

DICIEMBRE 1975

# G E O A C T A

VOLUMEN 7

NUMERO 2

*publicado por:*

ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS

DICIEMBRE 1975

# G E O A C T A

VOLUMEN 7

*publicado por:*

**ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS**

Precio del Ejemplar \$ 100.–

Número de inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual 1.186.616.

## **COMISION DIRECTIVA**

### *Presidente*

Ing. Daniel A. Valencio

### *Vicepresidente*

Ing. Alberto Suárez Linch

### *Secretario*

Dr. Federico J. Aragno

### *Tesorero*

Lic. Horacio Ghielmetti

### *Vocales Titulares*

Ing. Fernando Vila

Cnel. Ing. Carlos Quinteros

Ing. Eduardo O. García

### *Vocales Suplentes*

Ing. Norma Carosella

Ing. Oscar O. Parachu

Lic. Erich Lichtenstein

Ing. Milton Quiroga

## **SUBCOMISION DE PUBLICACIONES**

Ing. Simón Gershanik

Cnte. José A. Alvarez

Dr. José A. J. Hofmann

Ing. Rodolfo Martin

Dr. Otto Schneider

Ing. Esteban Horvat

### **Editor**

Ing. Juvenal Llordèn Ramírez





La Comisión Directiva completa con este número de **GEOACTA** la publicación de los trabajos prresentados en la 7<sup>a</sup> Reunión Científica, realizada en San Carlos de Bariloche.

Los originales entraron en la imprenta a mediados de noviembre de 1975 y la impresión termina en diciembre de 1975.



## ESTUDIO DE LA COMPONENTE NUCLEONICA EN LA ATMOSFERA MEDIANTE UN EQUIPO DE "MULTIPLICIDAD"<sup>1</sup>

ADULIO ATILIO CICCHINI  
Universidad Tecnológica Nacional

Con un equipo llamado de "multiplicidad", construido en nuestro laboratorio, se estudia la componente nucleónica mediante la interacción en plomo. En cada interacción se obtiene uno o más neutrones (multiplicidad). El aparato registra números de eventos (I) según la multiplicidad (m). El aparato fue transportado mediante aviones, obteniéndose curvas experimentales  $I_m = f(h, \varphi, L)$  siendo h la altura de vuelo, y  $\varphi$  y L la latitud y la longitud, respectivamente.

Con los datos obtenidos se construyeron las curvas  $I_m = f(h)$ , determinándose el coeficiente de absorción  $\mu_m$  para Buenos Aires, Río Gallegos y Marambio. Se pudo expresar  $\mu_m = f(R)$ , R rigidez vertical de corte. También se obtuvo  $\mu_R = f(m)$ . Gracias a un buen conjunto de datos en Río Gallegos se estableció  $\mu_m = f(h)$ .

Se construyeron las curvas  $I_m = f(R)$  a 7.200 m así como a 8.400 m. Se discute la influencia de la multiplicidad determinándose:

$$\left(\frac{dI}{dR}\right)_m = f(R)$$

Por otra parte se verificó la relación:  $I = I_0 \cdot m^{-x}$

The nucleonic component is measured by interaction in lead with a equipment called "multiplicity" build in the Universidad Tecnológica Nacional. One or more neutrons are obtained in each interaction (multiplicity). The equipment records numbers of events (I) according with the multiplicity (m). The equipment was flown and experimental curves  $I_m = f(h, \varphi, L)$  were obtained (h is the height of the flight,  $\varphi$  the latitude and L the longitude).

On the basis of the  $I_m = f(h)$  curves the absorption coefficient  $\mu_m$  was determined for Buenos Aires, Río Gallegos and Marambio. It was established  $\mu_m = f(R)$  (R is the vertical rigidity) and  $\mu_R = f(m)$ . On the basis of the good data  $\mu_m = f(h)$  was obtained in Río Gallegos. Curves for  $I_m = f(R)$  at 7,200 and 8,400 meters were drawn. The influence of multiplicity is discussed obtaining:

$$\left(\frac{dI}{dR}\right)_m = f(R) \text{ On the other hand the relation}$$

$I = I_0 \cdot m^{-x}$  was verified.

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido publicado en extenso: Grupo Enlace y Radiación, Centro de Investigaciones Tecnológicas, N° 9, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.



## MEDICION DEL FLUJO DE NEUTRONES A 6,1 GV<sup>1</sup>

ADULIO ATILIO CICCHINI  
Universidad Tecnológica Nacional

De acuerdo con el estudio en Buenos Aires, 10,6 GV, se realizaron siete lanzamientos en Río Grande (Tierra del Fuego) 6,1 GV. Se obtuvo la función  $N = f(h)$ . Sus parámetros;  $L = 173,7$ . Posición del máximo = 92 mb. Relación del albedo al valor máximo = 22%.

Se ajustó una curva  $N = A \cdot e^{-\alpha x} + B \cdot e^{-\beta x}$  utilizando el método de programación por cuadrados mínimos para los datos de Buenos Aires y de Río Grande. Se normalizaron al valor máximo respectivo dando:  $A' = 2,25$ ;  $\alpha' = 0,0052$ ;  $B' = 2,07$ ;  $\beta' = 0,0176$ .

Mediante simulación se estudió la influencia de los términos y se acotó el error al 5%. El efecto de latitud está de acuerdo con lo esperado.

According with the study at Buenos Aires, 10,6 GV, seven launching were carried out at Río Grande (Tierra del Fuego) 6,1 GV. The function  $N = f(h)$  was obtained with parameters:  $L = 173,7$ ; position of the maximum = 92 mb.; relation of the albedo to the maximum value = 22%.

A curve  $N = A \cdot e^{-\alpha x} + B \cdot e^{-\beta x}$  was adjusted by last squares with the data from Buenos Aires and Río Grande. Data were normalized to the maximum value, yielding:  $A' = 2.25$ ;  $\alpha' = 0,0052$ ;  $B' = 2,07$ ;  $\beta' = 0,0176$ .

The influence of the terms was analyzed by simulation and the error was determined up to 5%.

The latitude effect was as expected.

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido publicado en extenso: Grupo Enlace y Radiación, Centro de Investigaciones Tecnológicas, N° 9, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.



**PROYECTO DE UNA RED DE ESTACIONES SISMOLOGICAS,  
DE UNA RED DE ACELEROMETROS Y DE UNA RED DE  
SISMOSCOPIOS PARA LA REPUBLICA ARGENTINA**

JUAN CARLOS CASTANO y JOSE L. ZAMARBIDE  
Instituto Nacional de Prevención Sísmica,  
Secretaría de Estado de Transporte y Obras Públicas,  
Ministerio de Economía

**Se presenta un proyecto para la instalación de las Redes Nacionales de Estaciones Sismológicas, de Acelerógrafos y de Sismoscopios en la República Argentina en el período 1973-1978.**

**A plan for the installation of the National Network of Seismological Stations, Accelerographs and Seismoscopes in Argentina between 1973-1978 is presented.**



## Introducción

Los estudios de sismología e ingeniería antisísmica realizados en nuestro país han producido un avance considerable en ambas especialidades y han permitido crear conciencia, en vastos sectores de la población, acerca de la necesidad de incrementar y perfeccionar las investigaciones en salvaguardia de la vida y los bienes de los habitantes. Es necesario continuar con el estudio de los movimientos sísmicos y con el análisis de los efectos que los mismos producen en las construcciones. Para ello, será de fundamental importancia la información obtenida por los instrumentos apropiados ubicados en los lugares más convenientes. Teniendo en cuenta que cada sismo presenta características propias, no sólo en cuanto al fenómeno en sí sino también en los efectos y sensaciones que dejan las ondas al pasar, es imprescindible obtener la mayor cantidad posible de registros sísmicos para poder luego hacer un análisis comparativo de los mismos y extraer conclusiones aplicables a zonas o regiones con características particulares.

Atendiendo a esta necesidad, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) se ha fijado entre sus objetivos inmediatos la construcción, instalación y mantenimiento de la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, de la Red Nacional de Acelerómetros y de la Red Nacional de Sismoscopios, cuya planificación y distribución se expone en el presente trabajo.

### Red Nacional de Estaciones sismológicas

Los antecedentes sísmicos de la República Argentina no dejan lugar a dudas con respecto a la peligrosidad en potencia de extensas zonas de nuestro país. Se conocen algunos detalles de la historia sísmica argentina a partir del 13 de setiembre de 1692, fecha de ocurrencia del terremoto de Talavera del Esteco, que dejó en ruinas a esta pequeña población de la provincia de Salta y causó severos daños en la ciudad capital. Desde entonces hasta el presente se destacan otros tres terremotos destructivos, que ocasionaron gran cantidad de víctimas y extensos y costosos daños materiales: el terremoto de Mendoza del 20 de marzo de 1861, que destruyó a esta ciudad causando la muerte de aproximadamente dos terceras partes de su población; el terremoto de San Juan - La Rioja del 27 de octubre de 1894, que produjo víctimas y extensos daños materiales en las poblaciones de ambas provincias, destruyendo parcialmente las ciudades capitales de las mismas, y el terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944, el cual destruyó a esta ciudad y ocasionó más víctimas que cualquier otro evento de esta naturaleza en la República Argentina.

Además de estos sismos de gran destructividad, nuestra historia sísmica nos presenta gran número de terremotos de magnitudes medianas que, por la ubicación de sus hipocentros, han causado muerte y daños materiales de consideración, especialmente en las provincias de Salta, San Juan y Mendoza, como puede observarse en el mapa de la Figura 1. Del análisis del mismo se desprende que la actividad sísmica destructiva se ha concentrado en nuestro país en dos zonas perfectamente individualizadas: la zona norte y la zona central. El mapa de la Figura 2, en el cual se han volcado los epicentros de los sismos ocurridos en la Argentina en los últimos cinco años con magnitudes mayores de cuatro, de

acuerdo con los datos suministrados por los boletines internacionales, muestra que la actividad sísmica principal coincide para este período con la de los terremotos destructivos, extendiéndose además a otras zonas cuyos antecedentes sísmicos son de menor cuantía que los de la Figura 1.

Lamentablemente, la mejor forma de perfeccionar el conocimiento del fenómeno sísmico es mediante el estudio del propio sismo cuando éste ocurre, y por desgracia también en las zonas sísmicas seguirán produciéndose terremotos, ya que como dice un viejo refrán: "donde tembló una vez, volverá a temblar". Es por ello necesario que, al mismo tiempo que se continúe perfeccionando las construcciones para hacerlas lo más seguras posible ante la eventualidad de un terremoto, se planee también, en forma metódica, y se ponga en funcionamiento, una Red de Estaciones Sismológicas que serán las que registrarán el sismo cuando éste se produzca, registro que luego permitirá estudiar el fenómeno físico lo más detalladamente posible y sacar nuevas y provechosas conclusiones que podrán colaborar en el perfeccionamiento de los códigos de edificación.

Aparte de esto, el estudio de los registros de los terremotos de pequeña, mediana y gran magnitud permitirá conocer las características del interior de la Tierra a partir de las leyes de propagación de las ondas sísmicas por las distintas profundidades del globo. También es necesario recordar que, del estudio de los terremotos de gran destructividad, se obtienen las conclusiones más provechosas para la aplicación práctica, y que dichos sismos ocurren esporádicamente. Es por eso que el perder el registro de un sismo importante puede significar tener que esperar 5, 10 ó 50 años para obtener un sismograma de similares características. Esto pone en evidencia la urgencia de instalar equipos que registren los eventos sísmicos.

Los estudios realizados en nuestro país sobre su actividad sísmica, a partir de datos históricos e instrumentales, han permitido obtener curvas de promedio anual de intensidad sísmica, de intensidad máxima y de riesgo sísmico. Merced a estos resultados y a los antecedentes mostrados en las Figuras 1 y 2, los cuales en conjunto delimitan con suficiente claridad la región sísmicamente activa de la República Argentina, se ha planificado, en el área de Sismología, la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, la cual podría estar lista para el año 1978 y cubriría las necesidades existentes en la actualidad. Esta planificación se ha hecho de tal manera que las Estaciones Sismológicas irán cubriendo metódicamente el territorio nacional, con un orden de prioridad que surge de la necesidad de no descuidar las regiones en potencia más propensas para terremotos de mediana y/o gran intensidad. Este orden de prioridad, que se muestra en forma esquemática en la Tabla 1, dependerá, lógicamente, del apoyo que prestén los respectivos gobiernos provinciales para la obtención de los terrenos correspondientes.

En consecuencia, la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, que estará terminada para fines del año 1978, estará integrada por 23 Estaciones de primera categoría distribuidas en la forma que se muestra en la Figura 3.

### **Estudios por realizar**

La Red Nacional de Estaciones Sismológicas permitirá obtener un suficiente número de registros de eventos sísmicos en lugares seleccionados de modo

## 8 PROYECTO RED ESTACIONES . . .

estratégico, a partir de los cuales se podrán realizar investigaciones en un lapso relativamente corto tales como:

**a)** Determinación de epicentros a partir de estaciones locales y estudios de las capas superiores.

Hasta el presente, las determinaciones de epicentros han sido realizadas por estaciones de la Red Sismológica Mundial, ya que no se cuenta en nuestro país con un programa metódico de determinación de epicentros a partir de estaciones locales.

Las estaciones han sido distribuidas de modo tal que cualquier evento ubicado en la región sísmica argentina quedará circundado por tres estaciones como mínimo, y el epicentro podrá ser determinado con precisión, pudiéndose de esta manera estudiar con detalle la propagación de ondas de cuerpo e inferir, a partir de ellas, las características de la corteza, y especialmente de las capas más superiores de la misma.

**b)** Estudios de escalas locales de magnitud.

Como bien se sabe, la escala de magnitud de los terremotos fue desarrollada por Richter para el estado de California y luego aplicada con el mismo criterio en todas partes del mundo. En muchos países se han desarrollado escalas locales de magnitud, ya que no todas las regiones del mundo tienen las mismas características de radiación de ondas sísmicas. El INPRES desarrollará una escala de magnitud para terremotos locales a partir de los datos acumulados en las estaciones sismológicas y del agregado, en muchas de ellas, de los sismógrafos de torsión Wood-Anderson de mediana amplificación.

**c)** Continuación de los estudios de sismicidad y riesgo sísmico.

Los estudios de sismicidad y riesgo sísmico realizados en nuestro país han permitido obtener los mapas correspondientes, teniendo en cuenta los datos proporcionados por boletines internacionales en los últimos cincuenta años. Para continuar con dichos estudios es necesario obtener la mayor cantidad posible de registros, a partir de los cuales se podrá estudiar con mayor detalle la evolución de la actividad y el riesgo sísmicos para regiones pequeñas. Pasaremos así a la micro-regionalización sísmica, tan importante en los sitios donde se construirán obras de gran envergadura. A tal efecto, ya está en los planes actuales del INPRES la construcción de una Red de Estaciones Telemétricas para la provincia de San Juan.

**d)** Estudios de la estructura de la corteza a partir de la dispersión de ondas superficiales.

La disposición de las estaciones con instrumental de registro de ondas de largo período es tal, que se podrá estudiar la dispersión de las ondas entre las mismas, y esto permitirá obtener los modelos de corteza con los parámetros reales del suelo donde dichas ondas se han dispersado.

**e)** Estudio del mecanismo de foco de los terremotos locales.

### **Red Nacional de Acelerómetros**

Si se desea realizar un análisis realista del comportamiento de las estructuras sometidas a movimientos sísmicos, es necesario conocer o determinar las

características dinámicas del suelo durante tales movimientos. Para lograrlo, es fundamental contar con instrumentos de registro adecuados que, en el caso de la Ingeniería Antisísmica, son los acelerómetros (o acelerógrafos) y los sismoscopios. Los primeros permiten obtener los acelerogramas, que son registros de la variación de la aceleración del suelo en función del tiempo, generalmente según tres direcciones normales (dos horizontales y una vertical). A partir de dichos acelerogramas se calculan los "espectros de respuesta", que son gráficos que representan la respuesta máxima a un movimiento sísmico, de un oscilador de un grado de libertad amortiguado, en función del período y la cantidad de amortiguación del vibrador. Estas curvas proporcionan valiosa información, como son las frecuencias dominantes del terreno, y dan la respuesta máxima de estructuras simples. La técnica de los espectros de respuesta puede aplicarse, a partir de la adecuada superposición de los modos de vibración, al proyecto de estructuras más complejas como grandes edificios, diques, puentes, usinas nucleares, etc.

En la actualidad, ningún país tecnológicamente desarrollado o en vías de lograrlo, y ubicado en zona sísmica, puede darse el lujo de perder la valiosa información que significa el registro de los poco frecuentes medianos y fuertes sismos. Cada evento de esas características que no se registra es una magnífica oportunidad que se desaprovecha de obtener datos inestimables, y que quizá no se vuelva a repetir hasta muchos años más tarde. Es por ello que el INPRES, consciente de su responsabilidad y funciones, ha fijado entre sus principales objetivos la instalación y el posterior mantenimiento de la Red Nacional de Acelerómetros, instalación que se completará en un plan a mediano plazo que abarca desde 1973 hasta 1977. El número de aparatos por instalar en un programa de esta duración está limitado principalmente por el alto costo de cada instrumento.

Al planear una red de acelerómetros deben tenerse en cuenta varios factores, entre ellos:

- a) Sismicidad y probabilidad de riesgo sísmico de la zona.
- b) Importancia de los núcleos poblados y densidad de población.
- c) Análisis de la existencia o no de otro tipo de instrumento para Ingeniería Antisísmica en la zona.
- d) Individualización de las características físico-mecánicas del subsuelo, profundidad de roca, posición de la napa freática, etc.
- e) Para poder registrar con algún instrumento de la red a todo terremoto grande (magnitud mayor o igual que siete), es necesario que la distancia entre dos aparatos no supere, en lo posible, los 200 km.
- f) La determinación del número de aparatos por instalar en una localidad será función de la importancia de la misma, del número de grandes edificios y de la cantidad de habitantes.

En la Figura 4 se puede apreciar la Red Nacional de Acelerómetros proyectada, con indicación de los instrumentos instalados y por instalar. Completada dicha red, se procederá, en una etapa inmediata posterior, a densificar el número de aparatos en las ciudades importantes ubicadas en zonas de gran actividad sísmica (Mendoza, San Juan, Salta, La Rioja, Catamarca, Jujuy).

### **Red Nacional de Sismoscopios**

El sismoscopio es un instrumento de bajo costo y facilidad de operación y mantenimiento, lo que posibilita que se pueda instalar gran número de ellos de modo de cubrir toda la zona sísmica del país. Como comparación podemos afirmar que prácticamente se pueden comprar 30 sismoscopios por el valor de un buen acelerómetro.

A este instrumento se lo puede considerar como un modelo dinámico de una estructura típica, y a partir de su comportamiento durante un sismo se pueden realizar cálculos que van a indicar la respuesta de ciertas estructuras reales sometidas al mismo sismo. Hay que tener en cuenta que el sismoscopio no mide ni aceleraciones ni desplazamientos del terreno, sino que proporciona, como dijimos, la respuesta estructural a un movimiento que es, en definitiva, la información primordial para el ingeniero proyectista y calculista de estructura. En otras palabras, da un punto de la curva correspondiente a su cantidad de amortiguación del espectro de respuesta (de velocidades máximas de deformación o de coeficientes sísmicos).

En la actualidad el INPRES posee 31 sismoscopios instalados en siete provincias (Fig. 5), algunos de ellos instalados por el ex CONCAR, de los cuales 22 aparatos son importados y los nueve restantes de fabricación nacional. Recientemente se han adquirido 40 sismoscopios de industria argentina (fabricados en la provincia de San Juan) y pronto se comenzará a instalarlos de acuerdo con el plan trazado. Se ha previsto que para mediados del año 1975 se habrá completado la Red Nacional de Sismoscopios que contempla la instalación de 116 aparatos, sin perjuicio de que a posteriori se continúe densificándola de acuerdo con los estudios que se habrán de realizar.

De esta manera, con los acelerómetros y sismoscopios instalados, el INPRES tendrá la posibilidad de obtener buenos registros de movimientos sísmicos de importancia para la ingeniería antisísmica, y mediante su procesamiento y análisis se podrá determinar los espectros de proyecto, fundamentales para el diseño antisísmico de obras de cierta importancia, espectros que ratificarán o rectificarán los adoptados en los actuales códigos.

Figura 1

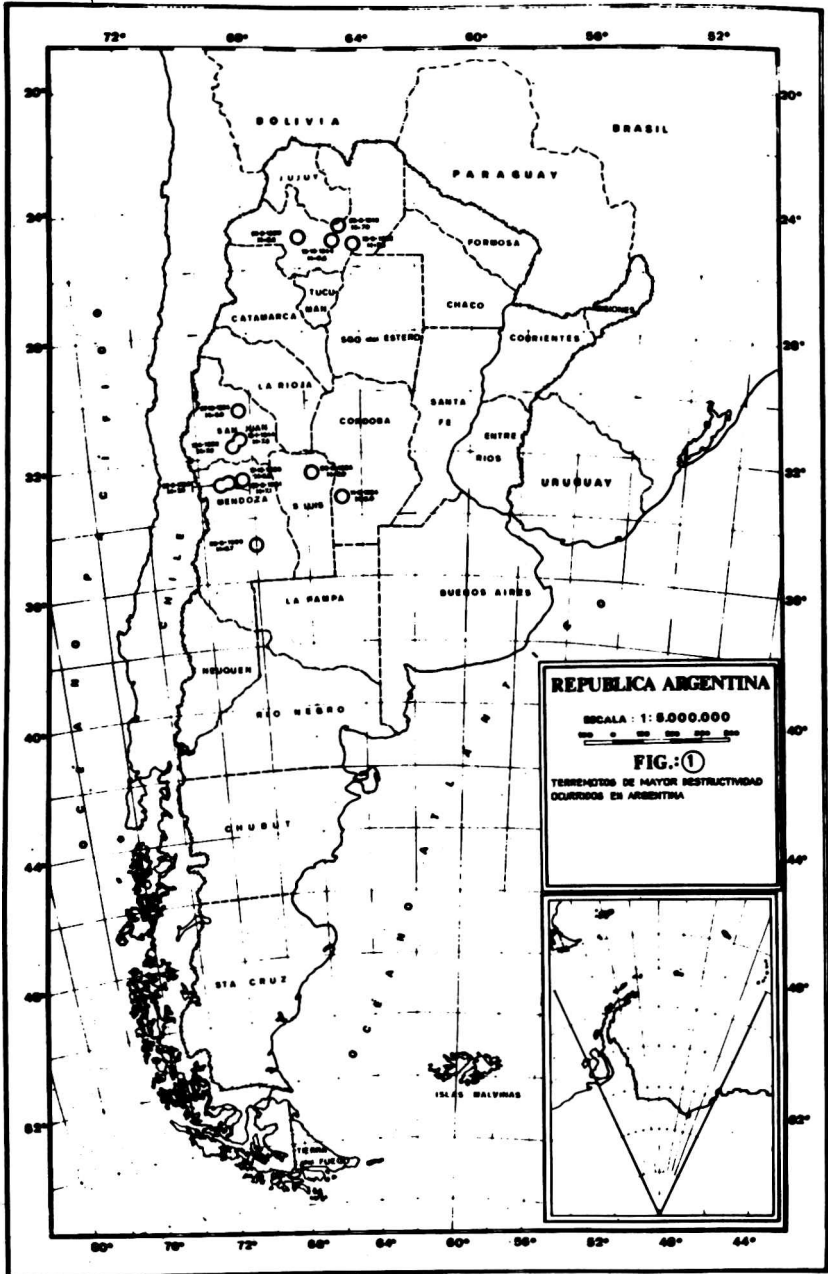
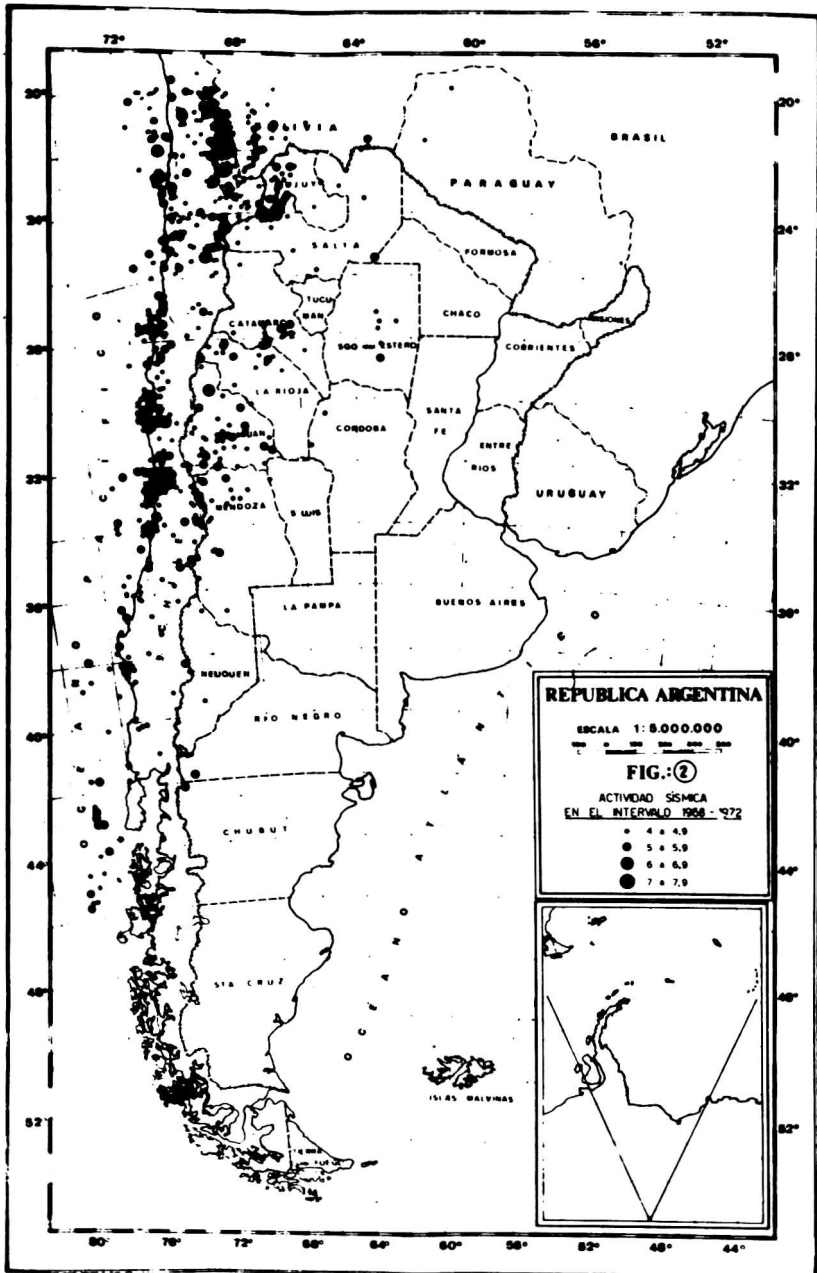


Figura 2



**Tabla 1****ORDEN DE PRIORIDAD DE LA RED NACIONAL  
DE ESTACIONES SISMOLOGICAS**

- 1 – Coronel Fontana (San Juan)
- 2 – Choya (Catamarca)
- 3 – Vinchina (La Rioja)
- 4 – San Antonio de los Cobres (Salta)
- 5 – Tanti (Córdoba)
- 6 – San Rafael (Mendoza)
- 7 – Tartagal (Salta)
- 8 – Bariloche (Río Negro)
- 9 – Pigüé (Buenos Aires)
- 10 – La Toma (San Luis)
- 11 – El Tunal (Salta)
- 12 – Comodoro Rivadavia (Chubut)
- 13 – La Quiaca (Jujuy)
- 14 – Quimili (Santiago del Estero)
- 15 – Chos-Malal (Neuquén)
- 16 – Santa María (Catamarca)
- 17 – Rodeo (San Juan)
- 18 – Ingeniero Juárez (Formosa)
- 19 – Valcheta (Río Negro)
- 20 – Ushuaia (Tierra del Fuego)
- 21 – Patquía (La Rioja)
- 22 – El Turbio (Santa Cruz)
- 23 – Islas Malvinas



