temperaturas horarias de bulbo húmedo, para el récord 1941-1950, en el Observatorio Central Buenos Aires, correspondientes a los meses de mayo a setiembre. Ver Cuadro VII.

CUADRO VII

t .....	-6,0 a -6,9	-5,0 a -5,9	-4,0 a -4,9	-3,0 a -3,9	-2,0 a -2,9	-1,0 a -1,9	-0,0 a -0,9	0,0 a 0,9	1,0 a 1,9	2,0 a 2,9
Nº de casos .	0	5	14	34	58	115	160	344	484	768
t .....	$\leq -6,0$	$\leq -5,0$	$\leq -4,0$	$\leq -3,0$	$\leq -2,0$	$\leq -1,0$	$\leq 0,0$	$\leq 1,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$
Acumuladas .	0	5	19	53	111	226	386	730	1214	1982
% .....	0	0,01	0,05	0,14	0,30	0,62	1,05	1,99	3,31	5,4

Total de observaciones, 36.720.

Si se adopta como temperatura de bulbo húmedo de diseño aquella que es excedida en el 97,5 % de los casos, resulta  $t' = 1,4^\circ\text{C}$ , que con

$t_a = 2,4^\circ\text{C}$  da  $\varphi = 82\%$ . Mientras que  $\varphi = 100\%$  corresponde a  $t' = 2,4^\circ\text{C}$ , que resulta de tomar el percentil de 4,15 %. La divergencia de estos dos valores comprueba lo antedicho, ya que ambos percentiles son absolutamente seguros estadísticamente.

Para solucionar el problema hemos recurrido a los registros de valores de humedad relativa y comenzamos por computar la frecuencia de dicho parámetro a las 8 horas para el período 1941-1950 en los meses de mayo a setiembre. Se ha elegido las 8 horas porque se supone que alrededor de la misma se producen en invierno las condiciones extremas de temperatura del seco. Ver Cuadro VIII.

CUADRO VIII

Humedad relativa %	100	98 a 99	96 a 97	94 a 95	92 a 93	90 a 91	85 a 89	80 a 84	70 a 79
Frecuencia absoluta .	146	78	99	111	90	102	233	207	317
	100	≥ 98	≥ 96	≥ 94	≥ 92	≥ 90	≥ 85	≥ 80	≥ 70
Frecuencia acumulada .....	146	224	323	434	524	626	859	1066	1383
% .....	9,5	14	21	28	34	41	56	70	90

Número total de casos: 1530.

De estos valores se desprende que el valor de  $\varphi$  debe ser fijado en 100 %. Para mayor seguridad se ha computado la frecuencia relativa de  $\varphi = 100\%$  para el total de valores horarios en el período 1941-1950 y ha resultado que para dicho valor  $F_r = 4,6\%$ .

De las estadísticas de temperaturas del húmedo y de humedad relativa hemos fijado para diseño  $\varphi = 95\%$  a  $100\%$ .

#### CONDICIONES PARA LOS ALREDEDORES DE BUENOS AIRES

Sin pretender resolver exhaustivamente el problema de fijar las condiciones de tan amplia zona hemos elaborado algunos datos disponibles de las estaciones meteorológicas de récord suficiente. Dejamos constancia de que el hecho de fijar las condiciones definitivas de los alrededores de Buenos Aires implica un serio problema de microclima que debe ser tratado con toda rigurosidad, pero adelantamos algunos datos aproximados, confiando que siempre se acercarán más a la realidad que tomar los datos de Buenos Aires como representativos de toda la región, sobre todo en lo que a temperatura se refiere, ya que este elemento sufre una notable influencia de ciudad.

Por esta razón, y por la aleatoriedad de la humedad relativa de diseño en invierno, nos limitaremos a elaborar los datos de temperatura.

En el Cuadro IX se incluyen las condiciones térmicas medias, máximas y mínimas de verano (diciembre a marzo) e invierno (mayo a setiembre) de 6 estaciones de los alrededores y Observatorio Central Buenos Aires, para su posterior comparación, calculadas con los récords de períodos que para cada lugar se indican.

CUADRO IX.

	Observatorio Central Buenos Aires. 1901-1950	Olivos 1936-1945	José C. Paz 1936-1947	San Miguel 1933-1945	El Palomar 1936-1945	Percyra 1910-1945
Temperatura media de verano (°C) .....	22,2	21,6	21,3	21,7	22,0	21,5
Temperatura máxima media de verano (°C) .....	28,0	26,7	28,4	28,6	28,7	28,6
Temperatura máxima maximum de verano (°C) .....	40,5	37,8	40,3	40,9	40,6	43,5
Temperatura media de invierno (°C) .....	11,5	12,1	11,2	11,4	11,2	10,8
Temperatura mínima media de invierno (°C) .....	7,0	7,6	5,7	6,1	5,8	6,0
Temperatura mínima minimum de invierno (°C) .....	- 5,4	- 7,0	- 7,9	- 7,8	- 8,1	- 5,5

El cálculo de la temperatura de diseño de cada estación se ha realizado en base a los datos del Cuadro IX según el método aproximado que se desarrolla a continuación. Partiendo de la suposición de que las curvas de frecuencias siguen la ley normal se llega a:

$$\frac{x_p \% - \bar{x}}{\sigma} = \frac{x'_p \% - \bar{x}'}{\sigma'} \quad [1]$$

donde:

$x_p \%$  y  $x'_p \%$  : porcentiles de las series comparadas.

$\bar{x}$  y  $\bar{x}'$  : valor medio de las series comparadas.

$\sigma$  y  $\sigma'$  : error standard de las series comparadas.

De la [1] despejamos:

$$x'_p \% = \frac{\sigma'}{\sigma} (x_p \% - \bar{x}) + \bar{x}'$$

y si en primera aproximación suponemos:

$$\text{Invierno} \left\{ \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{\bar{x}' - \bar{m}'}{\bar{x} - \bar{m}} \quad \text{ó} \quad \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{\bar{M}' - \bar{x}'}{\bar{M} - \bar{x}} \right\} \text{Verano}$$

donde:

$\bar{x}'$  y  $\bar{x}$  : valores medios de temperatura en invierno o verano, según el caso en estaciones a comparar.

$\bar{m}$  y  $\bar{m}'$ : valores medios de temperatura mínima en invierno en estaciones a comparar.

$\bar{M}$  y  $\bar{M}'$ : valores medios de temperatura máxima de verano en estaciones a comparar.

se llega a:

$$x'_{p\%} \cong \frac{\bar{x}' - \bar{m}'}{\bar{x} - \bar{m}} (x_{p\%} - \bar{x}) + \bar{x}' \quad (\text{invierno}) \quad [2]$$

$$x'_{p\%} \cong \frac{\bar{M}' - \bar{x}'}{\bar{M} - \bar{x}} (x_{p\%} - \bar{x}) + \bar{x}' \quad (\text{verano}) \quad [3]$$

Con las expresiones [2] y [3] se calcularon las temperaturas de diseño de las estaciones indicadas en el Cuadro X tomando como datos las ya calculadas para Buenos Aires.

CUADRO X

Estación	$t_d$ (°C)	
	Verano	Invierno
Olivos .....	31,0	2,5
José C. Paz .....	34,5	— 0,5
San Miguel .....	34,5	0,0
El Palomar .....	34,5	0,0
Pereyra .....	34,5	0,5
Buenos Aires .....	33,0	2,0

Se destaca en el cuadro que mientras Olivos, que puede ser tomada sólo como representativa de la zona ribereña, acusa condiciones más leves que Buenos Aires, las demás estaciones reflejan un aumento de la rigurosidad con estrecha similitud entre ellas.

#### ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA REGLAMENTACION DE DIAS-CALEFACCION EN BUENOS AIRES

Las especificaciones actuales, por razones de economía energética, establecen la obligación de dar calefacción en aquellos días cuya temperatura, tomada a las 11 horas, sea igual o inferior a 11°C, durante los meses de junio a setiembre.

Sin desconocer que incluso podrían considerarse otros elementos, creemos que, en mérito a la simplicidad que conviene sea norma de toda reglamentación, debe tomarse la temperatura del aire como índice de necesidad de calefacción. Pero discrepamos en cuanto se refiere a los meses fijados y a que se tome la temperatura de las 11 hs como índice. En lo que sigue trataremos de justificar las causas de nuestro disentiimiento y la solución que estimamos más racional.

Es evidente que, de tomarse el estado térmico del aire como índice, resulta la temperatura media del día (promedio de sus valores horarios) el parámetro más adecuado para fijar los días calefacción, porque da

una medida del área encerrada por la curva diaria de temperaturas y el eje de abscisas que pasa por 0°C. Este valor presenta a priori el inconveniente de que su determinación sólo puede ser fijada exactamente cuando ya el día ha pasado, dificultad que se consigue salvar con una adecuada fórmula de predicción. Con este criterio, el reglamento actual no hace sino predecir la temperatura media con la de las 11 horas.

Hemos realizado una estadística del número de días por año en los que la temperatura de las 11 hs es inferior a 11°C, en los meses de junio a setiembre, para el período 1931-1950. Los resultados son:

Valor medio: 40 días calefacción/año  
 Valor máximo: 61 días calefacción/año  
 Valor mínimo: 29 días calefacción/año

Surge entonces que la reglamentación establece, suponemos por razones de economía energética, la obligatoriedad de un número medio de 40 días calefacción/año.

Para poder establecer la temperatura media diaria, bajo la cual corresponde dar calefacción según el número medio de días que se fije por año, hemos preparado el Cuadro XI de frecuencia media por año para el Observatorio Central Buenos Aires, en los meses de mayo a setiembre y para el período 1941-1950.

CUADRO XI

Temperatura media .....	≤5,0	5,0 a	6,0 a	7,0 a	8,0 a	9,0 a	10,0 a	11,0 a	12,0 a	13,0 a	14,0 a	15,0 a	16,0 a
		5,9	6,9	7,9	8,9	9,9	10,9	11,9	12,9	13,9	14,9	15,9	16,9
Frecuencia media por año	5,0	3,8	5,9	7,0	9,5	14,6	14,7	16,2	16,8	12,6	11,5	10,0	7,5
Frecuencia acumulada...	5,0	8,8	14,7	21,7	31,2	45,8	60,5	76,7	93,5	106,1	117,6	127,6	135,1

Surgen del cuadro, según los días calefacción que se quiera dar por año, los siguientes topes de temperatura media:

Para 40 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 9,4^\circ\text{C}$   
 Para 50 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 10,2^\circ\text{C}$   
 Para 60 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 10,9^\circ\text{C}$   
 Para 70 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 11,5^\circ\text{C}$   
 Para 80 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 12,1^\circ\text{C}$   
 Para 100 días calefacción/año . . . . .  $t_m = 13,5^\circ\text{C}$

Hemos incluido el mes de mayo porque creemos que no existe razón climática de exclusión. Para ilustrar la cuestión hemos preparado el Cuadro XII con el número medio de días por año en que la temperatura media es inferior a 10°C (se fijó 10°C porque corresponde a 40-50 días calefacción/año) para cada mes de invierno. Período 1941-1950.

En efecto, muestra el cuadro, que en el caso de dar término medio 46 días de calefacción por año, el 12 % de los mismos correspondería a

mayo, valor significativo de por sí (resulta la mitad de junio y agosto) y superior al de setiembre, que sólo acusa el 9 %.

CUADRO XII

M e s e s	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Total de invierno
Frecuencia media .....	5,4	10,9	13,7	11,7	4,1	45,8
% del total de invierno	12	24	30	25	9	100

Para resolver el problema de la predicción de la temperatura media diaria hemos buscado los coeficientes de correlación simple lineal entre dicha temperatura ( $t_m$ ) y la de las 11 hs ( $t_{11}$ ) y 9 hs ( $t_9$ ) para los meses de mayo a setiembre en el período 1941-1950. Se buscó la correlación según la recta por el diagrama de contingencia obtenido previamente, comprobándose la mayor bondad de dicha hipótesis. Han resultado los valores que se establecen en el cuadro XIII.

CUADRO XIII

Temperaturas correlacionadas	Coefficientes de correlación $r$	Recta de regresión	Error standard respecto de la recta de regresión. $S$
$t_m$ y $t_{11}$	0,94	$t_m = 0,94 t_{11} - 0,3$	1,3 (°C)
$t_m$ y $t_9$	0,94	$t_m = 0,81 t_9 + 3,7$	1,3 (°C)

Al verificarse que el tomar como índice la temperatura de las 11 ó de las 9 hs implica la misma seguridad de predicción, nada justifica esperar hasta las 11, hora en que la calefacción debe ya estar en funcionamiento.

Las temperaturas topes deducidas de la rectas de regresión serían las indicadas en el cuadro XIV.

CUADRO XIV

Días de calefacción por año (mayo-setiembre)	Topes de temperatura		
	media	11 hs.	9 hs.
40	9,4	10,3	7,1
50	10,2	11,2	8,0
60	10,9	11,9	8,9
70	11,5	12,6	9,6
80	12,1	13,2	10,3
100	13,5	14,7	12,1

El valor  $S = 1,3^\circ\text{C}$  indica un error grande de predicción al tomar las temperaturas de 9 u 11 hs como índice. Pero si en lugar de correla-

ción simple calculamos la múltiple y hallamos la función  $t_m = f(t_9, t_{11})$ , la seguridad aumenta, ya que da lugar a los siguientes valores:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,97$ .

Ecuación de regresión:  $t_m = 0,43 t_9 + 0,49 t_{11} + 1,2 (°C)$ .

Error standard:  $S = 0,9°C$ .

Estas últimas expresiones no constituyen la mejor solución al problema, pero buscando nuevas funciones con la teoría de correlación creemos que se podrán mejorar los resultados obtenidos. En un trabajo actualmente en preparación estamos estudiando este problema en forma más completa por medio del cálculo de "grados-día", índice que permite determinar climáticamente el consumo de combustible para calefacción.

#### RECONOCIMIENTO

Agradecemos al Ing. Enrique L. Samatán su valioso asesoramiento acerca de algunos de los métodos estadísticos utilizados, así como al personal técnico de la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción, la ejecución de los cálculos.

Queremos asimismo, dejar constancia de nuestro reconocimiento a los numerosos colegas que se han interesado por este trabajo, y muy especialmente al Ing. J. Lang y demás miembros de la Comisión de Meteorología de la Asociación Argentina de Técnicos en Refrigeración y Aire Acondicionado, quienes al aportar oportunas sugerencias, han facilitado su realización.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BEDFORD, T. — « Basic principles of ventilating and heating ». London, 1948.  
 A. S. H. V. E. — *Transactions*, New York.  
 SÁ, P. — « Estudos sobre conforto thérnico no Brasil ». Río de Janeiro, 1936.  
 MISSENERD, A. — « Cours supérieur de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air ». París, 1947.  
 VENTILATION INDUSTRIELLE ET MINIERE. — « Manuel de Ventilation ». París, 1948.  
 PODNOSOFF, J. — « Bases técnico-económicas para la selección de instalaciones de aire acondicionado ». *La Ingeniería*, Buenos Aires, 797/800, 1941.  
 A. S. H. V. E. — « Heating, ventilating, air conditioning ». Guide, 1954, New York.  
 BROOKS, C. E. P., y Carruthers, N. — « Handbook of statistical methods in Meteorology ». London, 1953.

519.2:551.578.1

## INFERENCIA ESTADÍSTICA EN METEOROLOGÍA

(APLICACIÓN A LA LLUVIA Y OTROS PROBLEMAS)

POR G. DEDEBANT \* Y E. A. M. MACHADO \*

**Resumen.** — La aplicación de la Estadística a la Meteorología ha llevado a muchos abusos que han ocasionado a veces un descrédito sobre esta clase de investigaciones. Este trabajo tiene por objeto mostrar cómo debe hacerse la correcta aplicación de la Estadística en algunos problemas meteorológicos: la variación secular de la lluvia, el test de las autocorrelaciones, los períodos de sequía prolongados, etc.

**Résumé.** — L'application de la Statistique à la Meteorologie a conduit a beaucoup d'abus qui ont jeté parfois un discrédit sur ce genre de recherches. Cette note a pour objet de montrer comment devrait se faire l'application correcte de la Statistique à quelques problèmes météorologiques: la variation séculaire de la pluie, le test des auto corrélations, les périodes de sécheresse prolongées, etc.

## 1. PROPOSITO

Es sabido que los esfuerzos realizados desde hace años por distintos meteorólogos en la investigación de la variación secular y ciclos de fenómenos meteorológicos no llegaron a alcanzar éxito alguno. Por el contrario, la no del todo correcta aplicación de conceptos y métodos estadísticos ha resultado más bien en un notorio aunque injusto descrédito para este género de investigaciones. El fracaso obedece a nuestro entender, a dos causas:

a) La estadística no disponía de instrumentos teóricos apropiados para tratar esos problemas, le faltaba la función aleatoria (o procesos estocásticos) estacionaria; por otra parte, la inferencia estadística en la forma nueva hacia la cual la ha orientado R. A. FISHER es de creación relativamente reciente, y además, la inferencia aleatoria (o inferencia estadística de funciones aleatorias) está aún por hacerse (su base, el principio ergódico, parece ahora un poco asegurado: ergodicidad igual a estacionariedad; necesidad de una escala de trabajo correspondiente a un nivel natural de perturbaciones).

b) Los instrumentos estadísticos aún groseros de que se dispone han sido a menudo mal empleados por ser raro que se reúnan en la misma persona un estadístico y un meteorólogo; esta coincidencia ocurrirá más a menudo si se difunden entre los meteorólogos no solamente los métodos y procedimientos de la estadística superior, sino también los conceptos bases del Cálculo de Probabilidades, ciencia relativamente moderna y cuya enseñanza no ha sido aún incorporada a la formación científica general.

\* Ancien élève de l'École Polytechnique (France). Asesor Técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Doctor en Matemáticas. Asesor Técnico de la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción del Servicio Meteorológico Nacional.

Nuestro propósito es reivindicar aquí el mérito de la estadística tratando el "test de la variación secular" (pensando en su aplicación a la tendencia de la evolución de los regímenes pluviométricos), primero por el método clásico (mínimos cuadrados), y después, mediante la teoría de funciones aleatorias estacionarias.

## 2. EL PROBLEMA DE LA VARIACION SECULAR DE LA LLUVIA

A partir de largas series pluviométricas, consiste el problema en determinar si existen variaciones lentas, dotadas de una realidad física tal que permita extrapolarlas razonablemente. Tales variaciones se llaman "seculares" por analogía con la astronomía de posición, que la emplea para designar los términos, funciones del tiempo que no pueden ponerse en forma de función periódica. Es claro que una tendencia secular puede ser simplemente una parte de un ciclo de período largo. Los climatólogos tratan un problema semejante al hablar de la *variación de las "normales"*.

Estadísticamente los datos se presentan en forma de tabla; así:

$$\begin{array}{c|c} t \text{ (en años)} & 1, 2, \dots, n \\ \hline \text{lluvias } X/t & x_1, x_2, \dots, x_n \end{array}$$

## 3. ANALISIS CLIMATOLOGICO DE LA LLUVIA

Las precipitaciones anuales en una estación:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  se consideran como extracciones (pruebas) de un universo de precipitaciones y proponemos reconstruir *la ley de repartición* (el contenido de la urna). Este universo se supone gaussiano y, por lo tanto, su ley de repartición se describe por el valor probable (o *normal*  $m = E(X)$  y su desvío tipo  $\sigma(X) = \sqrt{E(X^2) - [E(X)]^2}$ ).

Se estiman estos parámetros por:

$$\hat{m} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \hat{m})^2}{n - 1}}$$

La presencia en el denominador de  $n - 1$  en lugar de  $n$  se debe a la corrección de BESSEL para pruebas no *estadísticamente infinitas*.

La media  $\hat{m}$  relativa a la escala estudiada es un número aleatorio gaussiano de valor probable  $m$  y de desvío tipo  $\sigma/\sqrt{n}$ ; por lo tanto, el número aleatorio<sup>1</sup>

$$t = \frac{(\hat{m} - m) \sqrt{n}}{\sigma}$$

llamado "reducido" se distribuye según la ley normal  $\mathcal{N}(0,1)$ .

<sup>1</sup>  $t$  no es evidentemente en este caso el tiempo, pero conservamos esta notación clásica en estadística.

Pero como no se conoce el desvío tipo  $\sigma$  del universo sino solamente su estimación  $\hat{\sigma}$ , se utiliza el número aleatorio  $t$  (la  $t$  de Student)

$$t = \frac{(\hat{m} - m) \sqrt{n-1}}{\hat{\sigma}}$$

Entonces, en lugar de ser la ley normal, la repartición será una función (dependiente de  $n$ ):

$$F(t) = Pr(x \leq t)$$

que está tabulada.

Para  $n$  "suficientemente grande"  $F(t)$  tiende hacia la ley normal. Para juzgar de la estabilidad (o de la variabilidad) de la normal, se descompondrá una larga serie de observaciones en subconjuntos (serie de muestras). La *media* de las respectivas *medias* se considerará como la normal. Si mientras tanto se observa una diferencia  $(\hat{m} - m)$  entre una muestra y la normal, se presenta el problema de saber si esta diferencia puede o no atribuirse a las fluctuaciones del azar. Si es no la diferencia se dirá *significativa*.

Se debe es claro fijar un *nivel* de significación, por ejemplo, 5 %; 1 %; 1 ‰. Esta fijación es arbitraria y en consecuencia *subjetiva*. El nivel de significación del 5 % equivale a decir: si la fluctuación observada es por lo menos la que el azar provocaría en el 5 % de los casos, se concluirá que la fluctuación es "probablemente significativa". Los niveles de 1 % y del 1 ‰ corresponden respectivamente a las calificaciones "significativa" y "altamente significativa". A cada nivel corresponde para  $n$  grande ( $n > 20$ ) un valor determinado de  $t$ ; por ejemplo, para el 5 % es  $t \cong 2$ . Si el valor experimental de  $t$  es mayor que el que corresponde al nivel adoptado, la fluctuación será significativa. Este es el método del "*test de la hipótesis*" de la escuela anglosajona.

Sea la hipótesis a testar: "La diferencia observada es atribuible al azar".

Si  $t > 2$  (para el nivel del 5 %) se *rechaza* esta hipótesis. El método puede aplicarse aun en el caso límite en que sólo se dispone de *dos* muestras (a condición de utilizar la distribución  $t$  de STUDENT y no contentarse sólo con la distribución normal).

#### 4. TEST DEL METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

Consideremos ahora la aplicación a nuestro caso de la clara exposición de LISERRE: "La prueba de hipótesis en un problema de ajustamiento"<sup>2</sup>.

##### 4.1. ESQUEMA

Sea  $X/t$  una función aleatoria temporal cuya media varía según la ley lineal  $at + b$  ( $a$  y  $b$  parámetros ciertos):

$$X/t = at + b + Z/t \text{ con } \overline{Z/t} = 0.$$

<sup>2</sup> « Estocástica », Año II, Nº 3, 1954.

Es necesario hacer algunas hipótesis sobre  $Z/t$ :

- a)  $Z/t$  es estacionaria, sin lo cual no habrá ergodicidad.
- b) La aplicación del test de realidad exige prácticamente que  $Z/t$  sea un *inconexo gaussiano*, es decir, una función aleatoria definida por la ley de probabilidad conjugada:

$$(z_1, z_2, \dots, z_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^n} \exp. \left[ -\frac{z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2}{2\sigma^2} \right]$$

Esta hipótesis entraña para la ley de probabilidad conjugada de  $X/t$ :

$$(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^n} \exp. \left[ -\frac{\sum_1^n (x_i - at_i - b)^2}{2\sigma^2} \right]$$

#### 4.2. AJUSTAMIENTO

Se determinan  $a$  y  $b$ , sea por el máximo de verosimilitud, sea por el método de los mínimos cuadrados, los que conducen en ambos casos a ecuaciones idénticas.

Si la abscisa  $t$  está referida a su valor central  $\frac{n+1}{2}$ ; se obtiene

$$b = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \quad ; \quad \hat{a} = \frac{\sum_1^n x_i t_i}{n(n^2 - 1)}$$

donde  $\hat{a}$  es una estimación "correcta" del parámetro desconocido a determinar. "Correcta" equivale a decir que  $E(\hat{a}) = a$ .

#### 4.3. LA $t$ DE STUDENT

La distribución del número aleatorio  $\hat{a}$  es gaussiano y su variancia es

$$\sigma^2(\hat{a}) = \frac{\sigma^2}{\frac{n(n^2 - 1)}{12}}$$

La  $t$  de STUDENT es, por consiguiente:

$$t = \frac{\hat{a}}{\sigma} \sqrt{\frac{n(n^2 - 1)}{12}}$$

Pero como no conocemos el valor de  $\sigma$ , es necesario reemplazarlo por una estimación. Como:

$$Z/t = X/t - at - b$$

tenemos:

$$n \sigma^2 = Z^2/t = \sum (x_i - b)^2 - 2a \sum t_i x_i + a^2 \sum t_i^2$$

$$\hat{\sigma}^2 = \hat{\sigma}_x^2 - \frac{n^2 - 1}{12} a^2$$

donde  $\hat{\sigma}_x$  es la estimación del desvío tipo de la normal (en el sentido del análisis climatológico) para la serie pluviométrica estudiada.

El término  $\frac{n^2 - 1}{12} a^2$  es, en general, pequeño comparado con  $\hat{\sigma}_x^2$ , de manera que podemos tomar prácticamente como  $\sigma$  el desvío tipo de la normal<sup>3</sup>.

En el caso de  $n = 50$  observaciones, obtenemos la fórmula práctica

$$t = \frac{100 \hat{a}}{\sigma}$$

#### 4.4. TEST DE LA HIPÓTESIS NULA

Teniendo en cuenta la cantidad de grados de libertad existente, no es absolutamente necesario servirse de la repartición de STUDENT; podemos contentarnos con la ley normal. Haremos la hipótesis:

$a$  es nulo (las variaciones pueden explicarse por las fluctuaciones debidas al azar, y, en consecuencia, no hay variación secular).

Fijemos el nivel de significancia en el 5%. Las tablas de la función  $\Theta$  dan:

$$t \cong 2 \text{ (zona de rechazo simétrico) }^4.$$

Por lo tanto, si el valor experimental de  $t$  es inferior a 2, aceptaremos la hipótesis  $H$ . Diremos entonces que el valor obtenido para  $a$  no es significativo (no hay variación secular).

Si  $t$  es un poco superior a 2, el valor de  $a$  será significativo. En fin, si  $t$  es superior a 3,5, altamente significativo.

#### 5. APLICACION AL CASO DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ESTE Y CENTRO DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Al tratar un caso que para brevedad de cita llamaremos "A", sus autores han calculado el coeficiente  $a$  de la variación secular de las precipitaciones en el este y centro de la República Argentina utilizando los datos pluviométricos de 1902 a 1950, y han concluido (utilizando el test de la  $t$  de STUDENT) que hay un aumento notable y real de la lluviosidad (200 mm entre la media de la primera y última década del período, para las provincias de Santa Fe y Entre Ríos:  $a = 5$  mm por año).

<sup>3</sup> Si éste no es el caso, podemos siempre calcular la  $\sigma$  correcta.

<sup>4</sup> Por el hecho de ser  $\hat{a}$  positivo no debemos descartar la posibilidad de  $a$  negativo en el test como hipótesis posible.

Dicho artículo no contiene los datos numéricos necesarios para juzgar cómo los autores han aplicado el test. En efecto, faltan los valores del parámetro  $\sigma$ . Pero podemos restablecerlos para cierto número de estaciones utilizando los datos publicados por A. A. MARCHETTI<sup>5</sup>. Aun cuando este trabajo se refiere a un período de menor duración (1905 - 1946), incluido en el precedente, no deben esperarse grandes diferencias. Lo notaremos por caso "B".

Es posible, si queremos, calcular la  $\sigma$  exacta a partir de las  $\sigma_w$  de MARCHETTI, pero esto no cambia fundamentalmente las cosas. Por ejemplo, si  $\sigma_w = 200$  mm y  $a = 5$  mm/año, tenemos:

$$\sigma = \sqrt{200^2 - 25 \times \frac{2500}{12}} = 186 \text{ mm}$$

Grosso-modo, el cálculo da los resultados del Cuadro I (calculando el verdadero  $\sigma$  cuando es necesario).

CUADRO I

Estaciones	Caso « A » ^ a mm/año	Caso « B » σ mm/año	t
Posadas .....	5,8	388,6	1,6
Corrientes .....	0,1	296,1	0,03
Santo Tomé .....	2,0	325,9	0,6
Mercedes (Corrientes) .....	7,4	318,8	2,4
Ceres .....	- 2,0	229,4	0,9
Monte Caseros .....	2,0	349,9	0,6
Córdoba .....	- 2,3	150,9	1,7
Concordia .....	6,4	289,1	2,3
Bell Ville .....	7,9	222,6	4,1
Marcos Juárez .....	6,7	177,6	4,8
Mendoza .....	- 0,7	78,3	1,0
Río Cuarto .....	0,4	206,5	0,02
Gualedguay .....	5,2	220,4	2,5
Villa Mercedes .....	- 0,4	139,3	0,3
Rufino .....	0,2	184,4	0,1
Villa Ortúzar .....	1,6	261,7	0,6
General Villegas .....	- 2,9	179,8	1,7
9 de Julio .....	1,0	180,8	0,5
Trenque Lauquen .....	- 1,0	193,1	..5
Victorica .....	- 1,6	189,5	0,9
Dolores .....	2,8	215,1	1,4
Azul .....	1,9	178,4	1,2
Guaminí .....	2,8	168,3	1,8
General Acha .....	- 0,6	164,2	0,4
Mar del Plata .....	3,0	183,4	1,8
Tres Arroyos .....	2,0	191,3	1,1
Bahía Blanca .....	- 1,5	172,2	1,0
General Conesa .....	0,7	89,6	0,8
Patagones .....	0,4	135,7	0,3

Se ve que, para la casi totalidad de las estaciones, la hipótesis  $H$  debe aceptarse; *no hay variación secular*.

Para Mercedes (Corrientes), Concordia, Gualedguay ( $t$  ligeramente superior a 2)  $a$  es probablemente significativo.

<sup>5</sup> « Estudio del régimen pluviométrico en la República Argentina ». METEOROS, Año II, Nos. 3-4, 1952.

En fin, solamente para Bell Ville y Marcos Juárez (que son en definitiva la misma estación, dada su proximidad y su misma situación geográfica)  $\hat{a}$  es altamente significativa.

En resumen, nos parece que el análisis que resulta de los cálculos precedentes debe conducir a aceptar globalmente la hipótesis  $H$  (no hay variación secular), puesto que hay una sola estación sobre 29 para la cual se debe rechazar la hipótesis con una gran probabilidad.

Debemos examinar aparte el caso de Bell Ville, Marcos Juárez, cuya excepción ha de obedecer a alguna particularidad local. Es verdad, no obstante, que para la gran mayoría de las estaciones  $\hat{a}$  es positivo. Pero esto significa simplemente que toda la zona donde  $\hat{a} > 0$  ha sufrido la misma fluctuación de azar. Es la indicación de que ellas deben pertenecer a un mismo régimen pluviométrico.

En el concepto de variación secular se presenta una cuestión de *escala*. Si tales variaciones tienen realmente lugar, ellas deben afectar una zona mucho más extensa que la examinada aquí.

NOTA: Es necesario no perder de vista que el éxito de un test prueba tan sólo la validez del esquema propuesto a priori y no necesariamente la *realidad* del fenómeno que se ha querido poner en evidencia. La estadística no es más que una guía en la investigación y no un tribunal inapelable.

## 6. GENERALIZACION . ANALISIS NUMERICO DE LAS FUNCIONES ALEATORIAS

### 6.1. DESCOMPOSICIÓN DE UNA FUNCIÓN ALEATORIA

Una función aleatoria  $X/t$  cualquiera, es la suma de una función cierta, un inconexo, y una función aleatoria continua:

$$X/t = m(t) + Z/t + Y/t \quad (\overline{Z/t} = 0 ; \overline{Y/t} = 0)$$

Esta función es ergódica si la función aleatoria continua  $Y/t$  es estacionaria.

Entonces, es ergódica para intervalos múltiplos del período ergódico  $\epsilon$ :

$$T = \frac{2\pi}{k} ; k = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sqrt[{\alpha}]{2(1-r(h))}}{h}$$

con  $\alpha$  índice de conexión variable de 0 a 2;  $\alpha = 1$  browniana;  $\alpha = 2$  función aleatoria derivable.

En cuanto al inconexo, es ergódico sólo para  $t \rightarrow \infty$  (ley de los grandes números).

El análisis de la función aleatoria  $X/t$  consiste en la separación de sus tres componentes. Se debe comenzar por  $m(t)$ . Es el problema llamado "de la variación secular". Veamos una solución posible.

## 6.2. SEPARACIÓN DE LA COMPONENTE CIERTA

La componente aleatoria continua  $X/t$ , habiéndose supuesto necesariamente estacionaria (por la ergodicidad), es susceptible de una descomposición espectral de KHINCHINE. Ella contiene las "ondas" del fenómeno y no es entonces necesario introducirlas en  $m(t)$ . En consecuencia, ésta podrá representarse por un polinomio en  $t$ . De donde el procedimiento:

- a) testar la variación secular  $at + b$  (por el método indicado).
- b) si la hipótesis nula es aceptada, podemos entonces someter la curva experimental al análisis espectral aleatorio.
- c) si la hipótesis nula es rechazada, se testa la variación secular  $at + b + ct^2$ , lo que se hace mediante *diferencias segundas* o, en otros términos, ajustando las curvaturas.

Se advierte que el método consiste, en definitiva, en una inferencia estadística efectuada sobre la "constelación" de puntos experimentales, entendiéndose por ello no solamente la figura formada por los puntos, sino también el conjunto de sus dobletes, tripletes, etc. Por ejemplo, tratamos de poner en evidencia una variación secular lineal:

$$m(t) = at + b \quad (a \text{ y } b \text{ ciertas})$$

Entonces, el cociente incremental

$$\frac{X_j - X_i}{h} = a + \frac{Z_j - Z_i}{h} \quad (h = j - i > 0)$$

es un número aleatorio de esperanza matemática  $a$ .

Podemos, en consecuencia, considerar las razones

$$\frac{x_j - x_i}{h} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n),$$

que son

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

como los resultados de pruebas hechas sobre un número aleatorio de esperanza matemática igual a  $a$ .

En otras palabras, el procedimiento consiste en ajustar los coeficientes angulares, en lugar de los puntos. La ventaja radica en que se dispondrá de muchas más pruebas:

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

en lugar de  $n$ .

Las estimaciones correctas de  $b$  y de  $a$  son:

$$\hat{b} = \frac{\sum x_i}{n} - \frac{n+1}{2} \hat{a}$$

$$\hat{a} = \frac{2}{n(n-1)} \left( \sum_1^n \Delta_1 + \frac{1}{2} \sum_1^{n-1} \Delta_2 + \dots + \frac{1}{n-1} \Delta_{n-1} \right)$$

Las  $\Delta_h$  son las diferencias primeras.

La dispersión  $\sigma^2(\hat{a})$  es:

$$\sigma^2(\hat{a}) = \frac{2}{(n-2)(n-1)} \times \\ \times \left[ \sum_1^n \Delta_1^2 + \frac{1}{4} \sum_1^{n-1} \Delta_2^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)^2} \Delta_{n-1}^2 - \hat{a}^2 \right]$$

y la  $t$  de STUDENT

$$t = \frac{\hat{a}}{\sigma(\hat{a})} \sqrt{\frac{n(n+1)}{2}}$$

Será, en general, suficiente aplicar el test de la función  $\Theta$ , ya que el número de pruebas será siempre suficientemente grande.

