

# METEOROS

BIBLIOTECA  
NACIONAL DE METEOROLOGIA

82/LXXXIV

## SUMARIO

FECHA:

|  |     |
|--|-----|
| EDITORIAL .....  | 249 |
| G. DEDEBANT. — Sobre la previsión estadística del tiempo .....   | 251 |
| ROBERTO M. QUINTELA. — Sobre la utilización de diagramas entálpicos en meteorología .....  | 277 |
| SEBASTIÁN FELIÚ. — Influencia de la temperatura ambiente sobre el porcentaje de grasa butirométrica en la leche de vaca .....                        | 289 |
| KURT WENEGER. — Análisis de la variación diurna de la presión en la República Argentina .....  | 305 |
| JUAN J. BURGOS, ALBERTO CAGLIOLO y MODESTO C. SANTOS. — Exploración microclimática en la selva Tucumano-Oranense .....                               | 314 |
| ARTÍCULOS BREVES: FEDERICO J. PROHASKA y TERESA UGARTECHE DE GARCÍA. — Gradiente vertical de temperatura en la zona central de la cordillera .....   | 342 |
| NOTAS Y COMENTARIOS: W. SCHWERDTFEGER. — Acerca de recientes trabajos sobre la circulación general de la atmósfera y las variaciones del clima ..... | 344 |
| TEXTOS: Transcripción fragmentaria de actas del Primer Congreso de la OMM .....  | 346 |
| ACTUALIDADES .....   | 349 |
| RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 351 |
| INDICE DEL TOMO I .....  | 357 |

REVISTA DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA

DEL

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

BUENOS AIRES — (REPÚBLICA ARGENTINA)

AÑO I

DICIEMBRE DE 1951

Nº 4

MINISTERIO DE ASUNTOS TÉCNICOS  
DIRECCIÓN GENERAL DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

Ministro  
DR. RAÚL A. MENDE

Subsecretario  
D. ENRIQUE OLMEDO

Director Nacional de Servicios Técnicos del Estado  
GENERAL DE DIVISIÓN OTTO H. HELBLING

Subdirector Nacional de Servicios Técnicos del Estado  
ING. ROBERTO M. DUPEYRON

Director General del Servicio Meteorológico Nacional  
CAP. DE FRAGATA (R.) CARLOS NUÑEZ MONASTERIO

CONSEJO TÉCNICO DE METEOROLOGÍA  
(Ley 12945, Art. 5º)

Director General del Servicio Meteorológico Nacional  
CAP. DE FRAGATA (R.) CARLOS NUÑEZ MONASTERIO

Jefe del Servicio Meteorológico del Ejército  
MAYOR MANUEL JOSÉ OLASCOAGA

Jefe del Servicio de Meteorología Marítima  
CAP. DE CORBETA LUIS MARÍA IRIART

Jefe del Servicio de Meteorología de Aeronáutica  
CAPITÁN RODOLFO RAÚL MÁRQUEZ

Director del Servicio Público de Meteorología del SMN  
ING. HÉCTOR LUIS SCHINELLI

DIRECCIÓN Y REDACCIÓN DE «METEOROS»  
Director: DR. MARTÍN S. CAPPELLETTI

Asesores de la Dirección y colaboradores de la Redacción:  
EL PERSONAL CIENTÍFICO Y TÉCNICO DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

Secretario de Redacción: AMADO GARY (H.)

# METEOROS

REVISTA TRIMESTRAL DE METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA  
DEL SERVICIO METEOROLÓGICO 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 I

DICIEMBRE DE 1951

Nº. 4

## VOCACIÓN DE PROGRESO

SI no bastara la simple consideración de las necesidades de nuestro país en lo que concierne a la formación de técnicos y científicos en Meteorología y ramas afines, bastaría sin duda abrir el texto de Resoluciones del Primer Congreso de la Organización Meteorológica Mundial, realizado en París en el presente año, para decidirse a tratar el problema con el máximo interés que exige y hallar una solución adecuada a nuestra posición dentro del concierto de las naciones. Solución concorde con la indudable vocación de progreso que anima a la Nueva Argentina. Es cierto que nuestra Ley Universitaria contempla la graduación de profesionales así como la investigación científica, y que los distintos Ministerios forman personal en diferentes ramas al par que las escuelas del Servicio Meteorológico Nacional entregan cada año nuevos valores, pero no escapa a la verdad que en el campo especializado de la Atmósfera debe hacerse aún mucho más si se piensa que la Argentina ha de afrontar un futuro pleno de exigencias y que la capacitación implica largo tiempo y orientación bien definida.

La Resolución 12(I) de la asamblea mundial predicha habla, por su parte, de un Instituto Meteorológico Internacional a ser creado con el asesoramiento de los países miembros de la OMM, y entre ellos, por supuesto, la Argentina, concurrente al Congreso de París y llamada a participar para bien propio y general en el cumplimiento de sus decisiones. Otras resoluciones dan clara idea del alto nivel operativo que han de alcanzar los organismos especializados en la fenomenología atmosférica, y de la cantidad y calidad de los valores humanos que deben actuar en ellos. Todo lo cual no ha dejado de ser estimado, manifiesta o implícitamente, en las recientes deliberaciones tenidas en Buenos Aires por los miembros de la OACI, con motivo de la Conferencia Mixta

de Navegación Aérea de las Regiones Sudamericana y Atlántico Sud, a la cual asistió una delegación de la OMM en carácter de observadora.

El progreso impone, es indudable, una expansión natural en todos los órdenes, y la vida, por su parte, va dejando claros en las filas que deben cubrirse con nuevos elementos. Frente al problema surgen estas preguntas: ¿En qué número y con qué ritmo y profundidad preparará el SMN a los hombres del futuro, a esos que habrán de mantener en alto el prestigio ganado por los que actuaron desde 1872? ¿Cuántas disciplinas nuevas habrá que incorporar en los planes próximos? ¿Qué vocaciones singulares no habrá que alentar para el desarrollo de la investigación auténtica en una era propicia al análisis de lo infinitamente pequeño a la vez que al estudio efectivo de las velocidades supersónicas, el vuelo estratosférico y la meteorología atómica, en que todos los valores habituales parecieran extrapolarse?

Además del perfeccionamiento del Pronóstico surgen, en un país de firme tradición agraria y ganadera como el nuestro, cuestiones inherentes a la evolución de las razas pecuarias y de las plantas cultivadas en concordancia con las condiciones de clima y suelo. A la grande y creciente industria, asimismo, interesa sobremanera el factor climático. Y el mismo problema de la sequía ocasional o periódica — de incidencia mundial — no es ajeno a nuestro territorio ni ha de escapar a nuestras previsiones. ¿Qué hacer, pues, ante el llamado? En el campo de la capacitación profesional y la investigación científica la respuesta es seguir adelante con lo que se está realizando. Sacar el mayor provecho de las posibilidades de la Ley Universitaria y del apoyo que el erario preste a las Reparticiones. Servir al país con entusiasmo fresco y confianza firme. Activar planes y ponerlos en acto en los momentos que para ello tiene señalados esta era Justicialista, inspirada en el tesón de los que brindan su trabajo físico y las excelencias de su quehacer intelectual al bienestar pleno de la sociedad. El imperativo es no mirar para atrás sino hacia lo venidero. Pensar que el país ocupa un inmenso y privilegiado lugar geográfico, que tiene cultura acrisolada y claro sentido de la argentinidad y de la universalidad en la mente de sus dirigentes y en su pueblo, y que ha de decir su mensaje histórico con no menos esfuerzo que aquel que el progreso exige a otras naciones, pero con la más viva expresión de optimismo.

## SOBRE LA PREVISION ESTADISTICA DEL TIEMPO

Por G. DEDEBANT \*

Sumario. — Este artículo, que no es solamente la obra de un matemático sino también la de un meteorólogo, examina la posibilidad de la previsión "numérica" del Tiempo. El problema está expuesto naturalmente bajo una forma matemática pero que difiere profundamente de aquella del problema tipo de Física-Matemática del siglo pasado, se refiere al contrario a aquellas de las Nuevas Mecánicas. Esta forma es necesariamente "estadística", pero de estadística avanzada utilizando los progresos realizados por el concepto de función aleatoria.

Una exposición de la teoría de la regresión está dada a partir del "espacio de Hilbert", y se han deducido con facilidad todas las fórmulas prácticas para la aplicación.

Han sido efectuados ensayos numéricos utilizando los coeficientes de correlación simples ya establecidos por T. E. W. Schuman, para el Africa del Sur, y los resultados son comparados con los de este autor. Los estudios han sido proseguídos utilizando los datos del Servicio Meteorológico Nacional de la República Argentina, y se da un ejemplo de los resultados obtenidos.

En conclusión, el autor tiene la esperanza de que un día los mismos métodos sean llevados a una escala mundial, bajo los auspicios de la O. M. M.

Sommaire. — Cet article, qui n'est pas seulement l'oeuvre d'un Mathématicien mais aussi d'un Météorologiste, examine la possibilité de la prévision "numérique" du Temps. Le problème est posé naturellement sous une forme mathématique, mais qui diffère profondément de celle du problème "type" de Physique Mathématique du siècle passé, se rapprochant au contraire de celle des Nouvelles Mécaniques. Cette forme est nécessairement "statistique", mais de statistique avancée utilisant les progrès réalisés par le concept de "fonction aléatoire".

Un exposé de la théorie de la régression est donné à partir de "l'espace de Hilbert", et il est déduit avec facilité toutes les formules pratiques pour l'application.

Des essais numériques ont été faits en utilisant les coefficients de corrélation simples, déjà établis par T. E. W. Schuman, pour l'Afrique du Sud, et les résultats en sont comparés à ceux de cet auteur. Ces études ont été ensuite poursuivies en utilisant les données du Service Météorologique National de la République Argentine, et un exemple des résultats obtenus est indiqué.

En conclusion, l'auteur émet le vœu qu'un jour, les mêmes méthodes soient étendues à l'échelle mondiale, sous les auspices dell' O. M. M.

### 1. CÓMO SE PLANTEA EL PROBLEMA DE LA PREVISIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO

No es superfluo recordar algunas ideas esenciales, aunque parezcan comunes.

El problema de la Previsión del Tiempo, en efecto, se descompone en dos partes:

1) Determinar completamente el estado de la atmósfera y su historia hasta un instante inicial 0.

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

2) Deducir de allí el estado de la atmósfera en un instante ulterior  $t > 0$ . El meteorólogo tiene pues dos tareas que cumplir: *el diagnóstico* y *el pronóstico*. Examinemos hasta donde se ha llegado en estas dos fases del problema.

El diagnóstico ha hecho enormes progresos gracias al desarrollo de la red mundial de observación y a su prolongación en altitud desde que la técnica de los sondeos ha alcanzado el estado de explotación —y también gracias al *análisis de las masas de aire*—, que ha hecho comprender el mecanismo *cuantitativo* de los grandes movimientos de la atmósfera y de la evolución de sus perturbaciones. Si es todavía insuficiente en ciertas regiones del globo, ello obedece únicamente a causa de dificultades técnicas o materiales, y no porque se tenga que resolver un problema científico difícil.

Con el pronóstico nos encontramos en una situación enteramente diferente: se debe, ante todo, resolver un problema *puramente científico* del cual ninguna técnica, ningún arte, ninguna organización, son capaces por sí solos de darnos una solución satisfactoria.

Actualmente no hacemos previsión en el sentido *verdadero del término*. No hacemos más que prolongar en el porvenir, por *extrapolación*, los movimientos que se observan en un momento dado, sin hacer intervenir de ninguna manera —debido a que son totalmente desconocidas— las leyes físicas que rigen la evolución de la atmósfera.

Muchos autores han acariciado el sueño de una *previsión verdadera* (numérica) del Tiempo, buscando la solución de un sistema de ecuaciones de derivadas parciales, proporcionadas por la Hidrodinámica y la Termodinámica clásicas, que verifica además las condiciones iniciales resultantes del diagnóstico, y ciertas condiciones en los límites (por otra parte bastante delicadas para precisar).

En suma, han planteado la cuestión bajo la forma del *problema tipo* de la Física-Matemática del último siglo. Este género de tentativas, aunque empleado todavía en nuestros días, está universalmente considerado como una utopía, si bien no por las razones que debería serlo. La mayor parte de los espíritus científicos se hallan bastante inclinados a creer, en efecto, que el problema está efectivamente bien planteado de esta manera, y que un cerebro extraordinario, en posesión de todos los datos y dotado de una habilidad de cálculo excepcional, podría resolverlo. Mi opinión es, por el contrario, que si fuera ésa la verdadera naturaleza del problema se habrían hallado, por más complicados que fueran los métodos matemáticos, las máquinas de calcular y la organización del trabajo susceptibles de resolverlo en plazos aceptables, vista la enorme importancia práctica de su solución.

Pero la razón por la cual esta concepción físico-matemática no ha llegado a ningún resultado, no radica precisamente en su complejidad, sino simplemente en que dicha concepción *no tiene ninguna clase de valor para el medio atmosférico*. Una afirmación tan categórica puede parecer sin duda chocante por estar todos nosotros más o menos habituados a pensar según la manera clásica y tradicional, y no nos resulta fácil desembarazarnos de los conocimientos originales recibidos. Sin embargo, la Meteorología no sería la primera ciencia que llevara a sus fieles a revisar sus conceptos fundamentales. Citaré la revolución que se ha operado ya

en un dominio muy vecino: la Mecánica de los Flúidos *turbulentos*, que no se ha acercado a la experiencia (de la que se alejaba extraordinariamente la Hidrodinámica) más que introduciendo conceptos estadísticos, y, para decirlo todo, introduciendo en una forma o en otra las nociones que con PH. WEHRLÉ hemos sistematizado en esta nueva rama de las Matemáticas a la cual hemos llamado *Cálculo Aleatorio*. Citaré todavía las *Nuevas Mecánicas* (Ondulatoria, Cuántica, de Dirac), que los físicos teóricos han debido crear para representar los fenómenos atómicos. En ellos también los conceptos más fundamentales han sido revolucionados. Un grandor físico no está ya representado por un simple número, sino por una matriz; y es de esta manera como se ha podido imaginar un modo indirecto de introducir nociones estadísticas.

## 2. EL PUNTO DE VISTA ALEATORIO EN METEOROLOGIA

Acaso convenga recordar que mientras Ph. Wehrlé y yo tratábamos de edificar una *Mecánica de la atmósfera*, el carácter caprichoso y cambiante de los elementos meteorológicos despertó nuestra atención en el curso de nuestra larga experiencia de meteorólogos y fuimos llevados a la *Mecánica Aleatoria*, de la cual hemos hecho conjuntamente con trabajos experimentales, importantes aplicaciones a la Turbulencia. Estos últimos años, alejado provisoriamente de la Meteorología, he hecho aplicaciones a la Física atómica y nuclear. Sería justo ahora que la Meteorología se beneficiara a su vez con el nuevo instrumento cuya realización ella había inspirado. En ello me he ocupado en estos últimos tiempos y es lo que me ha conducido a considerar bajo un nuevo aspecto el problema de la Previsión del Tiempo. Este aspecto coincide exactamente con el método indicado recientemente por T. E. W. Schuman (Statistical Weather Forecast); por ello denominaremos a este método *previsión estadística del tiempo*.

Expongamos en qué consiste el punto de vista aleatorio. El resultado  $X$ , de la medida de un elemento meteorológico —digamos, por ejemplo, la presión barométrica en un lugar  $M$ , a las 9 horas del día  $J$ — no es ya considerado como un simple número aritmético, sino como el resultado de una *prueba* ejecutada sobre un "complejo": el número aleatorio  $X$  (es decir, un número variable susceptible de tomar a priori un conjunto de valores numéricos con sendas probabilidades). Los valores sucesivos de la presión, en su desarrollo cronológico, permiten por sus frecuencias respectivas *estimar* esas probabilidades; dicho de otra manera, informarse sobre el contenido del complejo  $X$ . La descripción de este contenido puede concretarse por el *valor probable*  $\bar{X}$  y por la desviación estandard:

$$\sigma = \sqrt{\bar{X}'^2}, \text{ donde: } X' = X - \bar{X}$$

Para desembarazarse de las dimensiones físicas, se introducirá el cociente:

$$Y = \frac{X'}{\sigma}$$

o número aleatorio *reducido*, cuyo valor probable es nulo y la desviación estandard igual a la unidad.

Vayamos más lejos: En lugar de considerar la serie cronológica de los valores de  $X$  (en otras palabras: el barograma) como una función simple  $X(t)$  de la variable real  $t$ , vamos a considerarla como una serie de pruebas hechas sobre una sucesión de números aleatorios  $X/t$ , que corresponden cada uno a un instante  $t$ . Se crea así una *función aleatoria*  $X$ , de  $t$ . Los números aleatorios  $X/t_1$  y  $X/t_2$ , correspondientes a dos instantes diferentes  $t_1$  y  $t_2$ , presentan entre sí una correlación, representada por el momento *rectángulo*  $\overline{X/t_1 X/t_2}$  o aun por el coeficiente de correlación  $\overline{Y/t_1 Y/t_2}$  (si se opera con números aleatorios reducidos). Esta correlación puede ser estimada por la media del producto  $y(t_1)y(t_2)$  de los valores de  $Y$ , tomados sobre el conjunto de los instantes  $t_1$  y  $t_2$  que presentan entre sí una diferencia constante  $t_2 - t_1 = h$ . Este es el coeficiente de *autocorrelación* que reemplaza la noción general de continuidad en la función aleatoria, o más bien, el ordenamiento en la sucesión, para la función de variable real.

El objeto del Cálculo Aleatorio es extender a las funciones aleatorias las nociones esenciales del Análisis Matemático (derivada, primitiva, integral, analicidad), de manera que sea posible continuar sirviéndose de algoritmos tradicionales del Análisis y de sus reglas de cálculo. La fisonomía de las funciones aleatorias se refleja fielmente en el coeficiente de autocorrelación, que es una función ordinaria de variable real, de una *clase de Baire*, inferior a la de la realización de la función aleatoria sobre una prueba individual. Hay así funciones aleatorias derivables, analíticas, periódicas, casi periódicas, etc. De las funciones ordinarias del Análisis (polinomios, exponenciales, trigonométricas, elípticas, etc.) pueden ser derivadas las funciones aleatorias correspondientes.

Se pueden concebir, (naturalmente, funciones aleatorias de varios parámetros "ciertos" (1): las coordenadas del espacio,  $(x, y, z)$  y el tiempo  $t$ . Creamos así *campos aleatorios* de escalares y vectores, que se adaptan bien a la representación de flúidos turbulentos.

Las ecuaciones de la Mecánica de los Flúidos se transforman así en relaciones diferenciales entre los *momentos estadísticos* de los grandores aleatorios y no ya entre los valores de los grandores físicos en sí mismos, que son demasiado complicados para prestarse a las operaciones del cálculo diferencial.

Pero aun bajo esta forma el problema hidrodinámico está dentro del tipo de la Física Matemática. Ahora bien, veremos que la revolución motivada por el punto de vista aleatorio es mucho más profunda que aquél.

### 3. EL ESPACIO DE LOS NUMEROS ALEATORIOS

A toda medida física le corresponde un número aleatorio, que siempre se puede suponer que es reducido, y que designaremos con  $X$  ( $\overline{X} = 0$ ;  $\sigma = 1$ ). A cada número aleatorio (reducido) (1), se le puede hacer corresponder un vector de un *espacio abstracto*: el *espacio de los números aleatorios*. La topología de este espacio queda fijada tomando como *producto escalar* de dos vectores al *coeficiente de correlación*  $\overline{X_1 X_2}$

(1) Conocido como verdadero, seguro.  
(1) No emplearemos en adelante la letra  $(Y)$  para designar los números aleatorios reducidos, ya que trataremos siempre de ellos para simplificar notaciones.

entre los dos números aleatorios correspondientes. Ahora bien, he mostrado en trabajos anteriores que de esta manera el *espacio de los números aleatorios es congruente con el espacio de Hilbert*.

Quiero recordar que el espacio de Hilbert es un espacio vectorial de infinidad de dimensiones, formado por todos los vectores de coordenadas:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$$

tales que la serie

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 + \dots$$

sea siempre convergente.

Desempeña en Mecánica cuántica un papel preponderante. Nuestro teorema muestra por qué debe intervenir en todas las cuestiones de Física teórica. El espacio de Hilbert es en realidad la representación más directa y desprovista de interpretación del conjunto de las medidas físicas, es decir, del mundo físico tal como resulta de nuestras experiencias (o medidas).

Una función aleatoria del tiempo estará representada por una *curva* (o variedad de una dimensión), del espacio de Hilbert, y todo problema físico de evolución se transforma en un problema de *cinemática hilbertiana* (movimiento de un punto sobre una trayectoria en el espacio de Hilbert).

El problema de la Previsión del Tiempo se inscribe en particular en este cuadro universal, y podrá ser expuesto y tratado en *términos de Geometría y Cinemática*. Vamos a ver cómo.

### 4. PRINCIPIO DE LA PREVISION ESTADISTICA

Recordemos primero algunas propiedades del espacio de Hilbert.

Un número finito o infinito de vectores  $X_1, X_2, \dots$  se dicen *linealmente dependientes* si se pueden hallar números  $a_1, a_2, \dots$ , no todos nulos, tales que:

$$a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots = 0$$

En este caso, estos vectores y todos los que se pueden formar por combinaciones lineales, engendran una *variedad lineal* del espacio de Hilbert, (algo así como un plano en el espacio de tres dimensiones engendrado por dos vectores básicos).

En el caso contrario, los vectores  $X_1, X_2, \dots$  forman una *base completa* del espacio de Hilbert, y un vector cualquiera  $\mathcal{X}$  se expresa en función lineal de estos vectores de base:

$$\mathcal{X} = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots$$

(así como en el espacio de tres dimensiones, un vector cualquiera se expresa linealmente por tres vectores de base, con tal que éstos no se hallen en un mismo plano).

Establecido esto, si en un instante inicial dado (0), el conjunto de las medidas meteorológicas (o diagnóstico) constituye un espacio de Hilbert (y no solamente una variedad lineal de este espacio), se podrá

hallar en él una *base completa*  $\{X_i\}$  <sup>(1)</sup> y todo elemento meteorológico  $\mathcal{G}$ , cualquiera sea, en un instante ulterior  $t$ , podrá ser calculado "casi con certeza", es decir con una desviación tipo nula, por una combinación lineal de los vectores de base (que se refieran todos al instante inicial y a los instantes anteriores).

En este caso, no habría ningún límite teórico para la precisión de la previsión que crecería indefinidamente con la perfección del diagnóstico.

Contrariamente, por la naturaleza misma de las cosas, la información inicial, por completa que ella sea, no abarca más que una variedad lineal  $v$  del espacio de Hilbert, y no este espacio por completo y no podremos nunca calcular más que la proyección  $\mathcal{G}_v$  de  $\mathcal{G}$ , sobre la variedad  $v$ . Quedará siempre un error aleatorio: la proyección  $\mathcal{G}_{v'}$  de  $\mathcal{G}$  sobre la variedad  $v'$  complementaria de  $v$ , error que es estadísticamente medible por: <sup>(2)</sup>. Ver figura 1.

$$\overline{\mathcal{G}_{v'}^2} = 1 - \overline{\mathcal{G}_v^2}$$

Nos encontraremos entonces colocados en la misma posición que los Físicos ante el principio de Heisenberg, lo que expresaremos diciendo: *Cualquiera sea la extensión de nuestro saber, no conoceremos nunca nada más que la proyección del Porvenir sobre el Pasado.*

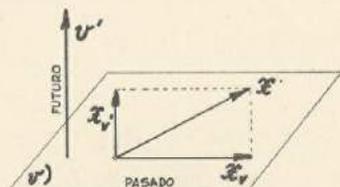


Fig. 1.

Sea ello como fuere, desde el punto de vista práctico, sólo se dispondrá de un número *finito* de informaciones, de manera que la Previsión estará siempre sujeta a un error estadístico, que puede ser subjetivo o intrínseco. Del origen de la incerteza no discutiremos aquí, pues es un problema más metafísico que físico.

5. FORMA PRACTICA DEL PROBLEMA

El problema se presenta, pues, prácticamente así:

1) Se dispone de un número finito  $n$ , de números aleatorios de base  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Estos datos constituyen el diagnóstico. Pueden consistir en elementos meteorológicos cualesquiera:

- Presión barométrica en diversas estaciones;
- Temperaturas en diversas estaciones;
- Altura de la superficie isobara 500 mb;
- Temperatura y altitud de la tropopausa; etc., etc.

(1) La notación  $\{X_i\}$  significa un conjunto de elementos  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  tomando  $i = 1, 2, \dots, n$ .  
 (2) Supuesto  $v$  y  $v'$  ortogonales.

Todos estos elementos pueden ser mezclados sin inconvenientes, después de haber sido llevados a la forma reducida, que no tiene dimensiones físicas.

El aporte de un elemento cualquiera, por absurdo que parezca, no compromete en ningún caso la calidad de la previsión; a lo sumo resultaría *inútil* (pues evidentemente  $\overline{\mathcal{G}_v^2}$  no puede decrecer nunca).

La única condición impuesta es que estas informaciones se refieran al instante inicial (0) o a instantes anteriores para que se trate en realidad de una Previsión.

2) Se desea deducir la proyección  $\mathcal{G}_v$  de un vector  $\mathcal{G}$ , considerado como desconocido, y que representa un elemento meteorológico cualquiera en el instante ulterior  $t > 0$  sobre la variedad  $v = \{X_i\}_{i=1,2,\dots,n}$ .

Tal es la forma matemática que reviste, desde el punto de vista aleatorio, el problema de la Previsión, y su solución es la única *solución científica* que se puede dar.

Esta solución supone que se han determinado por un número suficiente de observaciones anteriores: los coeficientes de correlación:

$$r_{ij} = \overline{X_i X_j}$$

existentes entre los datos; y los coeficientes de correlación:

$$r_{i\mathcal{G}} = \overline{\mathcal{G} X_i}$$

de la incógnita con los datos.

Ponemos:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_v + \mathcal{G}_{v'}$$

siendo  $v'$  la variedad complementaria (ortogonal) de  $v$ .  
 y:

$$\mathcal{G}_v = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n$$

Los coeficientes  $a$  son entonces soluciones del sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{cases} r_{1\mathcal{G}} = a_1 + a_2 r_{12} + \dots + a_n r_{1n} \\ \dots \\ r_{n\mathcal{G}} = a_1 r_{n1} + \dots + a_n \end{cases}$$

cuya solución está bien determinada si:

$$\Delta_{1, 2, \dots, n} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1n} & \dots & \dots & 1 \end{vmatrix} \neq 0$$

es decir, si las  $X_i$  no forman parte de una variedad lineal de menos de  $n$  dimensiones, en cuyo caso se eliminarían los datos superfluos (esto querría decir en suma que se ha dado varias veces la misma información sin advertirlo).

Antes de continuar no está de más señalar el carácter completamente nuevo e inesperado de tal solución.

Por lo tanto, puesto que estas concepciones salen fuera del problema meteorológico que tenemos en vista, el problema de Física-Matemática que tenemos según la nueva fórmula, se reduce a la solución de un número más o menos grande de ecuaciones algebraicas lineales simultáneas. No se trata de problemas de análisis del tipo del siglo XIX. Y, en realidad, no hay en ello nada que pueda sorprendernos. ¿Acaso la mayor parte de los problemas de Física-Matemática no se ponen precisamente bajo la forma de una ecuación integral de Fredholm, cuya resolución práctica se reduce justamente a la de un sistema de ecuaciones algebraicas lineales? El punto de vista aleatorio nos conduce directamente y sin artificios a esta forma del problema. Esto nos permite creer que hemos comprendido la verdadera naturaleza del mismo.

En efecto, los más arduos problemas de Física-Matemática, cuando se quiere obtener una solución numérica, no utilizan para su solución —¡y cómo podría ser de otra manera!— más que operaciones racionales efectuadas con números racionales. La transcendencia del problema se mide por el grado de complejidad de estas operaciones racionales. Los artificios matemáticos empleados son solamente maneras de reducir el número y la dificultad de aquellas operaciones. Desde el momento en que el hombre dispone de poderosas máquinas de calcular, como las nuevas máquinas electrónicas, estas astucias matemáticas se han convertido en refinamientos prácticamente inútiles, del dominio de la estética pura.

Pero, volvamos al problema que nos ocupa. Una vez calculados los coeficientes  $a_i$ , la ecuación lineal:

$$\mathcal{G} = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n$$

nos permite resolver todos los problemas de previsión relativos al elemento  $\mathcal{G}$ .

En efecto, esta ecuación, que es una ecuación vectorial, es verdadera aun entre las proyecciones de vectores sobre un eje cualquiera.

Ahora bien, la teoría de los espacios de números aleatorios nos muestra que la operación prueba es decir, la realización en números "ciertos" (o números reales ordinarios) de los valores posibles de números aleatorios, es precisamente una proyección de los vectores representativos sobre un eje. Este hecho no es distinto de la noción de *valor propio* en Mecánica Cuántica. De manera que, si conocemos en un caso dado, los valores precisos  $x_1, \dots, x_n$ , que toman los números aleatorios  $X_1, \dots, X_n$ , conoceremos el valor preciso que toma  $\mathcal{G}$ , en estas circunstancias, para la ecuación:

$$\mathcal{G}_v = a_1 X_1 + \dots + a_n X_n$$

Pero el número aleatorio  $\mathcal{G}_v$  —recordémoslo bien— no es más que la proyección del número aleatorio desconocido  $\mathcal{G}$  sobre la variedad

lineal  $V$ , que contiene los datos suministrados por el diagnóstico, y que es por esencia insuficiente o incompleto.

## 6. EL COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE

El error cometido estimando la incógnita  $\mathcal{G}$  por su proyección  $\mathcal{G}_v$  sobre la variedad  $v$ , está medido por el vector (perteneciente a la variedad complementaria ortogonal  $v'$  de  $v$ ):

$$\mathcal{G}_{v'} = \mathcal{G} - \mathcal{G}_v$$

Es éste un error estadístico que puede ser caracterizado por su valor tipo, cuyo cuadrado es (ver figura 1):

$$\overline{\mathcal{G}_{v'}^2} = \overline{(\mathcal{G} - \mathcal{G}_v)^2} = \overline{\mathcal{G}^2} - 2\overline{\mathcal{G}\mathcal{G}_v} + \overline{\mathcal{G}_v^2}$$

Ahora bien:  $\overline{\mathcal{G}^2} = 1$  por hipótesis.

Además:

$$\overline{\mathcal{G}\mathcal{G}_v} = \overline{(\mathcal{G} + \mathcal{G}_{v'})\mathcal{G}_v} = \overline{\mathcal{G}_v^2} + \overline{\mathcal{G}_{v'}\mathcal{G}_v}$$

Pero:

$$\overline{\mathcal{G}_{v'}\mathcal{G}_v} = 0$$

pues las variedades  $v$  y  $v'$  son ortogonales.

Luego, simplemente:

$$\overline{\mathcal{G}_{v'}^2} = 1 - \overline{\mathcal{G}_v^2} \quad (\text{Teorema de Pitágoras})$$

En lugar de medir el desacuerdo entre la incógnita  $\mathcal{G}$  y su estimación  $\mathcal{G}_v$ , por el error cometido, se puede igualmente medir su acuerdo, por medio de su coeficiente de correlación.

$$R = \frac{\overline{\mathcal{G}\mathcal{G}_v}}{\sqrt{\overline{\mathcal{G}^2}}\sqrt{\overline{\mathcal{G}_v^2}}} = \frac{\overline{\mathcal{G}\mathcal{G}_v}}{\sqrt{\overline{\mathcal{G}_v^2}}} = \text{también } \sqrt{\overline{\mathcal{G}_v^2}}$$

Entre el cuadrado del error tipo  $\overline{\mathcal{G}_{v'}^2}$ , que designaremos por  $\sigma_v^2$ , y el coeficiente de correlación  $R$  se tiene pues la relación:

$$\sigma_v = \sqrt{1 - R^2}$$

El coeficiente de correlación  $R$  que acabamos de introducir así no es otro que el que los técnicos en Estadística llaman ya *coeficiente de correlación múltiple*.

Su expresión, por medio de los coeficientes de correlación simples (los  $r_i$ ), es fácil de obtener por vía geométrica.

Se demuestra en Geometría Euclidiana de  $n$  dimensiones, que el cuadrado del  $n$ -paralelepípedo sobre  $n$  vectores:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (figura que se llama también un  $n$  vector) tiene por expresión el determinante formado con los productos escalares de estos vectores tomados dos a dos. Esta relación es la extensión de la que se puede establecer en el plano

(caso de 2 vectores). El área del paralelogramo (ó 2-paralelepípedo) construido sobre  $X_1$  y  $X_2$ , tiene por cuadrado (ver fig. 2):

$$\begin{aligned} \overline{X_1^2} \overline{X_2^2} \sin^2 \alpha &= \overline{X_1^2} \overline{X_2^2} (1 - \cos^2 \alpha) = \overline{X_1^2} \overline{X_2^2} \left( 1 - \frac{\overline{X_1 X_2}^2}{\overline{X_1^2} \overline{X_2^2}} \right) = \\ &= \overline{X_1^2} \overline{X_2^2} - \overline{X_1 X_2}^2 = \begin{vmatrix} \overline{X_1^2} & \overline{X_1 X_2} \\ \overline{X_1 X_2} & \overline{X_2^2} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Aplicada en nuestro caso, esta fórmula (para  $n$  dimensiones) da:

$$[\text{Volumen } (\mathcal{G}, X_1, \dots, X_n)]^2 = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{vmatrix} = \Delta_{1,2,\dots,n}, \alpha$$

Análogamente, se tiene:

$$[\text{Volumen } (X_1, X_2, \dots, X_n)]^2 = \Delta_{1,2,\dots,n}$$

Ahora bien, el volumen de un  $(n+1)$ -paralelepípedo se obtiene multiplicando el volumen de su base, que es un  $n$ -paralelepípedo (de la variedad  $\nu_n = \{X_1, \dots, X_n\}$ ), por su altura, que es aquí  $\mathcal{G}_{\nu^{n+1}}$ . Esto no es

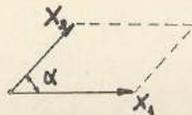


FIG. 2.

más que la extensión de la regla según la cual el volumen de un 3-paralelepípedo (o paralelepípedo, del espacio de 3 dimensiones) se obtiene multiplicando el área de su base (que es un 2-paralelepípedo o paralelogramo en el lenguaje común), por su altura.

Se tiene pues:

$$\overline{\mathcal{G}_{\nu^{n+1}}}^2 = \frac{\Delta_{1,2,\dots,n}, \alpha}{\Delta_{1,2,\dots,n}}$$

y por consiguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{\Delta_{1,2,\dots,n}, \alpha}{\Delta_{1,2,\dots,n}}$$

El coeficiente de correlación múltiple  $R$ , posee la propiedad fundamental siguiente:

Cuando se aumenta el número  $n$  de los datos,  $R$  no puede disminuir.

En efecto, si se agrega un  $(n+1)$ ésimo dato  $X_{n+1}$ , que forma con los  $n$  primeros una variedad de  $n+1$  dimensiones):  $\nu_{n+1}$ , la distancia  $\mathcal{G}_{\nu_{n+1}}$  de  $\mathcal{G}$  a  $\nu_{n+1}\{X_1, X_2, \dots, X_{n+1}\}$  será menor (o igual que la distancia  $\mathcal{G}_{\nu_n}$ , de  $\mathcal{G}$  a  $\nu_n\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ) (ver Fig. 3). Esta propiedad es sólo la extensión del hecho de que la distancia de un punto a un plano (variedad de 2 dimensiones) es el mínimo de las distancias de este punto a todas las rectas (variedades de 1 dimensión) de este plano.

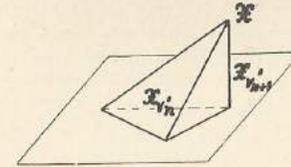


FIG. 3.

El cálculo de  $R_n^2$  es evidentemente fundamental (y primordial) para la aplicación de la previsión estadística, y es por él que se debe comenzar, pues su valor nos dirá si vale la pena comenzar el cálculo de los coeficientes de regresión.  $R$  mide en cierta manera el grado de confianza que se puede tener en la previsión. De un modo preciso,  $\sqrt{1 - R_n^2}$  es el error tipo, y de él se puede deducir (suponiendo "normal" la distribución del error), la probabilidad de que un error dado no sea sobrepasado (se sabe que la regla práctica es que el error tipo no es sobrepasado más que una vez sobre tres).

El grado de dificultad del cálculo de  $R_n^2$  es el del desarrollo de un determinante de orden  $(n+1)$ , es decir, que se expresa por el factorial  $(n+1)!$  Aumenta pues desmesuradamente con  $n$ .

En los cálculos citados en su publicación, T. E. W. Schuman ha utilizado *The methods of the characteristics functions*, que es el empleado para el cálculo de los niveles de energía del átomo, en Mecánica Cuántica. Con una admirable paciencia ha podido llevar los cálculos hasta el fin, para el caso de  $n = 12$ . Pero estos cálculos son muy laboriosos y el autor cifra su esperanza en las nuevas máquinas de calcular electrónicas, para continuar las aplicaciones.

Me propongo, sin embargo, mostrar aquí que — al menos en el caso que nos ocupa — las posibilidades del cálculo puramente humano no están todavía agotadas, y que el método de ortogonalización conocido en la Geometría de los espacios de Hilbert con el nombre de *procedimiento de ortogonalización de Schmidt* permite obtener un excelente valor de  $R_n^2$  con cálculos muy simples.

7. EL PROCEDIMIENTO DE ORTOGONALIZACION DE SCHMIDT

El problema consiste en pasar, por una transformación lineal, de la base de los datos:

$$X_1, X_2, \dots, X_n,$$

que es cualquiera, a una base ortonormal

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_n,$$

es decir, tal que:

$$\overline{Y_i Y_j} = \begin{cases} 0 & \text{si } i \neq j \text{ (ortogonalidad)} \\ 1 & \text{si } i = j \text{ (normalidad)} \end{cases}$$

Es algo así como (en Geometría elemental) pasar de coordenadas oblicuas a coordenadas ortogonales.

Hay evidentemente un gran número de maneras de hacerlo. El procedimiento de Schmidt consiste en elegir como punto de partida uno cualquiera de los vectores de base (normalizado), digamos:  $X_1$ , y en fijar un orden de sucesión.

Entonces, el cálculo se va a desarrollar de una manera sistemática, y — hecho importante — los vectores de la base no intervendrán más que sucesivamente en las ecuaciones del cambio de base.

Damos el resultado a que conduce la aplicación del procedimiento de Schmidt a nuestro problema.

Las primeras ecuaciones de la transformación son las siguientes:

$$\begin{cases} X_1 = X_1 \\ Y_2 = \frac{X_2 - r_{12}X_1}{\sqrt{1 - r_{12}^2}} = -\frac{\begin{vmatrix} X_1 & 1 \\ X_2 & r_{12} \end{vmatrix}}{\sqrt{\Delta_{1,2}}} \\ Y_3 = \frac{(r_{13} - r_{12}r_{23})X_1 - (r_{23} - r_{12}r_{13})X_2 + (1 - r_{12}^2)X_3}{\sqrt{(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}} \end{cases}$$

o sea:

$$Y_3 = \frac{\begin{vmatrix} X_1 & 1 & r_{12} \\ X_2 & r_{12} & 1 \\ X_3 & r_{13} & r_{23} \end{vmatrix}}{\sqrt{\Delta_{1,2,3}}}$$

La ley general de formación de estas ecuaciones se obtiene así. Consideremos el determinante *operacional* construido sobre el determinante  $\Delta_{1,2,\dots,n}$  de los coeficientes de correlación:

$$\Delta_{1,2,\dots,n,*} = \begin{vmatrix} 1 & * & * & * & * & \dots & \dots \\ * & 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & \dots & \dots \\ * & r_{12} & 1 & r_{23} & r_{24} & \dots & \dots \\ * & r_{13} & r_{23} & 1 & r_{34} & \dots & \dots \\ * & r_{14} & r_{24} & r_{34} & 1 & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

y que se puede escribir de una manera más condensada:

$$\Delta_{1,2,\dots,n,*} = \begin{vmatrix} 1 & * & * & * & \dots & \dots \\ * & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ * & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ * & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

El símbolo abstracto \* (asterisco) puede ser reemplazado por no importa qué sistema de valores concretos.