Figura 3

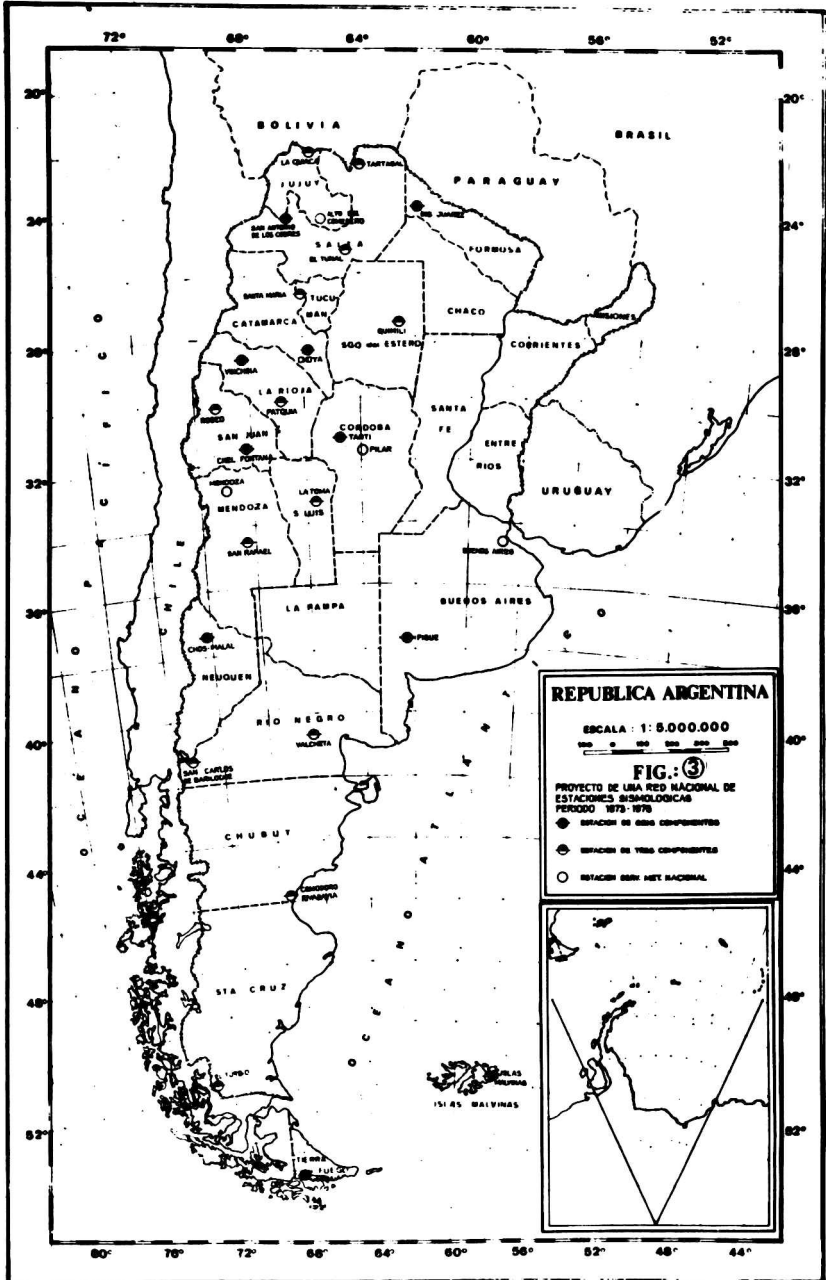


Figura 4

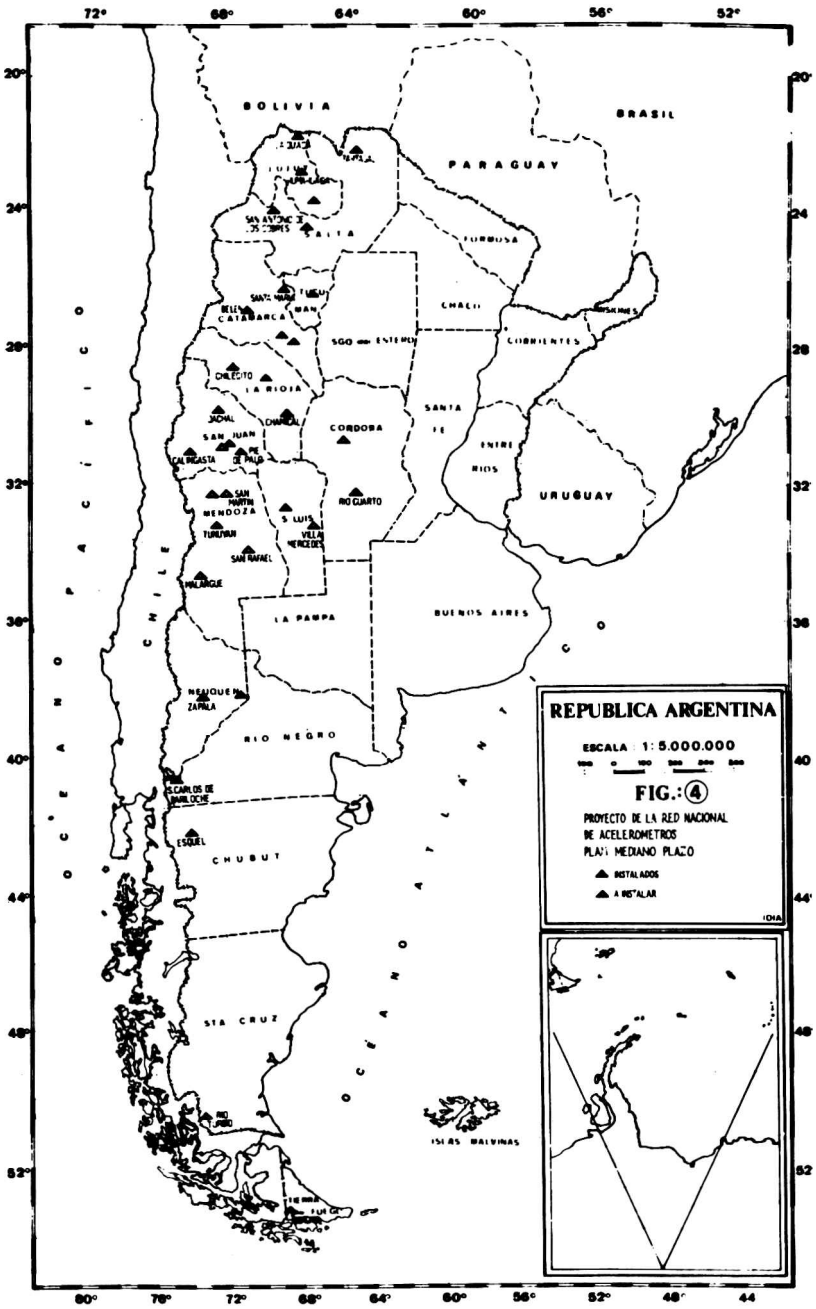
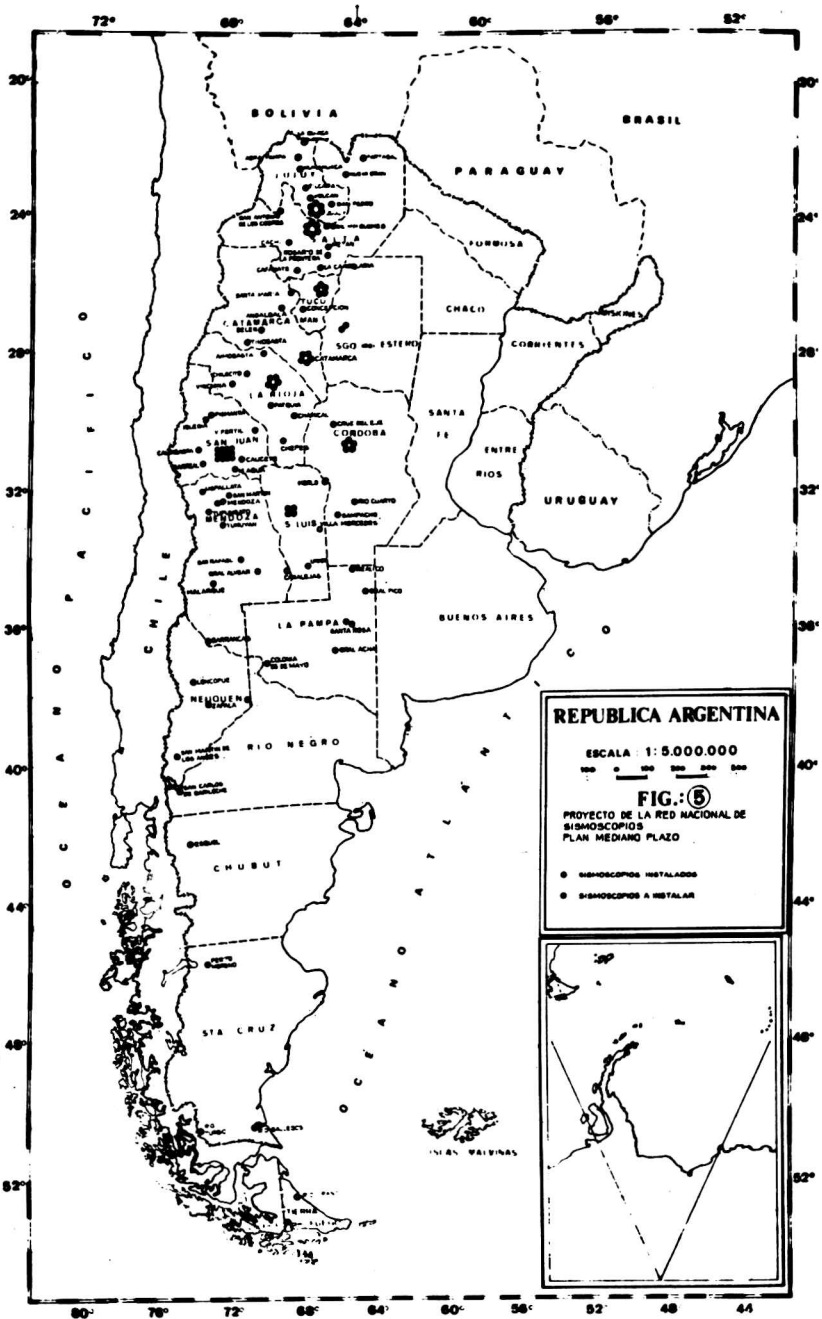


Figura 5



**BIBLIOGRAFIA**

- Carmona, J. y Castano, J., 1971: Cincuenta años de actividad sísmica en Argentina. I Congreso Latinoamericano de Computación aplicada a la Ciencia e Ingeniería.*
- Carmona J. y Castano, J., 1973: Riesgo Sísmico en la República Argentina. V Conferencia Mundial de Ingeniería Antisísmica. Roma, Italia.*
- Castano, J., Medone, C. y Carmona, J., 1970: Superficie de focos de sismos, su distribución, su liberación de energía y un análisis estadístico del proceso al Sur de los 12° de latitud sur. Proyecto Internacional del Manto Superior, Informe Científico. v. 2, n. 37.*
- Cloud, W. K. y Hudson, D. E., 1961: A simplified instrument for recording strong motion earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America. v. 51, n. 2.*
- Herrera, C.J. y Zamarbide, J. L., 1971: Espectros de coeficientes sísmicos para proyecto en las ciudades de San Juan, Mendoza y Catamarca. Sexta Reunión Argentina de Geofísicos y Geodestas. Mendoza.*



## PERFIL GRAVIMETRICO TRANSCONTINENTAL SUDAMERICANO (PARALELO 32°S)<sup>1</sup>

ANTONIO INTROCASO y EDUARDO HUERTA  
Gabinete de Geofísica,  
Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería,  
Universidad Nacional de Rosario

Siguiendo las recomendaciones emanadas de la Conferencia sobre Problemas de la Tierra Sólida (Buenos Aires, octubre de 1970), la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario preparó un perfil gravimétrico transcontinental desde el Pacífico al Atlántico atravesando tres países (Chile, Argentina y Uruguay) en la latitud aproximada 32° S.

Los resultados gravimétricos exhiben pequeñas anomalías de Bouguer desde el centro del perfil hacia el océano Atlántico, en contraste con fuertes anomalías negativas que, a partir de las sierras de Córdoba, se incrementan para culminar con un máximo estimado en -295 mg/l en los Andes.

Se prepararon tres modelos con tres distintos contrastes de densidades corteza-manto superior que han permitido estimar el espesor bruto de la corteza.

Following recommendations from the Conference on Solid Earth Problems (Buenos Aires, October 1970) the Faculty of Science and Engineering (National University of Rosario) prepared a transcontinental gravimetric profile through three countries (Chile, Argentina, Uruguay) near Lat. 32° S.

The gravimetric results show small Bouguer anomalies starting from the centre of the profile toward the Atlantic Ocean, contrasting with strong negative anomalies that increase from the Córdoba hills to culminate in a maximum estimated value of -295 mg/l under the Andes.

The models were prepared, with three different crust-upper mantle density contrasts by means of which it has been possible to roughly estimate the thickness of the crust.

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido publicado en forma extensa por la Escuela de Ingeniería Geógrafa de la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería (Universidad Nacional de Rosario) en 1972 y en el N° 22-1972 de la Revista Cartográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.



## ENLACES GRAVIMETRICOS AEREOS EN LA ZONA SUR DE SANTA FE

ANTONIO INTROCASO y PEDRO MOLOEZNIK  
Gabinete de Geofísica,  
Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería,  
Universidad Nacional de Rosario

Dado que en la actualidad se está preparando la carta gravimétrica de parte de la zona sur de Santa Fe, se realizaron vinculaciones gravimétricas aéreas a partir de la estación fundamental de Ezeiza con el fin de disponer de valores de enlaces y verificación en las determinaciones por tierra.

Se trabajó con un gravímetro Worden termostatzado perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería. Los valores fueron corregidos por influencia lunisolar y deriva instrumental, dándose a continuación algunos resultados de verificación:

### DIFERENCIA ROSARIO - RUFINO

Vuelos Diciembre 1969:	1) 92,86 mgl.
	2) 92,87 mgl.
Vuelo Octubre 1972:	92,87 mgl.
Valor adoptado:	92,9 mgl.

La Figura contiene las estaciones ocupadas con sus respectivas ubicaciones geográficas y los resultados obtenidos en ellas al décimo de mgal.

Due to the fact that, at present, a gravimetric chart of part of the south zone of Santa Fe is being prepared, aerial gravimetric links have been made starting from the base station of Ezeiza, with the purpose of obtaining the link values and verification of ground determinations. The work was performed with a gravimeter wich belongs to the Faculty of Exact Sciences and Engineering.

The values were corrected for the sun and moon influences and instrumental drift. The following are some of the results of the verification:

### ROSARIO - RUFINO DIFFERENCE

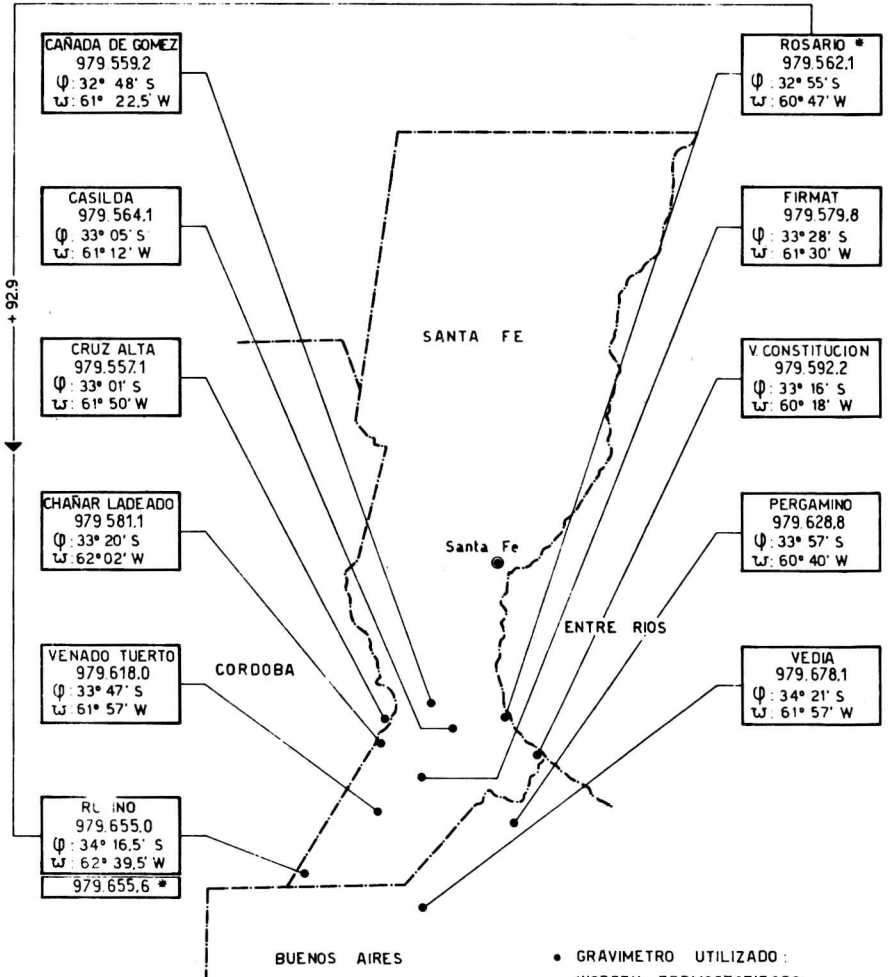
December 1969 flight:	1) 92,86 mgl.
	2) 92,87 mgl.
October 1972 flight:	92,87 mgl.
Adopted value:	92,9 mgl.

The Figure shows the occupied stations with their respective geographical positions and the results obtained in them expressed up to tenths of mgal.



## ENLACES GRAVIMETRICOS AEREOS EN LA ZONA SUR DE SANTA FE

(VALORES PROVISORIOS)



\* En nuevas instalaciones

• GRAVIMETRO UTILIZADO :  
WORDEN TERMOSTATIZADO  
(Facultad de Ciencias Exactas  
e Ingeniería - U.N.R.)

• OPERADORES :  
A. INTROCASO y P. MOLOZNIK

## **COMPENSACIONES GEODESICAS CON COMPUTADORAS DIGITALES**

**ALFREDO V. ELIAS y ALBERTO H. J. CHRISTENSEN**  
Instituto Geográfico Militar

Se relata la influencia de las computadoras electrónicas en los métodos de compensación geodésica y se exponen algunos problemas y soluciones, especialmente los que se presentan con la introducción de condiciones fijas y en la solución de las normales. Se incluye una ligera reseña sobre las triangulaciones del Instituto Geográfico Militar (IGM) y sobre los programas de compensación usados en esa repartición.

**This paper describes the influence of the digital computers on the geodetic adjustment methods. It also poses some problems and solutions, specially those found in the introduction of fixed conditions and in the reduction of the normals. A brief outline of the Military Geographic Institute (IGM) triangulation nets is also included, as well as a short report on the programs used by that agency.**

La aparición de las computadoras electrónicas ha creado una inmensa capacidad potencial para ser aplicada en numerosas ramas de la ciencia. La Geodesia, que debe operar con engorrosas fórmulas trigonométricas y resolver sistemas de ecuaciones que pueden extenderse a varios miles de incógnitas, ha obtenido un incalculable beneficio en tiempo y seguridad y ha visto, además, por las nuevas posibilidades, sus métodos influidos o cambiados.

Un ejemplo evidente es el caso de la compensación de grandes redes de triangulación, en que el método clásico de ecuaciones de condición ha sido desplazado por el de variación de coordenadas, hasta entonces reservado primordialmente para el caso de algunos puntos nuevos intercalados (excepto algunos ejemplos, como el de la red inglesa de 98 puntos mencionado en Davies, 1973). Aquél era preferido por la mayor sencillez de la generalidad de las ecuaciones de condición (angulares) y por el menor número de ecuaciones normales que implicaba. En la actualidad se atribuye otra ventaja al primer método: su propiedad de "autoverificación" (v.g., ver Rainsford, 1957, pág. 78), la cual consiste, como es sabido, en el obligado cálculo de los términos independientes de las ecuaciones de condición. En general, parece aceptarse que el segundo método no goza de dicha propiedad. Sin embargo, los términos independientes de las ecuaciones de observación también proporcionan al geodesta experto las bases para descubrir errores, aunque en ocasiones pueden presentarse ambigüedades debidas a la relación que los términos independientes mantienen con las coordenadas preliminares.

Ya en la primera compensación en que se aplicó el cálculo electrónico (Whitten, 1951) se advirtió la conveniencia del método de variación de coordenadas, la que reside principalmente en el hecho de que las ecuaciones de observación son de un tipo mucho más adecuado para computadoras que las de condición. Además, es más sencillo introducir condiciones fijas y obtener la precisión final de cada punto con respecto a su origen o de una función de un par de éstos.

En otras palabras, es más simple indicar a la computadora las relaciones entre puntos necesarias para formar las ecuaciones de observación que señalarle el camino de las ecuaciones de condición no angulares, que son de diverso tipo y algunas de las cuales, en el caso de la Red Fundamental Argentina (RFA) pueden alcanzar hasta 300 términos.

También estas ventajas resaltan en el caso de levantamientos mixtos o combinados (triangulación, trilateración y poligonación), en que la estructura de las ecuaciones de observación es prácticamente la misma, mientras que aumenta la diversidad de las ecuaciones de condición.

El resultado inmediato de una compensación por ecuaciones de condición son los valores observados compensados. Este problema está perfectamente definido, siempre que, como es obvio, haya observaciones sobrantes y distribuidas de manera adecuada. El conocimiento de posiciones aproximadas es sólo necesario para el cálculo de valores iniciales que dependen de la latitud elipsoidal y para elementos de ecuaciones de condición poligonal.

En cambio, en el método de variación de coordenadas, el producto inmediato son coordenadas compensadas y la matriz de las ecuaciones normales será singular, de rango  $n - k$ , siendo  $n$  el orden de la matriz y  $k$  el defecto de la red. En una triangulación común,  $k$  puede llegar a 4, posición, orientación y escala, y

puede ser igual a 2 si se incluyen azimutes y distancias, por lo menos 1 de cada uno de ellos. Es evidente que la red tendrá 4 grados de libertad en el primer caso, y 2 en el segundo. Esto es engorroso de probar matemáticamente, pero en Walker (1967) puede verse una demostración para un cuadrilátero. Esta indeterminación se salva, por lo general, fijando un punto, es decir, considerando nulas las dos incógnitas correspondientes a una estación y eliminando otras dos por medio de una ecuación de azimut y una de lado, respectivamente. Con frecuencia, sobre todo en redes extensas, se distribuyen más observaciones de estos tipos para disminuir la propagación de errores, observaciones que pueden introducirse de la misma manera, es decir, eliminando una incógnita por cada una de ellas.

Cada arbitraria elección de los parámetros imprescindibles en cada caso lleva a una serie diferente de coordenadas finales con su matriz de covarianza correspondiente. De ahí resultan elipses de error posicional absoluto que tienden a aumentar con su alejamiento del origen arbitrario (Ashkenazi, 1973).

En los últimos años se han desarrollado métodos para evitar esta arbitraria eliminación de la singularidad de la matriz de las ecuaciones normales, principalmente la teoría de los errores internos, pero este tema nos llevaría muy lejos, en extensión y profundidad, de los límites de este artículo. En el trabajo precitado de Ashkenazi consta abundante bibliografía al respecto.

Una vez que la cantidad imprescindible de incógnitas ha sido eliminada en las ecuaciones de observación (que algunos autores llaman entonces "ecuaciones de observación condicionadas"), existen varias posibilidades:

1) Tratar de la misma manera todas las condiciones restantes, antes de formar las ecuaciones normales.

2) Formar las ecuaciones de correlativos de estas condiciones y agregarlas a las normales resultantes de las ecuaciones de observación. Se tendrá un sistema de dos tipos diferentes de ecuaciones normales, lo que no parece ventajoso. La única programación, aplicada a este procedimiento, que los autores conocen, es la del ex Army Map Service, de los EEUU.

3) El procedimiento sugerido por Aitken y que consiste en introducir las condiciones como ecuaciones de observación con pesos elevados, con lo cual se obtendrá una solución tanto más aproximada a la del procedimiento 1) cuanto mayores sean estos pesos con respecto a los de las observaciones en sí. La disparidad entre los pesos puede requerir mayor número de dígitos para no perder precisión en la resolución de las normales. En un conjunto de 3 anillos de la RFA con 352 ecuaciones normales se compararon soluciones obtenidas por el 1) y éste con pesos de 10.000, y resultaron valores iguales hasta  $5 \cdot 10^{-5}$ . Las normales se satisficieron con precisiones de  $0,88 \cdot 10^{-12}$  y  $0,19 \cdot 10^{-8}$  respectivamente.

Este procedimiento, aparte del inconveniente anotado, es más sencillo que el 2) y más elástico que el 1), sobre todo para países extensos cuyas redes por fuerza incluyen numerosas observaciones de azimut y de distancia, a menudo de diferente precisión (v.g., geodímetro y telurómetro), porque facilita experiencias para los pesos más adecuados. Siempre queda como cuestión delicada la fijación de estos pesos, sobre todo en lo que se refiere a la relación de direcciones con distancias, en que se incluye el discutido problema de las unidades respectivas. En la compensación de la red australiana Bonford (1967), se obtuvieron resultados

mejores con la relación  $1'' - 1$  pie; otros autores sostienen que es más adecuada  $1'' - 1$  m.

Esencialmente los métodos de resolución de las ecuaciones normales pueden dividirse en:

1) **Matriz inversa:** requiere más operaciones que la solución por eliminación. La diferencia es, en general, prohibitiva. Puede ser apta para pequeñas redes si además se quieren conocer los diversos errores finales.

2) **Métodos de eliminación:** están basados en la descomposición triangular de la matriz de los coeficientes de las ecuaciones normales, por el procedimiento de Choleski o el de Gauss. Aquél es ligeramente superior en precisión. Las dificultades varían de modo considerable según que dicha matriz (sin los términos simétricos debajo de la diagonal principal), con la información necesaria, pueda contenerse o no en la memoria principal de la computadora disponible. En este último caso, se recurre a la descomposición en bloques. En general, la formación de éstos, cuando se apoya estrechamente en la configuración de la red, se basa en adaptaciones de viejos procedimientos aplicados a la solución por ecuaciones de condición, como el de Helmert o Pranis Pranievich que, con algunas variantes, se usó en el IGM para resolver un sistema de 1.121 ecuaciones normales entre los años 1950 y 1956.

Básicamente, la descomposición en bloques consiste en dividir las ecuaciones normales en grupos de puntos (bloques o unidades), cada uno de ellos contenida en la memoria central, a los que se asigna un orden de eliminación sucesivo tal, que los del inferior puedan expresarse en función de los superiores, hasta llegar al bloque de orden más elevado del que obtendrán los valores de las incógnitas. Con las debidas substituciones en sentido inverso, se obtienen las incógnitas de los órdenes inferiores.

En su origen, el propósito de estos procedimientos era efectuar los cálculos en planillas de dimensiones razonables y, mediante una adecuada organización, permitir el trabajo simultáneo de varios calculistas, trabajando independientemente en unidades diversas. La eficacia del método aumenta con un buen ordenamiento. En la programación para el IGM los autores incluyeron dos opciones:

a) Eliminación en una sola parte del proceso de todos los grupos de unidades del mismo orden (éstos no deben comunicarse entre sí), para disminuir el intercambio de datos entre la mejoría principal y la auxiliar, el llamado de subrutinas y el movimiento de archivos. Da prioridad a esta economía de tiempo resultante frente a las ventajas que resultan de minimizar la cantidad de operaciones aritméticas.

b) Ordenación de las unidades para que los coeficientes no nulos aparezcan en una franja o banda apoyada en la diagonal principal y de ancho reducido. Con todo esto se disminuye el número de operaciones o la creación de nuevas vinculaciones entre bloques, y se ahorra almacenamiento. Las prioridades son distintas de las del caso anterior. Faltan ensayos comparativos de ambas alternativas, los que, de cualquier modo, dependerán de la configuración de la red y de las características de las computadoras que se utilicen.

Algunos autores consideran el método de banda sólo cuando el sistema puede resolverse de manera total en la memoria rápida. En Ashkenazi (1967) se

menciona un programa en el cual sólo el ancho de banda está restringido por dicha memoria, "mientras el orden puede ser prácticamente de cualquier magnitud". El mínimo almacenamiento requerido es  $b^2$ , siendo  $b$  el ancho de la banda. Este depende de la forma de la red y de un buen ordenamiento de las incógnitas. Según este supuesto, será en general menor que el 20% del total de incógnitas.

En casos en que el almacenamiento disponible no ha permitido la inclusión de un bloque de  $b$  columnas, éste se ha tomado de dimensiones menores, como en Davies (1973), por ejemplo.

En el programa para la RFA, en la primera fase en que se eliminan las cadenas, como éstas constan de 7 u 8 cuadriláteros, despejada la constante de orientación, la relación entre  $b$  y el total de incógnitas es de un 60%, aproximadamente, por lo que la ordenación de éstas, por otra parte muy simple, no es demasiado importante. Las ventajas de la banda, en la opción  $b$ , resultarán de la ordenación de las unidades de nudos (2do. orden y superiores), lo que es mucho más simple que la ordenación de incógnitas. En el caso más desfavorable (paralelos  $36^\circ$  y  $38^\circ$  S) el ancho será de 8 unidades, es decir, unas 130 incógnitas.

Diversos programas de eliminación en bloque son más independientes de la configuración de la red. El del U.S. National Geodetic Survey (Dracup et al., 1973), ordenadas previamente las incógnitas para aproximarse a una banda, sin demasiado empeño en su optimización, dimensiona los bloques según la memoria disponible en la computadora por utilizar.

El programa del Institut Géographique National francés, con solución en Geodesia tridimensional, economiza memoria almacenando, tras un buen ordenamiento en banda de la matriz de las ecuaciones normales, solamente los términos comprendidos entre la diagonal principal y el primer término no nulo de cada columna. Descompuesta dicha matriz en bloques, cada uno de éstos debe tener dimensiones tales que al menos dos de ellos puedan entrar al mismo tiempo en la memoria principal (Le Menestrel, 1969).

Los programas del ex Army Map Service utilizan la disposición en banda, almacenando sólo los términos no nulos, con la información necesaria para su ubicación, con un arreglo ingenioso para alojar en la memoria auxiliar los pocos coeficientes que pueden resultar demasiado alejados de la diagonal principal.

Para más información sobre otros programas puede consultarse Méissl (1973).

3) Un método especial es el de Householder (resoluble también por iteración), que conduce a una solución única según el método de los cuadrados mínimos, sin formar las ecuaciones normales. Puede ser conveniente cuando el número de condición, o número de Todd, del sistema de ecuaciones de observación es grande, Baker et al., (1970); Kaplan, (1971).

### **Métodos iterativos.**

Estos métodos dan la solución de un sistema de ecuaciones en la forma del límite de una secuencia de ciertos vectores, obtenidos por un proceso uniforme llamado de iteración (Faddeeva, 1959). Se han intentado principalmente cuando las dimensiones de la matriz de ecuaciones normales excede la capacidad de la memoria central. Son más sencillos de programar, pero necesitan la elección de

un criterio de convergencia. Si ésta es muy lenta, deberán aplicarse métodos para acelerarla (Ashkenazi et al., 1973; Dufour, 1973b). Solamente es necesario almacenar los elementos no nulos, con su correspondiente localización. Cuando también se requiere la matriz de variancia - covariancia para análisis estadísticos de una red, son preferibles los métodos directos.

Una red extensa tendrá por lo general un sistema de convergencia lenta. En algunos casos, diversos métodos pueden converger a diferentes soluciones y aún es posible que uno converja mientras otro diverge. En algunos se recomienda observar resultados intermedios para modificar, si fuera necesario, un factor llamado de relajación, lo cual es un inconveniente para una programación automática. Un método bueno para una red puede ser inadecuado para otra. Ha habido advertencias acerca de que la estimación de un programa completamente automático puede fallar (Ashkenazi et al., 1972).

Ya en el simposio de Bruselas, en 1966, se mostró escepticismo acerca de la aplicación de métodos iterativos para grandes redes libres, y se reconoció la ventaja de ellos en el cálculo de redes apoyadas en una cantidad suficientes de puntos fijos, porque en este caso la convergencia es rápida (B.G. N° 86, pág. 402) lo que fue confirmado por las experiencias de la red francesa (Dufour, 1973a; Dufour, 1973b; Le Menestrel, 1969).

En Dufour (1973b) también se habla de métodos combinados, en los cuales la iteración se aplica a sistemas ya reducidos parcialmente por eliminación, pero no se mencionan experiencias. Los autores, siguiendo ideas del Ing. S. Horvat, realizaron un ensayo sobre un anillo con 126 ecuaciones normales, sin constante de orientación. Después de eliminar las cadenas, el sistema se redujo a 38 ecuaciones. Aplicado el método de Gauss-Seidel, se necesitaron 90 iteraciones para alcanzar una precisión del orden de  $10^{-5}$  en las incógnitas, ya calculadas por métodos directos. Debe tenerse en cuenta que las coordenadas aproximadas eran excelentes, ya que la máxima variación fue de  $0''.054$ . De la observación de los coeficientes de las matrices reducidas resultó que no se cumplían las condiciones previas para una rápida convergencia. Tampoco se cumplió uno de los más simples criterios para juzgar ésta, es decir, que la cantidad de iteraciones sea menor que el orden de la matriz del sistema, pero hay métodos mucho más convergentes que el usado.

Esta ha sido la única experiencia de los autores acerca de un procedimiento de iteración aplicado a una compensación geodésica.

En los últimos años se han realizado numerosos trabajos teóricos y experimentales sobre estos métodos. Al respecto pueden citarse Ashkenazi et al., (1972); Ashkenazi (1967); Ashkenazi et al., (1973); Dufour (1973a, 1973b); Saxena (1973), en los cuales se encuentra, además, abundante bibliografía.

Por otra parte, no debe perderse de vista que la resolución de sistemas de ecuaciones lineales es más bien un problema matemático que geodésico.

Probablemente la técnica trabaje en pro de los métodos directos al ofrecer computadoras cada vez más potentes y veloces y con equipos periféricos con más eficacia y posibilidades.

Es evidente la importancia de la memoria central de la computadora para la elección de métodos. En Meissl (1973) se dice que la solución de sistemas de unas 200 incógnitas ya no son un mérito para sus autores. Las dificultades de una programación dependen de la relación entre la extensión prevista o prefijada

de una red y las posibilidades de la computadora accesible. Para muchos países en vías de desarrollo ésta puede ser una seria limitación.