### 6.3. ANÁLISIS DE LA COVARIANCIA

Una vez separada la componente cierta se pasa al análisis de la parte aleatoria mediante el estudio de su covariancia (o de su autocorrelación). Sean las  $X_i$  la parte aleatoria ( $i = 1, 2, \dots, n$ ); tenemos:

$$X_i X_j = Y_i Y_j + Z_i Z_j + Y_i Z_j + Y_i Z_j$$

de donde:

$$\overline{X_i X_j} = \overline{Y_i Y_j} \quad i \neq j \\ \overline{X^2} = \overline{Y^2} + \overline{Z^2} \quad i = j$$

(porque el inconexo es ortogonal a toda función aleatoria continua; es, en efecto, el vector nulo del espacio de HILBERT).

Sean  $\mu(h)$  y  $r(h)$  la covariancia y la autocorrelación de  $Y$ ;  $\rho(h)$  la autocorrelación de  $X$  y  $\sigma$  el desvío tipo  $\sqrt{\overline{Z^2}}$  de  $Z$ .

Tenemos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(h) = \frac{\mu(h)}{\mu(0) + \sigma^2} = \frac{r(h)}{1 + \varepsilon^2} \quad h \neq 0 \\ \rho(h) = 1 \quad h = 0 \end{array} \right.$$

donde

$$\varepsilon^2 = \frac{\sigma^2}{\mu(0)}$$

es el cociente de las variancias entre el inconexo y la componente continua.

La autocorrelación  $\rho(h)$  se estima a partir de los datos experimentales por:

$$\hat{\rho}(h) = \frac{n}{n-h} \frac{\sum_1^{n-h} Y_i Y_{i+h}}{\sum_1^n Y_i^2}$$

Se ve que para obtener una buena estimación de  $\rho(h)$ , es necesario que  $h$  sea notablemente inferior a  $n$ .

#### 6.4. TEST DE LA AUTOCORRELACIÓN

Esta estimación puede testarse, por:

$$a) \text{ la } t = \frac{\hat{\rho} \sqrt{n-h-2}}{\sqrt{1-\hat{\rho}^2}} \text{ de Student}$$

de STUDENT, si  $n$  no es suficientemente grande.

a) simplemente mediante el desvío tipo (repartición  $\Theta$ )

$$\sigma_{\hat{\rho}} = \frac{1 - \hat{\rho}^2}{\sqrt{n-h}}$$

si  $n-h$  no es inferior a 100.

c) el criterio  $Z$  de FISHER:

$$Z = \frac{1}{2} \log \frac{1 + \hat{\rho}}{1 - \hat{\rho}}$$

Habiendo determinado la función  $\hat{\rho}(h)$ , se deduce  $\varepsilon^2$  por el estudio de la curva en el entorno de  $h=0$ , mediante:

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{\hat{\rho}(+0)} - 1$$

$\hat{\rho}(+0)$  se obtiene por extrapolación de  $\rho(h)$  hacia la izquierda. Esto permite calcular  $r(h)$ .

#### 6.5. ANÁLISIS ESPECTRAL DE $r(h)$

Es solamente  $r(h)$  el que puede someterse al análisis espectral, consistente, matemáticamente hablando, en el cálculo de la función de repartición espectral  $\mathcal{F}(\omega)$  por inversión de FOURIER:

$$\mathcal{F}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^{T+1} \frac{1 - e^{-i\omega h}}{ih} r(h) dh$$

Es necesario entender que se trata de la *integral* y no de la *serie* de FOURIER. Esta última sólo da un análisis armónico en períodos submúltiplos del intervalo de base, períodos que pueden no tener ninguna realidad física. Al contrario, la integral (en su simbolismo) constituye un análisis espectral susceptible de darnos en forma de rayos y bandas la estructura periódica del fenómeno.

Pero es bien visible que el valor de aplicación de la integral encuentra serias limitaciones. La principal es que  $r(h)$  no se conoce de 0 a  $\infty$ , sino solamente sobre un intervalo de base  $H$ , ya notablemente inferior a la duración de la serie de observaciones. En consecuencia, está fuera

de cuestión el descubrimiento de ondas de períodos largos. Solamente serán accesibles (si existen) los períodos que sean sólo una fracción de  $n$ .

En términos comunes, podemos decir que no es posible comenzar por creer en la existencia de un período antes que él se haya manifestado un cierto número de veces.

En otro aspecto, que se debe a una propiedad matemática de la inversión de FOURIER, tenemos: "Las correlaciones *breves* corresponden a espectros *extendidos*, y las *largas*, a espectros *concentrados*, y recíprocamente". Así, en óptica no podemos obtener franjas de interferencia con radiaciones de espectro extendido. Veamos cómo se manifiesta este hecho en dos casos extremos:

a) sea  $r(h) = 0$  para  $|h| > \tau$ ; para períodos  $T$  muy superiores a  $\tau$ , la función de distribución

$$\frac{d\mathcal{F}(\omega)}{d\omega}$$

se reduce aproximadamente a:

$$\int_{-\tau}^{+\tau} r(h) dh$$

Ella resulta entonces independiente de  $T$ ; es decir, que el espectro es uniforme para períodos grandes con respecto al intervalo  $\tau$  que ha servido para analizar la correlación.

b) Sea  $r(h) = \cos \frac{2\pi h}{T_0}$  (correlación larga). Entonces  $\frac{d\mathcal{F}(\omega)}{d\omega}$  es nula en todas partes, salvo para  $\omega = 2\pi/T_0$  (espectro monocromático).

Se concluye de aquí que si queremos poner en evidencia un período bien definido (rayas o bandas estrechas), es necesario conocer  $r(h)$  hasta valores de  $h$  mucho más grandes que el período, ya que sino aun cuando este período exista, no se lo hará aparecer. Es por ello que la investigación de ciclos a partir de una cincuentena de valores anuales parece una utopía. En efecto, en esta escala no se ha revelado ningún ciclo meteorológico, ni aun el de las manchas solares. El ciclo de BRÜCKNEB fué establecido por procedimientos no matemáticos pero basado en el análisis empírico de un gran número de informaciones indirectas de las cuales algunas se remontan al principio de nuestra era.

## 6.6. ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DEL ESPECTRO

Estas consideraciones pueden ponerse en una forma matemática más precisa. Inspirándonos en el índice de concentración de una ley de probabilidades (G. DARMOIS), podemos deducir de  $r(h)$  el índice de concentración del espectro, ya que  $r(h)$  es la función característica de la repartición  $\mathcal{F}(\omega)$ .

Este índice es:

$$c^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2}{T} \int_0^T [r(h)]^2 dh$$

y goza de las propiedades siguientes:

- 1)  $c^2 = 0$  si el espectro es absolutamente continuo.
- 2)  $0 < c^2 < 1$  si el espectro presenta partes discontinuas.
- 3)  $c^2 = 1$  si, y sólo si, el espectro está formado por una sola raya.

Se ve entonces que para que existan rayas (o períodos) es necesario que existan correlaciones largas; que  $r(h)$  no tienda a cero para  $h$  tendiendo a infinito. Los períodos no podrán entonces ponerse en evidencia más que por un estudio *prolongado* de la correlación.

#### 6.7. EL PERÍODO ERGÓDICO

La noción de período ergódico da un nuevo aspecto al problema del análisis "periodal". Aquél no es en efecto un período espectral, sino un período de "renovamiento" del complejo estadístico estudiado.

Está, en nuestro sentido, en relación con la escala temporal de un estado de perturbaciones naturales (por ejemplo, en un gas a la escala molecular, el tiempo de libre recorrido). La existencia de un tal estado se manifiesta en el hecho de que los desvíos tipo de las medias, en lugar de tender asintóticamente hacia cero como  $1/t$ , presentan una variación de naturaleza periódica retomando un valor del mismo orden de grandor para todos los múltiplos del período ergódico.

La mayor o menor facilidad de separación de la perturbación (función aleatoria estacionaria) de la componente inconexa depende de la relación de sus desvíos tipo. Se concibe que tomando intervalos múltiplos enteros  $nT$  del período ergódico, se puede llegar a eliminar tanto como se quiera la variación propiamente accidental (el inconexo).

#### 6.8. EJEMPLO DE TEST DE $r(h)$

Para la presión barométrica a la escala de 1 hora, la componente inconexa es muy pequeña comparada con la función aleatoria estacionaria que es derivable (como lo muestra el índice de conexión  $\alpha$  muy vecino a 2), de manera que el  $q(h)$  bruto puede ponerse sin corrección como estimación de  $r(h)$ .

La autocorrelación es una función  $r(h/T)$  [ $h$  = intervalo;  $T$  = período ergódico]. Para Buenos Aires, los períodos ergódicos  $T_1$  (para julio 1943) y  $T_2$  (para julio 1907) son tales que  $T_2/T_1 = 8/9$ . Por la comparación de las curvas  $r_1(h/T_1)$  y  $r_2(h/T_2)$  se trata de verificar la hipótesis: ( $H$ ). La presión de estas dos épocas pertenecen a la misma población (desde el punto de vista de su mecanismo expresado por la función de autocorrelación).

Apliquemos el criterio de FISHER a la comparación de dos puntos. El punto  $h = 24H$  de  $r_2$  debe compararse con el punto  $24 \times 9/8 = 27H$  de  $r_1$ . Tenemos los datos siguientes:

$$\begin{cases} r_1(24) = 0,759 \\ r_1(30) = 0,640 \end{cases} \quad r_1(27) = 0,700 \text{ (interpolado)}$$

$$r_2(24) = 0,698$$

Se calcula:

$$\begin{aligned} Z_2 - Z_1 &= \frac{1}{2} \log \frac{(1+r_1)(1-r_2)}{(1-r_1)(1+r_2)} = \\ &= \frac{1}{2} \log \frac{5134}{5094} - \frac{1}{2} \log (1+0,0078) = 0,0039 \end{aligned}$$

Tenemos, que el desvío tipo de esta diferencia es:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{N-3} + \frac{1}{N-3}} = \sqrt{\frac{2}{741}} = 0,057$$

De donde:

$$x = \frac{|Z_2 - Z_1|}{\sigma_z} = 0,068$$

El nivel de significancia se determina por:

$$P_r \{x > 0,068\} = 1 - \Theta(0,068)$$

y como en el entorno de  $x = 0$ , la función  $\Theta$  se comporta como:

$$\Theta(x) \cong \frac{2x}{\sqrt{\pi}}$$

Tenemos:

$$\Theta(0,07) = 0,077 \cong 0,08$$

El nivel de significancia es de 92 %, lo que equivale a decir que: "Hay 92 casos sobre 100 en que la hipótesis se verificará, o que las presiones de las dos épocas, bien que distantes 36 años, pertenecen a la misma población".

Esto es una prueba concluyente de la permanencia del "mecanismo" de las perturbaciones meteorológicas en la escala sinóptica, en una misma región del globo.

NOTA: En estadística aplicada, el nivel de significancia 92 % es lo suficientemente grande como para que debemos preguntarnos si los datos no fueron arreglados a propósito. Este es el caso aquí, por tratarse de una ley física no formulada aún, que los ha dispuesto perfectamente.

## APENDICE

### EL PROBLEMA DEL FULLERO Y EL $\chi^2$

#### 1. TEOREMA DE BAYES

Hay dos tipos de urnas  $p_1$  y  $p_2$ , en proporciones  $\overline{\omega}_1$  y  $\overline{\omega}_2$  (probabilidades a priori). Se extrae una bolilla blanca. ¿Cuál es la probabilidad (a posteriori)  $p'$  de que provenga de una urna  $p_1$ ?

La solución se obtiene expresando en dos formas diferentes, mediante los dos axiomas fundamentales, la probabilidad del acontecimiento:

$\mathcal{G}$ : una bolilla blanca ha sido extraída de una urna  $p_1$ .

1° manera:  $\bar{\omega}_1 p_1$ .

2° manera:  $(\bar{\omega}_1 p_1 + \bar{\omega}_2 p_2) p'$ .

De donde, igualando:

$$p' = \frac{\bar{\omega}_1 p_1}{\bar{\omega}_1 p_1 + \bar{\omega}_2 p_2}$$

## 2. PROBLEMA DEL FULLERO

El juego del "ecarté" se juega con 32 cartas. Si aquel que da, saca un rey se anota un punto. POINCARÉ ha propuesto el problema siguiente: Se juega al "ecarté" con un desconocido. Éste extrae un rey. ¿Cuál es la probabilidad de que sea un fullero?

Como no tenemos a priori "ninguna razón para creer que nuestro desconocido es honesto o deshonesto", le atribuiremos la probabilidad a priori  $\frac{1}{2}$  de ser un fullero ( $\bar{\omega}_1 = \bar{\omega}_2 = \frac{1}{2}$ ).

La probabilidad  $p_2$  de que un jugador honesto obtenga un rey es sin ninguna duda:

$$p_2 = \frac{4}{32} = \frac{1}{8}$$

En cuanto a  $p_1$ , la de que un fullero extraiga un rey, depende evidentemente de su habilidad, y de la táctica que emplee para obtenerlo. De todas maneras, se llega al resultado:

$$p' = \frac{8 p_1}{8 p_1 + 1}$$

Llevando las cosas al extremo, el fullero extrae el rey en todos los golpes: entonces  $p_1 = 1$ , y

$$p' = \frac{8}{9}$$

POINCARÉ concluye: ¡Es enorme!

## 3. EL VALOR PRÁCTICO DEL TEOREMA DE BAYES PARA LA INFERENCIA ESTADÍSTICA

Es enorme, en efecto, y el comentario lapidario de POINCARÉ ha contribuido al descrédito de este teorema famoso, el cual, en tiempo de LAPLACE, parecía la llave del problema de la probabilidad de las causas.

En efecto, la fórmula de BAYES no es sino un teorema deducido correctamente de los dos axiomas fundamentales del Cálculo de Probabilidades (probabilidades totales y compuestas) y su valor aplicativo está regido por la apreciación de las probabilidades a priori  $\bar{\omega}_1$  y  $\bar{\omega}_2$ , que dejan ordinariamente un gran margen a la *subjetividad*.

Es lo que resulta del diálogo de dos personajes de una comedia de éxito de MARCEL PAGNOL, miembro de la Academia de Francia.

CÉSAR (el marsellés): —Yo prefiero prevenirle que obtengo el rey en cada tirada.

MONSIEUR BRUN (el lionés): —Esto puede parecer raro ( $\bar{\omega}_1$  próximo a cero).

CÉSAR: —No es raro, pero es difícil ( $\bar{\omega}_1$  próximo a uno).

En suma, ocurre con la fórmula de BAYES lo mismo que en muchas fórmulas de la Mecánica y de la Física, en las cuales no se precisa suficientemente de qué manera se obtienen los números que es necesario colocar en lugar de los símbolos.

#### 4. EL TEST $\chi^2$

La inferencia estadística moderna pone a disposición de los investigadores ciertos test que debían permitirle emitir juicios razonables sobre situaciones dadas.

Es por ello que nos ha parecido interesante ver cómo se trataría hoy día el problema del fullero empleando el  $\chi^2$ .

Para más generalidad reemplacemos las probabilidades  $\frac{1}{8}$  y  $\frac{7}{8}$  por  $p$  y  $q$ .

La estadística del jugador honesto es:

$$H : p ; q$$

La del fullero (en el caso extremo):

$$F : 1 ; 0$$

La estadística de la duda imparcial (es tan probable que el adversario desconocido sea honesto como fullero) es:

$$D = \frac{H + F}{2} : \frac{p + 1}{2} ; \frac{q}{2}$$

Debemos testar la hipótesis nula: "El adversario es un fullero" con respecto a la estadística  $D$ .

Se dispone de una sola prueba y ella ha dado (resultado observado 0):

$$O : 1 ; 0$$

Las esperanzas matemáticas  $E$  relativas a la estadística  $D$  (para una prueba) son:

$$E = 1 \times D : \frac{p + 1}{2} ; \frac{q}{2}$$

De donde:

$$|O - E| : \frac{q}{2} ; \frac{q}{2}$$

El  $\chi^2$  tiene por valor:

$$\chi^2 = \sum \frac{|O - E|^2}{E} = \frac{(q/2)^2}{\frac{p + 1}{2}} + \frac{(q/2)^2}{q/2} = \frac{q}{p + 1}$$

Hay un solo grado de libertad (una sola frecuencia libre). Para  $p = 1/8$  se obtiene  $\chi^2 = 7/9 = 0,78$ . Este valor no es *significativo*. No hay ninguna razón para admitir la hipótesis nula.

Y esto está de acuerdo con el sentido común. Nadie sospecharía seriamente de que su adversario desconocido fuera un fullero por el sólo hecho de que extrajera un rey en la primera vez.

##### 5. EXTENSIÓN A UNA SUCESIÓN DE ACONTECIMIENTOS

Supongamos que el adversario obtiene  $n$  veces seguidas el rey. Las estadísticas son en este caso:

$$\begin{aligned} H: & \quad p^n & 1 - p^n \\ F: & \quad 1 & 0 \\ D = & \quad \frac{H + F}{2} : \frac{1 + p^n}{2} ; \frac{1 - p^n}{2} \\ E: & \quad \frac{n}{2} (1 + p^n) & \frac{n}{2} (1 - p^n) \\ O: & \quad n & 0 \end{aligned}$$

Se deduce:

$$\chi^2 = \frac{n}{2} \left[ \frac{(1 - p^n)^2}{1 + p^n} + \frac{(1 - p^n)^2}{1 - p^n} \right] = n \frac{1 - p^n}{1 + p^n}$$

Para  $p = 1/8$ :  $n = 2$   $\chi^2 = 1,94$  (no significativo)

$n = 3$   $\chi^2 = 2,99$  (no significativo)

$n = 4$   $\chi^2 = 4$  (probablemente significativo: 5 % nivel)

$n = 6$   $\chi^2 = 6$  (significativo: 1 %)

$n = 12$   $\chi^2 = 12$  (altamente significativo: 0,1 %).

Así, no se debe sospechar de la honestidad del jugador antes de que éste haya obtenido rey cuatro veces seguidas, y será necesario que lo obtenga 12 veces antes de estar completamente seguro.

Si se juega al "ecarté" una partida a cinco puntos sin desquite, el fullero podrá obtener tres veces el rey sin que se deba dudar razonablemente.

Entonces podemos asociarnos a la conclusión del diálogo de los personajes de PAGNOL:

MONSIEUR BRUN: —Entonces ... ¿usted hace trampa?

CÉSAR: —Puede ser, pero como usted nunca lo verá, el tiro es regular.

En suma, hemos llegado a considerar las cosas muy distintamente de lo que resulta por la aplicación del teorema de BAYES, que conduce a sospechar grandemente del jugador desde el momento que obtiene el primer rey.

Estamos lejos así del juicio llamado "intuitivo", según el cual obtener tres veces el rey corresponde a la probabilidad compuesta

$$\left(\frac{1}{8}\right)^3 \approx \frac{2}{1000}$$

y cuatro veces a

$$\left(\frac{1}{8}\right)^3 \approx \frac{2,5}{10.000}$$

Estos acontecimientos deberían entonces dar lugar a legítimas sospechas.

## 6. APLICACIONES POSIBLES A LA METEOROLOGÍA

a) En el caso en que  $p$  es el acontecimiento raro ( $p < 1/2$ ) la expresión de  $\chi^2$  se reduce a:

$$\chi^2 = n$$

b) Cuando  $p$  es el acontecimiento frecuente ( $p > 1/2$ ) tenemos:

$$\chi^2 = \frac{n^2 q}{2}$$

Busquemos el valor de  $n$  a partir del cual se debe sospechar que la sucesión observada no obedece al azar. Adoptemos para  $\chi^2$  el nivel del 5 %.

$$\chi^2 = 4 \text{ para un grado de libertad}$$

Tenemos:

$$a) \quad n = 4$$

$$b) \quad n = \sqrt{\frac{8}{q}}$$

En el "ecarté", verbigracia, una sucesión de cuatro reyes es sospechosa (caso a), pero también lo es una sucesión de  $\sqrt{64} = 8$  tiros sin un rey.

Aplicaciones del problema del fullero pueden hallarse en Meteorología y en el análisis estadístico de las sucesiones de fenómenos notables, como es el caso de los días de lluvia, períodos de sequía, días de heladas, de niebla, de fuerte calor, etc.

### EJEMPLOS:

I. — Bruno COLLASIUS<sup>7</sup> ha estudiado la frecuencia de días de visibilidad horizontal de 10 km y más, en las Islas Orcadas. Tenemos con  $a_n$  = número de series de  $n$  días consecutivos de buena visibilidad en 1932.

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10
$a_n$	19	13	10	7	6	4	2	3	1	—	2

El acontecimiento frecuente es la buena visibilidad

$$p = \frac{228}{366}$$

Para los tres niveles de significación: 5 %; 1 %; 0,1 % tenemos

$$q = \frac{138}{366} \cong \frac{7}{18}$$

$$n_1 = \sqrt{\frac{18}{7} \times 8} \cong 4 \text{ a } 5 ; n_2 = \sqrt{\frac{18}{7} \times 12} = 5 \text{ a } 6 ;$$

$$n_3 = \sqrt{\frac{18}{7} \times 24} = 8$$

La estadística da:

4-5	13 casos	19 %
5-6	10 casos	15 %
8	3 casos	4,5 %

Estas proporciones son muy superiores al nivel de significación. Se concluye que la persistencia de la buena visibilidad tiene una causa (probablemente estacionamiento de masas de aire antártico).

II. — Según MARCHETTI<sup>8</sup> la media anual de días de lluvia ( $\geq 1,0$  mm) es:

en Santo Tomé:	81 días por año
en San Juan:	14 días por año

Consideremos la lluvia como el acontecimiento raro y la sequía como el acontecimiento frecuente y apliquemos la fórmula:

$$n = \sqrt{\frac{8}{q}}$$

para obtener la longitud de la sucesión a partir de la cual se debe comenzar a sospechar una causa (nivel 5 %).

$$\text{Para Santo Tomé: } n_1 = \sqrt{\frac{8 \times 365}{81}} = 6 \text{ días}$$

$$\text{Para San Juan: } n_2 = \sqrt{\frac{8 \times 365}{14}} = 14 \text{ días}$$

Para el nivel de significancia 1 % tendremos ( $\chi^2 = 6$ )

$$n_1 = \sqrt{\frac{12 \times 365}{81}} = 7-8 \text{ días}$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{12 \times 365}{14}} = 18 \text{ días}$$

El examen de la estadística de los períodos de sequía dados por MARCHETTI para Santo Tomé llevan a la conclusión de que hay que buscar una causa para las sequías prolongadas y que, en consecuencia, ellas no escapan completamente a toda posibilidad de previsión.

<sup>8</sup> *Loc. cit.*

551.586 : 616.9(8)

## ENFERMEDADES TROPICALES ORIGINADAS POR EL CLIMA EN EL CONTINENTE SUDAMERICANO

POR DEMETRIO BRAZOL \*

**Resumen.** — Se examinan las más importantes enfermedades tropicales de origen climático que se registran en el Continente Sudamericano, causadas por altas temperaturas y humedad, prevalecientes en las vastas llanuras del Continente. Son enfermedades de virus, de rickettsia, las espiroquéticas, bacterianas, micobacterianas, protozoarias, helmínticas, nerviosas y las de nutrición. Su transformación en formas endémicas puede probablemente indicarse por medio de las isocronas de 6 meses del calor fuerte, y por las isotermas de la temperatura equivalente de 60° C. Las isocronas de los 12 meses de calor delimitan las zonas climáticamente malsanas durante todo el año, de condiciones ecológicas óptimas para el desarrollo de enfermedades tropicales.

**Summary.** — Tropical diseases controlled by climate which favors the multiplication of microorganisms and parasites in hot, humid regions of the South American Continent are reviewed in form of concise statements concerning their more important features. These are virus, rickettsial, spirochetel, bacterial, mycotic, protozoal, helminthic, nervous and nutritional diseases. Their endemic state is probably determined by six-months isochrones of heat and by the isotherms of equivalent temperature of 60° C. The twelve-months isochrones denote hot, wet tropics ranking among the most unhealthy climatic regions especially fit for spreading of tropical diseases.

### I. CONSIDERACIONES GENERALES

Con su extensión entre 12°25'N y 55°59'S, el Continente Sudamericano está delimitado por 68 ½ grados de latitud. Teniendo en cuenta que los estados de calor fuerte abarcan todo el continente desde el paralelo 10°N hasta el paralelo 40°S, resulta que unas tres cuartas partes de la América del Sur sufren de los efectos del calor.

Más de la mitad del continente está situado entre el paralelo de 10°N y el Trópico de Capricornio, mientras que hacia el Sur el continente va siempre estrechándose. La intensa radiación solar propia de las latitudes bajas se agrega a una precipitación abundante, registrándose precipitaciones anuales de 1000, 1500, 2000 y 3000 mm, y llegando en algunas regiones a 5000 mm por año <sup>(10)</sup> <sup>(16)</sup>.

Debido a todos estos factores geográficos y climáticos, prevalecen en la América del Sur las regiones con climas ecuatoriales y tropicales, con desarrollo menor de climas templados y un mínimo de climas glaciales (de alta montaña). Bajo semejantes condiciones fisiográficas, las enfermedades tropicales brotan espontáneamente, y llegan a establecerse en forma endémica en las llanuras y en las selvas tropicales, las que ocupan casi dos terceras partes del Continente Sudamericano. Desde los tiempos de Pasteur se sabe que los microorganismos patógenos existen en la atmósfera; el calor, la humedad y las lluvias abundantes fa-

\* De la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción del Servicio Meteorológico Nacional.

vorecen la proliferación de los insectos portadores de gérmenes patógenos, de los microbios y de parásitos de toda clase.

El calor agobiante y las enfermedades tropicales eran tan temidos por las razas aborígenes del continente y por los primeros colonizadores de la raza blanca, que modelaron la distribución geográfica de las poblaciones sudamericanas en macizos montañosos, los que forman más o menos una tercera parte del continente. Las grandes civilizaciones

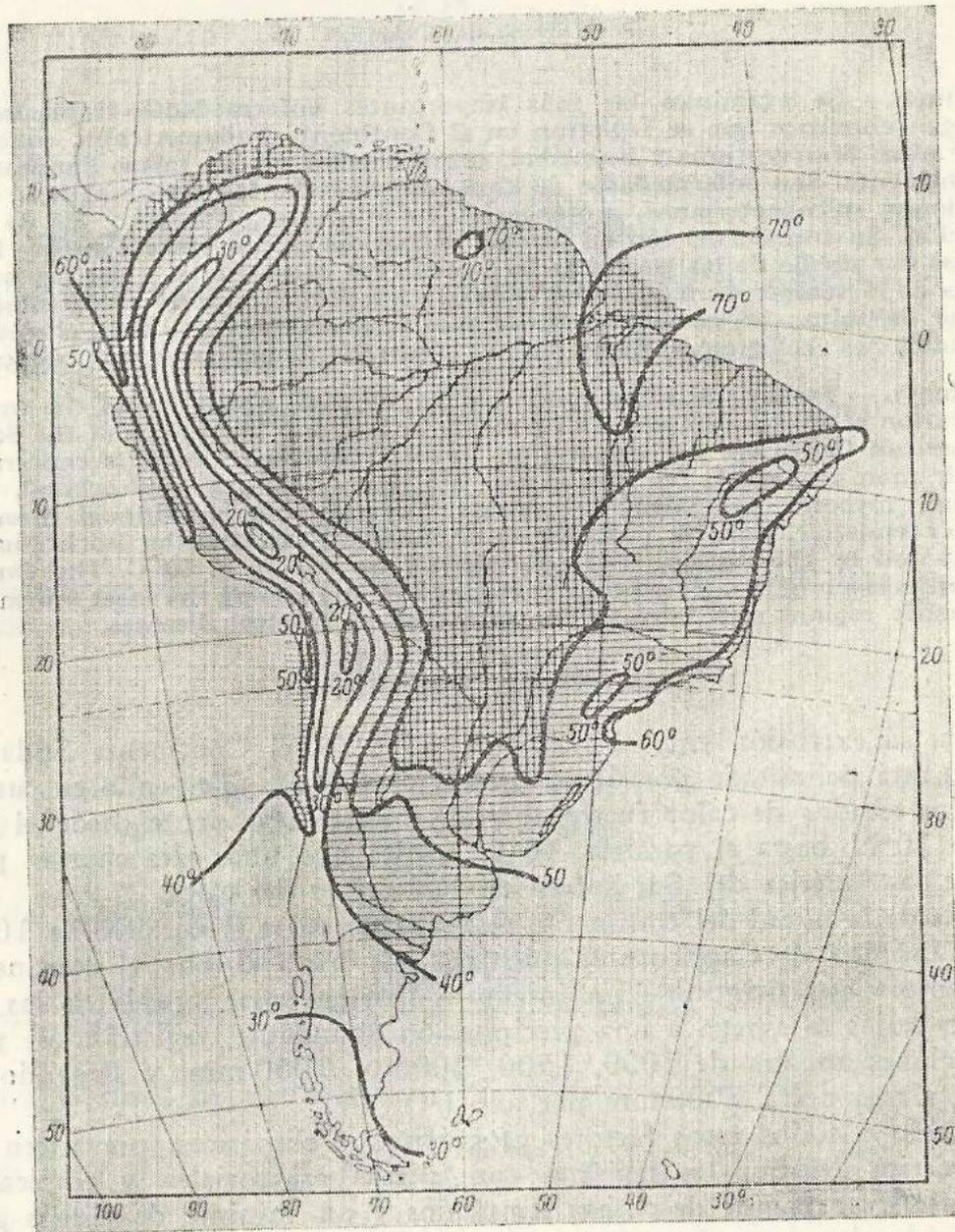


FIG. 1. — Isothermas de la temperatura equivalente (enero) (según W. Knoche).

incaicas de los quichuas y aymará, en Perú y Bolivia, y la civilización azteca en Méjico, demostraron la sagacidad de las razas autóctonas, las que erigían sus ciudades en alta montaña para evitar el calor húmedo y malsano de los "llanos". Ya en nuestros tiempos, el explorador inglés H. W. BATES quedó sorprendido por la gran aversión que sienten los indios del Alto Amazonas para el calor.

No menos sabia fué la política colonizadora de los conquistadores españoles, los que perpetuaron la tradición incaica y azteca de evitar las selvas tropicales y las llanuras.

Es a los españoles a quienes se debe la primera clasificación de climas sudamericanos en "tierra caliente" (llanuras bajas), "yungas" (valles calurosos), "páramos" (climas frescos y húmedos de altura), y "punas" (climas secos, fríos y glaciales de gran altura).

En una extensión de varios miles de kilómetros, desde Méjico y hasta Chile, la zona poblada andina se mantiene en altas regiones, casi siempre superiores a 2000 metros. Actualmente, la mitad de la población del Brasil y el 70-75 % de la población del Ecuador y Bolivia viven en alturas. En continente alguno, en ninguna otra región del mundo, ni siquiera en el Tibet, hay tan gran porcentaje de población que vive en alturas verdaderamente inconcebibles para los habitantes de otros continentes, como Bogotá en Colombia a 2645 m de altura; Quito en el Ecuador, a 2819 m; La Paz en Bolivia a 3631 m; Potosí en Bolivia a 4000 m y Cerro del Pasco en Perú a 4350 m<sup>(5)</sup>. Mientras tanto, en la cuenca del Río Amazonas la densidad de la población es menor de un habitante por kilómetro cuadrado.

Disminuyendo el calor y la humedad, como ocurre en la alta montaña, disminuyen y desaparecen las enfermedades tropicales. Así, por ejemplo, la temperatura óptima del aire para *PLASMODIUM FALCIPARUM*, protozoarias causantes de la *MALARIA*, es de 30°C. El optimum ecológico para los mosquitos *AEDES AEGIPTI*, vehículo de la fiebre amarilla, se sitúa entre 27° y 32°C. Con menos de 17°C estos mosquitos desaparecen por completo. Los mosquitos dependen mucho de la humedad relativa del aire, con su optimum cerca de 97 %<sup>(13)</sup><sup>(14)</sup>.

El origen de las enfermedades tropicales es esencialmente climático, causado por alta temperatura permanente, junto con una precipitación pluvial, de copiosa a torrencial, y una gran humedad atmosférica.

En el presente estudio tratamos solamente las enfermedades tropicales verdaderas, es decir, originadas en los trópicos. Las enfermedades que se registran en los trópicos no siempre son tropicales; en los trópicos hay muchas más enfermedades que en latitudes medias y altas, porque las enfermedades de climas templados y fríos se extienden a los países tropicales, mientras que las enfermedades tropicales ocurren tan solo en los trópicos. Por esta razón no analizamos las enfermedades mundiales o "cosmopolitas", tales como la peste, lepra, cólera, tuberculosis, encefalitis, pulmonías, enteritis y hepatitis, frecuentes pero no características para los trópicos.

La mayoría de las enfermedades tropicales registradas en el Continente Sudamericano son típicas y comunes para los climas análogos de otras regiones tropicales, como Africa Central, Australia del Norte, India, Indonesia, Oceanía, etc., salvo algunas enfermedades propias de la América Tropical.

Son enfermedades de *VIRUS* (fiebre amarilla), de *RIKETTSIA* (fiebres malignas), las espiroquéticas (de *CHAGAS*, *FRAMBESIA*), las bacterianas (diarreas, disenterías), las micobacterianas (*BLASTOMICOSIS SUDAMERICANA*), las protozoarias (*LEISHMANIASIS*, *PALUDISMO*), helmínticas (*BILHARZIOSIS*, *FILARIASIS*), nerviosas y mentales (neuras-

tenia tropical) y las de nutrición (PELAGRA) (1), (3), (6), (7), (9), (13), (14), (15).

Hemos examinado en este trabajo 35 enfermedades o estados patológicos que forman un cuadro bastante representativo de las enfermedades tropicales de la América del Sur, aunque incompleto e imperfecto. El autor no es médico, y no aspira a otros fines que los de

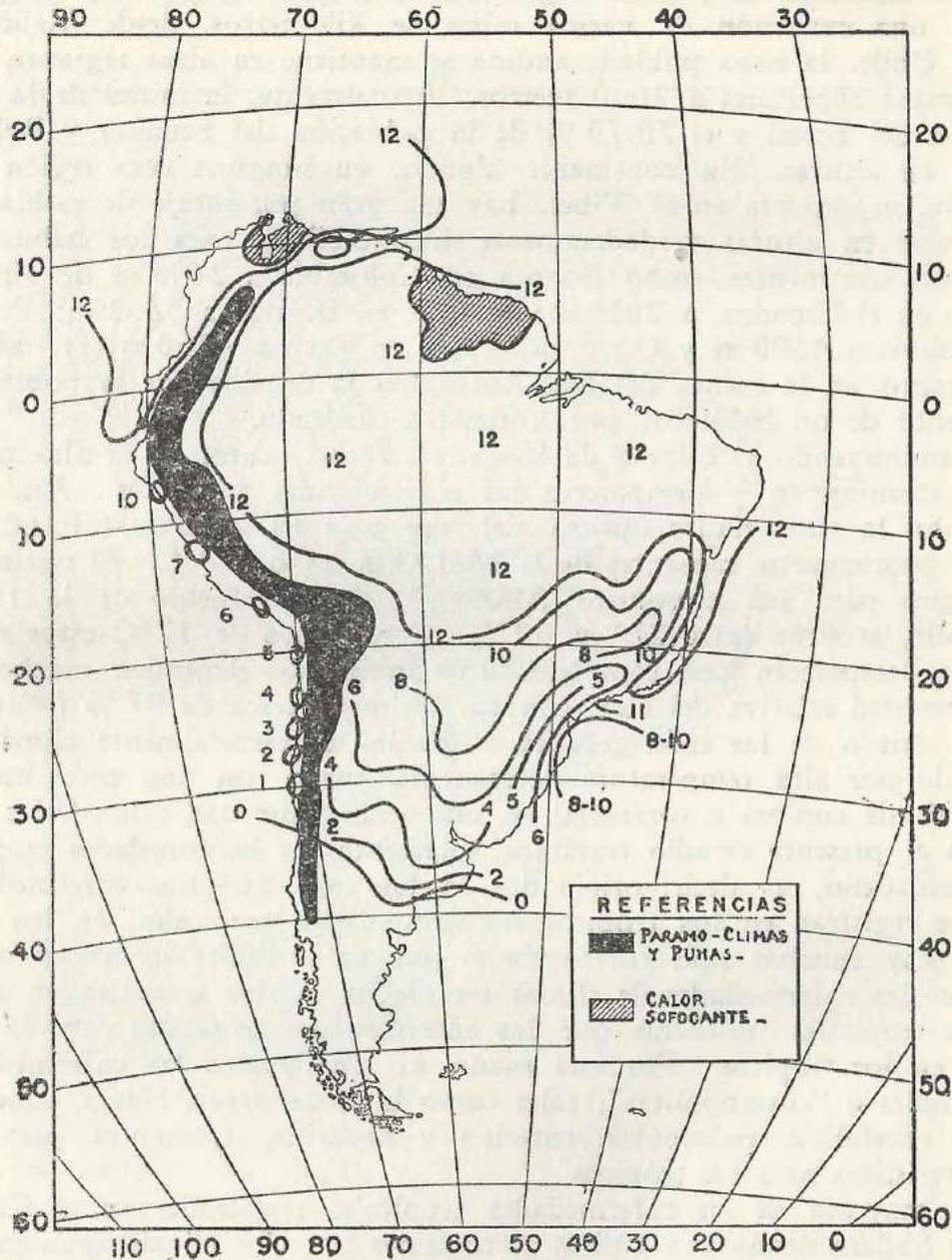


FIG. 2. — Isocronas del calor fuerte (duración en meses por año).

aportar los elementos de estudio para los conocimientos muy necesarios, pero todavía casi inexistentes, de bioclimatología y climatología médica del Gran Continente Sudamericano. Sin embargo, nuestra larga experiencia en climas tropicales extremos, recogida en la jungla y en los arrozales del Extremo Oriente, nos ha proporcionado conocimientos reales y valiosos respecto a las enfermedades tropicales.