Por ejemplo, si se hace:

$$* = 0$$

se obtiene:

$$\Delta_{1,2,\dots,n,0} = \Delta_{1,2,\dots,n}$$

Sustituymos ahora a los asteriscos por los vectores de base  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Se obtiene el determinante:

$$\Delta_{1,2,\dots,n,(X_1, X_2, \dots)} = \begin{vmatrix} 1 & X_1 & X_2 & X_3 & \dots \\ X_1 & 1 & r_{12} & r_{13} & \dots \\ X_2 & r_{12} & 1 & r_{23} & \dots \\ X_3 & r_{13} & r_{23} & 1 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \end{vmatrix}$$

Suprimamos la primera línea, y en el cuadro restante, tomemos sucesivamente los determinantes "en esquinas", a partir del ángulo o esquina superior izquierda.

Se obtiene:

$$|X_1| ; \begin{vmatrix} X_1 & 1 \\ X_2 & r_{12} \end{vmatrix} ; \begin{vmatrix} X_1 & 1 & r_{12} \\ X_2 & r_{12} & 1 \\ X_3 & r_{13} & r_{23} \end{vmatrix} ; \text{etc. } \dots$$

que son precisamente los numeradores de las fórmulas de transformación (de las  $X$  en  $Y$ ), pero con *alternancias de signo*.

Una vez obtenida de esta manera una base *ortonormal*  $\{Y_i\}$ , la incógnita  $\mathcal{L}$  se expresa por medio de esta base, por la ecuación vectorial:

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^{i=n} b_i Y_i + Z_n$$

donde  $Z_n$  es ortogonal a todos los  $Y_i$ :

$$\overline{Z_n Y_i} = 0 \quad (\text{para toda } i = 1, 2, \dots, n)$$

Los coeficientes de regresión  $b_i$  (de  $\mathcal{G}$  en relación a las  $Y_i$ ) son iguales a los coeficientes de correlación simples de  $\mathcal{G}$  con las  $Y_i$ , sea:

$$\rho_{i,\mathcal{G}} = \overline{\mathcal{G} Y_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

El determinante  $\Delta_{1,2,\dots,n}$  está reducido a su forma diagonal:

$$\Delta_{1,2,\dots,n} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix} = 1$$

Y el determinante  $\Delta_{1,2,\dots,n,\mathcal{G}}$  se escribe:

$$\Delta_{1,2,\dots,n,\mathcal{G}} = \begin{vmatrix} 1 & \rho_{1,\mathcal{G}} & \rho_{2,\mathcal{G}} & \dots \\ \rho_{1,\mathcal{G}} & 1 & 0 & \dots \\ \rho_{2,\mathcal{G}} & 0 & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix} = 1 - (\rho_{1,\mathcal{G}}^2 + \rho_{2,\mathcal{G}}^2 + \dots + \rho_{n,\mathcal{G}}^2)$$

De donde, por consiguiente:

$$R_n^2 = \rho_{1,\mathcal{G}}^2 + \rho_{2,\mathcal{G}}^2 + \dots + \rho_{n,\mathcal{G}}^2$$

En función de la base de los datos (las  $X_i$ ), los  $\rho_{i,\mathcal{G}}$  se determinan por el proceso siguiente.

Aplicaremos el determinante operacional  $\Delta_{1,2,\dots,n}^*$ , al sistema de los coeficientes de correlación  $r_{i,\mathcal{G}}$  de la incógnita  $\mathcal{G}$  con los datos  $X_i$ . Se obtiene:

$$\Delta_{1,2,\dots,n}(r_{1,\mathcal{G}}, r_{2,\mathcal{G}}, \dots, r_{n,\mathcal{G}}) = \begin{vmatrix} 1 & r_{1,\mathcal{G}} & r_{2,\mathcal{G}} & r_{3,\mathcal{G}} & \dots \\ r_{1,\mathcal{G}} & 1 & r_{12} & r_{13} & \dots \\ r_{2,\mathcal{G}} & r_{12} & 1 & r_{23} & \dots \\ r_{3,\mathcal{G}} & r_{13} & r_{23} & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix}$$

Utilicemos el procedimiento "en esquina" ya mencionada. Se presentan sucesivamente:

$$D_{1,\mathcal{G}} = |r_{1,\mathcal{G}}|; \quad D_{2,\mathcal{G}} = \begin{vmatrix} r_{1,\mathcal{G}} & 1 \\ r_{2,\mathcal{G}} & r_{12} \end{vmatrix}; \quad D_{3,\mathcal{G}} = \begin{vmatrix} r_{1,\mathcal{G}} & 1 & r_{12} \\ r_{2,\mathcal{G}} & r_{12} & 1 \\ r_{3,\mathcal{G}} & r_{13} & r_{23} \end{vmatrix}; \quad \text{etc.} \dots$$

y se tiene para  $R_n^2$  el desarrollo:

$$R_n^2 = \frac{D_{1,\mathcal{G}}^2}{1} + \frac{D_{2,\mathcal{G}}^2}{\Delta_{1,2}} + \frac{D_{3,\mathcal{G}}^2}{\Delta_{1,2,3}} + \dots + \frac{D_{n,\mathcal{G}}^2}{\Delta_{1,2,\dots,n}}$$

Los razonamientos siguen siendo válidos cuando  $n \rightarrow \infty$ , y entonces:

$$R^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} R_n^2$$

se encuentra desarrollado en serie.

Sabemos que esta serie es convergente, pero no sabemos nada a priori acerca de la rapidez de la convergencia, lo que sin embargo es esencial desde el punto de vista de las aplicaciones numéricas. Pero esta rapidez depende evidentemente del orden en el cual se eligen las  $X_i$ , y en el procedimiento de Schmidt, este orden queda a nuestra entera disposición. Vamos a mostrar que eligiendo convenientemente este orden, se obtiene en la práctica una convergencia rápida.

### 8. ENSAYO NUMERICO

T. E. W. Schuman se ha propuesto calcular la presión barométrica en un punto O, al día  $J+1$ , conociendo la presión barométrica al día  $J$  en 12 puntos de una circunferencia de centro O.

Para esto ha determinado los coeficientes de correlación entre  $\mathcal{G}$ , presión en O y los 12 puntos: I, II, ..., XII, de la circunferencia, y los coeficientes de correlación de esos 12 puntos entre sí. Ha tratado luego el conjunto de los datos por "The methods of the characteristics functions" y ha limitado la aproximación a un pequeño número de términos.

He aquí la marcha de sus aproximaciones:

|                  |                |
|------------------|----------------|
| 1ª aproximación: | $R^2 = 0.7257$ |
| 2ª »             | $R^2 = 0.7262$ |
| 3ª »             | $R^2 = 0.7478$ |
| 4ª »             | $R^2 = 0.8089$ |

Como se ve, esta marcha es muy irregular y es sobre todo entre la 3ª y la 4ª aproximación que se ha realizado un aumento notable. De manera que no se sabe si nos hemos aproximado ya al límite o si estamos todavía muy alejados de él.

Hemos retomado los mismos datos de Schuman y los hemos tratado por el procedimiento de ortogonalización de Schmidt. Ahora bien, no ya el conjunto de los datos, pero sí solamente con un pequeño número de estos datos, juiciosamente elegidos, se obtiene muy rápidamente y con cálculos rápidos, la 4ª aproximación de Schmidt, y esto, por una marcha regular de la aproximación.

Demos primeramente el resultado:

|              |                  |
|--------------|------------------|
| 1 término :  | 0.5476           |
| 2 términos : | 0.7956           |
| 3 » :        | 0.8070           |
| 4 » :        | 0.8088           |
| 5 » :        | sin modificación |

La fisonomía de estos números nos deja presentir que casi se ha alcanzado el límite con 4 términos de la serie. En la información de

Schmidt (12 puntos) había, pues, *datos superabundantes* que en consecuencia era inútil arrastrar en los cálculos, cuya complicación crece muy rápidamente con el número de datos.

Digamos ahora unas palabras sobre las razones que han guiado nuestra elección.

Primeramente, podemos conseguir que el primer término sea mayor que todos los siguientes, eligiendo el punto I, de modo que:

$$r^2_{1x} \geq 1/2$$

Después, para el cálculo del punto 2, es necesario tomar un número aleatorio *lo menos correlacionado posible* con  $X_1$ . En efecto, cuando se desee *confirmar* una información obtenida de una fuente 1, hay que dirigirse a una fuente 2 que tenga la menor relación posible con la anterior.

Estas consideraciones nos han llevado a elegir entre los datos de Schuman los puntos:

$$1 = X \quad y \quad 2 = III$$

y esto nos ha dado:

$$R^2 = 0.7956$$

Las otras aproximaciones han sido obtenidas adjuntando los puntos:

$$3 = I \quad y \quad 4 = VII$$

#### 9. CONCLUSION SOBRE ESTE ENSAYO

El valor de  $R^2$  obtenido por Schuman corresponde a un coeficiente de correlación:

$$R = 0.90$$

Se trata pues de una correlación *sumamente grande*. Schuman hace notar que los mejores previsionistas están lejos de alcanzar una correlación parecida, en la previsión de la presión, con 24 horas de anticipación.

Podemos ahora formularnos la siguiente pregunta: ¿El número de Schuman puede ser aumentado todavía?

Evidentemente, no es persiguiendo las aproximaciones de más en más penosas de Schuman, que se lo aumentará mucho. Ni tampoco tomando más puntos sobre la circunferencia de centro O.

En lenguaje geométrico podemos decir, en efecto, que los números aleatorios correspondientes a los puntos de esta circunferencia forman una variedad muy vecina de una variedad lineal de 4 dimensiones. Tomar más de 4 números es, pues, superfluo.

Si se quiere aumentar  $R$ , será necesario echar mano de nuevos datos, que sean *exteriores* a esta variedad lineal. Sugerimos por ejemplo:

- la presión en puntos situados en otra circunferencia.
- la presión en épocas anteriores al día  $J$ .
- la altitud de la isobara 500 mb. por encima del punto O.
- otros elementos meteorológicos como la temperatura o la altitud de la tropopausa, etc.

Nuestro método de aproximación nos permitirá introducir solamente datos útiles y en consecuencia conducir el cálculo sin *saturarlo* nunca.

Otra reflexión se presenta al espíritu.

Sobre la circunferencia de centro O, hay dos puntos (X y III) que dan por ellos solos lo esencial de la aproximación. Esto nos llega a concebir que existen en Meteorología *puntos estratégicos* cuyas observaciones son más sensibles que otras para la previsión. La investigación sistemática de estos puntos podría influir sobre la organización de las redes.

En fin, formulémosnos esta última y crucial pregunta: ¿Es posible, aumentando la información, obtener valores de  $R$  tan vecinos de la unidad como se desee?

Vamos a responder, a la luz de la teoría de las funciones aleatorias.

#### 10. LAS FUNCIONES ALEATORIAS PREVISIBLES

Diremos que la función aleatoria  $X/t$  es *previsible*, cuando el número aleatorio  $\mathcal{G} = X/t$  ( $t > 0$ ) puede expresarse *casi con certeza* en función lineal de los números aleatorios  $X/s$  ( $-\infty < s < 0$ ) (ver Fig. 4).

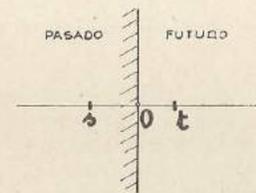


FIG. 4.

La condición necesaria y suficiente de previsibilidad es la siguiente:

El coeficiente de correlación múltiple  $R_n$ , entre  $\mathcal{G}$  y los  $n$  números aleatorios:  $X_1 = X/s_1 \dots X_n = X_n/s_n$ , tiende hacia 1 cuando  $n \rightarrow \infty$ . Notamos a continuación que existen funciones aleatorias *imprevisibles*. Así, sea la función aleatoria *sin conexión* (o *inconex*) definida por el coeficiente de autocorrelación siguiente:

$$\begin{cases} r(0) = 1 \\ r(h) = 0 \text{ si } h \neq 0 \end{cases}$$

Se tiene entonces evidentemente, cualquiera sea  $n$ :

$$\Delta_{1,2,\dots,n,x} = \Delta_{1,2,\dots,n} = 1$$

y por consiguiente:

$$R^2 = 0$$

Esto quiere decir que el conocimiento del pasado — por más completo que se lo pueda concebir — no tiene, en este caso, ninguna influencia sobre el conocimiento del porvenir. Este es el caso de los juegos de azar *teóricos*, en los cuales de nada sirve para prever la jugada próxima el conocer las jugadas anteriores.

Existen también funciones aleatorias *parcialmente previsibles*. Tal es la función aleatoria de *elementos independientes* definida de la manera siguiente:

$$X_{i+h} = X_i + Z$$

con

$$\overline{Z X_i} = 0$$

El coeficiente de autocorrelación de esta función es:

$$r(t, t+h) = \frac{\sigma(t)}{\sigma(t+h)}$$

siendo  $\sigma(t)$  su desviación tipo.

Se encuentra que:

$$R^2 = r_{1,x}^2$$

Es decir, que esta vez la información recibida del pasado interviene sólo por el último valor alcanzado:  $X_1$ . Todas las informaciones anteriores a ésta son *inútiles*.

En fin, mostremos que existen funciones aleatorias *previsibles*. Tal es el caso de la función aleatoria definida por el coeficiente de autocorrelación:

$$r(h) = \cos \omega h$$

Se tiene:

$$r_{1x} = \cos \omega t$$

$$r_{2x} = \cos \omega (t+h) \quad r_{12} = \cos \omega h$$

De donde:

$$R_2^2 = \cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t = 1 = R^2$$

Se tiene, pues, casi con certeza:

$$\mathcal{G} = X_i = a_0 X_{i-1} + a_1 X_{i-2}$$

Esta función elemental es pues *previsible*, con tal de que se conozcan solamente dos valores anteriores; los otros son *superfluos*. Todos sus valores están situados en un *plano* del espacio de Hilbert.

He mostrado, de una manera general, que las funciones aleatorias previsibles eran las *funciones aleatorias analíticas*, es decir, las que son desarrollables en *serie de Taylor*.

Tales funciones existen en la Naturaleza, como lo muestra el ejemplo numérico siguiente que he calculado con los datos de Schuman.

Sean 12 puntos repartidos regularmente sobre una circunferencia. Conociendo la presión barométrica al día  $J$ , en 11 de estos puntos, deducir de aquí la presión barométrica al mismo día  $J$ , en el 12º punto.

Elijiendo los puntos siguientes entre los datos de Schuman:

$$\text{Incógnita: } \mathcal{G} = \text{XI}; \text{ Datos: } \{1 = \text{X}; 2 = \text{I}; 3 = \text{III}\},$$

he obtenido:

$$R_3 = 0.9988$$

Esta correlación tan cercana a la unidad, pone fuera de duda el carácter *analítico* de la presión, en el *espacio*. Esto corresponde por otra parte al hecho de que se pueden interpolar y extrapolar las isobaras con una gran exactitud, lo que los meteorólogos expresan diciendo que la presión barométrica es un *elemento sinóptico*.

Pero lo más importante, desde el punto de vista de la posibilidad de la previsión, es saber si la presión barométrica, ya reconocida como *analítica* en el espacio — es también *analítica en el tiempo*.

Hay razones para creer a priori que sí, pues si los movimientos de la presión se asemejan a *ondas*, debe haber una analogía estrecha de estructura entre su distribución en el espacio y su evolución en el tiempo.

Sea como fuere, actualmente hemos hecho la prueba de la analiticidad de la presión barométrica en el tiempo, valiéndonos de la *escala sinóptica*.

Gracias a las observaciones barométricas del Observatorio Central de Buenos Aires (Villa Ortúzar) y el concurso de la red del Servicio Meteorológico Nacional de la República Argentina, hemos podido trazar un número bastante grande de curvas de autocorrelación.

Cada una está establecida para *un mes*; reposa sobre medidas *horarias* y se basa, pues, sobre 720 (ó 744) números. Todas estas curvas tienen características comunes y la analiticidad puede ser probada sobre una cualquiera de entre ellas.

Demos solamente un ejemplo.

Propongámonos, para el mes de julio de 1942, calcular la presión futura  $\mathcal{G}$  (con 1H de anticipación) conociendo la presión en el instante inicial (1 = 0H) y 1H anteriormente (2 = -1H). Los datos necesarios, deducidos de la curva de correlación son los siguientes:

$$\begin{cases} r(h) = r(1H) = 0.9975 \\ \quad \quad = r(2H) = 0.992 \end{cases}$$

de donde:

$$\begin{aligned} r_{12} &= 0.9975 & r_{2x} &= 0.992 \\ r_{1x} &= 0.9975 \end{aligned}$$

El coeficiente de correlación múltiple que mide la certeza con la cual puede ser prevista  $\mathcal{G}$ , tiene por cuadrado:

$$R_2^2 = r_{1x}^2 + \frac{(r_{1x} r_{12} - r_{2x})^2}{1 - r_{12}^2}$$

Con los datos precedentes, dicho coeficiente es igual a:

$$R = 0.9984$$

Es decir, tan vecino de la unidad como el coeficiente de correlación múltiple concerniente a observaciones simultáneas hechas en el espacio.

Esta conexión *muy estrecha*, corresponde a una desviación tipo (deducida de  $R$ ) igual a:

$$0.03 \text{ milibar,}$$

la cual es muy inferior a la precisión de las mediciones.

Es evidente que la previsión de la presión barométrica en el intervalo de una hora no tiene por sí misma ningún interés práctico directo; y no es esto lo que hemos investigado citando este ejemplo. Lo que hemos querido hacer, es mostrar por un estudio minucioso, y lo más fino posible (quantum de tiempo igual a 1H) de la curva de autocorrelación, en la proximidad del punto ( $h = 0$ ;  $r(h) = 1$ ), que la presión barométrica era analítica en el tiempo, y servirnos luego de esta propiedad para establecer las bases de la previsión numérica en un intervalo cualquiera. El método de la exploración del infinitamente pequeño no es nuevo en ciencias: ¡la observación de los microbios en el microscopio permite luego combatir las epidemias!

## 11. COMPARACION DE LA PREVISION LOCAL Y DE LA PREVISION SINOPTICA

Los meteorólogos han reconocido, desde Le Verrier, que la previsión *sinóptica* del tiempo es muy superior a la *previsión local*, y es esta constatación la que ha conducido a la organización de las redes meteorológicas y al intercambio internacional de informaciones.

Sin embargo, se puede proponer la siguiente cuestión: Si la presión posee, en el tiempo, el mismo carácter de analicidad que en el espacio, ¿puede la *previsión local* alcanzar el mismo grado de certeza (teórica) que la *previsión sinóptica*? Si así fuera, se podrían establecer *tablas* de previsión en cada punto, de la presión barométrica, análogas a los *Anuarios de las Mareas*. Cada observatorio podría transmitir no la presión observada, sino la presión prevista (deducida de las tablas), así como hoy trasmite no la presión bruta sino la presión afectada de diversas correcciones (a cero grado, gravedad normal, nivel del mar). De este modo, el previsionista no tendría más que establecer un *diagnóstico* sobre las cartas automáticamente previstas por las tablas. La separación de las dos operaciones, diagnóstico y pronóstico, sería así completa.

¿Por qué este sueño no es prácticamente realizable?

Porque, sencillamente, ocurre algo análogo a lo que los astrónomos han encontrado en la aplicación de la Mecánica Celeste desde que han sido llevados a estudiar el *problema de los tres cuerpos*. Las soluciones obtenidas en forma de desarrollos en serie son, o divergentes, o convergentes sólo en un intervalo limitado, y aun en este caso, lentamente convergentes. Aquí, el desarrollo del coeficiente de correlación múltiple siempre convergente, pero con una lentitud tal que no se vislumbra cómo las máquinas de calcular podrían acelerarlo, admitiéndose también que la precisión y la frecuencia de las mediciones puedan ser aumentadas indefinidamente.

Prácticamente, parece difícil sobrepasar los valores siguientes del coeficiente de correlación múltiple a 12 H y 24 H de plazo:

$$R(12) = 0.925$$

$$R(24) = 0.768$$

lo que corresponde a los errores tipos respectivos:

$$\sigma(12) = 1.5 \text{ milibar}$$

$$\sigma(24) = 3.0 \text{ milibar}$$

Por consiguiente, es necesario para obtener resultados de aplicación fructífera, *conjugar* el punto de vista local con el punto de vista *sinóptico*. Evidentemente, es en esta vía (la vía ortodoxa de la Meteorología moderna) en la que estamos orientados, y vamos a indicar brevemente el espíritu del método y citar algunos resultados obtenidos.

## 12. EMPLEO DE LA CORRELACION ESPACIO-TEMPORAL

He aquí la forma en que la hemos realizado.

El punto de partida es la elección de una *base de operaciones*. Pues no podemos (por razones de complejidad) asociar en números dos a dos todos los puntos de la red, lo que correspondería al grado de complicación  $\frac{n(n+1)}{2}$  para  $n$  estaciones.

Esta elección debe ser dictada por razones físicas y necesita por consiguiente una *idea preconcebida*, sugerida por el estudio de la carta diaria del Tiempo. Corresponde a la idea de que existen — como por lo general ocurre en todo — *puntos estratégicos* en Meteorología. La *base*, que designaremos por O, debe ser elegida entre ellos (ver Fig. 5).

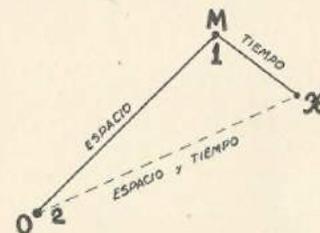


Fig. 5.

Evidentemente, no se debe creer que la base O pueda ser elegida definitivamente y que sea válida para una extensión cualquiera de territorio. En realidad, su estabilidad está dirigida por la noción de *régimen meteorológico*. De manera que ella no vale sino para una zona sometida a un *mismo régimen*, y durante la *duración* de este régimen. Esta limitación es por otra parte suficientemente amplia: excede un territorio tan grande como el de la República Argentina y el espacio de tiempo de un mes.

Sea ahora M una estación *corriente* de la red. El problema que proponemos es prever (en el *interior* de un régimen meteorológico establecido, conocido y determinado) la presión (*incógnita*):

$$X = X_{M,t+h}$$

del punto M y en la época (futura):  $t+h$ , conociendo las presiones

$$X_1 = X_{M,t} \text{ y } X_2 = X_{O,t}$$

del punto M y en la base O, en el instante (actual) t.

Este problema, bajo la forma estadística, viene a determinar los coeficientes de regresión de  $\mathcal{G}$  en  $X_1$  y  $X_2$ . Sea todavía la ecuación de regresión:

$$\mathcal{G} = a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Los coeficientes de regresión  $a_1$  y  $a_2$  se calculan, como es sabido, en función de los tres coeficientes de correlación que ligan la incógnita y los datos entre sí. Estos coeficientes de correlación — que tienen significados físicos diferentes — son los siguientes:

$$a) \quad r(O, t; M, t) = r_{12};$$

es una correlación en el espacio, en el mismo instante

$$b) \quad r(M, t; M, t + h) = r_{1x};$$

es una correlación en el tiempo, en el mismo punto. La hemos llamado particularmente *autocorrelación*.

$$c) \quad r(O, t; M, t + h) = r_{2x};$$

es una *correlación diferida* (en el tiempo y en el espacio).

Finalmente, el valor de la previsión obtenido con el empleo de la ecuación de regresión se mide por el coeficiente de *correlación múltiple*  $R(M)$ , cuyo cuadrado tiene por expresión:

$$R^2(M) = 1 - \frac{\Delta_{1,2,x}}{\Delta_{1,2}}$$

Esta claro que la búsqueda debe comenzar por determinar este coeficiente de correlación múltiple, pues solamente si alcanza un valor suficientemente próximo a la unidad valdrá la pena pasar al cálculo de los coeficientes de regresión, y aplicar prácticamente la ecuación de regresión obtenida.

Para el mes de julio de 1942 (considerado como formando parte de un solo régimen), y el conjunto del territorio de la República Argentina (considerado como estando sometido *enteramente* a este régimen), hemos obtenido coeficientes de correlación múltiples al plazo  $h = 24 H$ , muy próximos a la unidad.

En términos prácticos, esto significa que estando en posesión de los coeficientes de regresión *previamente calculados* correspondientes al régimen de ese mes (y esto se obtiene por el estudio retrospectivo de los documentos del pasado), fué posible, por medio de operaciones de cálculo extremadamente simples e instantáneas, establecer con 24 horas de anticipación una carta de isobaras *muy conveniente* sobre la República Argentina (Véase Cuadro I).

CUADRO I. — Valores del coeficiente de correlación múltiple:  $R(M)$  para las estaciones ( $M$ ) de la red argentina

(Mes de julio de 1942)

|                                    |      |                          |      |
|------------------------------------|------|--------------------------|------|
| Jujuy .....                        | 0.95 | Malargue .....           | 1.00 |
| Rivadavia .....                    | 0.94 | Las Flores .....         | 0.98 |
| Salta .....                        | 0.95 | Dolores .....            | 0.98 |
| Iguazú .....                       | 1.00 | Santa Rosa .....         | 1.00 |
| Tucumán .....                      | 0.81 | Azul .....               | 0.96 |
| Presidente Roque Sáenz Peña .....  | 1.00 | Balcarce .....           | 0.98 |
| Santiago del Estero .....          | 0.95 | Mar del Plata .....      | 0.99 |
| Corrientes .....                   | 0.97 | Tres Arroyos .....       | 0.97 |
| Posadas .....                      | 1.00 | Bahía Blanca .....       | 0.95 |
| Catamarca .....                    | 1.00 | Cipolletti .....         | 0.95 |
| Añatuya .....                      | 0.93 | Río Colorado .....       | 0.92 |
| La Rioja .....                     | 1.00 | Choele-Choele .....      | 0.94 |
| Paso de los Libres .....           | 0.98 | Fortín Mercedes .....    | 0.95 |
| Ceres .....                        | 0.95 | Conesa .....             | 0.94 |
| Río Seco .....                     | 0.96 | Patagones .....          | 0.94 |
| Monte Caseros .....                | 0.98 | Maquinchao .....         | 0.92 |
| La Paz .....                       | 0.93 | Bariloche .....          | 0.86 |
| Concordia .....                    | 0.98 | Esquel .....             | 0.79 |
| San Francisco .....                | 0.98 | Trelew .....             | 0.91 |
| Córdoba .....                      | 0.98 | Comodoro Rivadavia ..... | 0.90 |
| San Juan .....                     | 1.00 | Lago Buenos Aires .....  | 0.86 |
| Mendoza .....                      | 1.00 | Cañadón León .....       | 0.89 |
| Rosario .....                      | 0.95 | Puerto Deseado .....     | 0.91 |
| Guaquay .....                      | 0.96 | San Julián .....         | 0.91 |
| Río Cuarto .....                   | 0.99 | Puerto Santa Cruz .....  | 0.94 |
| San Luis .....                     | 1.00 | Lago Argentino .....     | 0.92 |
| Junín .....                        | 0.97 | Río Gallegos .....       | 0.92 |
| Buenos Aires (Villa Ortúzar) ..... | 0.97 | Río Grande .....         | 0.96 |
| Colonia Alvear .....               | 0.91 | Orcadas del Sur .....    | 0.94 |

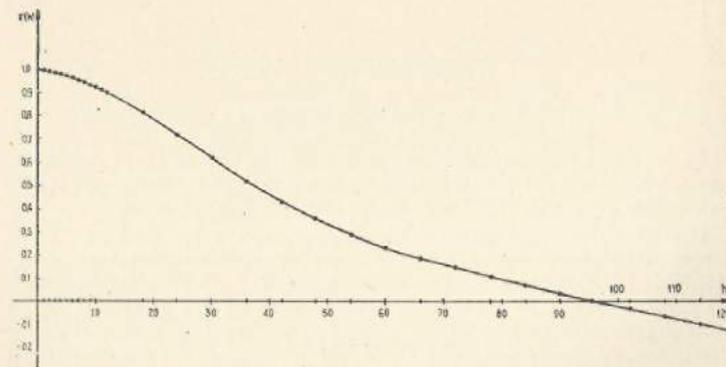


GRÁFICO I. — Función de correlación  $r(h)$  para la presión barométrica de Buenos Aires. (Observatorio Central de V. Ortúzar). Mes de julio 1942.

CUADRO II. — Función de correlación  $r(h)$  para la presión barométrica de la ciudad de Buenos Aires (Observatorio Central de Villa Ortúzar)

Mes de julio de 1942

Intervalo de tiempo en horas

|                 |                 |                   |
|-----------------|-----------------|-------------------|
| $r(0) = 1.000$  | $r(11) = 0.915$ | $r(66) = 0.184$   |
| $r(1) = 0.9975$ | $r(12) = 0.902$ | $r(72) = 0.144$   |
| $r(2) = 0.992$  | $r(18) = 0.820$ | $r(78) = 0.108$   |
| $r(3) = 0.986$  | $r(24) = 0.727$ | $r(84) = 0.074$   |
| $r(4) = 0.978$  | $r(30) = 0.627$ | $r(90) = 0.054$   |
| $r(5) = 0.971$  | $r(36) = 0.527$ | $r(96) = 0.005$   |
| $r(6) = 0.965$  | $r(42) = 0.435$ | $r(102) = 0.050$  |
| $r(7) = 0.954$  | $r(48) = 0.355$ | $r(108) = -0.064$ |
| $r(8) = 0.945$  | $r(54) = 0.287$ | $r(114) = -0.098$ |
| $r(9) = 0.935$  | $r(60) = 0.231$ | $r(120) = -0.152$ |
| $r(10) = 0.924$ |                 |                   |

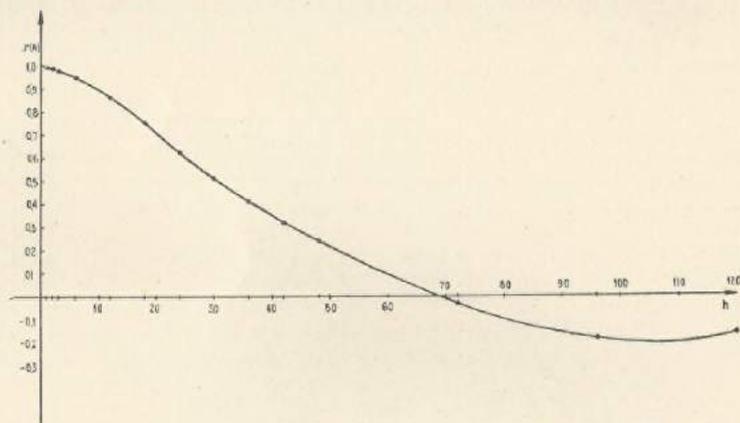


Gráfico II. — Función de correlación  $r(h)$ , para la presión barométrica del Observatorio Central de V. Ortúzar. Mes de julio 1906-1910.

### 13. CONCLUSIONES GENERALES

La teoría de los espacios de números aleatorios coloca en su verdadero lugar el problema del estudio numérico del medio atmosférico, con vistas a descubrir leyes y utilizarlas luego para la Previsión.

Las leyes físicas que rigen a la atmósfera no pueden, en efecto, salvo casos particulares límites, tener otra expresión numérica que las correlaciones de los elementos meteorológicos entre sí y en diversos instantes. La climatología se ha contentado hasta el presente con el cálculo de los valores probables (o normales), y, en una u otra forma, con el de las desviaciones a estas normales. Es evidente, a la luz de las consideraciones que acabamos de exponer, que esto no ilustra en nada sobre la manera cómo está agenciada la atmósfera, sobre los hilos de causalidad que ligan

entre sí a los diferentes fenómenos en diversos lugares y en diversas épocas.

Sería, pues, altamente deseable realizar bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial, a partir de las observaciones serias recogidas en las últimas décadas, una vasta operación mundial, para la cual proponemos el nombre de "Operación Conex", que consistiría en:

1. — Calcular para cada elemento meteorológico medible, las autocorrelaciones entre los valores de este elemento, en diversos intervalos de una gama de intervalos juiciosamente elegida.

2. — Calcular las correlaciones entre los elementos meteorológicos, asociados por pares.

Se puede comparar esta Operación Conex a una vasta triangulación física de la Atmósfera, la cual, así como las operaciones geodésicas han permitido determinar la figura fija de la Tierra, permitirá conocer la estructura física de la Atmósfera y las leyes que la rigen. Este conocimiento permitirá ipso-facto, la resolución de todos los problemas que puedan presentarse en materia de Meteorología, y en particular el de la Previsión del Tiempo a corto y a largo plazo, dentro de los límites y en la forma en que este problema es científicamente posible.

Las ideas expresadas en este artículo no datan de ayer. Son ellas la transposición al problema de la Previsión del Tiempo, de los conceptos aleatorios (creados en colaboración con Ph. Wehrlé), los cuales nos han sido sugeridos por la Meteorología. Sabemos hoy día que han nacido conceptos parecidos, casi independientemente en el problema de las Telecomunicaciones.

En lo que a mí concierne, me ha parecido que los conceptos surgidos de la Meteorología debían, después de haber sido abstraídos y puestos en forma matemática, ser de nuevo proyectados sobre su dominio original para juzgar de su valor práctico y servir a las aplicaciones. La ocasión me ha sido dada en la República Argentina, donde he podido, desde 1947, disponer de datos de observación.

Así, este trabajo que, todavía inédito, en la fecha antes mencionada, pertenecía al dominio de la teoría, es hoy, en 1951, gracias a los trabajos hasta ahora realizados en la República Argentina, sostenida por una base experimental bastante respetable.

De ahí que hayamos decidido darla a publicidad. Ella no es por otra parte sino el prelude de otras publicaciones que revelarán más en detalle los resultados obtenidos y los métodos prácticos empleados.

Estos resultados que enunciamos, han sido alcanzados gracias a la colaboración de mi colega el doctor R. DI MAIO quien, rápidamente ganado por la causa de la Mecánica Aleatoria, ha unido su larga experiencia a la mía, de manera que hemos mejorado paralelamente la comprensión del Cálculo Aleatorio para los utilizadores eventuales, y puesto prácticamente en obra sus aplicaciones a la Meteorología de la República Argentina.

### AGRADECIMIENTOS

En ocasión en que este trabajo se publica, quiero expresar mi agradecimiento al Director General del Servicio Meteorológico Nacional, Ca-

pitán de Fragata D. Carlos Núñez Monasterio, y al Director de Investigaciones Meteorológicas, Doctor D. Martín S. Cappelletti, por las facilidades acordadas y por su estimulante apoyo.

De particular manera, deseo también recordar y agradecer cuanto debo al precursor T. E. W. SCHUMAN, de quien he tomado los datos ya elaborados en forma de coeficientes de correlación, relativos a Africa del Sud; y a mis colegas, el Ing. D. Enrique Samatán y el Dr. D. Emilio A. M. Machado, por la eficaz ayuda recibida al planificar y organizar las operaciones de cálculo.

## BIBLIOGRAFÍA

- JULIA, G. 1936. — « Introduction mathématique aux théories quantiques ». Gauthier Villars, Editeur. Paris.
- KOLMOGOROFF, A. 1933. — « Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung ». Berlin.
- DEDEBANT, G., et WEHLÉ, Ph. 1944. — « Le Calcul Aléatoire ». « Portugaliae Physica (I, 77) et « Mécanique Aléatoire » (item 1945: 1, 167). Lisboa.
- BASS, J. 1946. — « Les méthodes Modernes du Calcul des Probabilités et leur application au problème de la Turbulence ». (« Rapport, technique N° 28 de groupement français pour le développement des recherches aéronautiques »). Paris.
- MOYAL, J. E. 1949. — « Stochastic Processes and Statistical Physics ». (« Symposium on stochastic processes », *The Journal of the Royal Statistical Society*. Series B. Methodological. Vol. XI, N° 2, 1949).
- DEDEBANT, G. 1947. — « Sur le Calcul Aléatoire ». (Conférences). *Annales de la Facultad de Ciencias do Porto*. Porto.
- DEDEBANT, G. 1948. — « Ensayo de un axiomático aleatorio, seguido de algunas aplicaciones ». (Publicación N° 20 de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Nacional de La Plata. República Argentina).

## SOBRE LA UTILIZACION DE DIAGRAMAS ENTALPICOS EN METEOROLOGIA

Por ROBERTO M. QUINTELA \*

**Resumen.** — En los últimos tiempos algunos autores han incluido en sus trabajos de índole meteorológica la función entalpía, cuya aplicación ya estaba generalizada en otras ramas de la técnica. Por tal causa se ha considerado de interés teórico encarar en este artículo la utilización de diagramas entálpicos en los estudios termodinámicos de la atmósfera, como complemento de los diagramas aerológicos y psicométricos más conocidos.

**Résumé.** — Dans ces derniers temps quelques auteurs ont introduit dans leurs travaux météorologiques la fonction enthalpie, dont l'application s'était déjà généralisée dans d'autres branches de la technique. C'est pour cette raison qu'on a considéré intéressant, du point de vue théorique, de traiter dans cet article l'utilisation de diagrammes enthalpiques dans les études thermodynamiques de l'atmosphère comme complément des diagrammes aérologiques et psychométriques les plus connus.

### I. — CONSIDERACIONES TEORICAS

Sabemos que tomando como variables independientes la temperatura y el volumen específico, la expresión energética general que involucra los dos principios fundamentales de la Termodinámica es la siguiente (1):

$$dQ = T dS = c_v dT + AT \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv$$

Si en cambio operamos en función de  $T$  y  $p$ :

$$dQ = T dS = c_p dT - AT \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp$$

donde:  $Q$  = cantidad de calor intercambiada,  $T$  = temperatura absoluta,  $S$  = entropía,  $c_p$  y  $c_v$  = calores específicos a presión y a volumen constante,  $A$  = equivalente calórico del trabajo.

Aplicando estas expresiones a los gases perfectos, para los cuales el coeficiente térmico de presión  $\frac{1}{p} \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v$  y el de dilatación a presión constante  $\frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$  valen  $\frac{1}{T}$ , obtenemos:

$$dQ = T dS = c_v dT + A_p dv = c_p dT - A_v dp \quad [1]$$

en la que  $c_v dT$  es la energía interna y  $c_p dT$  la entalpía del sistema, que queda expresada, para los gases perfectos, como una cantidad de calor a presión constante.

\* Ingeniero Civil. Jefe del Departamento Enseñanza y Servicios Complementarios de Investigación del S. M. N.

Si consideramos ahora un sistema circulante, influenciado por la existencia de un campo potencial exterior (gravedad), la ecuación general de la energía puede ponerse en la forma:

$$dU + Ad(pv) + A \frac{d\omega^2}{2} + Ag dz - dQ = 0$$

El término  $gdz$  es la variación de geopotencial por unidad de masa entre dos niveles infinitamente próximos,  $\frac{d\omega^2}{2}$  la variación de energía cinética,  $dU$  el cambio de energía interna debido a la interacción molecular y que en los gases perfectos es sólo función de la temperatura y  $d(pv)$  la diferencial del trabajo de desplazamiento, que representa la energía puesta en juego por la fuerza necesaria para producir el escurrimiento de cada masa unitaria entre las presiones existentes en los dos niveles. La suma de estos dos términos  $U + Apv$  define la entalpía o calor total, en su forma más general.