En la literatura geodésica se mencionan redes pequeñas, grandes y muy grandes, sin una definición precisa de los límites entre ellas. Desde el punto de vista de las dificultades mencionadas en el párrafo anterior, puede adoptarse el siguiente criterio:

- a) Redes pequeñas se consideran aquellas cuyas ecuaciones normales pueden resolverse íntegramente en la memoria central, aunque para otros pasos se utilicen memorias auxiliares.
- b) Redes grandes son aquellas que requieren la descomposición en bloques o, si se prefiere, métodos iterativos; su matriz inversa es calculable.
- c) Redes muy grandes requieren la optimización de los métodos y presentan problemas en la estabilidad de las soluciones, aun para redes bien conformadas, sin contar con los requerimientos para flujo y control de datos. El cálculo de la matriz inversa se convierte en una imposibilidad práctica. En Ehlert (1973) se expresa que para la inversión de una matriz simétrica de orden 300 se necesitan unos 10 minutos y, puesto que el número de operaciones aumenta con la tercera potencia del orden, para un sistema de 3.000 se necesitaría una semana continua, aproximadamente. Por ello sólo se calculan partes selectas de esta inversa para analizar las zonas más interesantes o críticas de la red. Además, debe tenerse en cuenta que tendrá mucho menos términos no nulos que la matriz de las normales y aun puede resultar completamente llena. Una ventaja accesoria del procedimiento de banda es que permite calcular sólo una banda equivalente de la inversa, sin pasar por los términos fuera de ella, con la limitación, claro está, de obtener los términos de covariancia correspondientes únicamente a los pares de puntos que aparecen vinculados en las ecuaciones normales reducidas.

La Triangulación fundamental de la República Argentina (RFA) está constituida por cadenas paralelas y meridianas de cuadriláteros a doble diagonal y de triángulos-triláteros (lados y ángulos medidos). Estas cadenas están espaciadas aproximadamente dos grados de longitud o latitud, formando así los polígonos que soportan los órdenes inferiores de triangulación y poligonación. Una vez completada, la RFA consistirá de unos 3.000 puntos, distribuidos en 56 polígonos. El resto de los órdenes inferiores estará formado por unos 80.000 puntos.

Las mediciones regulares se iniciaron a raíz de la Ley de la Carta, promulgada a principios de la década del 40. Naturalmente, también antes se habían efectuado numerosos trabajos, que respondían a planes más limitados y menos sistemáticos. A fines de la década se habían medido por completo unos seis polígonos de la RFA, situación que justificó los primeros intentos de compensaciones rigurosas. Ya que se estaba entonces en la prehistoria de la computación electrónica, los cálculos se efectuaban con calculadoras electromecánicas de escritorio. Tal como se mencionó antes, se realizaron trabajos cada vez más extensos, hasta abarcar 10 polígonos de la RFA, con un total de 1.121 ecuaciones normales, que fueron resueltas en conjunto. La laboriosa formación de las ecuaciones en  $\phi$  y  $\lambda$  exigieron una cuota de esfuerzos desproporcionada a su efecto en las correcciones.

El método aplicado en la etapa de reducción de las normales, Pranis-Pr-



nievich-Helmert, fue sistematizado con aportaciones originales por el Dr. Nicolai Beljajew. Para las mallas de órdenes inferiores se ensayaron y pusieron en práctica procedimientos aproximados, bajo la dirección del Ing. Stefanu Horvat.

Posteriormente se agregaron 2 polígonos, y más tarde 3 más en condiciones forzadas, sin incluir ecuaciones poligonales en la compensación global. Los cierres poligonales se satisficieron luego por una distribución aproximada.

Aparecieron entonces en la Argentina las primeras computadoras electrónicas y el IGM hizo sus primeras armas con ellas (IBM 650 de tambor magnético). Más tarde el IGM pudo adquirir una IBM 1.620 con configuración mínima: lectora-perforadora de tarjetas y 2.000 palabras en la memoria de núcleos. La obvia limitación de ésta y la carencia de memorias auxiliares fueron obstáculo muy serio en los intentos de compensaciones globales que se sucedieron, pudiéndose solamente resolver con la IBM 1.620 algunos problemas geodésicos asilados.

En el año 1967 el problema de la compensación de la RFA se había tornado candente, por la cantidad de polígonos ya completados sin compensar, por la necesidad de recalcular aquellos en los cuales se habían descubierto errores y por la falta de programas eficientes. En ese momento surgió el ofrecimiento por parte del ex Army Map Service (AMS) de los EEUU, de facilidades para que dos técnicos del IGM pudieran trabajar en las oficinas centrales de aquella institución, en Washington D.C., adaptando los programas de compensación que allí estaban en uso, a las necesidades y posibilidades del IGM en Buenos Aires. Los autores del presente artículo fueron designados al efecto, comenzando su misión en Washington en septiembre de 1968. Para esta fecha, el objeto de la misma había sido ampliado, incluyendo como segunda alternativa, la preparación de un conjunto nuevo de programas, si la adaptación resultara desaconsejable.

Los programas del ex AMS estaban escritos en el lenguaje propio de la computadora Honeywell 800, de propiedad de esa institución y de la que no existían modelos en nuestro país. Esta circunstancia, sospechada desde antes de su partida de Buenos Aires, disuadió a los autores de una adaptación más o menos directa de aquellos programas. Por otra parte, los programas para el IGM debían poder procesarse en una computadora de potencia mediana y desafortunadamente, el método usado en los programas del ex AMS no garantizaba que se pudiera cumplir con esa prudente condición. En consecuencia, debieron dedicarse a elaborar un juego de programas nuevo por completo y, tras el análisis y estudio necesariamente breve, fue iniciada la tarea, respondiendo ésta a las características básicas siguientes:

- 1) **Método general:** Variación de coordenadas geográficas.
- 2) **Reducción de las normales:** Método directo de eliminaciones en bloques.
- 3) **Incógnita de orientación:** Eliminada en las ecuaciones de observación.
- 4) **Condiciones fijas:** Se utilizan para eliminar incógnitas. (Existe sólo un tipo de ecuaciones normales.)

La distinción más saliente respecto de otros ejemplos de aplicaciones del método de Helmert-Pranis-Franievich hasta ahora publicados, es la posibilidad de ejecutar las eliminaciones en varios bloques durante una misma etapa del proceso. La operación puede realizarse sobre los bloques que no registran vinculaciones entre sí. Tal es el caso de los tramos de cadena de la RFA, si se aíslan por conjuntos de puntos de adecuada elección en los nudos. Y los nudos no unidos por tramos de cadenas constituyen también bloques que pueden tratarse en

forma simultánea. Es así como la estructura de la RFA conduce más o menos fatalmente a un aprovechamiento de esas posibilidades. La clasificación y el orden de eliminación de tramos y nudos se señalan a la computadora en forma simple, por tarjetas Hollerith, que se introducen con las que contienen los parámetros y las observaciones, en forma tal que el procedimiento es del todo automático. Como resulta obvio, esta clase de programación requiere múltiples unidades de memoria auxiliar, cuya cantidad los autores se esforzaron a reducir a un mínimo; en particular, el programa de reducción de normales utiliza cuatro unidades de organización secuencial, por lo cual es posible usar indistintamente cintas o un disco magnético.

El procedimiento propuesto por Helmert-Pranis-Pranievich para reducir grandes sistemas de ecuaciones "rales", cuando es aplicado en forma manual, brinda un beneficio muy importante: permite la distribución de cálculo entre varias parejas de calculistas. El mismo procedimiento, aplicado con computadora, no puede, obviamente, aprovechar esta facilidad. Parece existir, sin embargo, otro dividendo, ya que la adecuada distribución y el ordenamiento de los bloques conduce a una sensible disminución en el tiempo de proceso.

Alterar el orden de eliminación de los bloques es una operación sencilla, pues dicho orden se indica con un código ajeno a la designación de los puntos que constituyen los bloques. La facultad de poder designar los puntos con un criterio independiente del tratamiento que sufrirán las incógnitas vinculadas en el proceso de eliminación es importante, no sólo por la flexibilidad que confiere a los programas en cuanto a ese proceso, sino porque permite la designación sistemática de los puntos, condición **sine qua non** para la creación y mantenimiento de un sistema automatizado de archivo de puntos y observaciones. Sobre este archivo se volverá luego.

Es así como los puntos son designados por su "número de monografía", que es la nomenclatura usada por el IGM para nombrar los puntos de sus redes, y que se componen de tres grupos de caracteres, el primero indicando la unidad geodésica, el segundo el orden a que pertenece el punto y el tercero de un número de hasta cuatro dígitos, que no se repite dentro de una misma unidad geodésica.

Con el objeto de poder usar los programas en redes de otras instituciones se introdujo la opción de utilizar un código de designación arbitrario, consistente en cifras de hasta 7 dígitos.

Otras opciones se incluyeron en los programas, siempre con vistas a lograr mayor flexibilidad en la preparación de los datos: entre ellas se pueden mencionar:

1) Simplicidad para cambiar de elipsoide, pues todas las constantes elipsóidicas se transmiten de programa en programa, a tiempo de ejecución.

2) Completa automaticidad en el proceso de eliminación de incógnitas a partir de las condiciones fijas que el preparador haya decidido introducir. Cualquier configuración o combinación técnicamente razonable de condiciones fijas es analizada por los programas, que seleccionan las incógnitas más favorables para despejar. Sin perder de vista las posibilidades de introducir las observaciones de distancia y azimut como tales y no como condiciones fijas, procedimiento contemplado por los programas como es lógico, se incluyeron en éstos los pasos, necesariamente complejos, para el tratamiento completo de condiciones fijas, con el objeto de:

1) Poder procesar las diferentes "parejas azimuth-base" que se presentan en cada intersección de cadenas de la RFA.

2) Resolver configuraciones donde el orden de magnitud o el peso asignado a una observación puedan causar inconvenientes en la solución de las normales.

A lo largo del proceso, los programas autocontrolan su lógica y, al final del mismo efectúan varios tipos distintos de controles aritméticos con las soluciones. La inclusión de todos estos controles se justifica porque:

Facilitan la identificación de los errores groseros;

Proveen una estimación de la precisión de la solución;

Diagnostican los errores de programación, que eventualmente pudieran surgir, y que se hubieran deslizado a través de las pruebas y ensayos realizados.

Ya que los programas se elaboran previendo usar una computadora de mediana capacidad, se debió pagar tributo por ello, consistente en un aumento en la complejidad de los programas y en la cantidad de éstos. Para compensar triangulaciones puras, se debieron preparar 32 con numerosas subrutinas, a las cuales se debieron agregar tres programas más, para poder procesar redes con observaciones de distancia y azimuth. En total, 35 programas y unas 30 subrutinas. Se utilizó el lenguaje FORTRAN IV y fue necesaria una elevada cantidad de pruebas de programa para poder ponerlos a punto. En esta tarea los autores contaron con el consejo y ayuda entusiasta de los profesionales y técnicos del ex AMS, y con abundantes facilidades para usar los equipos de esa institución.

De retorno a Buenos Aires, se intentó, con poco éxito, hacer funcionar los programas en una computadora de tipo comercial. Por lo contrario, usando un equipo mejor orientado al trabajo científico, la adaptación fue prontamente concluida. Ya que las técnicas usadas en la programación implican el uso intenso de memorias auxiliares, discos o cintas, fue afortunado poder manejarlas por medio del lenguaje del Operative System (OS) de IBM, que garantiza, a costa de cierta complejidad y rigor, la correcta asignación, protección y acceso a esas memorias.

En la publicación de Christensen et al., (1973) constan más detalles sobre la programación.

A la fecha se han usado los programas en numerosas instancias, para anexar forzosamente varios grupos de polígonos al marco de los 19 compensados durante la misión de los autores en EEUU, para mallas de triangulación de primer orden inferiores y para compensar redes de poligonales. Uno de los trabajos efectuados hace poco, la compensación de cuatro polígonos al Sur, tras varios ensayos para depurarlos de errores groseros, requirió 589 segundos de CPU (Central Processor Time) en total, de los cuales 209 segundos se invirtieron en la etapa de comprobaciones y listados de resultados. La formación y reducción de 350 ecuaciones normales demandó 109 segundos de CPU. La red está formada por 181 puntos, 6 puntos fijos y 1.000 observaciones de todo tipo. El costo de computadora facturado fue, naturalmente, insignificante frente al del trabajo preparatorio, y aún más frente al trabajo de campo.

Con estos 4 se han completado 26 polígonos de la RFA, todos los cuales están compensados, libre o forzosamente, integrando un sistema homogéneo con las 18 mallas de primer y segundo orden intercaladas en ellos. En lo futuro se continuará sin duda anexando los nuevos polígonos, por medio de compensaciones forzadas, hasta que la magnitud y distribución de las correcciones demues-

tren que una compensación global es recomendable. El problema de compensar las redes de órdenes superiores, con los programas aquí descritos, está, pues, resuelto. El problema que no pueden resolver de modo eficiente es el que presentan las redes de III y IV orden, que, desde la Ley de la Carta, han sido calculadas con procedimientos expeditivos, apoyándose en resultados de órdenes superiores preliminares o ya obsoletos por las nuevas compensaciones. No pueden resolver de modo eficiente porque fueron pensados para la RFA, y con este fin, los programas utilizan recursos y caen en complejidades que son desaprovechadas cuando se los utiliza para conjuntos de puntos intercalados. Además, el procedimiento de eliminación simultánea en bloques no se presta, tal como fue encarado, para una malla continua. La limitación impuesta por una memoria de núcleos mediana no permite el cálculo simultáneo de una malla continua con gran cantidad de puntos. Por lo cual los 20.000 puntos de orden menor deberían ser distribuidos en unos 500 grupos de 40 puntos cada uno, y compensados.

Intentar fraccionar la tarea hasta este extremo, con la elevada probabilidad existente de aparición de errores groseros, significaría un período de trabajo intolerablemente prolongado.

Parece entonces razonable preparar un nuevo juego de programas, que funcione en forma eficiente para el caso de mallas intercaladas. La recomendación de Dufour al respecto (Dufour, 1973b), merece seguramente ser seguida en esta coyuntura, usando aquí, donde una rápida convergencia puede sospecharse, algún método indirecto para la solución de las normales.

La necesidad de reducir al mínimo la incidencia de errores groseros (en la preparación de datos y también en la compilación y cálculos preliminares) sigue, sin embargo, en pie. Para satisfacer esa necesidad será conveniente comprobar las coordenadas preliminares y las observaciones por un procedimiento ilustrativo y automatizado. Recurrir aquí a graficación por computadora será, quizá, una operación redituable.

La organización que se establezca para compilar, depurar y presentar los datos de cada compensación a la computadora será de relevante importancia, quizá tanta, aunque de otro género, como la elección del particular método de reducción de normales. Debe tenerse presente que a los 20.000 puntos existentes a la fecha se agregarán 60.000 más, cuando se haya terminado el trabajo encomendado al IGM por la Ley de la Carta.

La magnitud de la tarea se manifiesta en la cantidad de datos por preparar:

Por lo menos 500.000 direcciones, distancias y azimutes observados y las 60.000 coordenadas preliminares que habrán de calcularse en las etapas previas a la compensación.

Por otra parte surge la necesidad de montar un buen sistema de depuración de errores, almacenamiento y retiro de información, en el cual la computación electrónica será constituyente esencial. Las funciones de tal sistema se podrán extender para incluir la de dispersión de información, coordenadas y valores compensados, satisfaciendo a terceros, cuya cantidad, en un país con vastas necesidades de desarrollo y de obras civiles, con seguridad aumentará en lo futuro.

Un vasto campo de experimentación permanece abierto, ya que un trabajo como el descrito aquí muy difícilmente puede considerarse definitivo. Además

de los puntos propuestos a lo largo de este artículo, los autores se aventuran a sugerir los temas siguientes:

- 1) Inclusión de un programa para calcular los errores posicionales y los  $\sigma\varrho$ ,  $\sigma\alpha$ ,  $\sigma\beta$  en porciones selectas de una red compensada.
- 2) Experimentación con fórmulas de inversión geodésica.
- 3) Predicción de la precisión alcanzable en el planeamiento de futuros trabajos y determinación del límite que no conviene exceder en cuanto a cantidad y calidad de las observaciones.
- 4) Investigación de la posibilidad de una compensación global y simultánea de cadenas y mallas de primer orden. Al existir en Buenos Aires computadoras de potencia adecuada, los programas elaborados, con algunas modificaciones, podrían permitir la compensación simultánea de los 6.000 puntos de cadena y malla previstos para toda la República.

Este procedimiento sustituirá al "jerárquico" actualmente en práctica, que causa los serios forzamientos en las mallas señalados por Horvat en su estudio de las mallas 3H y 4H, abriendo entonces el camino para planear soluciones menos onerosas para los futuros trabajos de campo o evitar refuerzo en las cadenas ya medidas.

#### NOTA

Partes de este artículo fueron leídas como informe sobre la compensación argentina en la VII Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Como un trabajo con historia, detalles y algunos resultados de esta programación fue presentado en el Simposio de Cálculos Geodésicos de la Asociación Internacional de Geodesia, Oxford, 1973, los autores han creído conveniente, en este trabajo, tratar con más generalidad el problema y actualizarlo con información y bibliografía posteriores a la concepción de dicha programación (1968-1969).

#### BIBLIOGRAFIA

- Ashkenazi, V., '1967: *Solutions and error analysis of large geodetic networks. Survey Review*, n. 146 y 147.
- Ashkenazi, V., 1973: *Criteria for optimisation: a practical assessment of a free network adjustment. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Ashkenazi, V., Wood, R. y Hamilton, M. A., 1972: *On the difficulties arising from the S.O.R. iteration operating on large geodetic matrices. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*. v. 14, n. 55.
- Ashkenazi, V. y Wood R. C., 1973: *Merits of the conjugate gradients method for solving geodetic normal equations. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Baker, J. y Lewicke, V., 1970: *A variation of coordinates adjustment using Householder transformations. U.S.A. Topocom, Bull. Geod. n. 97, Washington D.C.*

- Bomford, A. G., 1967: *The geodetic adjustment of Australia, 1963-1966. Survey Review*, n. 144.
- Bomford, A. G., 1973: *Geodetic models of Australia. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Christensen, A. H. J. y Elias, A. V., 1973: *Programación de la compensación de las redes del Instituto Geográfico Militar. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Davies, M. J. K., 1973: *The experiences of the Ordnance Survey in processing large networks. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Dracup, J. F. y Gergen, J. G., 1973: *The least squares adjustments of large geodetic networks. U. S. National Geodetic Survey. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Dufour, H. M., 1973a: *Propriétés des systèmes linéaires symétriques déduites de leur forme spectrale, Institut Géographique National. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Dufour, H. M., 1973b: *Rapport du groupe spécial d'études 4.35. "Résolution des grands systèmes linéaires". I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Ehlert, D., 1973: *On the use of Helmert's Method of Block Adjustment. Institut für Angewandte Geodäsie. I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Faddeeva, V. N., 1959: *Computational methods of linear algebra. Traducido del ruso por C. D. Benster, Dover Publications, Ind. New York.*
- Kaplan, M., 1971: *Reduction and solution of linear equations with special optimizing features for banded Systems. U.S. Army Topographic Command.*
- Le Menestrel, J., 1969: *Compensation du réseau géodésique français de premier ordre. Inst. Géographique National France. Bull. Geod. n. 94.*
- Meissl, P., 1973: *Report of special study group 4.38 I.A.G. "Computer Techniques in geodesy" I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Rainsford, H. F., 1957: *Survey adjustments and least squares. Constable y Co. Ltd. Londres.*
- Saxena, N. K., 1973: *Adjustment technique without explicit formation of normal equations (conjugate gradient method). Department of Geodetic Science. The Ohio State University, I.A.G. Symposium on computational methods in geometrical geodesy, Oxford.*
- Walker F., 1967: *Adjustment of astrogeodetic triangulation network. Techn. Report n. 60 Army Map Service. (now U.S. Topocom).*
- Whitten, C. A., 1951: *Adjustment of european triangulation. U.S. Coast and Geodetic Survey. I.A.G. General Assembly, Bruselas.*



## **TRAZADO DE ISOPLETAS CON COMPUTADORA Y GRAFICADOR. APLICACION A PERFILES DE POLARIZACION INDUCIDA**

ALBERTO H. J. CHRISTENSEN  
Departamento de Geología y Minas,  
Dirección General de Fabricaciones Militares

Se tratan problemas que admiten la representación por isopletas y las técnicas de computación corrientemente usadas en el trazado automático de las curvas. Se discute una aplicación de estas técnicas al cálculo y graficación de perfiles de IP.

**Problems that admit isopleth representation and the computer techniques used to draw the charts are discussed. Automatic techniques applied to IP profiles are also discussed.**



El trazado de isopletas ha sido objeto de numerosos trabajos de computación durante los últimos años. Mediante computadora, programas preparados a tal fin y aparatos llamados graficadores (**plotters**), es posible obtener las isopletas en forma totalmente automática.

Muchos fenómenos o hechos físicos, de muy diversa naturaleza, pueden ser expresados como funciones uniformes de dos variables, analíticas o no, y, por tanto, ser representados por superficies. La posibilidad de observar directamente, en forma total o parcial, la superficie por representar, constituye un criterio de clasificación de estos fenómenos. Cuando la superficie puede ser vista, como sucede con la topografía de una zona, las isopletas por trazar, en este caso curvas de nivel, deberán respetar los rasgos morfológicos visibles. Esta exigencia se manifiesta mediante la existencia de dos categorías de datos: las ternas de valores que indicarán la pendiente y la tendencia del terreno en cada punto dato, y las series de valores que definirán los rasgos morfológicos.

Si la superficie por representar no puede ser vista directamente —tal es el caso de una discontinuidad geológica sólo conocida por perforaciones o, en forma más abstracta, la superficie que representa la anomalía de un campo— sólo existe una categoría de datos. En consecuencia, la programación para computadora que resuelva el problema será más sencilla con el segundo tipo de fenómeno.

La diferencia se acentúa con la contribución de otras exigencias: mayor precisión y acuerdo del mapa de curvas de nivel con la planimetría. La complejidad resultante incide para que la programación de curvas de nivel requiera equipos más poderosos, tanto en computadora como en graficadores y para que el esfuerzo en programación sea mucho más considerable que el necesario para el segundo tipo de fenómeno. Ejemplo sobresaliente de una programación para superficies topográficas es la elaborada en la Universidad de Stuttgart, llamada DACS (**Digital Automatic Contouring System**), la cual, en el tratamiento preliminar de los datos, utiliza una técnica de precalibración (**least-squares collocation**), que fue originalmente derivada para observaciones gravimétricas (Kraus, 1973).

El tipo más simple de programación ha sido desarrollado con preferencia por organizaciones o empresas vinculadas a exploraciones geológicas. Los procedimientos van desde el más simple, que establece una superficie poliédrica, hasta el más elaborado, como el SIGMA, del Bureau de Recherches Géologiques et Minières, que utiliza análisis armónico en el filtrado de los datos (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1971).

Un aporte sumamente interesante, siempre relacionado con problemas geológicos, es el publicado por R. Olea, que aplica el **Kriging Universal** para obtener los valores que luego se usan en el trazado de las isopletas (Olea, 1972).

Casi todos los procedimientos de trazado parten del conocimiento de un conjunto de valores distribuidos de manera uniforme. La distribución puede afectar la forma de una grilla de celdas cuadradas, rectangulares o triangulares, siendo la primera la más común, por ser la más sencilla de establecer. Estas grillas o redes se superponen al campo de variación de la función y luego, con interpolaciones por mínimos cuadrados, se calculan los valores de la función que corresponden a los cruces de la grilla. Los recursos para trazar las isopletas a partir de la grilla se tratarán más adelante.

Las ventajas de obtener en forma automática las isopletas en Geología o en

Geofísica pueden ser seriamente discutidas, en el caso de ser dicha obtención el único fin del proceso automatizado, ya que:

- a) El trazado manual de las curvas no insume un gran esfuerzo.
- b) Preparar los datos para la computadora puede ser tarea tediosa, larga o, en ocasiones, complicada.

Tratando de justificar el método automático, algunos autores argumentan que el trazado por computadora es más sistemático y objetivo que el manual. No parece, sin embargo, que este argumento tenga real peso, ya que los métodos de interpolación usados con computadora carecen de justificación alguna, excepto la comparación ulterior de las curvas con las trazadas a mano. Un poco en broma, se podría decir que los métodos automáticos son mejores porque son sistemáticamente infundados. La real justificación es económica, sin embargo, ya que las ventajas se manifiestan cuando el trazado está precedido de otro cálculo, lo que ofrece la oportunidad de amortizar la inversión en preparar los datos a lo largo de un proceso más completo. Este es el caso frecuente en Geofísica, donde el cálculo de correcciones, calibraciones u operaciones más o menos complejas hace imperativo el uso de computadora.

Quizás puede aventurarse otra justificación, esta vez con alguna pretensión técnica. El tratamiento de los datos, para obtener la grilla básica, permite ciertas variaciones: por ejemplo, se puede variar el tamaño o la forma de las celdas o la expresión del peso que refleja la influencia de un punto sobre otro durante la interpolación. De esta manera es posible obtener, para un mismo conjunto de datos, dos o más juegos de curvas. Esta flexibilidad permite juzgar el carácter representativo de las curvas: si una variación razonable, por ejemplo, en los pesos aplicados, produce una alteración de las curvas muy importante, hasta modificar las formas por ellas delineadas, se deberá asignar a cualquier juego de curvas obtenido con esos datos y ese procedimiento, una representatividad pobre del campo objeto del trabajo. En otras palabras, y más sencillamente, permite acotar la importancia que se ha de dar a las curvas.

En algunos casos, la grilla básica debe usarse como dato para otro proceso distinto del tratado. En Geología o en Geofísica se presenta esta circunstancia cuando se desea calcular, con polinomios ortogonales, una función de los datos. Si la distribución de éstos es muy irregular se corre el riesgo de que los polinomios "fantaseen" en los vacíos dejados por los datos. El recurso para salvar el inconveniente consiste en aplicar los polinomios, no a los datos de campo, sino a los de una grilla uniforme establecida a partir de aquéllos.

Los programas de trazado aquí descriptos fueron realizados para la Dirección General de Fabricaciones Militares (FM), con vistas a prestar asistencia en los planes de prospección geológica a cargo de dicha empresa. Pertenecen al tipo más simple, o sea que no deben considerarse muy apropiados para tratar superficies topográficas. En líneas generales, el procedimiento utilizado en ellos figura en varias publicaciones (Cañ et al., 1963; Colc et al., 1967), y consiste, brevemente, en hacer pasar planos por los puntos datos, planos cuyos cosenos directores son determinados por los puntos vecinos, mediante un ajuste por mínimos cuadrados. La grilla a la que antes se hizo referencia se superpone sobre los puntos datos y los planos determinados fijan, para las cuatro esquinas de las celdas que resultan ocupadas por un punto dato, los primeros valores interpolados de la función por representar. El resto de los esquineros, es decir, los

pertenecientes a celdas no ocupadas, son evaluados por medio de un procedimiento algo más complicado, ya que cada cruce lleno en vecindad de uno vacío manifiesta su influencia sobre éste en distinta forma, dependiendo la diferencia de tratamiento de la distancia entre punto lleno y punto vacío. Terminada la evaluación de todos los esquineros, se obtiene la grilla completa. Con pequeñas modificaciones y usando más memoria de computadora, es posible tratar también funciones uniformes de tres variables, con lo que podrían resolverse simultáneamente problemas tales como la cubicación de un depósito de mineral o la obtención de un modelo termodinámico.

Con la grilla completa se puede ya proceder a trazar las isopleas. Pero antes la computadora debe recibir indicación de los valores de las isopleas por trazar. Estas indicaciones pueden darse en forma de un valor base y un incremento, o de una función y un incremento. El último caso puede originar, por ejemplo, una distribución logarítmica de las isopleas.

Con los valores de cada isoplea que se desea representar el programa interpola entre los cuatro esquineros de cada celda, para hallar las coordenadas de la sucesión de puntos que constituirá la isoplea. Debido a los ajustes e interpolaciones sufridos, los cuatro esquineros de una celda no resultan, en general, situados sobre un mismo plano, por lo cual las isopleas se calculan como desarrolladas sobre superficies piramidales, cuyos vértices son los centros de cada celda, con valor igual al promedio de las cuatro esquinas (Ver Figura 1). Tras haber ensayado todos los valores posibles dentro de cada celda y todas las celdas dentro de cada columna, los resultados quedan agrupados como una sucesión de quebradas.

El graficador es un aparato que puede desplazar un lápiz u otro elemento trazador sobre un papel, obedeciendo las órdenes que una computadora le transmite directamente o a través de un equipo intermediario. Con un graficador, las columnas de quebradas se dibujan una tras otra y, dentro de la precisión del equipo, coinciden en los límites con las quebradas de las columnas vecinas. El aspecto final de las isopleas no es tan elegante como el obtenido por un dibujante, pero se aproxima bastante cuando el tamaño de las celdas se disminuye lo suficiente. La disminución, sin embargo, se traduce en un aumento muy considerable del tiempo de computadora: doblar la cantidad de celdas por lado, es decir, reducir en un medio el tamaño de las mismas, significa cuadruplicar el tiempo necesario para establecer la grilla.

La mencionada disposición de datos para ser graficados es poco eficiente. Sucede que el graficador debe levantar la pluma y volverla a bajar cuando termina con uno de los pequeños tramos de isoplea y se dispone a iniciar otro. Esta alteración del estado de la pluma es costoso en tiempo. Por ello, el programa cuenta con una opción para construir una isoplea completa a partir de los pequeños tramos contenidos en una celda. Este recurso permite asimismo ejercer otras dos opciones que, sin embargo, aún no están funcionando en la programación: la interpolación de cúbicas sobre cada quebrada, llamadas **splines** (Adams, 1974) y un rotulado inteligente de cada isoplea.

Estas dos opciones, empero, también consumen tiempo de computadora, a cambio del cual sólo se obtendrá el dudoso beneficio de un aspecto más agradable y terminado de las curvas, en un producto que tiene escasa divulgación. Por esta razón, la mayoría de los programas de trazado para Geofísica no

recurren a las cúbicas y se conforman con las quebradas. Resta esperar que los geofísicos también se conformen con ellas.

Los programas trazadores de isopletas fueron incorporados a otro grupo de programas, que calcula y grafica perfiles de polarización inducida (IP).

El método practicado en Fabricaciones Militares es una variante del de frecuencia variable (**frequency domain**), en el cual las observaciones se basan sobre una geometría llamada dipolo-dipolo. El proceso se inicia cuando se reciben en gabinete los formularios completados por el geofísico en campaña. Estos formularios han sido diseñados **ad-hoc** y tienen columnas numeradas para facilitar la tarea de perforar las tarjetas Hollerith (Fig. 3), que son el medio elegido para introducir los datos en la computadora. El procesamiento con ésta no exige, pues, trabajo adicional alguno del geofísico. Cada perfil es numerado y se anota también, en las primeras columnas, la fecha y la hora de la observación, para poder aplicar las calibraciones correspondientes a cada período de trabajo ininterrumpido.

El trabajo de gabinete comprende cálculo y dibujo. El cálculo es muy simple y la ventaja de usar computación no es neta si no se consideran los beneficios marginales, tales como la obtención de listados claros y libres de errores groseros, impresión de resúmenes, realización de ajustes, el cálculo del acoplamiento teórico y, sobre todo, la posibilidad de almacenar los datos y resultados en una cinta magnética, junto con todos los otros medidos en una misma área. Esta última facilidad permite dibujar los perfiles repetidas veces, variando detalles tales como la escala, o formar un archivo integrado con el resto de la Geofísica del lugar.

Los programas de cálculo fueron preparados siguiendo las indicaciones del Ing. Gerd Hoermannsdoerfer, geofísico alemán que colaboró durante varios meses con los geofísicos de FM. La ubicación de los puntos de referencia del perfil (Fig. 4) se fija de acuerdo con los estudios de la institución germana a la que pertenece dicho geofísico.