Ocupado como geodesta en trabajos de exploración geográfica, estuvo el autor viviendo en condiciones climáticas muy duras, donde la muerte no tocaba a todos, pero siempre rondaba cerca. Había que aprender algo de medicina tropical para poder trabajar y existir. Carecíase allí de médicos y hospitales; las enfermedades eran más temibles que los peligrosos elefantes salvajes, los tigres, las cobras, la pantera negra y las hormigas coloradas.

No todas las regiones tropicales son climáticamente malsanas; el término "trópicos" es demasiado general y abarca grandes extensiones terrestres, dentro de las cuales hay climas sanos y hasta muy buenos, tales como se observan en los altiplanos de los Andes, en Perú, Ecuador y Colombia; en Africa, en Kenya y en otros altiplanos ecuatoriales. Tampoco ha de creerse que todos los habitantes de los trópicos son susceptibles de contraer alguna enfermedad tropical. Las enfermedades tropicales no son tan espectaculares como las epidemias de los países templados y fríos; adquieren el carácter peligroso especialmente entre las poblaciones rurales desprovistas de la más elemental higiene, privadas de médicos y de hospitales. La fiebre amarilla fué completamente extirpada en Río de Janeiro, Cuba y en la zona del Canal de Panamá. Es ello ejemplo de lo que puede hacerse con la mayoría de las enfermedades tropicales —higiene, saneamiento y profilaxis— para vencerlas.

Por otra parte creemos que, hacia fines del siglo actual, la técnica del aire acondicionado habrá revolucionado la vida en los países tropicales.

En la etiología de las enfermedades tropicales infecciosas, los agentes atmosféricos pueden, por una parte, modificar el número, la vitalidad, la virulencia y la diseminación de los gérmenes microbianos, y, por otra, modificar el equilibrio, la nutrición, la receptividad y la defensa del organismo humano. Ya que la multiplicación de los parásitos y de los microbios y su virulencia están favorecidos por el calor húmedo, el estudio de la distribución del calor en el Continente Sudamericano se hace indispensable, como base de las investigaciones relativas a las enfermedades tropicales.

Hemos agregado a este trabajo dos cartas bioclimáticas, las que representan la intensidad y la duración del calor en la América del Sur.

En la Fig. 1 encontramos las isotermas de la temperatura equivalente trazadas por W.KNOCHE<sup>(11)</sup>, para demostrar la intensidad del calor, y en la Fig. 2, las isocronas trazadas por el autor, para indicar la duración del calor fuerte ( $\cong$  TE 45°C), en meses por año. En la confección de ambas fué usada la temperatura equivalente (TE), adoptada en bioclimatología, como índice de la entalpía del aire, función termodinámica que resume la acción conjunta de la temperatura común del aire y de la humedad atmosférica (tensión del vapor); la temperatura equivalente indica simultáneamente los grados del calor húmedo y la sensación climática de los seres humanos. A este efecto incluimos en este trabajo una Tabla de la Sensación Climática expresada por la temperatura equivalente, necesaria para interpretar las figuras que acompañan al texto<sup>(4)</sup>.

Para la bioclimatología en general, y para la medicina tropical especialmente, no basta conocer la intensidad del calor, sino que también debe ser conocida su duración. Más aún, la duración del calor es más

importante que la intensidad, por su efecto debilitante sobre las defensas orgánicas del hombre, y porque, cuanto más largo el período caluroso, tanto más favorecido será el ciclo biológico de los insectos y parásitos que llevan los gérmenes patógenos. De este modo, se comprueba, por ejemplo, que las Guayanas (Inglesa, Francesa y Holandesa) se caracterizan por uno de los más malsanos climas, no solamente de la América del Sur sino del mundo entero.

Las isocronas de 6 meses pueden servir como límites probables que marcan las zonas donde las enfermedades tropicales se hacen más frecuentes y más virulentas. Coinciden bastante bien con las isotermas de TE 60°C del climatólogo W. KNOCHE, quien las denominó "límite de mestizaje humano inevitable"; coinciden con la temperatura de TE 58°C, indicada por GRIFFITH TAYLOR, a cargo del proyecto de colonización de Australia, como "límite para la raza blanca", y con el límite donde la influencia favorable del clima sobre la energía humana se hace "baja", según ELLSWORTH HUNTINGTON.

Sin aceptar o negar estas definiciones, podremos, en cambio, adoptar como límites bastante seguros del estado endémico de las enfermedades tropicales, las isocronas de calor fuerte de 6 meses, junto con las isotermas de TE 60°C. Las isocronas de 12 meses delimitan las zonas climáticamente malsanas durante todo el año, y señalan ambientes óptimos para el desarrollo de las enfermedades tropicales.

CUADRO I. — *Sensación climática*

Grado	Sensación climática	Temperat. equivalente (°C)	Grado	Sensación climática	Temperat. equivalente (°C)	Grado	Sensación climática	Temperat. equivalente (°C)
12	Calor letal	> 119	8	Muy caluroso	45-50	4	Fresco	25-30
11	Calor intolerable	103-119	7	Calor agradable	40-45	3	Frío moderado	15-25
10	Calor sofocante	76-103	6	Bienestar máximo	35-40	2	Frío	10-15
9	Calor bochornoso	50-76	5	Fresco suave	30-35	1	Frío glacial	≤ 10

Agregamos también a nuestro trabajo un diagrama que ilustra los efectos letales del calor sobre el hombre. En la Fig. 3 se representan las isopletas de la temperatura equivalente correspondientes a la "Semana del Fuego" en Buenos Aires (1-8 de febrero de 1900).

Hemos consignado en este diagrama día por día y hora por hora los valores extraordinarios de la temperatura equivalente, la cual llegó a 85°, 90° y 91°C<sup>1</sup>.

Estos acontecimientos únicos y nunca repetidos en la Argentina, enseñaron que las muertes y los accidentes que afectaron a millares de personas, se debieron enteramente a una sofocante entalpía del aire, oca-

<sup>1</sup> *Anales de la Oficina Meteorológica Argentina*. Tomo XV. Clima de Buenos Aires. Valores horarios, año 1900. Buenos Aires, 1912.

sionada por una muy alta y permanente humedad del aire, hasta 28 mm de Hg. Se demostró definitivamente que sólo la temperatura biológica (húmeda y equivalente) puede caracterizar tales estados atmosféricos peligrosos, y que la temperatura común (del termómetro de mercurio) no puede aplicarse a estos fines, ya que sólo varió durante aquella semana entre 26° y 33°C (como temperatura media del día), y entre 28° y 37°C (como temperatura máxima del día). Desde el punto de vista de la patología médica, se demostró en las autopsias que la muerte provenía principalmente de ASFIXIA, es decir, que era de origen bulbar y

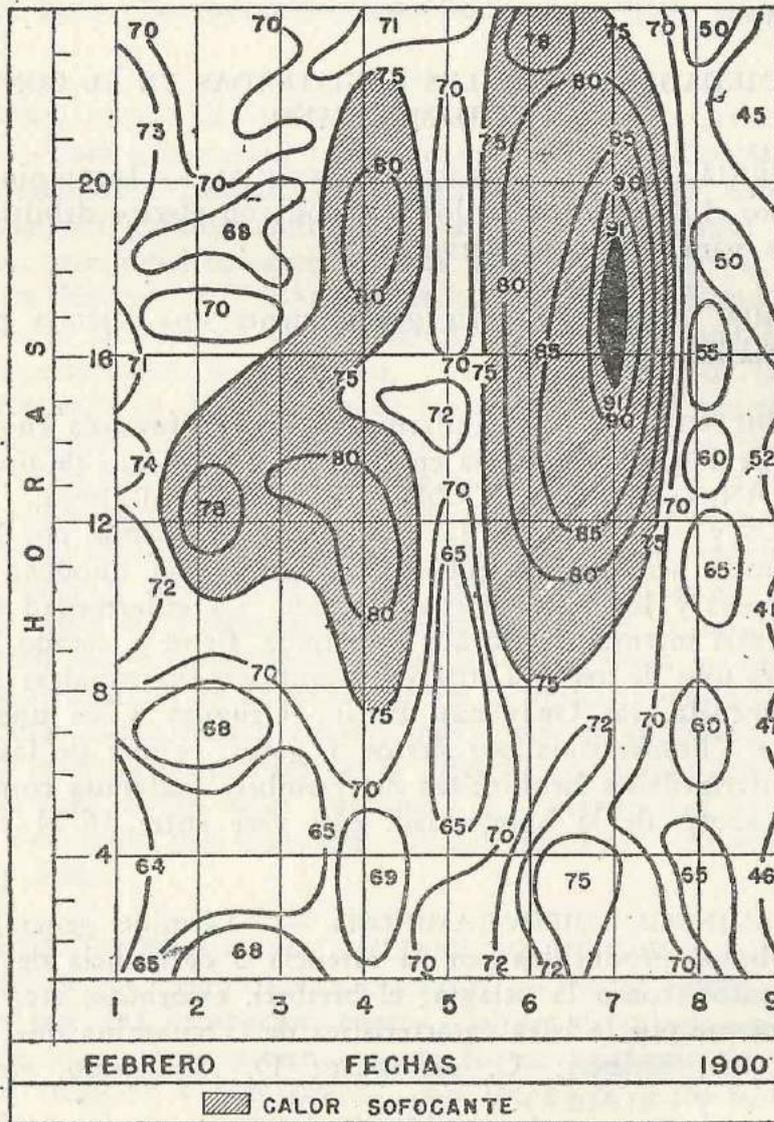


FIG. 3. — Semana de Fuego en Buenos Aires (año 1900). Isoletas de la temperatura equivalente.

de naturaleza respiratoria, tal como lo sostiene la escuela de medicina francesa, encabezada por el profesor H. VINCENT y apoyada por el profesor L. BINET, Decano de la Facultad de Medicina de París (3).

Con el uso de la entalpía del aire, se llega a determinar, en bioclimatología, la verdadera y real temperatura máxima, desechándose por completo la temperatura indicada por el termómetro, doblemente erró-

nea, en cuanto a la intensidad del calor y —muy importante para la medicina— en la hora verdadera de la máxima. Nuestro diagrama demuestra que la temperatura máxima biológica puede ocurrir a cualquier hora del día o de la noche, y que es múltiple y no momentánea, vale decir, que puede producirse varias veces por día, puede durar varias horas y nunca puede corresponder a un solo instante; tampoco depende de la radiación solar.

Con estos datos tanto la bioclimatología como la ciencia médica recibieron aportes de gran valor para el estudio de GOLPES DE CALOR. (q. v.), que fueron objeto de largas e infructuosas discusiones desde mucho tiempo.

## II. ENFERMEDADES TROPICALES REGISTRADAS EN EL CONTINENTE SUDAMERICANO

1. AGRIPNIA TÉRMICA, INSOMNIO TROPICAL. — Insomnio nocturno originado por el calor fuerte en los trópicos, con efectos debilitantes muy perjudiciales para el sistema nervioso.

2. ANEMIA TROPICAL. — Es generalmente una anemia palúdica o anquilostomiásica.

3. ANQUILOSTOMIASIS. — Enfermedad muy difundida en la América del Sur, debido a la presencia en el intestino delgado de una lombriz nematoda, ANKYLOSTOMA DUODENALE, A. BRASILIENSE, NECATOR AMERICANUS y otras especies, las que producen anemia por las pequeñas y continuas hemorragias que en las paredes del duodeno provocan dichas lombrices y los venenos que secretan. La enfermedad se caracteriza por anemia intensa, trastornos digestivos, fiebre y estado hidrópico. El parásito es uno de los HELMINTOS (lombrices intestinales) que abundan en Venezuela, las Guayanas, Brasil, Uruguay y en una parte de la Argentina. Transmitida por perros y gatos, es una de las más importantes enfermedades helmínticas del hombre, declarada como uno de los grandes azotes de la humanidad, que vive entre 36°N y 30°S de latitud.

4. AVITAMINOSIS; HIPOVITAMINOSIS. — Término general para los estados morbosos producidos por la carencia o deficiencia de vitaminas en los alimentos, como la pelagra, el beriberi, escorbuto, etc. Se designan generalmente por la letra característica de la vitamina que falta: A, xeroftalmía; B, beriberi; C, escorbuto; D, raquitismo, etc. (Véase DESNUTRICIÓN y PELAGRA).

5. BARTONELLOSIS; VERRUGA PERUANA; FIEBRE DE OROYA. — Enfermedad de CARRIÓN, caracterizada por fiebre elevada y anemia de tipo macrocítico pernicioso que se desarrolla rápidamente. El estado denominado VERRUGA PERUANA es una fase de la misma enfermedad. Es producida por el parásito de la sangre BARTONELLA BACILLIFORMIS, y transmitida por la picadura de un insecto (jejen) del género PHLEBOTOMUS VERRUCARUM que abunda en el Perú. Se registra principalmente en el Perú, Ecuador y Colombia.

6. BILHARZIOSIS sinónimo de SHISTOSOMIASIS (q. v.).

7. BLASTOMICOSIS SUDAMERICANA; GRANULOMA. — Grupo de enfermedades producidas por hongos pertenecientes a los géneros SAECHAROMYCES, CRYPTOCOCCUS, OIDIUM y otros, de carácter general o especialmente cutáneas, con producciones vegetantes o ulcerosas. La localización pulmonar produce un estado semejante a la tuberculosis.

B. BRASILEÑA es una enfermedad debida al PARACOCCIDIOIDES que comienza por una lesión primaria en la mucosa oral o cutánea cerca de la boca. La otra forma linfático-visceral ataca al sistema linfático, al hígado y al bazo. Se conoce en toda Sudamérica, pero principalmente en el Brasil.

8. CHAGAS, ENFERMEDAD DE; ENFERMEDAD DE CHAGAS-CRUZ; OPILAÇÃO. — Esta enfermedad es una forma de TRIPANOSOMIASIS AMERICANA o BRASILEÑA, causada por la espiroqueta TRIPANOSOMA CRUZI, y transmitida por grandes chinches o cucarachas americanas del género TERIATOMA, con muchas especies. Las principales son: T. MEGISTA, BARBIERO DE BRASIL y T. SANGUISUGA de Méjico y Estados Unidos. OPILAÇÃO es la modalidad que ocurre en el Brasil. Es una enfermedad que ataca especialmente a los niños, y se caracteriza por la presencia de TRIPANOSOMAS en la sangre y de LEISHMANIAS en los tejidos. Sigue un curso agudo en los niños y crónico en los adultos, y es regularmente fatal. Los síntomas del estado crónico dependen de la localización del parásito, especialmente en el músculo cardíaco, en el sistema nervioso central o en el hígado. Los insectos causantes suelen morar en casas pobres (de barro y adobes), y en los establos y chiqueros.

La lesión básica es la degeneración de las células de los tejidos, después de su invasión por LEISHMANIAS. Las lesiones graves se producen en el músculo cardíaco, en el cerebro y en el hígado, siendo la severidad de los síntomas tanto mayor cuanto más joven el enfermo. Las picaduras de los insectos portadores de la infección corresponden en primer término a la cara de los seres humanos. La enfermedad se conoce en Colombia, Venezuela, las Guayanas, Brasil, Uruguay, Argentina, Bolivia, Chile y Perú.

9. DENGUE; FIEBRE DANDY; FIEBRE ROMPEHUESOS; FIEBRE SOLAR; FIEBRE ROJA; INFLUENZA o GRIPE. — Fiebre aguda, infecciosa, caracterizada por una incubación brusca, dolores de cabeza en la espalda y coyunturas, que puede presentarse en forma epidémica en cualquier parte de los trópicos y subtropicos, con los focos reconocidos en las costas del Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, las Guayanas y en el sur del Brasil. No es fatal. Se debe a un virus transmitido por los mosquitos AEDES, especialmente por AEDES AEGYPTI.

10. DESNUTRICIÓN (*enfermedades de la nutrición, por defecto de asimilación, por carencia y avitaminosis*); MALNUTRICIÓN. — En muchas regiones tropicales de la América del Sur, así como en África, la dieta alimenticia de la población rural se compone casi exclusivamente de hidratos del carbono: es la harina de mandioca, el maíz, arroz, bananas,

batatas y zapallo. Con excepción de la Argentina y de algunas partes de Chile, Uruguay y Brasil, faltan la carne, la leche y la manteca en la alimentación, con un exceso de hidratos del carbono y un gran déficit de proteínas, grasas, vitaminas y sales minerales (calcio en primer término); la cantidad de calorías ingeridas es grande, pero la dieta es errónea. Por el efecto del calor fuerte, el apetito disminuye considerablemente, con resultado de fatiga crónica y secreción del jugo gástrico muy disminuído. La ANEMIA TROPICAL y la NEURASTENIA TROPICAL se explican como consecuencias de una desnutrición sistemática y de una avitaminosis pronunciada, agravándose estos efectos a causa del paludismo y de la verminosis, muy generalizados en los países sudamericanos.

11. DIARREA TROPICAL; ESPRUE; PSILOSIS; AFTA TROPICAL. — Enfermedad crónica de los países cálidos, caracterizada por lesiones ulcerosas bucales, catarro gastrointestinal con diarrea periódica profusa, atrofia del hígado, anemia, enflaquecimiento, que muchas veces termina en la muerte. Su causa no es bien conocida, aunque es posible que sea la MONILIA PSILOSIS, género de hongos parasitarios que fermentan los azúcares con producción de gases. Las moscas domésticas constituyen el vehículo más importante de las enfermedades diarreicas tropicales.

12. DISENTERÍA TROPICAL. — Enfermedad aguda, específica, epidémica, muy frecuente en los trópicos, caracterizada por lesiones inflamatorias, ulcerosas y gangrenosas del intestino grueso, con frecuentes evacuaciones de materias mucosas y sanguinolentas, dolores, tenesmo y grave estado general. Tiende notablemente a la cronicidad y a las recidivas. Se distinguen dos formas principales: la AMIBIANA, producida por la ENDAMOEBIA HYSTOLITICA o AMOEBA DYSENTERIAE, y la BACTERIANA o BACILAR causada por la SHIGELIA DYSENTERIAE, más prevaleciente en los trópicos y subtrópicos que en las zonas templadas. Entran en estas formas las categorías diversas: AMOEBIASIS, BALANTIDISIOSIS, COCCIDIOSIS, BLASTOCYSTIS y LAMBLIASIS.

13. ELEFANTIASIS; ELEFANCIA; MORBUS HERCULEUS; PAQUIDERMIA; MAL DE CAYENA; PIERNA DE SURINAM. — Enfermedad crónica caracterizada principalmente por la inflamación y obstrucción de los vasos linfáticos, con hipertrofias de la piel y tejidos subcutáneos, que alcanzan a veces proporciones enormes; por orden de frecuencia afecta las extremidades inferiores, escroto, brazos, mamas, etc. Se observa más comúnmente en las zonas costeras tropicales. Es registrada en las costas de Venezuela, de las Guayanas y del Brasil, en su parte NE (véase FILARIASIS).

14. ESPUNDIA; LEISHMANIASIS NASO-ORAL o MUCOCUTÁNEA; BUBA AMERICANA; BRASILEÑA. — Enfermedad caracterizada por las membranas mucosas afectadas con ulceración extensa y necrosis de la nariz, boca y faringe, que llega a la destrucción completa de los mismos. En casos fatales, la muerte sobreviene por septicemia de la sangre y malnutrición. El agente etiológico es LEISHMANIA BRASILIENSIS, transportado por jejenes del género PHLEBOTOMUS. La enfermedad ataca especialmente a

los que trabajan en las selvas tropicales; es muy difundida en el Brasil, Perú y las Guayanas; fué registrada en los demás países sud-americanos, con excepción de Chile (véase LEISHMANIASIS).

15. ESQUISTOMIASIS. — Sinónimo de SHISTOMIASIS, q. v.

16. FIEBRE AMARILLA; VIRUS AMARIL; VÓMITO NEGRO; VÓMITO PRIETO. — Enfermedad infecciosa, epidémica, endémica en la América tropical, que se presenta como fiebre acompañada de ictericia y albuminuria. Las complicaciones incluyen la necrosis del hígado, pulmonía y congestiones del estómago e intestinos. Es debida a un virus transmitido por la picadura de los mosquitos de los géneros *Aedes* y *Haemagogus*, citándose especialmente a las especies *Stegomyia fasciata*, *Aedes leucocelaenus*, *Aedes aegypti*. Se citan también otras especies de los géneros *Eretmopodites* y *Culex*. Se reconocen tres formas distintas de la enfermedad: la urbana, la de las selvas tropicales y la rural. La fiebre amarilla clásica y epidémica es la urbana, ocasionada por picaduras del *Aedes aegypti*. La mortalidad alcanza hasta un 50 % de casos fatales en epidemias. En áreas endémicas la mortalidad entre la población nativa acusa alrededor de un 7-10 por ciento. La enfermedad se mantiene en forma endémica en el Brasil, en la cuenca del Amazonas, en Colombia y Venezuela.

17. FIEBRE RECURRENTE; TIFO RECURRENTE. — Enfermedad producida por la espiroqueta o treponema *Borrelia*, cuyas especies más importantes son *B. recurrentis* (transmitida por piojos) y *B. duttoni* (transmitida por garrapatas). La forma transmitida por garrapatas afecta a muy pocas personas, mientras que la transmitida por piojos es mundialmente difundida, y se presenta en forma epidémica en países afectados por guerras o por hambre general. Su vehículo es el piojo *Pediculus humanus*, especie *corporus*. En la América del Sur los centros endémicos se conocen principalmente en Colombia y Venezuela, aunque un foco fué señalado también en el norte de la Argentina.

18. FILARIASIS; FILARIOSIS. — Enfermedad causada por filarias, del género de nematodos *Filarioidea*, helmintos endoparásitos, lombrices filiformes, que comprenden numerosas especies, de las cuales dos se conocen en la América del Sur. Una es la *Filaria bancrofti* (*Wuchereria bancrofti*), que es el agente etiológico de la ELEFANCIA (ELEFANTIASIS), con su larva *Microfilaria bancrofti* que es transmitida por mosquitos del género *Culex*. La otra es *Filaria sanguinis hominis*, pequeña lombriz de 80 milímetros el macho y doble la hembra, que vive en el sistema linfático del hombre. Las filarias se alojan más especialmente en los vasos linfáticos de los miembros inferiores, en el escroto, piernas, y en los brazos y mamas, donde producen la ELEFANCIA, con hipertrofia, hiperplasia y fibrosis; también ocasionan el HIDROCELE QUILOSO o QUILOCELE (acumulación de contenido quiloso) y la HEMATOQUILURIA (presencia de sangre y quilo en la orina). La infección es transmitida por mosquitos *Anopheles*, *Culex*, *Mansonia* y *Aedes*. Las dos especies más importantes son *Culex*

FATIGANS, especie cosmopolita, y *Aedes variegatus*, mosquito del Pacífico. La enfermedad fué registrada en Colombia, Venezuela y en las zonas costeras de las Guayanas y del Brasil.

19. FRAMBESIA; PIÁN; GRANULOMA TROPICAL; BUBA; TONGA; POLIPALOMA TROPICAL. — Enfermedad tropical infecciosa y contagiosa, producida por la *Spirochaeta* o *Treponema pertenue*, análoga a la sífilis pero no venérea; la enfermedad se inicia con una lesión cutánea, la "llaga madre", y se transforma en tumores o tubérculos malignos parecidos a frambuesas que invaden la cara, manos y cuerpo, con ulceración posterior y lesiones graves de los tejidos y huesos.

Se atribuye la transmisión de la enfermedad a las moscas de un género especial de *Hippelates*. Esta enfermedad es frecuente en regiones llanas con climas muy calurosos y húmedos, pero prevalece más bien en las zonas ecuatoriales de la América del Sur; es principalmente una enfermedad de los niños, diseminada entre la población rural.

20. FURIA TROPICAL; CÓLERA TROPICAL; LOCURA HOMICIDA; AMOK. — Es una forma grave de *Neurastenia tropical*, llevada al terreno de paroxismos pasionales, provocados por incidentes fútiles. Se presenta en su forma más violenta en el AMOK (voz malaya que significa "impulso homicida"), como una locura homicida, o ANDROFONOMANÍA, trastorno psíquico de los malayos, en el que el sujeto afectado, después de un período de depresión, sufre alucinaciones y una furia violenta, la que le impulsa a matar a cuantos encuentra a su paso. En otros países se conoce con características parecidas o menos graves, de raptos de ira. En Arequipa (Perú), la enfermedad es conocida con el nombre de NEVADA, palabra usada tanto para indicar un día de frío intenso con atmósfera sobrecargada de electricidad, como para caracterizar una excitabilidad aguda y la explosión de la cólera, a la cual son sometidas las personas durante tales condiciones meteorológicas. En Argentina, se la conoce con el nombre de VIENTO NORTE (caluroso y seco), al cual se atribuyen los actos violentos de personas; un foco de la enfermedad fué señalado en la provincia montañosa de San Juan, sometida periódicamente al viento ZONDA, del tipo FOEHN bien pronunciado. Es una enfermedad muy difundida, en formas moderadas o graves, en climas tropicales y subtropicales; se registra en Italia del Sur, en España, en el Cáucaso, y en los países arábigos del Mar Mediterráneo. En África es conocida con los nombres de SUDANITA y BISKRITA. Es muy difundida en el continente sudamericano, según puede apreciarse por la lectura de la crónica policial de los diarios locales.

21. GOLPE DE CALOR; HIPERTERMIA; SÍNCOPE TÉRMICO; PIREXIA. — Los golpes de calor constituyen la forma más general, más frecuente y peligrosa entre todos los accidentes causados por el calor y la radiación solar. Su gran importancia para el continente sudamericano requiere un análisis detallado.

Son originados por una elevada entalpía del aire (calor total, factor combinado del calor y de la humedad atmosférica), correspondiente a una alta temperatura y una alta humedad; son acompañados y refor-

zados en su acción por la radiación infrarroja del sol y del vapor de agua atmosférico, a los cuales pueden sumarse eventualmente un golpe de sol o de luz, o ambos a la vez. No se limitan al aire libre, al campo abierto y al exterior, generalmente hablando, tal como sucede con los golpes de sol y de luz, sino que se producen con mucha frecuencia en las calles, dentro de las viviendas, minas, fábricas y talleres, entre grandes aglomeraciones humanas, en coches de ferrocarriles, en subterráneos y hasta en ambientes mínimos, como puede ser la cuna de una criatura. Son accidentes de forma MACROCLIMÁTICA y MICROCLIMÁTICA, y pueden adquirir FORMAS INDIVIDUALES o COLECTIVAS, tal como sucede con llamadas OLAS DE CALOR, que son invasiones del aire tropical en latitudes medias de Europa y América, siendo temidas en los Estados Unidos donde ocurren periódicamente, causando centenares de víctimas.

De este mismo tipo era la extraordinaria ola de calor que provocó la tristemente célebre SEMANA DE FUEGO, acaecida en Buenos Aires entre el 1 y 8 de febrero de 1900, cuyos trágicos efectos quedaron, sin embargo, como fuente de una preciosa documentación para la medicina y bioclimatología. En aquella semana 287 personas perecieron de muerte fulminante, en las calles de la ciudad o en sus domicilios, incluso el arzobispo de Buenos Aires. Murieron, además, en el transcurso de la semana, varios otros centenares de habitantes de las consecuencias del calor, y aun todos los 240 caballos de la Asistencia Pública. En un sólo día, 3 de febrero, cerca de 1000 personas se desvanecieron en la calle y fueron socorridas por los abnegados médicos de la Asistencia Pública. Los cadáveres no se sepultaban, por haber muerto o desaparecido los sepultureros, y las actividades comerciales cesaron completamente durante una semana. La tensión del vapor de agua alcanzó un nivel peligroso de 28 mm, manteniéndose todo el tiempo entre 20-28 mm; la temperatura biológica se mantenía en nivel de "calor sofocante", entre 75°C y 85°C, habiendo alcanzado un increíble pero auténtico valor de 91°C de temperatura equivalente. Sin embargo, las temperaturas máximas del termómetro de mercurio no superaron en ningún momento la máxima diurna de los 37°C, oscilando entre 28° y 36°C, demostrándose con ello la absoluta imposibilidad de usarlas en bioclimatología.

Desde el punto de vista fisiológico, los golpes de calor son el efecto de la HIPERTERMIA del cuerpo humano, con elevación de la temperatura del cuerpo a 42° y 43°C, fenómeno fatal que causa la coagulación de proteínas de las células nerviosas, y la coagulación parcial de las células de los músculos respiratorios y cardíacos. Corresponden a un COLAPSO CIRCULATORIO y a la perturbación grave de todo el SISTEMA DE TERMORREGULACIÓN. La HIPERTERMIA se explica por la imposibilidad del organismo de eliminar el calor metabólico y el recibido de afuera, por sus medios de defensa orgánicos. La eliminación del calor (TERMOLISIS) se hace imposible cuando el DEFICIT FISIOLÓGICO DE SATURACIÓN (cuerpo-atmósfera) y el BALANCE ENTÁLPICO (atmósfera-cuerpo) llegan a ciertos valores bien definidos y críticos.

Los golpes de calor adquieren tres formas principales reconocidas en medicina:

a) *Formas leves*: calambres de calor y estados neurasténicos. Los calambres de los músculos abdominales y de las extremidades, a veces sumamente dolorosos, se producen, en condiciones de alta temperatura, entre las personas sometidas a trabajos manuales pesados, como agricultores, obreros en las industrias calurosas, la metalúrgica, de vidrio, minas subterráneas etc. Son causadas por la sudorificación excesiva, con pérdida de sales orgánicas, especialmente del cloruro de sodio. En el sistema nervioso, aún las formas leves dejan una irritación perdurable, con predisposición a la NEURASTENIA TROPICAL.

b) *Formas medias*: agotamiento total y LIPOTIMIA (desfallecimiento, desmayo), habitualmente curables. En casos graves del agotamiento, la muerte se debe al colapso circulatorio.

c) *Formas graves*: son variables, sincopal, cardíaca o asfíctica, con una evolución rápida, que puede ser fulminante o más lenta, de uno o dos días. Son estados de HIPERtermia, PIREXIA, colapso circulatorio y coma. Con formas ATAXODINÁMICAS (desorden de los movimientos) y PARALÍTICAS, la mortalidad es de 45 % a 60 %; en otras de ASFIXIA y APOPLEJÍA, con SIDERACIÓN BRUTAL del organismo (depresión súbita y profunda de las fuerzas vitales), con mortalidad hasta 70 %. La muerte sobreviene a consecuencia de una parálisis respiratoria o cardíaca; muchas veces es de origen bulbar y de naturaleza respiratoria, es decir, que es una ASFIXIA.

Los golpes de calor, aun leves y moderados, deben ser evitados cuidadosamente, porque suelen dejar una predisposición a los accidentes futuros, causando además lesiones no siempre fáciles de reconocer pero perniciosas, porque habitualmente son irreversibles. Son poco frecuentes entre las poblaciones nativas de regiones tropicales, pero afectan mucho a los extranjeros y a los forasteros no aclimatados, más especialmente a los niños. En forma individual, son siempre temibles para muchas personas especialmente vulnerables, los METEOROLÁBILES, con hipersensibilidad pasajera o durable por varias causas. Cuentan entre ellas los HOMEOTERMOS INESTABLES e IMPERFECTOS (SEMI-POIKILOTERMOS), empezando con criaturas lactantes, entre las cuales causan estragos, con alta mortalidad; también son predispuestos los ancianos, los débiles, agotados, tuberculosos y hepáticos. Las enfermedades cardíacas y renales y el alcoholismo crónico reducen al mínimo las posibilidades de curación. El uso de bebidas alcohólicas en climas calurosos y húmedos constituye una seria amenaza para la salud y aun para la vida.

Entre los casos extraordinarios de golpes de calor de forma COLECTIVA puede citarse la muerte por el calor de 13000 peregrinos, en el año 1952, en la llanura de Arafat a 24 kilómetros de la Mecca (Arabia Saudita), durante los 5 días de Aid-el-Kebir, la gran fiesta religiosa del mundo musulmano. Este grave suceso se explica por la aglomeración de 1.200.000 fieles, acampados en carpas sobre las arenas desérticas, donde la temperatura del aire llega a veces casi a 60°C. Es en las inmediaciones del Mar Rojo donde se ubica probablemente el Polo Mundial del calor, y en los buques que atraviesan el Canal de Suez la muerte repentina de pasajeros o tripulantes es un hecho común.

22. GOLPE DE LUZ; ASTENOPIA; FOTOFOBIA TROPICAL; HELIODERMITIS. — Está confirmado por la ciencia médica el dicho popular de que "El sol tropical es un sol venenoso". La exposición prolongada a la luz deslumbrante de los trópicos, correspondiente a una intensa radiación solar, ocasiona muchas enfermedades. Por el efecto de los rayos ultravioletas y luminosos (anaranjados, amarillos y verdes), se produce la ASTENOPIA (COPIOPIA) caracterizada por el cansancio de los ojos, cefalalgía, oscurecimiento de la visión diurna (HEMERALOPIA) y ceguera nocturna (NICTALOPIA).

Durante la guerra, en las regiones calurosas pueden verificarse verdaderas epidemias de ceguera nocturna, quedando el recuerdo de la gran epidemia que alcanzó a las tropas de Napoleón en Egipto. Con la FOTOFOBIA DOLOROSA TROPICAL debida a la luz solar intensa aparecen CEFALALGIAS fuertes, con el centro de dolor establecido en la cúspide craneana y en la nuca. La CONJUNCTIVITIS ACTÍNICA es causada por los rayos ultravioletas, los cuales originan también varias enfermedades cutáneas. Entre ellas se menciona la SARCOMA DE KAPOSI (XERODERMA PIGMENTATUM) que ataca especialmente a los niños, y la FOTOSENSIBILIZACIÓN que causa varios otros HELIODERMITIS, entre ellos las ERUPCIONES FOTOBOTRÓPICAS (urticarias y eczemas solares) y varias MELANOPATÍAS (MELANODERMITIS, VITALIGO etc.), que son irritaciones de la piel en forma de manchas pigmentadas y erupciones.

La luz tropical es demasiado intensa y muy cargada de radiaciones químicas.