Diferenciando:

$$di = dU + Ad(pv) = T dS - Ap dv + Ad(pv) = T dS + Av dp$$

expresión que coincide con la fórmula [1].

Si introducimos el exponente  $k$  de la adiabática:  $di = AR \frac{k}{k-1} dT$

válida, por supuesto, para un gas ideal.

Se trata de una función potencial, suma de dos funciones de esa índole, y se la expresa en Kcal Kg<sup>-1</sup> o en Kcal Kmol<sup>-1</sup>. Salvo casos particulares, en general no interesa determinar su valor absoluto, sino el relativo con respecto a un valor inicial elegido arbitrariamente.

Veamos algunos casos de aplicación. En un ascenso adiabático con poco cambio de velocidad  $di = gdz$ ; si la variación de entalpía en dicho proceso lo expresamos como función de la variación de temperatura ( $di = c_p dT$ ), puede calcularse el gradiente vertical:

$$\frac{dT}{dz} = - \frac{g}{c_p}$$

Para escurrimiento con variación despreciable de velocidad y elevación  $di = dQ$ , es decir es una evolución a presión constante, en la que la variación de entalpía se efectúa a costa del calor intercambiado con el medio, el cual se utiliza para acrecentar la agitación de las moléculas y asegurar la expansión del fluido contra la presión exterior.

En general, en un sistema definido por dos parámetros sólo es posible determinar directamente las características estáticas del fluido (entropía, presión, etc.), pero no su característica dinámica (velocidad). Un fluido con velocidad nula o animado de una velocidad  $\omega$ , está representado por el mismo punto en los diagramas y sin embargo las posibilidades energéticas de esos dos estados son bien diferentes. La función entalpía permite determinar analíticamente esa característica dinámica, partiendo de la fórmula general:

$$A \frac{d\omega^2}{2} = dQ - Ag dz - di$$

Por otra parte, al considerar la entalpía del aire húmedo se tiene en cuenta la energía existente en el vapor de agua, mientras que la llamada función de corriente ( $gz + c_p t$ ), como lo hace notar Kiefer (2), sólo incluye el geopotencial y la entalpía del aire seco. Se desprecia en este caso una energía que puede alcanzar hasta un 30 %.

La función entalpía del aire húmedo es conservativa para todos los procesos adiabáticos, incluso los de saturación adiabática por evaporación. Es por ello de gran interés en el estudio de los procesos psicrométricos. Bleeker (3), por ejemplo, en un trabajo sobre un diagrama  $t-x$ , basado en estudios de Normand, plantea como ecuaciones fundamentales las siguientes:

$$(c_p + x c_{p\omega})(t - t_0) = L_\omega (x_\omega - x) \quad [2]$$

$$c_p (t - t_0) + x c_{p\omega} (t - t_0) = -L_\omega x \quad [3]$$

donde:  $t$  = temperatura del termómetro seco,  $t_0$  = temperatura teórica del termómetro húmedo, es decir la temperatura más baja a que puede ser enfriado el aire evaporando agua en el mismo, a presión constante,  $t_e$  = temperatura equivalente, es decir la que alcanza el aire si se supone que todo el vapor de agua se condensa a presión constante y el calor de condensación es utilizado íntegramente para incrementar la temperatura del aire,  $c_{p\omega}$  = calor específico a presión constante del vapor de agua,  $c_p$  = calor específico a presión constante del aire seco y  $x_\omega$  = relación de mezcla del aire saturado, a la temperatura  $t_0$ .

Termodinámicamente las ecuaciones citadas por Bleeker equivalen a suponer procesos isentálpicos:

1º) La evolución en el termómetro de bulbo húmedo, hasta llegar a la condición de equilibrio. Evidentemente la ecuación [2] se deduce de

$$c_p t + x (c_{p\omega} t + L) = c_p t_0 + x (c_{p\omega} t_0 + L_\omega) \quad [4]$$

2º) El proceso seguido para alcanzar la temperatura equivalente. La [3] deriva de la:

$$c_p t + x (c_{p\omega} t + L) = c_p t_0 + x c_{p\omega} t_0$$

## II. — DIAGRAMAS ENTÁLPICOS

Dado un sistema independiente, según la ley de las fases de Gibbs (4), queda definido por dos variables independientes ( $x$  e  $y$ ). Siempre es posible encontrar una relación de la forma

$$dP = M_{(x,y)} dx + N_{(x,y)} dy$$

concretándose el problema a saber si existe una función  $f(x, y)$  tal que  $P = f(x, y)$ . Según el Análisis si ello se cumple, debe ser:

$$\frac{\partial M}{\partial y} = \frac{\partial N}{\partial x}$$

siendo en tal caso  $P$  una función potencial, lo que permite el trazado de un diagrama, sobre el cual pueden dibujarse distintas curvas paramétricas.

Desde el de Hertz, numerosos diagramas se han construido con miras a su aplicación en meteorología, especialmente para el análisis de sondeos (5). Los diagramas termodinámicos meteorológicos sirven para: (a) calcular cantidades de calor y trabajo, (b) establecer relaciones termodinámicas entre los parámetros que definen un sistema, (c) medir energías y determinar criterios de estabilidad y (d) medir alturas (geopotencial). Es común distinguir dos grandes grupos: los equivalentes, o que conservan las áreas con el diagrama dinámico ( $p, v$ ) y los que no las conservan. Entre los primeros podemos citar: el de Neuhoff ( $\log p, T$ ), el aerograma de Refsdal ( $T \log p, \log T$ ) y el tefigrama de Shaw ( $T, cp \log \theta$ ). Entre los segundos, el clásico emagrama de Stüve ( $p^*, T$ ) en el que las adiabáticas resultan rectas y el de Hertz ( $\log p, \log T$ ). Morán Samaniego (6) da un método práctico para transformar un diagrama equivalente en otro.

La entalpía puede emplearse también como coordenada de diagramas que representan las propiedades y variaciones del aire húmedo. Vamos a describir someramente algunas de las combinaciones posibles de coordenadas, una de las cuales sea la entalpía, para la construcción de diagramas entálpicos aplicables en meteorología.

#### DIAGRAMA $i-x$ (ENTALPÍA - RELACIÓN DE MEZCLA).

Entre los diagramas higrográficos, trazados para una determinada presión atmosférica, existen varios entálpicos: el de Mollier ( $i-x$ ), el de Ramzine ( $i-x$ , con coordenadas oblicuas a  $135^\circ$ ), el de Mahr ( $i-\varphi$ ) y el de Höhn ( $i-t$ , con el eje de abscisas decalado de  $0,24 t$ ). De todos el más utilizado en la técnica es el primero, siendo una transformación del mismo el  $t-x$  usado en psicrometría (7).

En abscisas se llevan los gramos de agua por Kg de aire seco ( $x$ ) y en ordenadas las entalpías por Kg de aire seco ( $i$ ). Como la entalpía de una mezcla de gases es igual a la suma de las entalpías de los componentes, eligiendo como origen el  $0^\circ\text{C}$ , tendremos para  $(1+x)$  Kg de aire húmedo:

$$i = c_p t + x(L + c_{pa} \cdot t)$$

Las isotermas son rectas de distinta pendiente para cada temperatura, lo que se deduce derivando la expresión anterior:

$$\left(\frac{\partial i}{\partial x}\right)_t = L + c_{pa} \cdot t$$

Para delimitar las zonas de aire y vapor sobrecalentado por un lado y aquella en que hay condensación por otro, se traza la curva de saturación, partiendo de  $x_s = 0,622 \frac{e_s}{p - e_s}$  y calculando la tensión de saturación para cada temperatura. Esta curva nos limita la validez de las isotermas en la zona de aire húmedo, mientras las curvas de humedad relativa constante se trazan dividiendo las isotermas en partes iguales y uniendo los puntos correspondientes.

Si se considera la zona a la derecha de la curva límite, la entalpía de la mezcla aire, vapor y agua, en equilibrio térmico, será:

$$i = c_p t + x_s(L + c_{pa} t) + x_w t$$

en la que  $x_w$  es la masa de agua por Kg de aire seco.

Derivando la ecuación anterior, obtenemos la pendiente de las isotermas en esta zona:  $\left(\frac{\partial i}{\partial x}\right)_t = t$ . En el caso de formación de hielo

la pendiente valdrá  $\left(\frac{\partial i}{\partial x}\right)_t = -80 - 0,5 t$ , dibujándose en general solamente la isoterma correspondiente a  $0^\circ$ , señalando la zona en que coexiste el aire seco y el agua en sus tres fases.

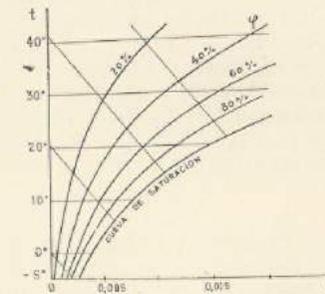


FIG. 1.

Para ampliar el campo de trabajo se adoptan coordenadas oblicuas y para facilitar el trazado de pendientes se acostumbra disponer una escala gráfica de tangentes en el marco del diagrama.

Si quisiéramos trabajar con el diagrama para distintos niveles, es necesario trazar las curvas de saturación para cada presión.

Distintos problemas pueden resolverse en este diagrama en forma sencilla. Por ejemplo, la mezcla de dos masas de aire de condiciones dadas. El punto representativo de la mezcla se encuentra sobre la recta que une los puntos representativos de los estados iniciales y a una distancia de los extremos inversamente proporcional a las masas. Si ese punto cae por debajo de la curva de saturación significa que existe condensación, midiéndose directamente en abscisas la masa de vapor condensada.

Si se mezcla una cierta cantidad de agua ( $W, i_w$ ) con una masa de aire húmedo, ( $G, x, i$ ) las ecuaciones de equilibrio serán:

$$Gx + W = Gx_m$$

$$Gi + Wi_w = Gi_m$$

$$i_w = \frac{i_m - i}{x_m - x}$$

siendo  $x_m, i_m$  las coordenadas de la mezcla.

Esta expresión da la pendiente de la recta que une los puntos representativos del aire antes y después de agregada el agua y el punto propio de la misma el estado de la masa de agua agregada.

Estudiemos ahora <sup>(8)</sup> las condiciones que se producen en el termómetro húmedo del psicrómetro ventilado, en el que una cantidad limitada de agua se encuentra en contacto con el aire húmedo del ambiente, el cual se supone de capacidad calorífica infinita. No repetiremos aquí, por ser muy conocido, el proceso termodinámico que permite deducir la fórmula psicrométrica clásica para psicrómetros ventilados; sólo nos referiremos a la que los norteamericanos llaman temperatura de saturación adiabática, que coincide con la temperatura isobárica de bulbo húmedo en determinadas condiciones (cuando  $c_p = \frac{k}{\sigma}$ , siendo  $k$  el coeficiente de transmisión total entre el aire y el agua y  $\sigma$  un coeficiente de evaporación, que depende de la velocidad del aire). Se supone que la evolución se efectúa en una corriente limitada de aire que no recibe ni cede calor y a presión constante; será por lo tanto isentálpica, de acuerdo con el principio de la conservación de la energía, planteándose entonces la ecuación [4] en la que el subíndice  $\omega$  señala los valores al llegar la capa límite a la saturación, situación para la cual se alcanza el equilibrio.

De la [2], con gran aproximación:

$$t_\omega = t - \frac{L_\omega}{c_p} (x_\omega - x)$$

de la que puede deducirse la conocida fórmula de Sprung para psicrómetros ventilados con una velocidad del aire superior a 2,5 m/seg:

$$e = e_s - 0,5 (t - t_\omega)$$

siendo  $e$  y  $e_s$  las tensiones de vapor en el momento y de saturación, respectivamente.

En el diagrama  $i-x$  dicha evolución se representa por una recta de pendiente  $\frac{\Delta i}{\Delta x} = t_\omega$ , que en su intersección con la curva de saturación nos determina el estado de la capa límite. Dado que  $i_\omega \cong t_\omega$ , será paralela al eje  $x$ .

Rígidamente, existe un aumento de entalpía, igual a la diferencia entre la entalpía que el agua ha recibido a la temperatura  $t_\omega$  y la que el aire ha perdido al enfriarse de  $t$  a  $t_\omega$ , pero como esta diferencia muy pequeña es función de la depresión del termómetro húmedo ( $t - t_\omega$ ) puede despreciarse, especialmente para temperaturas bajas.

Examinemos ahora en el diagrama que nos ocupa el fenómeno de precipitación dentro de una masa de aire húmedo. Llamemos  $t_1$  la temperatura,  $x_1$  la relación de mezcla e  $i_1$  la entalpía iniciales del aire,  $t_2$ ,  $x_2$  e  $i_2$  las correspondientes después de la lluvia,  $W$  la masa de agua caída,  $W_0$  la cantidad de agua evaporada (positiva o negativa, según haya evaporación o condensación),  $t_e$  temperatura del agua que cae, y  $t_a$  temperatura del agua que escurre. Podemos plantear las siguientes

ecuaciones de equilibrio, por Kg de aire seco:

$$W_0 = (x_2 - x_1) \\ i_2 - i_1 = (W - W_0) (t_e - t_a) + W_0 t_e$$

Relacionando ambas ecuaciones obtenemos:

$$\frac{i_2 - i_1}{x_2 - x_1} = \frac{W - W_0}{W_0} (t_e - t_a) + t_e \quad [6]$$

Si existen intercambios de calor con una fuente exterior, por ejemplo la superficie de la Tierra, habrá que agregar a la ecuación anterior el término  $Q$ , valor de difícil estimación especialmente por los fenómenos de difusión dentro de la capa límite laminar. Con las ecuaciones [5] y [6] es posible determinar la evolución en el diagrama  $i-x$ .

Es evidente que lo que podemos determinar inmediatamente son los casos límites: (a) todo el calor  $Q$  es cedido (o absorbido) antes de que tenga lugar el contacto del aire y del agua, y (b) el calor es cedido totalmente después de que ese contacto se ha producido.

Estos casos extremos permiten delimitar la solución intermedia, teniendo presente que el punto final tendrá que encontrarse sobre el radio  $\frac{\Delta i}{\Delta x}$  calculado con la ecuación anterior.

La determinación de la temperatura del punto de rocío se efectúa directamente bajando una vertical, en su intersección con la curva de saturación y la temperatura equivalente siguiendo la isentálpica hasta cortar el eje de las  $i$  y leyendo el valor de la isotérmica correspondiente. Pueden estudiarse también en este diagrama las nieblas, por examen de la diferencia entre las temperaturas del termómetro seco y del punto de rocío y para ello conviene el trazado, por debajo de la curva de saturación, de las de sobresaturación.

Si en lugar de agua, el aire se encuentra mezclado con una solución, la tensión de vapor de esta última es menor que la correspondiente al agua pura ( $e_{rs} = e_s (1 - kc)$ , siendo  $k$  un coeficiente que depende de la substancia disuelta,  $c$  la concentración molecular y  $e_s$  la tensión con respecto a una superficie plana de agua pura). Para cada solución se pueden trazar en el diagrama  $i-x$  curvas de saturación, referida cada una a determinada concentración.

#### DIAGRAMA $i-S$ (ENTALPÍA - ENTROPÍA).

Convencionalmente se eligen los valores en el origen. Partiendo de la ecuación general dada anteriormente y reemplazando el valor de  $c_v$  en función de  $v$  y  $p$ , se obtiene la siguiente expresión de la entropía válida para un gas cualquiera

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - A \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dT + A \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv$$

la cual puede transformarse en la siguiente:

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - A \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp$$

Si se considera un gas perfecto, caso del aire sin mayor error, las fórmulas generales se simplifican basándose en la ecuación de estado y en las expresiones que ligan los calores específicos entre sí y con la temperatura:

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - AR \frac{dp}{p} = c_p \frac{dT}{T} + AR \frac{dv}{v}$$

$$S_2 - S_1 = a \log \frac{T_2}{T_1} + b (T_2 - T_1) - AR \log \frac{p_2}{p_1} =$$

$$= (a - AR) \log \frac{T_2}{T_1} + b (T_2 - T_1) + AR \log \frac{v_2}{v_1}$$

Teniendo en cuenta que para los límites de temperatura que se encuentran en la atmósfera, el calor específico puede considerarse casi constante:

$$S_2 - S_1 = a \log \frac{T_2}{T_1} - AR \log \frac{p_2}{p_1} = (a - AR) \log \frac{T_2}{T_1} + AR \log \frac{v_2}{v_1}$$

Estas fórmulas permiten el trazado de las curvas paramétricas más importantes (isobaras, isocoras). El diagrama  $i - S$  es equivalente, es decir igual área, al diagrama dinámico  $p - v$ . Además de sus ventajas por ser entálpico, facilita la representación de las transformaciones adiabáticas, que son rectas paralelas al eje de ordenadas. En este caso la diferencia de ordenadas nos mide el trabajo de circulación ( $vdp$ ) entre dos presiones  $p_1$  y  $p_2$  mientras que si se trata de una evolución adiabática dicha diferencia representa la cantidad de calor intercambiada.

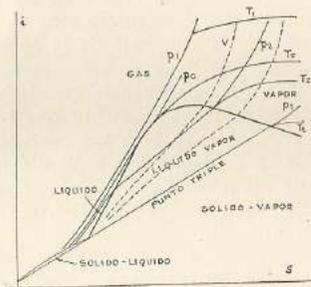


FIG. 2.

El coeficiente angular de la tangente a una isobara nos mide la temperatura en el punto de tangencia. En efecto:

$$\operatorname{tg} \alpha = \left( \frac{\partial i}{\partial S} \right)_p = \frac{T dS}{dS} = T$$

También es posible graduar la escala de abscisas en temperaturas potenciales  $\theta$ , pues para gases perfectos:

$$S_2 - S_1 = c_p (\log \theta_2 - \log \theta_1)$$

Como diagrama aerológico puede utilizarse para determinar:

- Alturas dinámicas, mediante una escala métrica basada en una fórmula hipsométrica (Laplace, Babinet, etc.).
- Nivel de condensación, conviniendo para tal fin el trazado de las líneas de relación de mezcla constante.
- Estabilidad e inestabilidad de masas de aire según la desviación de la curva de sondeo con respecto a la vertical.
- Temperatura potencial, mediante la intersección de las verticales con la curva de presión de 1000 mb, interpolando la temperatura que corresponda.
- Temperatura potencial de bulbo húmedo, intersectando las adiabáticas de saturación con la curva de presión de 1000 mb.
- Todas las temperaturas adiabáticas (equivalente, equivalente potencial, de bulbo húmedo, de bulbo húmedo potencial saturada) ( $\theta$ ).
- Todas las temperaturas isobáricas (equivalente, equivalente potencial, de bulbo húmedo, de bulbo húmedo potencial saturada).
- Temperatura virtual, mediante la construcción de una escala adecuada, basada en una fórmula del tipo:

$$T_v = \frac{T}{1 - 0,378 \frac{e}{p}}$$

- Temperatura del punto de rocío, en la intersección de la línea de relación de mezcla de saturación con la isobara  $p$ .
- Aceleración de masas ascendentes o descendentes, etc.

Para el estudio del vapor de agua es de mucho interés un diagrama  $i - S$  modificado por Koch en 1938, quien ha utilizado para su trazado las tablas de Regnault y resultados experimentales para altas temperaturas.

#### DIAGRAMA $i - p$ (ENTALPÍA - PRESIÓN).

También puede trazarse el diagrama  $i - \log p$ , del cual el de Neuhoff y el primitivo emagrama de Stüve del año 1922 ( $t - \log p$ ) son casos particulares.

En estos diagramas las curvas paramétricas de cada haz son congruentes, mediante una traslación, propiedad que resulta muy ventajosa; resultando las adiabáticas curvas logarítmicas.

Goza de las siguientes propiedades:

- El ángulo entre isotermas y adiabáticas es de  $45^\circ$  aproximadamente.
- Las isobaras son líneas rectas, paralelas al eje  $i$ .
- Las áreas cerradas son proporcionales al trabajo del ciclo.
- Congruencia para bajas y altas presiones.
- El coeficiente angular de las isentrópicas vale  $\left( \frac{\partial i}{\partial p} \right)_s = Av$  expresión que surge de  $di = Av dp$  para  $TdS = 0$ .
- Cuando  $p$  crece,  $v$  disminuye. Las isentrópicas son curvas cóncavas hacia abajo, con una asímptota paralela al eje  $p$ .

Las isotermas en la zona de los gases perfectos son rectas paralelas al eje  $p$ . En efecto:

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - \frac{Av}{T} dp$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\frac{Av}{T}$$

pero

$$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = T \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T + Av = -\left(\frac{Av}{T}\right)T + Av = 0$$

El coeficiente angular de la isoterma es nulo.

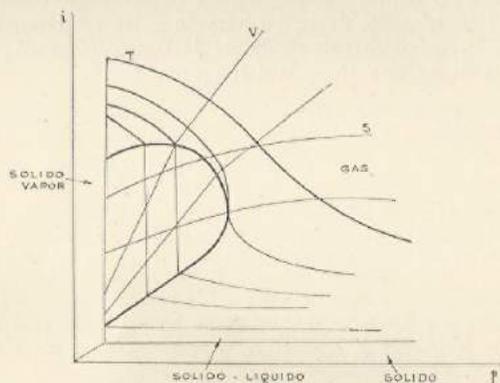


FIG. 5.

DIAGRAMA  $i-\Phi$  (ENTALPÍA - POTENCIAL TERMODINÁMICO).

Como hemos visto, entre las funciones utilizadas en Termodinámica y que son diferenciales exactas, la energía interna y la entalpía nos miden la energía de un sistema en función de la entropía y de  $dv$  o  $dp$ , respectivamente; en cambio el potencial termodinámico lo hace en función de  $dT$  y  $dp$  (16).

Su expresión es:

$$d\Phi = -SdT + Avdp$$

Para una transformación isotérmica  $d\Phi = Avdp$  o sea que el trabajo ejercido o recibido por el sistema que evoluciona está medido por la variación de potencial.

La diferencia entre las variaciones elementales de  $i$  y de  $\Phi$  será:

$$di - d\Phi = TdS + Avdp + SdT - Avdp$$

$$di - d\Phi = d(TS)$$

Integrando y eligiendo un origen arbitrario:

$$i - \Phi = TS$$

es decir igual a la energía vinculada. Una recta que pasa por el origen y forma un ángulo de  $45^\circ$  con cada uno de los ejes (para escalas igua-

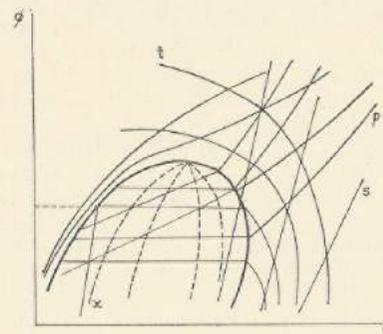


FIG. 4.

les de  $i$  y de  $\Phi$ ) nos define la isentrópica  $S = 0$ . Para una isentrópica cualquiera:  $d\Phi = -SdT + di$ , resultando el coeficiente angular:

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial i}\right)_S = 1 - S \left(\frac{\partial T}{\partial i}\right)_S$$

La pendiente de la tangente a una isotérmica será:

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial i}\right)_T = 1 - T \left(\frac{\partial S}{\partial i}\right)_T$$

y para el caso de una isobárica

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial i}\right)_p = -\frac{S}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_p$$

Reemplazando el valor de la entropía en la expresión que define el potencial termodinámico:

$$d\Phi = -\left[S_1 + a \log \frac{T_2}{T_1} + b(T_2 - T_1) - AR \log \frac{p_2}{p_1}\right] dT + Av dp$$

cuya integración es bastante complicada, pero si se admite  $b = 0$  y se toma  $S_1$  correspondiente a  $T = 273^\circ K$  se simplifica sensiblemente, permitiendo el trazado de la isobara básica ( $p_0 = 760$  mm).

Veamos algunos casos de aplicación. Una evolución isotérmica o con pequeño aumento de temperatura (inversión) está representada para el aire por una recta vertical (si el eje de abscisas corresponde a las entalpías). Una transformación isentrópica (por ejemplo ascenso adiabático)

está definida por una recta inclinada  $S = Cte$  y como la energía disponible está dada por la diferencia de los valores de entalpía, se mide en la escala de abscisas.

### III.—CONCLUSION

En este artículo hemos reseñado sucintamente la construcción y la aplicación a algunos casos meteorológicos de los diagramas entálpicos, enunciando asimismo las consideraciones teóricas para su estudio. A pesar de que para los gases perfectos, caso del aire, la entalpía es sólo función de la temperatura, creemos que resulta de interés, desde el punto de vista especulativo, el análisis y estudio de los procesos termodinámicos de la atmósfera mediante el auxilio de dicha función y en tal sentido los diagramas entálpicos proporcionan una ayuda de evidente conveniencia. Cabe hacer notar que en los esquemas que figuran en el artículo se han representado, con fines ilustrativos, las zonas de cambio de fase, entendiéndose que para el aire atmosférico debe trabajarse en la región de los gases perfectos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. QUINTERNO. — «Curso de Termodinámica Técnica». (Apuntes de clase).
2. KIEFER. — «The thermodynamic properties of water and water vapor». (*Monthly Weather Review*, Nov. 1941).
3. BLEEKER. — *Bulletin of the American Meteorological Society* (oct. 1939).
4. GOURDET y PROUST. — «Les diagrammes thermodynamiques» (1950).
5. DI CORLETO. — «Comparación entre los diagramas termodinámicos de la atmósfera» (1944).
6. MORÁN SAMANIEGO. — «Apuntes de Termodinámica de la Atmósfera» (1944).
7. GRUBENMANN. — «J-x Tafeln feuchter Luft» (1926).
8. QUINTELA. — «Bases termodinámicas de la climatización artificial» (inédito).
9. BLEEKER. — *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. (Vol. 65).
10. COLOMBI. — «Le diagramme enthalpie-potential thermodynamique» (1940).

## INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE SOBRE EL PORCENTAJE DE GRASA BUTIROMÉTRICA EN LA LECHE DE VACA \*

Por SEBASTIAN FELIU \*\*

Resumen. — a) Se hizo el estudio de la variación del porcentaje de grasa butirométrica con relación a la temperatura ambiental en el tambo del Instituto Experimental de Ganadería "Santa Catalina" en condiciones normales de explotación a campo. b) El promedio de G. B. del período que abarcó 10 años y 6 meses fué de 3.04 %. c) El tenor de G. B. se registra por debajo de la normal entre los meses de diciembre-enero hasta junio, correspondiendo al mes de marzo el valor de 2.84 % con la máxima desviación que alcanza a  $-0.20$  %. Entre los meses junio a diciembre se obtiene un rendimiento superior a la normal, llegando en el mes de setiembre a 3.22 % de G. B. y la máxima desviación a  $+0.18$  %. d) Existe una estrecha correlación inversa entre el porcentaje de G. B. y la temperatura ambiental, es decir, que con el aumento de la temperatura se corresponde una disminución del tenor de grasa. e) Las temperaturas medias y mínimas de los diez días anteriores al ordeño son las que más se relacionan con la variación del tenor de G. B. pero la mínima en menor escala. f) Para cada  $5.0^{\circ} C$  de aumento de la temperatura media de los diez días anteriores al ordeño, entre los límites  $8.9^{\circ}$  y  $28.5^{\circ} C$  se produce una disminución de 0.071 % de grasa butirométrica.

Summary. — a) The study of the percentage variation of butter fat (G. B.) was made according to the environmental temperature at the dairy of the Instituto Experimental de Ganadería "Santa Catalina" in normal conditions of milk production in open breeding. b) The average of record G. B. which comprised 10 years and 6 months was 3.04 per cent. c) The percentage or "tenor" of G. B. is recorded below the normal value in the period December-January till June; the value of 2.84 per cent corresponds to March with the maximum deviation which reaches to  $-0.20$  per cent. A superior production above the normal value is obtained from June to December, reaching in September to 3.22 per cent of G. B. and the maximum deviation to  $+0.18$  per cent. d) A close inverse correlation between the percentage of G. B. and the environment temperature exists, that is to say, according to the rise in temperature a decrease on fat percentage is corresponded. e) The mean and minimum temperatures of those ten days before milking are those which are more related with the percentage variation of G. B. but minimum on a small scale. f) For every  $5.0^{\circ} C$  rise in mean temperature of those ten days before milking, a decrease of 0.071 per cent of butter fat is produced from the limits  $8.9^{\circ}$  to  $28.5^{\circ} C$ .

### I.—INTRODUCCION

Las condiciones ambientales actuantes sobre el organismo animal resultan de un complejo de muchos factores, pero es de la mayor importancia para el resultado final conocer aisladamente la influencia de cada uno de ellos.

Numerosos estudios se han efectuado con el objeto de determinar los elementos que actúan sobre la variación porcentual de la grasa butiro-

\* Trabajo presentado, con ligeras variantes, al Primer Congreso Sudamericano de Investigaciones en Materias Agronómicas, realizado en «La Estanzuela», R. O. del U., en el mes de noviembre de 1949.

\*\* Doctor en Medicina Veterinaria; Jefe de Climatología Ganadera del Servicio Meteorológico Nacional.

métrica en leche de vaca, debido a la importancia que representa en su calidad, valor alimenticio y comercial. Estos factores para su mejor interpretación se reúnen en dos grupos. En el primero, se incluyen los de orden endógeno o inherentes al individuo y raza, que son de carácter genético hereditario. En el otro se agrupan los factores de origen exógeno, contándose entre los principales: la alimentación, régimen de explotación, estado de gestación, lactación, época de parición, edad y medio ambiente.

Si bien es cierto que los animales homeotermos, por su sistema de termo-regulación, se avienen a los climas más diversos, no es menos verdadero que sus funciones se ven alteradas en mayor o menor escala cuando el conjunto o algunos de los elementos climáticos modifica sensiblemente las condiciones del medio. El trabajo de REGAN y RICHARDSON<sup>(12)</sup> resulta en este aspecto ilustrativo, demostrando la notable alteración sufrida en el número de respiraciones, temperatura rectal y pulsaciones de las vacas sometidas a la influencia de temperaturas variables, en ambientes controlados. En algunos casos, se ha podido observar que cuando los elementos del medio les son excesivamente desfavorables, producen modificaciones morfo-funcionales que determinan, inclusive, su extinción.

Como se ha comprobado que el contenido de grasa butirométrica varía de acuerdo con las estaciones del año y por ser la temperatura el factor del clima que más singularmente la caracteriza, es posible suponer que éste sea uno de los de mayor influencia en dicha variación.

El objeto de este trabajo es observar la influencia estacional y cuantificar la relación entre la temperatura del ambiente y la variación de grasa butirométrica en leche de vaca, en las condiciones de ambiente a que se hallan sometidos los animales en estudio.

## II. — ANTECEDENTES

Es admitido por los especializados que han tratado el tema en general como ERDMANN<sup>(3)</sup>, MINUT<sup>(4)</sup> y otros, que entre los factores influyentes en la composición química de la leche y en especial en el tenor de grasa butirométrica y sus fluctuaciones, el clima ocupa un lugar de marcada importancia.

Entre los investigadores que estudiaron la variación estacional del tenor de la materia grasa de la leche de vaca, citaremos a RAGSDALE y TURNER<sup>(10)</sup> que observaron el comportamiento de 3.743 vacas *Guernsey*, 255 *Jersey* y 95 *Holstein Friesian* inscriptas en los registros respectivos. Comprobaron la influencia del estado de lactación en condiciones de explotación común y luego de anular el efecto de la estación determinaron que, desde el comienzo de la lactación hasta los 2 meses y a veces hasta los 3, se produce un descenso del tenor graso, después de lo cual se observa un ascenso gradual que se hace más pronunciado al llegar a los últimos meses de este estado. Estos autores<sup>(11)</sup> con los mismos elementos consideran la influencia de la variación estacional en el porcentaje de grasa butirométrica, y la comparan a la influencia ejercida por el estado de lactación. Llegaron así a determinar que el porcentaje de grasa butirométrica de la leche de los animales que inician su lactación en los meses de enero, febrero, marzo y abril (invierno en los EE. UU.) es más baja durante el verano; el porcentaje de la misma en los ani-

males con lactación iniciada en junio, julio y agosto (verano), dan el máximo de grasa butirométrica en invierno. De esto concluyen que la acción de la estación frenó en el primer caso la acción del estado de lactación y en cambio en el segundo sumó su influencia elevando dicho tenor.

WYLIE<sup>(12)</sup> sobre un record de 2.900 animales registrados por la Sociedad Jersey Club, encontró que el porcentaje más alto se produjo entre los meses de noviembre a enero inclusive (invierno en los EE.UU.) con un promedio de 5,73 % de G. B. Luego siguió una declinación gradual hasta julio (verano) en que se registró el tenor de 5,2 % para ascender nuevamente hasta diciembre. Estos resultados fueron obtenidos eliminando la influencia de la época de parición de los animales.

BEEKER y ARNOLD DIX<sup>(1)</sup>, estudiaron el tenor de grasa en su relación con el estado de lactación y además con la temperatura ambiental, sobre una serie de 293 lactaciones en vacas *Jersey* del tambo de la Estación Florida. En los datos obtenidos, observaron que durante el segundo mes de producción, se manifiesta el tenor más bajo con 4,59 % de G. B., seguido luego por un aumento gradual que llega hasta 5,55 %. En cambio, al ordenar los datos para demostrar la influencia estacional, obtuvieron que el porcentaje de grasa en agosto (verano) descendió a 4,76 mientras que en diciembre (invierno) alcanzó el valor de 5,46 de G. B. La diferencia debida al estado de lactación fué de 0,961 % y la relación con la estación alcanzó a 0,704 %. Estos autores indican que dadas las condiciones relativamente uniformes del clima de Florida, donde la temperatura mínima es de 8,2°C y la máxima es de 32,6°C, resulta ser más significativa la acción del estado de lactación sobre la cantidad de grasa, que la variación estacional. Pero observaron sin embargo, que coincide con lo obtenido por otros investigadores, ya que se produce el mayor tenor graso en invierno y el menor en verano.

LABARTHE<sup>(6)</sup>, estudió los registros de 1937 a 1942 de porcentaje de grasa butirométrica en leche de tambo de Escuelas de Agricultura de nuestro país y de varias explotaciones particulares en períodos variables hasta 9 años, y señaló la existencia de un ritmo estacional. En sus conclusiones afirma: "... En general los más altos promedios de G. B. se registraron en los meses de otoño (abril a junio) siguiendo a éstos los de verano (enero a marzo). Los más bajos se obtienen en primavera (octubre a diciembre) con poca diferencia con el invierno (julio a setiembre)". En los tambos que proveen de leche a la fábrica de la Escuela de Tandil se registraron "... los valores cúspides en otoño o comienzos del invierno y los mínimos en la primavera o comienzos del verano ...".

DAVIS et al.<sup>(2)</sup> efectuaron una experiencia para observar las variaciones en los constituyentes de la leche en las vacas *Jersey*, *Guernsey* y *Holstein*, del tambo de la Universidad de Arizona (EE. UU.) practicando análisis mensuales sobre un período de 30 meses. Estos autores llegaron a la conclusión de que el total de grasa butirométrica fué más alto en invierno y más bajo en verano y de que el menor valor del verano sería debido principalmente a las altas temperaturas. La temperatura ambiental, según los referidos autores, parece ejercer una mayor influencia sobre la producción de leche y grasa butirométrica que el avance de la lactación.

Algunos investigadores estudiaron en forma más concreta la influencia de la temperatura ambiental sobre el porcentaje de grasa en la leche de vaca. En esos estudios procuraron eliminar los factores que pudieran ocultar la acción de la temperatura en el medio natural de la explotación y otros trabajaron con ambientes de clima acondicionado.

RAGSDALE y BRODY<sup>(3)</sup> al experimentar con un grupo de 10 vacas sometidas a las mismas condiciones de alimentación y cuidados, por espacio de 24 horas y durante 43 días, obtuvieron como resultado una estrecha relación entre la temperatura y el tenor de G. B. Comprobaron así que los mayores porcentajes correspondían a las temperaturas más bajas y llegaron a valorar un aumento de 0,19 de G. B. por cada disminución de 5,0°C entre las temperaturas límites de -2,8°C y 21,1°C.

HAYS<sup>(14)</sup>, estudió los datos del tenor graso de la leche del tambo de la Universidad de Missouri en condiciones normales de explotación durante un período de 280 días. Las temperaturas ambientales oscilaron entre 29,8°C a -4,2°C con una amplitud de 24,0°C. Con la temperatura más baja se obtuvo 3,60 % de G. B. y a la mayor correspondió 3,17 % de G. B. De tal manera por cada 5,0°C hubo un incremento de 0,071 % de grasa butírométrica. Este resultado no lo consideró tan significativo como el obtenido con ensayos posteriores en ambiente acondicionado dado que intervenían además otros factores. En un segundo ensayo sometió 2 vacas *Jersey* a la acción de temperaturas desde 33,7°C hasta -2,8°C en siete períodos con intervalos de 5,5°C. Se obtuvo un aumento de grasa de 0,624 %, lo que corresponde a 0,086 % para cada 5,0°C de disminución de la temperatura. Al estudiar los resultados obtenidos entre 22,3°C y -2,8°C observó que el aumento del tenor graso fué de 0,863 % que equivale a 0,172 % de aumento para cada intervalo de 5,0°C. El autor hace notar que el aumento de la temperatura a partir de los 22,3°C produce un incremento en el porciento de G. B. y lo explica como posible resultado en el aumento del metabolismo animal. Finalmente afirma que en la variación estacional la temperatura es el factor más importante.

### III. — MATERIAL Y METODO

Se utilizaron en este trabajo los datos de los análisis efectuados por el Servicio Oficial del Ministerio de Agricultura de la Nación para el control de productividad lechera, en el Tambo del Instituto Experimental de Ganadería "Santa Catalina", situado en Llavallol, F. C. N. G. R.<sup>5</sup>.

El período estudiado abarcó 10 años y 6 meses (1936-1946) en el cual se realizaron 4.151 determinaciones de G. B. Estos análisis se efectuaron mensual e individualmente sobre una cantidad de vacas en tambo que osciló entre 30 y 35. De estos análisis mensuales se obtuvo el promedio mensual correspondiente empleándose este dato como base para los estudios. La media general de todo el período decádico del porcentaje de grasa butírométrica fué de 3,04.

Los animales que formaron este tambo fueron en su mayor parte de raza Holando Argentina, puros de pedigré y puros por cruce y en menor escala Shorthorn mestizo, mantenidos a campo y ordeñados a mano con o sin ternero, bajo tinglado.

\* Se agradece a las autoridades del mencionado Instituto la cesión del material aludido que permitió la realización de este trabajo.