Respecto de estos puntos de referencia corresponde destacar que el perfil, tal como se lo grafica, no debe entenderse como una verdadera sección recta de las propiedades eléctricas del terreno subyacente, pues cada valor obtenido es una medida de todo el conjunto terreno-electrodos y no tiene por qué ser igual a la medida de la impedancia del material en el punto donde precisamente se lo anota. Todos los autores insisten en que la graficación del perfil IP adoptada es sólo una convención cómoda para sistematizar, interpretar y comparar resultados. No obstante, el tipo de graficación adoptado participa, en cierta medida, de las cualidades de una verdadera sección recta, ya que los valores obtenidos para separaciones de dipolo grandes, y que corresponden a penetraciones más profundas, se ubican más abajo que los que se obtienen con separaciones más pequeñas. Cabe aquí citar a Forwood y Roberts (1963): "... el graficado de los resultados puede, sin embargo, ser frecuentemente contemplado como una carta o sección recta de resistividades y factor metálico, y pueden hacerse evaluaciones razonables en profundidad, posición y tamaño de la zona mineralizada. En la práctica, mineralizaciones causantes de anomalías de IP han sido usualmente localizadas en la primera perforación".

El procedimiento en campaña se inicia con el estaqueo del perfil. Las estacas se colocan a intervalos constantes, siendo este intervalo la "longitud de

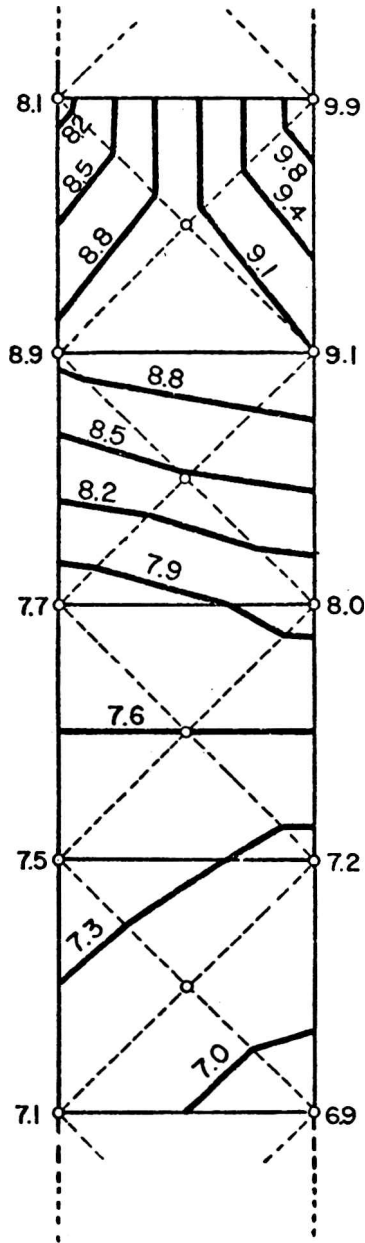


Figura 1: Isopletas resultantes de la interpolación en un sector de una columna de celdas cuadradas.

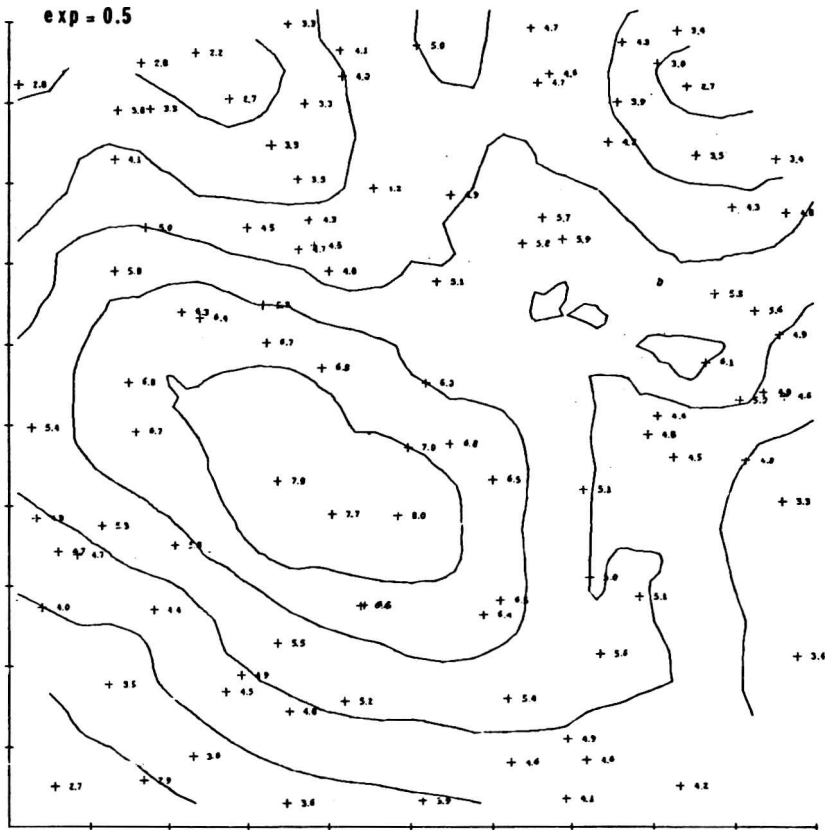


Figura 2: Isopletas derivadas del conjunto de 100 puntos elegidos al azar y publicados por la Universidad de Kansas. Obtenidas con un **plotter** IBM 1627 en línea con una computadora IBM/360 - mod. 40. Tiempo total de proceso: 20 minutos. Tamaño original: 30 x 30 cm. La grilla resultó de 26 celdas por lado.

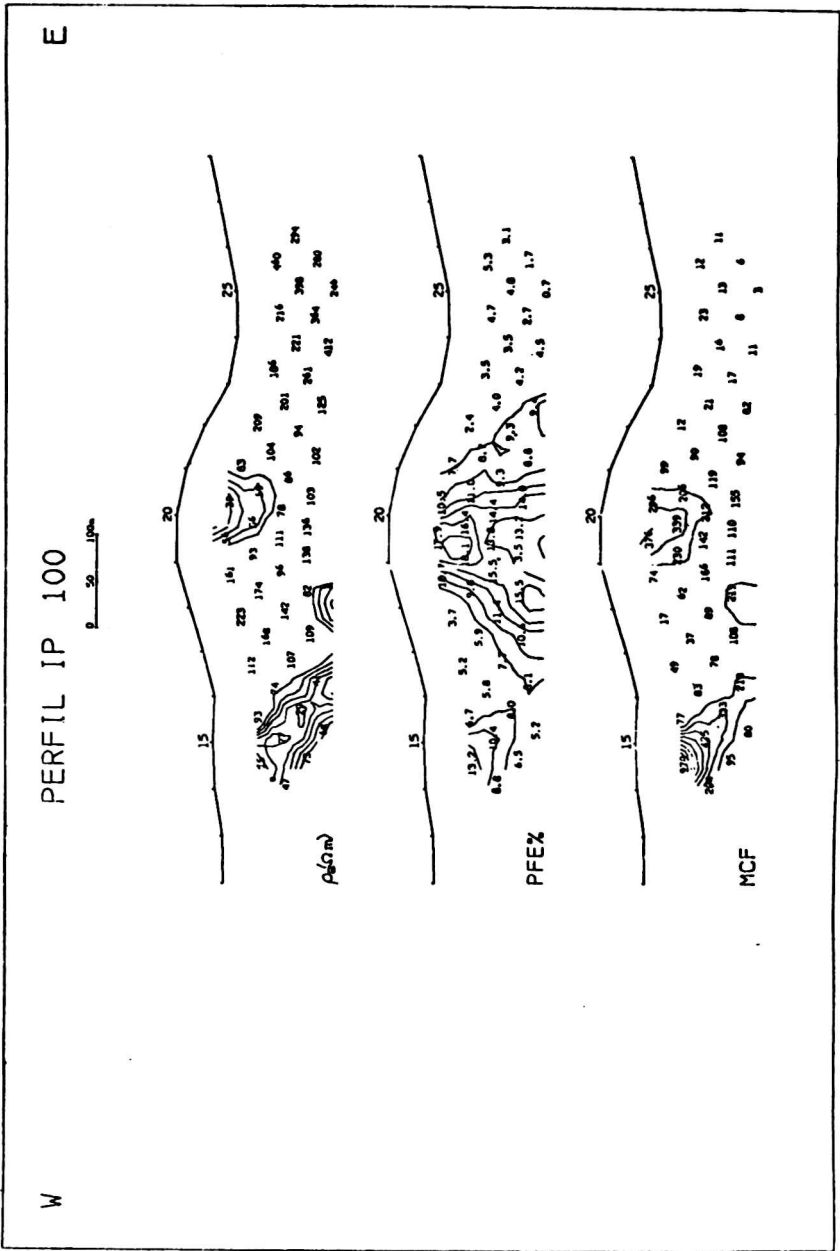


Figura 5: Perfil trazado con un plotter 1627. Tamaño original: 60 x 36 cm.

dipolo" adoptada para el perfil. La medición de resistividad se efectúa inyectando corriente por un dipolo y midiendo la diferencia de potencial en otro. Mediciones a dos distintas frecuencias, una muy baja, casi CC, cuya diferencia de impedancia acusará la polarización del medio, se realizan al mismo tiempo.

Las fórmulas usadas en el programa de cálculo son las siguientes:

$$\rho_{a(H)} = K \frac{U}{I} \quad K = \pi \cdot L \cdot n \cdot (n^2 - 1)$$

$$\rho_{a(U)} = \rho_{a(H)} + \frac{\rho_{a(H)} \cdot \text{PFE} \%}{100}$$

$$\text{PFE} \% = RD_L - RD_H - R_{CAL}$$

$$\text{MCF} = \frac{\text{PFE} \% \cdot 10^3}{\rho_{a(H)}}$$

Además de estas expresiones, el programa utiliza otra para calcular el acoplamiento teórico, derivada por **Geoscience**, cuyo resultado se imprime y puede servir para comparar con los valores observados.

Los valores calculados y corregidos de resistividad, PFE y MCF se anotan en puntos, llamados en la literatura "puntos de referencia", determinados según el esquema ilustrado en la Figura 4. El programa calcula las coordenadas de cada punto de referencia como una función de la ubicación de los dipolos y de las áreas que quedan por abajo o por arriba de la línea que une los puntos medios de ambos.

Algunas facilidades que brindan los programas se citan a continuación:

- a) Trazado de las isonómalas de las tres variables, de acuerdo con varias posibilidades en cuanto a valores por representar (Ver Fig. 5).
- b) Trazado de todos los perfiles de un área con los puntos a distancia adecuada del margen izquierdo, en forma tal que todos queden en posición propia para ser superpuestos y estudiados.
- c) Posibilidad de almacenar en cinta magnética los resultados de todos los perfiles de un área, para poder luego graficar las anomalías en proyección horizontal.

El programa de cálculo necesita unos dos minutos de computadora IBM/360-40 para procesar e imprimir un perfil con 150 observaciones. El programa de trazado insume de tres a cuatro veces más tiempo, debido a que el graficador usado, un IBM 1627, es un periférico sumamente lento. Además, es de poca resolución, característica a la que deben su apariencia "temblorosa" los trazos obtenidos con él. todos los programas fueron escritos en el lenguaje FORTRAN IV.



## BIBLIOGRAFIA

- Adams, J. A., 1974: Cubic spline curve fitting with controlled end conditions. Computer Aided Design, v. 6, n. 1.*
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1971: Systeme d'interprétation gravimétrique ou magnétique assisté par ordinateur.*
- Cain, J. C. y Neilon, J. R., 1963: Automatic mapping of the geomagnetic field Journal of Geophysical Research. v. 68, n. 16.*
- Cole, A. J., Jordan, C. y Merriam, D. F., 1967: FORTRAN II Program for progressive linear fit of surfaces on a quadratic base using an IBM 1620 computer. The University of Kansas.*
- Forwood, P. S. y Roberts, J. B., 1963: The application of induced polarization in the geophysical exploration for metals in Australia. The search for disseminated sulfides.*
- Hallof, P. G., 1957: On the interpretation of resistivity and IP results. Tesis Doctoral. M.I.T. Depto. de Geología y Geofísica.*
- Kraus, K., 1973: A general digital terrain model. Theory and applications. Extracto de Numerische Photogrammetrie. Wichmann Verlag. Karlsruhe.*
- McIntyre, D. B., Pollard, D. D. y Smith, R., 1968: Computer programs for automatic Contouring. The University of Kansas.*
- Olea, R., 1972: Application of regionalized variable theory to automatic contouring. Tesis Doctoral. The University of Kansas.*
- Simpson, S. S., 1954: Least squares polynomial fitting to gravitational data and density plotting by digital computers. Geophysics. v. 19, n. 2.*
- Sumi, F., 1959: Geophysical exploration in mining by induced polarization. Geophysical Prospecting, v. 7.*

## PROYECTO DE LUCHA ANTIGRANIZO

JOSE MIGUEL NUÑEZ

Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Se presenta la metodología general del Proyecto de Lucha Antigranizo, dirigido en la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE). Se describe el método de lucha por aplicar y su fundamentación científica.

Se detallan las investigaciones iniciadas en distintas áreas de la meteorología. Se incluye la descripción del área tecnológica. Se da un diseño del proyecto donde se describe la metodología de la experiencia y la que se habrá de seguir para evaluar los resultados. Se indican las instituciones que participan en el mismo y el área de la participación.

The general methodology of the Hail Suppression Program conducted at the National Commission on Space Research is presented. A description of the method to be applied as well as its scientific grounds is given.

The research activities started in different meteorological areas are described in detail, the description of the technological area being included. A design of the project is given and the methodology of the experiment and the methodology for evaluation of results are described. The participating institutions are listed as well as their respective field of work.

Dadas las características, la magnitud y la complejidad de un proyecto de modificación artificial del tiempo, que además debe considerar la perspectiva de su proyección en escala nacional, debió tenerse en cuenta las investigaciones y experiencias realizadas en el país, los resultados parciales y generales de investigaciones y proyectos realizados en el exterior y, por supuesto, confeccionarse diseños detallados de las experiencias y sus objetivos.

Un proyecto de la naturaleza de la del presente tiene particularidades que exigen:

- a) Desarrollo de investigaciones y trabajos en varios campos de la ciencia y de la tecnología en forma coordinada.
- b) Realización de experiencias de investigación y acción con el fin de disminuir los daños por granizo, conocer más el meteoro y perfeccionar el método aplicado.

Nuestro objetivo principal es poder aplicar un método que, por una parte, pueda tener en cuenta lo más ajustadamente posible las características del fenómeno y su entorno desde el punto de vista espacial y temporal y, por otra, acotar bien el lugar y conocer el estado de la nube (en tiempo real) donde se realizará la acción y el instante en que la misma se llevará a cabo de acuerdo con el desarrollo del proceso.

La precisión de la operación es actualmente aceptable, aun cuando la aplicación de instrumental más perfeccionado (en especial radares) y otras técnicas permitirá aumentar la efectividad del método, al mejorar el conocimiento de los mecanismos intervinientes en los procesos de crecimiento de partículas en las nubes.

La rapidez y precisión en la acción y la estructuración de la misma en cuanto a las celdas graniceras sobre las que se actúa, así como la posibilidad de delimitar geográficamente la zona de defensa y de control, permiten una verificación directa del resultado de la experiencia y la aplicación de simples métodos estadísticos de evaluación, muestran mayor claridad el efecto de la acción en casos individuales y para la temporada.

El diseño del proyecto permite trabajar con la mayor exactitud posible en toda la experiencia, haya o no acción, a través de los siguientes lineamientos: pronóstico, decisión de sembrar, mecanismos intervinientes, con qué vehículos sembrar, cuánto reactivo por celda o celdas, cuándo, dónde introducirlo y cómo controlar físicamente y en tiempo real el efecto, y reiterar la acción si es necesario.

El método por aplicar de modificación artificial de granizadas intenta alterar o cambiar en una dirección dada el proceso del crecimiento del granizo de tamaño peligroso.

Básicamente se acelera la transformación de la fase líquida en sólida disminuyendo la cantidad de agua superfría, iniciando antes el estado de destrucción de la nube y evitando la posibilidad de crecimiento de granizos grandes (mayores de 0,5 cm de diámetro).

Por el momento no es posible expresar de manera cuantitativa todo el proceso, sino sólo una parte. A medida que, a través de modelos numéricos o técnicas observacionales, se lo pueda cuantificar, podremos conocerlo mejor.

Otro de los problemas es pasar de la aplicación de métodos de trabajo o

técnicas empleadas en la investigación en tiempo diferido a tiempo real, para aplicarlas en la acción.

Entendemos que directamente vinculadas con la estructura y los requerimiento del desarrollo del proyecto están las actividades científicas y tecnológicas que llevan a cabo los organismos que se mencionan a continuación.

## INSTITUCIONES PARTICIPANTES Y AREA DE TRABAJO

**CNIE:** Dirección y coordinación general; **Meteorología Sinóptica y Aerología:** Pronósticos, estudios especiales; **Radar-Meteorología:** Determinación de parámetros de nubes precipitantes; **Física y microfísica de nubes:** Crecimiento de partículas, dinámica de cúmulos; **Climatología del granizo:** Estudio del comportamiento del meteoro en la provincia de Mendoza; **Red Observacional:** Planificación y atención; **Instrumental:** Desarrollo y construcción de sensores.

**Universidad Nacional de Córdoba: Complejo cohetes:** Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en colaboración con el Instituto Ingeniería Aeronáutica y Espacial; **Reactivos Químicos:** Investigación y experimentación: Facultad de Ciencias Químicas; **Campo eléctrico de los elementos de las nubes: Instituto de Matemáticas, Astronomía y Física; Comisión Nacional de Estudios Geoheliósficos (CNEGH):** Electricidad de tormentas: Depto. de electricidad atmosférica.

**Universidad Nacional de Cuyo: Radar FPS-18:** Modificación; **Comunicaciones:** Diseño del sistema y construcción de equipos; **Red Observacional:** Construcción de equipos e instalación; **Base experimental:** Confección de planos y presupuesto.

**Universidad Nacional del Sur: Cohetes teleguiados:** Depto de Física.

**Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Estructura del granizo:** Instituto de Física de la Atmósfera; **Información meteorológica normal y especial:** Dirección de Servicios Públicos.

## DISEÑO DEL PROYECTO

Las tareas se realizan en dos etapas:

- 1) Investigación
- 2) Investigación y experimentación.

En la primera se realizarán las investigaciones necesarias para la aplicación del método y se desarrollará la tecnología adecuada al mismo fin.

Se trabajará con un área de estudios de 40 km de radio con centro en San Martín (Mendoza). En la segunda etapa se incluirá un área de defensa de radio 18 km, con el mismo centro que la anterior. El resto de la zona norte cultivada de la provincia se tomará como área de control. Se utilizará el método de siembra por traza de reactivo químico con cohetes.

### Esquema de Evaluación del Método Aplicado

El método aplicado se basa en el conocimiento actual de los micro y macro

mecanismos de desarrollo de las tormentas graniceras en el tipo de datos que puedan obtenerse y elaborarse de ellas en forma operativa, y también en la posibilidad de realizar la acción artificial sobre nubes de una determinada probabilidad granicera, en tiempo actual.

Se compararán por temporada los valores de: superficies afectadas y daños porcentuales de la zona de defensa y los correspondientes de la de control tomándose, en este último caso y para las superficies afectadas, una zona cultivada de valor similar en valor medio al de la de defensa.

La razón  $SC/SD$ <sup>1</sup> se aproxima a 1 para varios años antes de la defensa (15 años de datos: 1952-62, 1967-72). Lo mismo sucede para la razón  $DC/DD$ <sup>2</sup>.

Cuando se realicen las temporadas de defensa, la razón entre las superficies afectadas será fundamentalmente un indicador del número de veces en que se consiguió disminuir el daño. Sobre la base de la elección de las zonas y de nuestro conocimiento de la conducta de las tormentas en la región experimental, un año con poco granizo lo será para toda la región y también zonas vecinas; no se determinaron zonas preferenciales pero sí particularidades estacionales.

Toda nube con una determinada probabilidad de ser granicera se acerque o se desarrolle en la zona de defensa será sembrada y controlada.

Cuando se pueda determinar con precisión la densidad y el tamaño de las piedras, que de una nube determinada, llegarían al suelo, se podrán ajustar las técnicas de supresión del granizo y mejorar las actuales.

<sup>1</sup> SC: Superficie dañada en zona de control.

SD: Superficie dañada en zona de defensa.

<sup>2</sup> DC: Daño porcentual de la zona de control.

DD: Daño porcentual de la zona de defensa.

## LA CONCENTRACION DE NUCLEOS HIGROSCOPICOS GIGANTES DE SULFATOS Y CLORUROS EN EL AEROSOL ATMOSFERICO DE BUENOS AIRES<sup>1</sup>

EMILIO A. CAIMI  
Departamento de Meteorología,  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires

Mediante el método de impacto sobre gelatinas sensibilizadas se determinaron en 26 oportunidades, durante el verano 1972-73, las concentraciones de partículas de sulfatos y de cloruros presentes en el aerosol atmosférico de la ciudad de Buenos Aires.

Salvo para partículas iguales o mayores que 6 micrones o gotas iguales o mayores que 11 micrones de radio, para las que se encontraron concentraciones del mismo orden, los valores de concentración de partículas de cloruros prevalecen sobre los de sulfatos de manera muy marcada.

Las concentraciones mayores de partículas de cloruros se obtuvieron para tamaños comprendidos entre 0,6 y menores que 2 micrones de radio (gotas de solución saturada entre 1,2 y menores que 3,5 micrones). Los valores de concentración son muy variables para ambas especies de partículas, pero el rango en que varían las concentraciones de cloruros es mucho mayor y llega hasta tres órdenes de magnitud.

By means of impact methods on sensitized gelatins it has been determined on twenty six occasions during the summer of 1972-73 the concentration of chloride and sulphate giant particles present in the atmospheric aerosol of the Buenos Aires City.

Except for those particles that are equal to or greater than 6 microns or droplets equal to or greater than 11 microns in radius, for wich it has been found concentrations of the same order, the concentration values of chloride particles prevail over those of sulphates remarkably.

The greatest concentrations of chloride particles were obtained for sizes between 0,6 and 2 microns of radius (droplets of saturated solutions within 1,2 and less than 3,5 microns).

The concentration values for both sorts of particles are greatly variable but the range in which chloride concentrations changes is by far larger and reaches three orders of magnitude.

<sup>1</sup> Subsidio del Fondo Especial para la Investigación Científica de la Universidad Nacional de Buenos Aires, Res (CS) n. 1440/70.

## INTRODUCCION

Es algo bien establecido que la condensación del vapor de agua en la atmósfera se produce por la presencia en el aerosol de la misma de ciertas partículas de sales solubles o que tienen en su constitución sales solubles tales como el cloruro de sodio o el sulfato de amonio, capaces de condensar el vapor aun con humedades relativas menores que 100% (Mason, 1971; Garland, 1969). Dichas partículas son conocidas con el nombre de núcleos de condensación o higroscópicos.

En especial las partículas de sal marina y las de sulfatos solubles presentan un interés muy grande en el estudio de los procesos de precipitación de aquellas nubes cuyos topos se encuentran a niveles en que la temperatura no es suficientemente baja para que se pueda formar la fase hielo. En efecto, los núcleos de condensación cuyo radio es mayor que un micrón constituyen los llamados núcleos gigantes, sobre los cuales pueden formarse las gotas grandes iniciadoras del proceso de colisión-coalescencia y que conduce a la formación de gotas de lluvia.

Partículas de cloruro de sodio y de sulfato de amonio con una masa de  $10^{-12}$  gramos comienzan a condensar vapor de agua con humedades relativas menores de 80% y alcanzan un tamaño crítico con sobresaturaciones muy pequeñas, a partir del cual la gota formada crece espontáneamente si la atmósfera se mantiene saturada.

Desde el punto de vista de la física de las nubes, los sulfatos y los cloruros, por el papel que desempeñan, forman una parte importante del aerosol atmosférico. Heard y Wiffen (1969) demostraron en muchas ocasiones que casi todas las partículas presentes en las brumas son de sulfato de amonio; Eggleton y Aitkins (1969) encontraron una correlación inversa entre la visibilidad en el aire y su contenido de sulfato de amonio.

Según Georgii (1972) aún se conoce muy poco sobre la naturaleza química de los núcleos activos que forman las nubes, aunque hay muchos indicios que señalan al sulfato de amonio como uno de los núcleos predominantes. Existen evidencias cada vez mayores, según el mismo autor, de que las partículas de sulfato tienen un papel muy activo como agentes de la condensación del vapor de agua, incluso en el aire que se halla sobre los océanos.

Medidas de la concentración de núcleos gigantes de sulfatos y de cloruros efectuadas en distintas regiones del hemisferio norte indican una gran variabilidad de las mismas (Durbin et al., 1959; Meszaros, 1964; Podzimek et al., 1959; Vittori, 1956).

En nuestro país se hicieron medidas de la concentración de núcleos higroscópicos gigantes y su distribución a distintos niveles durante las experiencias efectuadas en Mendoza entre 1958 y 1964 (Pena et al., 1968), como parte del plan de investigaciones para la supresión del granizo, pero en esa oportunidad no se determinó la naturaleza química de los mismos sino que se los consideró a todos indistintamente como de cloruro de sodio. En 1970 se hicieron medidas de las concentraciones de núcleos gigantes de cloruros a distintos niveles en Buenos Aires (Caimi et al., 1970).

En el trabajo que aquí se presenta se ha fijado como objetivo estudiar las características de las concentraciones de núcleos gigantes de cloruros y simultá-

neamente de sulfatos que se manifiestan en el aerosol atmosférico de la ciudad de Buenos Aires.

### TOMA DE LAS MUESTRAS

Las partículas del aerosol fueron captadas por el método de impacto sobre películas de gelatinas sensibilizadas. Para tal fin se instalaron al aire libre, durante el verano 1972-73, dos impactores en cascada "Casella" de 4 etapas a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo y en las proximidades de la costa del Río de la Plata. Ambos impactores funcionaron simultáneamente durante la toma de las muestras, utilizándose uno de ellos para el reconocimiento de partículas de sulfatos y el otro para las de cloruros.

Una característica de estos instrumentos es que en cada etapa captan partículas con una eficacia del ciento por ciento a partir de un cierto tamaño y, si la densidad es de un gramo por centímetro cúbico, la primera etapa capta con esa eficiencia partículas de diámetro igual o mayor que 22 micrones; la segunda etapa a partir de los siete micrones, la tercera desde 2,2 y la cuarta desde 0,7 (Orr et al., 1970).

Según Mason (1971), los aerosoles captados en campo abierto consisten de partículas sólidas pequeñas y en parte de gotitas de solución que han permanecido líquidas aun con humedades relativas tan bajas como 40 ó 50%. Cabe pensar pues que, dadas las humedades relativas comunes en Buenos Aires, las partículas captadas e identificadas luego como sulfatos o cloruros por la reacción química producida en la gelatina eran en realidad gotitas de solución. En ese caso, suponiendo que las gotitas fuesen de solución saturada de cloruro de sodio o de sulfato de amonio, los núcleos higroscópicos llamados gigantes habrán quedado captados casi en su totalidad en las tres primeras etapas de los impactores. Un simple cálculo muestra que, para esas condiciones, las gotas de solución saturada de cloruro de sodio se habrán formado sobre partículas de un radio mínimo igual a 0,6 micrones, mientras que las de sulfato de amonio lo hicieron sobre partículas de 0,8 micrones de radio.

### IDENTIFICACION DE LAS PARTICULAS

La identificación de las partículas se logra mediante el agregado a la gelatina de reactivos químicos específicos para cada suerte de las mismas. Esta técnica fue empleada por Fedele y Vittori (1953) y por Lodge y Fanzo (1954), y se basa en una reacción fisicoquímica en la gelatina descrita por primera vez en 1896 por Liesegang (1898).

Algunas sustancias solubles, ya sea en forma de partículas o de pequeñas gotas de solución muy concentrada, reaccionan con las sustancias disueltas en la gelatina; si sobre un portaobjetos de vidrio se extiende una delgada película de esa gelatina, toda partícula o gota de solución de la sustancia por identificar que choque sobre la misma dará un precipitado, producto de la reacción química, que se distribuye en forma de anillo alrededor del punto de impacto; son los llamados anillos de Liesegang.



Para la preparación de las gelatinas se siguieron los métodos aconsejados por Vittori (1956) y por Lodge y Fanzoi (1954), con algunas variantes en lo referente a la concentración de los reactivos como resultado de ensayos previos de laboratorio con aerosolos de gotas de solución de cloruro de sodio y de sulfato de amonio.

Para la identificación de sulfatos se utilizó una película de gelatina preparada de la siguiente manera: en un pequeño vaso de precipitados se colocan dos gramos de gelatina en polvo purificada y 5 mililitros de agua destilada. Se deja hidratar la gelatina y se coloca todo en una estufa a  $75^{\circ}\text{C}$  hasta la disolución total de la gelatina. Mientras el líquido se mantiene caliente se agregan 1,5 gramos de cloruro de bario y se agita hasta que se disuelva. Se lleva nuevamente a estufa durante unos 10 minutos y por último se agregan 5 mililitros de glicerina y dos gotas de ácido clorhídrico concentrado. Se agita para homogeneizar y se deja enfriar hasta que el sistema gelifique.

Sobre cada plaqueta de vidrio por colocar en el impactor se extendió una delgada película de esa gelatina, empleando para ello una varilla cilíndrica de vidrio de 3,5 milímetros de diámetro. Para poder revelar mejor las partículas de sulfatos captadas se colocaron las plaquetas sobre las que se depositaron las muestras en una atmósfera saturada de vapor de agua; de esa manera los anillos de sulfato de bario se ponen más en evidencia. Un trozo de papel de filtro empapado en agua y colocado dentro de una cápsula de Petri junto a las muestras es lo más adecuado.

En cuanto a la gelatina para la identificación de cloruros se prepara colocando en un pequeño vaso de precipitados dos gramos de gelatina en polvo purificada y 10 mililitros de agua destilada. Se deja en estufa a  $75^{\circ}\text{C}$  hasta la disolución total de la gelatina y mientras se mantiene caliente se agregan 0,5 gramos de nitrato de plata y una gota de ácido nítrico diluido 1:1 Finalmente, se adicionan 5 mililitros de glicerina y se agita hasta la disolución del nitrato de plata y la obtención de una solución homogénea. Se deja enfriar y se preparan los extendidos de gelatina en la misma forma que se describió para identificar los sulfatos.

Una vez ubicadas las plaquetas en sus respectivos impactores, se los hizo funcionar en forma simultánea.

La identificación de las partículas debe hacerse por observación microscópica de las muestras captadas. En las Figuras 1, 2 y 3 se ve el aspecto de los anillos formados en la gelatina alrededor de partículas de sulfatos y de cloruros según la técnica que se acaba de describir.

Es de hacer notar que, debido a la distinta naturaleza de estructura y de formación de los precipitados de sulfato de bario y de cloruro de plata, la identificación de cloruros resulta sumamente fácil para las muestras recogidas en las tres primeras etapas del impactor. Ello se debe al color pardo rojizo sobre fondo amarillo que toma el disco formado alrededor de la partícula o gota después de ser expuesto un corto tiempo a la acción de la luz. Dicho color tiene como causa la descomposición fotoquímica del cloruro de plata formado.

Para las partículas captadas en la cuarta etapa la identificación se torna dificultosa debido al pequeño tamaño de los anillos, lo que hace necesario el empleo de objetivos de mucho aumento. Esta consideración vale también cuando se busca identificar partículas de sulfatos.