Las radiaciones infrarrojas y rojas son caloríferas y contribuyen a la producción de golpes de sol y de calor, en tanto que las ultravioletas son químicas y causan la pigmentación de la piel; son estimulantes y antirraquíticas, pero, en grandes cantidades, irritan y destruyen los tejidos, con la posibilidad de producir lesiones cancerosas.

El exceso de luminosidad (rayos anaranjados, amarillos, verdes) fué señalado como una de las causas de la NEURASTENIA TROPICAL. La exposición prolongada del cuerpo a la radiación solar intensa favorece al principio la producción de sustancias antibacterianas, mas después puede originar una producción de toxinas y una verdadera TOXEMIA.

23. GOLPE DE SOL; INSOLACIÓN; FRENITIS; MENINGOENCEFALITIS. — No deben confundirse los golpes de sol con los de calor, pues unos y otros son originados por causas completamente distintas, siendo diferentes tanto la etiología como los síndromes de ambos accidentes. El término GOLPE DE SOL debe reservarse estrictamente para los accidentes provocados por la exposición del cuerpo, y más especialmente de la cabeza, a la radiación solar. La acción actínica no es clara, creyendo algunos especialistas en Medicina Tropical que la acción patológica se debe a la radiación infrarroja del sol, mientras que el consenso general lo atribuye a las radiaciones químicas (rayos azules, violados, y la radiación U. V.).

La exposición directa al sol puede dar lugar a dos accidentes difíciles de diferenciar: uno es un *golpe de sol* con alta fiebre, y otro es un *agotamiento solar* con poca o ninguna fiebre, pero con fenómenos sinco-

pales. En su forma general, es un recalentamiento excesivo del MENINGO-ENCÉFALO (MENINGO-ENCEFALITIS) o, quizás, se trata de lesiones que afectan todo el Sistema Nervioso Central (MENINGO-ENCÉFALO-MIELITIS), con inflamación de las meninges, encéfalo y médula espinal.

El golpe de sol es siempre un TRAUMATISMO SOLAR, una especie de APOPLEGÍA, acompañada de una fuerte CEFALALGÍA, pulso rápido y lleno, piel seca y tendencia al vómito y delirio, síndrome de CONGESTIÓN MENINGÍTICA.

24. INSOLACIÓN. — Término general y mal usado para indicar los efectos morbosos y los accidentes producidos en el organismo tanto por la exposición a los rayos solares como al calor excesivo, confundiendo en este caso indebidamente las formas sincopal, cardíaca, cerebral, meningítica, asfíctica y agotamiento térmico, con grave perjuicio para los accidentados. Todos los accidentes mencionados entran en tres grupos de GOLPES DE CALOR, DE LUZ, y DE SOL, que son los únicos términos a usar, según la clasificación del eminente especialista en Medicina Tropical, Sir ALDO CASTELLANI, Director del Instituto de Medicina Tropical de Londres y de la Clínica Tropical de Roma, profesor de las facultades de medicina de Roma, de Londres, de Nueva Orleans (EE. UU.) y de Ceilán (India).

25. LEISHMANIASIS. — Enfermedad debida a la infección con LEISHMANIAS, género de parásitos protozoarios flagelados con varias especies de HERPETOMANOS, HELCOSOMA, PIROPLASMA, etc. Se conoce en tres formas principales:

- a) L. visceral y dérmica (mediterránea, oriental y sudamericana).
- b) L. cutánea (mediterránea y sudamericana).
- c) L. mucocutánea (sudamericana).

La L. VISCERAL ataca al hígado, el bazo y la médula ósea (agente etiológico L. DONOVANI); esta forma fué registrada en Brasil y Paraguay. La L. CUTÁNEA o LLAGA ORIENTAL, producida por L. TROPICA, fué registrada en todos los países sudamericanos, con excepción de Chile, adquiriendo en Bolivia las características de LUPUS.

La L. MUCOCUTÁNEA, causada por LEISHMANIA BRASILIENSIS, se parece a L. CUTÁNEA en sus efectos ulcerativos en la nariz, boca y faringe, pero se inicia con la destrucción de las membranas mucosas. Esta enfermedad se conoce en los países sudamericanos con el nombre de ESPUNDIA (q. v.). Como vehículo común de estas tres formas se citan los jejenes del género PHLEBOTOMUS.

26. NEURASTENIA TROPICAL; CACOFORIA TROPICAL; CENESTESIOPATÍA. — Los climas tropicales ejercen sobre los seres humanos una doble y muy contradictoria acción. Por un lado se produce una especie de adormecimiento fisiológico, mental y volitivo; por otro se manifiesta la irritación nerviosa, con excitación de estados emocionales o sensuales. Ambas influencias se deben a varios excesos de la Naturaleza, excesos de

calor, de luz, de radiación solar, de humedad, como así también a varias deficiencias de nutrición, de sueño, de salud (enfermedades tropicales). Hay personas sanas y normales que se sienten en los trópicos constantemente cansados y moralmente deprimidos; cada cosa les representa un esfuerzo. La indolencia y el relajamiento moral se hacen presentes. Aparecen síntomas de profundo cansancio mental, como la pérdida de la memoria o AMNESIA. La CACOFORIA TROPICAL es un término genérico que abarca todos estos estados de pereza invencible, de malestar físico indefinido, de melancolía y cansancio inexplicables. Es la NEURASTENIA TROPICAL. Los casos más extremos corresponden a los climas tropicales particularmente malsanos, donde la ley universal de HOMEOTERMIA exige el *mínimum* de esfuerzos físicos y mentales, para disminuir al *mínimo* el metabolismo energético y facilitar la termorregulación del cuerpo constantemente amenazada. En tales climas se notan entonces casos de ABULIA, pérdida o disminución de voluntad; de ATONÍA, falta de las fuerzas y energías; de LAXITUD constante. Para los nativos de semejantes comarcas y para los forasteros inadaptables al clima, la vida adquiere entonces los matices de SOMNOLENCIA, que puede culminar en un estado de verdadera MODORRA, especie de letargo comparable a la ESTIVACIÓN, dormancia de algunos animales e insectos tropicales en el período de grandes calores. Las noches de calor húmedo, sofocantes, propias de las zonas ecuatoriales del Continente Sudamericano, junto con el insomnio continuo y las enfermedades parasitarias, acaban por arruinar el sistema nervioso.

Uno de los síntomas de la neurastenia tropical crónica es la CENESTESIOPATIA, pérdida o trastorno de la CENESTESIA, que es el sentido de la individualidad, del "Yo", el entendimiento general de una existencia independiente y libre. Las actividades intelectivas, voluntarias y nobles ceden su papel rector a los impulsos automáticos del sistema nervioso de vida orgánica, o SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO, y todo el sentido de la existencia se anula, para concretarse en la típica declaración de un inglés culto residente en India: "yo me siento similar a un gusano". Esta confesión o, mejor dicho, este gemido desesperado de un "homo sapiens" aplastado por el calor sofocante, puede servir de prototipo para juzgar a los climas tropicales extremos; induce también a pensar en la manera de aliviar la suerte de millones de seres humanos que son obligados a vivir en climas tropicales inadecuados para la especie humana. Al lado de tales estados depresivos subsisten otros, de sobreexcitación nerviosa, caracterizados por una repentina exuberancia y vehemencia de actos y palabras. Es la reacción del organismo irritado por las excitaciones climáticas interminables e innumerables. En esta su otra faz la neurastenia tropical aparece explosiva en los estados emocionales de índole patológica. (Véase FURIA TROPICAL).

27. OPILAÇÃO; TRIPANOSOMIASIS BRASILEÑA (Véase CHAGAS).

28. PALUDISMO; MALARIA. — Es la más importante de todas las enfermedades tropicales, a causa de su amplia propagación dentro y fuera de los trópicos, desde el paralelo de 45°N hasta 40°S, y por su

alta mortalidad, especialmente entre los niños, a los cuales corresponden casi todos los casos severos y fatales. Es una enfermedad infecciosa, endémica, de manifestaciones múltiples, con fiebres intermitentes, tercianas, cuartianas, remitentes, perniciosas etc., producidas por el desarrollo en la sangre de varias especies de protozoos *PLASMODIUM MALARIAE* o *HEMATOZOARIO* de LAVERAN y otras especies. Las cuatro especies son patógenas: *P. VIVAX*, *P. FALCIPARUM*, *P. MALARIAE* y *P. OVALE*, entre las cuales más comunes son el *P. VIVAX* (malaria benigna) y *P. FALCIPARUM*, forma perniciosa de la FIEBRE TERCIANA, la que prevalece en los trópicos. La enfermedad es producida por la picadura de los mosquitos del género *ANOPHELES*, contándose unas 60 especies anofelinas que son vehículos de los protozoarios y causantes de la enfermedad, caracterizada por congestiones viscerales, especialmente del hígado y del bazo, y, en casos de larga duración, por anemia, esplenomegalía, desintegración de los glóbulos rojos y caquexia (estado de trastorno constitucional, profundo y progresivo). La Sociedad de las Naciones estimó, en el año 1932, que el cómputo de 300 millones de enfermos de malaria por año es inferior a la realidad mundial. La gran importancia de la malaria como problema militar fué claramente demostrada durante la Primera Guerra Mundial, en las campañas de Macedonia, donde los ejércitos de Inglaterra, Francia y Alemania fueron inmovilizados por esta enfermedad. El paludismo, junto con anquilostomiasis, fueron declarados por el Comité Internacional de Salud de la Fundación Rockefeller como "los más serios obstáculos para el desarrollo de la civilización en las regiones donde estas enfermedades prevalecen".

29. PARAGONIMIASIS (DISTOMA). — Infestación de los pulmones con parásitos helmínticos, trematodos entozoos del género *PARAGONIMUS* o *DISTOMA*. Producen la enfermedad conocida como HEMOPTISIS PARASITARIA (DISTOMA), con expectoración de la sangre, originada por la infección de los pulmones con quistes. Las larvas de *PARAGONIMUS* son transmitidas por caracoles y crustáceos. La enfermedad se registra en Venezuela, Ecuador, Perú y en el Brasil (Matto Grosso).

30. PELAGRA; AVITAMINOSIS (MAL DE LA ROSA; MAL DEL SOL; CHICHISMO). — Esta enfermedad, conocida bajo muchos nombres, incluso los de ERISPELA y ESCORBUTO, es endémica, crónica y muy difundida en el norte del Continente Sudamericano. Se caracteriza principalmente por un eritema rosado de la piel, seguido por trastornos digestivos, debilidad general y alteraciones del sistema nervioso central (parálisis, melancolía, demencia). Actualmente se cree que se debe a la deficiencia del ácido nicotínico (vitaminas  $B_2$  ó G). Otra forma de AVITAMINOSIS es la BERIBERI (KAKKE en China y Japón), enfermedad nutricional debida a la deficiencia de vitamina  $B_1$  (thiamina) y otras vitaminas. Fué citada como ocurrente en el Brasil, con los nombres de INCHAÇÃO o PERNEIRAS. Beriberi es conocida en los trópicos, y como ESCORBUTO en los países fríos (Labrador, Tierra Nueva, Islandia, Mar Blanco), donde la dieta alimenticia está restringida a arroz

pulido, harina blanca, conservas y otros alimentos privados de vitaminas.

31. PINTA; TREPONEMATOSIS (MAL DEL PINTO; CARATE; AZUL). —Es una treponematosi de la piel, causada por *TREPONEMA CARATEUM*, con manifestaciones de depigmentación y de manchas coloreadas, especialmente en las manos y pies; la enfermedad parece afectar casi exclusivamente a las razas de color obscuro, y se registra en muchas partes de América tropical, especialmente en Méjico y Colombia.

32. SHISTOSOMIASIS; BILHARZIOSIS. — Los SHISTOSOMAS son los más importantes trematodos del hombre, parásitos helmínticos, de la clase platelmintos entozoos, con géneros *BILHARZIA*, *DISTOMA* y otros. La SHISTOSOMIASIS se subdivide en dos formas principales:

a) *S. HAEMOTOBIA* (BILHARZIOSIS URINARIA). Este tipo de enfermedad no se conoce en la América del Sur.

b) *S. MANSONI* (BILHARZIOSIS INTESTINAL) (DISENTERÍA INTESTINAL), que es la forma sudamericana. Es una enfermedad endémica, con síntomas de disentería y esplenomegalía ocasional, provocada por el parásito de la sangre SHISTOSOMA MANSONI, transmitida por caracoles. Las partes más afectadas son las partes intestinales, el hígado y el bazo. La clásica disentería shistosomal se caracteriza por dolores abdominales, una diarrea sanguinolenta, presencia de mucosa y pus en las evacuaciones. Esta enfermedad es conocida en Venezuela, en Guayana Holandesa, y en la parte NE del Brasil.

33. STRONGYLOIDIASIS. — Esta enfermedad es producida por la infección provocada por el nematodo *STRONGILOIDE INTESTINAL* o *S. STERCOLARIS*, habitualmente afirmado en la mucosa del intestino delgado. Es una enfermedad esencialmente tropical y subtropical, contraída por penetración de las larvas, durante su contacto directo con la piel humana.

Las larvas son llevadas por la sangre o linfa al corazón y a los capilares pulmonares, migrando luego a través del esófago, para alcanzar el estómago y los intestinos. Es una enfermedad muy difundida, casi tan general como la ANQUILOSTOMIASIS. La migración de larvas a través de pulmones puede ser acompañada de síntomas muy severos de bronquitis o pulmonía. En caso de hiperinfección intestinal, con ulceración de la mucosa, se producen diarreas profusas, adelgazamiento progresivo y caquexia. El deceso puede ocurrir a causa de la perforación intestinal y peritonitis.

34. ÚLCERAS TROPICALES; ULCUS TROPICUM. — Son lesiones de la piel de variable tamaño, desde algunos milímetros hasta 8 y 10 centímetros, de larga duración, a menudo progresivas que afectan usualmente las extremidades inferiores. Pueden extenderse profundamente, con destrucción de los músculos, tendones, periostio y los huesos. Su etiología es desconocida, encontrándose en las lesiones numerosos bacilos (*BACILLUS FUSIFORMIS*) y espiroquetas del género *SPIROCHAETA VINCENTI* (*S. SHAUDINNI*). La malnutrición, especialmente la deficiencia de la vi-

CUADRO 2. — *Monografías bioclimáticas de las capitales sudamericanas*

1	2	3	4	5	6			8	9	10		12
					Mes más frío	Mes más caluroso	Amplitud anual			Fresco y frío	Bienestar	
País	Ciudad	φ	λ	H	Temperatura equivalente (°C)			Amplitud anual	Duración de los períodos (meses por año)		Lluvia mm (año)	
					Mes más frío	Mes más caluroso	Amplitud anual		Fresco y frío	Bienestar		Calor fuerte
Argentina .....	Buenos Aires ...	3435 S	5829 W	25	26	53	27	3 1/2	4 1/2	4	966	
Bolivia .....	La Paz .....	1630 S	6810	3632	17	29	12	12	0	0	562	
Brasil .....	Río de Janeiro .	2254 S	4310	61	47	63	16	0	0	12	1099	
Colombia .....	Bogotá .....	0438 N	7405	2645	37	41	4	0	12	0	1061	
Chile .....	Santiago .....	3327 S	7042	520	23	43	20	5	7	0	350	
Ecuador .....	Quito .....	0015 S	7830	2819	34	39	5	0	12	0	1120	
Guayana I. ....	Georgetown ....	0649 N	5811	2	66	74	8	0	0	12	2230	
Guayana H. (Surinam) .....	Paramaribo ....	0549 N	5509	4	70	75	5	0	0	12	2297	
Guayana F. ....	Cayena .....	0456 N	5221	6	69	71	2	0	0	12	3208	
Paraguay .....	Asunción .....	2516 S	5738	64	40	64	24	0	4	8	1315	
Perú .....	Lima .....	1204 S	7702	120	40	60	20	0	5	7	48	
Uruguay .....	Montevideo ....	3455 S	5613	24	26	51	25	3	5	4	986	
Venezuela .....	Caracas .....	1030 N	6656	1042	48	59	11	0	0	12	809	

tamina A se supone como la causa muy probable. Estas úlceras son muy frecuentes en trópicos, más especialmente en zonas de calor húmedo.

35. VERMINOSIS (*Enfermedades helmínticas tropicales*). — Las enfermedades causadas por los HELMINTOS (lombrices parásitos del hombre y de los animales), constituyen uno de los más importantes capítulos de la medicina tropical, y una verdadera plaga en los países sudamericanos. La DESNUTRICIÓN, DEBILIDAD, ANEMIA y NEURASTENIA son, en muchos casos, provocados por estos numerosos parásitos, favorecidos por las condiciones ecológicas óptimas, en forma de alta temperatura, lluvia abundante y gran humedad. Es a los portadores de larvas helmínticas, tales como insectos, peces, animales domésticos, caracoles y crustáceos que se debe la infección del hombre en las regiones tropicales, agravada y hasta causada por la pobreza, ignorancia y falta de higiene por parte de la población nativa. Son los parásitos helmínticos del hombre los que causan las peligrosas enfermedades de ANQUILOSTOMIASIS, BILHARZIOSIS, PARAGONIMIASIS, FILARIASIS, SHISOSTOMIASIS y STRONGYLOIDIASIS, aquí brevemente reseñadas.

Los HELMINTOS se dividen en dos grandes clases: NEMATODOS (lombrices redondas) y PLATELMINTOS (aplanados, acintados). Los nematodos se dividen en N. intestinales y N. que viven en la sangre, linfa y los tejidos. Los platelmintos, a su vez, se subdividen en TREMATODOS y CESTODOS. Los ascárides, triquina, filarias, anquilostomas, shisostomas, las tenias y los botriocéfalos son los géneros más importantes y peligrosos en los trópicos.

### III. CONCLUSIONES

El examen de las enfermedades tropicales que se registran en el Continente Sudamericano, nos revela su origen climático en la mayoría de los casos.

No aceptamos, sin embargo, el determinismo climático predicado por el geógrafo ELLSWORTH HUNTINGTON y su escuela, y rechazamos, por consiguiente, la tendencia fatalista de considerar a estas enfermedades eternamente asociadas con climas tropicales. Sabemos que la fiebre amarilla fué vencida en Cuba, Río de Janeiro y en Panamá; también conocemos la victoria obtenida en la parte meridional de los Estados Unidos sobre una otra gran plaga de la América tropical: la anquilostomiasis. Creemos muy necesario para los países sudamericanos el convocar un Congreso Panamericano de Medicina Tropical, para fundar un Instituto Sudamericano de Enfermedades Tropicales en una capital del continente, por ejemplo, en Río de Janeiro, junto con la creación de cátedras de medicina tropical en las facultades de medicina de todos los países de la América Latina.

### BIBLIOGRAFÍA

1. ASH, J. E., y SPITZ, S. — « Pathology of Tropical Diseases ». Philadelphia, 1945.
2. BERKE, TH., y CASTENS, G. — « Temperatur und Feuchtigkeit der Schiffsluft ». *Ann. d. Hydr. Heft VI*. Juni, 1929.
3. BINET, LEÓN. — « Comment se défend l'organisme ». París, 1946.

4. BRAZOL, D. — « El Climograma Termodinámico ». Buenos Aires, 1949.
5. BRUNHES, JEAN. — « La Géographie Humaine ». París, 1947.
6. CARDENAL, L. — « Diccionario Terminológico de Ciencias Médicas ». Barcelona, 1945.
7. CASTELLANI, ALDO. — « Clima e Acclimazione ». Milano, 1933.
8. CASTENS, GERHARD. — « Tropische Temperaturhäufigkeits - Klimatologie Ostafrika ». *Ann. hydr. u. marit. Meteorol.*, 67. Hamburg, 1939
9. DUHOT, EMILE. — « Les climats et l'organisme humain ». París, 1948.
10. KNOCH, K. — « Handbuch der Klimatologie (W. Koppen y R. Geiger). Band II Südamerica. Berlín, 1939.
11. KNOCHE, W. — « Aequivalente Temperaturen in Südamerica ». *Gerland's Beitr.-z-Geophysik*, Band 35, 1932.
12. MORIZE, HENRIQUE. — « Contribução ao estudo do clima do Brasil ». Río de Janeiro, 1922.
13. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (DIVISION OF MEDICAL SCIENCES). — « A Manual of Tropical Medicine ». Philadelphia, 1945.
14. NAUCK, ERNST. — « Tropenmedizin und Parasitologie », Band 69. Wiesbaden, 1949.
15. PRICE, GRENFELL A. — « White Settlers in the Tropics ». New York, 1939.
16. U. S. A. HYDROGRAPHIC OFFICE. — « Weather summary. South America ». H. O. Pub. 527, 528, 529. Washington, 1945.

551.579.4 : 551.509.58(822)

## PRONÓSTICO DE LA FECHA DE CULMINACIÓN DE LAS CRECIENTES DEL RÍO PARANÁ

POR HILDA B. FESQUET \*

**Resumen.** — El presente artículo constituye el primer trabajo realizado para pronosticar el tiempo de traslación de crecientes en el río Paraná. Utilizando el método de correlación múltiple para 262 ondas de crecientes se ha llegado a determinar una fórmula para pronosticar el tiempo de traslación de Posadas a Paraná vinculando las alturas hidrométricas de iniciación y culminación de la onda en Posadas y las alturas hidrométricas en Corrientes, La Paz y Paraná, el día que culmina en Posadas. El resultado fué altamente satisfactorio, puesto que para el 95 % de los casos el error es de 5 días, en más o en menos, y para el 84 % de los casos, de sólo 3 días.

Analizadas las ondas para las cuales el pronóstico dió error, pudo encontrarse para todas ellas las causas que lo motivaron. Son generalmente lluvias producidas mientras se traslada la onda, factor que, por consiguiente, no puede hacerse intervenir en la ecuación pero que debe ser tenido en cuenta para la corrección posterior, al aplicar el pronóstico.

**Summary.** — This dissertation is the first study to predict the time of translation of the tide in the river Parana. Utilizing the method of multiple correlation for 262 waves of tide, a formula has been found to predict the time of translation from Posadas to Parana, entailing the hydrometrical heights of initiation and culmination of the wave at Posadas and the hydrometrical heights at Corrientes, La Paz and Paraná, the day to culminate at Posadas. The result was very satisfactory in as much as in 95 % of the cases the error was 5 days more or less, and in 84 % of the cases only 3 days. The causes of the error can be found in analysing the waves, where the pronostication took fail. The causes are generally rainfalls during the translation of the waves. This factor cannot intervene in the equation, but has to be considered at later correction for the use of the pronostication.

### I. INTRODUCCION

Dada la importancia y la utilidad que tiene el pronóstico de crecientes del río Paraná, para extensas zonas bajas de gran producción agrícola y ganadera, especialmente las regiones ribereñas de las provincias de Entre Ríos, Santa Fe, Corrientes y Chaco, el Departamento de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional está permanentemente empeñado en mejorarlo y perfeccionarlo, haciendo, dentro de sus posibilidades, las investigaciones y trabajos que tal estudio requiere.

Este artículo constituye el primer trabajo de pronóstico del Paraná que permite determinar en forma matemática el tiempo de traslación de las ondas de crecientes entre los puertos de Posadas y Paraná, primer paso para llegar a determinar, para cada onda de creciente y a lo largo del río, la permanencia de alturas superiores a una altura dada, a partir de la culminación.

A continuación se ofrece una somera descripción del río Paraná y su régimen hidrológico para pasar luego a la explicación del trabajo realizado y sus resultados.

\* Profesora en Matemáticas. Del Departamento de Hidrología del Servicio Meteorológico Nacional.

## II. BREVE DESCRIPCION DEL RIO PARANA

El río Paraná, que nace en las sierras costaneras del Brasil, originado por la confluencia de los ríos Grande y Paranahyba, después de recibir numerosos afluentes importantes como el Tieté, Iguazú y otros, al entrar en territorio argentino corre encajonado entre las barrancas altas de la meseta misionera; su cauce bien definido tiene frente a Candelaria, en Misiones, unos 800 m de ancho.

Poco aguas abajo de Posadas, el río sale de la meseta misionera, desaparecen las barrancas altas, aumenta su ancho y afloran islas muy extensas que le obligan a torcer su rumbo hacia el O.

Desde su confluencia con el Paraguay hasta Santa Fe, su anchura sigue aumentando; frente a Corrientes tiene 3 km y poco después alcanza a 8 km; sus riberas son muy distintas: la margen izquierda hasta Diamante es una barranca continua y bastante elevada; la margen derecha, en cambio, es baja y se inunda periódicamente.

A partir de la boca del Carcarañá surge la barranca de la pampa ondulada; el cauce del Paraná sufre dos desviaciones: una en la dirección Reconquista-Goya y otra en la de Santa Fe-Paraná.

Aguas abajo de Rosario, el Paraná inferior toma el rumbo SE, subdividiéndose en largos brazos que se dirigen hacia el E, formando el Delta.

El Delta, iniciado a la altura de Diamante, donde el río alcanza unos 7 km de ancho, tiene en su margen izquierda una serie de bañados e islas y en su margen derecha la zona baja al S de la laguna de Coronda. Los riachos desprendidos al S de Diamante van originando gran cantidad de arroyos y canales: a la altura de Villa Constitución se origina el Paraná-Pavón, brazo bastante importante que después de recibir el río Gualaguay cambia su nombre por el de Ibicuy. Entre estos y el río principal se extienden las islas Lechiguanas.

Aguas abajo de San Pedro, el brazo principal que se dirige hacia el E desprende a la derecha el río Baradero y más adelante el Paraná de las Palmas y el Paraná Guazú, que se bifurca a su vez originando el Paraná Miní y el Paraná Pavón, determinando una zona baja con numerosas islas, fácilmente inundables y, en consecuencia, de difícil acceso en épocas de crecientes.

## III. REGIMEN HIDROLOGICO DEL RIO PARANA

El aspecto y naturaleza tan distintos de las regiones por las que atraviesa el Paraná y sus afluentes, su clima diferente y la gran distancia que separa una de otras, explican el complicado y complejo régimen de este río.

En efecto: el Paraná tiene cuantioso caudal todo el año, con una creciente que en su curso superior se inicia en setiembre, se mantiene en noviembre y diciembre y culmina en febrero, para comenzar a disminuir lentamente desde marzo hasta agosto, que es el mes de menor caudal, según puede apreciarse en el gráfico de la variación anual de alturas hidrométricas en Pto. Guayra (Fig. 1) y en Pto. Iguazú (Fig. 2). Esta variación anual está motivada por las lluvias de tipo tropical que se

inician en setiembre en la cuenca de sus afluentes superiores y por las lluvias de la cuenca del Iguazú que, siendo más o menos permanentes

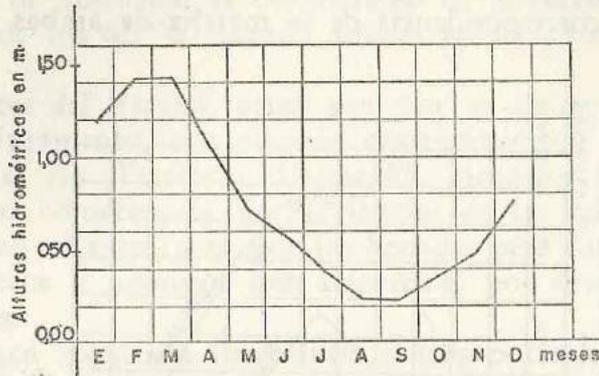


FIG. 1. — Variación anual de alturas hidrométricas en Puerto Guayra (Brasil), 1921-1954.

a través del año, presentan dos períodos de mayor precipitación: entre abril y junio uno y entre agosto y octubre el otro.

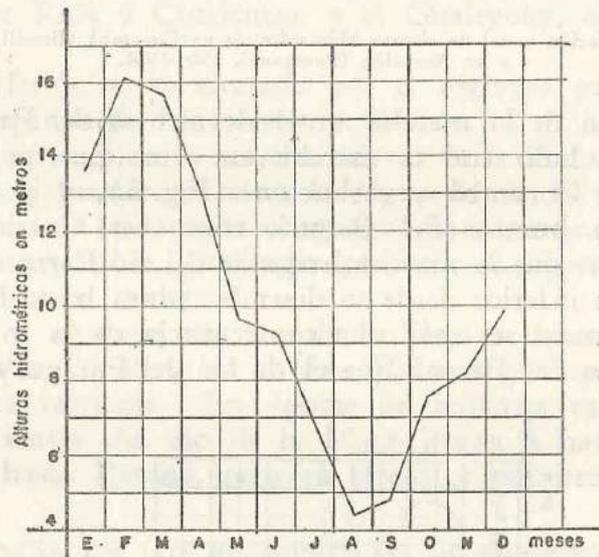


FIG. 2. — Variación anual de alturas hidrométricas en Puerto Iguazú (Misiones), 1914-1953.

El río Paraguay, afluente importante del Paraná, también está supereditado al régimen de lluvias tropicales, con una creciente que iniciada en diciembre o enero culmina en el mes de junio, según puede apreciarse en los gráficos de variación anual de alturas hidrométricas en Corumbá y en Asunción (Fig. 3).

La creciente del Paraguay se retrasa como consecuencia de la poca pendiente del terreno y de los esteros por los que atraviesa el río, que almacenan la casi totalidad de su caudal, de tal modo que la creciente no prospera aguas abajo, sino después que dichos esteros están colmados.

Por esta circunstancia la creciente del alto Paraná que llega al Paraná medio en octubre y culmina en febrero, inicia en marzo una bajante que se interrumpe en mayo por la llegada de la creciente del Paraguay — que culmina en junio — y por las lluvias subtropicales de la cuenca; la bajante posterior se mantiene hasta setiembre.

En la Fig. 4 se ha graficado la variación anual de las alturas hidrométricas en Pto. Bermejo y en Corrientes, el primero en el curso inferior del río Paraguay, y el segundo, en el curso medio del Paraná. Se advierte la total correspondencia de la marcha de ambas variaciones.

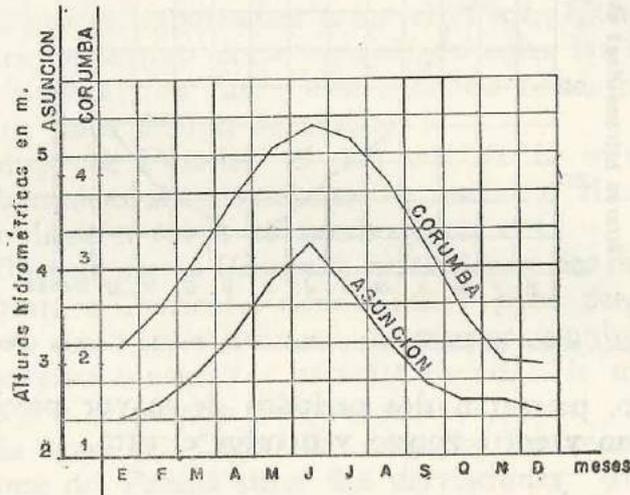


FIG. 3. — Variación anual de alturas hidrométricas en Corumbá (Brasil), 1917-1949, y en Asunción (Paraguay), 1904-1954.

La comparación de la marcha anual de alturas del Paraguay en Pto. Bermejo, por un lado con la marcha en otros puertos del río aguas arriba, como ser Corumbá y Asunción (Fig. 3), y por otro, con la marcha anual en puertos del Paraná, como ser Corrientes (Fig. 4), muestra claramente que la marcha irregular del río Paraguay, que se hace sentir en su curso inferior desde su desembocadura hasta Puerto Bermejo y aún hasta Formosa, es más una consecuencia de la influencia del ascenso de las aguas del Paraná que el de las del Paraguay.

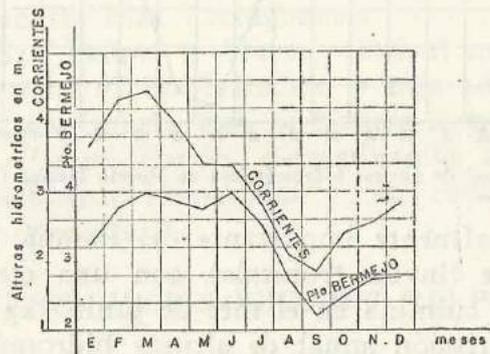


FIG. 4. — Variación anual de alturas hidrométricas en Puerto Bermejo, 1904-1954, y Corrientes, 1904-1954.

Por otra parte, los afluentes del Paraguay no tienen caudales de un volumen capaz de ejercer una marcada influencia en el régimen del Paraná medio e inferior.

Efectivamente, el Pilcomayo y el Bermejo, originados en las montañas andinas, tienen en su curso superior gran cantidad de afluentes y su régimen depende casi de modo exclusivo de las lluvias estivales; al entrar en la llanura chaqueña ya no reciben aportes, atraviesan una

zona de intensa evaporación, recorren un territorio de pendiente débil y suelo permeable en algunas partes. Como consecuencia, su caudal merma hasta el punto de amenazar la continuidad de la corriente para recuperarla más allá de los 60°W cuando entran en una zona de clima más húmedo.

Otros afluentes del Paraná, como son por su margen derecha el Salado-Pasaje o Juramento, con algunas semejanzas con el Bermejo y el Pilcomayo; y el río Tercero o Carcarañá, alcanzan su mayor caudal en verano como consecuencia de las lluvias de las respectivas cuencas, pero su efecto no se manifiesta por las grandes pérdidas a través de los terrenos muy secos y arenosos que atraviesan, por evaporación y utilización para riego.

Por su margen izquierda los afluentes mesopotámicos que recibe el Paraná son el desagüe de esteros que regulan la marcha de la corriente. Como más importantes pueden mencionarse: el río Santa Lucía, que desagua el estero del mismo nombre, el río Corrientes cuyos orígenes llegan hasta la zona de los esteros y la laguna Iberá, de la cual es emisario; el Guayquiraró que, con el Basualdo, sirven de límite a las provincias de Entre Ríos y Corrientes, y el Gualeguay, que desagua en el Paraná-Pavón.

El Paraná inferior se ve afectado por el régimen propio del Río de la Plata, que depende de las mareas y vientos.

Los vientos que regulan la marcha del río de la Plata, son el pampero y la sudestada; el primero arrastra las aguas hacia la ribera norte provocando inundaciones en la costa uruguaya; la segunda, por el contrario, inunda la costa argentina, pudiendo persistir su efecto durante varios días, especialmente en invierno.

Las bajantes y repuntes del río de la Plata se hacen sentir normalmente hasta Villa Constitución y San Pedro según que el Paraná esté en bajante o en creciente. En épocas de bajantes extraordinarias del Paraná, las crecientes del río de la Plata llegan a hacerse sentir hasta Rosario y aun hasta Paraná, pero su efecto es pasajero.

#### IV. IMPORTANCIA DE LOS PRONOSTICOS DE CRECIENTES DEL RIO PARANA

Por la naturaleza distinta del terreno, las riberas de muy diferente aspecto a lo largo del río, según se dijo al hablar de la descripción del mismo, hay zonas fácilmente inundables especialmente el NE de la provincia de Santa Fe, parte de las provincias de Corrientes, el Delta del Paraná y el S de Entre Ríos. Para esta última zona es para la cual el pronóstico tiene mayor importancia, a causa de la enorme cantidad de islas y numerosos cursos de agua que hacen sumamente difícil el traslado de las haciendas que allí existen.

De ahí la necesidad que el pronóstico sea lo más exacto posible en altura hidrométrica, pues debido a la escasa pendiente del terreno pocos centímetros de aumento extienden enormemente la zona afectada por la inundación, y que dicho pronóstico pueda darse con la mayor antelación posible.

Las investigaciones y trabajos realizados por el Departamento de Hi-

drometeorología hasta el momento permiten informar con poco menos de un mes de anticipación, y con una exactitud en altura tal que, para Rosario, en el 80 al 90 % de los casos no excede los 5 cm en más o en menos. Sin embargo, el trabajo de pronóstico no podrá considerarse completo hasta tanto no se consiga darlo:

1º) con una mayor anticipación, sobre la base de una posible correlación con las lluvias de su cuenca activa en Brasil.

2º) determinando la zona que va a afectar la inundación, para lo cual será necesario el levantamiento altimétrico de los campos y la correlación posterior entre las alturas hidrométricas de los distintos puertos con el área alcanzada por la inundación provocada por crecientes anteriores.