CUADRO I. — Porcentaje promedio mensual de rendimiento de G. B. y fechas de los análisis correspondientes efectuados en el Instituto Experimental de Ganadería "Santa Catalina", Llavallol (1936-1946)

| Año   | Enero |      | Febrero |      | Marzo |      | Abril |      | Mayo |      | Junio |      | Julio |      | Agosto |      | Septiembre |      | Octubre |      | Noviembre |      | Diciembre |      |  |
|-------|-------|------|---------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|--------|------|------------|------|---------|------|-----------|------|-----------|------|--|
|       | Día   | %    | Día     | %    | Día   | %    | Día   | %    | Día  | %    | Día   | %    | Día   | %    | Día    | %    | Día        | %    | Día     | %    | Día       | %    | Día       | %    |  |
| 1936  | 7     | 2,77 | 2       | 2,94 | 1     | 2,90 | 6     | 2,6  | 7    | 2,67 | 2     | 3,75 | 6     | 2,77 | 6      | 2,84 | 3          | 3,04 | 2       | 3,18 | 2         | 3,19 | 4         | 3,03 |  |
| 1937  | 5     | 2,65 | 4       | 2,96 | 2     | 2,71 | 1     | 2,61 | 1    | 2,85 | 6     | 5,08 | 1     | 2,74 | 5      | 2,85 | 6          | 3,49 | 1       | 2,88 | 3         | 2,81 | 6         | 3,21 |  |
| 1938  | 3     | 2,83 | 2       | 2,82 | 2     | 2,87 | 5     | 2,84 | 2    | 3,21 | 1     | 3,40 | 1     | 3,28 | 1      | 3,48 | 5          | 3,51 | 3       | 3,11 | 4         | 3,32 | 1         | 3,05 |  |
| 1939  | 4     | 3,11 | 1       | 3,02 | 1     | 2,97 | 3     | 3,01 | 3    | 2,96 | 14    | 2,91 | 5     | 3,07 | 1      | 3,20 | 6          | 3,20 | 10      | 3,17 | 6         | 3,55 | 6         | 3,29 |  |
| 1940  | 14    | 2,99 | 14      | 2,98 | 17    | 3,61 | 28    | 3,25 | 25   | 3,16 | 25    | 2,91 | 18    | 2,96 | 13     | 2,91 | 10         | 3,05 | 15      | 3,26 | 10        | 2,93 | 9         | 3,25 |  |
| 1941  | 30    | 3,04 | 26      | 2,95 | 30    | 2,71 | 27    | 2,59 | 28   | 2,91 | 26    | 2,89 | 30    | 3,15 | 26     | 3,00 | 26         | 3,02 | 24      | 3,05 | 24        | 3,28 | 26        | 3,06 |  |
| 1942  | 25    | 3,15 | 24      | 2,99 | 30    | 2,79 | 27    | 2,56 | 29   | 2,85 | 2     | 3,12 | 22    | 3,00 | 16     | 3,52 | 15         | 3,39 | 7       | 3,00 | 1         | 3,05 | 16        | 3,17 |  |
| 1943  | 7     | 2,71 | 7       | 2,94 | 5     | 2,79 | 5     | 2,91 | 2    | 2,85 | 2     | 3,07 | 17    | 3,00 | 25     | 3,21 | 22         | 3,24 | 22      | 3,14 | 28        | 3,17 | 15        | 3,20 |  |
| 1944  | 25    | 3,20 | 22      | 3,04 | 26    | 2,89 | 19    | 2,89 | 18   | 3,17 | 22    | 3,07 | 17    | 3,00 | 25     | 3,21 | 18         | 3,16 | 2       | 3,14 | 28        | 2,85 | 16        | 2,89 |  |
| 1945  | 25    | 2,93 | 18      | 2,80 | 22    | 2,99 | 24    | 2,58 | 27   | 3,28 | 28    | 3,52 | 29    | 2,97 | 29     | 3,42 | 18         | 3,21 | 29      | 3,27 | 29        | 2,98 | 50        | 2,65 |  |
| 1946  |       |      |         |      |       |      |       |      |      |      |       |      |       |      |        |      |            |      |         |      |           |      |           |      |  |
| Prom. |       | 2,95 |         | 2,94 |       | 2,92 |       | 2,85 |      | 3,00 |       | 3,15 |       | 3,00 |        | 3,16 |            | 3,23 |         | 3,15 |           | 3,15 |           | 3,07 |  |

Promedio general G. B.: 3,04 %

La alimentación se mantuvo dentro de los límites normales con praderas naturales, alfalfares y *Sudan Grass*, durante los meses de calor, y con avenales, chalares, cebadales, reforzadas con heno de alfalfa, *Sudan Grass* o silajes de maíz en los meses fríos.

Puede considerarse al tambo del Instituto de Ganadería sujeto a una explotación racional, por la cual la gran cantidad de factores que actúan, no modifican ni deforman en amplitud apreciable los efectos que sobre el tenor de grasa butirométrica pueda tener la temperatura ambiental.

Los datos meteorológicos fueron extraídos de las planillas tridíurnas de la estación que el Servicio Meteorológico Nacional tiene instalado en el mismo campo experimental. Estos datos abarcan 10 años y 6 meses (1936-1946) que corresponden al mismo período del cual se poseen los análisis del porcentaje de G. B.

De acuerdo con lo expresado más arriba, de que la temperatura ambiental fuera uno de los elementos meteorológicos de mayor importancia capaz de influir sobre el estado fisiológico del animal en productividad, y en consecuencia de provocar una fluctuación del tenor graso de la leche, se dispuso utilizar el método estadístico de correlación para determinar así el grado en que se relacionan ambas variables\*. En tal forma se investigó separadamente la relación de la temperatura del día anterior, de los 10 anteriores y de los 30 días anteriores a la fecha del ordeño, con los porcentajes promedios mensuales de grasa butirométrica de la leche, cuyo detalle se presenta en el Cuadro I. Con el objeto de facilitar el trabajo, el material de datos disponible se agrupó y promedió de la siguiente manera: los valores de temperaturas anteriores al ordeño por clases de 2,5°C y los valores de porcentaje de grasa butirométrica correspondientes a dichas temperaturas se promediaron y ordenaron correlativamente a su clase. Se descartaron al hacer estos promedios los resultados de los primeros análisis de G. B. efectuados en los meses de enero a junio del año 1936 por considerarlos anormales frente a los análisis de los mismos meses de los 10 años restantes. Así mismo para los cálculos de correlación no se tuvieron en cuenta los grupos formados por menos de 3 elementos. De tal manera la comparación de 126 valores individuales de temperaturas y porcentajes de grasa butirométrica se redujo a menos de la décima parte. Esta reducción del material se hizo al tener en cuenta que las correlaciones se calcularon entre el porcentaje de grasa butirométrica y la temperatura anterior al ordeño considerada en la forma siguiente:

- 1) media del día anterior
- 2) máxima del día anterior
- 3) mínima del día anterior
- 4) media de los 10 días anteriores
- 5) máxima de los 10 días anteriores
- 6) mínima de los 10 días anteriores
- 7) media de los 30 días anteriores
- 8) máxima de los 30 días anteriores
- 9) mínima de los 30 días anteriores.

En los Cuadros II, III y IV, se muestra el resultado del agrupamiento de datos en la forma que se deja explicada, y que constituyó la base para los cálculos de comparación que analizaremos más adelante.

\* Quiero dejar expresado mi agradecimiento al Ingeniero Agrónomo José A. Bosso por la colaboración prestada en el análisis estadístico de este trabajo.

CUADRO II. — Tenor de grasa butirométrica y temperatura del día anterior al ordeño

| Intervalo clase de temperatura en °C. (2-3) | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| -5.0  | -2.6 | —    | —    | —    | —    | 5.6  | 3.11 |
| -2.5  | 0.0  | —    | —    | —    | —    | 0.8  | 2.84 |
| 0.0   | 2.5  | —    | —    | —    | —    | 1.5  | 3.14 |
| 2.6   | 5.0  | —    | —    | —    | —    | 5.5  | 5.15 |
| 5.1   | 7.5  | 6.8  | —    | —    | —    | 6.5  | 5.06 |
| 7.6   | 10.0 | 8.7  | —    | —    | —    | 8.8  | 3.13 |
| 10.1  | 12.5 | 11.5 | —    | —    | —    | 11.3 | 3.02 |
| 12.6  | 15.0 | 13.5 | 11.6 | —    | 3.05 | 13.9 | 3.01 |
| 15.1  | 17.5 | 16.2 | 15.7 | 16.5 | 3.07 | 16.5 | 3.00 |
| 17.6  | 20.0 | 18.6 | 19.1 | 19.1 | 3.15 | 18.5 | 3.04 |
| 20.1  | 22.5 | 21.9 | 21.1 | 21.1 | 3.05 | 20.7 | 2.96 |
| 22.6  | 25.0 | 25.6 | 25.9 | 25.9 | 2.99 | —    | —    |
| 25.1  | 27.5 | 25.8 | 26.4 | 26.4 | 3.08 | —    | —    |
| 27.6  | 30.0 | 28.7 | 28.8 | 28.8 | 3.01 | —    | —    |
| 30.1  | 32.5 | —    | 31.2 | 31.2 | 2.98 | —    | —    |
| 32.6  | 35.0 | —    | 35.7 | 35.7 | 3.05 | —    | —    |
| 35.1  | 37.5 | —    | 37.1 | 37.1 | 2.95 | —    | —    |

CUADRO III. — Tenor de grana butírométrica y temperatura de los diez días anteriores al ordeño

| Intervalo clase de temperatura en °C (2.5) | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.0  | 2.5  | —    | —    | —    | —    | 1.6  | 5.06 |
| 2.6  | 5.0  | —    | —    | —    | —    | 3.8  | 5.15 |
| 5.1  | 7.5  | —    | —    | —    | —    | 6.4  | 5.09 |
| 7.6  | 10.0 | 8.9  | 3.28 | —    | —    | 8.9  | 5.15 |
| 10.1                                       | 12.5 | 11.5 | 5.07 | 11.5 | 5.10 | 11.1 | 5.08 |
| 12.6                                       | 15.0 | 15.8 | 5.15 | 15.8 | 5.11 | 13.7 | 5.04 |
| 15.1                                       | 17.5 | 16.5 | 2.99 | 16.4 | 5.15 | 15.9 | 2.98 |
| 17.6                                       | 20.0 | 18.7 | 5.07 | 18.6 | 5.11 | 18.9 | 2.82 |
| 20.1                                       | 22.5 | 21.7 | 5.02 | 21.6 | 2.98 | —    | —    |
| 22.6                                       | 25.0 | 23.5 | 2.99 | 23.7 | 5.07 | —    | —    |
| 25.1                                       | 27.5 | 26.2 | 2.95 | 26.5 | 2.97 | —    | —    |
| 27.6                                       | 30.0 | 28.5 | 2.91 | 28.8 | 5.03 | —    | —    |
| 30.1                                       | 32.5 | —    | —    | 30.7 | 2.95 | —    | —    |
| 32.6                                       | 35.0 | —    | —    | 32.9 | 2.98 | —    | —    |

CUADRO IV. — Tenor de grana butírométrica y temperatura de los treinta días anteriores al ordeño

| Intervalo clase de temperatura en °C (2.5) | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.0  | 2.5  | —    | —    | —    | —    | 2.0  | 5.07 |
| 2.6  | 5.0  | —    | —    | —    | —    | 3.8  | 5.05 |
| 5.1  | 7.5  | —    | —    | —    | —    | 6.5  | 5.07 |
| 7.6  | 10.0 | 9.2  | 5.05 | —    | —    | 8.6  | 5.10 |
| 10.1                                       | 12.5 | 11.4 | 5.02 | —    | —    | 11.5 | 5.14 |
| 12.6                                       | 15.0 | 15.7 | 3.16 | 14.2 | 3.02 | 14.1 | 2.95 |
| 15.1                                       | 17.5 | 16.8 | 3.06 | 16.3 | 3.07 | 16.5 | 3.00 |
| 17.6                                       | 20.0 | 19.0 | 3.15 | 18.7 | 3.16 | —    | —    |
| 20.1                                       | 22.5 | 21.2 | 2.94 | 21.7 | 5.09 | —    | —    |
| 22.6                                       | 25.0 | 23.5 | 2.95 | 23.8 | 5.11 | —    | —    |
| 25.1                                       | 27.5 | 26.0 | 5.09 | 26.2 | 2.92 | —    | —    |
| 27.6                                       | 30.0 | —    | —    | 28.8 | 2.98 | —    | —    |
| 30.1                                       | 32.5 | —    | —    | 31.1 | 5.04 | —    | —    |

ALGUNAS REFERENCIAS SOBRE EL AMBIENTE DE LA REGIÓN  
EN QUE SE HIZO ESTE ESTUDIO

La estación meteorológica "Llavallol" ubicada en el Instituto "Santa Catalina" a  $34^{\circ}47'$  de latitud,  $58^{\circ}27'$  de longitud y a 18 metros aproximadamente sobre el nivel del mar, se halla situada a pocos kilómetros de la ribera argentina del Río de la Plata, sobre el deslinde que corresponde entre las formaciones fitogeográficas del Parque Mesopotámico y la Estepa Pampeana.

En el presente es poco o nada de lo que resta de la vegetación prístina por la intensa acción del hombre, especialmente notable por la proximidad a la Capital Federal de la que está separada aproximadamente en 30 kilómetros.

El resumen termo-pluviométrico del Cuadro V, indica los valores correspondientes a los distintos meses y los promedios anuales calculados sobre los registros de 1936 a 1946.

CUADRO V. — *Valores termoplumiométricos del Instituto de « Santa Catalina »*  
(Promedios 1936-1946)

| Meses     | Temperatura media | Temperatura máxima | Temperatura mínima | Precipitación |
|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Enero     | 24.5              | 29.8               | 15.8               | 85            |
| Febrero   | 25.7              | 29.2               | 15.7               | 67            |
| Marzo     | 20.6              | 25.8               | 13.5               | 179           |
| Abril     | 17.1              | 22.2               | 10.5               | 95            |
| Mayo      | 13.8              | 18.7               | 7.7                | 62            |
| Junio     | 11.5              | 15.5               | 5.6                | 62            |
| Julio     | 10.7              | 15.2               | 5.4                | 49            |
| Agosto    | 11.5              | 16.2               | 5.5                | 65            |
| Setiembre | 15.9              | 18.5               | 7.2                | 94            |
| Octubre   | 16.6              | 21.4               | 9.8                | 185           |
| Noviembre | 19.7              | 24.7               | 11.6               | 83            |
| Diciembre | 22.6              | 27.9               | 14.3               | 109           |

Del análisis de este cuadro se desprende que la región se caracteriza por tener un clima relativamente suave, con poco frío en invierno y en verano el calor no es excesivo. Las lluvias se distribuyen con bastante regularidad durante todo el año, pues si bien presenta un máximo en primavera y verano, en estas estaciones las exigencias en agua son también mayores. En esta forma las condiciones climáticas resultan particularmente favorables para el desarrollo de praderas naturales o la formación de praderas artificiales.

De acuerdo con la nueva clasificación de THORNTHWAITE a esta región correspondería un clima  $B_1 B'2 r a'$ , es decir húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua en verano y con una concentración estival de su eficiencia térmica inferior al 48 %.

IV. — ANALISIS

A) INFLUENCIA DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE EL TENOR  
DE GRASA BUTIROMÉTRICA

Para determinar la influencia de la época del año sobre la variación media del tenor graso, se hizo la representación gráfica de la fig. 1 con los datos del Cuadro I. Sobre el eje de las abscisas se han indicado las fechas de los análisis y sobre el de las ordenadas el promedio de porcentaje de G. B. de cada determinación mensual.

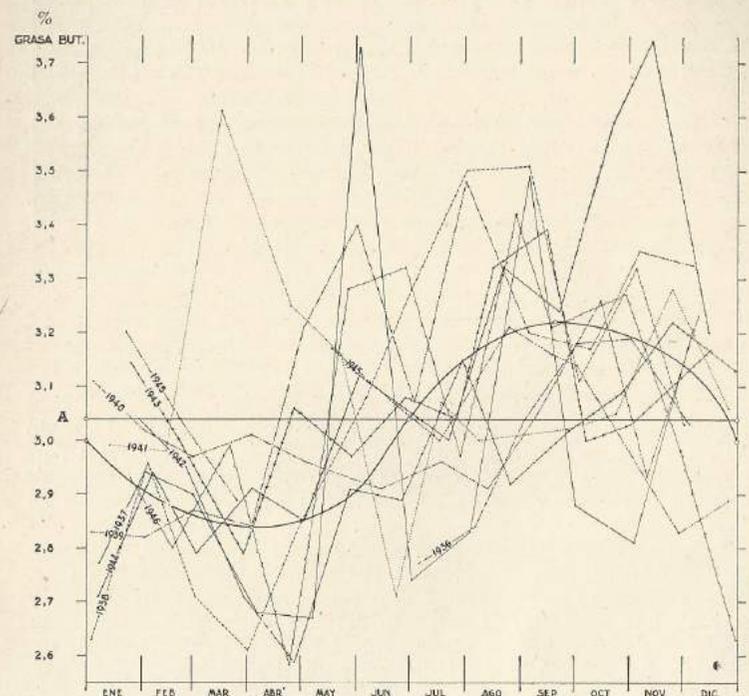


FIG. 1. — Variación del % de G. B. según fechas de análisis. Registros 1936-1946.

Por la observación de la figura 1, se desprende que existe una variación cronológica del tenor graso, que se corresponde con la curva de regresión trazada a mano levantada según lo aconsejado por diversos autores de estadística. Si se tiene en cuenta que el promedio general de los 10 años y 6 meses fué de 3,04 % de G. B., indicados por la recta A-B, es dable observar que en el período comprendido desde diciembre-enero a junio el tenor de grasa es menor que el normal, llegando a la desviación máxima negativa de 0,20 % en el mes de marzo y cuyo valor es de 2,84 %. En el intervalo comprendido entre junio y diciembre la

curva manifiesta valores superiores a la normal con una desviación máxima positiva de 0,18 % en el mes de setiembre alcanzando un tenor máximo de 3,22 %.

La gráfica de la figura 2 se hizo con el promedio decádico de las medias mensuales de los porcentajes de G. B. La curva trazada a mano levantada coincide con la curva ajustada de la figura 1. El cálculo de índice de correlación, efectuado con el objeto de determinar el grado de coincidencia de la curva y los datos reales, dió un valor de 0,960 lo cual significa un alto grado de coincidencia.

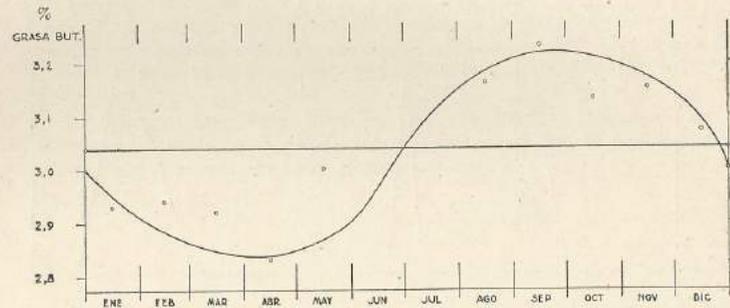


Fig. 2.—Promedios mensuales de % de G. B. según meses del año. Registros 1956-1946.

#### B) INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE EL TENOR DE GRASA BUTIROMÉTRICA

Analizaremos a continuación los resultados obtenidos con el cálculo del coeficiente de correlación entre los valores de temperatura y los porcentajes de G. B. agrupados como se dejó explicado en el capítulo de Material y Método y que en los Cuadros II, III y IV se presentan en detalle.

La relación entre las temperaturas medias del día anterior y los porcentajes de G. B. están resumidas en el Cuadro II, columnas B y C.

Se ordenaron los promedios de estas temperaturas entre 6,8°C y 28,7°C. Los promedios de porcentaje de grasa butirométrica correspondientes, registraron valores extremos de 2,93 y 3,17. El cálculo de correlación dió -0,345 lo que indica ser poco significativo.

La relación entre las temperaturas máximas del día anterior y los porcentajes de grasa butirométrica están resumidas en el Cuadro II, columnas D y E.

Se ordenaron estos promedios entre 11,6 y 37,1°C. Los promedios de porcentaje de G. B. oscilaron dentro de los valores extremos de 2,93 y 3,19. El cálculo de correlación dió -0,529, que resulta algo significativo.

La relación entre las temperaturas mínimas del día anterior y los porcentajes de grasa butirométrica están comprendidos en el Cuadro II, columnas F y G.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas de -3,6 y 20,7°C. Los promedios de porcentaje de G. B. correspondieron dentro de los

valores extremos de 2,84 y 3,14. El cálculo de correlación dió un valor de -0,227 que indica ser nada significativo.

La relación entre las temperaturas medias de los diez días anteriores al ordeño y los porcentajes de G. B. están comprendidos en el Cuadro III, columnas B y C.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas de 8,9 y 28,5°C. Los promedios de porcentaje de grasa butirométrica correspondieron dentro de los valores extremos de 2,91 y 3,28. El cálculo de correlación dió un valor de -0,857 y el error probable de 0,0596. Tales guarismos permiten asegurar que hay una estrecha relación entre ambas variables y que a mayor temperatura corresponde un menor porcentaje de G. B. Este coeficiente de correlación resulta ser muy significativo.

La relación entre las temperaturas máximas de los diez días anteriores al ordeño y los porcentajes de grasa butirométrica están comprendidos en el Cuadro III, columnas D y E.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas 11,3 y 32,9°C. Los promedios de porcentaje de G. B. variaron entre 2,93 y 3,15. El cálculo del coeficiente de correlación dió -0,481, lo que indica ser poco significativo.

La relación entre las temperaturas mínimas de los diez días anteriores al ordeño y los porcentajes de G. B. están comprendidos en el Cuadro III, columnas F y G.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas 1,6 y 18,9°C. Los promedios de porcentaje de G. B. variaron entre 2,82 y 3,1'. El cálculo de correlación dió -0,819 indicando ello ser muy significativo.

La relación entre las temperaturas medias de los treinta días anteriores al ordeño y los porcentajes de G. B. están comprendidos en el Cuadro IV, columnas B y C.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas 9,2 y 26,0°C. Los promedios de porcentajes de grasa butirométrica oscilaron entre 2,94 y 3,16. El coeficiente de correlación obtenido fué de -0,145, indicando ser nada significativo.

La relación entre las temperaturas máximas de los treinta días anteriores al ordeño y los porcentajes de G. B. están indicadas en el Cuadro IV, columnas D y E.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas de 14,2 y 31,1°C. Los promedios de porcentajes de grasa butirométrica correspondientes abarcaron de 2,92 a 3,16. El coeficiente de correlación fué de -0,386 que indica ser muy poco significativo.

La relación entre las temperaturas mínimas de los treinta días anteriores al ordeño y los porcentajes de G. B. están ubicadas en el Cuadro IV, columnas F y G.

Se ordenaron los promedios entre las temperaturas 2,0 y 16,3°C. Los promedios de porcentajes de G. B. correspondientes abarcaron desde 2,95 a 3,14. El coeficiente de correlación fué de -0,760 lo que indica ser significativo.

Dado que la temperatura media de los diez días anteriores al ordeño son las que más influyen sobre el tenor de grasa butirométrica, se ha procedido a calcular la regresión correspondiente cuya gráfica se representa en el fig. 3.

Se obtendrá así:

$$\text{Coeficiente de regresión} = -0,01417$$

Ecuación de regresión (% de G. B.) =  $3,318 - 0,1417 \times$  temperatura media de la década anterior.

El coeficiente de regresión indica que para cada grado de aumento de la temperatura media de la década anterior al ordeño, la grasa butirométrica disminuirá en 0,01417 %, es decir que para cada 5°C de disminución de la temperatura corresponde 0,071 % de G. B.]

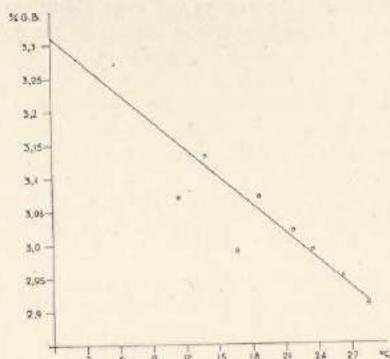


FIG. 5. — Correlación entre el % de G. B. y la temperatura media de la década anterior al día de análisis. Registro 1936-1946. (Lavallo).

En el Cuadro VI se puede observar, los coeficientes de correlación a que nos hemos referido, y a la vez el significado de los coeficientes, teniendo en cuenta su magnitud y los grados de libertad de cada caso, según lo determinado por Fisher (1949:192).

CUADRO VI. — Coeficientes de correlación y significancia

| Antes del ordeño         | 1 día  | 10 días | 30 días |
|--------------------------|--------|---------|---------|
| Temperatura media .....  | -0.345 | -0.857  | -0.145  |
|                          | —      | ***     | —       |
| Temperatura máxima ..... | -0.529 | -0.481  | -0.586  |
|                          | *      | —       | —       |
| Temperatura mínima ..... | -0.227 | -0.819  | -0.760  |
|                          | —      | **      | **      |

Ref.: \*\*\* muy significativo; \*\* significativo; \* algo significativo; — nada significativo.

## V. — CONCLUSIONES

a) La variación del por ciento de G. B. se manifiesta rítmica estacional, donde el valor negativo de correlación se produce en marzo, abril y el positivo en setiembre-octubre.

b) Los coeficientes de correlación son siempre negativos, lo cual indica que dentro de las condiciones normales del ambiente en que se trabaja las temperaturas influyen en sentido inverso sobre el porcentaje de grasa butirométrica.

c) Las temperaturas del día anterior no influyen prácticamente aunque se destaca en forma relativa las máximas cuyas influencias van disminuyendo en los 10 y en los 30 días. Para alcanzar el nivel de significancia del 95 % se necesitaría en este caso un coeficiente de correlación de 0,621 (Fisher 1949).

d) Las temperaturas medias y mínimas de los diez días anteriores al ordeño indicarían ser las determinantes en la fluctuación del tenor de grasa butirométrica. Corresponde la mayor correlación a las temperaturas medias, y en ambos casos los coeficientes hallados superan el 99 % de significancia estadística.

e) Las temperaturas registradas durante los 30 días anteriores al ordeño influyen significativamente solo al considerar las mínimas.

f) El hecho de que la temperatura de los 10 días anteriores al ordeño tengan mayor influencia que la del día anterior, explicaría parcialmente, el desplazamiento de los puntos extremos de la curva de la fig. 1 con respecto a las épocas más frías y cálidas del año según se indica en el cuadro I.

g) Para cada 5,0°C de la disminución de temperatura de los 10 días anteriores al ordeño corresponde un aumento de 0,071 % de grasa butirométrica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BECKER, R. B., y ARNOLD, P. T. D. — « Influence of season and advancing Lactation of Butter Fat Content of Jersey Milk ». *Jour. Dairy Sci.* 18: 389-399. 1945.
2. DAVIS, R. N.; HARLAND, F. G.; CASTER, A. B., y KELINER, R. H. — « Variation in the Constituents of Milk under Arizona Conditions. I: Variations of individual Cows within Breeds By Calendar Months ». *Journal of Dairy Sci.* Vol. XXX, N° 7. July 1947.
3. ERDMANN, FELIPE. — « Producción de leche ». *La Industria Lechera*. Buenos Aires, marzo de 1942.
4. FISHER, R. A. — « Método estadístico para investigadores ». 1949.
5. HAYS, W. P. — « The effect of Environmental Temperature on Percentage of Fat in Cow's Milk ». *Jour. Dairy Sci.* 9: 219-233, 1926.
6. JACOBSEN, D. H., y WALLIS, G. C. — « Factors Affecting the Composition of Milk ». *S. Dak. Agr. Exp. Sta. Bull.* 331. 1939.
7. LABARTHE, CÉSAR A. — « La variación estacional de la materia grasa de la leche en algunas zonas de la República Argentina ». *Rev. de la Fac. de Agr. y Veterinaria*. Buenos Aires, setiembre 1946.
8. MINUT, JUAN. — « Apuntes de mesología y ecología lechera ». *Rev. La Industria Lechera*, febrero y marzo 1943.
9. PIERY, M. — « Traité de Climatologie biologique et médicale ». París, 1954.
10. RAGSDALE y BRODY. — « The effect of Temperature on the Percentage of Fat in Milk ». *Dairy Jour. Sci.* 5: 212-215. 1922.
11. RAGSDALE, A. C., y TURNER, C. W. — « The stage of Lactation as a factor in the Variation of the percent of Fat in Cow's Milk ». *Jour. Dairy Sci.* Vol. V, enero 1922.

12. RAGSDALE, A. C., y TURNER, C. W.— « The Seasonal Variations of the per cent of Fat Cow's Milk ». *Jour. Dairy Sci.* 5: 544-554. 1922.
13. REGAN, W. M., y RICHARDSON, G. A.— « Reaction of the Dairy Cow to changes in environmental temperature ». *Jour. Dairy Sci.* 21: 73-79. 1928.
14. RHOAD, A. C.— « Climate and Livestock Production ». *Yearbook of Agr. U. S. A. Depart. of Agr. Washington D. C.* 1941.
15. TRUCCO, SIXTO E.— « Análisis estadístico aplicado a los trabajos de investigación en Agricultura y Biología ». Bs. As., 1944.
16. TURNER, C. W.— « Factors Affecting the Composition of Milk ». *Univ. of Me Agr. Expt. Sta. Bull.* 365. Missouri, 1936.
17. WEAVER, E., y MATTHEWS, C. A.— « The influence of temperature and Certain other factors upon the percentage of Fat in Milk ». *Iowa Agr. Expt. St. Res. Bull.* 107. 1928.
18. WYLLIE, C. E.— « The effect of Season on the Milk and Fat Production of Jersey Cow's ». *Jour. Dairy Sci.* 8: 127-131. 1925.

## ANÁLISIS DE LA VARIACION DIURNA DE LA PRESION EN LA REPUBLICA ARGENTINA

POR KURT WEGENER \*

**Resumen.** — Representación gráfica de la variación diurna de la presión en varios lugares de la República Argentina y discusión de su relación con la distancia al mar, la altura, y la longitud y latitud geográficas.

**Summary.** — Grafical representation of the diurnal variation of the pressure at various places in Argentine and discussion of the relation to the distance of the sea, the altitude, and the geographical latitude and longitude.

### CONSIDERACIONES GENERALES

En virtud de ser muy grande la variación periódica "regular" o diurna de origen desconocido que se superpone a las variaciones irregulares del tiempo en el territorio argentino, examinaremos estas características como una contribución más al Pronóstico.

Al realizar este estudio tomamos en consideración el trabajo de Herbert Riehl, que nos permite comparar resultados.

En efecto, en el boletín de la American Meteorological Society de setiembre de 1947, pág. 47, el citado autor, de la Universidad de Chicago, al publicar el tema "Diurnal variation of pressure and temperature aloft in the eastern Caribbean" da los datos obtenidos con radiosondeo, aunque limitándose a un promedio anual para el hemisferio norte. Al comparar resultados debemos, pues, tener en cuenta: que las alturas dadas son barométricas (suponen una atmósfera que no se desplaza en sentido vertical), y que los datos logrados por radiosondeo no gozan todavía de la plena confianza de la ciencia.

Según esta publicación, la atmósfera a mayor altura absorbe la radiación del sol, y la temperatura crece a partir de la mañana hasta las 12 horas locales aproximadamente hasta 2 grados centígrados a los 10000 metros de altura, disminuyendo por la tarde en la misma proporción. Durante la noche la temperatura no varía en la altura. La presión en la proximidad del suelo pasa por un mínimo de  $-1\frac{1}{2}$  mb por debajo del valor medio, que falta a gran altura, a las 04 30 hora local; pasa por un máximo a las 10 30 horas que es más fuerte según esta publicación en altura que a nivel del suelo (máximo de  $+2,2$  mb por encima del valor medio a los 6100 metros), y pasa, además, por un mínimo de  $-2$  mb por debajo del valor medio a las 16 30, y por un máximo nocturno a las 22 20, los que desaparecen a gran altura.

El aumento de temperatura de dos grados, considerando el calor específico del aire en  $\frac{1}{4}$ , supone la absorción de 500 gr-cal/columna de aire de 1000 gr/cm<sup>2</sup>. Según las mediciones de la radiación del sol, que por lo menos en esta cuestión son relativamente seguras, la absorción

\* Doctor en Filosofía (Universidad de Berlín). Asesor Técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

de la radiación vertical del sol por la atmósfera varía entre 0,2 y 0,4 gr-cal. cm<sup>-2</sup>min<sup>-1</sup>, o para las 5 horas de la mañana 60 y 120 gr-cal. cm<sup>-2</sup>, las que corresponden a un aumento de la temperatura de 0,12 a 0,24 grados C. Al parecer los registros de los sondeos aéreos son influenciados por la radiación del sol, que es absorbida por el termógrafo.

Teniendo en cuenta este calentamiento, considerando el coeficiente de dilatación 1/273, y suponiendo que el aire, al dilatarse hacia arriba se escurre hacia todos lados para igualar el nivel, vemos que la presión al nivel del mar disminuye, y de la relación: variación de la temperatura /273, igual a la variación de la presión /760 mm mercurio, resulta que la presión varía de 0,33 a 0,67 mm de mercurio, mientras en la República Argentina la presión varía en 2 y más mm en el día. La absorción inmediata de la radiación del sol por la atmósfera no puede aclarar sino parte del fenómeno.

Este aspecto se vincula al fenómeno que presenta el suelo de absorber y emitir radiación, calentando y enfriando el aire vecino. Esta variación se limita a las capas inferiores de la troposfera.

Además, consideremos un factor hasta ahora no mencionado, que yo sepa, en la literatura de esta difícil cuestión: la rotación de la Tierra hacia el este, o, lo que es lo mismo, el movimiento de nuestro fenómeno hacia oeste. Tiene el valor de 1570 km/hora en el Ecuador y de 1370 km/hora en la latitud de 30 grados; mientras que el sonido para una temperatura de 31°C alcanza a 1300 km/hora. Extrapolando hallamos coincidencia completa para la temperatura de 35°C y la latitud de 35°. Esta coincidencia aproximada facilita al parecer el fenómeno al atravesar los mares, sin desaparecer allí, aunque en los mares falta el calentamiento y enfriamiento del suelo, y sólo la absorción inmediata del aire hace continuar el fenómeno.

#### LA VARIACION OBSERVADA

La variación periódica de la presión en mm/hora es pequeña, y para la presión  $p$  y la hora  $t$  podemos expresarla en el sistema de Newton por  $\dot{p}$ . Este coeficiente diferencial es el objeto de nuestra investigación. Los valores están en mm/hora, ya que las tablas del Servicio Meteorológico dan milímetros.

La presión se define como producto de la masa que obra sobre un cm<sup>2</sup> y de la gravedad; ambos valores pueden variar.

Se puede suponer que el aire tiene inercia con respecto a las afecciones de la tierra. La velocidad de la tierra en su trayectoria alrededor del sol es de 30 km/seg, y esta velocidad varía para un punto del Ecuador en 0,4 km/seg entre el día y la noche. La relación de la fuerza centrífuga entre noche y día es, pues:

$$c_1^2/c_2^2 = (30,4/29,6)^2 \approx 1,055$$

La masa de aire del hemisferio nocturno debe ser un 5% mayor que la del hemisferio diurno para estar en equilibrio de presión.

Puede ser que la luz zodiacal, como la cola de un cometa, desviada por la fuerza centrífuga, y no participando de la rotación terrestre, busque esa masa mayor. Más tarde volveremos brevemente sobre esta cuestión.

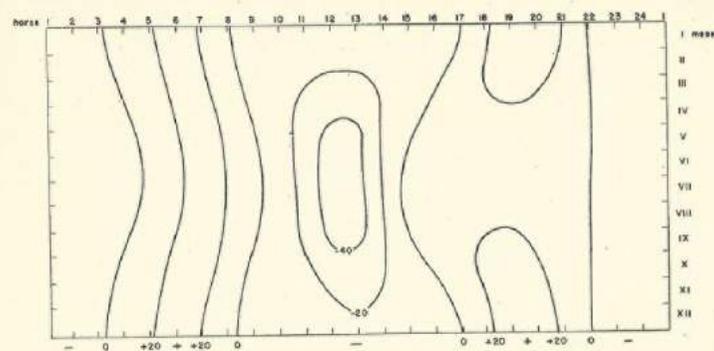


FIG. 1 (a). — Mar del Plata. 38°02'S; 57°33'W; Alt. 14 m.

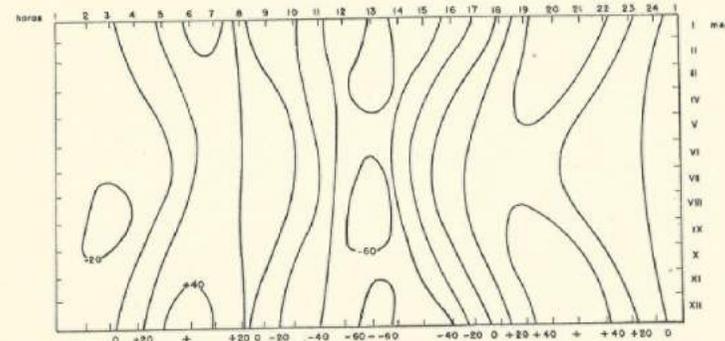


FIG. 1 (b). — Mendoza. 32°53'S; 68°52'W; Alt. 827 m.

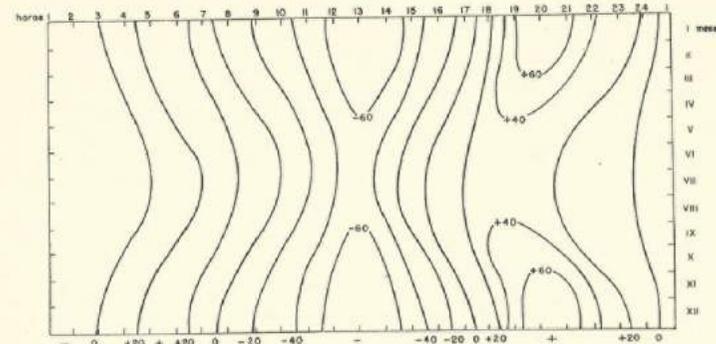


FIG. 1 (c). — Cipolletti. 38°56'S; 68°11'W; Alt. 265 m.

He calculado  $\dot{p}$  para los lugares de observación y he trazado curvas de igual  $\dot{p}$  para todo el año en centésimos de mm/hora. Los meses están representados por las ordenadas, y las horas —1 (hora oficial), por las abscisas.

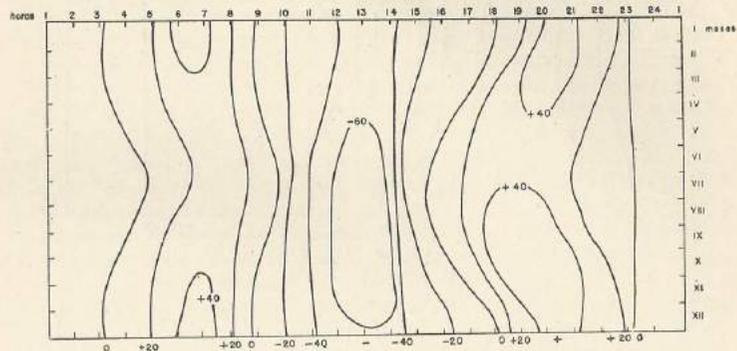


FIG. 1 (d). — Tucumán. 26°51'S; 65°11'W; Alt. 427 m.

Se advierte de inmediato que siempre, en todos los lugares y meses, el máximo de la variación negativa se produce a mediodía local, lo que muestra claramente que la radiación del sol es el factor predominante del fenómeno.

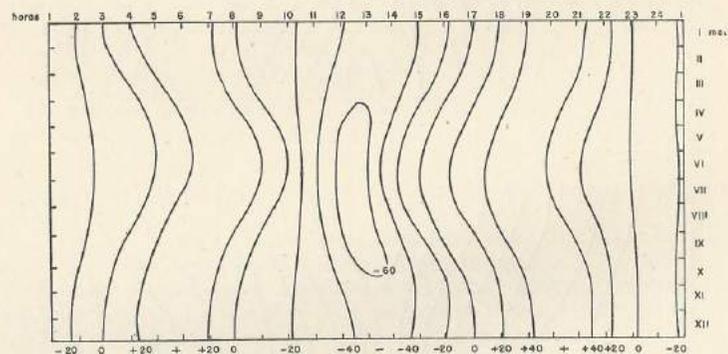


FIG. 1 (e). — Córdoba. 31°24'S; 64°11'W; Alt. 425 m.

La comparación de Mar del Plata con Mendoza y Cipolletti, Fig. 1, vistas (a), (b) y (c), permite concluir que la distancia del mar o la continentalidad del lugar acentúa el fenómeno; la comparación de Tucumán, Córdoba, Colonia Sarmiento, y Año Nuevo, vistas (d), (e), (f) y (g), demuestra que el fenómeno disminuye rápidamente con latitudes crecientes.