Esta tarea es sumamente laboriosa en cualquiera de las etapas, dado que el disco o anillo de sulfato de bario no da reacción coloreada y sí puede presentar aspectos muy variados como los que se observan en la Figura 4. Se hicieron ensayos agregando rhodizonato de sodio o permanganato de potasio a la gelatina, pero sin obtener una mejora sensible en el método.

Según Podzimek y Cernoch (1961) el aspecto simple de algunos anillos se debe a que las partículas captadas son gotas de ácido sulfúrico que se encuentran a menudo unidas a corpúsculos de hollín, cenizas u otros de naturaleza insoluble.

A veces, aun tratándose de aerosoles de sulfatos solubles, se forman anillos muy ténues, difíciles de distinguir y que exigen una buena experiencia en su observación para identificarlos.

Se determinaron concentraciones de núcleos gigantes de sulfatos y cloruros en veintiséis oportunidades entre el 15 de diciembre de 1972 y el 1 de febrero de 1973. En la Tabla 1 están sintetizadas las características más singulares de los valores de concentración obtenidos.

## CONCLUSIONES

De los datos obtenidos en nuestras mediciones se deduce que en el aerosol de Buenos Aires, en el lugar y en las condiciones en que se efectuaron las determinaciones, la concentración de partículas gigantes de cloruros prevalece sobre la de sulfatos de manera muy preponderante.

Solamente en el caso de las partículas captadas en la primera etapa las concentraciones llegan a ser del mismo orden. Este resultado probaría que las partículas de sulfatos pueden desempeñar un papel tan importante como las de cloruros en la formación de las gotas grandes de las nubes necesarias para la iniciación del proceso de lluvia por coalescencia.

A medida que los tamaños decrecen la concentración de partículas de cloruros aumenta en forma muy pronunciada, no así la de sulfatos. Las máximas concentraciones de cloruros se encuentran en el rango de 0,6 a 2 micrones de radio para partículas, o de 1,2 a 3,5 micrones para gotas, y llegan a valores de  $10^6$  por metro cúbico de aire. Esto concuerda con observaciones hechas por Rau en Alemania, quién ya había notado que las concentraciones de cloruros aumentan a medida que decrecen los tamaños, (Rau, 1955).

En nuestro caso esa tendencia queda interrumpida para las concentraciones halladas en la última etapa del impactor tanto para cloruros como para sulfatos; los valores hallados para esos tamaños (los más pequeños captados por el instrumento) son generalmente menores con respecto a los de la tercera etapa. Esto se explica puesto que los tamaños comprendidos entre 0,1 y 0,5 micrones de radio no pueden ser evaluados con el microscopio, ya que el límite de resolución de éste se halla alrededor de los 0,3 micrones de radio (Junge, 1963).

Para el caso de partículas de cloruros vale también la observación hecha por Simpson de que aún en aire marítimo las partículas de sal marina no son un constituyente importante del aerosol atmosférico dentro del rango de unas pocas décimas de micrón de radio (Junge, 1963).

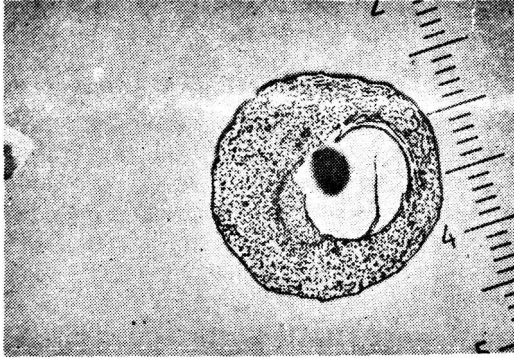
Otro aspecto que merece destacarse es la gran variabilidad de los valores de concentración, especialmente en lo concerniente a las partículas de cloruros, que

oscila entre  $10^3$  y  $10^6$  núcleos por metro cúbico; la concentración de sulfatos tiende en cambio a ser más constante y nunca sobrepasa el valor de  $2 \times 10^3$ .

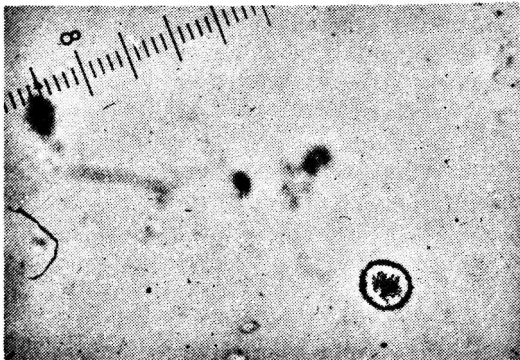
Sería de mucho interés investigar si existe una correlación entre las situaciones meteorológicas y la historia de las masas de aire presentes en el momento de la toma de muestras, con las variaciones de concentración observadas. De existir dicha correlación tal vez se podría obtener alguna información sobre las posibles fuentes de partículas. Esto será motivo de un trabajo posterior.

### **AGRADECIMIENTOS**

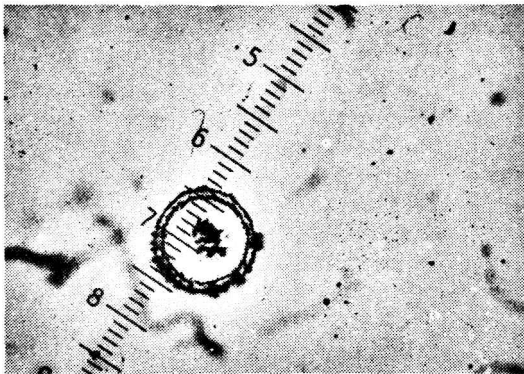
El autor agradece la valiosa colaboración de la señorita Noemí Ploper por su intervención tanto en la toma de las muestras como en el reconocimiento, identificación y recuento de las partículas.



a)



b)



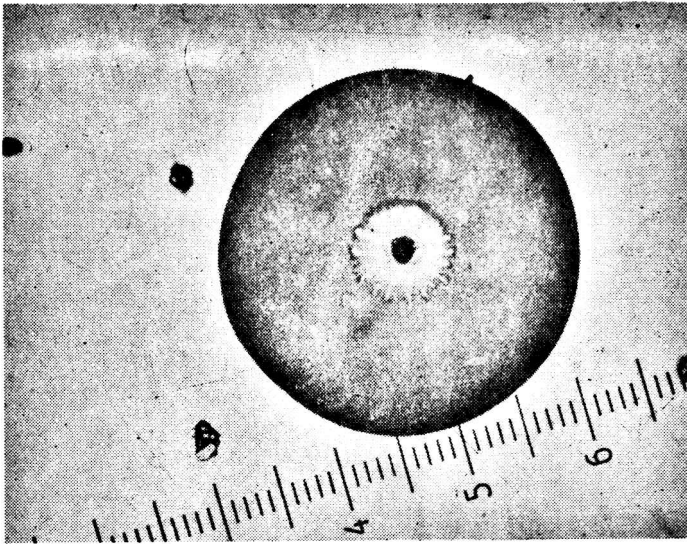
c)

**Figura 1: Distintos aspectos de anillos de Liesegang debidos a partículas de sulfatos del aerosol atmosférico.**

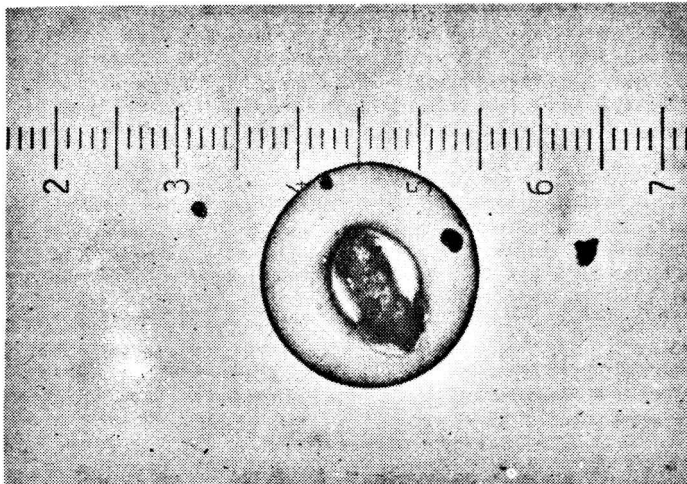
**a)** Partícula captada en la primera etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala equivale a 10 micrones. Se trata posiblemente de una partícula mixta cuya parte no soluble quedó en el lugar del impacto.

**b)** Partícula captada en la segunda etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala equivale a 2,5 micrones. Se trata quizás de una gota de ácido sulfúrico.

**c)** Partícula captada en la primera etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala equivale a 2,5 micrones.



a)

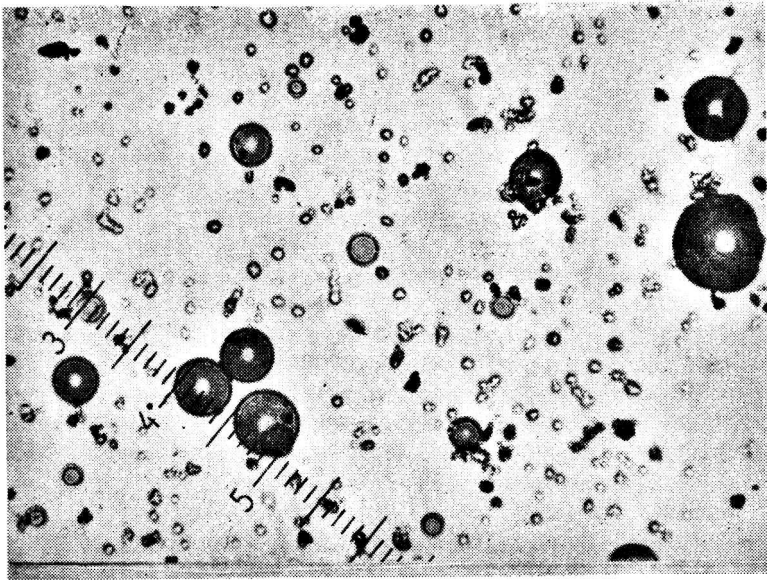


b)

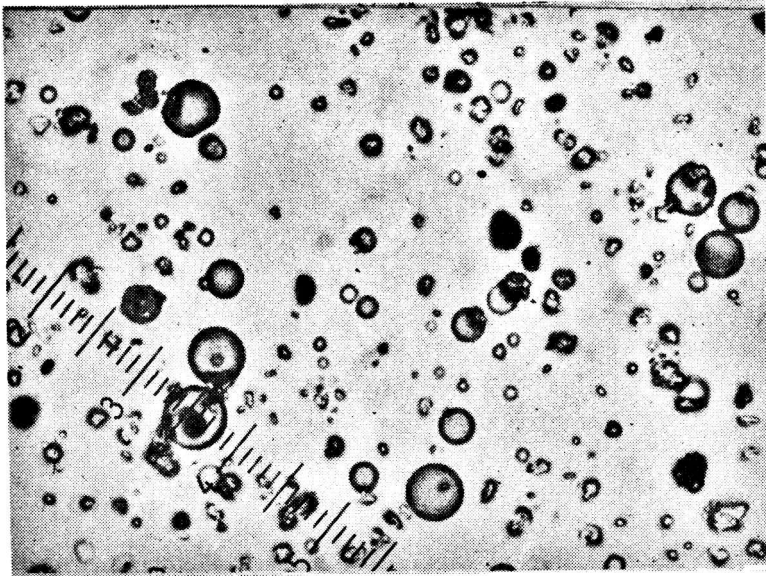
Figura 2: Distintos aspectos de anillos de Liesegang debidos a partículas de cloruros del aerosol atmosférico.

a) Partícula captada en la primera etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala equivale a 10 micrones.

b) Partícula captada en la primera etapa del impactor. Se trata de una partícula mixta de la que se ve la parte insoluble. Cada división pequeña de la escala equivale a 10 micrones.



a)

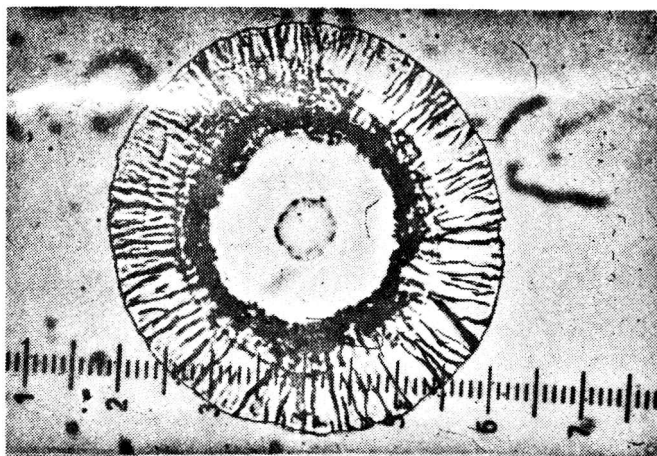


b)

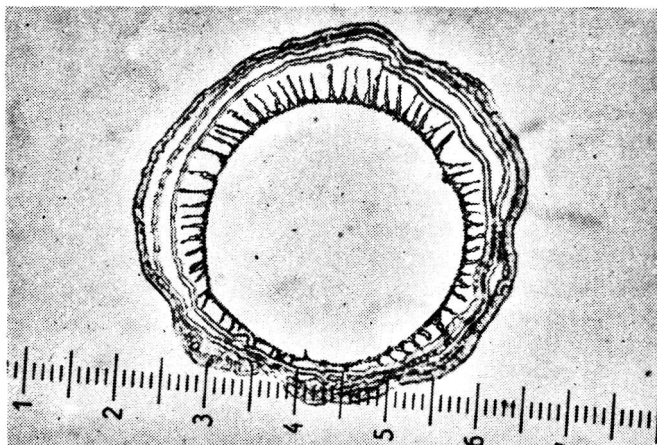
Figura 3: Anillos de Liesegang formados por partículas de cloruros del aerosol atmosférico.

a) Partículas captadas en la segunda etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala corresponde a 10 micrones.

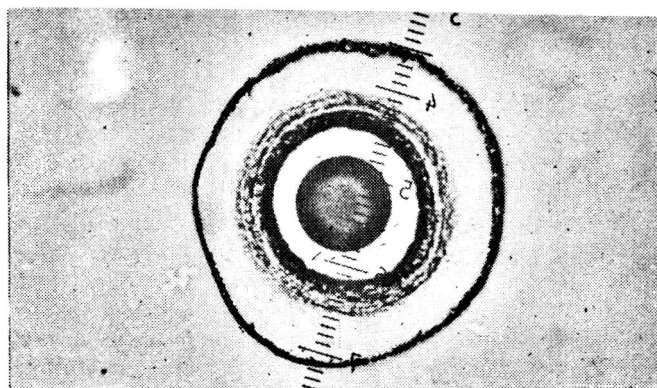
b) Partículas captadas en la tercera etapa del impactor. Cada división pequeña de la escala corresponde a 2,5 micrones.



a)



b)



c)

Figura 4: Diversos aspectos de anillos de Liesegang formados alrededor de gotas de solución de sulfato de amonio de un aerosol experimental y captados en la primera etapa del impactor.

Tabla 1

## CONCENTRACION DE PARTICULAS POR METRO CUBICO DE AIRE

Radio (micrones)	Naturaleza	Valores máximos	Valores mínimos	Valores más frecuentes
gotas: $r \geq 11$ partículas: $r \geq 6$	sulfatos	$1,3 \times 10^3$	< 6 (a)	$10 < N < 10^2$
	cloruros	$3,4 \times 10^3$ (1) $2,0 \times 10^3$ $1,5 \times 10^3$ $1,0 \times 10^3$	< 6 (2)	$10^2 < N < 10^3$
gotas: $3,5 \leq r < 11$ partículas: $2,0 \leq r < 6,0$	sulfatos	$1,1 \times 10^3$ 930 720	< 8 (b)	$10^2 < N < 10^3$
	cloruros	$7,0 \times 10^5$ $5,7 \times 10^5$ $1,7 \times 10^5$	57 73	$10^3 < N < 10^5$
gotas: $1,2 \leq r < 3,5$ partículas: $0,6 \leq r < 2,0$	sulfatos	$1,8 \times 10^3$ $1,0 \times 10^3$ 880	< 16	$50 < N < 10^3$
	cloruros	$2,0 \times 10^6$ $1,5 \times 10^6$ $1,4 \times 10^6$ $1,0 \times 10^6$	660	$10^3 < N < 10^6$
gotas: $0,4 \leq r$ partículas: $0,2 \leq r$	sulfatos	$1,5 \times 10^3$ $1,2 \times 10^3$ $1,0 \times 10^3$ 780	< 23 (c) 23 (d)	$23 < N < 100$
	cloruros	$6,3 \times 10^5$ $6,0 \times 10^5$	280	$10^3 < N < 5 \times 10^5$

(1): La fecha de la concentración máxima de sulfatos coincide con la del máximo de cloruros.

(2): La fecha del mínimo coincide con uno de los mínimos de concentración de sulfatos.

(a): Valor obtenido en 3 oportunidades

(b): " " " 2 "

(c): " " " 4 "

(d): " " " 5 "



## BIBLIOGRAFIA

- Caimi, E. y Flores, A., 1970: *Núcleos gigantes de sal en la baja atmósfera del Gran Buenos Aires. Meteorológica*, v. 1, n. 2.
- Durbin, W. G. y White, G. D., 1959: *Measurements of the vertical distribution of atmospheric chloride particles. Tellus*, v. 11.
- Eggleston, A. E. J. y Aitkins, D. H. F., 1969: *The chemical composition of atmospheric aerosol on Teeside and its relation to visibility. Atmospheric Environment*, v. 3.
- Fedele, D. y Vittori, O. A., 1953: *Determinazione delle particelle di cloruro nell'atmosfera e metodi di misura. Rivista di Meteorologia Aeronáutica*, v. 13 n. 4.
- Garland, J. A., 1969: *Condensation on ammonium sulphate particles and its effect on the visibility. Atmospheric Environment*, v. 3.
- Georgii, H. W., 1972: *Problems of cloud and condensation nuclei research. International Cloud Physics Conference. Londres.*
- Heard, N. J. y Wiffern, R. D., 1969: *Electron microscopy of natural aerosols and the identification of particulate ammonium sulphates. Atmospheric Environment*, v. 3.
- Junge, Ch. E., 1963: *Air Chemistry and Radioactivity. International Geophysics Series, Academic Press, Nueva York.*
- Liesegang, R. E., 1898: *Chemical reactions in gels. Dusseldorf.*
- Lodge, J. P. y Fanzoi, H. M., 1954: *Extension of the gelatin method for the detection of micron-sized particles. Analytical Chemistry*, v. 26, n 11.
- Mason, B. J., 1971: *The physics of clouds, Oxford, Clarendon Press.*
- Meszaros, E., 1964: *Repartition verticale de la concentration des particules de chlorures dans le bas couches de l'atmosphère. Jr. de Recherches Atmosphériques*, v. 1.
- Orr, C. y Dallavalle, J. M., 1960: *Fine particle measurement, The Macmillan Company. Nueva York.*
- Pena, J., Caimi, E. e Iribarne, J., 1968: *Concentración de núcleos higroscópicos gigantes en Mendoza, Contribuciones Científicas, Serie Meteorología*, v. 2, n. 2, Fac. de Cs. Ex y Nat. UBA.
- Podzimek, J. y Cernoch, I., 1959: *Measurement of the concentration of giant condensation nuclei from chlorides in the lower levels of the atmosphere. Geofys. sbornik NCSAV*, v. 96. Praga.
- Podzimek, J. y Cernoch, I., 1961: *Measurements of the concentration of giant condensation sulphate nuclei in the lower levels of the atmosphere. Travaux de l'Institut Géophysique de l'Académie Tchecoslovaque des Sciences*, n. 161.
- Rau, W., 1955: *Groesse und Haeufigkeit der Chloridteilchen im kontinentalen Aerosol und ihre Beziehungen zum Gefrierkerngehalt. Meteorol. Rundschau*, v. 8.

## **CICLOGENESIS, MOVIMIENTO Y DISTRIBUCION DE DEPRESIONES EN LOS OCEANOS ATLANTICO Y PACIFICO SUR DURANTE EL PERIODO DE DICIEMBRE DE 1969 A NOVIEMBRE DE 1970<sup>1</sup>**

**OMAR RAUL RIVERO y MARIA LUZ DUARTE DE LLORET**  
Servicio Meteorológico de la Armada Argentina

Se muestran cartas indicando la posición de ciclogénesis, trayectorias de ciclones al nivel del mar e isolíneas de paseje de ciclones mensuales y estacionales para áreas marítimas del Pacífico y Atlántico Sur. Las mismas han sido realizadas sobre la base de las cartas que, con información convencional y provista por satélites meteorológicos, fueron analizadas en el Proyecto ASPAS.

Charts indicating the position monthly and seasonal, of cyclogenesis, the tracks followed by cyclones at sea level and isolines on the passage of cyclones, for maritime areas of the South Pacific and Atlantic Oceans, are given. These have been prepared on the basis of charts which, with conventional information and that provided by meteorological satellites, were analyzed in the ASPAS Project.

<sup>1</sup> Trabajo en prensa por ser editado por el Servicio de Hidrografía Naval.



## **PLANES METEOROLOGICOS INTERNACIONALES Y SU RELACION CON LA ARGENTINA**

**CLAUDIO P. MARTINEZ**  
Servicio Meteorológico Nacional

Entre los planes meteorológicos internacionales se destacan dos, que son los correspondientes a los Programas de la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) y al Global Atmospheric Research Program (GARP). Se hace una breve descripción histórica de su origen y luego se describen sus características, considerando en forma más extensa lo que respecta al Programa del GARP. Finalmente, se destaca la significación que ciertos aspectos del programa del GARP tienen para el país.

The World Weather Watch, and the Global Atmospheric Research Program (GARP) programs are two of the most outstanding international meteorological plans. Their historical origin and features are briefly reviewed in a descriptive form, giving a somewhat more extensive treatment to the GARP program. Finally, particular emphasis is given to the significance that certain GARP programs aspects have for this country.

## CONSIDERACIONES GENERALES

No se ha de hacer referencia a todos los planes meteorológicos internacionales sino a los dos que son, fuera de toda duda, los más importantes y a su vez complementarios entre sí. Los planes que se considerarán son los que se han concretado por medio de los Programas de la VMM y el GARP; el nombre de éste último es universalmente aceptado y responde a la sigla en inglés de la expresión Programa Mundial de Investigación Atmosférica.

La realización de estos dos programas tiene en su origen un inspirador común, que es la Academia Nacional de Ciencia de los EE.UU., la que en 1961 produjo un informe al respecto. Las ideas contenidas en este informe surgieron de lo resuelto por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1961 sobre cooperación internacional para el uso pacífico del espacio, teniendo en cuenta el marcado progreso que para la ciencia y la tecnología meteorológicas se había abierto por los avances en la ciencia y la tecnología espacial. Convencida de que sobre la base de la cooperación internacional las investigaciones meteorológicas y sus aplicaciones lograrían beneficios que alcanzarían a todo el mundo, la mencionada Academia recomendó a todos los Estados Miembros, a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y a otras agencias especializadas un rápido y comprensivo estudio a la luz del desarrollo de la actividad espacial.

Se expresa así el objetivo de promover un avance en las ciencias atmosféricas y en la tecnología, de modo de conseguir un mayor conocimiento de las bases físicas que afectan al clima, la posibilidad de lograr la modificación artificial del tiempo en gran escala, desarrollar las capacidades existentes de pronosticar el tiempo y ayudar a los Estados Miembros a hacer un uso efectivo de tales capacidades.

Tomando en consideración la Resolución citada, la OMM invitó al Dr. Wezler de EE.UU. y al académico Bugaev de la Unión Soviética para que elaboraran los lineamientos de un programa sobre la base de las ideas expuestas; entre marzo y abril de 1962 ambos redactaron un informe en el que se proponía la creación de la VMM.

Los problemas de cooperación internacional para el uso pacífico del espacio exterior fueron nuevamente discutidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1962, y se adoptó la Resolución 1802, la cual convino en recomendar que la OMM, en consulta con otras agencias de las Naciones Unidas y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, desarrollara en gran detalle un plan de expansión fundamentalmente relacionado con el fortalecimiento de los servicios meteorológicos y la actividad de investigación, poniendo particular énfasis en el uso de los satélites meteorológicos.

La Organización de las Naciones Unidas, a través de su Resolución 1802, esbozó dos líneas de acción muy próximas una de la otra. Primero, la OMM debía desarrollar, dentro del marco que le concierne, el concepto de la Vigilancia Meteorológica Mundial. Segundo, el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), por medio de la Unión Geodesia y Geofísica, conduciría a la formulación de un programa integrado de investigación. Así fue como el Cuarto Congreso Meteorológico Mundial aprobó, en 1963, el concepto de la VMM.

En cumplimiento de la invitación formulada por las Naciones Unidas al

CIUC y a la OMM, estos organismos convinieron en realizar el Programa Mundial de Investigación Atmosférica con carácter de empresa común.

Es decir, que los Programas del GARP y la VMM tienen un origen solidario y ambos han sido posibles por circunstancias que también les son comunes. Como se expresó con anterioridad, ambos programas se complementan y, como se verá, puede considerarse que se realimentan mutuamente.

## EL PROGRAMA DE VIGILANCIA METEOROLOGICA MUNDIAL

En esencia, la VMM es la operación de un servicio meteorológico mundial en el cual se suman los esfuerzos de todos los países para que, sobre la base de una coordinación ejemplar, se pueda obtener un servicio óptimo con una inversión mínima. La finalidad fundamental de la VMM es conseguir que todos los países obtengan la información meteorológica que requieren para las necesidades normales y las de investigación.

Los elementos fundamentales que integran la VMM son los siguientes:

- Sistema Mundial de Observación (SMO)
- Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT)
- Sistema Mundial de Elaboración de Datos (SMED)

Cada uno de los sistemas mencionados puede describirse esquemáticamente así:

El Sistema Mundial de Elaboración de Datos tiene como propósito el que todos los países tengan acceso a la información elaborada de los datos provistos por el SMO. Las dos características fundamentales de las necesidades que debe satisfacer el SMED están dadas por la naturaleza de la aplicación de la información, y éstas son: **a)** para trabajo de aplicación inmediata, para lo cual es esencial que la información sea recibida rápidamente y en forma coordinada, y **b)** para propósitos de investigación, en los cuales no suele ser de vital importancia que la información sea recibida y elaborada sin demora, aun cuando la misma debe ser accesible en forma conveniente. Teniendo en cuenta la diferencia en el tiempo en que la información debe ser elaborada, ésta ha sido dividida de manera muy general y se ha dado en denominarla, respectivamente: uso en tiempo real y uso en tiempo diferido.

Para cumplir estos propósitos se ha integrado un sistema de Centros Meteorológicos Mundiales (CMM), Regionales (CMR) y Nacionales (CMN), pretendiendo que los mismos estén equipados, en el más alto grado posible, con las facilidades modernas, incluidas computadoras de alta velocidad por lo menos en el nivel de CMR. Los CMM están en Melbourne, Moscú y Washington; hay además veintitrés CMR, uno de ellos en Buenos Aires. Los CMN funcionan prácticamente en todos los países del mundo.

Las funciones de cada uno de los tipos de centros pueden enunciarse en forma breve. Los CMM concentran su actividad en la descripción de los fenómenos meteorológicos en escala planetaria y en gran escala sinóptica.

Los CMR centralizan sus tareas en la descripción de los fenómenos en gran escala y mesoescala, y en función de lo convenido con los usuarios de sus productos.

Los CMR, naturalmente, apoyan su trabajo en tiempo real, en gran parte, en las tareas que realizan los CMM.

Los CMN resuelven cuáles son las facilidades que proveen por sí mismos, así como también cuáles son los productos que reciben y usan de los CMM y CMR.

El Sistema Mundial de Telecomunicaciones tiene como principal función permitir la concentración y distribución de datos de observación básicos del SMO, y la ulterior distribución de la información elaborada resultante de los CMM y de los CMR.

El SMT comprende toda una serie de circuitos y centros de telecomunicaciones organizados a tres niveles, y ellos son:

- a) El Circuito Principal de Enlace y sus ramificaciones.
- b) Las Redes Regionales de Telecomunicaciones.
- c) Las Redes Nacionales de Telecomunicaciones.

Todo el Sistema Mundial de Telecomunicaciones está concebido para que por él puedan circular las informaciones correspondientes a cualquier actividad geofísica; esto es, desde luego, una parte muy pequeña de su función, comparada con la información a que previamente se ha hecho referencia.

## EL PROGRAMA DEL GARP

En cuanto al GARP, ya se mencionó con anterioridad que su origen, como el de la VMM, fue la Resolución 1802 de las Naciones Unidas que promovieron un trabajo conjunto de la OMM y el CIUC, quienes establecieron en 1967 un Comité Conjunto de Organización del GARP.

Se aprecia que la manera más adecuada de introducirse en la descripción del GARP y la de expresar el propósito del mismo es referirse a algunos aspectos de la definición del GARP tal cual fue adoptada en 1967 por los Comités Ejecutivos de la OMM y el CIUC, la cual expresa que en los años presentes ha habido un inusitado progreso en la formulación de los modelos físicomatemáticos de la atmósfera, tratados como un problema de mecánica de los fluidos; y haciendo uso de computadoras de gran capacidad para integrar el sistema de ecuaciones hidrodinámicas ha sido posible simular y pronosticar el comportamiento de la atmósfera. Paralelamente con este desarrollo se ha producido el de los satélites meteorológicos, que ha introducido modificaciones en los sistemas de observación de una manera tan señalada que podría calificarse de dramática.

Varios países ahora producen pronósticos numéricos objetivos por períodos de 2 a 3 días y éstos están rápidamente reemplazando a los métodos tradicionales de pronósticos que usan como principal característica las singularidades de los campos de presión, de temperatura y de viento al menos en latitudes medias. Además, usando modelos muy complejos de la circulación global atmosférica ha sido posible simular las características fundamentales del clima mundial y realizar experimentos numéricos que han indicado, en forma bien clara, que sería posible producir pronósticos confiables de las características básicas del tiempo, por lo menos para una semana en adelante. Pero esto no puede ser realizado sin una cobertura adecuada de observaciones meteorológicas sobre todo el globo, incluyendo las regiones tropicales y oceánicas.

Sin embargo, con el objeto de producir pronósticos confiables para más de 2 ó 3 días en adelante será necesario mejorar la comprensión actual de una cantidad considerable de procesos atmosféricos que determinen la evolución del tiempo sobre el lapso de una semana o más, e incorporar estos procesos a los modelos numéricos en forma más cercana a la realidad. También será requerida gran cantidad de trabajos de investigación para establecer la red observacional óptima que satisfaga este requerimiento. La formulación de modelos que reflejen mejor a la atmósfera desde el punto de vista físico y la determinación óptima de un sistema observacional, son los objetivos principales del GARP.

La meta final del programa es la obtención de un sólido conocimiento científico de las bases físicas para la predicción del tiempo por un lapso prolongado.

El GARP no es un programa operacional sino que es un esfuerzo de investigación que comprometerá a muchos científicos en problemas atmosféricos y técnicos pertenecientes a servicios gubernamentales y laboratorios, universidades e industrias de muchos países.

En el momento que el GARP lo considere oportuno serán introducidas las modificaciones y extensiones que sean necesarias dentro de la parte operacional de la VMM; el GARP es así un programa para estudiar aquellos procesos físicos en la estratósfera y tropósfera que son esenciales para comprender:

10) El comportamiento transitorio de la atmósfera tal como se manifiesta en las fluctuaciones de gran escala que controlan los cambios del tiempo; esto conducirá a aumentar la exactitud de los pronósticos sobre períodos entre un día y varias semanas.