3º) la permanencia de alturas superiores a una altura determinada, próxima a la culminación de la onda de creciente en los puertos principales del río, ya que no sólo importa la altura que alcanzará el río sino también cuántos días se mantendrá la creciente en alturas próximas a la culminación, desde el momento que una altura hidrométrica no tan alta, mantenida durante un número de días muy prolongado, produce mayor perjuicio que una altura hidrométrica mayor pero de menor permanencia.

En efecto: la velocidad del agua en el curso del río es superior a la velocidad en los campos laterales, de modo que si la creciente es rápida, se extenderá algo lateralmente, pero mucho menos que si la creciente es de gran duración, pues esta última poco a poco se va desplazando lateralmente alcanzando grandes extensiones.

En el presente artículo se exponen los resultados obtenidos para determinar el tiempo de traslación de la onda de Posadas a Paraná.

## V DESCRIPCION DEL TRABAJO

Se comenzó por analizar todas las ondas de crecientes que llegan nítidas a Paraná, determinando para cada una de ellas: el número de días que perduró la creciente en Posadas; la altura hidrométrica de iniciación y de culminación de la onda en Posadas, como así también el tiempo que tardó la onda en trasladarse de Posadas a Paraná.

No se desechó ninguna onda de creciente cualquiera fuera su altura de culminación en Posadas y en Paraná como tampoco las que pudieran ser resultado de un estado anormal del río.

Se confeccionaron gráficos comparando: el tiempo de traslación de cada onda de crecientes de Posadas a Paraná con:

1º) el número de días de permanencia de la creciente en Posadas (Fig. 5).

2º) la altura hidrométrica de iniciación de la onda en Posadas (Fig. 6).

3º) la altura hidrométrica de culminación de la onda en Posadas (Fig. 7).

En los dos primeros gráficos se ve en forma clara que comparando separadamente esas dos series de valores no puede anticiparse ningún resultado.

En el tercer gráfico, aun cuando las dos series comparadas no dan un resultado satisfactorio, se observa una cierta correlación.

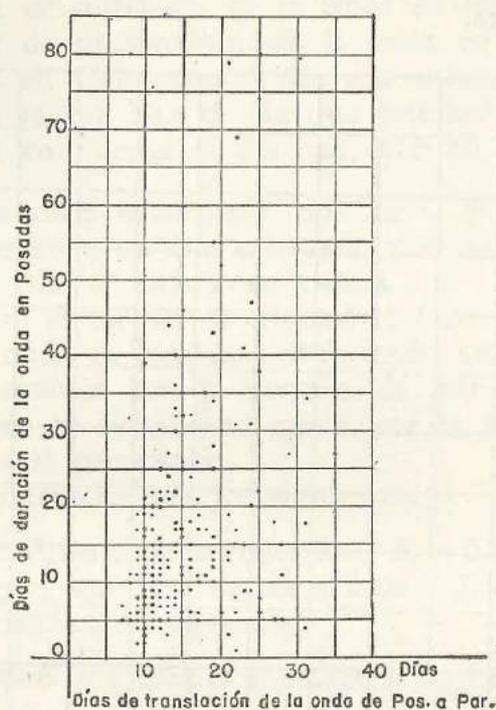


FIG. 5. — Gráfico comparativo del tiempo de traslación de cada onda de creciente de Posadas a Paraná con el número de días de permanencia de la creciente en Posadas.

Como de la comparación de dos series de valores en forma aislada no puede obtenerse ningún resultado aceptable, se calculó una correlación múltiple vinculando, además de los factores ya mencionados, la altura

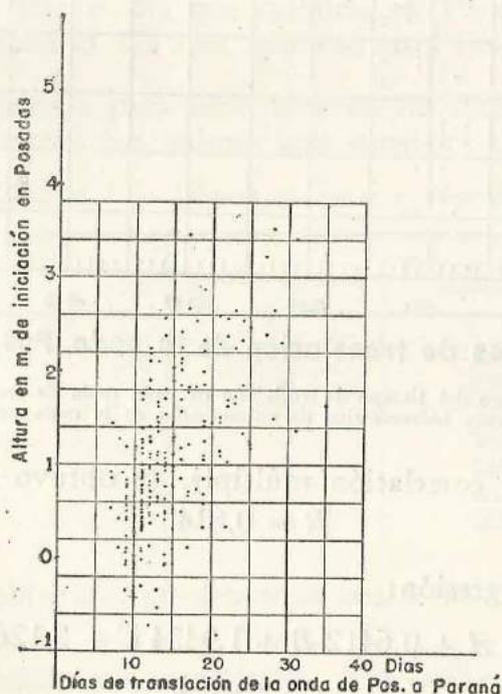


FIG. 6. Gráfico comparativo del tiempo de traslación de cada onda de creciente de Posadas a Paraná con la altura hidrométrica de la iniciación de la onda en Posadas.

del río en los puertos intermedios en el momento de producirse la culminación en el puerto llave, con un resultado satisfactorio y de notoria utilidad práctica.

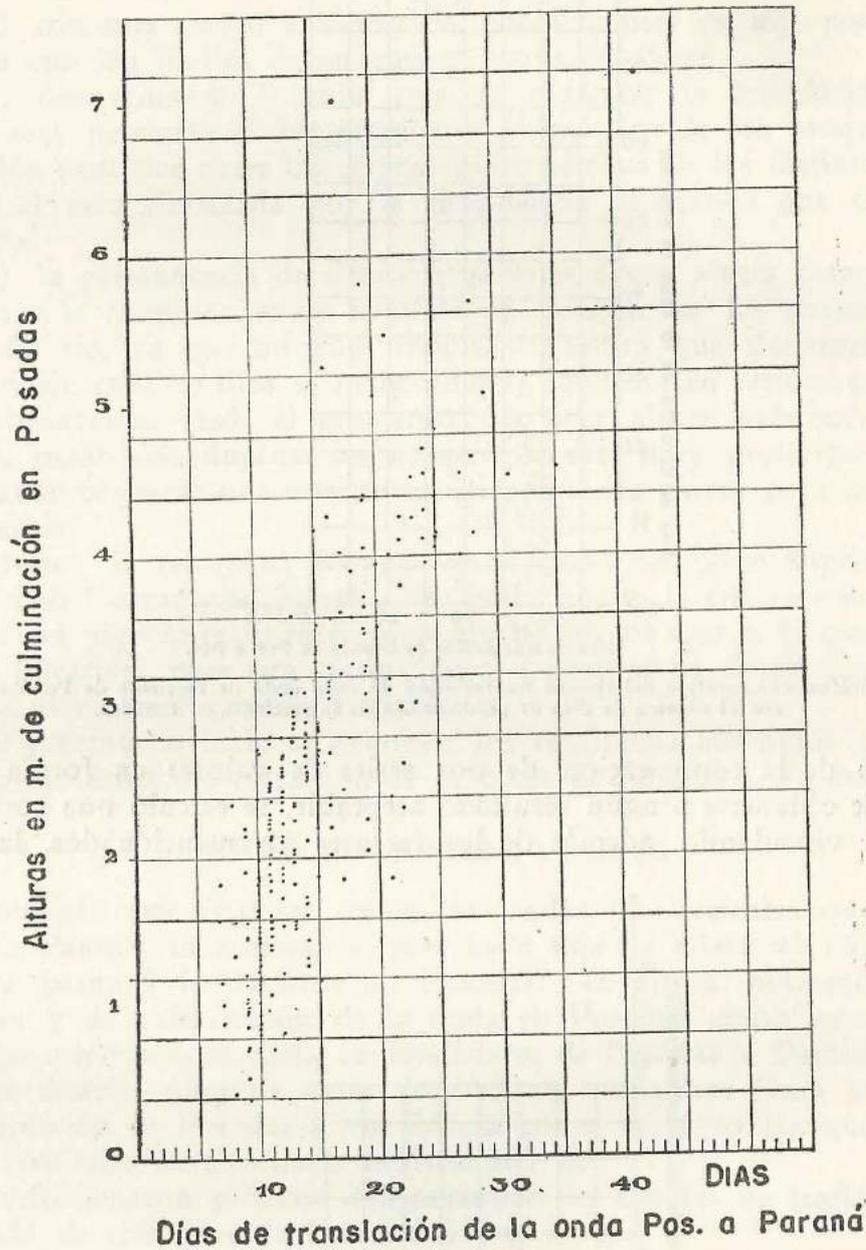


FIG. 7.—Gráfico comparativo del tiempo de traslación de cada onda de creciente de Posadas a Paraná con la altura hidrométrica de culminación de la onda en Posadas.

Del cálculo de la correlación múltiple, se obtuvo el coeficiente:

$$R = 0,814$$

y la ecuación de regresión:

$$Y = 4,98 + 0,0070 A + 0,6412 B + 1,9454 C + 2,1265 D - 1,8704 E + 1,3080 F$$

en la cual:

$Y$ , es el tiempo de traslación pronosticado de la onda de Posadas a Paraná.

$A$ , es el número de días de duración de la onda en Posadas.

$B$ , es la altura de iniciación de la onda en Posadas.

$C$ , es la altura de culminación de la onda en Posadas.

$D$ , es la altura en Corrientes el día que culminó en Posadas.

$E$ , es la altura en La Paz el día que culminó en Posadas.

$F$ , es la altura en Paraná el día que culminó en Posadas.

Su aplicación permitió determinar que en el 95 % de los casos la diferencia entre el número de días calculado y el número de días observado sólo era de 5 días en más o en menos.

Posteriormente, en el cálculo se eliminó el factor  $A$ , número de días de duración de la onda en Posadas, obteniendo un resultado tan satisfactorio como el anterior con la ventaja de que la aplicación de la ecuación de regresión se simplifica, razón por la cual se adoptará este último cálculo para el pronóstico.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Coefficiente de correlación:  $R = 0,814$

Error standard de estimación: 3 días

Ecuación de regresión:

$$Y = 4,95 + 0,5548 B + 1,4852 C + 2,1756 D - 1,8245 E + 1,2834 F$$

donde:

$Y$ , tiempo de traslación de la onda pronosticada de Posadas a Paraná.

$B$ , altura de iniciación de la onda en Posadas.

$C$ , altura de culminación de la onda en Posadas.

$D$ , altura en Corrientes el día que culminó en Posadas.

$E$ , altura en La Paz el día que culminó en Posadas.

$F$ , altura en Paraná el día que culminó en Posadas.

Aplicando la fórmula para cada una de las 262 ondas de crecientes analizadas se obtuvieron los valores que consigna el Cuadro I.

CUADRO I — Número de casos y porcentajes

Intervalo	Número de casos	Número de casos acumulado	Porcentaje acumulado
0- 1 día .....	116	116	44,27
2- 3 días .....	104	220	83,97
4- 5 » .....	29	249	95,04
6- 7 » .....	6	255	97,33
8- 9 » .....	3	258	98,47
10-11 » .....	2	260	99,24
12-13 » .....	2	262	100,00

Los resultados obtenidos pueden considerarse bastante satisfactorios ya que:

1º) El coeficiente de correlación,  $R = 0,814$ , es bastante significativo.

2°) En el 95 % de los casos la diferencia entre el número de días observado y el número de días calculado es de 5 días en más o en menos y en el 84 % sólo de 3 días.

A continuación se mencionan algunos casos para los cuales la diferencia entre el tiempo calculado y el observado es apreciable, analizándose las causas que han motivado esos errores de pronóstico.

1°) Onda que culminó en Posadas el 1-IV-1906, para la cual la fórmula dió una diferencia por exceso de 6 días.

En este caso, en los días próximos a la culminación en el puerto de Paraná se registraron las siguientes alturas hidrométricas:

25 de abril:	4,70 m
26 de abril:	4,70 m
27 de abril:	4,71 m
28 de abril:	4,71 m
29 de abril:	4,72 m
30 de abril:	4,72 m
1 de mayo:	4,70 m

Siendo tan pequeña la diferencia de alturas, la culminación pudo producirse con anterioridad al 29 de abril, ya que los errores propios de observación pueden superar la diferencia de 2 cm que se registra en las alturas, y en tal caso, la fórmula daría una diferencia mínima.

2°) Onda que culminó en Posadas el 9-I-1914, para la cual la fórmula dió un error por defecto de 5 días.

Análogamente a lo que ocurre con la onda anteriormente considerada, en los días próximos a la culminación en Paraná, las diferencias de alturas hidrométricas diarias son muy pequeñas, pues desde el 18 al 22 de enero, oscilan entre 0,86 m y 0,90 m.

3°) Onda que culminó en Posadas el 14-X-1934, para la cual la fórmula dió una diferencia por defecto de 5 días.

En este caso la altura de la culminación en Paraná fué muy baja (0,29 m) y hasta ese puerto se hizo sentir el efecto de un repunte extraordinario del río de la Plata registrado en los días inmediatamente anteriores a la culminación, que hizo crecer el río durante unos días más de lo que normalmente hubiera ocurrido.

4°) Onda que culminó en Posadas el 1-IV-1939, para la cual el pronóstico dió un error por defecto de 9 días.

En este caso, inmediatamente después de producirse esta onda de creciente se inició otra en su curso superior que culminó el 12 de abril con altura algo inferior a la primera. Cuando se producen dos ondas seguidas, el tiempo de traslación obtenido mediante la fórmula debe considerarse desde la fecha de culminación de la segunda onda en lugar de la primera. En este ejemplo, la primera onda culminó el 1 de abril, y la segunda, el 12 de abril, lo cual da una diferencia en menos de 11 días para el tiempo de traslación observado, y por consiguiente, contado el tiempo a partir de la segunda culminación el número de días calculado y el observado coinciden.

5º) Onda que culminó en Posadas el 10-1-1931, para la cual la fórmula dió una diferencia por defecto de 10 días.

La mayor permanencia de la onda de creciente observada en Paraná se debe a que en los días anteriores pero muy próximos a la culminación se produjeron lluvias de intensidad muy distinta a lo largo del río.

Según puede observarse en el mapa de lluvias de la Fig. 8, al norte de Esquina los totales son mucho menores que los que se registran al sur de ese puerto. Esta mayor cantidad de lluvia con centros superiores a los 200 mm ha prolongado la permanencia de la onda y ha hecho culminar el río en Paraná muchos días después de lo que hubiera ocurrido como consecuencia de la creciente normal.

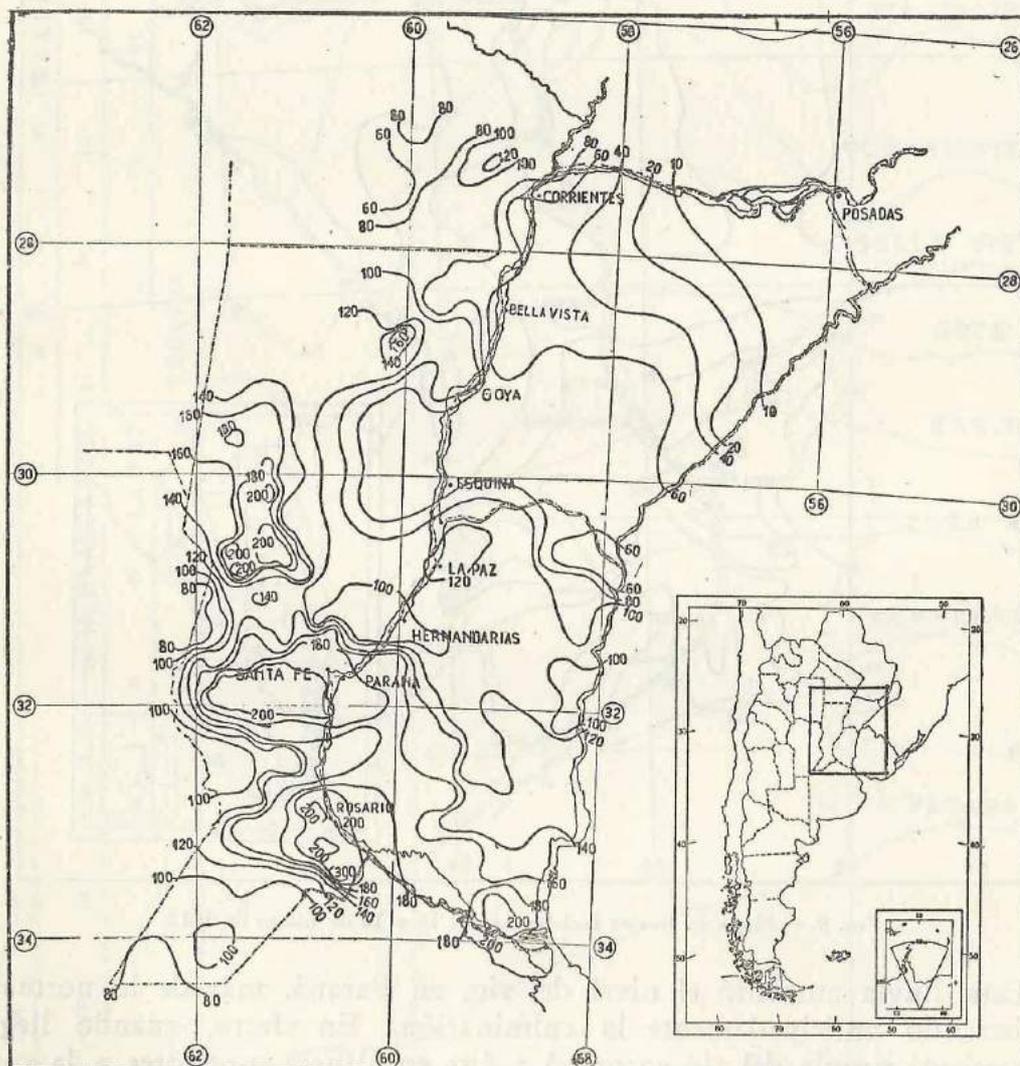


FIG. 8. — Mapa de lluvias registradas del 19 al 25 de de enero de 1931.

6º) Onda que culminó en Posadas el 5-V-1928, para la cual el pronóstico dió un error por defecto de 9 días.

También en este caso la lluvia caída en los días anteriores y muy próximos a la culminación en Paraná y de mayor intensidad en esa latitud ha hecho culminar el río varios días después de lo que hubiera ocurrido como consecuencia de la creciente normal.

7º) Onda que culminó en Posadas el 3-III-1912, para la cual el pronóstico dió un error por exceso de 9 días.

En este caso, es de hacer notar que unos días antes de la fecha pronosticada para la culminación se produjeron lluvias de relativa intensidad especialmente en la latitud de los puertos de La Paz y Paraná, según se consigna en Fig. 9.

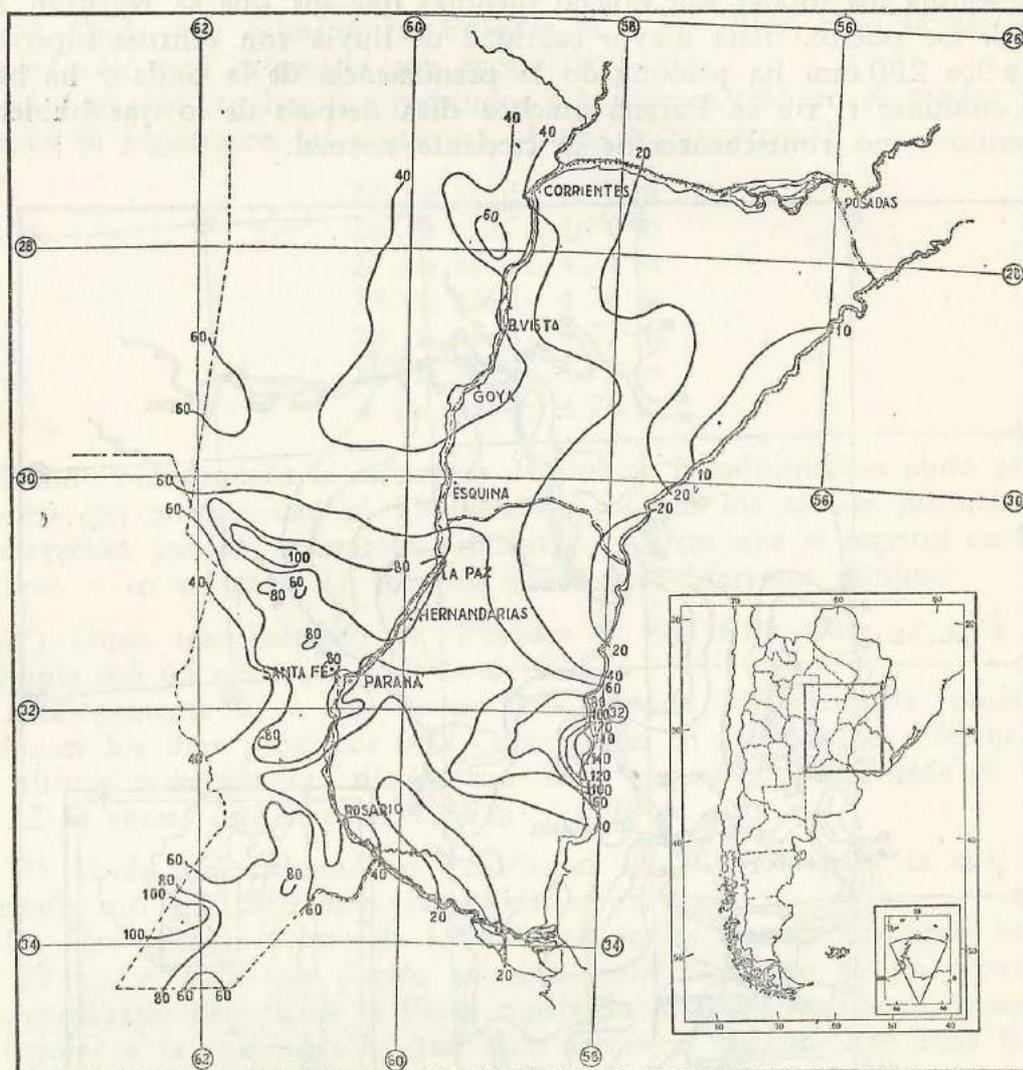


FIG. 9. — Mapa de lluvias registradas del 13 a 15 de marzo de 1912.

Esta lluvia aumentó el nivel del río, en Paraná, más de lo normal, registrando anticipadamente la culminación. En efecto, cuando llegó la creciente propia del río encontró a éste en alturas superiores a la que provocaría dicha creciente y el río continuó bajando.

8º) Onda que culminó en Posadas el 30-I-1926, para la cual el pronóstico dió un error por defecto de 12 días.

En este caso, al analizar la lluvia que provocó la creciente se observa que:

a) La cantidad total de lluvia caída desde la iniciación de la onda en Posadas hasta su culminación en Corrientes alcanzó valores que osci-

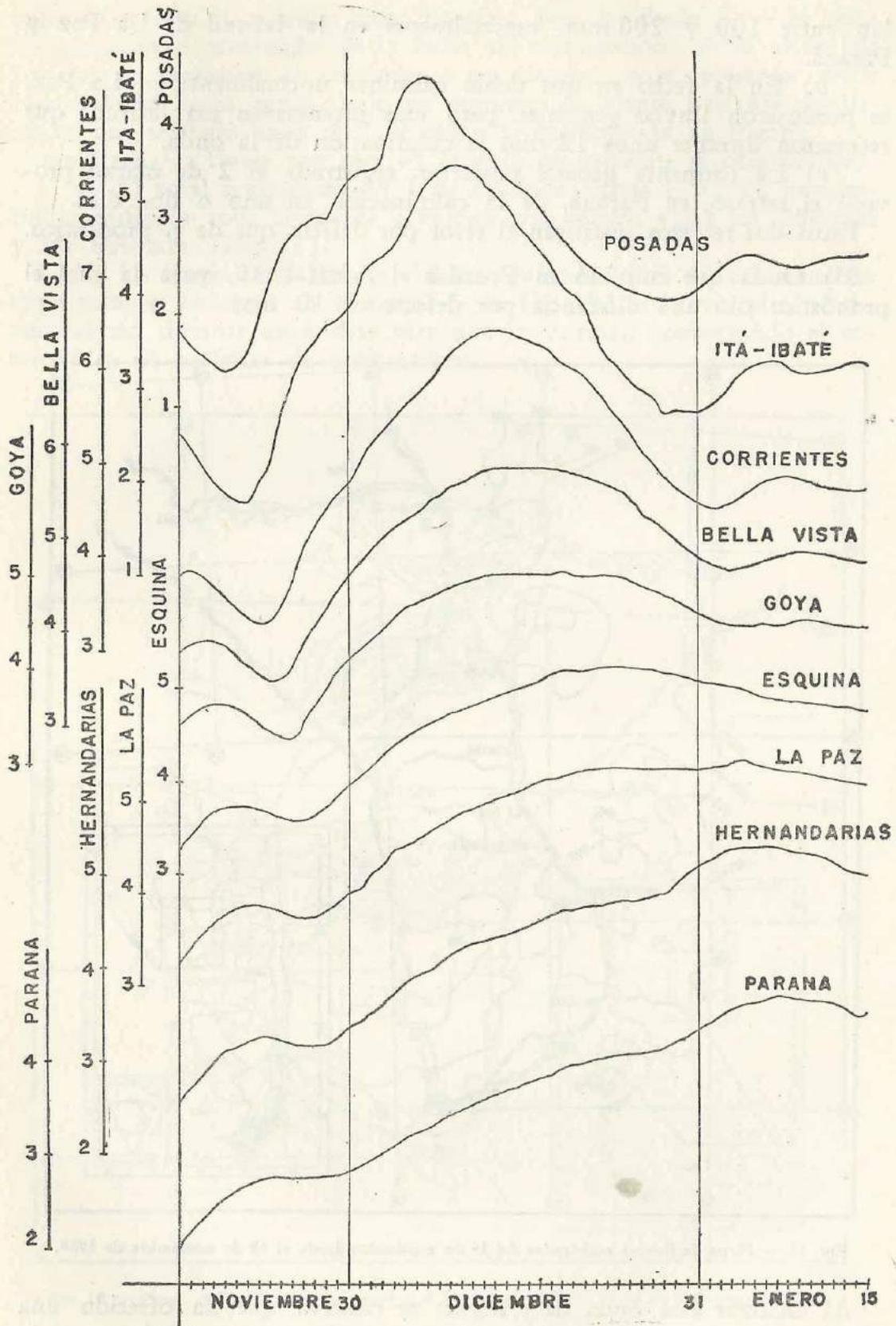


FIG. 10.

lan entre 100 y 200 mm, especialmente en la latitud de La Paz y Paraná.

b) En la fecha en que debió culminar normalmente en La Paz, se produjeron lluvias generales, pero más intensas en esa latitud, que retrasaron durante unos 12 días la culminación de la onda.

c) La tormenta general posterior, registrada el 2 de marzo provocó el retraso, en Paraná, de la culminación en uno o dos días.

Estos dos retrasos justifican el error por defecto que da el pronóstico.

9º) Onda que culminó en Posadas el 7-XII-1939, para la cual el pronóstico dió una diferencia por defecto de 10 días.

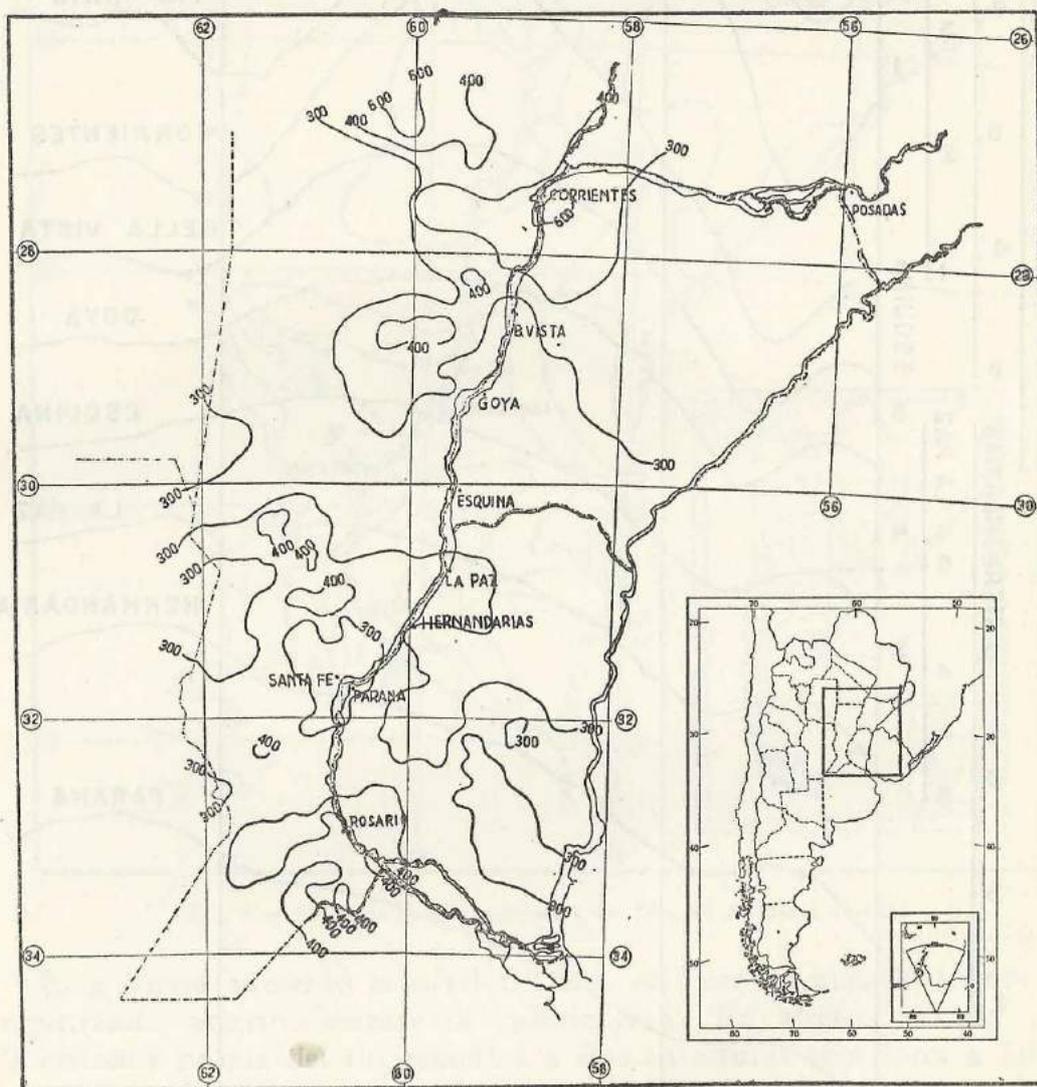


FIG. 11. — Mapa de lluvias registradas del 1º de septiembre hasta el 12 de noviembre de 1939.

Al analizar esta onda de creciente se observa que ha ofrecido una marcha completamente particular y que es la que se consigna en la Fig. 10. En efecto, en su curso superior hasta Corrientes mantiene una marcha normal; desde Bella Vista la onda tiende a aplanarse, pero perdurando aún la traslación normal de la fecha de culminación. Este

aplanamiento se hace sentir hasta Esquina, pero ya desde Goya se nota un corrimiento acentuado de la fecha de culminación. A la altura de La Paz se mantiene el corrimiento en tiempo, para presentar desde Hernandarias hacia aguas abajo un aumento de altura bastante significativo que trasladó hasta el 7 de enero la culminación en Paraná.

Analizada la lluvia que motivó la onda de creciente se observó que:

a) El total acumulado del 1 de setiembre hasta el 12 de noviembre ascendía en toda la cuenca a valores que oscilan entre los 250 mm y los 600 mm (Fig. 11).

b) La lluvia caída entre el 12 de noviembre y el 12 de diciembre cuyo total se consigna en el mapa de la Fig. 12, mantuvo alto el nivel del río durante unos días más que lo normal, comenzando el corrimiento de la fecha de culminación.

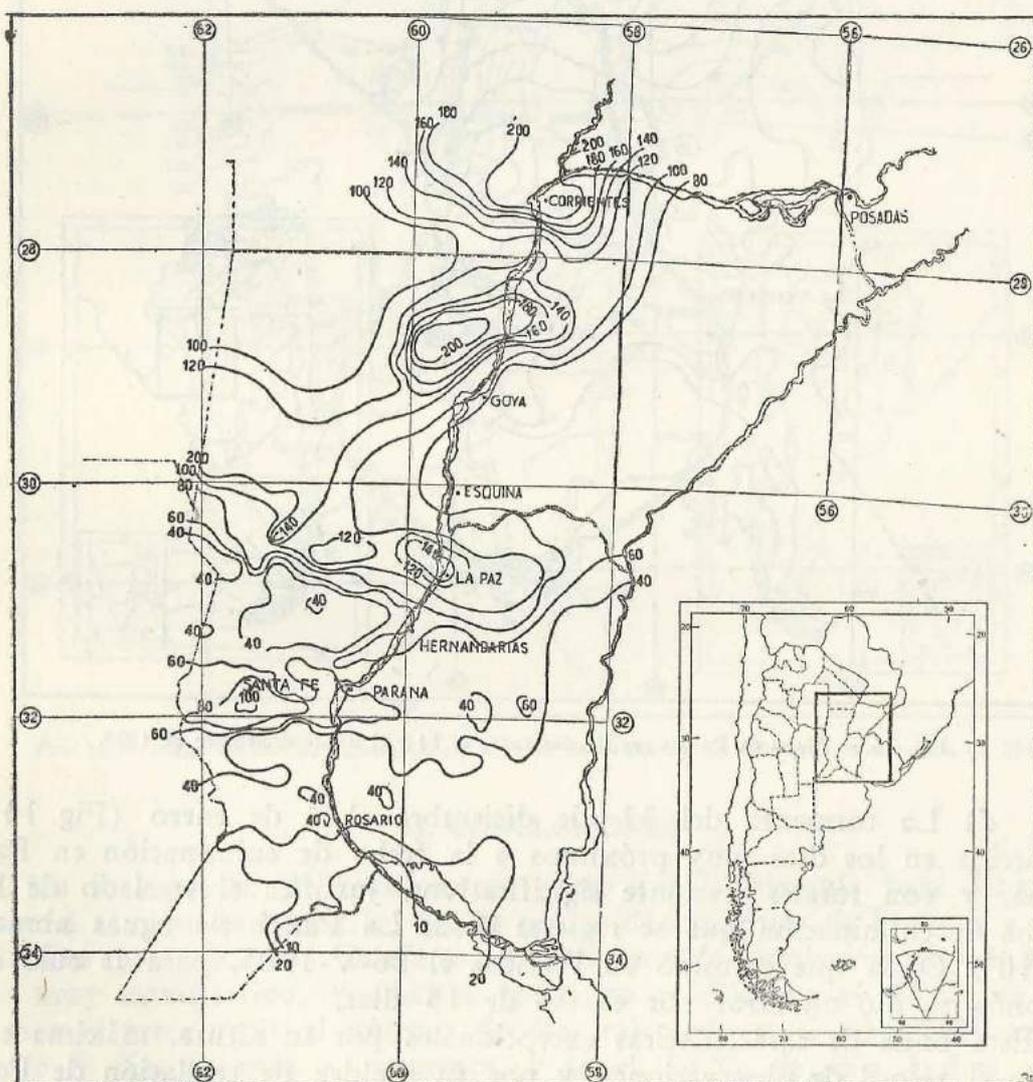


FIG. 12. — Mapa de lluvias registradas entre el 12 de noviembre y el 12 de diciembre de 1939.

c) La lluvia de intensidad variada caída entre el 14 y el 25 de diciembre (Fig. 13) con un centro de 100 mm frente a Hernandarias provocó el aumento en altura que se observa a partir de dicho puerto

hacia aguas abajo. Esta lluvia de relativa poca importancia ha producido un efecto grande por la gran cantidad de agua acumulada en toda la cuenca.