En La Quiaca (3.400 m), Fig. 2, las variaciones acentúanse, aunque allí, a causa de la altura, la presión está disminuida en 1/3, y, por consiguiente, también la variación tendría que disminuir en la medida correspondiente.

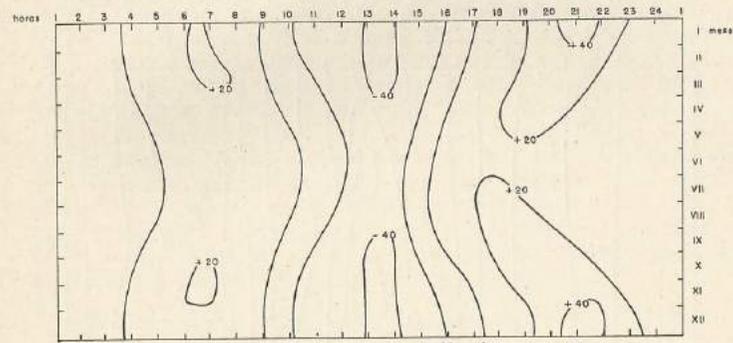


FIG. 1 (f). — Colonia Sarmiento. 45°35'S; 69°04'W; Alt. 270 m.

Se ve, además, que los resultados mensuales varían tanto en todos los observatorios, con excepción de La Quiaca, que no son admisibles los promedios anuales.

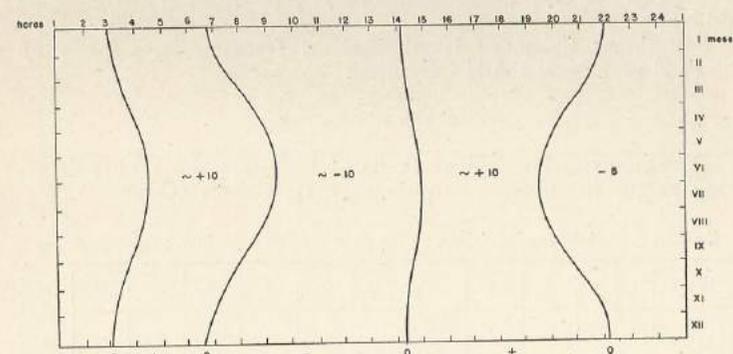


FIG. 1 (g). — Año Nuevo. 54°39'S; 64°10'W; Alt. 50 m.

La Quiaca (22° S) es el único observatorio que está situado dentro del trópico, lo que explica bastante su excepción de esta regla.

El resultado es, pues, que el sol vertical irradia de inmediato con intensidad a un círculo horizontal de  $\approx 20^\circ$ , o sea de 2000 km de radio, círculo que se desliza con una velocidad de 1400 km/hora aproximadamente, hacia el oeste.

Sigue un cinturón menos caldeado en el que el aire caliente del centro se desplaza; y más lejos, la influencia del suelo, la conducción, y asimismo, el intercambio de calor entre las capas inferiores del aire, oculta el fenómeno principal.

Con excepción de La Quiaca, las dos series de  $\dot{p} > 0$  son simétricas, en el invierno más próximas y en el verano más alejadas.

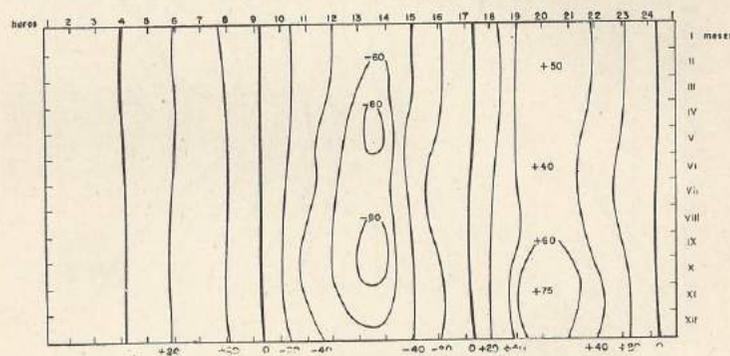


FIG. 1. — La Quiaca 22°06'S; 65°36'W; Alt. 3458 m.

Es evidente que dependen, por lo menos en forma parcial, de la radiación nocturna del suelo, del consiguiente enfriamiento y de la contracción del aire, siendo aumentada la presión por el aire emanado del centro.

Recordemos finalmente la velocidad del fenómeno, que forma un oleaje al encontrarse con la Cordillera.

CRISTO REDENTOR

Por razones de brevedad me limitaré a representar los valores de verano ya que éste presenta las variaciones más grandes (Cuadro I).

CUADRO I. — Comparación de  $\dot{p}$  entre La Quiaca y Cristo Redentor; meses de verano

| Hora            | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
|-----------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| La Quiaca       | 0.47  | 0.26 | 0.06  | -0.04 | 0.04  | 0.24  | 0.58  | 0.82  | 1.02  | 0.98  | 0.76  | 0.44  |
| Cristo Redentor | -0.34 | 0.08 | -0.14 | -0.51 | -0.56 | -0.52 | -0.26 | -0.16 | -0.06 | -0.08 | -0.12 | -0.16 |

| Hora            | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21   | 22   | 23   | 24   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| La Quiaca       | -0.08 | -0.60 | -1.02 | -1.30 | -1.46 | -1.40 | -1.02 | -0.48 | 0.00 | 0.40 | 0.62 | 0.64 |
| Cristo Redentor | -0.20 | -0.25 | -0.28 | -0.50 | -0.24 | -0.14 | 0.10  | 0.30  | 0.48 | 0.60 | 0.66 | 0.60 |

La Quiaca (3400 m) está situada en la altiplanicie de la Puna; Cristo Redentor (3830 m), en una cresta dominada por montañas muy altas, en el sur de 6000 y en el norte de 7000 metros. El Cuadro I expresa estas diferencias de situación geográfica.

La alta presión de las 9 en La Quiaca desaparece casi completamente en Cristo Redentor, y considerando que en esta última estación existe todavía la influencia, si bien pequeña, del suelo, podemos deducir que en la altura de Cristo Redentor, esta alta presión desaparece completamente. Lo mismo vale para el mínimo de las 17, quedando sólo una pequeña disminución de la presión en Cristo Redentor durante el día entre la madrugada y las 17 horas, y alta presión durante la noche, con un máximo a la media noche. En La Quiaca, casi todo el fenómeno de la variación diurna de la presión es, pues, consecuencia del calentamiento y enfriamiento (radiación) del suelo.

La alta presión durante la noche en Cristo Redentor puede tener relación con el descenso de aire de las capas de nieve y hielo que cubren las cumbres vecinas.

CIELO DESPEJADO Y CUBIERTO

Si el fenómeno depende principalmente del calentamiento y enfriamiento del suelo, debe existir también una relación según que el cielo esté cubierto o despejado. Por consiguiente, he formado el promedio de los días despejados para los meses de enero-febrero de los años 1928-46

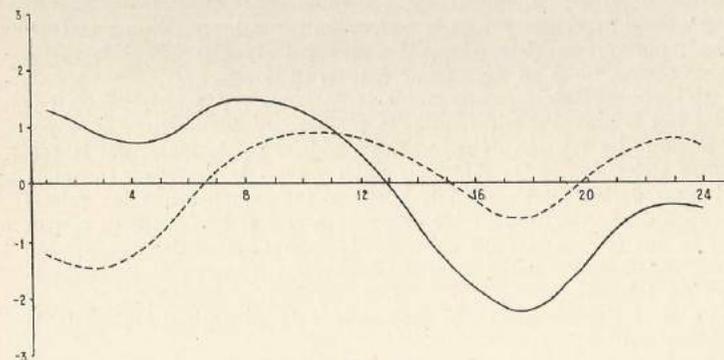


FIG. 3.

del observatorio de Córdoba, y para el mismo tiempo el promedio de los días cubiertos (heliofania 0). Las curvas, como se advierte en la Fig. 3, no vuelven al punto inicial sino en los días con cielo despejado: la presión baja en las 24 horas del día 1 1/2 mm, subiendo la misma cantidad en los días completamente nublados. Comparando esto con la variación diurna de la temperatura en los días despejados y nublados, hallamos que en los días despejados el aire, en la proximidad del suelo se calienta  $\approx 2$  grados centígrados por día, mientras que en los días

nublados la amplitud de la variación diurna de la temperatura se reduce a la quinta parte.

La experiencia de los servicios de pronóstico mundiales enseña que existe en los continentes una tendencia a períodos de tiempo de aproximadamente una semana. Aquí vemos la causa: durante tres o cuatro días con cielo despejado se calienta el suelo, bajando la presión, hasta que el ascenso del aire calentado forma nubes; la falta de insolación en los días siguientes origina un enfriamiento del aire y un aumento de la presión.

Este fenómeno es el origen de la depresión térmica muy regular que se forma en la República Argentina entre la cordillera de los Andes y Santiago del Estero a causa de la insolación, especialmente durante el verano. Esta región tiene los meses más calurosos de toda América del Sud, incluso Brasil, pero relativamente secos.

La Quiaca es la única estación que nos permite formarnos un juicio acerca de los procesos que ocurren en la superficie de la Puna, por estar situada en el borde de ella. Pero más decisivas podrían ser las observaciones de la República de Bolivia, las que no han sido publicadas hasta ahora.

#### MOVIMIENTO VERTICAL DEL AIRE

La fórmula de Laplace para la altura barométrica, mejorada por Sandström y Bjerknes, vale sólo para una atmósfera que no posee aceleración libre vertical, mientras que el movimiento vertical, que se produce a causa de variaciones de la aceleración vertical, representa una cuestión importante en Meteorología. La gravedad supuesta o medida en los observatorios, no es en rigor una constante en el aire.

El barómetro de mercurio mide la masa/cm<sup>2</sup>, y multiplicando este valor por la gravedad se determina la presión. El aneroides reacciona por la presión. La relación de estos valores podría, por lo tanto, dar la verdadera aceleración, y la diferencia entre ésta y la gravedad (normal) del lugar daría la aceleración libre. Pero infortunadamente los valores horarios del barógrafo aneroides se corrigen con el barómetro de mercurio, lo que impide su utilización para la determinación de la aceleración libre. Además, las indicaciones del barógrafo dependen de la temperatura del laboratorio.

En estas circunstancias nos limitamos a la deducción lógica de la aceleración libre.

#### CONCLUSIONES

1) *Absorción inmediata de la radiación del sol por el aire.* — De mañana el aire se calienta y tiene que dilatarse hacia arriba porque a su alrededor ocurre lo mismo y no hay escape lateral. El resultado de esta tendencia arriba es un aumento de la presión en la atmósfera calentada. A este aumento corresponde de tarde una disminución de la presión por la contracción del aire. Estas aceleraciones, por el hecho de distribuirse durante muchas horas en toda la atmósfera, son muy pequeñas.

2) *Variación diurna de la temperatura del suelo y de las capas bajas del aire.* — Entre las 5 y las 9 de la mañana hay aumento de la presión del aire por calentamiento. De las 9 hasta las 14 hay dilatación hacia arriba y movimientos laterales en las altas capas; de las 14 a las 17, contracción del aire y, en consecuencia, disminución de la presión; y después de las 17 sigue el descenso del aire, que por su inercia aumenta la presión en la superficie del suelo. La compresión de las 5-9 horas es necesaria para que la capa baja del aire pueda levantar el peso de la atmósfera (10.000 kg/m<sup>2</sup>) hacia arriba. El segundo valor mínimo durante la noche puede que tenga relación con la fuerza centrífuga mencionada, apareciendo en todas las observaciones de  $\bar{p}$ .

## EXPLORACION MICROCLIMATICA EN LA SELVA TUCUMANO-ORANENSE

Por JUAN J. BURGOS\*, ALBERTO CAGLILO\*\* y MODESTO C. SANTOS\*\*\*

**Resumen.** — Da a conocer este trabajo el régimen de heladas en diversas localizaciones de la selva tucumano-oranense, y la aptitud agroclimática de nuevas áreas en el NW argentino. Luego de describir la situación sinóptica media que origina la formación de heladas en la zona NW de la Argentina, los autores indican que en el dominio de la selva existen algunas situaciones que ofrecen escaso riesgo de heladas. Así acontece con las pendientes expuestas al N, a media altura sobre valles profundos, en el 17% de los años, y, sobre las colinas, a 240 m sobre los valles contiguos, sólo en el 2% de los años. Sin embargo, las temperaturas inferiores a 7° C ocurren casi regularmente todos los años. Se analizan los valores de irradiación solar, temperatura del suelo, marcha diaria de la temperatura y concentración de la humedad del aire, y altura de la capa superficial de aire por debajo de 0° C, para explicar tales diferencias. En base a estos resultados se recomiendan cultivos tales como café, té y coca, por ser tolerantes a las bajas temperaturas de esas circunscriptas regiones.

**Summary.** — This work as for scope the knowledge of frost hazard in several microclimatic sites, in the Tucumano-Oranense rain forest, and the agroclimatic suitability of new areas in NW Argentina.

After describing the average synoptic situation, which originates frost formation in the NW zone of Argentina, the authors show some situations within the rain forest belt as being of little frost danger: on North slopes, at middle height over deep valleys, 17% of years have at least one frost day and over the hills, at 240 m, over the contiguous valleys, only 2% of years. However, temperature lower than 7° C occur almost regularly every year. Values of solar radiation, soil temperature, daily variation of air temperature and humidity concentration, and depth of the surface layer of air below 0° C are analyzed to explain such differences.

On the basis of these results, crops such as coffee, tea and coca are recommended, since they are tolerant enough to withstand the temperature conditions discussed.

### I. — INTRODUCCION

La formación fitogeográfica de la selva existe en nuestro país localizada en algunas partes de su territorio como una prolongación de formaciones similares, pero mucho más considerables, que abarcan extensas regiones de países limítrofes.

Tal es la selva Tucumano-oranense, en la que se ha desarrollado este estudio, que constituye un apéndice de las formaciones de la *Hylea* y de la *Yunga* que, desde la alta cuenca del Amazonas en Brasil, se prolonga por el oriente de Perú y Bolivia y penetra en las provincias del noroeste argentino. La vegetación higrófila de alto porte, con predominio de especies de follaje persistente y helechos arbóreos, entremez-

\* Ingeniero Agrónomo. Jefe del Departamento de Agrometeorología del S. M. N., Profesor Adjunto de Meteorología y Climatología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de La Plata; Presidente de la Comisión Internacional de Meteorología Agrícola de la O. M. M.

\*\* Ingeniero Agrónomo. Jefe de la Sección de Microclimatología Agrícola del S. M. N.

\*\*\* Ingeniero Agrónomo. Jefe de la Sección de Agrometeorología Sinóptica del S. M. N.

clada con elementos arbustivos, subarbustivos y herbáceos, lianas y epífitas, caracteriza su fisonomía. Otro ejemplo de este tipo de vegetación lo constituye la selva Misionera que en el noreste argentino resulta una prolongación de la selva austrobrasileña (HAUMAN *et al.*, 1947; PARODI, 1945; y FRENGUELLI, 1941).

Si la vegetación natural puede constituir un indicador del clima, desde que integra en una expresión concreta todos sus elementos y los del suelo, existe una base suficiente para suponer que la Argentina posee climas tropicales o subtropicales semejantes, por lo menos en algunos aspectos, a los de aquellas regiones donde esas formaciones adquieren su más completa manifestación.

Esta observación empírica habrá llevado a los iniciadores de la agricultura y de la técnica agrícola argentina a implantar, en esas regiones y en los campos ganados a la selva, cultivos tropicales y subtropicales. Sobre los éxitos y fracasos de estas empresas se han echado las bases de nuestra incipiente agricultura tropical, puesto que hemos carecido y carecemos aún del conocimiento agroclimático que permita determinar las posibilidades agrícolas totales de esas regiones.

No obstante, es conocido que uno de los factores adversos a los cultivos tropicales ya implantados son las heladas, que ocurren con relativa frecuencia. Este fenómeno agrometeorológico limita las posibilidades de cultivo de aquellas especies tropicales más sensibles a las bajas temperaturas, por lo menos en las regiones conocidas o exploradas. Sin embargo, no faltan quienes afirman que dentro del territorio de nuestro país existen regiones inexploradas donde nunca hiela, ni técnicos que a falta de una documentación concreta se preguntan si existirán climas locales o microclimas que, por la situación topográfica o por la influencia de la vegetación selvática, permitan el cultivo de estas últimas especies a que nos hemos referido.

La documentación climatológica que posee el país no permite dar una contestación categórica a esta cuestión, puesto que las instalaciones meteorológicas se han ubicado en las poblaciones que circundan la selva o a lo largo de las depresiones que forman ríos que la limitan, en localizaciones en que la selva ya pierde su carácter.

Creemos que solamente los relevamientos microclimáticos sistemáticos, uno de los cuales presentamos en este trabajo, permitirán dar una respuesta prudentemente rápida y segura a esta cuestión, y orientar así sobre la capacidad mediata o inmediata de nuestra agricultura tropical.

La comisión de Agricultura del Honorable Senado de la Nación haciéndose eco de esta necesidad promovió esta investigación y el Servicio Meteorológico Nacional por intermedio del Servicio de Microclimatología de su Departamento de Agrometeorología, concurrió con el personal y material necesarios.

### II. — BREVE DESCRIPCION DE LA REGION ESTUDIADA

La selva Tucumano-oranense está ubicada en las sierras Subandinas, de BONARELLI (1921) y, en su mayor parte, sobre las faldas orientales de las sierras Peripampásicas del Noroeste, de FRENGUELLI (1946).

El primero de estos sistemas constituye el límite noroccidental de la

gran depresión o llanura pampásica. Orogénicamente es el mismo que en Bolivia circunda la gran depresión chaqueña y se caracteriza por sierras bajas que, sin embargo, llegan hasta 2000 m de altura en su extremo sur.

Estas sierras se distribuyen en cordones longitudinales y paralelos separados entre sí y de las sierras Peripampásicas del Noroeste propiamente dichas por valles profundos y extensos, rellenos con materiales aluvionales. Estas amplias depresiones permiten el escurrimiento de las aguas del sistema serrano hacia el río Paraná por intermedio de los ríos Bermejo, San Francisco y Juramento, y hacia la cuenca cerrada de Mar Chiquita por el río Dulce.

En la porción más septentrional, las sierras Subandinas, tienden a formar una unidad con las sierras Peripampásicas del Noroeste. Este último sistema arranca directamente de la Puna y en su dirección principal hacia el sud, en cordones longitudinales, penetra en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca. En este sistema orográfico se desarrolla una red hidrográfica muy variada de pequeños afluentes de los ríos mayores que antes hemos citado, y en él encuentra su límite occidental la selva Tucumano-oranense, cuando la disminución de la temperatura con la altura coincide con el límite crítico de las especies tropicales y subtropicales que la caracterizan, aproximadamente en los 2000-2500 m sobre el nivel del mar.

La red hidrográfica de esta región observa un régimen periódico muy marcado que coincide con el de las lluvias. Esta periodicidad es mucho más notable en los pequeños afluentes de los ríos mayores que la forman, pues algunos de ellos pierden completamente su caudal durante el invierno.

En la Fig. 1 se puede apreciar el macrorrelieve de la región descripta, con el dominio de la selva higrófila Tucumano-oranense en forma sólo aproximada.

El clima está profundamente determinado por la circulación atmosférica que caracteriza a esta parte más austral de Sud América.

El marcado contraste entre el clima de verano y el de invierno, principalmente en cuanto al régimen de las precipitaciones, proviene del desplazamiento estacional de la gran faja anticiclónica subtropical. Este desplazamiento, si bien se encuentra algo disimulado sobre el continente por la formación de la depresión térmica y de sotavento del noroeste argentino (SCHWERTFEGGER, 1951), resulta particularmente claro sobre el océano y aun en el continente, pero por encima de los 3000 m de altura, más o menos, como puede comprobarse si se compara la marcha anual de la presión reducida a un mismo nivel, en Cristo Redentor y La Quiaca.

Durante el invierno la faja anticiclónica subtropical se encuentra al norte del paralelo 25°S y determina la sequía invernal sobre toda la región subtropical del continente, exceptuada la costa atlántica donde actúan otras causas.

En verano, en cambio, la faja anticiclónica subtropical se desplaza hacia el sur, con frecuencia hasta más allá de los 30°S y en esta forma el sistema de lluvias tropicales se extiende hacia el sur para abarcar el norte argentino.

Así, las corrientes del este que se generan en el flanco norte de la gran faja anticiclónica como una prolongación de los alisios, pueden avanzar hasta la zona precordillerana y de las sierras Peripampásicas del Noroeste. Concurrentemente, la evolución de la depresión térmica, que es más pronunciada en la vecindad de la región que estudiamos, favorece, en las capas inferiores, el aflujo de aire tropical húmedo desde el noreste; por otra parte, en esta latitud no existe el movimiento subsidente en las capas medias, que es característico de la parte central de cada cinturón anticiclónico.

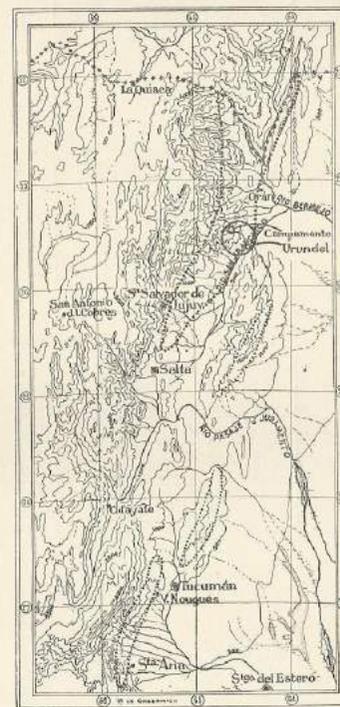


FIG. 1. — Macrorrelieve del noroeste argentino en los núcleos principales del dominio de la selva higrófila Tucumano-oranense (límite punteado). En círculo, la región donde se desarrolló el presente estudio.

De tal forma, las considerables precipitaciones estivales ocurren desde esta masa de aire tropical húmedo que, como una corriente de inercia de los alisios, se mueve contra el sistema serrano. También pueden ocurrir por la inestabilidad propia de la masa ocasionada por un intenso calentamiento desde abajo y favorecida por cambios en la altura; o como consecuencia del avance del frente frío que interrumpe casi periódicamente la depresión térmica referida.

CUADRO I. — Valores agroclimáticos de las estaciones más próximas a la selva Tucumano-oranense.  
a) Régimen térmico

| Estaciones           | Lat. S  | Altura | T. mes más cal. °C | T. mes más fría °C | T. máx. absol. °C | T. mín. absol. °C | Fecha media prim. helada | Fecha media últ. helada | Desv. tip. días | Desv. tip. días | Período libre helado |
|----------------------|---------|--------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Orán .....           | 25° 08' | 355    | 26.6               | 14.6               | 45.9              | -3.5              | 24-VII                   | 2-VIII                  | 24              | 18              | 534                  |
| Ing. Ledesma .....   | 25° 46' | 465    | 26.1               | 13.6               | 46.2              | -3.0              | 7-VII                    | 24-VII                  | 28              | 25              | 547                  |
| V. Nougués .....     | 26° 53' | 1388   | 18.8               | 9.4                | 54.5              | -5.0              | 22-VI                    | 23-VIII                 | 29              | 24              | 502                  |
| Ing. Santa Ana ..... | 27° 15' | 562    | 24.6               | 11.7               | 42.1              | -6.5              | 11-VII                   | 16-VIII                 | 22              | 22              | 528                  |

b) Régimen hídrico

| Estaciones           | Evap. potencial mm | Precipitación mm | Evap. real mm | E x c e s o |                              | D e f i c i e n c i a s |  |
|----------------------|--------------------|------------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------------------|--|
|                      |                    |                  |               | mm          | meses                        | mm                      | meses                                  |
| Orán .....           | 1080               | 886              | 867           | 19          | Febrero                      | 215                     | Agosto, septiembre, octubre, noviembre |
| Ing. Ledesma .....   | 1059               | 825              | 817           | 8           | Marzo                        | 222                     | Agosto, septiembre, octubre, noviembre |
| V. Nougués .....     | 704                | 883              | 685           | 198         | Enero, febrero, marzo, abril | 19                      | Septiembre, octubre                    |
| Ing. Santa Ana ..... | 926                | 905              | 881           | 24          | Marzo, abril                 | 45                      | Noviembre, diciembre                   |

Es así como durante el semestre cálido se registra aproximadamente el 90 % del volumen total anual de las precipitaciones, que ya de por sí es considerable.

En cuanto al régimen térmico diremos que es el propio de una situación ubicada en tan baja latitud, con la particularidad de que al no existir sistemas montañosos, que crucen el continente de este a oeste se halla sometida frecuentemente a la invasión de aire frío desde el sur, sobre todo en la estación invernal; ya como avances de masas de aire frío que se deben a la actividad frontal referida anteriormente, o a la evolución de los anticiclones invernales móviles y de poca altura, que se desplazan con relativa rapidez por la gran llanura Pampásica.

Desde el punto de vista sistemático hemos definido el clima de la selva Tucumano-oranense, de acuerdo con la nueva clasificación de THORNTHWAITE (BURGOS Y VIDAL, 1951), como húmedo ( $B_1$ ), mesotermal ( $B'_1$ ), con pequeña variación de la humedad efectiva ( $r$ ) y con una escasa concentración estival de la eficiencia térmica ( $a'$ ).

En el Cuadro I hemos incluido una serie de valores agroclimáticos de las cuatro estaciones meteorológicas, cuya situación resulta la más próxima a la selva higrófila, pero en el distrito de transición entre ésta y el Parque Chaqueño.

Los valores del régimen hídrico que se incluyen entre ellos, se han obtenido por cálculo según el método empírico de THORNTHWAITE (1948).

Dentro del macroambiente que hemos descripto elegimos para esta investigación su porción norte, que comprende el dominio del Valle del Río San Francisco (Fig. 1). Desde Ingenio Ledesma hasta Pichanal, este caudaloso río se desplaza por un ancho valle con un declive suave hacia Pichanal. Esta última localidad está situada en la porción más baja del valle desde que en ella confluyen las aguas del río San Francisco y las del Bermejo que, desde el norte, baja en dirección sud sudeste hasta Pichanal, para girar luego hacia el este.

El río San Francisco constituye en esta región el límite neto entre la selva Tucumano-oranense y el Parque Chaqueño. Es sorprendente como esta barrera física se impone al efecto del clima en la determinación del tipo ecológico de la vegetación. Sin embargo, sobre su margen occidental, la selva muestra un carácter de transición a juzgar por algunos elementos de su composición florística.

En el extendido valle, que limita esta margen y las primeras serranías, es donde se ha desarrollado la agricultura tropical y subtropical existente, luego que ha sido explotado y extirpado el bosque. Ahí es, precisamente, donde se han implantado importantes cultivos de caña de azúcar, frutales cítricos, paltas, mangos, chirimoyos, bananeros y una próspera producción de hortalizas de invierno.

Para ello, y debido al déficit de agua en los meses invernales, la empresa agrícola está supeditada al riego. Sistemas aun rudimentarios de canalización de los afluentes del río San Francisco aseguran la explotación actual de una superficie no superior a las 20.000 Has., entre San Pedro y Orán. Estimamos en forma sólo aproximada que una sistematización racional de los regímenes de esos afluentes y de algunos del río Bermejo permitirían el aprovechamiento de una superficie 10 veces mayor.

## III. — MATERIAL Y METODO

Para efectuar las instalaciones se tuvo en cuenta la necesidad de caracterizar los microclimas más contrastados en la selva, de modo tal que permitieran, a su vez, una comparación con el clima general del ancho valle del río San Francisco cuyo régimen climático es conocido.

Por la circunstancia de que los afluentes del río San Francisco y aun los del Bermejo corren en dirección aproximada de este-oeste, las serranías que separan sus cuencas, con sus ejes mayores en esa misma dirección, presentan en forma más conspicua una exposición al norte y otra al sud. Pequeños afluentes secundarios, sin embargo, de régimen torrencioso durante el verano y algunos hasta pantanosos en invierno, descienden con gran declive de estos "filos" <sup>(1)</sup> y su cuenca, no muy profunda, constituye ocasionalmente exposiciones hacia estos dos rumbos de tanto contraste térmico.

Las instalaciones en la selva se efectuaron en uno de estos "filos" en la margen norte del río Piedras a la altura de su confluencia con el río Pantanoso. En la Fig. 2 se puede apreciar un detalle del microrrelieve de la región y la ubicación de las estaciones.

Además, en el valle del río San Francisco se instalaron, una estación completa en Urundel y dos estaciones en el paraje denominado "El Bananal", al pie de las primeras serranías que limitan el mismo.

Las instalaciones fueron de dos tipos según el instrumental:

1) Estaciones completas: Abrigo meteorológico reglamentario (tipo B), termómetros seco, húmedo, de máxima y de mínima, termógrafo, higrógrafo, evaporímetro de PICHE, evaporígrafo, piranógrafo de ROBITZCH, geotermómetro de 0.10 m de profundidad, termómetros de mínima de irradiación y de superficie, y anemómetro.

2) Estaciones de emergencia: Abrigo *ad hoc*, compuesto de dos tablas en ángulo diedro recto, que protegían el instrumental de la irradiación desde el norte y del cenit a 1.50 m. de altura sobre el suelo, termómetros de máxima y de mínima, termómetros de mínima de irradiación y de superficie del suelo, y geotermómetros de 0.10 m de profundidad.

Las estaciones se designaron y ubicaron en la siguiente forma:

## A. - En la selva;

Estación n° 1: de emergencia, en la confluencia de los ríos Pantanoso y Piedras en un sitio libre totalmente de vegetación, pero durante la noche sometido a intercambio de calor con el cauce de ambos ríos.

Estación n° 2: de emergencia, ubicada sobre la margen norte del río Piedras al pie del filo; altura sobre la estación n° 1: 10 m.

Estación n° 3: Santo Cristo, completa y de emergencia. Exposición al Norte sobre una pendiente de casi 30°, y a 100 m de altura sobre la estación n° 1.

<sup>1</sup> Voz local que se utiliza para designar a las colinas de 200 a 300 m de altura que caracterizan el relieve de la región.

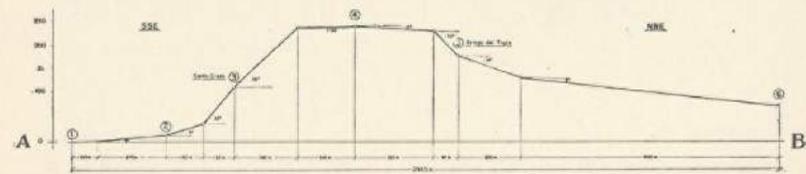
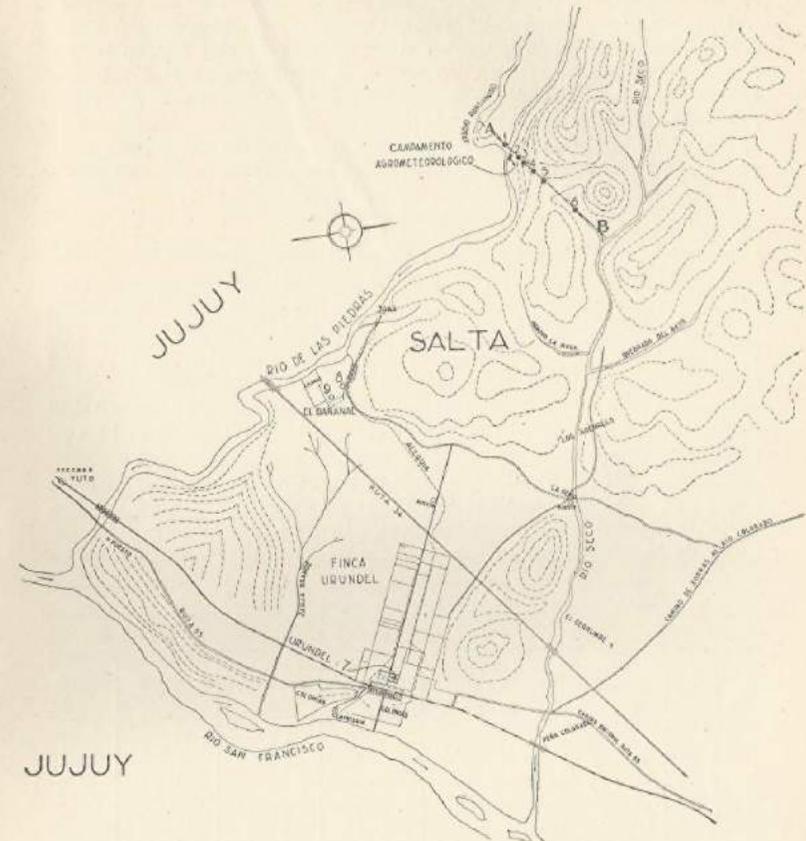


FIG. 2. — Microrrelieve de la región estudiada con la ubicación de las estaciones microclimáticas. Perfil A-B, corte del filo donde se instalaron las estaciones de la selva.

Estación n° 4: de emergencia, sobre la cumbre del "filo", a 240 m sobre la estación n° 1.

Estación n° 5: Arroyo del Tigre, completa y de emergencia. Exposición nor-noreste del "filo" sobre una pendiente de casi 30° en las nacientes de un arroyo seco en invierno que desemboca en el río Seco y que en su última porción se torna pantanoso en invierno. A 170 m sobre el nivel de la estación n° 1.

Estación n° 6: de emergencia, en la margen derecha del mismo arroyo anterior, que aquí, donde la pendiente se suaviza para ser casi plana, es pantanoso. A 90 m sobre el nivel de la estación n° 1.

#### B. - En el valle del río San Francisco:

Estación n° 7: Urundel (Central). Completa y de emergencia. Ubicada en el pueblo de Urundel sobre un terreno plano, con vegetación herbácea cespitosa, libre de obstáculos. A 450 m. sobre el nivel del mar y a unos 500-600 m. por debajo del nivel de la estación n° 1. A 300 m de distancia de la margen occidental del río San Francisco.

Estación n° 8: Bananal (Romero), de emergencia. En el paraje "El Bananal". Declive de 8°. Exposición sudoeste. Próxima a la base de una ladera de mayor declive.

Estación n° 9: Bananal (Pino) de emergencia. En el paraje "El Bananal", en una parte casi llana que forma un extenso bolsón sin desagüe.

En el Cuadro II siguiente resumimos la lista de estaciones y los detalles de su ubicación.

CUADRO II. - Características de la ubicación de las estaciones (Latitud aproximada de todas ellas: Lat. 25° 30' S)

| Est. N° Designación | Tipo de estación      | Altura con relación a la Est. N° 1 m | Alt. sobre el nivel del mar <sup>1</sup> m | Inclinación del terreno | Exposición |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|------------|
| 1                   | Emergencia            | 0                                    | 1.050                                      | Llano                   | —          |
| 2                   | Emergencia            | + 10                                 | 1.060                                      | 1°                      | SSE        |
| 3                   | Comp. y de emergencia | + 100                                | 1.150                                      | 30°                     | SSE        |
| 4                   | Emergencia            | + 240                                | 1.290                                      | 1° 30'                  | NNE        |
| 5                   | Comp. y de emergencia | + 170                                | 1.220                                      | 15°                     | NNE        |
| 6                   | Emergencia            | + 90                                 | 1.140                                      | 2°                      | NNE        |
| 7                   | Comp. y de emergencia | — 600                                | 450  | Llano                   | —          |
| 8                   | Emergencia            | — 580                                | 470  | 8°                      | SW         |
| 9                   | Emergencia            | — 590                                | 460  | Llano                   | —          |

<sup>1</sup>Las alturas sobre el nivel del mar son aproximadas por haberse establecido en base al desnivel del río Piedras, en un corto tramo de su curso.

La fig. 2 (parte superior) ilustra el microrrelieve de la región en forma aproximada, según un plano que nos fuera cedido gentilmente por la Administración de la Finca Urundel, y el perfil A-B de la misma figura muestra un corte del "filo" observado en la selva, según la medición efectuada por los autores.

La estación completa de Urundel (Central) se observaba tres veces por días a las horas reglamentarias: las estaciones completas de la selva, dos veces por día (8 y 14 horas), para la corrección y el contraste de

los aparatos registradores con los de lectura directa, y las estaciones de emergencia se observaban generalmente a las 8 horas.

Las instalaciones se comenzaron el día 23 de julio y quedaron completadas el 28 del mismo mes. En forma continuada estas observaciones prosiguieron hasta el 31 de agosto.

La comparación de los valores térmicos de las estaciones con abrigo de emergencia y con abrigo reglamentario (tipo B), donde estos se observaban paralelamente, nos ha permitido establecer el error medio de irradiación del abrigo de emergencia, como se muestra en el Cuadro III.

CUADRO III. - Error de irradiación del abrigo de emergencia durante el mes de agosto de 1950

| Estación                | Error de irradiación promedio del abrigo de emergencia |                    |
|-------------------------|--|--------------------|
|                         | Temperatura máxima                                     | Temperatura mínima |
| N° 3, Santo Cristo      | + 2.4  | — 0.3              |
| N° 5, Arroyo del Tigre  | + 2.9  | — 0.5              |
| N° 7, Urundel (Central) | + 1.6  | — 0.4              |

Estos valores, además de su aplicación para la corrección de las observaciones de los abrigos de emergencia, con el objeto de hacerlos comparables con las observaciones climatológicas del abrigo reglamentario (tipo B), nos indican lo poco adecuado que resulta este último para climas tropicales. Así, en Urundel (Central), donde los abrigos se hallaban expuestos libremente a la irradiación diurna por la falta de vegetación arbórea, el abrigo reglamentario durante el día, registró temperaturas muy próximas al de emergencia, que sólo protegía parcialmente a los termómetros de la irradiación.

Durante los últimos días del mes de julio y primeros días de agosto cubrió la región estudiada una gran masa de aire polar, y durante unos días del mes de agosto se sintió el empuje de aire tropical. Esto nos ha facilitado estudiar el proceso microclimático bajo condiciones muy diversas, a pesar del escaso tiempo que duraron las observaciones.

En el Cuadro IV se muestran algunas características de los suelos sobre los cuales se instalaron estaciones microclimáticas por la influencia que ellas pueden ejercer sobre los elementos microclimáticos.

Podemos ver así que, en general, en las pendientes y en el fondo de los valles, los suelos son sueltos y están formados por elementos gruesos y medianos principalmente provenientes de arrastres y depósitos aluviales. Solamente en la cumbre de los filos se nota una mayor proporción de los elementos finos como la arcilla, y resultan más compactos especialmente en el subsuelo.

En general son de color rojizo y rojizo parduzco, de aspecto laterítico en parte, como es común en los suelos de las regiones tropicales.

En las partes donde la acumulación aluvial es intensa, como en el fondo de los valles, el suelo es azonal. Pero en donde predomina la temperización, como en las laderas y en las cumbres planas, protegidas por una vegetación densa, se observa una diferenciación de horizontes que a veces es muy marcada.