20) Los factores que determinan las propiedades estadísticas de la circulación general de la atmósfera, con lo que se logrará una mejor comprensión de las bases físicas del clima.

30) El proyecto y la prueba por métodos computacionales de una serie de modelos teóricos de los aspectos relevantes del comportamiento de la atmósfera, para permitir un acrecentamiento de la descripción de los procesos físicos significativos y sus interrelaciones.

40) Estudios experimentales y observacionales de la atmósfera para proveer al requerimiento de datos destinados al planeamiento de tales modelos teóricos y la prueba de su validez. Con el objeto de mejorar la comprensión de las bases físicas y dinámicas para formular los modelos apropiados de la circulación de la atmósfera en gran escala y, a fin de hacer especificaciones adecuadas a los sistemas de observación para los propósitos del GARP, se consideró necesario establecer ciertos programas auxiliares. Dichos programas son conocidos como Subprogramas del GARP, y pueden consistir en proyectos de carácter teórico o experimental, o de ambos a la vez. Además, dentro de los subprogramas se desarrollarán los experimentos del GARP que consisten en ambiciosos planes de observación propuestos para determinar el comportamiento de toda la atmósfera.

El GARP tiene consolidados dos Subprogramas que son, respectivamente, el Subprograma Tropical y el Subprograma Mundial y en ambos casos tienen también planeados, a su vez, el Experimento Tropical del Atlántico del GARP y el Primer Experimento Mundial del GARP. Sobre ellos puede decirse lo siguiente:

El primero es también denominado universalmente GATE, y su objetivo científico puede sintetizarse así:



Ha sido desarrollado como una de las mayores contribuciones a la comprensión del mecanismo de la circulación general de la atmósfera, su variación y su predictibilidad.

En principio el GATE trata de ampliar el conocimiento de aquellos aspectos de la meteorología del cinturón ecuatorial que son esenciales para poder interpretar la circulación de la atmósfera como un todo.

En el cinturón ecuatorial, la atmósfera tiene en varios aspectos un comportamiento diferente de la de latitudes medias y altas, pero ella forma una parte de la circulación general.

En el cinturón ecuatorial reside la principal fuente de calor que gobierna la circulación general de la atmósfera, y las fluctuaciones que allí ocurren están sin duda ligadas a la circulación en latitudes más elevadas aun cuando la naturaleza de sus conexiones es todavía poco clara.

Se han desarrollado diversos modelos teniendo presente que algunas de las principales herramientas para lograr los objetivos del GARP son las simulaciones numéricas del comportamiento de la atmósfera por medio de la solución de las ecuaciones termohidrodinámicas de modelos apropiados de la atmósfera. En lo que respecta a su validez, corresponde expresar que en latitudes medias y altas han sido extensamente comparados con los datos sinópticos; en tanto, los modelos correspondientes a la zona tropical han sido muchísimo menos desarrollados.

Ningún modelo sistemático puede representar todas las perturbaciones de la atmósfera, puesto que la capacidad y velocidad incluso de las más poderosas computadoras están limitadas a poder manejar un número determinado de datos en los puntos del reticulado en los cuales son evaluadas las variables meteorológicas. Por ello las perturbaciones atmosféricas que no son suficientemente grandes para extenderse sobre varios puntos del retículo que se use, no pueden ser descriptas con propiedad por la integración directa de las ecuaciones termohidrodinámicas. Sin embargo, tal tipo de perturbaciones tiene un efecto muy importante en el transporte de calor, de momento y de vapor de agua, tanto vertical como horizontalmente. Estas deben ser tenidas en cuenta relacionándolas con las características de la circulación atmosférica en gran escala que están representadas de manera adecuada en el modelo. Tal tipo de la denominada "parametrización" de las características de las perturbaciones de menor escala es en particular importante en el cinturón tropical, donde la mayor parte de las variaciones atmosféricas están asociadas con perturbaciones menores a pocos cientos de kilómetros de extensión.

El GATE proveerá datos suficientes para que los métodos de predicción numérica puedan ser sometidos a pruebas apropiadas en la zona tropical.

Según lo ha mostrado la información obtenida con satélites, la distribución de las nubes convectivas muestra una cierta organización en los conjuntos de nubes de este tipo, las cuales se agrupan en zonas que se extienden desde 100 a 1000 km. Por otra parte, se ha verificado que las perturbaciones del campo de viento también existen en gran escala.

En la baja estratósfera estas perturbaciones han sido estudiadas como "ondas de los Estes" y en la tropósfera superior, más recientemente, han sido identificadas como mezclas de ondas de Rossby y ondas de gravedad. En principio, su tamaño es tal que los modelos numéricos pueden ser usados para

describir y predecir su comportamiento, pero es necesario conocer sus interrelaciones con los conjuntos de nubes.

Por lo dicho el GATE ha sido programado de modo que pueda proveer una descripción de la estructura interna de un número de conjuntos de nubes a fin de que sea posible estimar el transporte horizontal y vertical de calor, humedad y momento asociados con tales sistemas y luego poder relacionarlos con los movimientos atmosféricos en gran escala que existen en los trópicos.

Un aspecto importante del experimento será estudiar el comportamiento de los modelos en relación con la atmósfera real, en los casos en que se usan retículos más pequeños.

El GATE requiere sistemas de observaciones que permitan simultáneamente estudiar diferentes escalas espaciales. Así la escala mayor del sistema de observación debe ser adecuada para definir las perturbaciones en gran escala del campo de viento, las cuales deberán relacionarse con el comportamiento del conjunto de nubes.

Para poder estudiar la estructura interna y los efectos de los conjuntos de nubes sobre la circulación en sus vecindades más inmediatas, será necesaria una escala que permita obtener observaciones más cercanas entre sí, por ejemplo, la convergencia del viento y otros flujos hacia adentro y hacia afuera del sistema. Además, el GATE podrá contribuir a lograr:

- a) Una definición de las condiciones necesarias y suficientes de la generación y el desarrollo de las perturbaciones tropicales, incluyendo los primeros estados de los ciclones tropicales.
- b) Un mejoramiento de la calidad y de la extensión de los pronósticos en los trópicos.
- c) Un mejoramiento en pronósticos de medio plazo en latitudes extratropicales, al tomar en consideración en forma adecuada las fuentes de calor tropical.
- d) Un progreso hacia la comprensión del tiempo en las zonas tropicales y las posibilidades de modificarlo.

Por todo lo dicho el GATE ha sido planeado de modo que puedan medirse parámetros que permitan estudiar los efectos de las distintas escalas, con particular énfasis en la relación de las que se ha dado en denominar A y B y que caracterizan, respectivamente, las ondas largas y los conjuntos nubosos.

El GATE se llevará a efecto durante cien días en 1974, comenzando entre agosto y setiembre.

Para la realización del GATE se usarán todas las facilidades producidas por los distintos sistemas que constituyen la VMM y se contará, además, con el aporte de 27 buques especialmente equipados para las observaciones meteorológicas y oceanográficas. De estos buques, 12 serán ocupados en la escala A y 15 en la B, y de estos últimos 8 de ellos estarán dotados de radares meteorológicos.

Se dispondrá también de 12 aviones provistos de material para la investigación atmosférica.

Además se hará uso de un determinado número de boyas oceánicas.

Todo esto proporcionará datos en cantidad y simultaneidad nunca obtenidas hasta ahora.

En relación con el Primer Experimento Mundial del GARP, perteneciente al Subprograma Mundial del GARP, podemos expresar que es, sin duda, de una

envergadura mucho mayor que la del GATE, puesto que como veremos, sólo en la parte del cinturón tropical se realizarán tareas similares a las programadas para el GATE.

El fundamento principal del Primer Experimento del GARP puede sintetizarse diciendo que, mediante consideraciones teóricas y experimentos numéricos realizados con la ayuda de modelos físicomatemáticos de la atmósfera, se ha demostrado que existe una considerable diferencia entre la capacidad actual de predecir los movimientos en gran escala de la atmósfera y el límite máximo de validez de las predicciones.

La experiencia obtenida como consecuencia de las investigaciones realizadas en esta rama de la meteorología ha revelado también que es preciso mejorar considerablemente los conocimientos que se poseen sobre el comportamiento de la atmósfera global, antes de poder ampliar en forma significativa el período de validez de las predicciones numéricas utilizables en la actualidad.

Por otra parte, es necesario comprender mucho mejor el fundamento físico del clima de la Tierra, sobre todo ahora, cuando posibles interferencias de la actividad del hombre con los procesos naturales comienzan a constituir un problema que es motivo de gran preocupación.

El Primer Experimento Mundial del GARP es un intento encaminado a establecer los límites posibles de la predicción objetiva. Deberá servir también para poner a prueba, y en escala mundial, la capacidad de representación del clima actual de los modelos existentes de la atmósfera terrestre, lo cual constituye un requisito previo e ineludible para poder encarar científicamente el problema de los cambios climáticos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en el Primer Experimento Mundial del GARP se han propuesto los 4 objetivos siguientes:

1º) Comprender mejor los movimientos atmosféricos para poder diseñar modelos más realistas aplicables a la predicción de largo plazo, a los estudios de la circulación general de la atmósfera y al clima.

2º) Evaluar los límites máximos de predictibilidad de los sistemas meteorológicos.

3º) Desarrollar métodos de mayor capacidad de asimilación de las observaciones meteorológicas, que permitan sobre todo utilizar datos asincrónicos como elementos básicos en la predicción de movimiento en gran escala.

4º) Diseñar el sistema óptimo de observación meteorológica aplicable a las tareas diarias de predicción numérica de las principales características de la circulación general.

Para cumplir sus objetivos el Primer Experimento Mundial del GARP, que se realizará en 1977, no se apoyará en un solo sistema de observación, ya que, por sí sola ninguna técnica de este tipo puede satisfacer las necesidades requeridas. Los elementos que compondrán tal sistema son fundamentalmente de dos clases:

1º) Los subsistemas de observación, que serán operativos o casi operativos cuando se realice el Primer Experimento y estarán satisfaciendo las necesidades que demanda la VMM y que como se vio, consiste en:

- a) El subsistema convencional basado en tierra.
- b) El subsistema de satélites.

20) Subsistemas especiales necesarios para subsanar algunas deficiencias significativas del sistema de observación operativa:

- a) Medios para obtener perfiles de viento en los trópicos ecuatoriales,
- b) Globos de nivel constante en el hemisferio sur.
- c) Boyas a la deriva en el hemisferio sur.
- d) Estaciones automáticas terrestres o sobre hielos en las regiones polares y en otras regiones alejadas.

El primer sistema actuará durante todo el período del Primer Experimento Mundial del GARP, y el segundo lo hará sólo en dos períodos, con duración respectiva de uno y dos meses.

El subsistema basado en superficie ya fue descrito someramente al considerar la VMM.

El subsistema de satélites será el siguiente:

Habrà para 1977 por lo menos dos satélites operativos de órbita polar operados por EE.UU. y Rusia, y además se contará con dos satélites más no operativos pertenecientes también a EE.UU. y Rusia, como mínimo.

Se considera que los objetivos del Primer Experimento Mundial del GARP serán cumplidos desde 1974 por este tipo de satélites.

Se contará con 5 satélites geoestacionarios: EE.UU. lanzará en 1974 el primer satélite geoestacionario meteorológico de carácter operativo, y 6 meses después lanzará otro igual. A mediados de 1976 Rusia lanzará otro satélite geoestacionario y a fines del mismo año se lanzarán los de Europa y Japón.

Con respecto a la obtención de perfiles de viento en la zona tropical se contará con distintos medios para obtener esta información, que es de fundamental importancia, ya que el requerimiento planteado por el Primer Experimento Mundial del GARP, los medios convencionales y la obtención de datos de viento a través de los satélites geoestacionarios no son suficientes.

Un sistema ya probado consistirá en usar grandes globos portadores de sobrepresión, equipados hasta con 100 sondas con paracaídas, que ya serán usados en 1974 en ocasión del Experimento Tropical del GARP y que permitirá interrogar las sondas respectivas por medio del satélite geoestacionario, pero durante el Primer Experimento Mundial del GARP se usarán además 10 buques que colaborarán en la tarea de obtener perfiles de viento.

Durante cada período especial de observación, unos 400 globos flotarán a la deriva; los mismos serán lanzados desde diferentes puntos, de forma que su distribución suministrará medidas adecuadas de viento, de temperatura, de presión y del geopotencial en un nivel de la tropósfera superior en la región comprendida entre 20°S y 90°S. La eficiencia de este método ha quedado totalmente verificada con el experimento Eole realizado entre 1971 y 1972.

Se utilizará una red de 300 boyas a la deriva que medirá la presión atmosférica y la temperatura de la superficie del mar. Estas boyas deberán ser desplegadas en la zona comprendida entre 50°S y 65°S, donde la nubosidad persistente dificulta los sondeos realizados por los satélites en la tropósfera inferior. Las boyas, al igual que los globos, serán interrogados por satélites.

El Primer Experimento mundial del GARP prevé un Sistema de Preparación de Datos que estará fundamentalmente basado en el de la VMM; no obstante, será necesario realizar tareas adicionales, para lo cual se han fijado distintos niveles para la determinación de los datos y su elaboración. Se está de acuerdo en

que los CMM de la VMM han de desempeñar una función fundamental en el análisis de los datos para el experimento, ya que no será posible conseguir la elaboración de los mismos en tiempo real durante el Primer Experimento Mundial del GARP sin la activa cooperación de los Centros citados.

Finalmente, para la inmensa cantidad de datos que se obtendrá y la elaboración primaria que de ellos se efectúe se necesita un Sistema Mundial de Telecomunicaciones que permita el flujo de los mismos; dicho sistema estará basado sobre el Sistema Mundial de Telecomunicaciones de la VMM.

### **LOS PROGRAMAS DE LA VIGILANCIA METEOROLOGICA MUNDIAL Y EL GARP EN RELACION CON EL INTERES DE LA ARGENTINA**

Con todo lo dicho hasta aquí se ha tratado de mostrar el significado, los objetivos y el estado de desarrollo de la VMM y del GARP desde un punto de vista totalmente general, pero se entiende que es necesario destacar qué significan para nuestro país estos programas y ver en forma sucinta cuáles serían algunos de los aspectos en los que convendría poner énfasis.

No cabe duda de que el desarrollo de la meteorología como ciencia, el uso de las computadoras y las ayudas proporcionadas por los satélites han significado para todos un progreso en el campo científico y aplicativo de la meteorología, desconocido hasta el momento pero, para el hemisferio sur en general y para la Argentina en particular, se está en verdad ante una real discontinuidad. Los dos últimos factores antes señalados colocan súbitamente al país en la misma situación potencial que la de las naciones del hemisferio norte, de las cuales hasta la actualidad se estaba separado en decenios de años. Los programas que se han comentado de manera esquemática posibilitan la oportunidad de acortar distancias en forma significativa, y para ello se pueden citar hechos concretos.

Por ejemplo la VMM que, como se ha visto, es un programa fundamentalmente operativo, dará ocasión de contar para mediados de esta década con datos de superficie y altura en una cantidad más que centuplicada con relación a los que se obtenían hace dos años, y dicha información circulará sin costo adicional alguno para todo el Sistema Mundial de Telecomunicaciones, en el cual ya el país está comprometido a actuar.

Si se hubiese querido obtener esa información por otro medio que no fuese el del satélite y, suponiendo que en cada punto del Pacífico Sur existiese una isla en cada lugar elegido para la observación, habría que invertir 200 millones de dólares anuales.

Esa información estará disponible, si se usa o no será sólo responsabilidad del país. También será de su responsabilidad la omisión que permitiría, eventualmente, que el estado del tiempo, los pronósticos y el clima del país y las zonas circunvecinas sean conocidos antes y mejor por muchas otras naciones que por la nuestra.

Se tiene la esperanza de que no suceda así, sino de que sea posible usar toda esa información extraordinaria para estudios, investigaciones y servicios que la Argentina necesita. Indice de ello lo son varios de los trabajos presentados en esta 7a. Reunión, que se incrementarán cuando se cuente con mayores facilidades de computación, accesibles en nuestro medio.

Respecto de la relación con el programa del GARP se entiende que es de gran trascendencia. Si bien en lo que se refiere al experimento del GATE el país prácticamente no tendrá ninguna participación, será de interés permanecer atentos a las posibilidades de poder intervenir en alguno de los grupos de trabajo que traten temas que, como el de la convención, tiene un interés muy particular para los argentinos.

Pero donde en especial la participación puede ser de gran importancia es en el Subprograma Mundial, sobre todo en el Primer Experimento Mundial del GARP; además, aquí se tiene algo adelantado, ya que desde hace varios años se está vinculado al Laboratorio de Meteorología Dinámica que dirige el Profesor Morel, donde han trabajado durante casi tres años tres jóvenes científicos argentinos en temas estrechamente ligados al GARP y al interés particular del país. Esto se ha puesto en evidencia a través de los trabajos presentados por los citados científicos en esta 7a. Reunión de la Asociación.

Por otra parte, hay muchas posibilidades de vincularse a otros laboratorios que en distintas partes del mundo están comprometidos en las tareas del GARP, y en tal sentido sería de interés tratar de hacer una tarea conjunta a nivel nacional.

Además, se entiende que nuestro país debe estar atento a dos aspectos contemplados en el Primer Experimento Mundial del GARP, que son fundamentales para nuestro desarrollo meteorológico, tanto en el campo de la aplicación como en el de la investigación. Ellos son:

- a) Los globos de nivel constante.
- b) Las boyas.

Los globos de nivel constante son, sin duda, la mejor solución para determinar una superficie de referencia óptima en el hemisferio sur; el problema de su adopción no es de orden técnico, ya que está totalmente resuelto, sino financiero. Su costo es muy elevado y la vida media actual de los globos es corta para pensar que además de la investigación puedan usarse en forma continua para fines operacionales.

El país podría hacer una contribución significativa en este sentido, ya que coparticipa en el Proyecto Eole, y podría colaborar en mejores condiciones que en la oportunidad citada, pues se ha adquirido una experiencia importante.

Será de fundamental interés para la Argentina que se pueda contar con una superficie de referencia, sobre todo para ver cuál es la diferencia en el comportamiento de los modelos, que se estarán usando en 1977 con la superficie de referencia y sin ella. Este tipo de experiencia podría cuantificar el comportamiento de los modelos y proporcionar así una idea clara de los esfuerzos financieros que el país podría realizar para contribuir al mantenimiento de una superficie de referencia hacia fines de esta década o principios de la próxima.

Con respecto al sistema de boyas caben los siguientes comentarios:

El problema de las boyas dentro del Primer Experimento Mundial del GARP está formulado, como es natural, para satisfacer los objetivos del experimento pero, además, se entiende que es uno de los aspectos observacionales del GARP que mayor interés debe despertar en el país, ya que la experiencia ganada y la que se ha de ganar le servirá a la Argentina para múltiples aspectos del desarrollo meteorológico, tanto teórico como práctico.

Puesto que algunas de las zonas en que estarán las boyas son justamente los

lugares críticos de nuestras adyacencias, ello significará la posibilidad de experimentar, para poder cuantificar el valor de la información meteorológica que tales boyas proporcionarán.

Como el aumento del número de parámetros que es posible medir haciendo uso de boyas, incrementa su costo, al estudiar las necesidades del Primer Experimento Mundial del GARP se ha determinado que los parámetros más importantes para sus propósitos son: la presión del aire y la temperatura del agua en la superficie del mar. Es obvio que para los objetivos meteorológicos del país sería de más alta prioridad la temperatura del aire que la del mar pero, de cualquier modo, lo que correspondería en este caso es estudiar cuál sería la mejor solución aprovechando lo que de cualquier modo se hará durante el Primer Experimento Mundial del GARP y lo que eventualmente podría hacer el país con respecto, por ejemplo, a la adición de nuevos parámetros teniendo en cuenta el beneficio que podría ser obtenido en relación a su costo. Para lograr esto, además de la intervención de los meteorólogos en la investigación de las necesidades de los parámetros más convenientes, se aprecia como particularmente importante que otro grupo de técnicos y científicos conozca en profundidad los problemas vinculados con el desarrollo, construcción, puesta en servicio y funcionamiento de boyas. Esta tarea configurará, por otra parte, un caso de colaboración entre meteorólogos y oceanógrafos argentinos.

Con lo dicho se han querido señalar algunos aspectos de interés para la Argentina dentro de los programas de la VMM y del GARP. Se estima que se presenta una situación más favorable que nunca para que la meteorología pueda servir a la comunidad con la más alta eficiencia, y es de esperar que tal oportunidad no sólo no se pierda sino que sea aprovechada al máximo.

## **COMPORTAMIENTO DE GRANIZADAS SOBRE DIVERSAS AREAS CULTIVADAS DEL PAIS**

**MARIA ELENA SALUZZI y JOSE MIGUEL NUÑEZ**  
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

**Se tabula y analiza una serie de denuncias de precipitación sólida, que por su cantidad y particularidades son capaces de brindar una imagen confiable del macrocomportamiento del fenómeno.**

**Se detallan las características de la información y se obtienen algunos valores sistemáticos en el comportamiento: frecuencias anuales, mensuales y horarias y prevalencias en cuanto a tamaño, duración e intensidad de la precipitación, estimadas en total y particularizadas por provincia y localidad.**

**A series of reports on solid precipitation are tabulated and analysed which, on account of their amount and characteristics, are able to present a reliable image of the phenomenon macrobehaviour.**

**The characteristics of the information are given in detail and some systematic values are obtained on the behaviour: yearly, monthly and hourly frequencies and prevalence regarding size, duration and intensity of the precipitation, totalized and particularized by provinces and places.**



## INTRODUCCION

La caída de granizo es uno de los fenómenos meteorológicos de características especiales menos conocido, por cierto que no por infrecuente. Por otra parte en las áreas agrícolas, en circunstancias determinadas, es de los más temidos. La circunstancia de que sean las grandes nubes de tormenta, que en su evolución son capaces de dar granizo, las portadoras de la piedra, provoca la característica aleatoriedad espacial y temporal del fenómeno. Esta es de la misma naturaleza, aunque más acusada, que la que identifica a los chaparrones de lluvia. Si se intenta llevar un registro real de su ocurrencia, la red de observaciones necesaria para tal fin debe guardar tales recaudos de densidad en espacio y tal continuidad en el tiempo para asegurar su eficiencia, que no cabe plantearse su establecimiento, especialmente en grandes áreas.

Sin embargo, en el ámbito del Servicio Meteorológico Nacional se pensó y organizó, hace tiempo, un sistema de recolección de la información primaria que, se supuso, fuera capaz de brindar una imagen más real del fenómeno y que, si bien se interrumpió más tarde, aportó la serie de datos que se utiliza en este trabajo.

## LA INFORMACION

Para realizar este trabajo se dispuso de una serie de denuncias de precipitación sólida que cubría las provincias de Río Negro, Neuquén, La Pampa, Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fé y Córdoba.

El período cubierto por la información es distinto según las provincias. Se extiende entre los años 1947 y 1961 en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Córdoba; entre 1947 y 1957 en las provincias de La Pampa y Río Negro; solamente en 1957 en la provincia de Neuquén y en los años 1947 y 1948 en la provincia de Santa Fé.

La información fue recogida primariamente por el Servicio Meteorológico Nacional, a partir de unas tarjetas de denuncia que se repartieron a los agricultores de las provincias mencionadas en las áreas cultivadas, y que proveían una serie de datos sobre las granizadas.

Se mencionaba la provincia y la localidad donde se había originado la denuncia; la fecha, comprendiendo día, mes y año; la hora en la que se produjo la precipitación; una estimación de su duración y algunas características de la piedra tales como un código de granizo para calificarlo en cuanto al tamaño; un código de intensidad para calificarlo en cuanto a si era tupido o débil, ralo; y añadiendo una codificación para explicitar si la piedra cayó acompañada de viento, de lluvia o de ambos fenómenos.

## ANALISIS Y PROCESAMIENTO EN LA COMPUTADORA

La información había sido sometida a una previa tabulación y depuración, a partir de la cual se realizó el análisis de sistema para efectuar el procesamiento.

El método llevado a cabo consistió fundamentalmente en un extenso

programa realizado en idioma Cobol, que proveyó de un listado muy completo y exhaustivo de todas las denuncias, vertido en forma ordenada de la siguiente manera:

Se convino en un código para caracterizar, en primer lugar y en orden, la provincia; dentro de la provincia la localidad; fecha ordenada previamente por año, por mes dentro del año, por día dentro del mes y por hora dentro del día.

Respondiendo a ese ordenamiento se dispuso la información básica.

En la misma presentación la computadora consignó la duración del fenómeno; explicitó, según un código, si el fenómeno estaba acompañado de viento o de lluvia y dispuso, en una columna aparte, de la característica explícita cuando no estaba acompañado de ninguno de esos fenómenos; es decir, consignó si el granizo había precipitado sin viento, sin lluvia o sin viento ni lluvia. También anotó el código de tamaño del granizo y el de intensidad de la precipitación.

El programa de **consistencia** aseguró antes del proceso definitivo que fueran salvados los presuntos errores, tanto de origen en la tabulación original, cuanto los eventuales de perforación en los campos y códigos previstos para determinar la provincia, la localidad en la provincia, la fecha: años, meses y día según cada mes, la hora en horas enteras y minutos, el código de duración de la precipitación, el de viento, el de lluvia, el de granizo medio y el de intensidad, de modo que cuando finalmente se procesó la información no padecía de tales errores eventuales.

El proceso, más las planillas de resumen, alcanzó una presentación total de 458 láminas. Para cada localidad se obtuvieron los totales de denuncias de granizada por **estación**, los totales **horarios** en la localidad y los totales **mensuales** de la localidad por año, y lógicamente los totales **anuales**.

Acumuló además por provincias los totales mencionados, y resumió dando el detalle diario, en cada mes, del total de denuncias.

Realizó también por localidad en cada provincia, por provincia y en total, la acumulación de denuncias, según su duración.

Asimismo acumuló las denuncias según el tamaño del granizo medio y según que la precipitación sólida fuera tupida ó débil.

La computadora realizó además un nuevo campo numérico, que se llamó producto, como el resultado de multiplicar el código de granizo medio por la duración en minutos de la precipitación. A partir de ese resultado ordenó las denuncias a partir de los valores que se asignaron a las granizadas: desde **muy intensa** hasta **muy débil**. Esta segunda parte del proceso, que volvió a imprimir en forma ordenada el total de denuncias, alcanzó la presentación de 315 láminas y proveyó un resumen final de totales por provincia arreglado según el producto y la estación del año, de manera que se tuvo para cada provincia totales de verano, otoño, invierno y primavera clasificados desde las precipitaciones muy intensas a las muy débiles.

A los efectos de asegurar la validez de la información en lo que a la importancia de las tormentas concernía, se realizó un tercer listado consignando todas las denuncias cuyo número fuera mayor de 5 por fecha, ordenándolas por fecha y dentro de ella por hora, y consignando la provincia y localidad en que se produjeron y su intensidad, de modo de poder realizar un seguimiento y localización rápidos de las denuncias de precipitación.

## DETALLE DE LA INFORMACION

Según el código de tamaños que se ilustra los agricultores consignaron el tamaño dominante de la precipitación observada:

## Código de tamaño de la piedra

Código	Milímetros	
01	05	maíz, arroz, arveja
02	10	garbanzo, avellana
03	15	almendra, uva
04	20	cereza chica, guinda
05	25	cereza grande
06	30	nuez
07	35	ciruela
08	40	
09	45	
10	50	huevo de gallina
11	55	huevo de pato
12	60	
16	80	
20	100	

Tabla 1

A partir de esta clasificación y multiplicándola por la **duración**; estimada por el agricultor, del tiempo de caída de la piedra, se añadió a la información el valor **producto** mencionado antes con las siguientes convenciones:

Escala de intensidad	Producto: Lapso de la precipitación por tamaño de la piedra
Muy intensa	Producto $\geq$ 276
Intensa	275 $\geq$ Producto $\geq$ 231
Muy fuerte	230 $\geq$ Producto $\geq$ 153
Fuerte	152 $\geq$ Producto $\geq$ 91
Moderada	90 $\geq$ Producto $\geq$ 45
Débil	44 $\geq$ Producto $\geq$ 15
Muy débil	14 $\geq$ Producto $\geq$ 1

Tabla 2

La computadora escribió ambos factores de modo de poder dilucidar la influencia de cada uno sobre la intensidad.

La presentación mostrada permite realizar un análisis posterior que debería redundar en una **tipificación del comportamiento** de la precipitación sólida en la zona cultivada de la pampa húmeda y la provincia de Córdoba a partir de los siguientes totales:

<b>Nº de denuncias</b>	<b>Provincia</b>
636	Río Negro
92	Neuquén
219	La Pampa
3094	Buenos Aires
1481	Entre Ríos
1036	Santa Fé
1876	Córdoba
<b>8434</b>	<b>TOTAL</b>

Tabla 3

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Dado que el fenómeno de la precipitación sólida se caracteriza por su extrema aleatoriedad en espacio y tiempo y la presente muestra está sin duda condicionada, además de las características propias del fenómeno, por el hecho de que los informantes fueron los agricultores (es decir, la muestra —el número de denuncias— es función asimismo de la parcelación del área cultivada —del número de agricultores— y de la respuesta humana) se decidió, para darle mayor representatividad, vincular, por localidad, el número de denuncias con la densidad de población respectiva, obteniéndose de ese modo para todas las provincias y para los totales generales valores de las frecuencias por hora, mes y año que se estiman suficientemente normalizados para obtener de ellas algunas propiedades de sistematicidad en el comportamiento del fenómeno.

De hecho, el universo a que pertenece esta muestra no es conocido, ni es posible conocerlo, ya que el único término de comparación serían las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional. Ellas tampoco (y en mucho menor grado que la muestra de que disponemos) reflejan el comportamiento del fenómeno, ya que la distribución geográfica de las estaciones informantes lo disimula por completo, tanto en tiempo como en espacio.

Se estima, entonces, que la tipificación del comportamiento obtenido para las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba, La Pampa y Río Negro es suficientemente representativo. Sin duda lo es en menor grado para Neuquén (dos años de datos) y Santa Fe (un año) pero es significativo que el comportamiento del fenómeno en estas provincias no muestre singularidades incompatibles con el resto de la información, o inexplicables.

Se presenta, con la ayuda de distintos gráficos, el análisis primario de los resultados:

### GRAFICO DEL TOTAL DE FRECUENCIAS HORARIAS NORMALIZADAS (FIGURAS 1 - 2)

Se observa notable prevalencia de la actividad granicera vespertina y nocturna. El lapso de máxima actividad se extiende entre las 16 y las 18 horas, la precipitación se produjo con más frecuencia a las 17 horas.

En todas las provincias (incluidas Neuquén y Santa Fé) se observa la prevalencia mencionada, siendo el desfase de la hora de máxima, a lo sumo, de una hora.

Entre Ríos configura una excepción pues, si bien tiene un máximo vespertino, presenta otro del mismo rango a la hora 2 de la madrugada.

Las horas de menor actividad son las matutinas, de 6 a 8; la mínima se verifica a la hora 7, situación compartida por todas las provincias, con la salvedad de que la hora específica de actividades mínima es más fluctuante que la de máxima, aunque siempre matutina (Obsérvese el gráfico correspondiente a Entre Ríos, Figura 2).

### GRAFICO DEL TOTAL DE FRECUENCIAS MENSUALES NORMALIZADAS (Figura 3)

Los meses de máxima actividad son setiembre, octubre y noviembre; el máximo absoluto recae en noviembre. Las provincias particularizadas coinciden todas en la misma época, fluctuando entre los 3 meses mencionados. El mínimo se registró en el mes de febrero; el período de mínima actividad fue de febrero a abril, y también julio, coincidiendo en tal período todas las provincias.