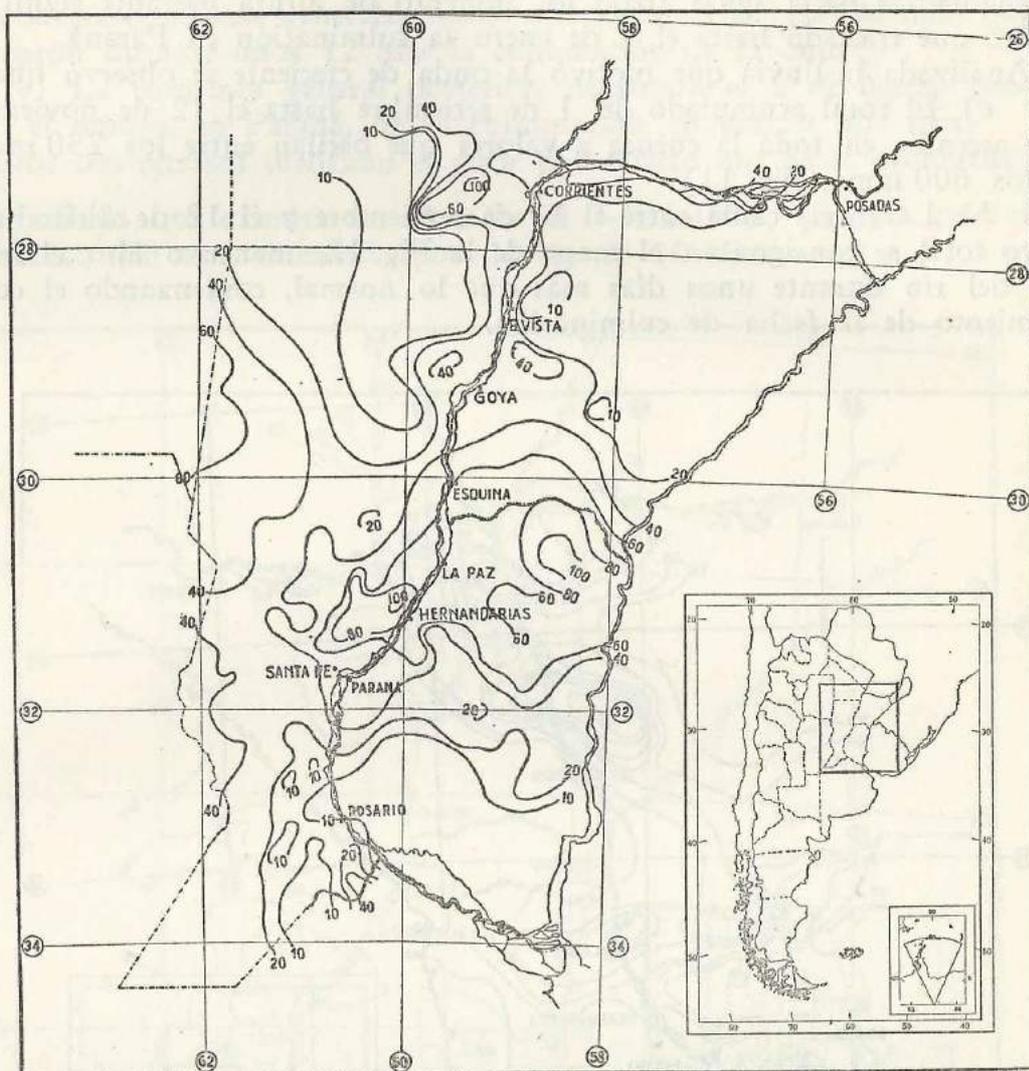


FIG. 13. — Mapa de lluvias registradas entre el 14 y el 25 de diciembre de 1939.

d) La tormenta del 31 de diciembre al 4 de enero (Fig. 14) ocurrida en los días muy próximos a la fecha de culminación en Paraná, y con totales bastante significativos, justifica el traslado de la fecha de culminación que se registra desde La Paz hacia aguas abajo.

10°) Onda que culminó en Posadas el 26-V-1905, para la cual el pronóstico dió un error por exceso de 13 días.

Esta onda de características excepcionales por su altura, máxima en todo el récord de observaciones, y por su rapidez de traslación de Posadas a Paraná (17 días), ya que cuanto mayor es la altura de la onda es dable esperar un mayor tiempo de traslación, se ha originado como consecuencia de un período de lluvias continuas y muy intensas con valores superiores a la normal correspondiente y que vinieron registrándose desde muchos meses antes de su culminación en Posadas.

El escaso número de estaciones meteorológicas existentes en esa época (1905). y la altura excepcional de la onda no hacen posible una comparación que permita justificar el error del pronóstico.

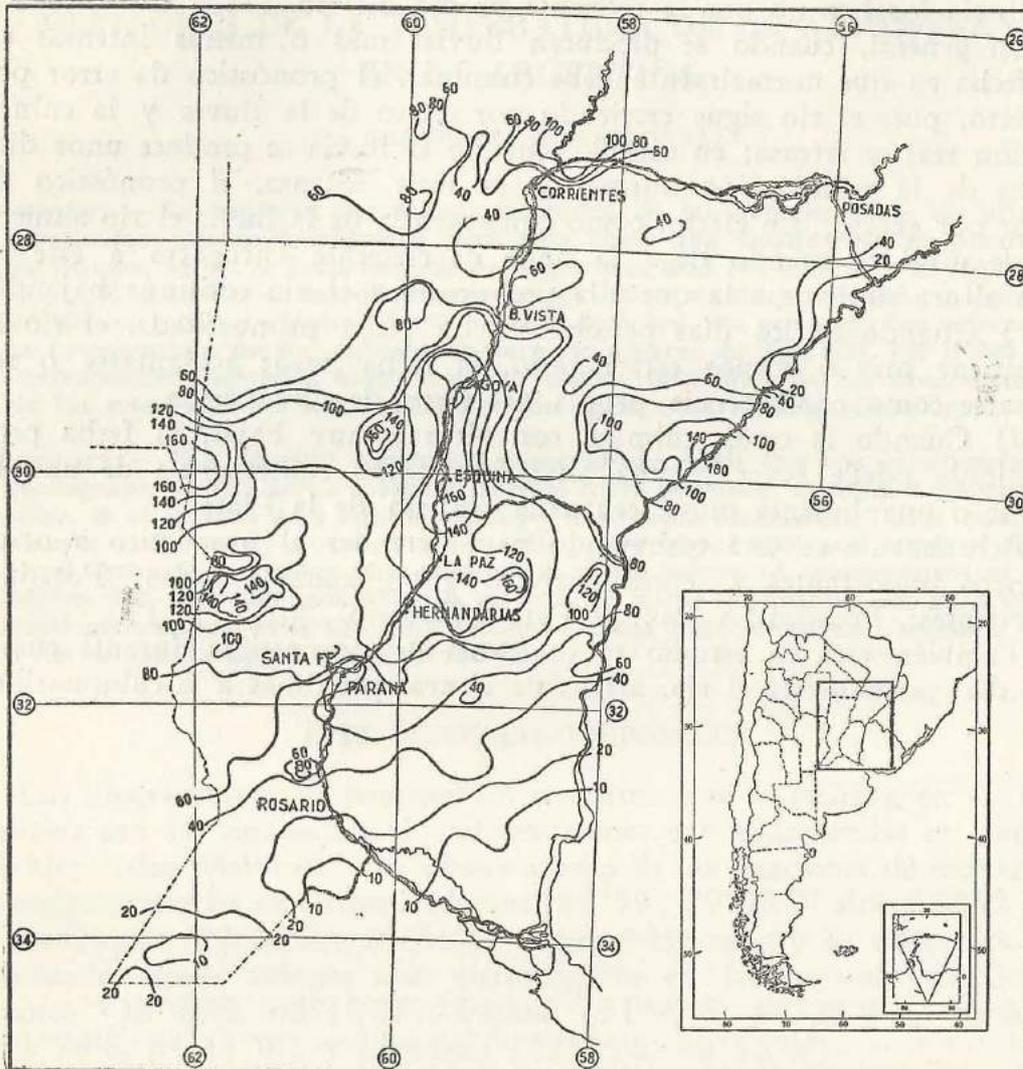


FIG. 14. — Mapa de lluvias registradas entre el 31 de diciembre de 1939 y el 4 de enero de 1940.

## VI. CONCLUSIONES

De lo expuesto precedentemente surge que la fórmula para determinar el tiempo de traslación de las ondas de crecientes de Posadas a Paraná es muy eficiente. En efecto, el coeficiente de correlación,  $R = 0,814$ , es muy significativo, y además, como ya se dijo, en el 95 % de los casos el error entre el número de días calculado y el observado es de sólo 5 días en más o en menos, y en el 84 %, de sólo 3 días.

Analizadas las ondas para las cuales el error es superior a los 5 días se ha encontrado en todos los casos su justificación, exceptuando la de 1905. Es de hacer notar que para estas mismas ondas el pronóstico de altura no da error apreciable.

En cuanto a la interpretación del pronóstico debe tenerse en cuenta:

a) Cuando se producen dos ondas de creciente, una a continuación

de otra, el número de días pronosticado debe contarse desde la culminación de la segunda aunque su altura sea inferior a la de la primera.

b) Si llueve en los días próximos a la fecha pronosticada, ésta puede anticiparse o postergarse unos días, pero como consecuencia de la lluvia local y no por la creciente propia del río.

En general, cuando se producen lluvias más o menos intensas en la fecha en que normalmente debe culminar, el pronóstico da error por defecto, pues el río sigue creciendo por efecto de la lluvia y la culminación real se retrasa; en cambio, cuando la lluvia se produce unos días antes de la culminación normal y es muy intensa, el pronóstico da error por exceso. En efecto, como consecuencia de la lluvia el río aumenta de nivel y cuando llega la onda de creciente encuentra a éste en una altura superior a la que ella provocaría y el río continúa bajando.

c) Cuando en los días próximos a la fecha pronosticada, el río se mantiene más o menos estacionario, la fecha puede adelantarse o retrasarse como consecuencia propia del error de observación.

d) Cuando la onda culmina con alturas muy bajas, la fecha pronosticada puede tener alguna alteración como consecuencia de un repunte o una bajante muy acentuada del río de la Plata.

Actualmente se está trabajando para extender el pronóstico a otros puertos importantes y representativos: Pto. Iguazú-Posadas; Posadas-Corrientes; Posadas-La Paz; y Paraná-Rosario.

También está en estudio el problema de pronosticar durante cuantos días permanecerá el río, arriba de alturas próximas a la culminación.



Fig. 1. - Mapa de la cuenca del río Paraná, con las principales ciudades y puertos de navegación.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de la evolución de las crecientes del río Paraná, en sus diferentes tramos, ha permitido establecer que el tiempo de tránsito de la onda de creciente desde su origen hasta su llegada a un punto determinado, es variable y depende de las condiciones físicas y geográficas de cada tramo. En consecuencia, el pronóstico de la fecha de llegada de la onda de creciente a un punto determinado, debe tener en cuenta no sólo el tiempo de tránsito, sino también el tiempo de permanencia del río en alturas superiores a la normal, lo que depende de las condiciones de lluvia y de la capacidad de almacenamiento del río.

El estudio de la evolución de las crecientes del río Paraná, en sus diferentes tramos, ha permitido establecer que el tiempo de tránsito de la onda de creciente desde su origen hasta su llegada a un punto determinado, es variable y depende de las condiciones físicas y geográficas de cada tramo. En consecuencia, el pronóstico de la fecha de llegada de la onda de creciente a un punto determinado, debe tener en cuenta no sólo el tiempo de tránsito, sino también el tiempo de permanencia del río en alturas superiores a la normal, lo que depende de las condiciones de lluvia y de la capacidad de almacenamiento del río.

551.524.7(82)

## VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA ATMÓSFERA EN LA ARGENTINA

POR KAZIMIERZ PIETRZYKOWSKI \*

**Resumen.** — Se analizan los datos existentes de las observaciones en altura, efectuadas con meteorógrafos para una zona que comprende la provincia de Buenos Aires, la zona central de Argentina, sud del Litoral y la región de Cuyo. El número de las observaciones en altura es muy reducido (alrededor de 600 en total) y algunos datos parecen dudosos; sin embargo los valores de la temperatura media, calculados para las alturas de 900, 800, 700 h 600 mb corresponden bastante bien con los valores obtenidos de las observaciones de las estaciones en la Cordillera y con otras observaciones de altura.

**Summary.** — The existing upper air observations with the use of aircraft meteorograph for the aerea covering Buenos Aires province, Central Argentinean zone, S of Litoral and region of Cuyo have been examined. These observations are of a very reduced number (altogether about 600) and some of them seem erroneous, whoever the calculated mean values of temperature at the heights 900, 800, 700 and 600 mb, as well as some deviations, are in a fairly good accordance with the data obtained from high mountain stations and other available upper air observations.

### 1. EL MATERIAL DISPONIBLE

Las observaciones de temperatura en altura que se realizan en la Argentina son las siguientes: 1) observaciones con radiosondas en Puerto Stanley, Islas Malvinas; 2) observaciones de las estaciones de montaña, principalmente las de Cristo Redentor ( $32^{\circ}50'$ ,  $70^{\circ}05'W$  altura 3832 m) y La Quiaca ( $22^{\circ}06'S$  y  $65^{\circ}36'W$  altura 3458 m); y 3) observaciones efectuadas desde aviones con meteorógrafo en las regiones de Bahía Blanca ( $38^{\circ}44'S$ ,  $62^{\circ}10'W$ ), Paraná ( $31^{\circ}47'S$ ,  $60^{\circ}29'W$ ), Córdoba ( $31^{\circ}24'S$ ,  $64^{\circ}11'W$ ) y Mendoza ( $32^{\circ}53'S$ ,  $68^{\circ}52'W$ ).

Los datos indicados son escasos y, excepto las observaciones con radiosondas de las Islas Malvinas, no tienen una continuidad suficiente. Especialmente las observaciones con los meteorógrafos no son muy representativas pues se han efectuado tan sólo en condiciones favorables para vuelo y con muchos intervalos, apreciablemente largos. Es necesario agregar que las observaciones con meteorógrafos padecen siempre de un error más o menos marcado, debido a la inercia instrumental, calentamiento del instrumental por insolación y, a veces también, por poca exacta calibración. La hora del ascenso del avión no se ha consignado siempre, pero de los datos se desprende que no se realizaba a una hora fija. Además, el número de las observaciones en altura es muy reducido, correspondiendo la cantidad mayor a las estaciones cordilleranas y luego a Port Stanley.

\* Licenciado en Matemáticas y Física. Universidad de Varsovia (Polonia). Meteorólogo Pronosticador del Servicio Meteorológico Nacional.

Para una comprobación, se tomaron en consideración los datos de otros países, principalmente del hemisferio norte.

Es evidente que con los datos existentes no es posible determinar los valores exactos de la temperatura en altura. Los resultados se pueden tratar únicamente como indicios generales, que seguramente en el futuro, con un número suficiente de buenas observaciones, variarán bastante.

## 2. CAUSAS DE LAS VARIACIONES DE LA TEMPERATURA EN ALTURA

Las variaciones de la temperatura en la atmósfera, son causadas principalmente por los siguientes factores: *a*) pasaje de masas de aire de distintas características térmicas (temperatura, humedad y el gradiente vertical); *b*) transformación de masas de aire; *c*) variación anual de la temperatura; *d*) variación diaria de la temperatura; y *e*) componente vertical de corriente en la masa del aire.

Con las observaciones de altura de las estaciones ya mencionadas, más las observaciones de radio-sondeos de islas argentinas (Antártida Argentina) y de Puerto Alegre en Brasil, que hace poco han comenzado a funcionar, junto con los informes de viento en altura, se puede, en una forma general, determinar los pasajes y la distribución de las masas de aire de distintas características térmicas.

Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que las observaciones de viento en altura realizadas con un globo piloto y un teodolito son poco exactas; el ascenso del globo piloto no es constante debido a las distintas componentes verticales de la corriente y variable gradiente vertical de la temperatura, y por ello, los valores calculados de dirección y fuerza del viento pueden diferir bastante de los verdaderos. Sean los vientos de altura exactos o no, siempre dan una idea de la situación sinóptica de altura; sin observaciones de viento, cuando el cielo está cubierto, la situación se hace mucho más difícil.

## 3. VARIACION ANUAL DE LA TEMPERATURA

Las temperaturas en varias alturas báricas de Port Stanley están ya publicadas. En general, se podrían tomar esos valores como representativos para la región de la Patagonia Sud, con excepción de la capa baja, donde la influencia de la Cordillera, la insolación y la irradiación nocturna alejan las temperaturas medias de las calculadas para Islas Malvinas.

Otra zona para la cual existen datos de altura, es la región comprendida entre Bahía Blanca, Paraná, Córdoba y Mendoza; es decir, la zona que abarca aproximadamente la provincia de Buenos Aires, sud del litoral, una parte de la zona central y la región de Cuyo. Como la diferencia en la latitud de las zonas mencionadas es relativamente reducida y los datos de altura de cada uno de los lugares citados por separado no son suficientes, se calcularon los valores medios para toda la zona. Probablemente los valores calculados corresponderían bastante bien al norte de Buenos Aires, sud de Córdoba y norte de la provincia de La Pampa. Resulta difícil deducir algo concreto para la región de Cuyo, donde la influencia de la Cordillera de los Andes es muy marcada.

Con los datos obtenidos con ascensos con meteorógrafos, se calcularon valores medios mensuales en niveles béricos de 1.000, 900, 800, 700 y 600 mb (Fig. 1).

Cabe consignar que la diferencia en los mismos días entre los datos de distintos lugares, alcanzaba un valor hasta de 10°, que se notó especialmente entre Paraná y Bahía Blanca; en general, por encima del nivel de 800 mb la temperatura estaba en Paraná de 2 a 6 grados más alta en condiciones sinópticas análogas. En las capas bajas, hasta 800 mb, la diferencia entre los valores calculados para todos los lugares es muy pequeña.

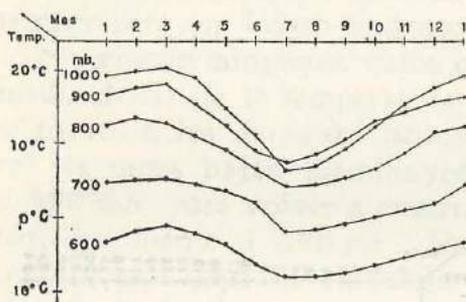


FIG. 1.

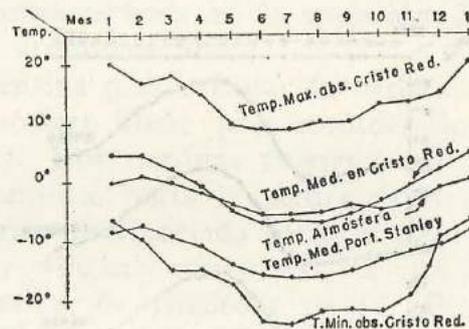


FIG. 2.

Es interesante destacar, que las curvas calculadas corresponden bastante bien a los valores medios de las Islas Malvinas, discrepando en promedio en unos 9 grados, debido, como es fácil imaginar, a la diferencia de la latitud.

Comparando las variaciones medias anuales de la temperatura de Cristo Redentor (Fig. 2), con las curvas calculadas de la temperatura de la atmósfera libre para la zona considerada en la misma altura, se nota una diferencia en amplitud debida a la insolación y fuerte irradiación invernal, aunque el valor medio anual deducido de datos observacionales de Cristo Redentor, coincide prácticamente con el valor medio calculado para atmósfera libre.

Los valores calculados se confrontaron con los pocos datos de radiosondeos en Puerto Alegre y, en general, concuerdan con ellos aunque las temperaturas en Puerto Alegre son más altas, estimando la diferencia media en 3-5 grados, por mayor persistencia del aire tropical. Probablemente las temperaturas medias de la atmósfera libre en Puerto Alegre difieren poco de las correspondientes al centro y norte del litoral argentino.

La desviación en los valores extremos de Cristo Redentor, corresponde bastante bien, para todas las capas entre 2 y 4 km de altura, pero los datos existentes son poco definidos, pues no hay mediciones en los casos de malas condiciones para vuelo.

#### 4. VARIACION DIARIA DE LA TEMPERATURA

En los últimos 20 años se han hecho varias investigaciones para determinar la variación diaria de la temperatura en la atmósfera libre. Todos los resultados indican en forma clara que existe esta variación

debida la absorción de la radiación solar y la irradiación por gases de la atmósfera, principalmente por ozono, aunque los valores medios calculados para esas variaciones tienen una diferencia numérica.

En la República Argentina no hay datos de la atmósfera libre en cantidad suficiente como para determinar la variación diaria. Los datos de las estaciones montañosas no son representativos para ese fin, pues por influencia de la superficie las temperaturas máxima y mínima tienen valores más acentuados que en la atmósfera libre. En consecuencia, se toman en consideración los datos de otros países, principalmente del Hemisferio Norte.

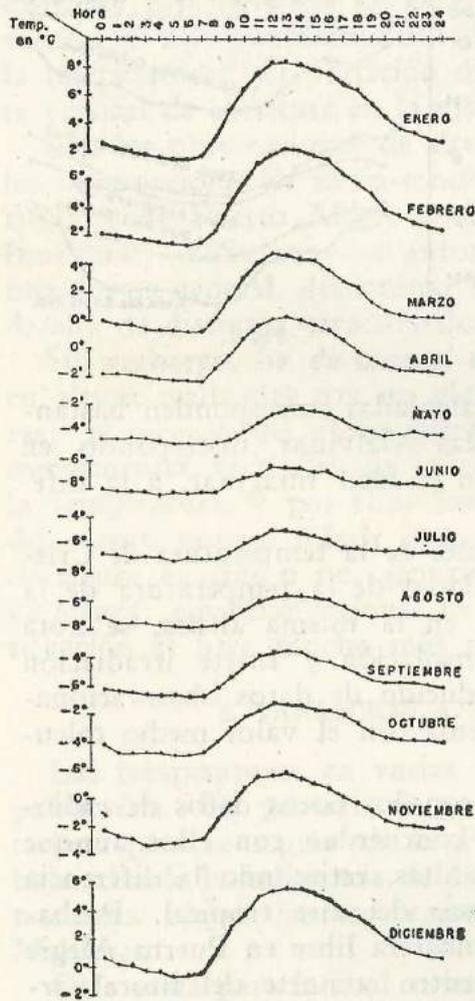


FIG. 3.

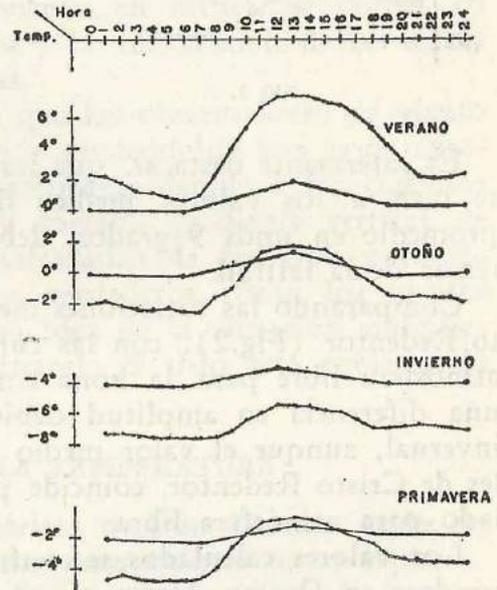


FIG. 4.

La variación media diaria en Cristo Redentor, calculada con las temperaturas horarias, está representada en la Fig. 3. Los valores se han completado con los de la estación chilena vecina. Con fin comparativo, se dibujan las curvas de variación media diaria calculadas para primavera, verano, otoño e invierno en el hemisferio norte, para la misma altura (Fig. 5). La amplitud en la atmósfera libre es de 1 a 2 grados, mientras que la amplitud de la variación media diaria en Cristo Redentor es poco mayor de 1°C en invierno, alcanzando hasta 6 ó 7 grados en verano. En condiciones favorables, es decir, con calma o poco viento

y cielo despejado, la amplitud diaria en Cristo, alcanza hasta 9 grados en invierno y hasta 15 grados en verano. Dejando de lado la amplitud, se nota en las curvas una coincidencia completa. En las dos curvas, el máximo corresponde entre las horas 12 y 13 y, a veces, aparece otro máximo pequeño alrededor de la hora 24; el mínimo corresponde a la 06 y frecuentemente otro mínimo ocurre alrededor de la hora 18.

Es notable la diferencia de la variación diaria durante el año. En promedio, la amplitud de la variación es bastante reducida durante el invierno, crece en forma rápida durante la primavera, alcanzando valores 3 ó 4 veces mayores en verano que en invierno, y disminuye en forma bastante brusca en otoño. Lo mismo se nota en la variación de temperatura en Cristo Redentor y en la atmósfera libre.

No existen ningunos datos en la Argentina para calcular la variación media diaria de la temperatura en la atmósfera libre; para considerarlos se tomaron los datos del hemisferio norte. Los cambios fuertes ocurren en las capas bajas, disminuyendo bruscamente hacia la altura de 850 u 800 mb, para volver a aumentar en forma pronunciada hasta la altura correspondiente a 600 mb. Entre 600 y 400 mb casi todos los datos indican una capa de variación casi constante, de alrededor de 3°. Por encima de la altura correspondiente a 400 mb y hasta 200 mb, la amplitud de variación diaria aumenta nuevamente, pero en forma suave; arriba de 220 mb, es decir, en la estratósfera, aumenta en forma más marcada, alcanzando un valor de alrededor de 7° en la altura de 50 mb.

Los datos de Estados Unidos indican valores algo más altos que los de otros países del hemisferio norte, y parecen ser más representativos para la República Argentina, especialmente para la zona considerada.

##### 5. LA ZONA ANDINA y N DE LA ARGENTINA

La región cuyana y toda la región andina tienen muy marcada variación de temperatura diaria, como así también anual, pero por falta de datos buenos no es posible calcular valores promedios.

Tampoco existen datos de la zona NE de la Argentina, pero parecería que los datos de Paraná, con una considerable corrección, junto con los valores de Puerto Alegre, podrían dar una determinación suficiente de la variación de temperatura en la atmósfera, para esta zona.

##### 6. LA ALTURA DE LA ISOTERMA DE 0°C

De cierto interés para la formación de precipitaciones, como también para el vuelo de aviones, es la altura a que se encuentra la isoterma de 0°C. Según los datos, se calculó esta altura para la zona de Buenos Aires, S del litoral y S de la zona central, y los valores obtenidos están representados en el gráfico de la Fig. 5.

Los datos de la época invernal son poco completos. Un máximo al fin del invierno parece muy dudoso. Como ya se ha mencionado anteriormente, se realizaron ascensos con meteorógrafos en esta época únicamente en situaciones anticiclónicas, con marcada subsidencia. Probablemente la altura media de la isoterma 0°C en invierno es bastante más baja que la calculada y la corrección, indicada por la línea de tra-

zos, parece razonable, como también los valores extremos bajos no son representativos.

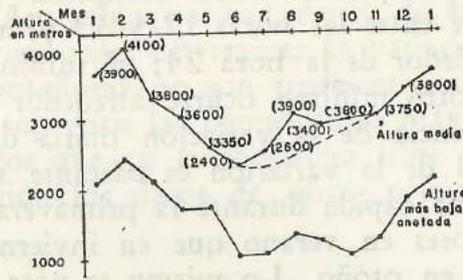


FIG. 5.

Los números entre paréntesis indican altura promedio de la isoterma de 0° en Paraná.

En general, la altura de la isoterma 0°C, es 500 a 1000 m más alta en Paraná que en la región de Bahía Blanca. Los valores medios calculados indican un máximo en verano (en febrero, alrededor de 4000 m), disminuyendo rápidamente en otoño y alcanzando en invierno un valor mínimo, que probablemente es más bajo y ocurre más tarde que lo indicado por el gráfico correspondiente.

No se tomó en cuenta la isoterma de 0°C cerca de la superficie en invierno, causada por irradiación nocturna.

7. CONCLUSION

Las consideraciones expuestas, indican que la variación de temperatura en la atmósfera libre tiene, en general, una amplitud menor que la de las estaciones meteorológicas de alta montaña. Por ello, cuando se usan los datos de una estación montañosa en lugar de las medidas directas con radiosondas, habría que hacer un reajuste de valores correspondientes a la hora y a la época del año.

ARTÍCULOS BREVES

551.557 : 551.524.7

## Una observación sobre el viento térmico

POR G. DEDEBANT \*

## I

Es bien conocido que existe en la escala sinóptica, entre la variación vertical del viento y el gradiente horizontal de temperatura, una importante relación, establecida teóricamente y bien verificada por la experiencia. El asunto es antiguo y no es seguro que la observación que nosotros hacemos sea totalmente nueva.

En la literatura meteorológica actual se designa por *viento térmico* la diferencia entre el viento geostrófico en altura y el suelo, que será (bajo ciertas hipótesis) tangente a las isotermas (significativas) al nivel del suelo. Se utiliza para deducir mediante un sondeo local de viento por globos pilotos, la distribución horizontal de las temperaturas, e inferir con ello la naturaleza de las masas de aire que rodean el punto de observación (aerología indirecta; método denominado de las hodógrafas).

Nos proponemos volver sobre los fundamentos teóricos de la relación que sirve de base a estas inducciones.

## II

Según J. H. STEWART<sup>1</sup>, partiendo de la forma compacta de las ecuaciones del viento geostrófico:

$$u + iv = i \frac{RT}{\lambda} \left( \frac{\partial}{\partial x} \log P + i \frac{\partial}{\partial y} \log P \right)$$

y utilizando la ecuación hidrostática:

$$\frac{\partial}{\partial z} \log P = - \frac{g}{RT}$$

Se llega a la fórmula siguiente:

$$u + iv = (u_0 + iv_0) \frac{T}{T_0} + i \frac{g}{\lambda} \int_{z_0}^z \frac{1}{T^2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} + i \frac{\partial T}{\partial y} \right) dz \quad [1]$$

\* Ancien élève de l'Ecole Polytechnique (France). Asesor Técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

<sup>1</sup> Handbook of Meteorology; Berry, Bollay, Beers. Sect. IV, p. 440.

La demostración de J. H. STEWART puede por otro lado ser abreviada poniendo ya la ecuación hidrodinámica bajo la forma integral:

$$\log. \frac{P}{P_0} = -\frac{g}{R} \int_{z_0}^z \frac{dz}{T}$$

de donde

$$\left( \Pi \text{ operador} = \frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

$$\Pi (\log. P/P_0) = g/R \int_{z_0}^z \frac{1}{T^2} \Pi (T) dz$$

lo que da inmediatamente la fórmula [1].

El autor referido formula en seguida la siguiente hipótesis: "Si la temperatura no varía con la altura, esta ecuación puede ser muy simplemente evaluada, puesto que el gradiente horizontal de temperatura es también, en este caso, independiente de la altura".

De donde:

$$u + iv = (u_0 + iv_0) + \underbrace{\frac{igz}{\lambda T_0} \left( \frac{\partial T_0}{\partial x} + i \frac{\partial T_0}{\partial y} \right)}_{\text{Viento térmico}} \quad [2]$$

### III

Claro está que si se dispone de un sondeo de temperatura, la ecuación estaría resuelta exactamente. Pero en ausencia de ello, parecería sorprendente que se le sustituya la isoterma que, en la troposfera, no se emplea nunca para un estrato, aun de poco espesor.

Ensayemos, entonces, la hipótesis más natural del decrecimiento lineal con la altura:

$$T = T_0 - \beta z.$$

Entonces:

$$\Pi (\log. P/P_0) = g/R \Pi \left[ \frac{1}{\beta} \log. \left( 1 - \frac{\beta z}{T_0} \right) \right].$$

Si se supone  $\beta$  independiente de  $(x, y)$  lo cual sería el caso en el seno de una misma masa de aire, se tiene:

$$\Pi \log. (P/P_0) = g/R \frac{1}{T T_0} \Pi (T_0).$$

De donde:

$$(u + iv) - (u_0 + iv_0) = -\frac{\beta z}{T_0} (u_0 + iv_0) + \frac{igz}{\lambda T_0} \Pi (T_0). \quad [3]$$

El viento térmico no será exactamente

$$(u + iv) - (u_0 + iv_0)$$

pero

$$(u + iv) - \left(1 - \frac{\beta z}{T_0}\right) (u_0 + iv_0).$$

La diferencia no es muy grande en la práctica.

Pero se puede dar un resultado aún más general. Si se supone que  $\beta$  depende de  $(x, y)$ , y en la medida donde es legítimo introducir aproximaciones al interior de  $\Pi$  se puede reducir

$$\log. \left(1 - \frac{\beta z}{T_0}\right) \bar{a} - \frac{\beta z}{T_0};$$

y se obtiene:

$$\frac{T_0}{T} (u + iv) - (u_0 + iv_0) = \frac{igz}{\lambda T_0} \Pi(T_0)$$

lo que se puede reducir aún aproximadamente a la fórmula [1].

Así, esta fórmula se encuentra justificada por condiciones más próximas a la realidad que la isoterma vertical.

#### IV

De la ecuación del viento térmico, se puede deducir un criterio de la turbulencia sinóptica. Nosotros hemos establecido por otra parte, que la turbulencia mecánica, en la escala sinóptica, se establece en capas de aire politrópico, perteneciente a la atmósfera libre, cuando:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}\right)^2} \geq \gamma_c \text{ (crítico)}$$

$\gamma_c$  representa el valor:

$$\gamma_c = 0,245 \sqrt{g/H} \approx 0,85 \text{ m/seg/100 m.}$$

$H$  = altura de la atmósfera homogénea.

Este criterio puede ser transformado en otro, llevando sobre el gradiente horizontal de temperatura:

$$\beta_{xy} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_0}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_0}{\partial y}\right)^2}.$$

Se obtiene:

$$(\beta_{xy}) \text{ crít.} = 2,2 \times 10^{-8} \sqrt{T_0} \text{ sen } \varphi.$$

En las latitudes templadas:

$$(\beta_{xy}) \text{ crít.} = 2,5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ Km.}$$

Este valor es de un orden razonable (5 veces el valor medio del gradiente de la circulación general).

Si se aplican estas consideraciones a la escala de la circulación general, e imaginando los "ciclones" como la *turbulencia de esta escala*, se advierte que las regiones del globo favorables a su formación son, o bien la zona ecuatorial ( $\varphi = 0$ ;  $\beta_{xy}$  crít. = 0), o bien, las áreas geográficas sobre las que pueden establecer habitualmente fuertes contrastes de temperatura.

## NOTAS Y COMENTARIOS

**Congreso mundial sobre utilización de energía solar. (World symposium on applied solar energy).**—En esta concurrida reunión a la que asistieron hombres de ciencia e industriales de todas partes del mundo, se discutieron exhaustivamente los últimos avances y posibilidades en el campo de la utilización práctica de la energía solar. La reunión fué posible gracias a la acción combinada de la "Association for Applied Solar Energy", la Universidad de Arizona y el "Stanford Research Institute", y su carácter mundial fué logrado mediante la ayuda financiera de varias academias e institutos nacionales y fundaciones privadas de los EE. UU. y también de la Organización Educativa, Científica y Cultural de las Naciones Unidas.

Los dos primeros días del Symposium se dedicaron, en Tucson (Arizona), a una intensa revisión teórica de los procesos susceptibles de ser utilizados para aprovechamiento directo de la energía solar. Así, la "Conference on the use of solar energy, the scientific basis", como se la llamó, después de una sesión común introductoria en la que se estudió el espectro solar y la transmisión de la energía a través de la atmósfera, se dividió en tres grupos a saber: Sección A: Procesos térmicos; Sección B: Procesos fotoquímicos, y Sección C: Procesos fotoeléctricos.

La primera Sección fué necesario dividirla en dos subsecciones, la I, donde se discutieron problemas de mejoramiento de diseños de colectores planos, y la II, donde se trataron las cuestiones relativas a los colectores focales y sus aplicaciones. Por la tarde de ese primer día, ambas subsecciones trataron en común los problemas de la calefacción solar y del calentamiento de agua para uso doméstico. Al otro día por la mañana se completó el estudio de las cuestiones presentadas en esta extensa sección al considerarse los problemas de la destilación solar y de la obtención de potencia directamente aprovechable.