CUADRO IV. — Algunas características de los suelos en que se ubicaron estaciones microclimáticas

| Nº de estación y designación   | Horizontes y prof. hasta 1 m  | Color  | Composición físico-mecánica en % |                   |                   |                 |                  |                 |
|--------------------------------|---|--|----------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                                |   |  | Arella                           | Limo              | Arena fina        | Arena gruesa    | Materia orgánica | Calceóreo       |
| Estación nº 1                  | Azonal  | Rojo   | 4.8                              | 4.3               | —                 | 47.6            | —                | 0.0             |
| Estación nº 2                  | { 1er. horizonte 5 cm<br>2º horizonte 60 cm<br>3er. horizonte 35 cm | Pardo negruzco<br>Pardo rojizo<br>Pardo rojo obsc. | 17.3<br>23.0<br>—                | 16.0<br>16.0<br>— | 53.8<br>55.9<br>— | 2.9<br>5.5<br>— | 0.7<br>1.7<br>—  | 0.0<br>0.0<br>— |
| Estación nº 3 Santo Cristo     | { 1er. horizonte 35 cm<br>2º horizonte 65 cm                        | Pardo gris claro<br>Pardo oscuro                   | 17.8<br>49.5                     | 22.4<br>15.8      | 48.9<br>28.5      | 9.2<br>5.2      | 1.7<br>0.9       | 0.0<br>0.0      |
| Estación nº 4                  | Azonal  | Rojizo   | 13.1                             | 10.8              | 47.9              | 23.0            | 5.2              | 0.0             |
| Estación nº 5 A. del Tigre     | Azonal  | —  | 6.8                              | 5.6               | 71.5              | 13.4            | 0.7              | 2.0             |
| Estación nº 6                  | —   | —  | —                                | —                 | —                 | —               | —                | —               |
| Estación nº 7 Urundel Central  | —   | —  | —                                | —                 | —                 | —               | —                | —               |
| Estación nº 8 Bananal Romero   | —   | —  | —                                | —                 | —                 | —               | —                | —               |
| Estación nº 9 Bananal del Pino | —   | —  | —                                | —                 | —                 | —               | —                | —               |

CUADRO IV. — (Continuación).

| Nº de estación | Características hidro-físicas en % |                          |                      |                |            |           | pH  |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------|------------|-----------|-----|
|                | Humedad equivalente                | Coeficiente de marchitez | Humedad higroscópica | Humedad actual |            |           |     |
|                |                                    |                          |                      | 5-VIII-50      | 31-VIII-50 | 5-VIII-50 |     |
| 1              | 5.1                                | 2.8                      | —                    | —              | —          | —         | 6.7 |
| 2              | 25.3                               | 13.8                     | 1.2                  | —              | —          | —         | 7.2 |
| 3              | 17.0                               | 9.5                      | 4.8<br>3.5           | 14.2           | 6.1        | 4.9       | 5.7 |
| 4              | 15.9                               | 8.6                      | 2.1                  | —              | 0.0        | —         | 5.6 |
| 5              | 32.3                               | 17.6                     | 6.8                  | —              | 0.0        | 0.0       | 5.0 |
| 6              | 17.6                               | 9.6                      | 3.1                  | 7.4            | 1.8        | —         | 7.2 |
| 7              | 7.0                                | 3.8                      | 1.3                  | —              | —          | —         | 8.2 |
| 8              | —                                  | —                        | —                    | —              | —          | —         | —   |
| 9              | —                                  | —                        | —                    | —              | —          | —         | —   |

En la exposición al sur debido a su mayor humedad y menor temperatura se observó un primer horizonte negruzco muy rico en humus.

Los valores del pH indican que los suelos son en general ácidos en aquellas situaciones de suelos bien drenados, que durante el invierno no reciben humedad de origen secundario. En cambio, en donde a pesar de la sequedad de los meses invernales la humedad es mayor por aporte de agua de drenaje de vertientes o por efecto de condensaciones nocturnas, y por lo tanto en donde la evaporación excede a la precipitación local, los suelos son alcalinos y muestran un pH elevado.

En cuanto a los valores de la humedad actual diremos que en situaciones expuestas a la irradiación diurna normal, aun en la selva se aproximan al coeficiente de marchitez.

Tal es la norma en las estaciones expuestas al norte, en la cumbre del "filo" y en Urundel. La estación nº 8 debe descartarse por estar muy próxima a un canal de riego. Esta observación confirma los datos del régimen hídrico que dimos en el segundo capítulo de este trabajo entre los cuales se acusaba el valor de 0 mm útiles en el mes de agosto, según el cálculo por el método empírico de THORNTHWAITE.

En las estaciones expuestas al sur, como las nº 2 y nº 3, el contenido de humedad del suelo es sensiblemente superior y esto influye notablemente sobre su régimen microclimático, como veremos más adelante.

La vegetación de la selva estudiada se caracteriza por la dominancia de especies latifoliadas, de follaje persistente o tardíamente caduco. Suponemos que este último carácter es inducido en forma principal por la sequía invernal y en este estado fenológico se encontraba en la oportunidad del relevamiento microclimático.

Sin embargo, algunas pocas especies de floración precoz se hallaban en flor entre las que se pudo identificar a: *Tecoma Avellanadae*, *Justicia tucumanensis*, *Justicia Schreiteri*, *Chamissoa altissima*, *Vernonia amplexicaulis*, *Vernonia fulta*, *Vernonia scorpioides*, *Vernonia cincta*, *Vernonia tarijensis*, *Senecio Boiamanii*, *Eupatorium morifolium*, *Erigeron notobellidiastrum*, *Beloperone sp.*, *Pfaffia sp.*, *Calceolaria sp.*, *Rubus sp.*, *Verbena sp.*, *Brickellia sp.*, *Verbesina sp.*, *Mikania sp.* y *Abutilon sp.*

#### IV. — FORMACION DE LAS HELADAS EN EL NOROESTE ARGENTINO

Con el objeto de caracterizar la situación sinóptica que determina la ocurrencia de las heladas invernales en el valle del río San Francisco, hemos considerado las que correspondieron a los registros de este fenómeno efectuados por los corresponsales del Servicio Agrometeorológico de Heladas. Esta ha sido la única fuente de información en este caso porque, debido a la supresión de las estaciones del valle, se carece de otros registros climatológicos oficiales en los últimos años.

La situación más típica que precede a la formación de las heladas invernales en el valle del río San Francisco se caracteriza por un potente anticiclón de tipo "invernal", es decir, frío, que existe solamente en las capas inferiores de la atmósfera, y que se desplaza con relativa rapidez favorecido por la gran depresión o llanura Pampásica.

Este anticiclón se forma como consecuencia de un fuerte empuje de aire polar desde el sur, y tiene su máxima intensidad cuando su centro

cubre las regiones de San Luis, Córdoba y Santiago del Estero, muchas veces con una cuña hacia el norte hasta Bolivia.

Desde el flanco norte de este anticiclón llega el aire polar al extremo noroeste argentino, principalmente como corrientes del sudeste; a la vez, el levantamiento orográfico que experimenta esa masa de aire relativamente seca favorece la formación de una nubosidad permanente, mientras dura este estado de tiempo, compuesta de nubes altas y medias que puede ocasionalmente provocar garúas livianas, conocidas localmente como "garviyas".

En la fase de disminución de este tipo de anticiclón, que generalmente al cabo de dos o tres días se ha desplazado hacia el este-noreste, se disipa la nubosidad formada en ocasión del avance del aire frío. El descenso térmico del aire y del suelo que determina la invasión del aire polar, y la fuerte irradiación nocturna, que se ve favorecida por ese tipo de masa de aire relativamente seca y por la duración de las noches invernales, producen como consecuencia las heladas, que pueden presentarse durante varios días consecutivos.

La Fig. 3 muestra la porción más austral de Sud América con el estado bórico promedio de los días en que la situación sinóptica del tiempo presentó las características típicas descritas anteriormente, y que, además, correspondieron a fechas con registros de heladas, según el Servicio Agrometeorológico de Heladas, desde el año 1939 hasta la fecha.

En el Cuadro V, se detallan esas fechas y los daños ocasionados por las heladas que les sucedieron.

CUADRO V. — Heladas producidas en el valle del río San Francisco en el período 1939-1950

| Día en que culminó el desarrollo del anticiclón |      |         | Fecha en que se produjeron heladas en Orán-Urondel |      |   | Cultivos dañados   |
|---|------|---------|--|------|---|--|
| Año   | Mes  | Día     | Año  | Mes  | Día   |  |
| 1939  | VII  | 22      | 1939   | VII  | 22, 23 y 24                                 | Tomate, pimiento, ataco.   |
| 1939  | VIII | 21      | 1939   | VIII | 22, 23 y 24                                 | Mango, banano y ataco  |
| 1941  | V    | 28      | 1941   | V    | 28, 29, 30 y 31                             | Banano, tomate, pimiento, zapallito, chaucha y poroto.   |
| 1941  | IX   | 3       | 1941   | IX   | 5 y 7                                       | —  |
| 1942  | VI   | 9       | 1942   | VI   | 9 y 12                                      | —  |
| 1942  | VI   | 18      | 1942   | VI   | 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 | Tomate, pimiento, zapallito, berenjena, chaucha, naranjo, limonero, chirimoya, palta y banano. |
| 1945  | IX   | 13      | 1945   | IX   | 13, 14 y 15                                 | Tomate, pimiento, zapallito, berenjena, sandía, chaucha y naranjo.                             |
| 1945  | VI   | 22      | 1945   | VI   | 24, 25, 26 y 27                             | Banano, tomate, zapallito, porotos, palta y tártago.   |
| 1946  | VII  | 16 y 19 | 1946   | VII  | 18, 19, 20 y 21                             | Banana, palta, mango, tomate y pimiento.   |
| 1946  | VII  | 25      | 1946   | VII  | 26  |  |
| 1947  | VII  | 9       | 1947   | VII  | 10 y 11                                     | Tomate, pimiento, zapallito, papa y tártago.   |
| 1950*   | VIII | 2       | 1950   | VIII | 4, 5 y 6                                    | Tomate, pimiento, zapallito, banano, papayo.   |

\* Según las observaciones tomadas *in situ* por los autores.

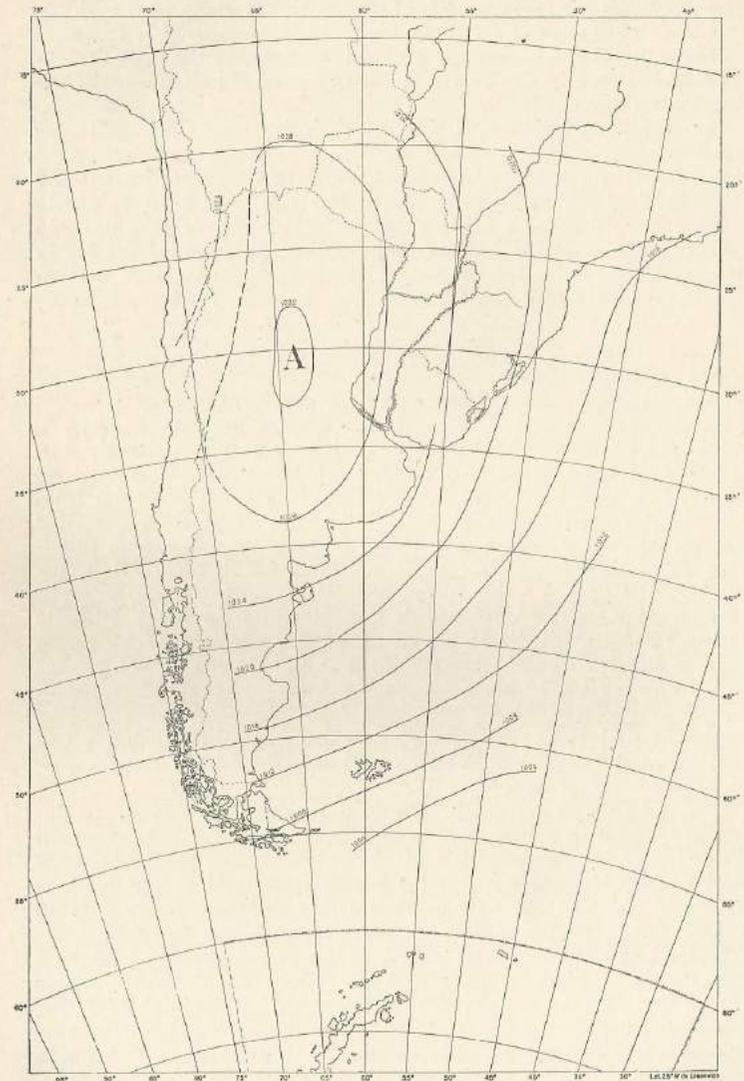


FIG. 3. — Estado bórico promedio en la parte más austral de Sud América de los días con situaciones sinópticas típicas, que precedieron a la formación de heladas dañinas en el valle del río San Francisco, según el registro del Servicio Agrometeorológico de Heladas y para el período 1939-1950.

En ese mismo período de años existieron registros de heladas que no correspondieron a situaciones sinópticas tan típicas como las descriptas. En tres de estos casos el centro de un anticiclón más débil se encontraba mucho más al sudeste, sobre la provincia de Buenos Aires o sur de Santa Fe, y la irrupción de aire frío en el noroeste del país no estaba tan claramente determinada.

Para explicar estos casos el material sinóptico disponible resulta insuficiente.

Las fechas con heladas que correspondieron a estos casos fueron: 29 de agosto de 1941; 7 de setiembre de 1941; 13, 14 y 15 de agosto de 1943; 9, 10, 11, 12 y 13 de julio de 1944; 12 de julio de 1946 y 17 de julio de 1947. Los daños producidos por esas heladas fueron algo semejantes a las incluidas en el cuadro anterior, aunque particularmente dañinas resultaron las del mes de julio de 1944.

#### V. — ANALISIS MICROCLIMATICO DEL MES DE AGOSTO 1950

##### A. - Temperaturas mínimas absolutas y su probabilidad.

Durante los últimos días del mes de julio y primeros días del mes de agosto de 1950 se estableció sobre el país una situación sinóptica, de las que hemos descripto como típicas para la formación de las heladas, pero caracterizada por un anticiclón de mayor potencia que el de la situación media, con un centro de 1.040 mb cuyo desarrollo culminó el día 2 de agosto. Una persistente nubosidad de SiCu y la continua afluencia de aire polar fueron factores concurrentes para producir un marcado y sostenido descenso de la temperatura del aire y del suelo durante esos días. El día 1° y 2 de agosto se produjeron garúas ligeras tanto en la selva como en Urundel Central. El sistema nuboso comenzó a disiparse a las 19 horas del día 3 y a las 21.30 el cielo era claro y el aire calmo, condiciones éstas muy favorables para una irradiación nocturna muy intensa. A la mañana siguiente se había producido una helada general que se repitió, con menor intensidad y en algunas partes, en los dos días posteriores.

Con el objeto de conocer la intensidad relativa del fenómeno producido nos pareció conveniente investigar su anomalía por medio del cálculo de probabilidades. El resultado de este análisis puede observarse en el Cuadro VI, que contiene las mínimas producidas en el noroeste argentino, como consecuencia de la situación sinóptica que se presentó el día 2 de agosto. Puede verse así que la intensidad de la helada resultó particularmente extrema en Jujuy, en donde son probables mínimas tanto o más bajas que las registradas en esa fecha una vez cada 33 años ( $P=3\%$ ). En el valle del río San Francisco la intensidad de la helada no fué tan extremadamente anormal, ya que cabe esperar fríos tanto o más intensos una vez cada 14 años ( $P=7\%$ ). Hemos incluido en el mismo cuadro las mínimas registradas en el abrigo reglamentario, en tres estaciones de la selva. Vemos así que, en la cumbre del filo, a 240 m sobre el valle del Río Piedras (Estación n° 4), y en la exposición al norte, Arroyo del Tigre (Estación n° 5) no se registraron temperaturas bajo cero en esta oportunidad, y en ese tipo de instalación.

Ahora bien, si suponemos que la variabilidad de las temperaturas mínimas, en esas estaciones de la selva, es la misma que en Urundel, es decir, que las desviaciones típicas en todas las estaciones son de la misma magnitud, resulta que en la estación Arroyo del Tigre es probable que ocurran temperaturas inferiores o iguales a 0° en un año de cada 17 ( $P=6\%$ ), y en la cumbre del "filo" en un año de cada cincuenta ( $P=2\%$ ). Este procedimiento, si no es absolutamente exacto por el carácter microclimático de las estaciones, lo consideramos suficientemente aproximado para los fines prácticos.

Con el objeto de facilitar su comparación con los valores establecidos en el párrafo anterior, agregaremos aquí que en el valle del río San Francisco, en Urundel (Central), aplicando este mismo cálculo, resulta probable que ocurran temperaturas iguales o inferiores a 0°C en un 77% de los años.

##### B. - Radiación solar y temperatura de suelo.

Los registros de radiación solar se tomaron por medio de 3 piranógrafos de ROBITZCH, instalados en la estación Urundel (Central) y en la selva en la exposición al norte, estación n° 5, Arroyo del Tigre, en la sur, estación n° 3, Santo Cristo.

CUADRO VI. — Probabilidad de ocurrencia de temperaturas mínimas iguales o inferiores a las registradas en 1950 en el noroeste de la República Argentina. (Valores observados en egipcia, valores extrapolados en bastardilla)

| Estaciones                        | Período | Mín. abs.<br>1950<br>x<br>°C | Media<br>mín. abs.<br>y<br>°C | x - t<br>°C | Desv.<br>tip.<br>°C | Probabilidad de que<br>se registre una<br>mínima inferior a la<br>de 1950 |                  |
|-----------------------------------|---------|------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------|---|------------------|
|                                   |         |                              |                               |             |                     | %   | Frec. en<br>años |
| Tucumán                           | 1901-47 | - 0.9                        | - 1.5                         | +0.6        | 1.9                 | 62  | 1.6              |
| Rivadavia                         | 1901-46 | - 3.2                        | - 1.0                         | -2.2        | 2.1                 | 15  | 6.6              |
| R. de la Frontera                 | 1905-24 | - 6.7                        | - 5.6                         | -1.1        | 2.5                 | 53  | 3.0              |
| Andalgalá                         | 1901-47 | - 1.7                        | - 2.7                         | +1.0        | 1.5                 | 75  | 1.3              |
| La Quiaca                         | 1901-47 | -12.7                        | -14.4                         | +1.7        | 1.5                 | 87  | 1.1              |
| Jujuy                             | 1910-47 | - 6.0                        | - 1.9                         | -4.1        | 2.2                 | 5   | 33.3             |
| Orán <sup>1</sup>                 | 1915-55 | - 5.5                        | - 1.3                         | -2.2        | 1.6                 | 8   | 12.5             |
| Ing. Ledesma <sup>1</sup>         | 1908-28 | - 2.7                        | - 0.5                         | -2.2        | 1.4                 | 6   | 16.7             |
| Urundel <sup>2</sup>              | —       | - 5.1                        | - 0.9                         | -2.2        | 1.5                 | 7   | 14.3             |
| Sto. Cristo Exp. S. <sup>2</sup>  | —       | - 1.0                        | + 1.2                         | -2.2        | 1.5                 | 7   | 14.3             |
| A. del Tigre Exp. N. <sup>2</sup> | —       | + 0.1                        | + 2.5                         | -2.2        | 1.5                 | 7   | 14.3             |
| Est. N° 4 (Cumbre) <sup>2</sup>   | —       | + 0.8                        | + 3.0                         | -2.2        | 1.5                 | 7   | 14.3             |

<sup>1</sup> Valor del año 1950, extrapolado teniendo en cuenta el régimen de las temperaturas mínimas deducido de la serie de valores existentes y las temperaturas registradas en Urundel durante el invierno de 1950.

<sup>2</sup> Valores medios extrapolados teniendo en cuenta el régimen de temperaturas mínimas de Orán e Ingenio Ledesma y los registrados en esas estaciones durante el invierno de 1950.

<sup>3</sup> La temperatura mínima absoluta de 1950 se ha obtenido corrigiendo el valor registrado en el abrigo de emergencia con el error de irradiación correspondiente para hacerlo comparable con los demás valores, que se refieren al abrigo reglamentario (tipo B).

Las sumas diarias de irradiación obtenidas resultaron válidas en el aspecto climático regional, desde que su comparación con las estaciones de Salta y Rivadavia dieron resultados muy similares. Así durante 17 días claros del mes de agosto la relación Rivadavia/Urundel fué de 97%, y durante 16 días claros se obtuvo 102% en la relación Salta/Urundel. Del mismo modo, en 6 días parcialmente nublados se obtuvo

un 105 % para Rivadavia/Urundel, y en 8 días parcialmente nublados un 101 % para Salta/Urundel. Para los mismos días completamente nublados, 2 y 3 de agosto, la Comparación Salta/Urundel resultó menos concordante (80 %) circunstancia que se explica por el régimen propio de los días nublados (diferente espesor y naturaleza de las nubes, etc.).

El valor microclimático de los registros de irradiación obtenidos tiene significado para la comparación entre la irradiación que se recibe sobre un plano horizontal en el interior de la selva en este mes de reposo invernal, y la que se recibe en campo abierto. Juzgamos, en cambio, que esos registros carecen de valor para comparar el distinto goce de irradiación de las distintas exposiciones en el interior de la selva. La circunstancia de que la estación Santo Cristo (n° 3), expuesta al sur, se ubicara en un lugar con menos vegetación arbórea que Arroyo del Tigre (n° 5) expuesta al norte, originó que la pequeña superficie sensible de los instrumentos en el sotobosque estuviera más afectada por la sombra de obstáculos en la exposición norte (ver Fig. 8, 1 y 6). Por otro lado, la posición horizontal de los instrumentos no coincide con el plano de inclinación de las exposiciones. En este caso, aun suponiendo una igualdad absoluta en los obstáculos que interfirieran la irradiación de ambas exposiciones, y no obstante la latitud tan baja como en la que hemos trabajado, en la exposición al norte se recibe más radiación, y en la exposición al sur menos, que la que puede registrar el instrumento. A este respecto resulta altamente documental el exhaustivo trabajo de KAEMPFERT (1942) sobre este tema.

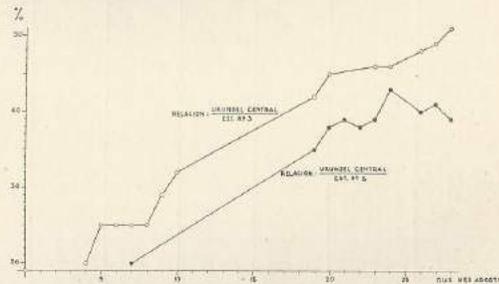


FIG. 4.—Comparación del goce de radiación total entre el valle del río San Francisco, sin vegetación selvática y en las dos exposiciones de la selva.

Ambas consideraciones anteriores explican porqué nuestros instrumentos acusaron mayor radiación total en la posición sur que en la norte, lo cual aparentemente no coincide con el régimen térmico del aire, que analizaremos más adelante, ni con las temperaturas del suelo.

Aun cuando en la selva existen localizaciones en que la vegetación impide casi totalmente la recepción de la radiación solar directa por el suelo desde alturas superiores a 1.50 m., las situaciones similares a las estaciones n° 3 y n° 5 son bastante frecuentes y extendidas durante la estación invernal.

En la Fig. 4 hemos representado la relación entre la radiación total recibida en la selva y Urundel, durante los días claros. Esta relación

varía de un 20 a un 50 % en el mes de agosto, es decir, que sobre un plano horizontal en la selva se recibe entre 1/5 y 1/2 de la que se recibe en campo abierto.

La causa del progresivo aumento de la radiación en la selva durante el mes debe atribuirse al desplazamiento del sol y a la distribución particular de los obstáculos en cada lugar.

En los días parcialmente nublados se nota una mayor irregularidad en los valores, propia de las características de los días parcialmente nublados. No obstante que el material disponible es algo escaso, se nota un ligero aumento de los valores relativos de goce de radiación en la selva en estos días.

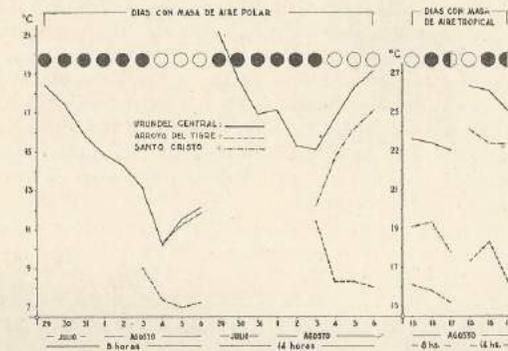


FIG. 5.—Marcha de la temperatura del suelo en la selva y en Urundel (Central) cuando la masa de aire es polar y cuando es tropical. En la parte superior de la gráfica se ha representado el estado medio diario del cielo.

Los valores máximos de irradiación recibida durante algo más de la primera mitad del mes de agosto, se registraron en los días claros con masa de aire polar (364 a 447 gr/cal/cm<sup>2</sup> en Urundel, del 4 al 6/VIII). Los días con masa de aire tropical, con mayor contenido de vapor de agua en la atmósfera, los valores registrados fueron inferiores. Si bien los valores de irradiación obtenidos no tienen significado para comparar las exposiciones entre sí, como se ha dicho anteriormente, la temperatura del suelo nos permite apreciar de una manera aproximada el valor relativo de la irradiación recibida en ambas exposiciones.

En la Fig. 5 hemos representado la marcha de la temperatura del suelo a las 8 horas, observación que resulta la más próxima al momento en que culmina la pérdida de calor del suelo por la irradiación nocturna, y a las 14 horas, observación próxima al de la máxima recepción de calor de la irradiación diurna. Se muestra también el estado del cielo.

Vemos así, en el material disponible, que el suelo es más frío en la selva que en campo abierto, porque la vegetación selvática intercepta gran parte de la radiación solar. Esta diferencia es más notable en los días con masa de aire polar.

Se puede observar, además, que el suelo es notablemente más frío en la exposición al sur, en la selva, que en la exposición al norte. Por

otra parte, en los días claros después de tiempo nuboso el calentamiento de la exposición norte aumenta, rápidamente, con la misma intensidad que en campo abierto, mientras que en la exposición al sur el suelo sigue enfriándose el día siguiente algún tiempo después de la disipación de los sistemas nubosos, para aumentar su temperatura sólo lentamente en los días posteriores. En esto vemos el escaso poder de calentamiento de la radiación difusa, y la influencia del mayor contenido de humedad del suelo en la exposición al sur, según vimos anteriormente (Cuadro IV).

### C. - Temperatura y humedad del aire.

Con el objeto de caracterizar el régimen invernal de la temperatura y humedad del aire en los microclimas estudiados, hemos calculado el valor horario de estos dos elementos en dos series de días consecutivos. La primera de estas series abarcó el período del 1 al 6 de agosto, que se caracterizó por el dominio típico de una gran masa de aire polar; la segunda correspondió al período del 15 al 20 de agosto, en cuyos tres primeros días la región estudiada estuvo sometida a la influencia de una masa de aire tropical. Los tres días subsiguientes esta masa de aire ya se había transformado parcialmente, pero debieron incluirse en el promedio con el fin de suavizar las curvas.

En la Fig. 6, se han representado los valores obtenidos y la comparación correspondiente entre ambas exposiciones en la selva y la estación Urundel (Central), y la Fig. 7 (1, 2, 3 y 4) a su vez, la de las exposiciones entre sí.

Puede verse así, que la temperatura del aire en el interior de la selva es casi permanentemente inferior a la del valle del río San Francisco, siendo la variación diaria de menor amplitud. La primera de estas características es permanente y más notable en los días con masa de aire tropical, y en la comparación entre la exposición sur y Urundel (Central) (Fig. 6, 7).

El calentamiento en las horas de la mañana resulta más intenso en la selva que en el campo llano de Urundel, por cuanto la exposición que denominamos genéricamente norte, en realidad es noreste y también por efecto de su propia inclinación.

Además en la Fig. 6, 3 puede observarse que en la exposición norte, cuando domina el aire tropical, las temperaturas nocturnas son generalmente inferiores a las de Urundel (Central) salvo en las horas de mínima. Estos últimos valores son en su mayor parte superiores en la selva. Cuando la masa de aire es polar (Fig. 6, 1), en cambio, circunstancia que origina el riesgo de helada en las horas nocturnas, y en la exposición referida, se registran invariablemente temperaturas superiores a Urundel, y, las temperaturas mínimas diarias muestran en igual sentido, una mayor diferencia.

En la exposición sur, bajo condiciones de masa aérea tropical, las temperaturas son siempre inferiores a las de Urundel (Fig. 6, 7). En las horas nocturnas esta diferencia tiende a disminuir. Cuando la masa de aire es polar se mantiene el sentido de esta diferencia, pero en las horas nocturnas es de muy pequeña magnitud (Fig. 6, 5). Agregaremos aquí, que, en los días en que la temperatura es muy cercana o más baja que 0°, el

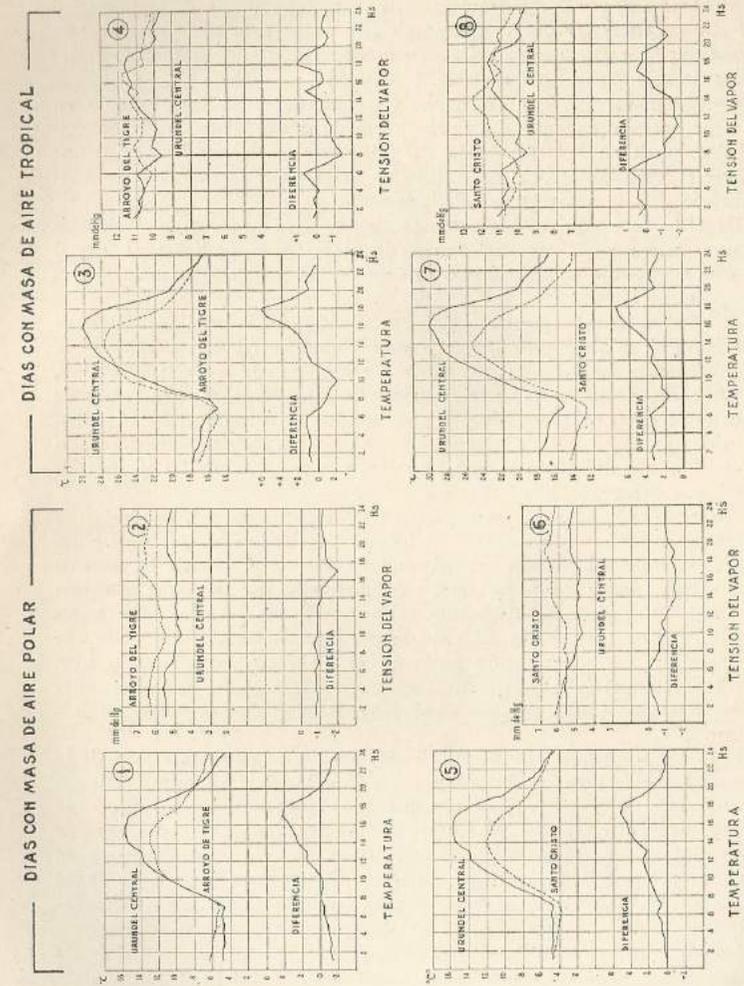


FIG. 6. — Comparación de la marcha diaria de la temperatura y de la concentración de la humedad del aire entre la selva y Urundel (Central). 1, 2, 3 y 4; Exposición norte y Urundel Central. 5, 6, 7 y 8; Exposición Sur y Urundel Central. 1, 2, 5 y 6; Con masa de aire polar. 3, 4, 7 y 8; Con masa de aire tropical.

sentido de la diferencia se invierte y las mínimas resultan más suaves en la selva.

Si observamos el comportamiento de la marcha diaria de la humedad del aire podemos ver que con masa de aire polar aquella es permanentemente superior en la selva, salvo en la exposición sur, en donde en las horas de mínima se igualan (Fig. 6, 2 y 6).

Consideramos así, que la suavidad de las temperaturas mínimas en la selva, particularmente superiores a las de Urundel en los días con heladas, se deben a la liberación del calor latente de condensación, que provee el abundante rocío producido en tales circunstancias, como consecuencia de la mayor humedad de la selva.

Para destacar aquí la importancia de este fenómeno, transcribiremos algunos párrafos de nuestro diario de viaje correspondiente al día 4 en que se produjo la helada más intensa de las que ocurrieron en el mes de agosto de 1950.

"Con el objeto de apreciar el daño producido por la helada, el Ingeniero Burgos, el observador Fracaro y el baqueano Mendoza recorrieron 7 kilómetros del valle del río Piedras hacia el oeste o Valle Morado".

"Al salir, el sol no había transpuesto los filos de la margen izquierda que es la explorada. Pudieron observarse los efectos de la helada producida que llegó a  $-2.7^{\circ}\text{C}$  en un termómetro expuesto sin protección a 1.50 m de altura, en el campamento. Un termómetro en el interior de la carpa registró la mínima de  $3^{\circ}\text{C}$ ".

"Se pudo observar la formación de escarcha sobre palos y hojas de plantas expuestas libremente a la irradiación, no así en las protegidas en el interior del bosque. Cuando el sol comenzó a calentar la copa de los árboles más altos de la margen explorada del río, aproximadamente a las 9.30 se pudo observar que, como una lluvia intensa, caían gotas de la copa de los árboles. El cielo estaba completamente despejado. Se supuso que esa precipitación provenía de un fuerte rocío o más bien del derretimiento de la escarcha formada en la capa de mayor irradiación nocturna. El fenómeno duró aproximadamente de 20 a 30 minutos".

Bajo las condiciones de masas de aire tropical, la concentración de la humedad tiende a ser superior en la selva solamente durante las horas diurnas (Fig. 6, 4 y 8). Aquí la concentración de la humedad sigue una marcha semejante a la de la temperatura, como ocurre en las capas bajas de la atmósfera sobre superficies de agua libre. Ello se debe a que en la selva, como hemos demostrado anteriormente, existe mayor humedad disponible en el suelo y subsuelo, que es cedida a la atmósfera por evaporotranspiración en la medida que la temperatura del aire lo permite.

En Urundel, en cambio, al no existir el mismo tipo de vegetación la concentración de la humedad tiende a disminuir en las horas de máxima irradiación diurna, para registrar el máximo valor en las horas de la puesta del sol.

Debemos señalar aquí que, en las diferencias de la marcha de la humedad, según se trate de masas de aire polar o tropical, juegan un rol importante los movimientos convectivos del aire en la capa baja de la atmósfera, que son más intensos cuando la masa es tropical y en campos desprovistos de vegetación alta, donde el suelo recibe más directamente

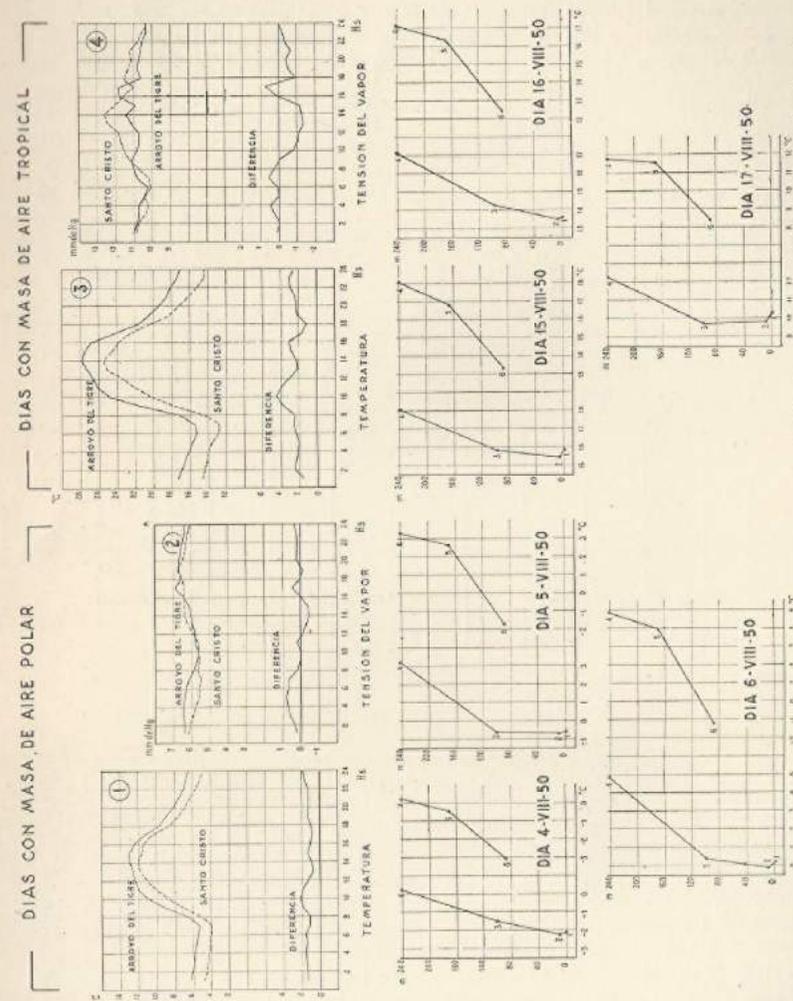


FIG. 7. — Arriba: Comparación de la marcha diaria de la temperatura y humedad del aire entre la exposición al norte y al sur en la selva. 1 y 2; Con masa de aire polar. 3 y 4; Con masa de aire tropical. Abajo: Inversión de la temperatura en la hora de mínima, en la selva. 4, 5 y 6/VIII; Con masa de aire polar. 15, 16 y 17/VIII; Con masa de aire tropical. Los números de las curvas de inversión corresponden a las estaciones de la selva.

la irradiación diurna. En estas condiciones, las capas bajas enriquecidas con vapor de agua por la evapotranspiración tienden a intercambiar su humedad con las capas superiores de menor concentración de humedad.

La comparación entre las exposiciones norte y sur en la selva nos ofrece las siguientes observaciones: la exposición norte es siempre más caliente que la sur, tanto si la masa de aire es tropical como polar, aunque la diferencia es de mayor magnitud en el primer caso (Fig. 7, 1 y 3). La concentración de la humedad es mayor en la exposición sur, en las horas diurnas, y esto es más notable con masas de aire tropicales (Fig. 7, 2 y 4).

Las mismas causas que expusimos en las comparaciones anteriores determinan estas características, esto es, el mayor calentamiento por irradiación diurna, la mayor turbulencia térmica y la menor humedad del suelo en la exposición norte.

CUADRO VII. — Valores medios de temperatura y mínimas absolutas del mes de agosto de 1950 en °C. (En bastardilla los valores corregidos mediante el error de irradiación probable).

| Estaciones | Abrigo de emergencia |           |       |          | Abrigo reglamentario (tipo «B») |           |           |       |          |                     |
|------------|----------------------|-----------|-------|----------|---------------------------------|-----------|-----------|-------|----------|---------------------|
|            | Máx. med.            | Mín. med. | Media | Amplitud | Mín. abs. 4-VIII-50             | Máx. med. | Mín. med. | Media | Amplitud | Mín. abs. 4-VIII-50 |
| 1          | 29.4                 | 8.7       | 19.0  | 20.7     | -2.1                            | 27.4      | 9.1       | 18.2  | 18.3     | -1.7                |
| 2          | 26.8                 | 8.4       | 17.6  | 18.4     | -2.2                            | 24.4      | 8.7       | 16.6  | 15.7     | -1.7                |
| 5          | 26.2                 | 9.5       | 17.8  | 16.7     | -1.5                            | 25.8      | 10.0      | 16.9  | 13.8     | -1.0                |
| 4          | 26.1                 | 12.3      | 19.2  | 13.8     | 0.5                             | 23.5      | 12.7      | 18.1  | 10.8     | 0.8                 |
| 5          | 28.0                 | 11.5      | 19.8  | 16.5     | -0.4                            | 25.1      | 12.0      | 18.6  | 15.1     | 0.1                 |
| 6          | —                    | 6.7       | —     | —        | -3.0                            | —         | 7.1       | —     | —        | 2.5                 |
| 7          | 29.8                 | 9.7       | 19.8  | 20.1     | -2.4                            | 28.2      | 10.2      | 19.2  | 18.0     | -2.1                |
| 8          | 31.2                 | 9.2       | 20.2  | 22.0     | -1.4                            | 29.6      | 9.6       | 19.6  | 20.0     | -1.0                |
| 9          | 29.5                 | 7.7       | 18.5  | 21.6     | -4.4                            | 27.7      | 8.1       | 17.9  | 19.6     | -4.0                |

En el Cuadro VII incluimos los valores térmicos medios del mes de agosto de 1950, que definen en este aspecto singular el clima local de las situaciones estudiadas.