### LAS FRECUENCIAS ANUALES TOTALES

Estos totales (aunque lo sean de frecuencias normalizadas por localidad) son los valores más dudosos en cuanto a representatividad, ya que en el período completo de los 15 años el número de provincias informantes (y por lo tanto de denuncias) no fue constante. El total anual de denuncias no interesa en forma absoluta. Importaba la comparación relativa de las frecuencias para conocer los períodos de máxima y mínima actividad. Al observar las cifras aparecen los años 1947, 1948 y 1949 como muy activos, y los años 1953 y 1957 siguiéndolos en importancia, mientras los mínimos aparecen en los años 1951, 1956 y 1958. Para confirmar este comportamiento, en uno de los listados preparados (ordenados por fecha y hora, provincia y localidad) fue posible individualizar, por año, **el número de tormentas** que habían ocasionado las denuncias de precipitación sólida (siempre que alcanzaran un mínimo de 5 denuncias por fecha y localidad). Según ese análisis resultaron los años 1947, 1948 y 1949 con mayor número de tormentas, siguiéndolos los años 1953 y 1957, y con muy pocas tormentas importantes los años 1954, 1956 y 1958. Es decir, prescindiendo de los valores absolutos, este análisis posterior permitió también caracterizar el comportamiento en cuanto a que existen períodos de mayor y menor actividad cuyo lapso parece ser del orden de 2 a 3 años. No podemos hablar, sin embargo, de variaciones periódicas claras, dado que el número de años estudiados no permite corroborar, si existiera, ese tipo de comportamiento.

## TIPIFICACION SEGUN LA INTENSIDAD DE LAS GRANIZADAS

Las granizadas fueron clasificadas, de acuerdo con lo explicado anteriormente, según el valor del "producto" que definía su **intensidad**, resultando en el cuadro general siguiente:

TOTAL No de Denuncias	Muy Intensas	Intensas	Muy Fuertes	Fuertes	Moderadas	Débiles	Muy Débiles
8434	42	52	145	450	1482	2927	3336

**Tabla 4**

que otorga una prevalencia marcada a las granizadas, tipificadas como moderadas, débiles y muy débiles. Esta clasificación fue realizada asimismo para cada provincia, en forma análoga. Sin embargo dos provincias, Santa Fe y Córdoba, mostraron una fuerte presencia de las granizadas intensas y muy intensas, mientras en Buenos Aires y Entre Ríos, en especial, predominaron las débiles y muy débiles.

### TIPIFICACION EN CUANTO AL TAMAÑO DE LA PIEDRA (Figura 4)

El gráfico muestra una aceptable distribución de tamaños mostrando la prevalencia de los granizos de tamaños 2, 3 y 4, es decir, de hasta 20 mm de diámetro.

### TIPIFICACION EN CUANTO A LA DURACION EN TIEMPO DE LA PRECIPITACION SOLIDA (Figura 5).

El gráfico muestra la gran preponderancia de precipitaciones muy breves, del orden de los 5 minutos, lo cual parece bastante lógico si se considera que cada denuncia significa un observador sobre el cual transitaba la nube de tormenta con su foco granicero.

Se observa asimismo, para pocas denuncias, sin duda las que correspondieron a grandes tormentas, períodos realmente prolongados de caída de granizo. Para tales casos debe considerarse que los observadores han registrado el tiempo total de tránsito de la tormenta, que sin duda presentaba varios focos graniceros, lo que implicó, para un sitio determinado, sucesivas e intermitentes granizadas mientras duró el pasaje de las grandes nubes.

## CONCLUSIONES

El análisis de comportamiento general que hemos mostrado se ha particularizado por provincia y por localidad. La suma de información obtenida es en especial abundante y detallada, permitirá análisis y estudios posteriores y servirá

sin duda como término de comparación con datos que podrán obtenerse ulteriormente. De todos modos es la primera vez que se puede mostrar alguna sistematicidad en el comportamiento del fenómeno extendido sobre áreas tan amplias como la pampa húmeda en nuestro país.

En trabajos posteriores podrá mostrarse el comportamiento referido a la ocurrencia de grandes tormentas que pueden individualizarse a través de las denuncias procesadas.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores destacan la importante colaboración de la Licenciada María Isabel Spreafichi, que tuvo a su cuidado el trabajo computacional. Este fue analizado y procesado en el Sistema de Computación Automática de Datos de la Fuerza Aérea Argentina, cuyo apoyo permitió la realización del trabajo.

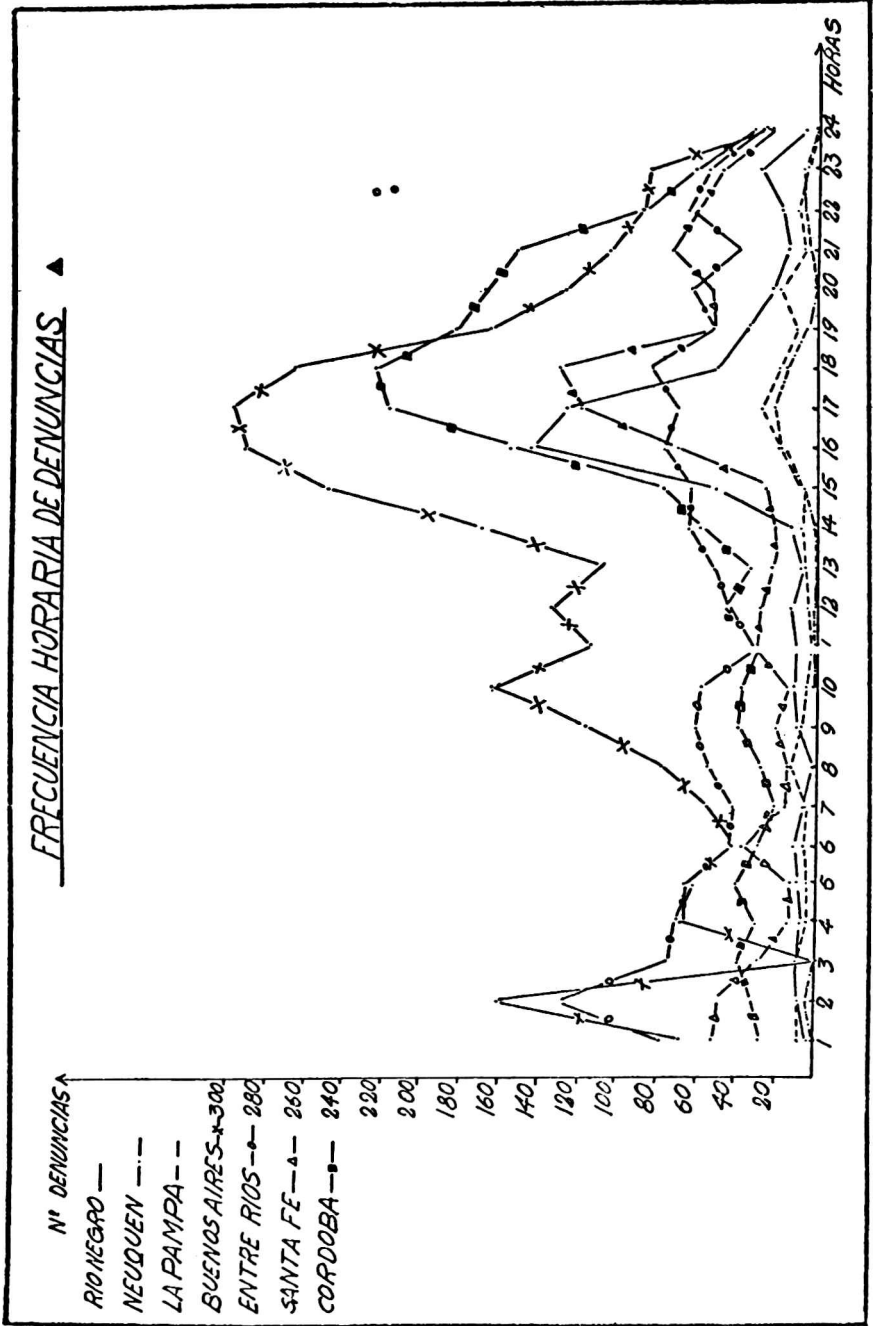


Figura 1



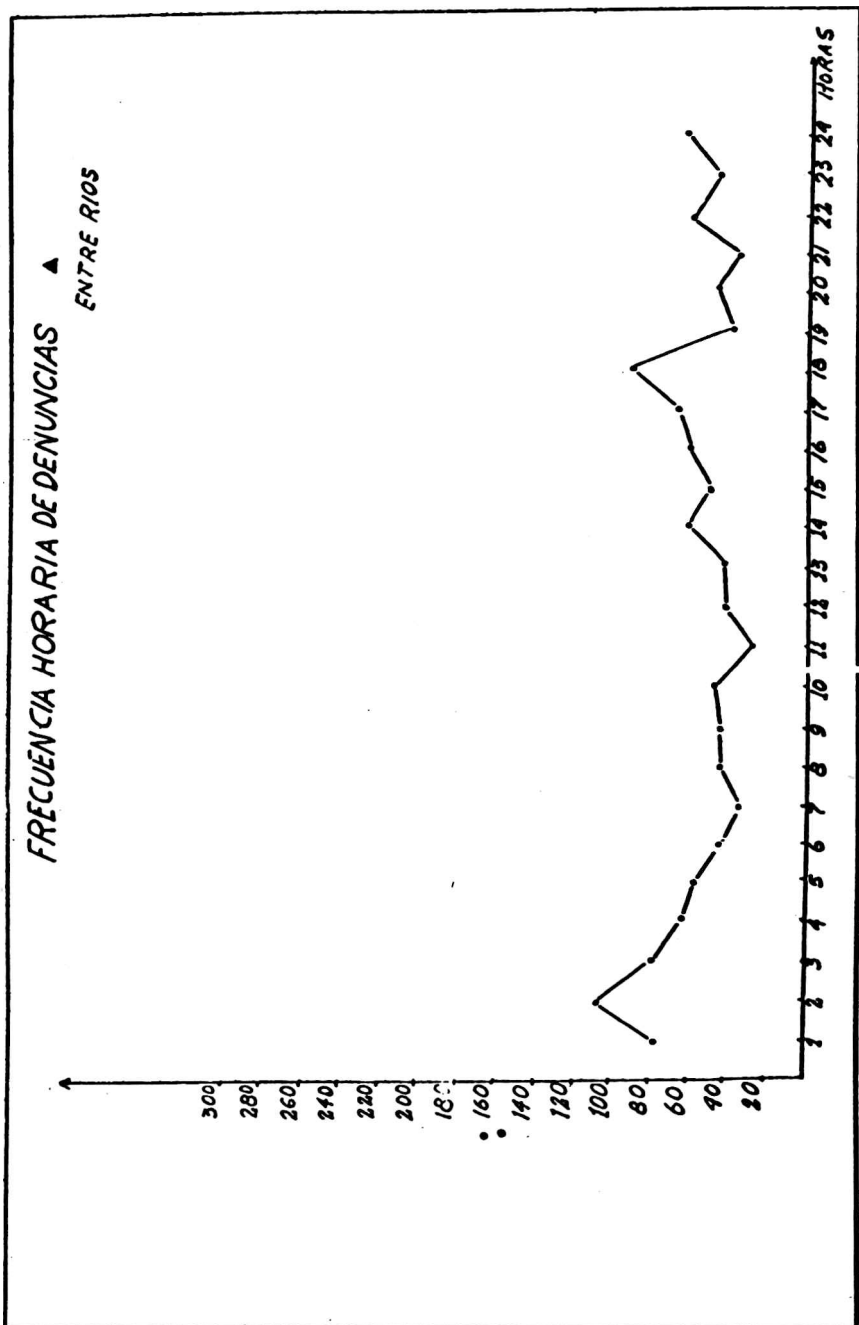


Figura 2

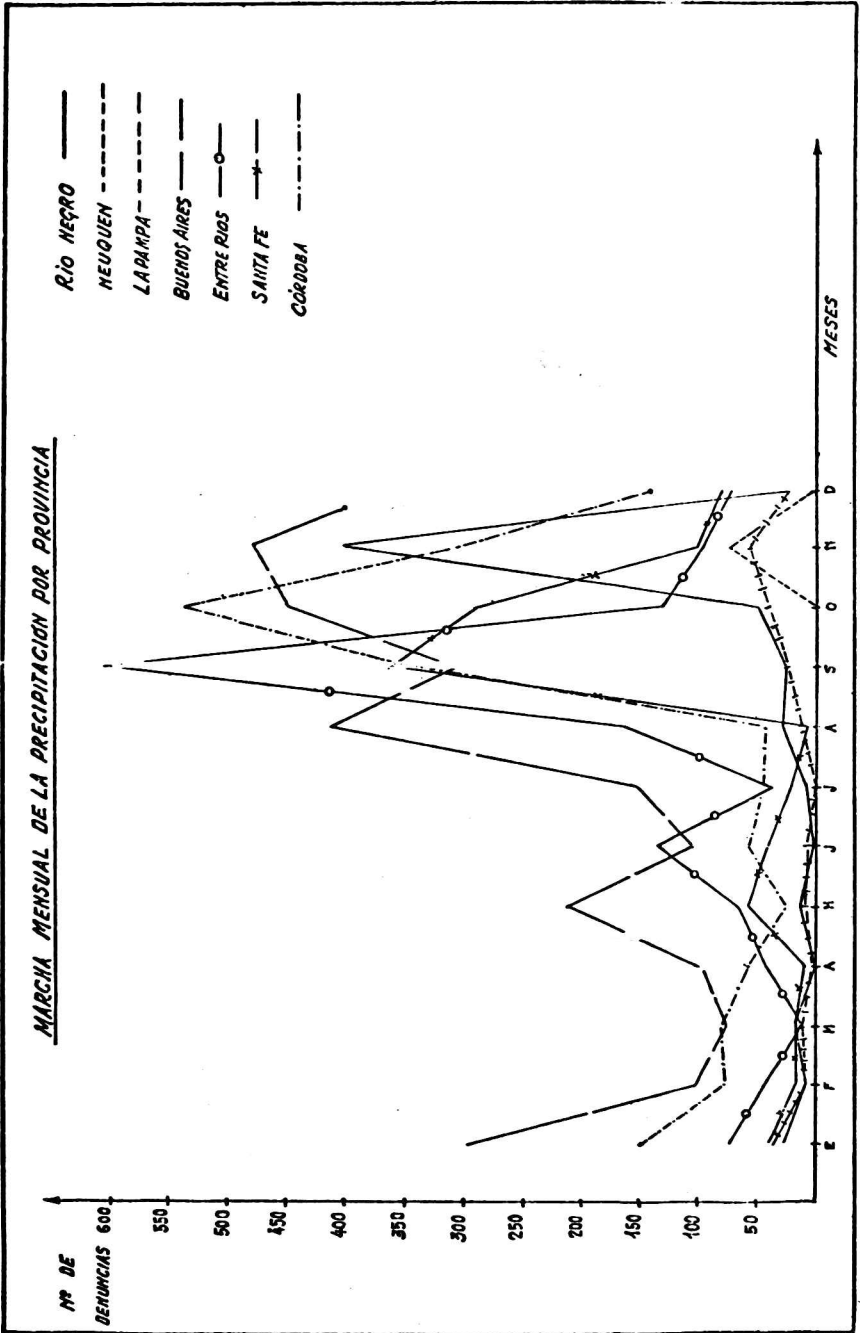


Figura 3

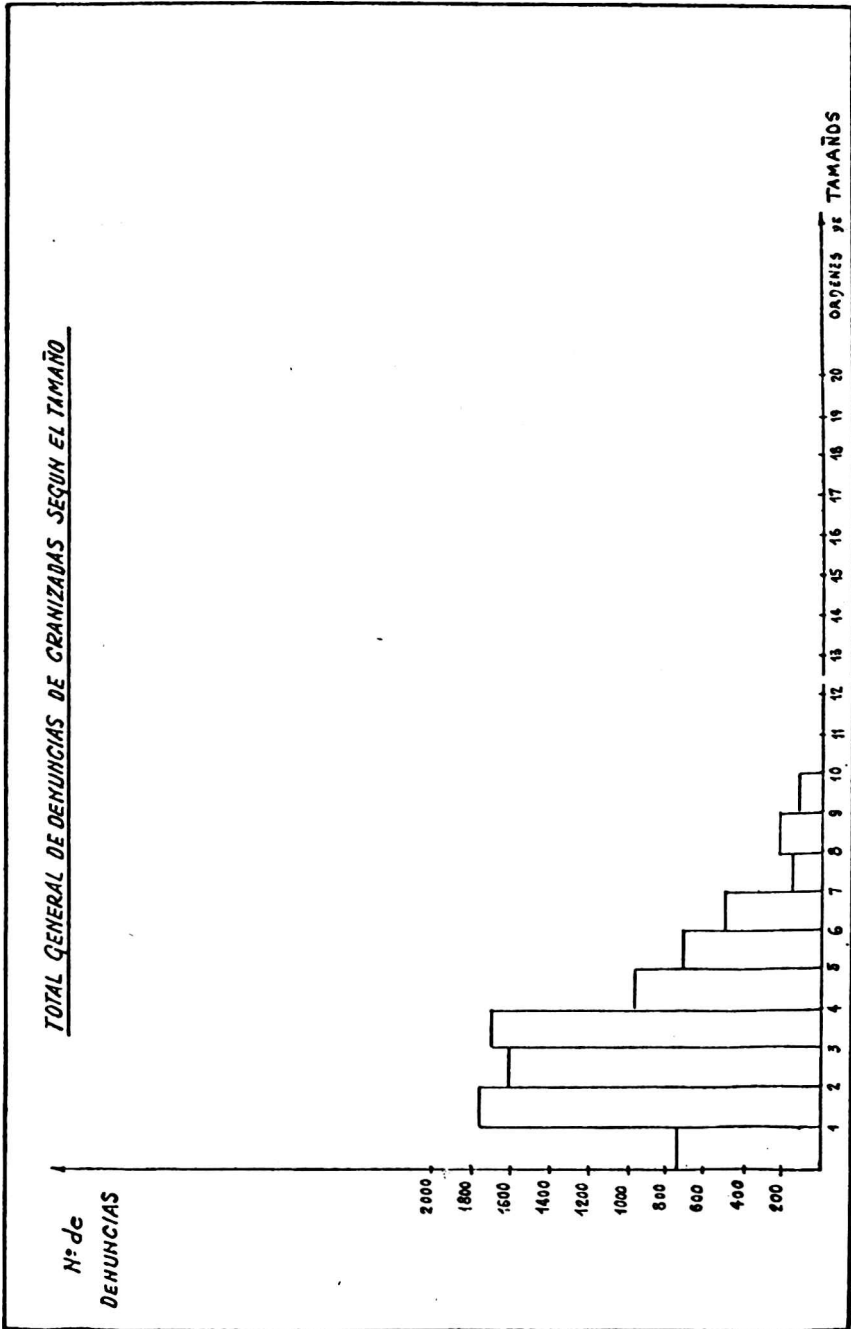


Figura 4

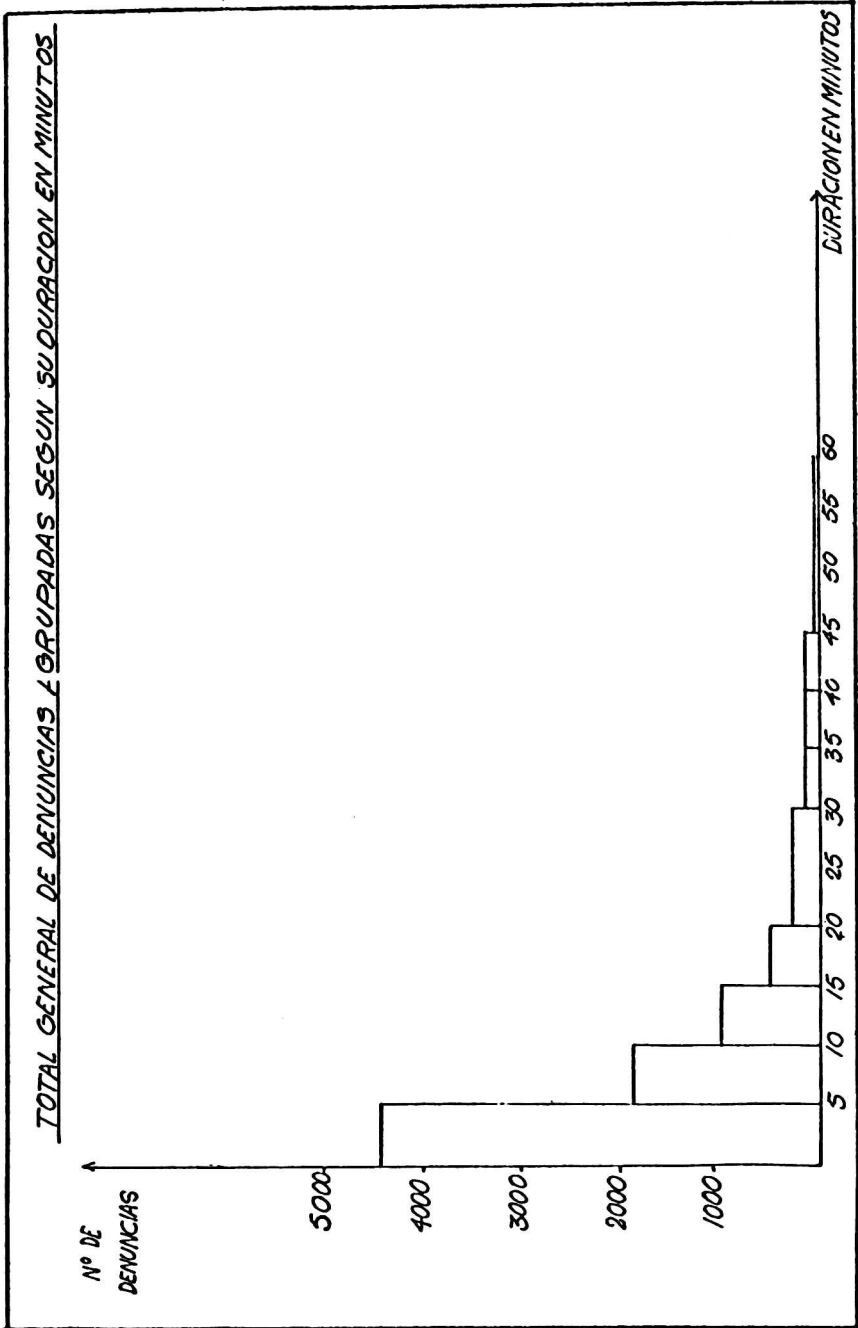


Figura 5

## BIBLIOGRAFIA

- Garabatos, M. y Nuñez J. M., 1969: Análisis de una tormenta de granizo en el Alto Valle del Río Negro y Neuquén; Publicación C, n. 6, Servicio Meteorológico Nacional.*
- Grandoso, H. N., Zawadski, I. y Sieski, A., 1966: Influencia del viento en altura sobre el desarrollo de tormentas. Serie Meteorológica, v. 1, n. 8. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.*

## BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Estadísticas Climatológicas Años 1901-1950 y 1951-1960. Publicación B. n. 1 y n. 6. Servicio Meteorológico Nacional.*
- Rider, P.R., Introduction to Modern Statistical Methods, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A.*

## ENSAYO DE UN PRONOSTICO NUMERICO PARA LA ARGENTINA<sup>1</sup>

ERICH R. LICHTENSTEIN, MARIO N. NUÑEZ,  
MARIA R. PEREZ DISCERNI y WALTER M. VARGAS  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales;  
Universidad de Buenos Aires.

La aplicación del pronóstico numérico en la Argentina encuentra el problema de los datos básicos para el análisis del estado inicial.

En este trabajo se realiza un ensayo basado en el análisis de los datos convencionales y en las imágenes de los campos nubosos proporcionados por la Estación Receptora APT en Ezeiza.

Para ello se ha empleado un modelo baroclínico de dos capas y se ha extendido el pronóstico hasta un término de 24 horas.

El resultado muestra que, aun con los datos disponibles en este momento, es posible encarar el pronóstico numérico.

**Numerical forecasting in Argentina has to deal with the problem of availability of observational data for the analysis.**

**In this paper we describe a test based on the analysis of the conventional data as well as on the cloud patterns received by the APT – Station of Ezeiza.**

**For this purpose we applied a two layer baroclinic model and extended the forecast for a period of 24 hours.**

**The result indicates that with the data currently available it is possible to employ numerical methods for routine forecasting.**

<sup>1</sup> Publicado en Revista Meteorológica, v. 3, págs. 5-23. Año 1972.



## ESTUDIO DE LOS TORNADOS EN LA ARGENTINA<sup>1</sup>

MARIA LUISA ALTINGER DE SCHWARZKOPF  
y ROMUALDO CARLOS MIGLIARDO  
Departamento de Meteorología,  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires

Para iniciar una investigación sistemática sobre los tornados en la República Argentina se visitó, desde 1971, la zona afectada por cada tornado sobre cuya ocurrencia se tuvo conocimiento, con el fin de apreciar las características de los daños causados y para determinar la intensidad del fenómeno. Se obtuvo hasta 1974 una serie de casos de los cuales se describen dos. Se mencionan, además, los diferentes aspectos con los que, en la actualidad, los autores están llevando a cabo esta investigación.

Starting a systematic investigation in Argentina, areas affected by tornadoes since 1971 were visited, in order to evaluate the damage produced and the intensity of the atmospheric phenomenon. Up to 1974 a serie of cases were obtained, of which two are described. Mention is made of the different aspects with which the authors are at present carrying on the investigation.

<sup>1</sup> Esta investigación contó con un subsidio del Fondo Especial para la Investigación Científica de la Universidad de Buenos Aires.



## INTRODUCCION

Circunstancias fortuitas hicieron que se experimentara muy de cerca los efectos que ocasionara el tornado ocurrido el 20 de enero de 1971 en la zona de Pehuajó, provincia de Buenos Aires. La evidencia de su ocurrencia y la magnitud de los destrozos despertaron el interés de iniciar una investigación sobre estos fenómenos. Si bien el tornado no era desconocido en la meteorología argentina, no ha sido objeto de un estudio sistemático que posibilitara la evaluación de su importancia en nuestro país.

Se comenzó por visitar, a partir de enero de 1971, los lugares de ocurrencia de todos los tornados de los que se tuvo conocimiento. Se consiguió por este medio tomar noción de las características propias que poseen los daños causados por este tipo de fenómenos e iniciar una clasificación de los mismos.

## TORNADOS ESTUDIADOS HASTA EL PRESENTE

Los tornados confirmados como tales por el estudio personal de los daños y del área afectada y clasificados según la escala Fujita-Pearson son los siguientes:

Año	Fecha	Lugar	Hora	F	P <sub>L</sub>	P <sub>W</sub>	Provincia
1971	ene-20	Pehuajó	20.30	1	—	—	Buenos Aires
1971	dic-18	Cacharí	23.20	1	—	—	Buenos Aires
1972	ene- 1	Castex	22.20	1	—	—	La Pampa
1972	oct-23	Banderaló	17.30	1	—	—	Buenos Aires
1973	ene- 2	Maciel	15.15	1	1	0	Santa Fé
1973	ene-10	San Justo	13.55	5	2	3	Santa Fé
1973	feb- 9	Gral. Güemes	15.15	0	2	1	Salta
1973	mar-24	Darregueira	22.55	1	1	1	Buenos Aires
1974	ene- 4	Bolívar	23.30	2	3	3	Buenos Aires
1974	ene- 5	Max. Fernández	00.10	3	3	4	Buenos Aires
1974	ene- 5	Bragado	00.15	2	3	3	Buenos Aires
1974	ene- 5	Villa Lugano	02.00	2	1	3	Capital Federal
1974	abr-23	Cnia. Esperanza	00.15	1	—	—	Misiones

La escala Fujita Pearson (Fujita, 1971) permite caracterizar al tornado mediante tres cifras que se refieren a la severidad de los daños causados (F), la longitud (P<sub>L</sub>) y el ancho medio (P<sub>W</sub>) del área afectada. En las fotografías 1 a 4 pueden apreciarse algunos aspectos de los destrozos producidos en las construcciones y cultivos.

De los relevamientos efectuados se muestran a título ilustrativo en las Figuras 1 y 2, los correspondientes a los tornados de San Justo, Santa Fe, y de Gral. Güemes, Salta, respectivamente.

En el caso de San Justo (Fig. 1) el análisis casa por casa permitió una mayor precisión en la delimitación de los bordes. La configuración resultante sugiere la existencia de vórtices más pequeños que giraron alrededor del centro del tornado. Esta conclusión coincide con la observación de trazas elípticas comunicadas por van Tassel (1954) en el caso del tornado de North Plate Valley del 27 de junio de 1955, con las trazas cicloidales halladas por Prosser (1964) a lo largo de la trayectoria de un tornado en Nebraska el 5 de mayo de 1964 y con

las trazas de succión correspondientes a los tornados del 11 de abril de 1965 en los Estados Unidos de Norteamérica, estudiados por Fujita, Bradbury y van Thullenar (1970).

El caso analizado en Gral. Güemes (Fig. 2) fue un ejemplar de tornado múltiple. Los vecinos del lugar coincidieron en describir los momentos previos como similares a los de una tormenta extraordinaria, acompañada por fortísimas descargas eléctricas hasta que, de pronto, un ruido ensordecedor les provocó pánico.

El capataz de un ingenio, espectador del fenómeno en pleno campo, observó como de la base de las nubes descendieron dos conos nubosos hasta tocar el suelo en las cercanías de la localidad de Cabeza de Buey. El de mayor tamaño, de unos 50 m de diámetro, se desplazó en forma zigzagueante hacia el Norte, a través de una zona de monte, manteniendo una distancia de unos 500 m con respecto al segundo. Luego de cruzar el río Mojotoro y de destrozar parcialmente unas hectáreas de un cañaveral, se desvió hacia el Noroeste atravesando el camino asfaltado, donde volcó los postes telefónicos, desplazándose hacia la Colonia Santa Lucía. En este lugar destechó algunas viviendas, desgajó un eucalipto y derribó un algarrobo. Desde allí los rastros se pierden dentro de otro cañaveral.

Se recorrió por tierra la franja afectada y se observó que los destrozos se presentaban en forma discontinua a lo largo de la trayectoria. En la zona de monte, al Sur del río Mojotoro, se hallaron derribados ejemplares de las siguientes especies vegetales: algarrobos, quebrachos, serenos, mistoles, duraznillos y cactáceas. Dentro del cañaveral se encontraron huellas, cuyas formas se indican en el croquis de la Figura 3. Para descubrir los rastros del tornado más débil se recorrió una amplia área de la zona dañada, pero no fue posible determinar su trayectoria por lo dificultoso que resulta el acceso a las que se hallan dentro del monte salteño. En estos casos la inspección aérea es la única efectiva, pero diversas razones la impidieron.

El tornado ocurrido el 2 de enero de 1973 a las 15.15 horas en las cercanías de la localidad de Maciel, Santa Fe, recorrió tres chacras, produciendo destrozos a lo largo de una trayectoria de 4 km de longitud, orientada de Este a Oeste. Según los testigos, el cielo presentaba un aspecto tormentoso, en especial hacia el Norte, desde donde se percibían truenos ininterrumpidamente; de pronto, desde una de las nubes se desarrolló una manga nubosa que, después de tocar tierra, produjo los siguientes destrozos en su trayectoria hacia el Oeste: destruyó totalmente un galpón de mampostería, elevó aves de corral y animales domésticos por los aires, levantó el techo de una vivienda y destruyó otro galpón. Los testigos estiman que la manga tenía un diámetro de unos 50 m. No llovió, pero se registró una fuerte granizada en la localidad de Maciel, ubicada unos 7 km hacia el ENE.