La Sección B, dedicada a los procesos fotoquímicos, consideró "in extenso" los problemas teóricos y prácticos concernientes a la fotoquímica de sistemas no bioló-

gicos y de las plantas superiores, incluyéndose también el cultivo en gran escala de las algas y su fisiología.

La Sección C dedicó sus esfuerzos a la consideración de los avances producidos en el campo de los efectos termoelectrónicos y fotoeléctricos.

La 2a. parte del Symposium transcurrió en Phoenix (Arizona), y su objetivo fué la amplia discusión entre hombres de ciencia e industriales de las posibilidades inmediatas y futuras de la aplicación de la energía solar en los diferentes campos de la técnica. Luego de una interesante introducción general sobre la economía de la energía solar, se consideraron, punto por punto, mediante previas exposiciones por especialistas seguidas por libre discusión general final, las principales aplicaciones en su doble aspecto teórico y práctico, poniendo por supuesto más énfasis en la utilización inmediata. Los temas principales tratados fueron: máquinas solares, hornos de altas temperaturas, destiladores solares, energía mecánica mediante energía solar, usos residenciales de la energía solar, calefacción solar, enfriamiento mediante energía solar, calentadores solares de agua, el problema arquitectónico de los colectores solares, más alimentos mediante energía solar, las algas como convertidores de energía, cultivo de *Chlorella* para alimento y alimentación, técnicas de cultivo de algas, utilización de la energía solar por las plantas superiores, conversión directa de la energía solar, conversión de la energía solar a energía química, y electricidad por medio del sol.

El último día por la noche, en una discusión de "mesa redonda" en presencia de todos los delegados, se consideró el tema "El futuro de la utilización de la energía solar".

De este Congreso se publicarán próximamente los "Proceedings", que estarán al alcance de quien los solicite en el "Stanford Research Institute", Menlo Park Cal. U. S. A. Dos libros indudablemente de importancia para quien se interese en el asunto son: "Solar energy research", excelente síntesis preparada por Farrington Daniels y John A. Duffie, The University of

Wisconsin Press, Madison, Wis., U.S.A., 1955, y "A Directory of World Activities and Bibliography of Significant Literature", editado por la "Association for Applied Solar Energy", Phoenix, Arizona, U.S.A., 1955.

Una interesante exhibición de aplicaciones solares, incluyendo diversos tipos de colectores, cocinas y hornos, calentadores de agua y sistemas de calefacción y acondicionamiento de aire, hornos de alta temperatura, diversos tipos de máquinas, refrigeradores, destiladores, convertidores fotovoltaicos, procesos fotosintéticos acelerados, procedimientos para mejorar el microclima de radiación y aun aparatos e instrumentos de medida de la radiación solar, fué preparada en Phoenix y permaneció abierta durante el transcurso del Symposium, haciéndose demostraciones de funcionamiento y explicándose los diversos principios de trabajo. Doce países intervinieron en esta muestra.

*Consideraciones generales.* — Las contribuciones presentadas a este Congreso y las discusiones habidas permitieron una excelente revisión de las posibilidades teóricas de la utilización directa de la energía solar, de las dificultades y problemas técnicos y de las cuestiones económicas conexas.

En el campo de los *procesos térmicos*, dos de los trabajos más interesantes fueron propuestos por la delegación israelí, al ponerse de manifiesto por una parte la posibilidad de producir superficies colectoras de baja reflectividad para longitudes de onda menores de 2 micrones, y de alta reflectividad, y por lo tanto de baja emisividad, para ondas de más de 2 micrones, alcanzándose así una temperatura mucho mayor cuando se hallan expuestas a la radiación solar. Estas superficies selectivas se logran mediante tratamientos químicos y electrolíticos especiales.

Se puede asimismo, por otra parte, mediante la aplicación de principios ópticos atrapar la radiación solar más eficientemente, aprovechando la característica de que la insolación es sustancialmente una radiación de rayos paralelos, mientras la irradiación térmica de las superficies planas es hemisférica. Utilizando vidrios acanalados que trabajan como lentes cilíndricas, y metalizando la segunda plancha de vidrio dejando discontinuidades por donde se introduce la radiación solar, la irradiación térmica es atrapada en forma mucho más efectiva<sup>1</sup>.

La "performance" de cualquier tipo de estos colectores planos no focales puede apreciarse rápidamente, o a la inversa calcular el tamaño adecuado de los mismos

para la aplicación que se desea mediante un método propuesto por Hottel y Whillier<sup>2</sup>.

En lo que respecta a una de las aplicaciones más simples de estos colectores, — los calentadores de agua para uso doméstico — es interesante destacar el caso de Japón, donde a pesar de disponerse de una heliofania absoluta relativamente baja comparada con otros países, el costo del combustible es tan alto que se hace económicamente posible utilizar la radiación solar. Están actualmente en uso alrededor de 30.000 unidades, en general de 2 a 4 m<sup>2</sup> de superficie receptora, y este número aumenta rápidamente. Cada casa japonesa ahorra así de 1,5 a 2 ton de combustible por año, además de tiempo y trabajo. Suponiendo que en un millón de casas japonesas se usara la energía solar para calentar agua, se ahorrarían de 1,5 a 2 millones de ton. de combustible por año<sup>3</sup>.

Estos calentadores solares se utilizan también en Israel con un área de colector de 3 m<sup>2</sup> y un tanque de 200 l, siendo adecuados para las necesidades de un hogar medio durante todo el año, con una temperatura de trabajo de alrededor de 52°C<sup>4</sup>. En Florida (EE. UU.) ya en 1951 funcionaban alrededor de 50.000 unidades de calentamiento solar, desde unidades pequeñas de 250 l hasta adecuadas para grandes edificios de departamentos, de 3785 l.

En destiladores solares, el uso de plásticos ha sido experimentado en diversos países, ganando en simplicidad y con rendimientos comparables al destilador convencional de planchas de vidrio. Por medio de estos nuevos destiladores, que utilizan un simple género de toalla o ropón negro incluido entre dos láminas de plástico de alta transmisividad para la radiación solar, se puede producir agua potable a partir de agua de mar por una suma de alrededor de 68 cts de dólar por cada mil galones (3785 l)<sup>5-6</sup>. Al respecto, Wilson hace notar que en Australia existen grandes superficies con buen alimento y clima que no se prestan a la explotación de la oveja porque el agua del subsuelo es demasiado salina, pudiéndose habilitar para el bebedero mediante la instalación de baterías de destiladores solares<sup>7</sup>. El trabajo de estos destiladores, que pueden prestar ya importantes servicios en la producción de agua potable en lugares áridos donde la energía es cara y escasa, puede aún visualizarse así desempeñando papel de fundamental importancia en problemas tan interesantes como la habilitación a la explotación agrícola y ganadera de regiones

desérticas por falta de agua de baja salinidad<sup>6</sup>.

A pesar de haberse hecho ensayos muy interesantes en diversos países, la calefacción doméstica, y en general el control térmico de las casas utilizando sólo la energía solar representa por ahora una inversión de capital muy grande. Por otra parte, se hace cada día más urgente la necesidad de que arquitectos y proyectistas posean un conocimiento más acabado del clima de radiación y de la forma de aprovecharlo de la manera más conveniente. Es muy recomendable a este respecto el libro producido por el Mass. Inst. of Techn. "Space Heating with Solar Energy", trabajo fundamental para quien quiera iniciarse en estos problemas<sup>8</sup>. Un aparato muy interesante presentado en el Congreso, el Horizontoscopio, permite, mediante un método orto-gráfico, la determinación de los distintos efectos de luz y sombra sobre los edificios, según su orientación y demás características, así como el cálculo de las cargas de radiación para las distintas horas del día. Las aplicaciones de este aparato se extienden, como es obvio, al campo de la Microclimatología<sup>9</sup>.

En cocinas solares se han presentado algunos modelos originales, constituidos por una superficie parabólica reflectora de plástico aluminizado, cubierta o no por otro plástico transparente que, cubriendo en forma de globo permite concentrar más el calor. Otro modelo interesante es un estacionario de suelo-cemento utilizable durante un determinado período del día. Por otra parte, las potencialidades para la preservación de alimentos por medio de un simple sistema de refrigeración operado enteramente por energía solar proveniente de un pequeño reflector parabólico (utilizable también para cocinar) son en verdad atrayentes.

En hornos solares de altas temperaturas se ha presentado la novedad de un tipo a lentes convergentes que se utiliza en el "California Inst. of Techn." para tratamiento de materiales refractarios, fusión de minerales y operaciones metalúrgicas. Según Trombe<sup>10</sup> los hornos solares no son más caros que los arcos eléctricos de la misma potencia, esperándose que muchos hornos solares se han de construir en el futuro inmediato debido a la demanda industrial de materiales para altas temperaturas. Entre otras, la gigantesca planta de aviones "Convair" de Los Angeles, tiene en operación un horno solar con un espejo parabólico de aluminio de 3 m de diámetro para pruebas con metales y cerámicas (3000 a 3300°C).

En máquinas solares simples, la fábrica "Somor" de Italia construye modelos operados con colectores planos en los que circula  $SO_2$ , asegurándose 6 % de eficiencia en diversos tipos desde 0,7 a 3,5 HP. En el tipo exhibido en Phoenix la máquina operaba un equipo de bombeo para riego, utilizándose parte del agua extraída para la refrigeración del circuito cerrado de  $SO_2$ .

Como bomba de energía solar para riego podría experimentarse también la termobomba de Kleen, que, para grandes volúmenes y baja presión, es más barata de construir aunque de un mayor volumen físico. Puede hacerse silenciosa, no tiene pistones ni vibraciones, y su eficiencia varía entre 5 y 10 %<sup>11</sup>.

En máquinas a base de reflectores parabólicos, Abbot espera llegar a una eficiencia del 20 % con el nuevo modelo que está construyendo de alrededor de 2 Kw, con espejo cilíndrico<sup>12</sup>.

Indudablemente, la Sección que encontró más interés fué la que se ocupó de los procesos fotoeléctricos, debido en especial a los desarrollos logrados en los laboratorios de la "Bell Teleph. Co.". En la muestra pudieron observarse radiotransmisores y receptores accionados por las baterías solares, el cuadro de células solares usado actualmente por la compañía en una línea telefónica experimental en Georgia, ventiladores y aun juguetes movidos por energía fotoeléctrica. En estas células de Si se ha logrado ya alcanzar prácticamente el máximo de eficiencia técnica posible, llegándose al 11 %, lo que en otras palabras significa que si recibimos en un momento dado 1 Kw de energía solar por metro cuadrado, las células de Si nos rinden 110 w de energía eléctrica<sup>13</sup>.

La sensibilidad de la célula está situada en la gama de las radiaciones visibles, con un máximo en 0,7 micrones. Más allá de 1,1 micrones la célula no reacciona, ya que los fotones de esa longitud de onda poseen el máximo de energía necesario. Se experimenta con otros semiconductores (entre otros  $InP$ ,  $CaAs$  y  $CdTe$ ) con el objeto de lograr mayor potencia eléctrica. Se ha propuesto también aprovechar mejor la energía de las diferentes bandas espectrales mediante finas láminas de diversos semiconductores, cada uno con su mayor sensibilidad en distintas gamas de longitud de onda. Aplicando esta idea a una batería de varias láminas podría lograrse tal vez doblar el rendimiento actual de las células solares<sup>14</sup>. Por otra parte, si se pudiera utilizar el exceso de energía fotónica no convertida en electrici-

dad, probablemente disipada como calor, se alcanzarían asimismo eficiencias mayores.

No conviene olvidar que este nuevo y espectacular avance en células fotoeléctricas es tan sólo al presente un diseño experimental, y al costo actual (25 dólar por célula de 1,5 pulgada de diámetro) únicamente admite aplicaciones muy especiales. Sin embargo, representantes de compañías consagradas en el ramo esperan una baja en el precio de las células de  $\frac{1}{25}$  a  $\frac{1}{300}$ .

En los efectos termoeléctricos y foto galvánicos no se han registrado novedades de interés.

En cuanto a los *procesos fotoquímicos* no biológicos, se concentra cada vez más interés en la descomposición del agua en sus dos componentes, fenómeno que ocurre entre otros casos de óxido-reducción fotocatalítica cuando suficiente luz ultravioleta es absorbida por percloratos céricos y cerosos en una solución acuosa diluida de ácido perclórico. Tales gases pueden ser envasados para ser utilizados cuando convenga, o bien, como en la batería de Bacon, pueden recombinarse liberando energía en forma de un potencial eléctrico. Esta última posibilidad no está limitada por el ciclo de Carnot y se cumple con una eficiencia del 85-90 %<sup>15</sup>. Por ahora, la descomposición fotoquímica del agua es de una eficiencia muy baja, pero hay buenas razones para creer que podrán lograrse mejores rendimientos mediante sensibilizadores, llegándose eventualmente así a un proceso de importancia económica.

Como la fotosíntesis clorofiliana es un *proceso fotoquímico biológico* íntimamente relacionado con trascendentales problemas, como la urgencia de hallar más y mejores alimentos para el hombre y los animales y la disponibilidad de más combustible, se busca la manera, por un lado, de reproducir el proceso artificialmente, in vitro, y por el otro, dar con el organismo y las condiciones óptimas que aseguren el máximo rendimiento natural del proceso.

Sí bien mucho se ha avanzado en el conocimiento del complejo proceso clorofiliano, mucho es lo que aún se ignora, y sólo se ha logrado reproducir el mecanismo artificialmente en presencia de cloroplastos aislados de sus células madres<sup>16</sup>.

Ultimamente, se ha concentrado mucha atención en el cultivo de las algas unicelulares, visualizándose a las mismas como máquinas movidas por la luz cuyo propósito esencial es la producción de más maquinaria celular, la que puede orientarse hacia la producción de combustible, alimentos o sustancias orgánicas especiales. El uso de las algas como combustible no

parece recomendable por el alto porcentaje de agua de las células frescas y su también alto contenido de proteína. En cambio, su uso como alimento es enteramente razonable, ya que además de contener alrededor de 50 % de proteínas, y un 5 % de clorofila, es rico en vitaminas. Finalmente, su uso como agente productor de sustancias orgánicas de alto valor en el mercado puede ser comercialmente conveniente en muchos casos<sup>17</sup>.

Tanto para la producción de alimentos como de combustible, las plantas superiores parecen ofrecer más posibilidades prácticas que las inferiores, salvo condiciones geográficas o demográficas particulares, o problemas especiales como la recuperación o tratamiento de desperdicios, basuras o desechos domésticos e industriales<sup>18</sup>.

En el futuro inmediato, la principal esperanza de alimentar al globo reside en mejorar la producción de las actuales plantas alimenticias, ya sea por las vías genética o ambiental. Es necesario pensar que en producción de alimentos estamos sólo 3 ó 4 años adelantados con respecto a la población. Una sola pérdida de cosecha en un gran país productor terminaría con el problema de los excedentes de trigo mundiales<sup>18</sup>.

Tal vez una de las más fructíferas vías de ataque al problema de la mejor utilización biológica de la energía solar reside en la investigación fundamental de dos fenómenos bien conocidos pero aun poco comprendidos, el de las mutaciones y el del vigor híbrido, los cuales han sido factores importantes en la evolución del maíz y de otras plantas cultivadas hasta su actual nivel de rendimientos<sup>19</sup>. El profesor Mangelsdorf ha dado un interesante ejemplo de ganancias moderadas de rendimiento por hibridación, las que se multiplicaron varias veces por el uso de fertilizante apropiado. El mismo fertilizante no pudo mejorar el rendimiento de las plantas originales, lo que indicaría que las ganancias no sólo se debían a un mejor transporte y asimilación de los nutrientes del suelo sino a un aumento apreciable en la eficiencia fotosintética<sup>16</sup>.

Por otra parte, controles artificiales del microclima pueden determinar grandes aumentos del rendimiento. El doctor Went estima factible una producción de 360 Ton/Ha de remolachas si se lograran controlar las temperaturas diurnas. Tal cosecha tendría por lo menos 16 % de azúcar, lo que no desmerecería ante los mejores pronósticos de cultivo masal forzado de algas, y tal vez no fuera tan caro<sup>16</sup>.

Aun cuando el cultivo de algas es inte-

resante y digno de consideración, su uso comercial como un suplemento alimenticio puede estar más lejano que grandes mejoramientos de los procesos fotosintéticos en las plantas ahora usadas extensivamente como alimentos. En cambio, el uso de organismos autótrofos inferiores en la conversión de nitrógeno elemental a nitrógeno orgánico es uno de los métodos más directos de utilizar la energía solar para aumentar los suministros de N utilizables en alimentación. El N fijado por ciertas algas azul-verdes como la *Anabaena cylindrica* es aprovechado por los cultivos de arroz, habiéndose constatado aumentos sustanciales de rendimiento en campos inoculados con el organismo<sup>20</sup>.

Un saldo interesante del Congreso a este respecto es la respetable cantidad de trabajos de fisiología y técnicas de cultivo de algas presentados, en especial con referencia al género *Chlorella*.

*Consideraciones económicas.* — Dentro del problema energético general, en el que por un lado se acerca el momento de la escasez de los combustibles fósiles y su inevitable encarecimiento, y por el otro han aparecido las grandes perspectivas de la energía atómica, la utilización de la energía solar parece llamada a desempeñar un papel en el que se perfilan cada vez vez más sus campos y limitaciones.

Así, en lo que se refiere a la energía atómica, tanto la masa crítica de uranio, los complejos controles de protección necesarios y la disposición de los desechos radioactivos son todas razones en contra de las unidades atómicas pequeñas. Se piensa en unidades de cientos de miles de Kw y aun mayores, con alguna consideración en unidades de 5000 Kw para propósitos especiales<sup>22</sup>.

Contrariamente a la energía atómica la energía solar no tiene masa crítica, no es un peligro para la salud ni origina productos de desecho que haya que eliminar. Pero requiere un área de recolección respetable por Kw, debido a su baja densidad, y es discontinua.

El uso extensivo de la energía solar comenzará así probablemente con pequeñas unidades que costarán mucho menos que las atómicas, y que se usarán principalmente en áreas rurales, no industrializadas.

El problema de la posibilidad y conveniencia del uso de la energía solar puede reducirse en general a tres criterios: 1) Ahorro de combustible capaz de producir energía a altas temperaturas en todos aquellos procesos donde son suficientes bajas temperaturas (calentamiento de agua para uso doméstico e industrial, se-

cado de productos agrícolas, cocinas y hornos solares, calefacción y refrigeración de casas, etc.); 2) Uso de energía solar a temperaturas medias para producción de potencia aun con bajos rendimientos, donde el combustible es escaso o caro, o el transporte difícil, en todas aquellas zonas donde la radiación solar es la única fuente de energía disponible; 3) Aplicaciones especiales en el campo de las altas temperaturas y en Micro y Agroclimatología.

Los criterios 1 y 3 se aplican tanto a los países desarrollados como no desarrollados, y en particular para el progreso de las zonas áridas y semiáridas es más prudente comparar las máquinas solares con trabajo humano o animal que con las máquinas a combustible comunes<sup>(21)</sup>. En sistemas de conversión solar-mecánicos el costo de inversión, la simplicidad, facilidad de operación y mantenimiento son mucho más importantes que una alta eficiencia.

Una característica común a los equipos solares y a los hidroeléctricos es el alto costo de inversión junto a un bajo costo de operación. Un calefón o una bomba solares acusan siempre un costo de inversión superior a los equipos similares convencionales, pero si duran lo suficiente pueden llegar a ser más económicos. Según Hobson, el costo de un calefón solar para un hogar medio de los EE.UU. es de alrededor de 300 dól. mientras que los convencionales pueden conseguirse por 100-125 dól. Una bomba de agua solar de colector plano podrá instalarse tal vez por 100 dól. por HP, mientras que una bomba ordinaria a nafta cuesta de 50 a 100 dól. por HP<sup>(23)</sup>. Recuérdese, sin embargo, a este respecto que en Florida (EE.UU.) se usa el calefón solar extensivamente a pesar de los altos jornales y de los bajos precios del gas y de la electricidad. Es que aquí interviene por lo menos otro factor importante, el bajo costo de los materiales. *En general, los equipos solares tendrán oportunidad de ser usados extensivamente en aquellas zonas donde los altos costos de los combustibles comunes se combinen con materiales de bajo precio y mano de obra barata.* Un sistema de financiación bancaria y premios puede también ser un factor de importancia en aquellos países donde el ahorro de divisas —de otra manera aplicadas a la obtención de combustibles fósiles— sea una determinante económica esencial. La utilización extensiva de equipos en los cuales se hace uso de la energía eólica o de la energía solar depende muchas veces de un adecuado estímulo financiero.

Para un futuro inmediato, las aplicaciones

que parecen más obvias y factibles para la energía solar son el calentamiento de agua para uso doméstico, equipos de bombeo de agua para uso doméstico y para riego, refrigeradoras, cocinas y destiladores. Los equipos especiales de laboratorio y semi-industriales en el campo de las altas temperaturas son ya una realidad que parece tener amplio porvenir. En el campo común de la Micro y Agroclimatología, la obtención de balances térmicos y de ciclos termo y fotoperiódicos más favorables a las potencialidades fisiológicas de las plantas señala un objetivo de considerable interés. Las otras aplicaciones dentro de los procesos térmicos no parecen ofrecer por ahora un horizonte inmediato.

Es evidente que las mayores esperanzas para un uso más extendido y eficiente de la energía solar residen en los futuros desarrollos en la técnica de los procesos fotoquímicos y fotoeléctricos. — FÉLIX ALBANI.

## BIBLIOGRAFIA

1. TABOR, H. — Selective radiation. I. Wavelength discrimination. II. Wavefront discrimination. *Bull. Res. Council. Israel*, Sect. A, vol. 5 A. Number 2, January 1956, Jerusalem.
2. HOTTEL, H. C. and A. WHILLIER. — Evaluation of flat-plate solar-collector performance. *Solar Energy-Conversion Res. Proj. Publ. No 53*. Mass. Inst. Techn. Cambridge, Mass. U.S.A. 1955.
3. TANISHITA, I. — Present status of solar water heaters in Japan. *Mechanic. Engin.*, Keio University, Mita, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japan, 1955.
4. YISSAR, L. F. — Design considerations of factory-made solar water heaters. Holon, Israel, 1955.
5. LAPPALA, R. and J. BJORKSTEN. — Development of plastics solar stills for use in the large scale low cost demineralization of saline waters by solar evaporation. Bjorksten Res. Lab. Madison, Wis. U. S. A. 1955.
6. TELKES, M. — Solar stills. Res. Div. College of Eng., New York Univ. 1955.
7. WILSON, B. W. — Solar distillation in Australia. Commonwealth Scient. Ind. Res. Organiz. Melbourne, Victoria, Australia. 1955.
8. HOTTEL, H. C. et al. — Space heating with solar energy. *Proceed. of the August, 1950 Symposium at the Mass. Inst. Techn.* edit. R. W. Hamilton, 1954. Cambridge, Mass. U. S. A.
9. TONNE, F. — Opto-graphic computation of insolation-duration and insolation energy. *Institut für Tageslicht-Technik*, Stuttgart, Germany, 1955.
10. TROMBE, F. — High temperature furnaces. *Nation. Cont. of Scient. Res. and Solar Energy Lab. at Montlouis, France*. 1955.
11. MACCRACKEN, C. D. — The solar powered thermo-pump. *Jet-Heet Inc.* Englewood, N. J. U. S. A. 1955.
12. ABBOT, C. G. — Solar power from reflectors. *Smiths. Inst., Wash. D. C.* U. S. A. 1955.
13. PEARSON, G. L. — Electricity from the sun. *Bell. Tel. Lab. Inc.* Murray Hill, N. J. U. S. A. 1955.
14. JACKSON, E. D. — Areas for improvement of the semiconductor solar energy converter. *Texas Instruments Inc.* Dallas, Texas, U. S. A. 1955.
15. MARCUS, R. J. — Photochemical conversion reactions and the storage of energy as hydrogen. *Stanf. Res. Inst. Menlo Park, Cal.* U. S. A. 1955.
16. BROOKS, F. A. — More food from solar energy. *Univ. of Cal. Davis, Cal.* U. S. A. 1955.
17. MYERS, J. — Algae as an energy converter. *Dep. of Zool. Univ. of Texas*, U. S. A. 1955.
18. PIRIE, N. W. — The merits of higher plants as storers of solar energy. *Rothamstead Exp. Sta. Harpenden, England*, 1955.
19. MANGELSDORF, P. C. — The world's principal food plants as converters of solar energy. *Biol. Lab., Harvard Univ. Cambridge, Mass.* U. S. A. 1955.
20. ALLEN, M. B. — Photosynthetic nitrogen fixation by blue-green algae. *Dept. of soils and plant nutrition. Univ. of Cal. Berkeley, Cal.* U. S. A. 1955.
21. ROBINSON, N. — Solar machines. *Solar Rad. Lab. Israel Inst. of Techn. Haifa, Israel*. 1955.
22. DANIELS, F. — The sun's energy. *Univ. of Wisconsin, Madison, Wis.* U. S. A. 1955.
23. HOBSON, J. E. — The economics of solar energy. *Stanford Res. Inst. Menlo Park, Cal.* U. S. A. 1955.

(Nota: Todos estos trabajos aparecerán en los *Proceedings* del Symposium).

## RECORDACIONES

### ALFRED WEGENER

(1880-1930)

En la segunda quincena de noviembre del año en curso se cumplieron 25 años del fallecimiento del geofísico y meteorólogo Alfred Wegener. Murió en el campo predilecto de sus investigaciones, el hielo continental de Groenlandia en el viaje de regreso de la estación "Eismitte" (centro del hielo) y a 189 Km de la estación base situada en el borde occidental del gran glaciar.

Como jefe de la expedición científica mejor equipada que hasta entonces había actuado en las regiones polares se sentía responsable de todos los hombres a sus órdenes y quiso asegurarse personalmente —a pesar de haber comenzado con todo rigor la época del mal tiempo— que los dos científicos por él seleccionados para invernar en "Eismitte" disponían de lo esencial para llevar a cabo tal hazaña. El esquimal Rasmus Willumsen, su único

acompañante en este viaje de regreso a la base, le dió respetuosa sepultura a la usanza del país, depositando en la nieve el cuerpo vestido y cuidadosamente envuelto en mantas. Marcó el lugar con los esquís de Wegener. Así se lo encontró en la primavera de 1931 por miembros de la expedición.

Según los indicios es probable que nuestro ilustre recordado haya muerto tranquilo,

en la carpa, a causa tal vez de una falla del corazón debida al excesivo esfuerzo físico. Rasmus Willumsen siguió luego el viaje hacia el oeste, llevando los diarios de Wegener consigo, pero debe haberse extraviado

de la ruta marcada, pues nunca llegó a la estación base ni fué encontrado rastro alguno de ese fiel compañero esquimal. Se desconoce por lo tanto, la fecha exacta de la muerte de Wegener. Su cuerpo descansa en la nieve eterna del "desierto blanco" como él llamó al interior de Groenlandia.

Unos pocos datos y títulos seleccionados entre más de 170 publicaciones, servirán para recordar su carrera profesional y señalar la amplitud de su actuación científica. Varias de sus obras se consideraron "clásicas" a pocos años de su aparición.

Alfred Lothar Wegener nació el 1º de noviembre de 1880 en Berlín. Su padre

era teólogo protestante como lo fueron muchos de sus antepasados. Estudió en las Universidades de Berlín, Heidelberg e Innsbruck. De 1908 a 1912 enseña astronomía y meteorología en la universidad de Marburg, como profesor adscripto. En 1913, al regreso de su segunda expedición a Groenlandia, se casa con Else Koeppen, hija del conocido climatólogo. De este matrimonio feliz nacieron tres hijas. De



*Alfred Wegener.*

1914 a 1918 participa en la guerra, primeramente como capitán de reserva, en que es dos veces herido. Pasa luego al Servicio Meteorológico Militar. Entre 1919 y 1924, al retirarse Koeppen de la Deutsche Seewarte de Hamburgo, se nombra a Wegener como su sucesor en el cargo de jefe del Departamento de Meteorología Teórica. Al mismo tiempo se lo designa profesor adjunto en la universidad de Hamburgo. De 1924 a 1930 ocupa el cargo de titular de la cátedra de Meteorología y Geofísica en la universidad de Graz (Austria).

La actividad científica de Wegener ha dejado su sello en la bibliografía mundial. Bastaría recordar algunas fechas y obras: 1905, Las tablas alfonsínicas (tesis del doctorado); 1905-1914, Numerosos trabajos sobre temas aerológicos; 1906-1908, Miembro científico de la expedición danesa de Mylius-Erichsen al noreste de Groenlandia, publica resultados científicos de esta expedición; 1911, Termodinámica de la atmósfera; 1912, La formación de los continentes (artículo precursor del libro); 1912-1913, Junto con el Capitán danés J. P. Koch realiza otra expedición a Groenlandia, cruzando el hielo continental en la parte más ancha de esa gran isla. Fallecido Koch en 1928, Wegener termina de publicar los resultados científicos en 1930; 1915, La formación de los continentes y océanos, libro que con la hipótesis de la deriva de los continentes, difunde el nombre de Alfred Wegener por todo el mundo; 1915 (y años posteriores), Varios trabajos sobre la propagación anormal de las ondas acústicas; 1917, Trombas terrestres y marinas en Europa; 1918, Teoría elemental del espejismo atmosférico; 1922, Instrumento combinado de teodolito y sextante para la observación de globos pilotos y globos registradores en el mar (en colaboración con E. Kuhlbrodt); 1922; Los climas de épocas prehistóricas (artículo precursor del libro); 1924, Los climas de épocas geológicas (en colaboración con W. Koeppen); 1926, Resultados de la meteorología dinámica; 1926, Capítulo "Termodinámica de la atmósfera" en el manual de física, editado por Geiger y Scheel; 1928, Los capítulos "Óptica de la atmósfera" y "Acústica de la atmósfera" en "Curso de Física" de Müller-Pouillet; 1929, Los capítulos "Refracción atmosférica" y "Fenómenos ópticos en las nubes" en "Curso de Geofísica" editado por B. Gutenberg; 1929, Memorandum y anteproyecto de una expedición al hielo continental de Groenlandia; 1930,

el libro "Con lancha y trineo en Groenlandia", relato popular de la expedición preliminar efectuada en el verano de 1929; 1930, Expedición alemana al hielo continental de Groenlandia en verano de 1929 (informe científico provisorio de la expedición preliminar); 1935, Curso de Física de la Atmósfera (en colaboración con su hermano Kurt); 1933-1940, Resultados Científicos de la Expedición Alemana Alfred Wegener a Groenlandia, Siete tomos, editados por Kurt Wegener, hermano mayor de Alfredo y también meteorólogo y geofísico. Kurt Wegener fué nombrado jefe de la expedición después de la muerte de su hermano y esta colección —escrita por los colaboradores de Alfredo y por su hermano Kurt— lleva su espíritu y puede considerarse la obra póstuma de nuestro héroe.

La semblanza de Alfred Wegener quedaría sin duda incompleta si no destacáramos algunos otros aspectos de su personalidad. El suscripto tuvo el privilegio de conocerlo personalmente y trabajar bajo sus órdenes pero solamente durante nueve meses. A pesar de tan corto tiempo, quedó profundamente impresionado y lo admiraba como hombre y como científico, igual que lo hicieron los demás miembros de la expedición.

Era un hombre recto, humilde, tranquilo y mesurado hasta en los momentos más críticos y poseía una fuerza de voluntad y tenacidad que nunca cedió. Su clara mirada reflejaba la limpidez de su alma: era el conductor natural e ideal para gente joven en tiempos confusos.

Otras facetas de su amplio despliegue personal son dignas de recuerdo. Desde temprano se manifestó su interés en actividades deportivas. Es muy característico un acontecimiento que tuvo lugar en abril del año 1906. Efectuaba un ascenso en un globo libre de 1200 m<sup>3</sup> de capacidad juntamente con su hermano Kurt que era dos años mayor que él. Con anterioridad a esa fecha Alfredo había realizado solamente dos ascensos propios, y Kurt cinco. Los dos jóvenes aeronautas habían proyectado aterrizar al anochecer, y en consecuencia, llevaban puesta ropa común y de provisiones solamente 1 libra de chocolate, 2 chuletas, 1 naranja y 1 botella de agua gaseosa para cada uno de ellos. Sin embargo, como encontraron condiciones atmosféricas favorables, no cedieron al frío, hambre ni cansancio y efectuaron un vuelo de 52 horas de duración, subiendo varias veces a 5000 metros de altura, soportan-

do temperaturas de  $-16^{\circ}\text{C}$  sin protección y batieron en esta forma imprevista el récord mundial de permanencia en el aire, superándolo en 17 horas.

También el día de su compromiso matrimonial lo festejó realizando un ascenso en globo junto con su novia y su hermano. Sin embargo, no era ningún cazador de récords. Lo demuestra inequívocamente la primera frase de su memorial del año 1928 donde presenta el proyecto de la gran expedición que había de ser su última. Dice así: "Los viajes sobre el hielo continental groenlandés hasta la fecha realizados en verano, y los estudios efectuados por la expedición Koch-Wegener en el invierno 1912-1913 en el borde del hielo continental en el noreste de Groenlandia, han aclarado lo suficientemente las condiciones de viaje y de trabajo allí reinantes como para poder afirmar que ha llegado el momento de reemplazar los viajes récord y aventurados por la investigación científica seria".

Alfred Wegener consideraba que una expedición científica debía disponer del mejor equipo existente y de comodidades adecuadas pero desafiaba todo lujo. Al salir la expedición de Kopenhagen el 1º de abril de 1930, lo hizo en el flamante buque "Disko" de la flota groenlandesa del gobierno danés. En este buque —el suscripto integraba la comisión— se nos dispuso toda clase de comodidades; los camarotes eran amplios, con baño, y la comida excelente y muy abundante, como suele ser en los países escandinavos.

Wegener, muy marino y desacostumbrado a tanto lujo en expediciones polares, pronto dió al buque el sobrenombre de "Lackierte Fresskiste" lo que puede traducirse como "arca barnizada de los glotoner".

Ya en la costa occidental de Groenlandia los miembros de la expedición con 25 caballos y 100.000 kg de equipos fuimos trasladados a un buque de cabotaje, donde estuvimos bastante apretados.

Llevábamos entre las muchas cosas raras, unos 1000 kg de explosivos, detonadores y miles de litros de combustible para nuestros trineos a motor. Entonces comentó Wegener con su humorismo seco: "Esa carga me parece un tanto quisquillosa. Si llegara a haber incendio estaremos listos. Con tanta nafta ni se puede pensar en apagar el fuego. Empero podemos consolarnos: será una cremación de primerísimo orden y de considerable costo".

Para llegar al punto de desembarque elegido, fué necesario otro transbordo, esta

vez a una vieja lancha a motor. El hielo en la bahía no quiso abrirse por sí solo y Wegener, después de un largo mes de tentativas infructuosas, había llegado a impacientarse. Cuando, finalmente, se hizo un ensayo más para penetrar con la lancha en el hielo, resultó que el motor dejó de funcionar. Los esfuerzos para arreglar la máquina parecían no tener éxito. Pero Wegener conocía bien a estos lobos de los mares polares que son mitad capitán y mitad pirata. Bajó con el "patrón" al camarote y después de entregarle cierta suma de dinero "para reparaciones" el motor funcionó de inmediato y la lancha embistió al hielo en forma tan enérgica que crujió toda la estructura del buque. Tan fuertemente crujía que Wegener preguntó al capitán si no había peligro, pero éste le contestó —aunque en lenguaje, por supuesto, menos elegante— que ahora el riesgo le importaba un ardite: tenía que romper uno de los dos, o el buque o el hielo.