En el análisis usamos los valores correspondientes al abrigo reglamentario. En las estaciones que dispusieron del mismo usamos el valor directo y para las otras los valores obtenidos en los abrigos de emergencia, corregidos con la corrección correspondiente.

Vemos así, que la amplitud media diaria, durante el mes de agosto observado, fué menor en la selva que en el valle del río San Francisco. Además, en las observaciones de la selva puede comprobarse la ley microclimática que establece que la amplitud media diaria decrece con la altura. La menor amplitud diaria corresponde a la estación n° 4 (10,8°C), la intermedia a las estaciones de las pendientes a media altura, Santo Cristo (13,8°) y Arroyo del Tigre (13,1°C) y la mayor amplitud al fondo de los valles: valle del río Piedras, Estación n° 1 (18,3°C). El lógico comportamiento de los valores de temperatura media máxima y media mínima, que corresponden a los valores de amplitud analizados, puede observarse en el mismo cuadro.

Al analizar las características de las heladas de 1950 adelantamos el registro microclimático del fenómeno en abrigo reglamentario y su

probabilidad para las tres estaciones de la selva, en las que alcanzó menor intensidad y para el valle del río San Francisco.

Agregaremos aquí, que el proceso que caracterizó el momento en que se registraron las temperaturas mínimas diarias fué la inversión térmica de la capa inferior de la atmósfera, proceso éste que resultó tan obvio cuando ocurrieron heladas como cuando la temperatura fué marcadamente superior a 0°C. En la Fig. 7 (abajo) hemos representado la inversión nocturna experimentada en la selva, los días con masa de aire polar en que se registraron heladas, y los días con masa de aire tropical, según los registros observados en los termómetros de mínima de los abrigos de emergencia.

Puede observarse así, aun cuando la distribución vertical de la temperatura sobre las laderas de una sierra no coincide exactamente con la distribución vertical en el aire desde el fondo de los valles, que la capa invertida en la selva generalmente supera los 240 m de altura desde el fondo de los valles. Esto se ve favorecido en la selva, lógicamente, por el relieve quebrado de su dominio, que impide el desplazamiento horizontal del aire y facilita su drenaje gravitacional durante la noche.

Además, en el caso de los días en que se registraron heladas, podemos comprobar que el espesor de la capa con temperaturas por debajo de 0°C correspondió a 220 m durante la primera noche de helada, en la segunda noche quedó reducido a 120 m por el marcado calentamiento diurno y en la tercera fué de menor espesor aún.

De todas las estaciones instaladas, la que registró la mínima más baja fué la n° 9 (abrigo de emergencia -4,4°C, abrigo reglamentario -4,0°C), ubicada en un bolsón sin drenaje de "El Bananal", mientras que la otra estación situada a unos 500 m de aquella, pero en una pendiente suave, registró una mínima de -1,4°C en el abrigo de emergencia (-1,0°C en abrigo reglamentario).

Si bien, ni en la selva ni en Urundel (Central) hemos registrado mínimas tan bajas como las de la estación n° 9, suponemos fundadamente que ellas se han producido y aún más intensas, a juzgar por los daños en la vegetación natural, en pequeñas localizaciones de la selva donde, además de faltar la vegetación de alto porte se ha visto impedido el drenaje nocturno del aire por la configuración topográfica.

Si tenemos en cuenta las temperaturas mínimas registradas en todas las estaciones, vemos que el factor principal determinante de la intensidad de las mínimas son las condiciones locales que, a su vez, determinan la irradiación nocturna, y que en segundo lugar se destaca el efecto del escurrimiento gravitacional del aire frío. Comprobamos así que la intensidad del frío en la estación n° 6 es casi la misma que en el valle del río San Francisco que se encuentra a un nivel inferior en 690 m.

Esto se explica al tener en cuenta la observación que registramos en nuestro diario de viaje acerca de que invariablemente, durante las horas nocturnas, se establece una corriente de aire, después de las 20 ó 21 horas, luego de formarse la inversión térmica, de aproximadamente 1,5 m/seg en el fondo del valle del río Piedras. Esta corriente que sigue la del río aguas abajo durante 10 horas nocturnas y que fué apreciada me-

diante el humo del fuego del campamento, no podría ser portadora de frío por advección más que hasta 9 Km de distancia.

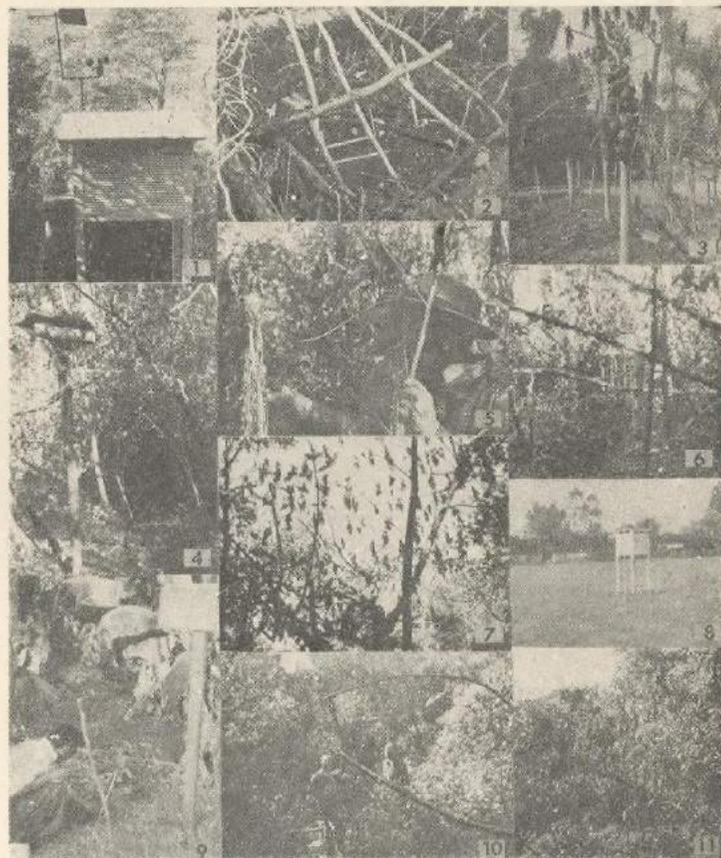


FIG. 8. — 1. Estación n° 3, Santo Cristo. 2. Termómetros de suelo y de mínima de irradiación en la Estación n° 3, Santo Cristo. 3. Pajayo helado en el paraje El Bananal. 4. Estación n° 4, abrigo de emergencia. 5. Se muestra una *Manihot* y una *Urena* heladas al oeste de la confluencia del Río Piedras y el Río Pantanoso. 6. Estación n° 5, Atrezo del Tigre. 7. Copa de *Manihot* con hojas heladas entre las estaciones nos. 1 y 3. 8. Estación de Urundel (Central). 9. Estación n° 9 en El Bananal, abrigo de emergencia. 10. Aspecto de la selva entre las estaciones n° 5 y 6. 11. Ortiguilla helada en Cabeceras de Santa María.

Este desplazamiento de aire se interrumpe en las horas diurnas con la recomposición de la distribución normal de la temperatura en la capa baja de la atmósfera, para volver a manifestarse en la noche siguiente.

D. - Efectos de las heladas del mes de agosto de 1950.

Los daños ocasionados por las heladas que hemos estudiado fueron lógicamente una consecuencia de las temperaturas mínimas registradas y por lo tanto se mostraron tan variadas como situaciones microclimáticas era posible encontrar.

CUADRO VIII. — Efectos de las heladas en las estaciones microclimáticas de la selva e intensidad de las temperaturas mínimas absolutas

| Estación n°                  | Temperatura mínima en abrigo regulatorio | Manihot Tweediana | Urena baccifera | Chamissoa altissima | Olyra fasciculata | Piper sp. |
|------------------------------|--|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|
| 1                            | -1.7                                     |                   |                 |                     |                   |           |
| 2                            | -1.7                                     |                   |                 |                     |                   |           |
| 3                            | -1.0                                     | X                 | XX              | X                   | O                 | O         |
| 4                            | 0.8                                      | O                 | O               | O                   | O                 | O         |
| 5                            | 0.1                                      | O                 | X               | O                   | O                 | O         |
| 6                            | -2.5                                     | XXX               | XXX             | XXX                 | X                 | XX        |
| 7 Km al oeste del campamento |  | XX                | XX              | XX                  | O                 | O         |
| Santa María                  |  | XX                | XX              | X                   | O                 | O         |

O = sin helarse;  
 X = algunas hojas heladas;  
 XX = casi todas las hojas heladas;  
 XXX = planta helada hasta las primeras ramitas.

Los cultivos de hortalizas de invierno en el valle del río San Francisco resultaron especialmente dañados, no así los frutales cítricos en los que los perjuicios no resultaron tan evidentes.

En el paraje "El Bananal" los daños fueron menores que en el valle del río San Francisco en aquellas situaciones donde era posible el drenaje del aire frío (Estación n° 8) pero muy intensos en el bolsón que no permitía su derrame. Sobre la margen izquierda del río Piedras el fenómeno fué aún más leve que en la Estación n° 8 y no se produjeron daños. Este efecto se debe probablemente a que durante la noche se destruye parcialmente la inversión térmica por turbulencia cuando el aire frío que baja encajonado por el río Piedras penetra y se desplaza por la llanura de "El Bananal".

En la selva los daños fueron particularmente intensos en las situaciones sin vegetación arbórea y que no favorecieron el escurrimiento del aire frío. El estado fenológico de la selva, en reposo invernal hizo notable el fenómeno sólo en algunas especies que mantenían el follaje en invierno, pero muchas de ellas resultaron de difícil identificación por no mostrar en esa época sus órganos florales. Con todo y mediante 5 de las especies más comunes hemos podido construir el Cuadro VIII en que se muestra el efecto de las temperaturas mínimas sobre esas 5 especies y que resulta altamente coincidente con el registro de las temperaturas mínimas.

Una exploración hasta 7 Km más al oeste del campamento por el valle del río Piedras, reconocido como Valle Morado, nos evidenció que el daño de estas heladas fué prácticamente de la misma intensidad.

Del mismo modo un reconocimiento del valle del río Santa María hasta el paraje denominado Cabeceras del río Santa María, aproximadamente 50 Km más al norte, donde la selva alcanza una mayor manifestación pudimos comprobar que, si bien los perjuicios en la vegetación natural fueron algo menores, existieron situaciones aisladas donde la temperatura debió alcanzar valores próximos o inferiores a  $-4.0^{\circ}\text{C}$ .

El análisis microclimático de los valores de temperaturas mínimas que hemos analizado y sus daños, nos sugiere como posibilidad agrícola de estas regiones, que llamaremos de los afluentes del río San Francisco, el cultivo de aquellas especies tropicales que toleran temperaturas próximas o algo inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  y que se adaptan a un período de sequía invernal intensa. Creemos que en ese tipo de cultivos se encuentran el café, el té y la coca.

En cuanto a las posibilidades de cultivo del tipo de aquellas especies tropicales que sufren perjuicios cuando la temperatura desciende por debajo de  $7^{\circ}\text{C}$  como la *Hevea* y el cacao, creemos que son completamente nulas. Mediante el cálculo de probabilidades con los datos que hemos podido registrar en la selva, podemos establecer que existe una probabilidad del 999‰ de que ocurran temperaturas inferiores a  $7^{\circ}\text{C}$  en situaciones como la de la estación n° 5, es decir, que en sólo un año de cada mil sería probable una mínima absoluta anual superior a ese valor. Con respecto a las localizaciones como la de la estación n° 4 diremos que esa probabilidad resulta del 996‰ o sea que sólo en un año de cada 250 es probable que se produzca una mínima absoluta anual superior a  $7^{\circ}\text{C}$ .

#### VI. — AGRADECIMIENTOS

Debemos dejar constancia de nuestro agradecimiento a los señores Ingeniero agrónomo Roberto A. Ruggiero, observadores Néstor Fracaro y Julio A. Cattaneo sin cuyo esfuerzo y colaboración no hubiera sido posible el acopio documental de datos en que se basa este trabajo. A los doctores Werner Schwerdtfeger, Otto Schneider, Alberto Castellanos, Renato Chini y al Ingeniero Lorenzo R. Parodi por el asesoramiento que nos han dispensado.

Agradecemos igualmente la colaboración del Instituto de Suelos y Agrotecnia en donde se realizaron los análisis de los suelos estudiados, y al Instituto de Botánica, ambos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación, que tuvo a su cargo la determinación botánica del material coleccionado durante la exploración. Igualmente a la Compañía Azucarera Tucumana por los medios y facilidades que puso a nuestra disposición.

#### VII. — CONCLUSIONES

1°) La formación de las heladas en el noroeste argentino generalmente está determinada y precedida por la formación de un potente anticiclón invernal, con el centro en las regiones de San Luis, Córdoba y Santiago del Estero y con una cuña hacia Bolivia.

2°) Es poco probable la ocurrencia de temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  en las exposiciones al norte y en las cumbres planas con algún declive

de los filos, en la latitud en que se efectuaron nuestras observaciones  $23^{\circ}30' \text{S}$ : una vez cada 17 años en las exposiciones al norte con pendientes pronunciadas y una vez cada 50 años en las alturas de 240 m sobre los valles inmediatos más profundos de la región. En el amplio valle del río San Francisco, en cambio, es probable este fenómeno casi en el 80% de los años, es decir, prácticamente todos los años.

3°) La mayor suavidad de las temperaturas mínimas en los días con heladas en la selva se debe, en gran parte, a la mayor concentración de la humedad que en ella existe, como producto de la evapotranspiración selvática y de la menor ventilación. Es decir, que este régimen no sería el mismo si se extirpara la vegetación actual.

4°) Una vez que se establece la masa de aire polar en el noroeste argentino, el factor principal que determina la intensidad de las temperaturas mínimas son las condiciones locales para la irradiación nocturna y en segundo lugar, el escurrimiento gravitacional del aire frío o advección.

5°) Del análisis microclimático de la región explorada, se deduce su capacidad para cultivos de especies tropicales que toleren temperaturas próximas o algo inferiores a  $0^{\circ}$ , y que se adapten a un período de sequía invernal intensa. Entre éstas consideramos interesante la experimentación con plantas del tipo del café, té y coca.

6°) Los cultivos tropicales del tipo de la *Hevea* o del Cacao que se perjudican con temperaturas inferiores a  $7^{\circ}\text{C}$  resultan impracticables hasta la latitud en que ha sido explorada la selva.

7°) Consideramos del mayor interés efectuar estudios similares al presente en situaciones más al norte, así como aquellos concernientes al régimen hidrológico de los afluentes del río Bermejo y del San Francisco para poder establecer con mayor precisión las posibilidades de nuestra agricultura tropical en el noroeste argentino.

#### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- BONARELLI, G. 1921. — « Tercera contribución al conocimiento geológico de las regiones petrolíferas subandinas del norte » (provincias de Salta y Jujuy). *Anales Ministerio Agricultura de la Nación, Sec. Geol. Miner. y Minas*, XV (1): 1-96. Buenos Aires.
- BURGOS, JUAN J., y A. L. VIDAL 1951. — « Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite ». Direc. Gral. del S. M. N., Serie Agrometeorológica, Pub. n° 5, 32 pp., 8 figs. Bs. Aires.
- FRENGUELLI, J. 1941. — « Rasgos principales de la fitogeografía argentina ». *Rev. Museo La Plata*, 5: 65-181, LVIII lám. La Plata.
- FRENGUELLI, J. 1946. — « Las grandes unidades físicas del territorio argentino ». *Geografía de la República Argentina (GAEA)* III: 5-114. Bs. Aires.
- HAUMAN, L., et al., 1947. — « La vegetación de la Argentina ». *Geografía de la República Argentina (GAEA)* VIII. Bs. Aires.
- KAEMPFFERT, W. 1942. — « Sonnenstrahlung auf Ebene, Wand und Hang ». *Wiss. Abh. R. f. W. 9*, Nr. 3.
- PARODI, L. R. 1945. — « Las regiones fitogeográficas argentinas y sus relaciones con la industria forestal ». *Plants and plant science in Latin America*. Ed. por Frans Verdoorn. Pp. 127-152. Waltham, Mass.
- SCHWERDTFEGGER, W. 1951. — « Depresión térmica del noroeste argentino ». *Rev. de la Sociedad Científica Argentina, CII*, junio 1951: 256-278.
- THORNTHWAITE, C. W. 1948. — « An approach toward a rational classification of climate ». *The Geographical Review*, XXXVIII (1): 55-94, 13 figs., 4 tabl.

## ARTICULOS BREVES

## Gradiente vertical de temperatura en la zona central de la cordillera

Por FEDERICO J. PROHASKA \* y MARÍA TERESA UGARTECHE DE GARCÍA \*\*

1.—Los datos publicados del gradiente térmico en la Cordillera<sup>1</sup> llaman la atención por su reducido valor comparándolos con otras zonas montañosas del mundo. Siendo la red de estaciones relativamente escasa se hizo necesario, hasta ahora, tomar todas las estaciones disponibles sin tener en cuenta la simultaneidad del período, la situación orográfica y la distancia horizontal, que a veces fué de 5° de latitud.

El presente cálculo de los gradientes, para enero y julio, se basa no tan sólo en un período uniforme de 10 años, por lo menos, para cada par de estaciones (excepto la de Cristo Redentor) y a una distancia que no excedió de 1° de latitud, sino que se considera también la orografía de las estaciones en cuestión, es decir, si están situadas en cumbres, pasos o cuevas o en mesetas o valles de altura.

2.—Los gradientes calculados y diferenciados en tal forma para la zona cordillerana entre 22° y 33° S y un par de estaciones en las Sierras de Córdoba se muestran en el Cuadro I, para el mes de enero. Se nota que los gradientes en estas zonas tienen el mismo valor que en otras partes del mundo y acusan una disminución de más o menos 30 % cuando se trata de la comparación de estaciones situadas en altiplanicies o en valles de altas montañas. Cuadro I (b). La coincidencia de los valores del Cuadro I (a) con los datos obtenidos en climas completamente distintos, es sorprendente. Por ejemplo, se calculó un gradiente de 0,67 para la zona del Ben Nevis (Escocia, 57° N), que es uno de los lugares más nubosos del mundo, y de 0,64 para Ceilán (7° N) en la zona ecuatorial.

Gradientes similares a los que vemos en el Cuadro I (b) se midieron también en los Alpes entre valles de distintas alturas (en promedio 0,46) y entre llanura y meseta en Rusia (0,45). El gradiente sumamente bajo entre Santa María y Tucumán se produce por la temperatura muy alta en el verano de Santa María, provocada por su situación orográfica (encerrada por altas montañas y abierta sólo hacia el norte). Esta disminución de gradiente térmico se manifiesta también por el nivel elevado que tienen las isothermas sobre macizos extendidos.

\* Doctor en Filosofía (Meteorología y Geofísica); Universidad de Viena. Jefe Sección Climatología del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Del Departamento de Predicción del Tiempo y Climatología, del Servicio Meteorológico Nacional.

<sup>1</sup> KODPER. — Geiger, Handbuch der Klimatologie, Band II, Teil G. *Klimakunde von Südamerika* (K. Knoch), Berlin, 1950.

Doc. V. JOHANSSON. — *Thermische Studien über das Klima in Südamerika*. University of Helsinki, Institute of Meteorology, Mitteilungen, Papers n° 66.

CUADRO I. — Gradiente vertical de la temperatura, en enero, entre estaciones

a) De llanura y de cuesta o paso

| Estación              | Altura en m sobre el nivel del mar | Estación      | Altura en m sobre el nivel del mar | Δh   | °C/100 m |
|-----------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------------|------|----------|
| Jujuy .....           | 1270                               | Ledesma       | 458                                | 812  | 0.65     |
| Salta .....           | 1175                               | Güemes        | 656                                | 517  | 0.64     |
| V. Nougés .....       | 1388                               | Tucumán       | 481                                | 907  | 0.67     |
| Ascochinga .....      | 1200                               | Córdoba       | 425                                | 775  | 0.74     |
| Cristo Redentor ..... | 3832                               | Villavicencio | 1785                               | 2049 | 0.62     |
| Villavicencio .....   | 1785                               | Mendoza       | 827                                | 956  | 0.65     |
| Cristo Redentor ..... | 3832                               | Mendoza       | 827                                | 3005 | 0.63     |
| Cristo Redentor ..... | 3832                               | Los Andes     | 816                                | 3016 | 0.60     |

b) De llanura y altiplanicie o valle de altura

| Estación          | Altura en m sobre el nivel del mar | Estación  | Altura en m sobre el nivel del mar | Δh   | °C/100 m |
|-------------------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|------|----------|
| La Quiaca .....   | 3461                               | Orán      | 357                                | 3104 | 0.44     |
| Santa María ..... | 1957                               | Tucumán   | 481                                | 1476 | 0.24     |
| Andalgalá .....   | 1063                               | Catamarca | 546                                | 517  | 0.48     |
| Cachruta .....    | 1237                               | Mendoza   | 827                                | 410  | 0.49     |
| Los Andes .....   | 816                                | Quillota  | 120                                | 696  | -0.53    |

3.—En el invierno todos los gradientes muestran la disminución típica del clima continental según lo expresa el Cuadro II.

CUADRO II. — Gradiente vertical de la temperatura en julio

| Estación                   | °C/100 m | Estación                        | °C/100 m |
|----------------------------|----------|---------------------------------|----------|
| La Quiaca-Orán .....       | 0.56     | Ascochinga-Córdoba .....        | 0.32     |
| Jujuy-Ledesma .....        | 0.39     | Cristo Redentor-Mendoza .....   | 0.44     |
| Salta-Güemes .....         | 0.55     | Villavicencio-Mendoza .....     | 0.11     |
| Villa Nougés-Tucumán ..... | 0.24     | Cachruta-Mendoza .....          | 0.20     |
| Santa María-Tucumán .....  | 0.21     | Los Andes-Quillota .....        | 0.20     |
| Catamarca-Andalgalá .....  | 0.27     | C. Redentor-Villavicencio ..... | 0.58     |
|                            |          | Cristo Redentor-Los Andes ..... | 0.51     |

Como en el verano el valor del gradiente depende en primer lugar de la orografía de la estación de altura, así depende el valor del gradiente invernal de las condiciones térmicas locales de la estación baja; en otras palabras, guarda relación con la intensidad de la inversión térmica y de su extensión hacia arriba. Por lo tanto, los gradientes invernales no se distinguen bien claros en dos o más clases, sino que muestran solamente una mayor variabilidad en general por condiciones locales. Los gradientes mayores en las provincias de Jujuy y Salta indican únicamente que en esta región la inversión es menos desarrollada.

Sólo los dos gradientes calculados entre estaciones no influenciadas por la inversión, nos muestran valores más semejantes a los del verano (Cristo Redentor - Villavicencio y Cristo Redentor - Los Andes).

4.—Digno de mención es asimismo el hecho de que el gradiente vertical de la temperatura en los lados oriental y occidental de la cordillera, en la latitud de Cristo Redentor (33°S), tienen casi el mismo valor (0,63 y 0,60 en enero y 0,58 y 0,51 en julio, respectivamente). Estos valores se encuentran, por supuesto, solamente sobre la región de la inversión, la cual en verano está situada como inversión dinámica en la costa pacífica (gradiente entre Quillota y Los Andes, - 0,53) y en el invierno, como inversión de radiación en el lado oriental de la cordillera (Mendoza - Villavicencio 0,1).

## NOTAS Y COMENTARIOS

Acerca de recientes trabajos sobre la circulación general de la atmósfera y las variaciones del clima. — En 1950 se cumplió el centenario de una entidad prestigiosa, la « Royal Meteorological Society » de Gran Bretaña. Celebróse el acontecimiento con una serie de conferencias y discusiones, coordinadas en forma de siete « symposia » para tratar en conjunto las exposiciones de distintos autores en relación con ciertos temas generales, cada uno de la mayor importancia para la Meteorología. La exposición documental de esta vasta contribución científica aparece en el importante tomo de 280 páginas que editó la Sociedad precitada, bajo el título de « Centenary Proceedings », Londres, 1950.

Muy extenso resultaría el comentario detallado de las veintisiete notables conferencias pronunciadas, y el gran número de acotaciones por ellas suscitadas, y de ahí que nos dediquemos al breve análisis de sólo dos temas de la mayor trascendencia y actualidad. Son los atinentes a la circulación general de la atmósfera y a las variaciones del clima en años pasados y futuros.

Con referencia al primero, trataremos en particular las exposiciones de S. Pettersen: « Aspectos de la circulación general », y de E. T. Eady: « La causa de la circulación general de la atmósfera », dos trabajos independientes pero intrínsecamente afines.

Dos hechos se han puesto en evidencia por muchas investigaciones realizadas durante los últimos decenios: 1º) Los sondeos de temperatura en distintas latitudes y altitudes indican que la atmósfera terrestre no se encuentra en el estado de equilibrio radiativo; 2º) La evolución del movimiento turbulento de gran escala (el « Grossaustausch », según la definición original de Defant), vale decir, el intercambio de masas aéreas entre latitudes polares y subtropicales por medio de los ciclones y anticiclones, que tienen un papel decisivo en el mecanismo de la « máquina » atmosférica, es más intensa a medida que el gradiente meridional de la temperatura va en aumento. Estos hechos pueden concebirse de tal modo que los procesos de radiación que tienden a establecer un equilibrio de radiación, con los contrastes rela-

tivamente grandes entre las zonas ecuatoriales y las polares, crean una inestabilidad dinámica de las grandes corrientes de aire zonales, una inestabilidad que por su parte, mediante los efectos de ciclogénesis, profundos empujes de aire frío, etc., ocasiona una intensificación del intercambio de calor, con la correspondiente merma de los contrastes meridionales. De tal manera, la circulación general debe ser interpretada como causada por la acción recíproca de esos dos procesos principales, a saber, la tendencia hacia el equilibrio radiativo, y la creciente inestabilidad dinámica de las grandes corrientes. Esto trae consigo que, a diferencia de las hipótesis de muchos trabajos anteriores, el intercambio del momento angular aparece de importancia sólo secundaria.

No cabe duda de que la nueva teoría, sencilla pero igualmente profunda, será una base sólida para trabajos futuros sobre el tema; semejantes investigaciones seguramente seguirán apareciendo, tanto más cuanto que varias cuestiones o problemas parciales han quedado todavía sin una respuesta completa.

Sin embargo, mientras que el trabajo de Eady se limita a consideraciones teóricas y llega a la conclusión de que la existencia de los grandes continentes no puede variar esencialmente el esquema general planetario, de los tres grandes cinturones de la circulación de cada hemisferio, a saber los tropicales, los templados y los polares, Pettersen expone, en la segunda parte de su conferencia, un análisis estadístico de los ciclones y anticiclones sobre el Hemisferio Norte, durante el período 1899-1939. Entre otros resultados se pone de relieve la noción \* de que muchas perturbaciones (torbellinos de intercambio turbulento) que se presentan bien pronunciados en vinculación con los sistemas migratorios de las latitudes templadas, tienen su origen en las zonas tropicales y son conducidos hacia las corrientes generales del Oeste por vía del lado occidental de los grandes anticic-

\* Ya conocida por varias investigaciones de casos singulares, por ejemplo las de Scherhag, cuya obra substancial « Nuevos Métodos de Análisis y Previsión del Tiempo », Heidelberg, 1948, parece desconocida para todos los conferenciantes de Londres que trataron problemas afines.

clones subtropicales. En base a este análisis, en síntesis con las exposiciones teóricas, Pettersen ofrece dos nuevos esquemas de la circulación en las capas inferiores de la troposfera del Hemisferio Norte, con sus figuras 24 (invierno) y 25 (verano), que por cierto pronto serán admitidas en los textos generales.

El segundo tema a que queremos referirnos ahora mismo, puesto que cada nueva investigación sugiere aún más su estrecha vinculación con el primero, fué tratado por H. C. Willett en una conferencia relativa a las variaciones de la temperatura habidas en los últimos 100 años (« Temperature trends of the past century »). Un análisis de los datos de 129 estaciones con registros de 50 años por lo menos, pone en evidencia que existe, a partir del año 1885, un ascenso general de la temperatura y en particular de la de los inviernos. Esta afirmación es cierta para las zonas templadas y polares del Hemisferio Norte, mientras que las escasas series de datos del Hemisferio Sur no admiten ningún testimonio fehaciente.

Aunque el análisis de Willett incluye un reducido número de registros de esta parte del mundo y extrae ciertas conclusiones, una réplica de F. Prohaska publicada en estos días en *TELLUS*, demuestra, en base a un estudio detallado de la temperatura en Buenos Aires (ascenso secular motivado por la creciente influencia de la urbe), y mediante una representación de las condiciones del hielo en la región de las Orcadas (*METEOROS*, Nº 2-3, pág. 219), que no puede constatarse ninguna variación unidireccional, por lo menos en este sector del Hemisferio Sur. La cuestión tiene cierta importancia para las consideraciones sobre la posible causa del calentamiento realmente observado para el Hemisferio Norte, tanto más cuanto que el análisis de Willett hace suponer que ese fenómeno está estrechamente vinculado con las variaciones de intensidad y ubicación de los grandes anticiclones continentales, casi estacionarios, en la estación fría del año. La causa de semejantes variaciones de la circulación general de la atmósfera —he aquí el enlace con el problema comentado en primer término—, al fin y al cabo debería encontrarse en las variaciones de la energía recibida por nuestro planeta desde el sol, las cuales, por su parte, tienen estrecha relación con las manchas solares. De las posibles consecuencias de tales relaciones se ocupa una nueva publicación de Willett aparecida en el *Journal of Meteorology* (1951, Nº 1), bajo el título: « Extrapolación de las relaciones entre manchas solares y el clima terrestre ». Dado lo interesante de las conclusiones de este estudio, no podemos menos que referirnos brevemente a ellas.

El autor ofrece un conciso resumen de

las variaciones rítmicas del número relativo de las manchas solares, atribuyendo principal importancia a la existencia de un ciclo de 80 años más o menos, que se compone de 4 períodos consecutivos (de 11 1/4 años cada uno, en promedio), con altos valores en el año del máximo, y 3 períodos con valores relativamente bajos (poca « actividad solar ») en el año del máximo; este ciclo se manifiesta también en los promedios regulares de los valores anuales para los 5 semiperíodos de 40 años, a partir de 1755. Los caracteres básicos de estas variaciones rítmicas y ciertos rasgos particulares de ellas están correlacionados con datos muy sumarios que se refieren a las variaciones generales de la temperatura, las precipitaciones, los glaciares y el nivel de tres grandes lagos, siempre para el hemisferio Norte, y que muestran, *groso modo*, variaciones análogas.

Ahora bien, con las reservas de costumbre, Willett procede a la extrapolación de los 5 semi-ciclos y los rasgos generales de los fenómenos vinculados.

Y concluye que: a) por analogía de las características del máximo de 1947 con los de 1870 y 1787, el próximo máximo de las manchas solares se retrasaría hasta el año 1962, por lo menos, y éste sería uno de los menores de todo el registro existente desde 1750; b) durante los 15 años próximos, a raíz de semejante analogía, habría un descenso sensible de la temperatura media sobre gran parte del mundo (« over much of the world »), con significación particular para la zona polar del Norte, donde se ha producido el ascenso más notable durante los últimos tres decenios, « pero no en la Antártica »; c) las sumas integrales de precipitaciones en las latitudes templadas al Sur de 50° N, y con esto sobre los Estados Unidos, irían en aumento durante el próximo decenio y d) por consiguiente, el fenómeno casi mundial del retroceso de los glaciares encontraría un pronto fin, produciéndose luego un nuevo avance durante el plazo de los 20 hasta los 50 años que vienen.

Aunque los « pronósticos » antedichos tienen, a nuestro juicio, en su favor una relativa probabilidad, ya que significarían sólo la vuelta hacia los valores o condiciones promedias de los dos siglos pasados, no podrían, sin embargo, dejar de ser objetadas de audaces, por basarse en la repetición de sólo tres veces de una fenomenología en la marcha de una actividad solar; será interesante observar con particular atención la evolución respectiva durante los años próximos. Pero cualquiera fuera el resultado de la verificación, sería siempre muy útil intensificar los estudios sobre la circulación general de la atmósfera, la cual obra como vínculo entre las variaciones del clima y su causa principal, los procesos solares. — WERNER SCHWERTFEGER.

## TEXTOS

### Transcripción fragmentaria de actas del Primer Congreso de la OMM

En oportunidad, el titular del Secretariado de la Organización Meteorológica Mundial, Dr. G. Swoboda, distribuyó a los organismos miembros la recopilación de las actas del Primer Congreso de la OMM celebrado en París entre el 19 de marzo y el 28 de abril de 1951. De las 48 resoluciones adoptadas por la asamblea, cuya colección constituye un voluminoso acervo documental, creemos de interés general para las actividades locales dar noticia acerca de las que subsiguen. Por razones de espacio, y en virtud de ser la parte dispositiva de las resoluciones suficientemente clara, no se transcribe la parte expositiva, la cual podrá fácilmente consultarse en inglés o en francés en la fuente original.

#### Política general de la Organización Meteorológica Mundial

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 9 (I): *Decide* incluir en el plan de la política general de la OMM los puntos expuestos en los párrafos que siguen:

a) *Relaciones con los países no miembros.* — La Organización invitará a los países no miembros de la Organización y que poseen Servicios Meteorológicos a enviar observadores a las reuniones del Congreso y de las Asociaciones Regionales interesadas. Los Directores de los Servicios Meteorológicos de estos países no miembros podrán también hacerse representar en las reuniones de las Comisiones Técnicas.

b) *Relaciones con las Instituciones especializadas de la Organización de las Naciones Unidas.* — Se establecerá la cooperación más estrecha entre la OMM y las otras Instituciones especializadas, de conformidad con el Art. 26 de la Convención (ver la Resolución 25 (I) del Congreso).

c) *Otras Organizaciones internacionales.* — Se concluirán convenios adecuados con vistas a colaborar con las otras Organizaciones internacionales (interestatales o no) cuando ello constituya un interés para la OMM (ver la Resolución 25 (I) del Congreso).

#### d) *Asistencia técnica.* —

(i) La Organización desea tomar parte en el programa de asistencia técnica organizado por las Naciones Unidas para el desarrollo económico de los países insuficientemente desarrollados;

(ii) El Secretariado de la OMM proporcionará, a pedido, consejo de carácter técnico a los miembros y a otros Estados dentro de los límites de sus posibilidades (ver Resolución 30 (I) del Congreso).

#### e) *Servicios colectivos.* —

(i) La Organización participará, en las ocasiones propicias, en aquellas empresas colectivas internacionales cuya actividad presente algún aspecto de orden meteorológico y en las cuales los gastos sean soportados por los miembros beneficiarios;

(ii) La Organización dará su apoyo a los trabajos técnicos que el Comité Ejecutivo juzgue necesarios para la normalización de instrumentos utilizados internacionalmente en las redes meteorológicas;

(iii) La Organización estudiará la cuestión del establecimiento de un Instituto meteorológico internacional (ver la Resolución 12 (I) del Congreso).

f) *Reglamentos técnicos.* — La Organización establecerá y publicará las reglas internacionales a ser aplicadas por los Servicios Meteorológicos bajo la forma de

Reglamentos técnicos (ver la Resolución 12 (I) del Congreso).

g) *Redes.* — La Organización adoptará las medidas adecuadas para que la red mundial de estaciones meteorológicas responda a su finalidad. En el caso de insuficiencia grave, estudiará los medios de solución, sea mediante ayuda colectiva, sea por financiación con fondos especiales, sea mediante convenio con uno o más países.

h) *Telecomunicaciones.* — La Organización asumirá la responsabilidad de notificar a la Unión Internacional de Telecomunicaciones acerca de las necesidades conjuntas de la Meteorología en el campo de actividades de dicha Unión.

i) *Información.* — La Organización mantendrá informados a los miembros, las Organizaciones internacionales y los países no miembros acerca de la actividad internacional en el dominio de la Meteorología, y ello por los medios adecuados: boletín periódico, prensa, radio, etc. (ver la Resolución 27 (I) del Congreso).

#### j) *Publicaciones.* —

(i) La Organización estudiará la posibilidad de publicar estadísticas compendias de datos meteorológicos fundamentales, en forma de tablas o de cartas;

(ii) La Organización elaborará un plan de distribución gratuita de tales publicaciones a los miembros. El número de ejemplares a distribuirse sin cargo deberá limitarse al necesario para la información de los miembros. Ejemplares adicionales podrán ser adquiridos por los miembros, así como por organismos y personas interesadas.

k) *Biblioteca.* — La Organización mantendrá una biblioteca técnica adecuada al eficaz funcionamiento del Secretariado.

La Resolución termina con la siguiente declaración del Congreso:

Al definir su política general, el Congreso desea destacar ante los órganos constituyentes de la Organización Meteorológica Mundial la importancia que adquiere tal política para el mantenimiento de la paz y la fraternidad universales.

#### Creación de un Instituto Meteorológico Internacional

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 12 (I): *Encarga* al Comité Ejecutivo de la Organización Meteorológica Mundial:

1) Empezar un estudio concerniente a la creación de un Instituto Meteorológico Internacional;

2) Mantener a los miembros de la OMM al corriente de los progresos de

dicho estudio y solicitar sus observaciones y sus sugerencias, y

3) Presentar sus recomendaciones en la materia al próximo Congreso; y

Considerando que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura:

1) Estudia actualmente la creación de laboratorios e institutos internacionales de investigación incluyendo un Instituto Meteorológico Internacional; y

2) Que debe, en un futuro próximo, consultar a la OMM y a otras organizaciones acerca de la creación de dicho Instituto,

*Decide* que la OMM participe en las medidas que adopte o pueda adoptar la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, acerca de la invitación del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, para estudiar el interés que presente la creación de un Instituto Meteorológico Internacional.

#### Relaciones entre la OMM y la OACI

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 20 (I): *Afirma* su comprensión de la importancia vital de los servicios meteorológicos para la aviación y su deseo de colaborar con la Organización de Aviación Civil Internacional para asegurar estos servicios.

*Invita* a la OACI a designar representantes encargados de estudiar, con representantes de la OMM, los métodos a seguir para asegurar una colaboración eficaz entre ambas Organizaciones, en el interés común de la meteorología mundial y de la aviación civil internacional;

*Encarga* al Secretario General transmitir esta invitación al Secretario General de la OACI.

*Autoriza* al Comité Ejecutivo o a sus representantes a investigar con la OACI todos los medios de asegurar, entre ambas Organizaciones, una colaboración eficaz que no infrinja el carácter de universalidad de intereses de la OMM en el campo de la meteorología internacional, y a examinar, sobre la misma base, la posibilidad de llegar con la OACI a un arreglo de trabajo o convenio que deberá entrar en vigor tan pronto como sea posible.

#### Transferencia a la OMM de las publicaciones de la OMI

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 5 (I): *Decide* hacerse cargo a título provisorio:

1) De las siguientes publicaciones de la OMI:

a) « Offices Météorologiques du Monde » (public. de la OMI N° 2);

b) « Mensajes sinópticos del tiempo » (public. de la OMI N° 9, fascículos I, II, III y IV);

c) « Guía de métodos internacionales relativos a instrumentos y observaciones meteorológicas » (public. de la OMI N° 78);

d) « Definiciones y especificaciones del vapor de agua en la atmósfera. Valor de algunas funciones y constantes físicas utilizadas en meteorología » (public. de la OMI N° 79);

e) « Reglamento general para la protección meteorológica de la Aeronáutica Internacional » (public. de la OMI N° 72);

f) « Especificaciones para la protección meteorológica de la navegación aérea internacional » (en preparación);

g) « Vocabulario meteorológico internacional » (en preparación);

h) « Manual de observación meteorológica para las tripulaciones de aeronaves » (en preparación);

(2) De las publicaciones siguientes que han sido editadas o que se hallan en preparación bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Internacional:

a) « Atlas internacional de nubes y de estados del cielo; compendio para uso de observadores », 1950;

b) « Atlas internacional de nubes y de estados del cielo; I. Atlas completo », 1952;

c) « Atlas internacional de nubes y de estados del cielo; II. Atlas de nubes tropicales »;

d) « Atlas internacional revisado de nubes y de estados del cielo » (en preparación);

e) « Bibliografía meteorológica internacional ».

#### Publicación de un Boletín de la Organización Meteorológica Mundial

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 16 (I): *Decide*:

(1) Que el Secretariado publique periódicamente un Boletín de la Organización Meteorológica Mundial.

(2) Que este Boletín comprenda:

a) Avisos e informes sintetizados de las reuniones de la Organización;

b) Informaciones sobre las actividades, proyectos, recomendaciones y decisiones del Presidente, el Comité Ejecutivo, las Comisiones Técnicas, las Asociaciones Regionales, y el Secretariado;

c) Informaciones sobre relaciones con otras organizaciones internacionales;

d) Avisos de aparición de publicaciones editadas por la OMM y de las modificaciones introducidas en dichas publicaciones;

e) Informaciones sobre otras actividades que tengan significación en el campo de la Meteorología;

f) Información sobre toda otra materia cuya inclusión pareciera conveniente al Presidente, al Comité Ejecutivo o al Secretario General;

3) Que el boletín se redacte en las dos lenguas de trabajo de la Organización.

#### Publicación de datos meteorológicos mundiales

RESOLUCIÓN DEL CONGRESO, 17 (I): *Invita* al Comité Ejecutivo a volver a someter la cuestión de la publicación de estadísticas climatológicas mundiales, en superficie y en altura, a la Comisión climatológica con fines de estudio e informe; y

*Autoriza* al Comité Ejecutivo a tomar, dentro de los límites del presupuesto general de la Organización, las disposiciones financieras que permitan emprender el trabajo necesario luego del adecuado examen del informe de la Comisión.

## ACTUALIDADES

**Conferencia Mixta de Navegación Aérea de las Regiones Sudamericana y Atlántico Sud.**— Pleno éxito alcanzó esta conferencia de la OACI desarrollada en la ciudad de Buenos Aires entre el 29 de octubre y el 19 de noviembre, con la concurrencia de nutridas delegaciones de los países participantes. La asamblea fué presidida por el jefe de la delegación argentina y Director General de Circulación Aérea y Aeródromos, Brig. May. Arturo F. Grassi.

La reunión de clausura sintetizó la importancia y alcance de las cuestiones tratadas. Contó la ceremonia con la presencia del Subsecretario de Aviación Civil, Brigadier Mayor Francisco José Vélez y altos funcionarios de la aeronáutica argentina. Aprobáronse los informes finales de los seis comités que trabajaron durante la conferencia, los que han sido elevados a la consideración ulterior del Consejo, radicado en Montreal, Canadá. El representante de la Organización de Aviación Civil Internacional, señor T. S. Benes, agradeció al gobierno argentino las comodidades y servicios que puso a disposición de la conferencia, y destacó la hospitalidad que se brindó a todas las delegaciones.

**COMITÉ DE METEOROLOGÍA.**— Este comité celebró siete sesiones, la primera el 31 de octubre y la última el 17 de noviembre. La Presidencia fué acordada por unanimidad al Dr. Rolando García Boutigue, delegado de la Argentina, y la Vicepresidencia recayó, también por votación unánime, en el Dr. Carlos Paes de Barros, delegado del Brasil. Los diferentes países y entidades internacionales participaron a través de los siguientes representantes: *Argentina:* R. García Boutigue, delegado; Rodolfo R. Márquez, delegado; José M. Fernández, asesor; Héctor N. Grandoso, asesor; José E. Núñez, asesor; Héctor L. Schinelli, asesor; Angel Papetti, asesor. *Brasil:* C. Paes de Barros, delegado. *Chile:* Gustavo Hameau, delegado; René Méndez P., asesor. *Francia:* Jean R. Rivet, delegado; Gustavo Allorent, suplente. *Portugal:* Fernando Leal, delegado. *España:* Inocencio Font Tullot, delegado. *Reino Unido:* William H. Bigg, delegado; Gahame Mc Wilson, suplente; C. Agostini, asesor. *Estados Unidos:* R. W. Craig, delegado; Robert E. Beck, asesor; W. D. Markey, ase-

sor. *Uruguay:* Victor Garin, observador. *IATA:* James R. Coyle, observador; A. G. van del Aa, observador; R. S. Busch, asesor; C. Skjoldhammer, observador; *OMM:* C. Núñez Monasterio, observador; A. Crepi, asesor; K. Wolcken, asesor.

La Secretaría del Comité fué integrada por Osvaldo D'Aversa, secretario técnico; G. D. Cartwright, asesor de la OACI; F. Millet, intérprete; L. Didanza, intérprete; Elsa A. Meier, estenógrafa.

El Comité de Meteorología se expidió respecto del siguiente temario, y sus recomendaciones, de indudable importancia para la actividad meteorológica internacional, han de ser consideradas próximamente por el Consejo de la OACI, con sede en Montreal: Red de estaciones sinópticas; Frecuencia de las observaciones sinópticas; Planes para observaciones sinópticas a intervalos de tres horas; Radiodifusiones sinópticas desde Isla de Pascua; Observaciones sinópticas desde Isla Ascensión; Red de estaciones de observaciones horarias; Red de estaciones de información QNH; Mejora de las observaciones sinópticas; Método para la reducción de la presión atmosférica; Red de estaciones de observación mediante globos piloto; Red de estaciones de observación con radiogsonda, radioviento y radarviento; Establecimiento de radiodifusiones nacionales de observaciones sinópticas; Mejoras en las radiodifusiones AMERSUD; Radiodifusiones sinópticas nacionales para el Brasil; Radiodifusiones sinópticas de Dakar; Radiodifusiones sinópticas nacionales para la Argentina; Radiodifusiones sinópticas nacionales para Venezuela; Establecimiento de oficinas meteorológicas; Medidas temporales para los servicios meteorológicos; Asignación de responsabilidades para los análisis principales; Suministro de instalaciones y servicios meteorológicos por el Estado; Designación de servicios meteorológicos responsables; Fechas de aplicación; Enmiendas a los procedimientos y tablas; Procedimientos de reglaje de alfileres; Status de las recomendaciones de las primeras conferencias de SAM y SAT.

**Congreso Forestal Bonaerense.**— Durante los días 2, 3 y 4 de julio del presente año se realizó en La Plata este importante Congreso, tendiente a concretar medidas

para el mejor aprovechamiento forestal del extenso territorio de la provincia de Buenos Aires. El Servicio Meteorológico Nacional designó como delegados a los ingenieros agrónomos Juan J. Burgos y Néstor R. Ledesma. Como resultado de las deliberaciones, el Congreso aconsejó las siguientes medidas, que involucran un interés meteorológico: a) Se recomienda que todo plan de forestación y reforestación en la provincia de Buenos Aires se someta al estudio de sus posibilidades agroclimáticas como requisito a la gestión de créditos bancarios. b) Se solicita que el Servicio Meteorológico Nacional emita un pronóstico de crecientes para el Delta del Paraná, con una anticipación de 6 meses, para regular convenientemente las operaciones culturales. c) Se señala la necesidad de la instalación de una estación agrometeorológica en el Delta con orientación hidrológica, por la naturaleza del ambiente en que está destinada a funcionar. d) Se destaca la conveniencia de intensificar el convenio actual en la provincia de Buenos Aires para la instalación de estaciones agrometeorológicas, sobre todo en los viveros forestales, y el interés de aumentar la categoría actual de las referidas estaciones. e) Se aconseja el método fenológico de uso actual en el Servicio Meteorológico para determinar la aptitud agroecológica, con fines forestales, de las distintas regiones naturales de la provincia de Buenos Aires.

#### Primer Congreso Nacional de Cartografía.

Con el auspicio de la Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia se realizó el Primer Congreso Nacional de Cartografía, en la ciudad de Buenos Aires, entre el 27 de noviembre y el 3 de diciembre, bajo la presidencia del General de Brigada Carlos A. Levene. Simultáneamente se verificó la Primera Exposición Nacional de Cartografía.

Participaron en este importante Congreso numerosas delegaciones de organismos oficiales y entidades privadas interesados en facilitar, coordinar y difundir los estudios y aplicaciones de índole cartográfica. Al Servicio Meteorológico Nacional lo representó una delegación presidida por el Dr. Martín S. Cappelletti e integrada por los señores: Dr. Otto Schneider, Ing. Agr. Juan J. Burgos, Ing. Agr. Néstor R. Ledesma, Agrimensor José M. Raffo, Ing. Enrique M. Samatán, Prof. Alfredo A. Crespi, Dr. Raimundo G. Celeste y Prof. Roberto C. Hernández, la cual cooperó en aspectos de específico interés para la Meteorología y la Geofísica.

**Nuevas autoridades de la IATME.** — Han sido electos para integrar el Comité Ejecutivo durante el período 1951-54: *Presidente:* Prof. J. Coulomb; *Vices:* Prof. J. Bartels y Prof. S. Chapman; *Secretario y Director de la Oficina Central:* V. Laursen; *Miembros:* Dr. A. A. Giesecke, Prof. M. Hasegawa, Prof. J. Kaplan, Dr. S. L. Malurkar y Dr. J. M. Rayner.

#### Un tornado destruye parcialmente las instalaciones del Observatorio Geofísico de Pilar (Córdoba).

La zona central de la provincia de Córdoba y parte de la provincia de Santa Fe, durante la noche y madrugada del 21 al 22 de noviembre, sufrieron las consecuencias de un tornado, que alcanzó su mayor violencia en la zona de Pilar (Córdoba). Sobre el litoral y la zona central del país existía, en efecto, afluencia de aire tropical húmedo desde el norte y noroeste, en las capas inferiores de la atmósfera, y al mismo tiempo, aporte de aire frío en la altura. La creciente inestabilidad se manifestó ya durante la mañana del día 21, causando lluvias y tormentas, especialmente en el extremo sud del litoral y se intensificó con el avance de un frente frío desde el sudoeste durante la noche del 21. Formose, en consecuencia, una línea de inestabilidad delante del mencionado frente frío, y con el pasaje de dicha línea de inestabilidad se produjo el tornado de Pilar. Se estima que el viento ha superado por instantes la velocidad de 200 Km por hora.

El tornado arrasó gran parte de las instalaciones de este prestigioso Observatorio, donde, desde hace casi medio siglo, venían efectuándose observaciones geofísicas de interés nacional y mundial, y constatare de instrumentos, actividades que se reanudarán tan pronto se pongan en ejecución las medidas adoptadas por las autoridades del Servicio Meteorológico Nacional. De los catorce edificios existentes dedicados a geomagnetismo, radiación solar, electricidad atmosférica y sismología, sólo tres han quedado en pie. Gran parte del instrumental se halla transitoriamente fuera de servicio. Las autoridades de la Repartición felicitaron al Jefe y personal del Observatorio por sus abnegados esfuerzos para evitar que los daños del instrumental fueran aun mayores. El mundo científico nacional e internacional lamentará sin duda este percance tan singular y trascendente.

## RESEÑAS BIBLIOGRAFICAS

### LIBROS Y FASCICULOS

**J. Bass.** — *Les méthodes modernes du calcul des probabilités et leur application au problème de la turbulence.* (Paris, 1946), 519.2: 551.551.

Este libro tiene por objeto examinar el papel que juega el cálculo de probabilidades en la teoría de la turbulencia de los flúidos. El autor inicia su libro repasando en la « Introducción » las nociones elementales sobre las variables aleatorias en una forma puramente intuitiva y voluntariamente desprovista de rigor. Esta « Introducción » fija la terminología y notación que usa posteriormente. Consagra luego un capítulo a los « Principios de Cálculo de Probabilidades » insistiendo en el rol de la función característica y sus relaciones con la ley de probabilidad por una parte, sus momentos por otra, haciendo notar que una ley de probabilidad puede tener un interés físico sin que existan todos sus momentos. Los capítulos siguientes penetran progresivamente en el dominio de la teoría de las funciones aleatorias. La segunda parte está dedicada a la « teoría estadística de la turbulencia », y consta de tres capítulos comenzando por generalidades sobre la Mecánica de los flúidos clásica y sobre todo sobre la teoría de los flúidos viscosos, discutiendo las ecuaciones de Navier. Elige la teoría de Reynolds como intermediaria entre la hidrodinámica clásica y la Mecánica de los flúidos turbulentos.

El segundo capítulo se consagra a las teorías de Taylor y Von Karman, en las que la turbulencia puede ser considerada como un capítulo de la « estadística aplicada ». El tercer capítulo se refiere a la aplicación de la teoría de las funciones aleatorias a la turbulencia que son esencialmente la obra de Dedebant y Wherlé y de sus colaboradores. Se las expone en forma detallada con el fin de facilitar su comprensión, pues se considera que están destinadas a dar la clave del problema de la turbulencia, conduciendo a una teoría completa donde el empirismo no cabe y de la que se esperan consecuencias

muy interesantes. Luego figura una « Conclusión » en la cual el autor trata de aislar los problemas cuya solución se considera más urgente y la ayuda que se puede esperar de las teorías modernas del cálculo de probabilidades que se expusieron en la primera parte. — E. C. B.

**J. M. Jansa.** — « El método de amortiguación aplicado a la Meteorología » 551.509.5. *Publicación Nº 17, Instituto Nacional de Geofísica (Madrid, 1950).*

El autor se propone encontrar una fórmula que englobe la Meteorología dinámica y la Climatología y la cual se pueda utilizar en el pronóstico del tiempo. Para tal fin sienta las bases de lo que denomina Meteorología amortiguada. Se fundamenta en el conocido método de las perturbaciones, el cual consiste en descomponer los campos que definen el estado de la atmósfera en dos componentes, una fundamental y otra que representa la perturbación. Sabemos que teóricamente esa separación tropieza con dificultades, debiendo recurrirse a los datos experimentales para soslayar tal dificultad, empleándose también actualmente el método de las variaciones, cuya distribución se asemeja al del campo perturbado. El método que propicia Jansa, sosteniendo que permite una representación y separación sencillas de ambas componentes, es un artificio con fórmulas que incluyen un coeficiente para adaptar el método a toda clase de situaciones.

Reconoce como fundamental el estado climatológico, que representa la evolución normal del tiempo para cada lugar determinado, pero dando distinto peso a los elementos de la serie en función del tiempo. En otras palabras hace influir más intensamente los recientes, influencia que se va amortiguando paulatinamente para tiempos más lejanos; por ello al valor que obtiene como componente fundamental del campo, le llama valor amortiguado. La amortiguación puede ser más o menos rápida; cuando es infinita tendremos el valor medio normal de la climatología. Con tal objeto desarrolla un método matemático, partiendo de una ecuación exponencial que integra en función del tiempo. Luego aplica

el concepto de amortiguación a distintos elementos y fenómenos meteorológicos y explica por último la técnica de la previsión. Calcula la dispersión estadística del elemento amortiguado en base a la dispersión de la serie climatológica, y a un coeficiente en función del tiempo. Termina el trabajo con cartas y gráficos que muestran la aplicación de este método, el cual, sin ser totalmente novedoso, parece proporcionar una nueva y eficaz ayuda estadística para el éxito de los pronósticos. — R. M. Q.

**H. Ertel.** — *Eine Methode zur approximativen Vorausberechnung von Luftmassenverlagerungen* (Berlín, 1948) 551.509.3.

Por medio de una deducción matemática bastante circunstanciada, el autor obtiene fórmulas y un método gráfico que relaciona el desplazamiento de las masas de aire con el recorrido del viento en una zona determinada. Puesto que el método no permite tener en cuenta la variación temporal de los campos de movimiento durante el lapso del pronóstico, el aprovechamiento para los problemas principales de la previsión del tiempo será escaso. Pero es interesante que el procedimiento matemático conduzca a un valor límite del plazo del pronóstico, pasado el cual la aproximación (y con ello el pronóstico mismo) pierde su sentido. Bajo condiciones no extraordinarias el orden de magnitud de ese plazo importa 12 horas más o menos. — W. S.

*Colección de estudios sísmicos realizados en el Instituto Central de Investigaciones Sismológicas de Jena, Alemania* 55.034.

El fascículo está dedicado a la memoria del ilustre sismólogo A. Sieberg. Inicia la serie de trabajos un estudio póstumo del propio Sieberg, referente al foco sísmico de Dubrovnik-Ragusa en Dalmacia, con algunas consideraciones tectónicas y macrosísmicas.

El segundo, de G. Krumbach, trata del empleo de péndulos horizontales en el Servicio de observatorios; se estudia en forma cuantitativa la estabilidad y sensibilidad de estos aparatos y se formulan recomendaciones generales atinentes al diseño de sismómetros. El mismo autor describe a continuación, en otro artículo, un sismómetro de observatorio con transmisión óptica, como también un registrador con movimiento a pesa y regulación por péndulo cónico. Referente a este último, se consignan valores numéricos de los ajustes de la longitud del péndulo, necesarios para lograr determinados cambios de velocidad en el tambor. El sismómetro en sí está destinado para sismos cercanos, pero

su ampliación de 5000 permite abarcar también distancias epicentrales considerables. En algunas de las ilustraciones se dan interesantes detalles de diseño.

Sigue luego un estudio de W. Spenheuer y Fr. Gerecke sobre los aspectos micro y macrosísmicos y propagación de ondas acústicas, observadas con motivo de demoliciones por explosión realizadas en Turingia en 1947 (alcance aproximado 450 kilómetros).

En el trabajo siguiente, que tiene por autor a Fr. Gerecke, se trata en forma análoga la famosa explosión de Heligoland del 18/4/47, en lo que se refiere a los registros obtenidos en la estación de Jena. La mencionada explosión ha sido objeto, por otra parte, de amplios estudios y discusiones en la bibliografía geofísica por las conclusiones que pudieron sacarse referentes a la estructura de la corteza terrestre.

La nota siguiente del mismo autor trata en forma de un breve apunte del problema de los microsismos. Sigue un estudio detallado de Horstköhler sobre determinación de azimutes con métodos sísmicos goniométricos, para fines de ingeniería.

El artículo siguiente, de W. Schütte, contiene sugerencias y recomendaciones para construcciones antisísmicas. El autor basa sus ideas en las experiencias recogidas durante los grandes sismos destructores de Turquía en el año 1939. Se dan dibujos y fotografías ilustrativas de destrucciones en edificios y de elementos destructivos.

El último trabajo de Ria Barton, trata de sismos registrados en la antigüedad en Grecia, con abundante documentación, comparada luego con observaciones más recientes del siglo pasado. — O. S.

#### REVISTAS

*Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 31, N° 10. (Diciembre 1950).

**A. F. Spilhaus.** — «Progress in Meteorological Instrumentation 1920-1950» 551.508.

Trata del desarrollo de la técnica de observación y del instrumental meteorológico durante 30 años de existencia de la Sociedad Meteorológica Americana de Minnesota.

Narra la obtención de los primeros datos de temperatura hasta las más recientes observaciones con elementos automáticos.

**Fletcher y Manos.** — «The Importance of Several Meteorological Elements in the Spreading of Smoke», 551.556.4.

Se estudian las relaciones entre la concentración de humo y la visibilidad, la dirección y velocidad del viento y la estratificación de la temperatura. Trata de la producción de humo que existe en una ciudad industrial y más aún cuando flota sobre una superficie no llana. Se incluyen algunas de las conclusiones de los investigadores que han hecho una correlación entre los datos del Weather Bureau y los datos de humo de Davinson de la ciudad de Nueva York, durante 1939-1940. La mejor de estas correlaciones resultó cuando la dirección y velocidad del viento se consideraron hora por hora y día por día, y cuando se ajustó la fórmula de la recta de regresión. Se llega a la conclusión de que la curvatura isobárica, como se muestra en las cartas del tiempo, parece ser un factor importantísimo en el problema de la propagación del humo. — N. Z. G.

*Annalen der Meteorologie*, Año III, cuaderno 11/12, 1950.

**P. Binting.** — «La influencia del viento en la temperatura del agua oceánica» 551.526.6.

Después de eliminados los efectos inmediatos de la radiación, el autor se ocupa de la relación entre el viento y la diferencia: «temperatura del aire-temperatura del agua». Aumentando la fuerza del viento, disminuye esta diferencia, y también la amplitud de la variación diaria de las dos temperaturas mencionadas. Los dos efectos se originan en la turbulencia. N. Z. G.

**H. Mülle-Arnen.** — «A propósito de la previsión de la dirección del desplazamiento de las depresiones bálticas. (Parte 1: Las rutas y la velocidad de las depresiones)» 551.509.31: 551.515.13.

El autor distingue dos distintos tipos de depresiones, las que se desvían de la dirección de las corrientes en la altura en sentido ciclónico (hacia la derecha en el hemisferio sud), y las que se desvían en sentido opuesto. Muy pocas siguen, dice, la dirección de las corrientes en la altura sin mayor desviación. Se describen las características que permiten reconocer el tipo respectivo con la anticipación necesaria para la previsión. Las depresiones que se desvían en sentido anticiclónico y se desplazan a poca velocidad, son las que se han formado en el aire relativamente frío en las capas bajas y medias y que, por consiguiente tienen gran espesor. N. Z. G.

**F. Baur.** — «Hechos en cuanto a la evolución de los inviernos en Europa Central» 551.509.35: 519.2.

Réplica que se refiere a un trabajo de Rodewald. Baur ofrece consideraciones valiosas respecto a los principios que deben tenerse presentes en la investigación estadística meteorológica. N. Z. G.

*Tellus*, Vol. II, N° 4. Noviembre 1950.

**M. J. Olascoaga.** — *Some Aspects of Argentine rainfall*. 551.577.2 (82).

En este artículo se investiga el porcentaje del número de días con lluvia que contribuyen a la mayor parte de la precipitación (56 y 75 %), tomándolos en orden decreciente de precipitación con respecto al número total de días de lluvia, en distintas regiones del país y diversas épocas del año. Se ha comprobado una gran uniformidad en los resultados, sugiriendo el autor que la ley encontrada tiene un valor universal. Luego efectuó un estudio similar para las tormentas generales, siguiendo el método utilizado por Riehl. — E. L. S.

**H. Wexler.** — «Annual and Diurnal Temperature Variations in the Upper Atmosphere» 551.524.7.

Este artículo trata de un ensayo hecho para determinar las variaciones anual y diaria de la temperatura a una altura de 80 Km uniendo al mismo tiempo observaciones aprovechables y resultados teóricos. Las observaciones incluyen datos de radiosondeo, densidades observadas, observaciones con el cohete V-2, propagación anómala del sonido y datos del espectroscopio infrarrojo. La teoría descansa, en su mayor parte, sobre cálculos radioactivos hechos por Gowau. Para la marcha de la temperatura anual hay una gran concordancia entre la teoría y las observaciones, de tal manera que en la ozonósfera superior (50 a 55 Km), las temperaturas de verano son más altas que las de invierno en la misma proporción que las de la superficie. Lo mismo que en los niveles bajos, la marcha creciente de la temperatura aumenta con la latitud. Para las variaciones diurnas de temperatura hay un gran desacuerdo entre los cálculos de Gowau y Penndorf. Con todo una importante evidencia aparece a favor de los cálculos del primero y que, al mismo tiempo, con otras consideraciones indican un aumento diurno del orden de los 10° a 15°. — N. Z. G.

**W. Rudloff.** — «La variación anual de la rotación de la tierra (nota preliminar)». 525.35: 551.513.

Se trata de un ensayo para explicar las variaciones de la duración del día astronómico como consecuencia de las variaciones de la circulación atmosférica. — W. S.

*Geophysical Magazine*, Vol. 21, N° 2, Tokio.

**Takeshi Sekiguchi.** 1950. — «Climatological Water Balance Problem in Japan», 551.582.1 (52).

En un estudio anterior, el autor, miembro del Meteorological Research Institute se ocupó de la aplicación de distintos índices hídricos para el Japón (T. SEKIGUTI, 1949. — « On the Water Balance Problem as a method of Representation of Climate », *Geophysical Magazine* (20): 87-93), con el propósito de tratar de definir climáticamente el grado de aridez y de humedad de su país. En ese trabajo define los diversos métodos del balance hídrico propuestos hasta la fecha en cuanto a la estimación de la evaporación, dada la dificultad de su conocimiento directo, agrupándolos en la siguiente forma:

- 1º) Evaporación de evaporímetros: Transeau (1905) y Faulk (1943).
- 2º) Déficit de saturación: Meyer (1926).
- 3º) Temperatura del aire: Lang (1920) Koppen (1918-1931), De Martonne (1926) Thornthwaite (1931) y Angstrom (1936).
- 4º) Tensión de vapor, temperatura del aire y presión atmosférica: Szymkiewicz (1925).
- 5º) Escurrimiento de ríos: Wallen (1927).

Reconoce, en este primer trabajo, la dificultad de conformar los límites de tales índices a tipo de suelo, vegetación natural, etc., y estima su valor como puramente climático sin poder elegir alguno como más adecuado para los fines generales.

En el segundo trabajo, motivo de este comentario, el autor aplica para el Japón el nuevo concepto del balance hídrico propuesto por Thornthwaite (1948), basado en el cálculo de la evapotranspiración potencial, cuyas conclusiones son las que damos a continuación en traducción libre:

« Aplicando la idea de la evapotranspiración potencial sugerida por el Dr. Thornthwaite hemos discutido el balance hídrico climatológico y el grado de aridez y de humedad del clima de varios lugares del Japón. Según este método, se puede decir que el grado de aridez o de humedad climáticos quedan cabalmente expresados en forma cuantitativa. Por ejemplo, la extremada humedad del área del Mar del Sur y de la región costera del Mar del Japón y la zona más seca entre ambas se destaca claramente. También « la distribución mensual del exceso de agua concuerda perfectamente en aquellas regiones donde los daños climáticos ocurren principalmente y con frecuencia por excesos o deficiencias de agua. Son justamente los daños de sequías, inundaciones y tiempo húmedo en invierno o verano. Por lo tanto, parece que este índice resulta excelente como una representación del clima y es aplicable al Japón.

« Sin embargo, es necesario investigar además, la conveniencia de adoptar este índice en años en que ocurren severas sequías, inundaciones y excesos de humedad. Asimismo, es menester investigar el problema de si la relación entre las cantidades de evapotranspiración y la temperatura mensual del aire hallada en « Norte América, es válida para el Japón » o no. Sobre estos dos puntos continuará « nuestro estudio en el futuro ». — J. J. B.

*Anales de la Sociedad Científica Argentina.*  
Febrero 1951, Tomo CLI.

O. Schneider, — « La edad de la Tierra », 525. 1.

Comienza dando una breve reseña, que el autor señala es sólo de interés histórico, sobre los estudios acerca del tema basados en razonamientos astronómicos o físicos. Comenta luego los cálculos, ya más precisos, debidos a los geólogos, inferidos del estudio de sedimentos de los fósiles y de las sustancias contenidas en el océano. Hacia fines del siglo pasado el descubrimiento de la radioactividad revolucionó los conceptos y métodos de la cronología terrestre. Se hace un resumen de los hechos más importantes de los fenómenos radioactivos y se detallan los métodos geocronológicos basados en estos procesos, señalándose que existen ya 10.000 determinaciones hechas con estos procedimientos. Como conclusión el autor manifiesta que puede hablarse de una edad probable de la Tierra superior a 5.000 millones de años y que la edad del Universo, estimada por otros métodos, no contradice esos resultados, llamando la atención la poca diferencia de ambos valores. — R. M. Q.

*Anales de la Sociedad Científica Argentina.*  
Junio 1951, Tomo CLI.

W. Schwerdtfeger. — « La depresión térmica del NW argentino. 551. 542 (82) ».

Estudio de la depresión térmica del NW argentino, empleando la correlación entre la variación interdiurna de la temperatura y la presión: el centro de la zona de baja presión, conocida por las cartas sinópticas del tiempo, se distingue por un valor negativo extraordinariamente alto de esta correlación, resultando para un intervalo de 6 meses:  $-r = 0,8$ . La altura del « nivel de empate » está a 2.000 metros sobre el nivel del valle; por encima comienza el anticiclón térmico desarrollado en forma relativamente más débil. El cambio de las masas de aire participantes dura término medio 6 días, 4 de los cuales son de calentamiento con un valor medio de  $2^\circ$  por día en las capas de la tro-

posfera inferior. (Este trabajo apareció también en *Meteorologische Rundschau*. März (April 1951). — R. M. Q.

*La Revue Scientifique* (julio-setiembre 1950)

M. Barre y K. Rawer. — « Anomalies observées dans les sondages ionosphoriques effectués par le « Commandant Charcot » devant la Terre-Adélie » 551. 506.7: 551. 510. 535.

En el curso de la campaña 1949-1950 del « Commandant Charcot » los sondeos ionosféricos se ejecutaron durante la mayor parte del viaje a todas las horas. Las medidas se hicieron con la ayuda de un emisor tipo KRDS 22 del Servicio de Previsión Ionosférica Militar. Entre el 20 de diciembre de 1949 y el 20 de febrero de 1950, se obtuvo una serie muy interesante de un millar de registros. Prácticamente todos los sondeos ejecutados más allá del paralelo  $50^\circ$  Sud proveyeron de registros anormales. El objeto de este artículo es presentar una clasificación de las numerosas anomalías constatadas y de hacer algunas hipótesis sobre su origen. Puede considerarse que dichas anomalías son:

- a) Las curvas en forma de « coupe ».
- b) Los registros presentan un « trou » entre las trazas de las capas E y F.
- c) Las curvas llevando la difusión de la capa F más allá de las frecuencias críticas.
- d) Las capas  $E_s$  dando ecos a frecuencias elevadas.
- e) Las capas  $E_s$  desdobladas o estratificadas.
- f) Las capas  $E_s$  elevándose en altura con la frecuencia.
- g) Las capas dando una traza horizontal análoga a aquella de  $E_s$  pero a alturas de 1.000 Km o más.
- h) En una última categoría se consideran los sondeos anormales que no se pudieron considerar en las clases precedentes.

*Weather* (Vol. 6, Nº 4, abril de 1951).

R. S. Scorer. — « Forecasting the occurrence of lee waves » 551. 509. 59: 551. 513.

El autor explica la posibilidad de la previsión de la formación de ondas en sotavento de montañas, siempre que se disponga de suficientes datos acrológicos (temperatura y viento) de las zonas respectivas. — W. S.

*Weatherwise*. Vol. 4, Nº 2, abril 1951.

W. H. Gunn y A. M. Bagg. — « Migrant birds are weatherwise » 551. 586: 59.

Destaca el autor ese conocimiento que, al parecer, poseen sobre el estado del tiempo algunos pájaros en sus migraciones, por ejemplo: los del NE de los Estados Unidos cuando las condiciones meteorológicas, que anuncian la primavera, tornan habitable el suelo al comenzar el deshielo. Entre los pájaros pequeños que ofrecen esta particularidad cita el petirrojo, azulejo y malvis. Por contraste, menciona los migradores que llegan ya más entrada la primavera, llamados « migrantes del calendario », pues arriban, año tras año, casi en la misma fecha y al mismo lugar o sus proximidades.

C. W. Thornthwaite. — « Agricultural climatology at Seabrook farms » (551. 586: 63)

Describe aspectos de Meteorología práctica aplicados a la agricultura en las granjas de Seabrook, según los resultados obtenidos en el huerto experimental anexo al laboratorio para el estudio de la influencia del clima sobre crecimiento y desarrollo de diferentes hortalizas. Se determinaron índices de crecimiento para varios cultivos, a fin de planificar la cosecha y para el control de la calidad al nivel deseado. De estos índices se llegó a la planificación del riego. En la determinación del volumen de evapotranspiración, se descubrió la importancia relativa del tipo de vegetación, inferior, en mucho, a la de los controles climáticos, como radiación solar, temperatura y humedad aprovechable del suelo. Con ello se pudo descubrir más exactamente la sequía. Da los resultados sobre cultivos con agua de riego, según una fórmula derivada de las observaciones evapotranspirométricas, y describe el método para medir la evapotranspiración actual de un campo o cualquier otra superficie natural, sin perjudicar la cubierta de vegetación: método de vapor-transferencia. Este método exige mediciones físicas, muy exactas, de viento, temperatura atmosférica y humedad, en que está trabajando « The Johns Hopkins Laboratory of Climatology ». Para conocer la capacidad de retención hídrica del suelo e infiltración, se han efectuado experimentos de riego en bosques de pino y roble de « Seabrook Farms », con estudios subsiguientes sobre cambio semanal de la napa freática, cooperando en tales investigaciones el U. S. Geological Survey ». — M. C.

## INDICE DEL TOMO I

(AÑO 1951)

| ARTICULOS  | PÁG. |
|--|------|
| BRAZOL, DEMETRIO. — La temperatura biológica óptima .....  | 99   |
| BURGOS, JUAN JACINTO; ALBERTO CAGLIOLO y MODESTO C. SANTOS. —<br>Exploración microclimática en la selva Tucumano-Oranense .....                        | 314  |
| BURGOS, JUAN JACINTO y ARTURO L. VIDAL. — Los climas de la Repú-<br>blica Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite .....                 | 3    |
| CAGLIOLO, ALBERTO. — Estudio microclimático de pendientes en el sudeste<br>de la provincia de Buenos Aires .....                                       | 134  |
| — <i>Ver Burgos, Juan Jacinto</i> .....  | 314  |
| CELESTE, RAIMUNDO. — Reconocimiento geotectónico en las inmediaciones de<br>Salto Grande (Entre Ríos) .....  | 183  |
| COLQUI, BENITO S. — Posibles causas del descenso de la napa freática ob-<br>servado en la zona de Río Seco .....                                       | 206  |
| DEDEBANT, G. — Sobre la previsión estadística del tiempo .....   | 251  |
| DEDEBANT, G.; R. DI MAIO y O. LUTZOW-HOLM. — Enseñanzas de una<br>nivelación barométrica .....   | 55   |
| DI MAIO, R. — <i>Ver Dedebant, G.</i> .....  | 55   |
| FELIÚ, SEBASTIÁN. — Influencia de la temperatura ambiente sobre el por-<br>centaje de grasa butirométrica en la leche de vaca .....                    | 289  |
| HERNÁNDEZ, ROBERTO P. J. — Proceso de reducción de observaciones de<br>campañas magnéticas .....   | 198  |
| LEDESMA, NÉSTOR RENÉ. — La floración del duraznero y su relación con la<br>temperatura de invierno y de primavera .....                                | 73   |
| LUTZOW-HOLM, O. — <i>Ver Dedebant, G.</i> .....  | 55   |
| MARCHETTI, ADOLFO A. — Oscilaciones extremas de la cantidad de precipi-<br>tación en la República Argentina .....                                      | 46   |
| PROHASKA, FEDERICO J. — Rosa climática de los vientos fuertes de Buenos<br>Aires .....   | 160  |
| QUINTELA, ROBERTO M. — Sobre la utilización de diagramas entálpicos en<br>meteorología .....   | 277  |
| RAFFO, JOSÉ MARÍA. — Pronóstico de las crecientes del Río Paraná .....   | 91   |
| SALUZZI, MARÍA ELENA. — <i>Ver Schneider, Otto</i> .....   | 125  |
| SAMATÁN, ENRIQUE LUIS. — Tabla condensada para la determinación del<br>punto de rocío .....  | 150  |
| SANTOS, MODESTO C. — <i>Ver Burgos, Juan Jacinto</i> .....   | 314  |
| SCHNEIDER, OTTO y MARÍA ELENA SALUZZI. — Efecto de curvatura en la<br>perturbación residual del geomagnetismo .....                                    | 125  |
| SCHWERDTFEGGER, WERNER. — Bases para el pronóstico a medio plazo de<br>las condiciones de temperatura en el otoño de Buenos Aires .....                | 33   |
| — Compensación global de la precipitación anual en relación con la<br>producción artificial de lluvias .....   | 189  |
| VIDAL, ARTURO L. — <i>Ver Burgos, Juan Jacinto</i> .....   | 3    |
| WEGENER, KURT. — Verificación experimental de la constante solar .....   | 171  |
| — Análisis de la variación diurna de la presión en la República Argentina .....  | 305  |
| <b>ARTICULOS BREVES</b>  |      |
| CELESTE, RAIMUNDO. — Apunte sísmico del noroeste de la Provincia de La<br>Rioja .....  | 107  |
| COLLASIUS, BRUNO. — Frecuencia de series de días de visibilidad horizontal<br>de 10 kilómetros o más en el Observatorio de las Islas Orcadas, 1932 ... | 108  |

|   |               |
|---|---------------|
| PROHASKA, FEDERICO J.—Estado de los hielos en la Bahía Escocia (Orcas del Sud) .....  | 216           |
| PROHASKA, FEDERICO J. y TERESA UGARTECHE DE GARCIA.—Gradiente vertical de temperatura en la zona central de la cordillera ..... | 342           |
| WÖLCKEN, KURT.—Descripción de una violenta tempestad de polvo .....   | 211           |
| <i>COMUNICACIONES</i>   |               |
| DE FINA, ARMANDO L.—Nueva definición de clima .....   | 219           |
| <i>NOTAS Y COMENTARIOS</i>  |               |
| BURGOS, JUAN J.—Nota adicional a "El evapotranspirómetro de Thornthwaite" .....   | 223           |
| SCHWERDFEGER, W.—Meteorología Antártica .....   | 221           |
| — Acerca de recientes trabajos sobre la circulación general de la atmósfera y las variaciones del clima .....                   | 344           |
| <i>EDITORIALES</i>  |               |
| Exposición de motivos .....   | 1             |
| Cooperación .....   | 121           |
| Vocación de progreso .....  | 249           |
| <i>CRÓNICA</i>  |               |
| 78º Aniversario del Servicio Meteorológico Nacional .....   | 110           |
| Visión sintética del nacimiento, vida y extinción de la Organización Meteorológica Internacional .....                          | 225           |
| <i>ACTUALIDADES</i>   |               |
| Primer Congreso de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).   |               |
| Quinta Reunión de Consulta del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.  |               |
| Primera Conferencia de Economía Frutícola de la Provincia de Buenos Aires   | 115           |
| Elección de autoridades en el Primer Congreso de la Organización Meteorológica Mundial.   |               |
| Información Meteorológica de la Antártida Argentina.  |               |
| Novena Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica   | 240           |
| Conferencia Mixta de Navegación Aérea de las Regiones Sudamericana y Atlántico Sud.   |               |
| Congreso Forestal Bonaerense.   |               |
| Primer Congreso Nacional de Cartografía.  |               |
| Nuevas autoridades de la IATME.   |               |
| Un tornado destruye parcialmente las instalaciones del Observatorio Geofísico de Pilar (Córdoba) .....                          | 349           |
| <i>TEXTOS</i>   |               |
| Transcripción fragmentaria de actas del Primer Congreso de la OMM .....   | 346           |
| <i>RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....   | 116, 245, 351 |

SE TERMINO DE IMPRIMIR EL DIA  
29 DE NOVIEMBRE DE MIL NOVE-  
CIENTOS CINCUENTA Y UNO, EN  
LOS TALLERES GRAFICOS PALUMBO,  
LA MADRID 311-325, BUENOS AIRES,  
REPUBLICA ARGENTINA

**DIRECCION GENERAL**  
**DEL**  
**SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL**  
**PASEO COLON 317 — BUENOS AIRES**  
**(REPUBLICA ARGENTINA)**

**Precio**  
**del ejemplar:**  
**4 pesos m/n**

**PALUMBO**  
**BS. AIRES**