De la tenacidad y de los recursos insospechados de que disponía Alfred Wegener, da testimonio otro episodio ocurrido en Groenlandia. Debido al prolongado período de espera inactiva, se había terminado el forraje que habíamos traído para los caballos y ello ocurría antes de que pudiéramos terminar con los transportes esenciales para los cuales estaban previstos estos buenos animales. Cualquiera otra persona hubiera desesperado al hallarse en región tan apartada e inhóspita. No así Wegener. Apeló a la ayuda de la población esquimal para que recogiese de las faldas de las montañas todo el pasto ralo que allí encontrase. ¡Y lo hicieron! Tuvieron que arrancarlo con las manos y prácticamente mata por mata pero consiguieron de este modo forraje para nuestros caballos por un mes. Fué la primera cosecha de heno que se hiciera en el norte de Groenlandia.

Muy característica también era su actitud con respecto a los equipos portables de radio. Opinaba que una expedición moderna debía contar con radiocomunicaciones en sus estaciones bases, pero no llevar tales equipos en los grupos de trabajo que operaban en zonas peligrosas del interior. Conociendo las flaquezas humanas, su razonamiento se fundaba en que cada miembro de estos grupos no sólo debía tener conciencia de los riesgos y estar dispuesto a afrontarlos sin obligar a ayuda ajena cuando las circunstancias llevaban a hacer peligrar la vida. ¿Qué es lo que provocaba una llamada de auxilio? Un-

camente la salida de otro grupo para buscar a los accidentados, y este nuevo grupo correría pronto los mismos riesgos que el primero. Por eso, Wegener insistía en que cada uno tuviera clara conciencia de lo que hacía y que no pusiera en peligro, ni siquiera involuntariamente, a sus camaradas.

Alfred Wegener, uno de los grandes maestros de la meteorología y la geofísica nos ha dejado hace 25 años. El mejor homenaje que podemos brindarle es seguir en el amplio y luminoso camino de conducta personal y científica por él señalado.

K. WOLCKEN

## ACTUALIDADES

**Seminario meteorológico.** — Activamente ha desarrollado este centro su plan didáctico. A través de numerosas conversaciones entre meteorólogos profesionales del Servicio Meteorológico Nacional nació en el mes de abril la idea de crear un seminario meteorológico, cuya organización y finalidad podrían sintetizarse así: a) estaría integrado por personas interesadas activamente en la Meteorología, sin distinción de títulos ni jerarquías; b) los miembros participarían en los estudios e investigaciones que surgieran de las reuniones periódicas, a realizarse una vez por semana; c) se tratarían temas que favorecieran el acercamiento de las distintas especialidades, propendiendo de este modo al desarrollo de una verdadera escuela meteorológica.

Con tales propósitos, surgió, desde el comienzo, la necesidad de actualizar los conocimientos sobre las corrientes más modernas en meteorología dinámica y sinóptica. Convencidos de lo propicio de la ocasión para la creación del seminario de referencia, se entrevistó al Director General del Servicio Meteorológico Nacional, quien patrocinó la idea, exaltando la importancia del programa frente a la inminencia del Año Geofísico Internacional y la Asamblea de la U.G.G.I., a realizarse en Buenos Aires. Los temas desarrollados durante el año en curso fueron:

SAMATÁN, ENRIQUE L. — "Pronóstico numérico del tiempo". — En 1939 Rossby y sus colaboradores estudiaron la velocidad de propagación de las perturbaciones latitudinales sobrepuestas a una corriente zonal cuando se toma en consideración la variación con la latitud de la componente vertical de la rotación de la tierra; este estudio se limitó al caso de una atmósfera barotrópica. Posteriormente Charney (1947) estudió el comportamiento de las ondas en una corriente baroclínica del oeste. En el desarrollo de los cálculos fué eliminando las soluciones que carecían de interés meteorológico, como ser las ondas acústicas y las ondas de gravedad, llegando a la conclusión de que bastaría introducir en el planteo inicial de las ecuaciones las hipótesis cuasihidrostática y cua-

sigeostrófica, para que estas soluciones extrañas quedaran eliminadas desde un principio y con la consiguiente simplificación de los cálculos. En 1948 el mismo autor justificó estas dos hipótesis por la consideración del orden de magnitud de los parámetros físicos que definen una perturbación zonal.

En dos trabajos, uno de Charney (1949) y otro de Charney y Eliassen (1949), los autores proponen un método de pronóstico numérico de las perturbaciones en una corriente barotrópica del oeste. Fundamentalmente el método consiste en descomponer una perturbación cualquiera en perturbaciones sinusoidales de distinta longitud de onda, mediante un desarrollo en serie de Fourier, y luego calcular el desplazamiento de cada una de estas perturbaciones elementales de acuerdo con la velocidad de propagación que corresponde a su longitud de onda. Un artificio de cálculo permite obtener un coeficiente de influencia que, aplicado a una perturbación observada en un punto y en un instante determinados, proporciona el efecto que tiene dicha perturbación en otro punto y en otro instante definidos con referencia a los primeros. El método se extiende simplemente con modificar el valor numérico de una constante, al caso en que las perturbaciones, en lugar de ser independientes de la latitud, dependen de ésta según una ley sinusoidal de longitud de onda fija. En estos mismos trabajos se introduce el concepto de atmósfera barotrópica equivalente a una atmósfera baroclínica particular en que la velocidad del viento varía con la altura pero no su dirección. Se demuestra que las ecuaciones referentes a la atmósfera barotrópica se aplican a una atmósfera baroclínica del tipo particular indicado cuando se elige en esta atmósfera un nivel determinado. Para la ley habitual de variación del viento con la altura, este nivel se sitúa aproximadamente en los 500 milibares.

El esquema barotrópico no permite calcular velocidades verticales del aire y determinar zonas de convergencia o de divergencia. Con el fin de salvar este inconveniente, Phillips (1951) imaginó reemplazar la atmósfera por el conjunto de dos

estratos flúidos incompresibles de densidades diferentes, limitados por dos planos horizontales sólidos. La velocidad del flúido en cada estrato es cuasihorizontal e independiente de la altura. En este esquema aparecen velocidades verticales en la superficie de separación de los dos flúidos; como consecuencia de ello, cada columna flúida se descompone en un estrato convergente y otro divergente, como ocurre generalmente en la atmósfera. Las ecuaciones de la dinámica aplicadas a este sistema dan lugar a una ecuación diferencial en derivadas parciales, en que las variables independientes son las coordenadas del plano y del tiempo, que pueden resolverse por el método de Southwell y que permiten calcular así las tendencias cuando se conoce el estado inicial. Se establece la correspondencia entre las parámetros que definen este sistema con los valores observados en la atmósfera, exigiendo que las perturbaciones sinusoidales tengan en ambos casos las mismas características en cuanto a su estabilidad y velocidad de propagación.

Tanto este último esquema como la atmósfera en la que la dirección del viento no varía con la altura, son sistemas cuyo estado queda definido cuando, además de conocer la distribución de la presión en superficie, se da otra función; es decir, que son sistemas que admiten más grados de libertad que el esquema barotrópico, sin alcanzar la generalidad de la atmósfera baroclínica general, en que cada parámetro queda definido por una función de las tres coordenadas, del espacio y del tiempo. Se ha dado en llamar a estos sistemas 2-dimensionales. Eliassen (1952) ha mostrado que varios sistemas físicamente distintos son, en realidad, matemáticamente equivalentes.

Charney y Phillips (1953) han generalizado el sistema del doble estrato considerando  $n$  estratos; hacen notar al respecto que al hacer tender  $n$  hacia el infinito no se obtiene la atmósfera barotrópica más general.

SCHWERDTFEGER, WERNER. — "Métodos de trabajo y algunos problemas nuevos en un Servicio Sinóptico moderno". — Se dió impresión concreta acerca de los fundamentos prácticos y materiales a que se pueden referir los trabajos teóricos modernos tendientes al perfeccionamiento de la previsión, mediante la aplicación de métodos numéricos. En una publicación del Servicio Meteorológico Alemán en Frankfurt/M (Die Synoptiker-Tagung in Frankfurt a. M., 1 a 3 noviembre de 1954), se hace la reseña crítica de esos fundamentos. En el "Täglicher Wetterbericht"

(Informe meteorológico diario) aparece una selección de mapas actuales y pronosticados de dicho servicio. En virtud de estas publicaciones, se trataron los métodos de trabajo usados actualmente en una oficina central de análisis y pronóstico ubicada en el Hemisferio Norte; los ensayos realizados en cuanto a la aplicación práctica de las nociones modernas de la meteorología dinámica, por ejemplo, la "advección de vorticidad", el empleo de los mapas circumhemisféricos referentes a niveles distintos de la atmósfera, para el cálculo, realizados paso a paso mediante grandes máquinas, de los datos relevantes de los mapas pronosticados correspondientes. El conferenciante llamó la atención sobre la necesidad de distinguir claramente entre mapas pronosticados y pronósticos del tiempo. Aun en el caso del acierto apreciable de los primeros, queda todavía el problema de trasponer la esencia de esos mapas precalculados en la predicción del tiempo propiamente dicha, problema cuya dificultad intrínseca no debe menospreciarse.

LICHTENSTEIN, ERICH R. y REBOLLEDO, MIGUEL A. — "Pronóstico del tiempo en latitudes medias". — Se trató de los métodos actualmente empleados en la Oficina Central de Pronósticos de Chicago, según se detalla en el trabajo de Riehl H. y colaboradores "Weather Forecasting of Middle Latitudes". En la introducción se pasó revista a las distintas escuelas: noruega, inglesa, alemana y estadounidense. Esta última es la que se detalla y consta de un pronóstico de altura en que se considera: 1º) situación general y su evolución; 2º) ondas largas; 3º) bloqueos y circulaciones cerradas de altura; 4º) corrientes en chorro regionales; 5º) ondas cortas.

Se trató luego el pronóstico de superficie considerando en primer término la elaboración de la carta pronosticada, también de superficie, y después el pronóstico del tiempo. Los principales tópicos que abarca son los siguientes: 1º) formación y profundización de ciclones; 2º) desplazamiento de los sistemas de presión en superficie y de los frentes; 3º) construcción de la carta pronosticada de 48 horas; 4º) pronóstico de temperatura; 5º) pronóstico de precipitación.

Cabe destacar la forma en que se encara el estudio de la evolución de los sistemas béricos sobre la base del ciclo de índice, la distribución de frentes y masas de aire en la baja troposfera y la distribución de velocidades en la troposfera media y alta. Permite ello establecer una relación entre concentración de vientos en altura y pro-

fundización en superficie, ligadas a conceptos originales de Scherhag respecto de la zona de confluencia y difluencia, considerándose también como base sólida para el pronóstico el conocimiento de las relaciones entre los cambios de presión en superficie y los cambios de vorticidad en altura. Resulta de suma utilidad el conocimiento de la forma en que se encara el pronóstico de precipitación en base a la carta de altura pronosticada, trabajándose en este aspecto con la distribución de vorticidad en las capas de vientos más fuertes.

KONCZAK, ESTANISLAO. — "La corriente en chorro". — Se trató la ocurrencia, variación geográfica y anual de las características de la corriente en chorro sobre la base de la circulación general de la atmósfera, siguiendo luego su efecto sobre el campo de la temperatura, la ocurrencia de precipitaciones, cambios de presión y su relación con la formación de ciclones de latitudes medias, como también con pronósticos a largo plazo. Se consideró brevemente la técnica utilizada para el análisis de mapas de 300 milibares. Se concluyó haciendo consideraciones sobre los principios dinámicos y energéticos relacionados con la formación y mantenimiento de la corriente sobre el aspecto sinóptico.

MARTÍNEZ, CLAUDIO P. — "Justificación de la aproximación geostrófica". — Como complemento a las discusiones sobre pronóstico numérico, se trató la parte correspondiente a la aproximación geostrófica del trabajo de Charney, J. C. "On the scale of atmospheric motions". Ya que los movimientos de significación meteorológica se distinguen de todos los otros tipos de movimiento por una gran diferencia de escala, es comprensible que para justificar las peculiaridades de las aproximaciones meteorológicas se deba tomar en cuenta la escala del movimiento. Los parámetros característicos de los movimientos en gran escala los provee la experiencia sinóptica, y es haciendo uso de ellos como se muestra que la desviación geostrófica es despreciable para aquellos movimientos cuya frecuencia característica es pequeña comparada con la frecuencia de una oscilación horizontal inercial, o sea el parámetro de Coriolis; y éste es precisamente el caso de los movimientos atmosféricos de gran escala.

BOSSO, JOSÉ A. — "Aplicación de los mapas de vorticidad". — Integrando la ecuación de continuidad y haciendo algunas suposiciones de simplificación y expresando la divergencia como variación individual en una atmósfera barotrópica, se

establece que las nubes y la precipitación prevalecerán en las regiones donde la vorticidad en 300 milibares aumenta (Hemisferio Sur) corriente abajo a lo largo de las líneas de corriente. Predominará tiempo bueno donde ella disminuya corriente abajo.

La aplicación de esta idea desarrollada por Rielh y colaboradores, exige el pronóstico del campo de vientos. Tal problema lo elude Cressman utilizando mapas de vorticidad absoluta en el nivel equivalente al barotrópico. Precisamente en ese nivel la vorticidad absoluta de las partículas no varía, y éstas se trasladan según el viento. Por otra parte, el viento térmico troposférico tiende a soplar paralelo a las líneas de vorticidad en 500 milibares, lo que significa que existe correlación negativa alta entre la temperatura y la vorticidad en 500 milibares. En base a ello puede explicarse la alta correlación entre cambios de temperatura y presión en la troposfera media.

El Seminario Meteorológico seguirá desarrollando su programa en el año próximo, estimulado por el interés que han despertado las antedichas conferencias y la calificada concurrencia que se ha hecho presente en ellas.

**Cursillo de Meteorología.** — El día 5 de diciembre de 1955 el Dr. Rolando V. García, a solicitud de un grupo de meteorólogos, dió comienzo a un curso de meteorología que se dictará todos los lunes a las 18 hs. en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. En él se tratarán sucesivamente los tópicos: método hidrodinámico, método dinámico-sinóptico, y cálculo numérico.

**Actividad universitaria.** — La Universidad se halla abocada a la revisión de sus planes y régimen de estudios. Intervienen en ella representantes de los tres estados universitarios: profesores, egresados y estudiantes. Dentro de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, la carrera del Doctorado en Meteorología habrá de experimentar algunas transformaciones que significarán su adaptación a las nuevas corrientes surgidas y desarrolladas en los países más adelantados en la materia. Por el momento nada hay definitivo, aunque prevalece la tendencia a crear grupos de materias optativas, que se dictarían en cursos semestrales y no anuales, como se hacía hasta ahora. Entre las novedades aparecería un curso de estadística que formaría parte del plan básico común a los Doctorados en Matemáticas, Física y Meteorología.

## RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS Y FASCICULOS

Middleton, W. E. K., y Spilhaus, A. F. — *Meteorological Instruments*. Toronto. Univ. of Toronto Press. 1953. 551.508.

Tenemos aquí la tercera edición, revisada, de la conocida obra de Middleton. El texto básico de las dos ediciones anteriores, 1941 y 1943, se ha variado relativamente poco, en lo que se refiere a los instrumentos usados en superficie. Pero se han añadido exposiciones nuevas respecto a mediciones aerológicas por radiosondas y aviones, los modernos procedimientos electrónicos para medir el viento en altura, localizar tormentas eléctricas, determinar la humedad del aire, etc. Esta nueva edición ha recibido comentarios muy elogiosos en varias revistas técnicas. No obstante, debemos constatar algunas omisiones que llaman la atención, en un libro de texto revisado y reeditado en el año 1953. A pesar de que se dedican muchas páginas a la medición de la humedad del aire y se ponen de relieve las desventajas del cabello humano como elemento higrométrico, no se mencionan con palabra alguna los resultados sorprendentes, conseguidos mediante los procedimientos desarrollados por Frankenberger, resultados cuya importancia para el radiosondeo son innegables. Aunque se describen varios tipos de evaporímetro, no se menciona aquel instrumento que debe estimarse el más importante para la agrometeorología, el lisímetro, y excepción hecha de un pequeño párrafo "medición de precipitaciones por radar", también el capítulo sobre pluviómetros queda muy conservativo, no diciendo nada acerca de las interesantes construcciones, desarrolladas y experimentadas durante el último decenio. Se impone, pues, la impresión de que el libro de Middleton y Spilhaus es un texto muy útil como primera introducción y como base para la enseñanza general, pero que no llega a responder, por completo, a todas las necesidades de la meteorología moderna. — W. S.

Kachkarov, D. N. y Korovine, E. P. — *La vie dans les déserts*. París. 1942. 360 p. 551.585.53.

Se trata de la biología de los desiertos rusos del Asia Media (Karakalpakia, Kirgizia, Uzbekistan, Turkmenistan y Tadjikistan), del tipo de los "desiertos cálidos", con análisis del clima, suelo, precipitación; del mundo vegetal y animal, y tocándose también algunos problemas generales propios de los desiertos. La concepción de la obra es amplia, detallada y muy abundante en observaciones concretas, de conceptos modernos y adelantados. Aunque los factores climáticos (precipitación, calor y frío, sequedad) desempeñan un papel preponderante, no pueden aislarse de otros procesos importantes, con lo cual el estudio analiza a los ecoclimas (Uvarov), concepto sintético y no analista, obedeciendo a la consigna general de considerar cada desierto como una entidad biofísica, un biocenosis, complejo natural con una individualidad propia, con un núcleo característico de flora y fauna. En su forma completa, el mejoramiento de los desiertos requiere entonces la colaboración de meteorólogos, geólogos, hidrólogos, pedólogos (suelos), botánicos, zoólogos, agrónomos y genetistas, quedando, sin embargo, como característica principal de un biocenosis desértico cálido, el régimen climático extremadamente desfavorable para la vida: cantidad insignificante de precipitaciones, una alta temperatura mortífera para plantas y animales, sequedad extrema del aire, grandes oscilaciones de la temperatura diurna y una evaporación extraordinaria. La obra está acompañada de 63 figuras y 63 fotografías, incluye una bibliografía de 420 títulos, y un índice muy detallado de plantas y animales del desierto cálido. En esta edición francesa de Th. Monod, la obra fué ampliada con algunas adiciones de texto y gráficos del adaptador francés, relativos especialmente a Sahara. Sin ser un tratado, la obra responde a la consigna de la Organización Meteorológica Mundial: "La Meteorología para el servicio de la humanidad". No trata de meteorología,

pero cumple dentro de su especialidad, con la idea-madre lanzada por la O. M. M., resolver problemas de interés humano inmediato. Puede ser útil esta obra como guía de orientación para el estudio del Continente Sudamericano, donde, además de las estepas (pampas y llanos), existen verdaderos desiertos, como la Puna de Atacama y los "campos de parecis", mesetas arenosas del Matto Grosso Brasileño. Adoptándose como índice aproximado de los desiertos y semidesiertos una precipitación anual menor de 250 mm (indicada por los autores), resultaría que entran en la categoría de los semi-desiertos las extensas zonas argentinas de las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Chubut. — D. B.

**Vidal de la Blache., P.** — *Principes de Géographie Humaine*. París. 1948. 327 p. 91 (02): 572.

En base a manuscritos y conversaciones generales entre el autor y el compilador E. de Martonne, pudo éste concretar en el libro que se reseña las ideas fundamentales de aquél. La primera parte está consagrada a la distribución de los hombres sobre la corteza terrestre. La segunda a las formas de civilización, y la tercera a la circulación (migraciones). Se comprende que estos tres problemas son función directa o indirecta de la climatología. Varios gráficos aclaran los conceptos expuestos. — M. G. O.

**Alaka, M. A. y otros** — *The jet stream*. Virginia. Bureau of Aeronautics. 1953. 85 p. 551.577.2.

Proporciona una síntesis de los trabajos realizados sobre el chorro de los oesteos (jet stream). Trata de su descubrimiento y de la estructura de los campos de vientos y temperatura a él asociados. En esto se sigue en gran parte los trabajos de E. Palmer.

Da su variación estacional y su influencia sobre los climas de superficie. Se hace mención al trabajo de J. W. Hutchings que se relaciona con chorro en el hemisferio sud. Se ocupa luego de su influencia sobre ciclogénesis y sobre las zonas de lluvias, se dan aplicaciones relacionadas con los pronósticos a largo plazo basados en circulación hemisférica y finalmente encara los principios dinámicos que lo crean y lo mantienen. Desarrolla, en general, las ideas de Rossby y no se mencionan las de Namias. Trae también una extensa bibliografía sobre el tema. — C. P. M.

**Landolt-Börnstein** — *Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik, Technik*. Vol. III. *Astronomie und Geophysik*. Berlín. 1952. 795 p. 531.131 (085).

Por primera vez aparece este nuevo tomo ampliatorio de las conocidas tablas físicas y químicas de Landolt y Börnstein; trata en casi 800 páginas los dominios de la astronomía (250 páginas) y la geofísica, incluídas todas sus ramas (540 páginas). La obra no contiene otra información que definiciones, datos (numéricos y gráficos), en algunos casos también las ecuaciones básicas y una profusa bibliografía anexa a cada sección o capítulo. La parte geofísica se subdivide en los siguientes capítulos principales: Gravitación y forma de la tierra, (15 pág.); fuerzas de mareas (13 pág.); rocas y minerales (incluyendo edafología etc., 85 pág.); tierra sólida (comprendiendo: sismicidad de la tierra, ondas sísmicas, interior de la tierra, mareas sólidas, 27 pág.); magnetismo de la tierra sólida (30 pág.); oceanografía (116 pág.); hidrografía (22 pág.); meteorología (incluyendo, entre otras, radiación y electricidad atmosférica, 154 pág.); física de la alta atmósfera (incluyendo aspectos geomagnéticos, entre otros temas, 64 pág.); referencias generales sobre órganos y organismos (14 pág.).

La parte astronómica contiene, entre varias otras informaciones de interés geofísico y meteorológico, también datos solares, por ejemplo una tabla completa de promedios mensuales y anuales de las manchas solares, abarcando más de dos siglos (desde enero de 1749 hasta diciembre de 1950). Colaboraron en la obra 26 compiladores astrónomos y 39 geofísicos de varias nacionalidades. — O. S.

**Ahlmann, W: son H.** — *Glacier variations and Climatic Fluctuations*. Nueva York. The American Geographical Society. 1953. 51 p. 551.311.12:551.583.

Pequeño compendio de carácter descriptivo sobre las recientes variaciones de algunos glaciares y los factores que influyen en las mismas, abordando en especial su relación con los cambios climáticos y las posibles causas de ambos. Concluye tratando de ubicar los cambios presentes en la secuencia general de las variaciones con algunas consideraciones acerca del futuro de las mismas. Una compleja bibliografía sobre el tema aumenta el interés del libro. — C. J. V.

## REVISTAS Y PUBLICACIONES SERIADAS

*Meteorologische Rundschau*. 7 (9-10), sept.-oct. 1954 (Heidelberg).

**Georgi, J.** — "Zur Frage der Solar-konstanten IV: Neuberechnung durch das Astrophysikalische Observatorium 1952". 551.521.23.

En una publicación en *Science*, diciembre 1952, Aldrich y Hoover, del Observatorio Astrofísico de la Smithsonian Institution en Washington (instituto mundialmente conocido por sus trabajos acerca de la constante solar), introducen una nueva corrección de +1,8% a aplicar a la escala de pirheliómetro la que se llama la "Smithsonian", y declaran, además, "arbitraria" a esa escala. El autor del presente trabajo, J. Georgi de Hamburgo, se opone a esas dos aseveraciones, las que caracteriza como "incomprensibles". Georgi expone que el concepto "arbitrario" no puede caber cuando se trata de una escala basada en las definiciones y constantes fundamentales de la física, y que tampoco haya lugar para una nueva corrección de semejante magnitud, en consideración de las publicaciones anteriores de la Smithsonian. Esta corrección afectará también a las mediciones con los pirheliómetros Silverdisk, según Ångström, en total unos 100 instrumentos distribuidos sobre muchos países del mundo. Finalmente, Georgi objeta la mala costumbre de "decretar autoritariamente" correcciones a aplicar a escalas aceptadas por los institutos interesados en todo el mundo, sin someter el nuevo problema anteriormente a una discusión general. Debemos esperar con toda atención las próximas publicaciones acerca de esta interesantísima controversia. (Nota: Hace poco, apareció una exposición más detallada de Aldrich y Hoover, acerca de las correcciones de la constante solar, en los Anales del Observatorio Astrofísico de la Smithsonian Institution, Volumen 7, Washington 1954). — W. S.

*The Geographical Journal*. 120 (2): 193-202, junio 1954 (Londres).

**Holtzschere, J. J. y Robin, G de Q.** — "Depth of polar ice caps". 551.311.12 (98/99).

Se exponen los resultados de las mediciones sismométricas, realizadas durante los últimos años en Groenlandia y en Dzonning Maud Land, Antártida. Para las dos regiones, se dan mapas y perfiles

sísmicos detallados. En la zona marginal del continente antártico, las mediciones se han extendido desde la estación Maudheim (71°S' 11°W) hacia el SE, sobre una distancia de 600 km. En un apéndice, J. W. Glen comenta, en forma breve, los resultados de dichas investigaciones en su relación con la teoría acerca del movimiento de glaciares. — W. S.

*Quarterly journal of the Royal Met. Society*, 80 (346): 579-582, oct. 1954, (Londres).

**Jones, R. F.** — "Radar echoes from lightning". 551.501.81: 551.594.221.

Se presentan las observaciones fotográficas de los ecos de radar atribuibles a los relámpagos, utilizándolas para sugerir la posible distribución de la carga eléctrica en nubes de tormenta. — M. A.

*Meteorological Office Note*. Meteorological Service. (40), 1954, 6 p. (Wellington).

**Gabites, J. F.** — "The drift of radioactive just from the British nuclear bomb tests in October 1953". 551.551: 539.16.

Se examinan las condiciones meteorológicas existentes en los dos días después de la primera explosión atómica realizada en el Sur de Australia, octubre de 1953. Tal investigación está motivada por el hecho de que se ha encontrado una contaminación radiactiva del aire en Wellington, Nueva Zelandia, 30 horas y otra vez de 38 a 54 horas después de dicha explosión. Resulta que el segundo fenómeno es compatible con las trayectorias, bajo ciertas suposiciones en cuanto a la altura que la nube radiactiva ha alcanzado al principio y a su posterior difusión vertical. En cambio, no se ha hallado una explicación satisfactoria del primer fenómeno, es decir, de la llegada de polvo radiactivo a Nueva Zelandia ya 30 horas después de la explosión en Australia. — W. S.

*Revista de aeronáutica*. 14 (163) 453-461, junio 1954 (Madrid).

**Peradejordi Ferrero, F.** — "Meteorología de las montañas". 551.50 (23:629.13).

En este artículo el autor esquematiza en términos generales la Meteorología del relieve, en su doble influencia sobre el viento y las nubes, haciendo algunas aplicaciones a interpretación de peculiaridades observadas en la cuenca del Ebro. Por últi-

mo sugiere localizar los lugares montañosos que son "nidos" de turbulencias permanentes, y estudiar detenidamente sus causas particulares para poder mejorar las rutas aéreas sobre España. — M. A.

*Journal of meteorology*. 2 (6) 440-448, diciembre 1954 (Lancaster).

**Jordan, Ch. L., y Jordan, E. S.** — "On the mean thermal structure of tropical cyclones". 551.515.22.

Se combinan las ascensiones de radiosondas efectuadas dentro de la circulación de los huracanes para obtener la distribución de la temperatura media y de la presión con la altura dentro de la tormenta. Se comparan los resultados con un modelo termodinámico de la tormenta tropical, con el campo del viento medio y con dos estudios de casos individuales de ciclones tropicales intensos. — M. A.

*Tellus*. 6 (3): 261-267, agosto 1954, (Estocolmo).

**Emanuelsson, A., y otros.** — "Composition of atmospheric precipitation in Sweden". 551.577.12 (485).

Los autores presentan cartas preliminares basadas en 2 años de datos, que muestran la distribución geográfica sobre Suecia de las cantidades anuales de Na, Cl, K, Ca,  $\text{NH}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_3\text{-N}$ , que llegan a la superficie terrestre por precipitación. La investigación continúa, extendiéndose a mayor número de estaciones y para períodos más largos. — R. M. Q.

*Tellus*. 6 (3): 268-272, agosto 1954, (Estocolmo).

**Starr, V. P.** — "Comentarios concerning research on the general circulation". 551.513.

Se discuten algunas fases de la investigación sobre la circulación general, especialmente el efecto de rotación en regímenes convectivos. Se da un ejemplo para mostrar que la circulación meridional media no es esencial para la liberación de energía potencial.

*Annalen der Meteorologie*. 6 (5/6): 164-170, 1953/54 (Hamburgo).

**Lang., A.** — "Über neuere Untersuchungen an Hygrometerhaaren". 551.508.71.

Al investigar las propiedades higrométricas de los cabellos de momias peruanas

de 400 años de edad, se encontró que para esos cabellos la relación entre su extensión longitudinal y la humedad relativa es casi lineal (lo que no es el caso para cabellos normales), y que su variación específica es considerablemente mayor. Resultados análogos los dió un examen de otros cabellos momificados, por ejemplo de monedas egipcias de 3.000 años de edad, indicando que cabellos momificados tienen mejores propiedades higrométricas que los cabellos comunes. El autor muestra, que mediante un tratamiento químico especial es posible dar iguales propiedades a cabellos normales. El trabajo contiene microfotografías muy buenas de varios cortes de los distintos tipos de cabello examinados. Se describe también la construcción de un micrómetro especial adoptado para experiencias con cabellos. — W. S.

*Institut Royal Météorologique de Belgique* (Contribution Nº 15), 336.351 p., 1954 (Bruselas).

**Descamps, A.** — "L'aéologie des nuages à développement vertical". 551.576.11.

Se trata de un trabajo de carácter didáctico en el que se exponen las teorías clásicas referentes a la hidrostática atmosférica, a la estabilidad de masas de aire seco, húmedo o saturado, al gradiente adiabático seco y saturado. Se efectúa un cálculo de las velocidades verticales producidas en la atmósfera por las diferencias de temperatura y del trabajo efectuado por las masas de aire en sus desplazamientos verticales. Se dan también algunas indicaciones sobre la noción de inestabilidad latente. — E. L. S.

*Meteorologische Rundschau*. 6 (1-2):1-6, enero-febrero 1953 (Berlín).

**Flohn, H.** — "Die Revision der Lehre vom Passatkreislauf". 551.555.1.

El autor estudia las características de la circulación atmosférica en las zonas de los alisios y llega, en base a los resultados de los sondeos aerológicos realizados durante los últimos años, a nuevas nociones acerca de dicho sistema circulatorio. — W. S.

*Institut Royal Météorologique de Belgique* (Publications - Serie B - Nº 12), 76 p., 1954 (Bruselas).

**Dogniaux, R.** — "Ensoleillement et orientation en Belgique. - V. Etude de l'éclairement lumineux naturel". 551.521.16 (493).

Este folleto es el quinto de una serie de trabajos sobre el asoleamiento en Bélgica.

Comienza con algunas nociones sobre magnitudes y unidades fotométricas y estudia luego el rendimiento luminoso del sol según la longitud de onda. Una serie de cuadros y de gráficos dan los valores de luminosidad de las distintas regiones del cielo según la altura del sol sobre el horizonte y según el grado de nubosidad.

Estos datos permiten calcular la iluminación proveniente del cielo sobre superficies horizontales y verticales con diferente orientación y según las horas del día y las épocas del año; se acompañan gráficos y cuadros. Finalmente, teniendo en cuenta la iluminación directa del sol, se obtiene en los mismos casos anteriores, la iluminación global sobre superficies horizontales y verticales. — E. L. S.

## ÍNDICE DEL TOMO V

(AÑO 1955)

ARTICULOS	PÁG.
BESADA E. M. — <i>Ver Hernández R. P. J.</i> .....	55
BRAZOL D. — Enfermedades tropicales originadas por el clima en el continente sudamericano .....	323
DAMARIO E. A. y A. J. PASCALE. — El calentamiento del aire en la lucha contra las heladas primaverales para la protección de los montes frutales en el Valle del Río Negro .....	185
DEDEBANT G. y E. A. M. MACHADO. — Termodinámica global de la atmósfera .....	19
DEDEBANT G. y E. A. M. MACHADO. — Efectos de ciertos filtros sobre la correlación .....	163
DEDEBANT G. y E. A. MACHADO. — Inferencia estadística en meteorología .....	305
DÍAZ E. A. — Método abreviado para calcular correlaciones y otros procedimientos prácticos .....	238
FESQUET H. B. — Pronóstico de la fecha de culminación de las crecientes del río Paraná .....	345
GRANDOSO R. N. y J. NÚÑEZ. — Análisis de una situación de bloqueo en la parte austral de América del Sur .....	35
HERNÁNDEZ R. P. J. y E. M. BESADA. — Mediciones geomagnéticas en la Isla Decepción .....	55
MACHADO E. A. M. y A. MARCHETTI. — Contribución al estudio de las crecientes del río Paraná. Aplicación del método de Labrouste .....	99
MACHADO E. A. M. y A. MARCHETTI. — Régimen de días de lluvia en la República Argentina .....	243
MACHADO E. A. M. — <i>Ver Dedeabant</i> .....	19, 163 y 305
MARCHETTI A. — <i>Ver Machado</i> .....	243
NÚÑEZ J. — <i>Ver Grandoso R. N.</i> .....	35
PASCALE A. J. — Método para determinar las características bioclimáticas de una variedad de trigo .....	5
PASCALE A. J. — <i>Ver Damario E. A.</i> .....	185
PIETRZYKOWSKI K. — Variación de la temperatura de la atmósfera en la Argentina .....	363
PROHASKA F. — <i>Ver Schwerdtfeger W.</i> .....	223
QUINTELA R. M. y C. J. VASINO. — Bases de la climatización artificial en Buenos Aires .....	277
RUGGIERO R. A. — La floración del manzano y su relación con las temperaturas invernales en el Alto Valle del Río Negro .....	141
SCHWERDTFEGER W. y C. J. VASINO. — La variación secular de la continentalidad en la República Argentina .....	177
SCHWERDTFEGER W. y F. L. PROHASKA. — Análisis de la marcha anual de la presión y sus relaciones con la circulación atmosférica, en Sudamérica Austral y la Antártida .....	223
SLAUCITAJLS L. — Sobre el uso de los magnetómetros QHM y BMZ en la campaña y en el observatorio magnético .....	155
VASINO C. — <i>Ver Schwerdtfeger W.</i> .....	177
VASINO C. — <i>Ver Quintela R. M.</i> .....	277

ARTICULOS BREVES	PÁG.
DEDEBANT G. — Una observación sobre el viento térmico .....	369
SCHWERDTFEGER W. — Acerca del carácter de ciertas variaciones de la presión atmosférica .....	87
NOTAS Y COMENTARIOS	
ALBANI F. — Congreso mundial sobre utilización de energía solar. (World symposium on applied solar energy) .....	373
DE FINA A. L. — Dos buenos libros .....	91
QUINTELA R. M. — Trabajos recientes sobre termodinámica de la atmósfera .....	210
SCHNEIDER O. — A propósito del Año Geofísico Internacional .....	207
RECORDACIONES	
WOLCKEN K. — Alfred Wegener (1880-1930) .....	379
CRONICA	
Tercera Reunión del Comité Especial del Año Geofísico Internacional, en Bruselas .....	212
EDITORIALES	
Publicaciones útiles .....	3
Acción acelerada .....	97
Presencia actuante .....	221
ACTUALIDADES	
Estaciones de observación en la Antártida .....	92
Primeros Licenciados en Meteorología .....	92
Sexta Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia ..	92
Segunda Asamblea General de la Organización Meteorológica Mundial ....	92
Seminario meteorológico .....	383
Cursillo de Meteorología .....	385
Actividad universitaria .....	385
RESEÑAS BIBLIOGRAFICAS .....	93, 216 y 386



**DIRECCION GENERAL**  
**DEL**  
**SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL**  
**PASEO COLON 317 — BUENOS AIRES**  
**(REPUBLICA ARGENTINA)**

Precio  
del ejemplar:  
**10** pesos m/n

**PALUMBO**  
**BS. AIRES**