Ocho días más tarde se produjo el terrible tornado de San Justo, unos 200 km al Norte de Maciel, que ha sido calificado por el Dr. T. Fujita, en una comunicación personal a los autores, como "el peor tornado registrado en el mundo fuera de las fronteras de los Estados Unidos".

Un año más tarde, el 5 de enero de 1974, ocurrió en la localidad de Máximo Fernández, Buenos Aires, un tornado cuya intensidad alcanzó el valor 3 de la escala F. En la misma noche, las inmediaciones de las ciudades bonaerenses

de Bolívar y Bragado fueron afectadas por fenómenos similares, así como también el barrio de Villa Lugano en la Capital Federal.

## **OBJETIVOS Y DIFERENTES ASPECTOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION**

Si bien los tornados y las tormentas severas tienen efectos casi incontrollables, toda sociedad organizada trata, mediante estudios sobre el tema, de reducir al mínimo el riesgo que implican tales fenómenos.

Los peligros pueden minimizarse de dos formas: **a)** en forma perdurable, teniendo en cuenta las fuerzas destructoras en el planeamiento y cálculo de un sinnúmero de proyectos y construcciones; **b)** en forma momentánea, mediante un sistema de alerta que permita a la población tomar las precauciones necesarias ante la posibilidad de acercamiento de una tormenta severa. Es obvio que ambas formas son más efectivas cuando se complementan.

Por tal razón se ha enfocado la investigación de tornados y tormentas severas según los aspectos estadístico-climatológico, sinóptico, dinámico y físico.

El estudio estadístico-climatológico comprende la distribución geográfica, estacional, temporaria y el espectro de intensidad. Este enfoque hará posible la evaluación del riesgo económico que representan los tornados y tormentas severas en las distintas regiones de nuestro país, y permitirá determinar las zonas en las que, por la elevada frecuencia de ocurrencia de los mismos, debería precisarse su pronóstico.

Bajo el aspecto sinóptico se estudian, en escala resumida, las condiciones físicas y termodinámicas del ambiente dentro del cual se generan los tornados y las tormentas severas, con el fin de determinar las condiciones características que permitirían estudiar la probabilidad de ocurrencia de eventos graves sobre una región determinada.

Bajo el aspecto dinámico se estudia el mecanismo de las tormentas rigurosas y tornados con el fin de descubrir e interpretar las observaciones recogidas y realizadas en los lugares de ocurrencia de cada caso en particular.

El enfoque físico comprende la inspección personal del área afectada, el análisis de la acción del tornado sobre las viviendas, construcciones, árboles y objetos, y la recopilación de las declaraciones de los testigos.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

La primera etapa de la investigación, que consistió en tomar conocimiento del fenómeno elegido para su estudio, se considera ya superada. Durante la misma no fue posible asignar a cada uno de los enfoques mencionados arriba un índice de prioridad, ya que todos están relacionados. Hubiera sido imposible encarar el estudio estadístico-climatológico sin un primer aporte del estudio físico, y éste sin conocer algo del aspecto dinámico.

En la actualidad, ya en una segunda etapa de la investigación, se le asignó primera prioridad al estudio del aspecto estadístico-climatológico, por ser el que más relevancia tiene para el país.

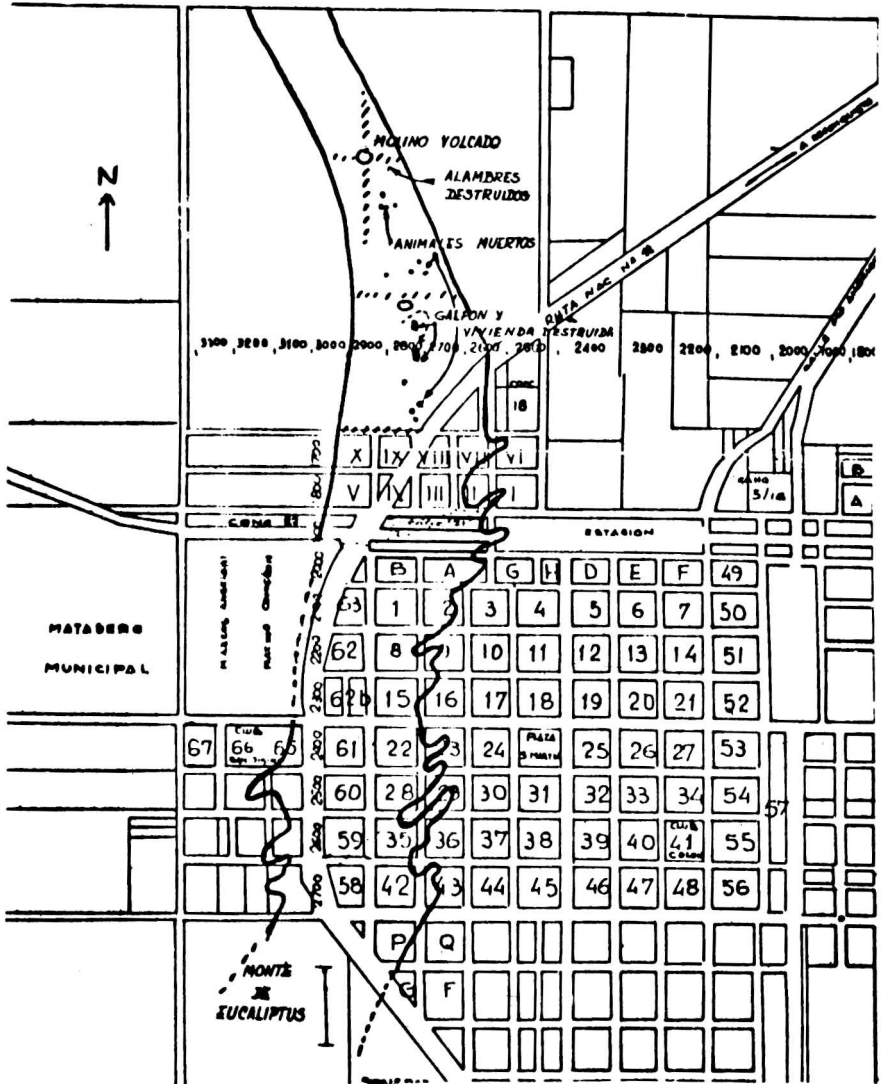


Figura 1: Area de la ciudad de San Justo, Santa Fé, afectada por el tornado ocurrido el 10 de enero de 1973.

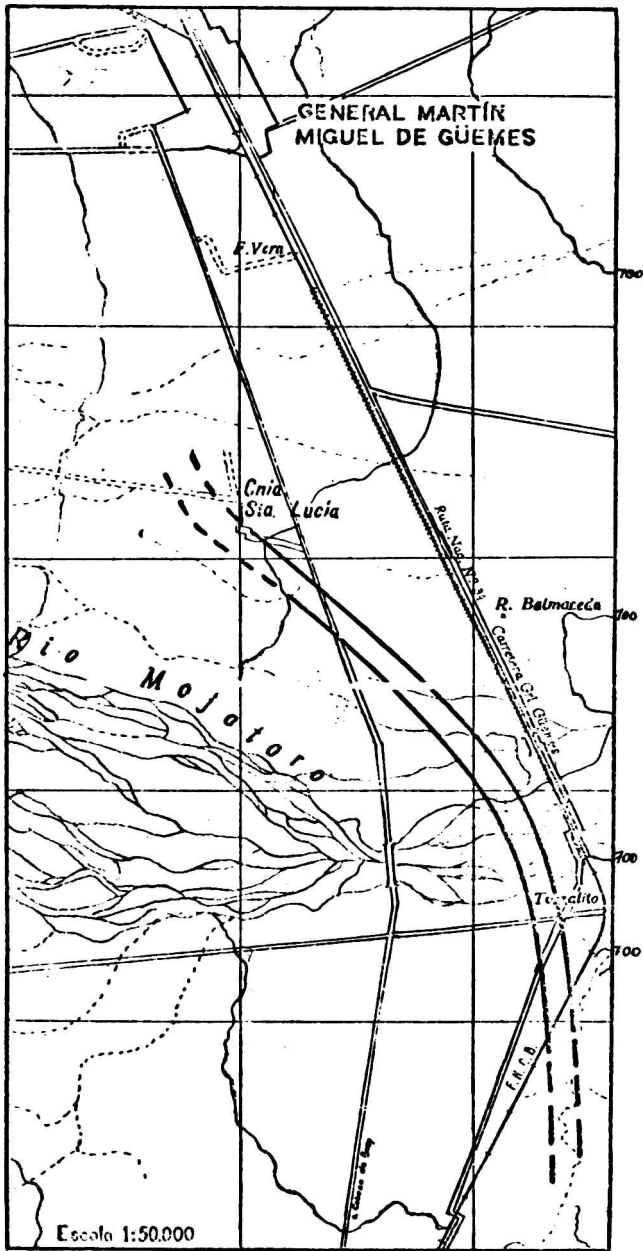


Figura 2: Trayectoria del tornado ocurrido en Gral. Güemes, Salta, el 9 de febrero de 1973.

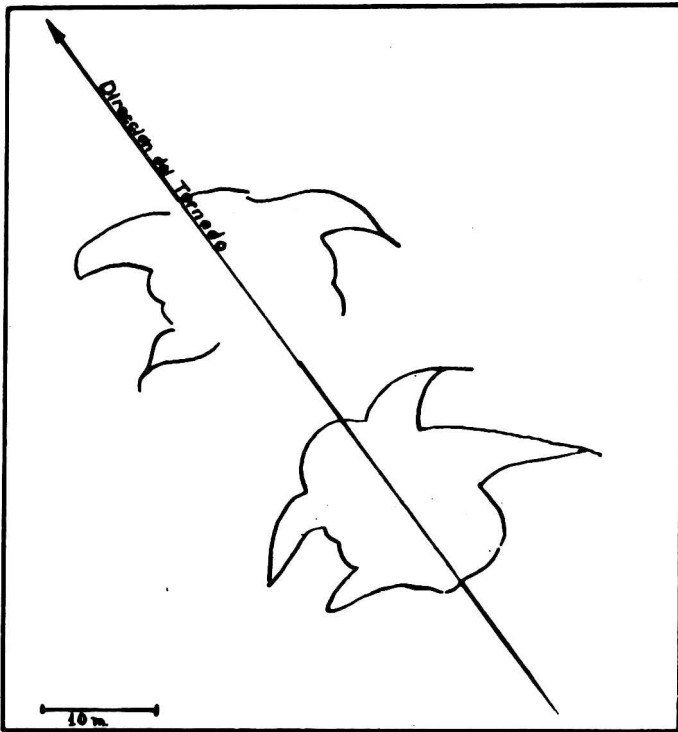
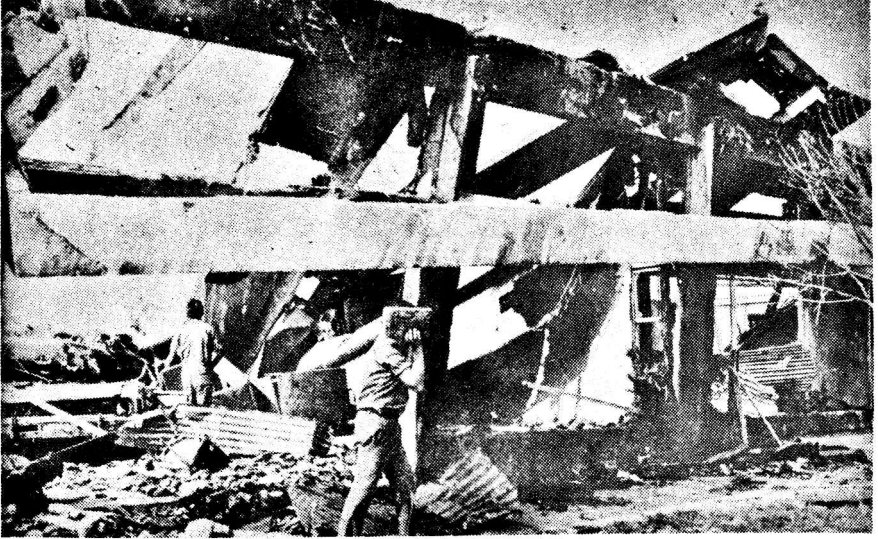


Figura 3: Forma de las huellas producidas por el tornado dentro del cañaveral. (Gral. Güemes, Salta).



**Figura 4**

**Figura 4:** Estado en que quedó una construcción después de sufrir los efectos del tornado (San Justo, Santa Fé).



**Figura 5**

**Figura 5:** Vivienda derrumbada (Banderaló, Buenos Aires).



Figura 6: Cañaveral afectado por un tornado (Gral. Güemes, Salta).

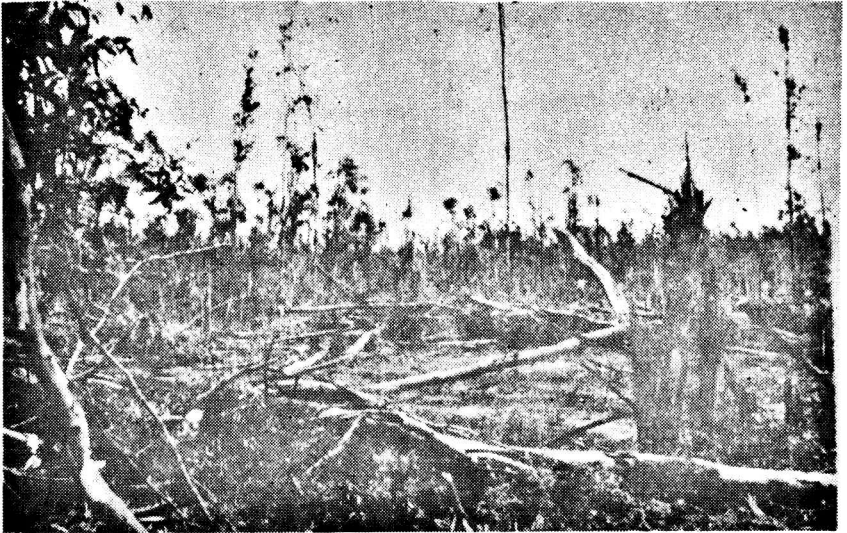


Figura 7

Figura 7: Vista parcial del monte de eucaliptus donde el tornado de San Justo, Santa Fé, finalizó su trayectoria.



## BIBLIOGRAFIA

- Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SRMP Research. Paper n. 91.*
- Fujita, T. T., Bradbury and van Thullenar, 1970: Palm Sunday Tornadoes of April 11, 1965. Monthly Weather Review, v. 98, n. 1.*
- Prosser N. E., 1964: Aerial Photographs of a Tornado Path in Nebraska, May 5, 1964. Monthly Weather Review, v. 92, n. 12.*
- Schwarzkopf, M.L.A. de, y Migliardo C.R.: El tornado de San Justo, provincia de Santa Fé, ocurrido el 10 de enero de 1973. Meteorológica, v. 4.*
- van Tassel, E. L., 1954: The North Plate Valley Tornado Outbreak of June 27, 1954. Monthly Weather Review, v. 82, n. 5.*

## **PRONOSTICO AUTOMATICO DE OLAS EN EL ATLANTICO SUR<sup>1</sup>**

**OMAR RAUL RIVERO, MARIA LUZ DUARTE DE LLORET  
y ESTELA ANGELA COLLINI**  
Servicio Meteorológico de la Armada Argentina

Sobre la base del Método de Densidades Espectrales Nº 5 desarrollado en la Meteorología Nacional Francesa se ha efectuado el estudio e implementación de un pronóstico automático de olas para aguas profundas en el Atlántico Sur.

**Based on Spectral Densities Method Nº 5, developed at the French National Meteorology, the study and implementation of an automatic wave forecast for deep waters in the South Atlantic Ocean has been carried out.**

<sup>1</sup> Resumen del trabajo editado en la Publicación A.S.P.A.S. H 407/3 del Servicio de Hidrografía Naval.



**CALCULO DE LA LATITUD POR EL METODO DE GAUSS  
UTILIZANDO UNA COMPUTADORA ELECTRONICA DE MESA**

**RAUL O. MALBERTI y RAFAEL I. GUTIERREZ**  
Area Geodésico-Topográfica,  
Instituto Nacional de Prevención Sísmica

Se presenta un programa elaborado para la computadora electrónica de mesa Olivetti Programma 101, destinado a calcular la latitud de un lugar mediante el método de Gauss.

A program to compute geographic latitudes by the Gauss method, using an Olivetti Programma 101 table electronic computer, is presented.

## INTRODUCCION

La urgente necesidad de determinar la latitud y la longitud de cada una de las estaciones sismológicas que posee el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), así como de su sede central, con el fin de que queden perfectamente ubicadas geográficamente, llevó a utilizar para ello el método de Gauss. Este, como se sabe, permite determinar la latitud de un lugar y la corrección del reloj en aquellos casos en que sea necesaria, utilizando la observación de los instantes en que 3 o más estrellas alcanzan una misma altura. Para ello sólo es preciso observar los pasajes de esos astros por el hilo horizontal del retículo, es decir, que no intervienen en el instante de la medición ni círculos graduados ni órganos auxiliares de lectura, y tampoco interesa la exactitud de la altura común en que han sido observadas las estrellas. Sí es importante un correcto estacionamiento del teodolito, para que el eje de colimación describa efectivamente un cono recto de eje vertical.

Este método presenta varios inconvenientes que lo hacen a veces deseable, pero por la sencillez de su programación —debida en gran parte a la solución y tablas confeccionadas por el Ing. Félix Aguilar (1952)— y de su operatividad, se hace aconsejable su utilización para los trabajos comunes, a la vez que permite obtener buenos resultados, aun con el uso de modestos recursos instrumentales.

Uno de los motivos por el que no se aplica el método con más frecuencia es la gran cantidad de tiempo que insume su cálculo.

## RESOLUCION POR COMPUTADORA ELECTRONICA

Contando hoy con computadoras electrónicas de gran capacidad el tiempo de cálculo se reduce en forma extraordinaria. Ese ideal no está al alcance de todos. Es real, en cambio, que la mayoría de los profesionales del medio utilizan máquinas de calcular comunes con las que cada grupo de estrellas requiere alrededor de tres horas, sin mencionar la constante posibilidad de cometer errores.

La existencia en plaza de computadoras de mesa, a precios accesibles, ha llevado a intentar disminuir el esfuerzo, a asegurar los resultados y, fundamentalmente, a ahorrar tiempo con el método que se presenta.

Es así como, contando en el INPRES con una Olivetti Programma 101, se ha elaborado un programa de cálculo de la latitud por el método de Gauss, registrado en dos tarjetas magnéticas. Además, para evitar el uso de tablas, se pueden utilizar otras tres tarjetas para la obtención de las funciones trigonométricas y de los ángulos necesarios.

La totalidad del cálculo, incluida la obtención de las ascensiones rectas, declinaciones de los astros y funciones trigonométricas, así como la imposición de estos datos en la computadora y la obtención del resultado final, insume alrededor de 20 minutos.

Dada su sencillez, no se ha considerado necesario elaborar un programa para el cálculo de la longitud. Las planillas de cálculo y los diagramas de flujo se encuentran en el INPRES.

## MEJORAS EN EL DISEÑO DE RESISTIVIMETROS

JOSE A. DEMICHELI y JOSE M. FEBRER  
Departamento de Geofísica,  
Observatorio Nacional de Física Cósmica,  
Comisión Nacional de Estudios Geoheliofísicos

El empleo de corrientes continuas en la prospección geoelectrica es preferido por diversas razones de orden práctico. Los componentes electrónicos modernos permiten diseñar partes críticas de los resistivímetros en forma relativamente simple. La inyección de corriente a potencias moderadas puede proveerse por medio de convertidores, a partir de una fuente primaria compuesta de baterías comunes. Para la medición de potencial el empleo de milivoltímetros electrónicos permite mayores facilidades de operación que los métodos potenciométricos clásicos.

**The use of direct current in geoelectric prospecting is preferred for several practical reasons.**

**Modern electronic componentes allow to design critical parts of resistivimeters in a relatively easy manner. Direct current injection can be provided by a DC-DC converter by means of a single ordinary lead battery. For potential measurement, the use of electronic millivoltimeters, provide better operational conditions than the classical potentiometric methods.**

## INTRODUCCION

Actualmente es posible utilizar componentes electrónicos que permiten mejorar en varios aspectos el instrumental para prospecciones geoelectricas por el método de resistividad. Estos componentes posibilitan el montaje de equipos de operación más rápida y su costo es inferior al de los instrumentos clásicos que poseen milivoltímetros de tipo potenciométrico con galvanómetro de cero.

El principio del método de prospección por resistividad (Fig. 1), consiste en introducir en el terreno una corriente  $I$  por medio de dos electrodos enterrados, A y B, estableciendo de esta forma una distribución de potencial en superficie. En estas condiciones, la diferencia de potencial entre dos puntos M y N se mide por medio de otros dos electrodos. Variando la disposición geométrica de los electrodos, a partir de las corrientes y los potenciales medidos en cada caso es posible inferir la distribución de la resistividad en los substratos. La corriente se mide con un miliamperímetro común, y se provee a partir de una fuente de potencia. La medición de la diferencia de potencial requiere el uso de algún tipo de milivoltímetro. Tanto la fuente de potencia como el milivoltímetro son susceptibles de ser diseñados con componentes electrónicos. Por diversas razones de orden práctico nos hemos decidido por la construcción de resistivímetros del tipo de corriente continua.

## FUENTE DE POTENCIA

En relación con la fuente de potencia, es posible construir generadores de estado sólido para proveer la corriente necesaria a los electrodos A y B. Un generador transistorizado (Fig. 2) permite obtener tensiones variables a partir de una batería común de plomo de 12 ó 24 voltios. Los transistores conforman un circuito oscilador que produce corrientes alternadas en el devanado primario del transformador de salida. La tensión por utilizar se selecciona mediante una llave de varias posiciones y, luego de rectificadas y filtradas se aplica a los electrodos de corriente a través del miliamperímetro de medición.

Otra posibilidad para estos fines es utilizar tiristores (Fig. 3). Los tiristores, controlados por medio de un generador de pulsos, actúan como llaves que se abren y cierran en forma alternada. El principio de funcionamiento del conjunto es similar al comentado anteriormente.

Estos generadores tienen un rendimiento cercano al 80% y pueden proveer potencias máximas de 1 KW. Encuentran aplicaciones en los casos en que se requiere mayor potencia que la que pueden proveer las baterías de pilas secas, utilizadas comunmente para realizar prospecciones de poca profundidad, y por otra parte, no resulta operativo o necesario el uso de pesados motogeneradores con potencias de varios KWs.

## MILIVOLTIMETROS

Se puede construir un instrumento de lectura directa a partir de un amplificador de tipo operacional (Fig. 4). El instrumento de lectura se conecta a

la salida del amplificador y puede utilizarse para estos fines un miliamperímetro de 1 miliamperio a fondo de escala. Modificando los valores de las resistencias de realimentación R1 y R2, se modifica la amplificación del sistema. Esto permite seleccionar las diferentes escalas del milivoltímetro variando el valor de una de estas resistencias por medio de una llave conmutadora.

Una de las características importantes del milivoltímetro es el valor de su resistencia de entrada. Esta debe ser mucho mayor que la resistencia de contacto entre los electrodos M y N y tierra. Para los casos más comunes que no incluyen las exploraciones sobre rocas aflorantes muy resistivas o terrenos congelados suele ser suficiente un valor de resistencia de entrada del orden del meghom. El valor de esta resistencia de entrada debe tenerse en cuenta en el diseño, no sólo como requerimiento del instrumento, sino también a causa de que las resistencias elevadas incrementan las tensiones de ruido a la entrada del amplificador. El montaje de estos milivoltímetros hace necesario utilizar amplificadores lineales que tengan bajo ruido de tensión y de corriente. Los amplificadores que utilizan "choppers" son los mejores desde el punto de vista de su bajo ruido, pero otros requerimientos de diseño pueden hacer más aconsejable el uso de amplificadores con transistores bipolares. Los amplificadores con transistores de efecto de campo suelen tener tensiones de ruido más elevadas que los otros tipos ya comentados, pero pueden resultar útiles cuando las condiciones de trabajo hacen necesario recurrir al uso de milivoltímetros con muy alta impedancia de entrada.

## RESISTIVIMETRO

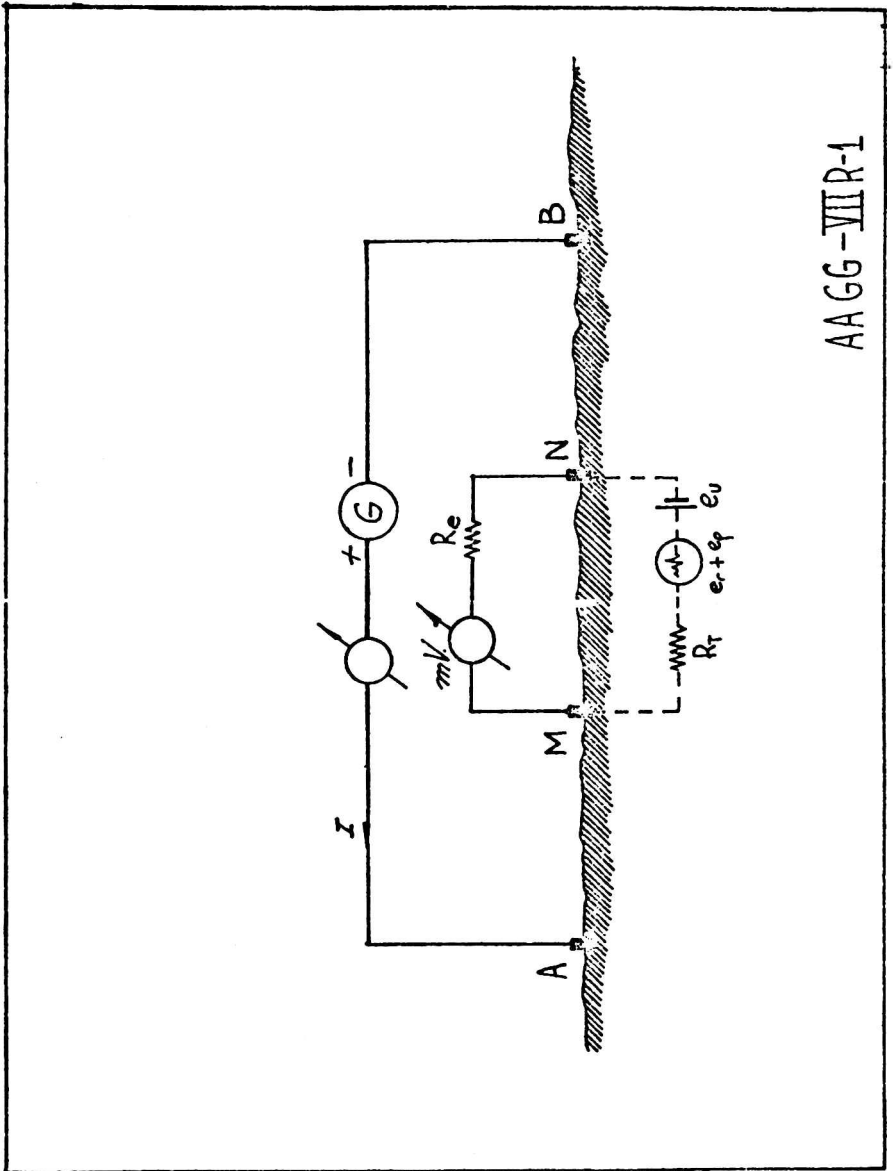
A fines de 1972 completamos en nuestro Departamento un resistivímetro de acuerdo con estos principios de diseño (Demicheli y Febrer, 1973). En esta primera experiencia utilizamos elementos electrónicos comunes. Las pruebas de campo mostraron un comportamiento satisfactorio del conjunto.

Recientemente hemos diseñado un resistivímetro más elaborado que incluye un milivoltímetro con mayor sensibilidad en relación al primer modelo y mejoras en el montaje que permiten construir un equipo con mayor facilidad de operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Demicheli, J. A. y Febrer J. M. 1973: Resistivímetro transistorizado para prospección geoelectrica. Nota técnica, Depto. de Geofísica, Observatorio Nacional de Física Cósmica, San Miguel (Argentina).*





AAGG-VIIR-1

Figura 1

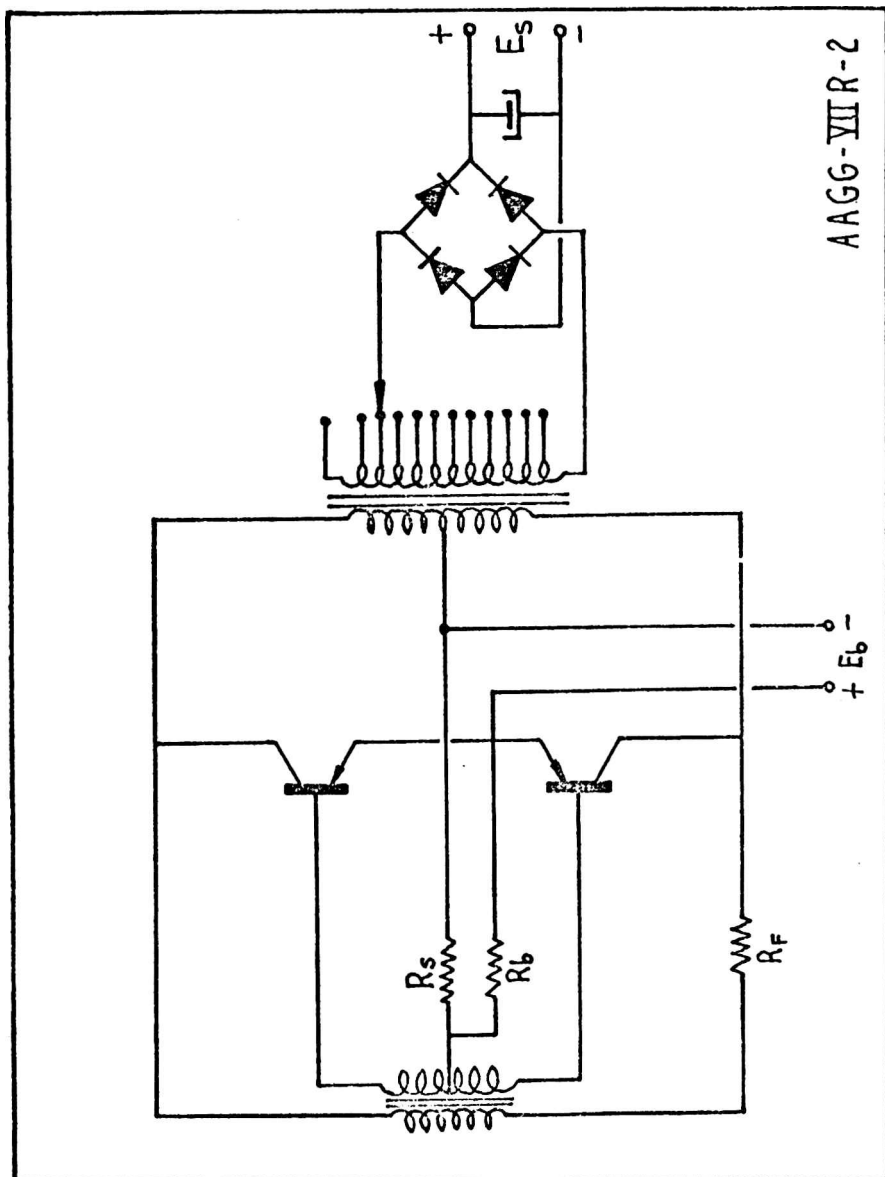
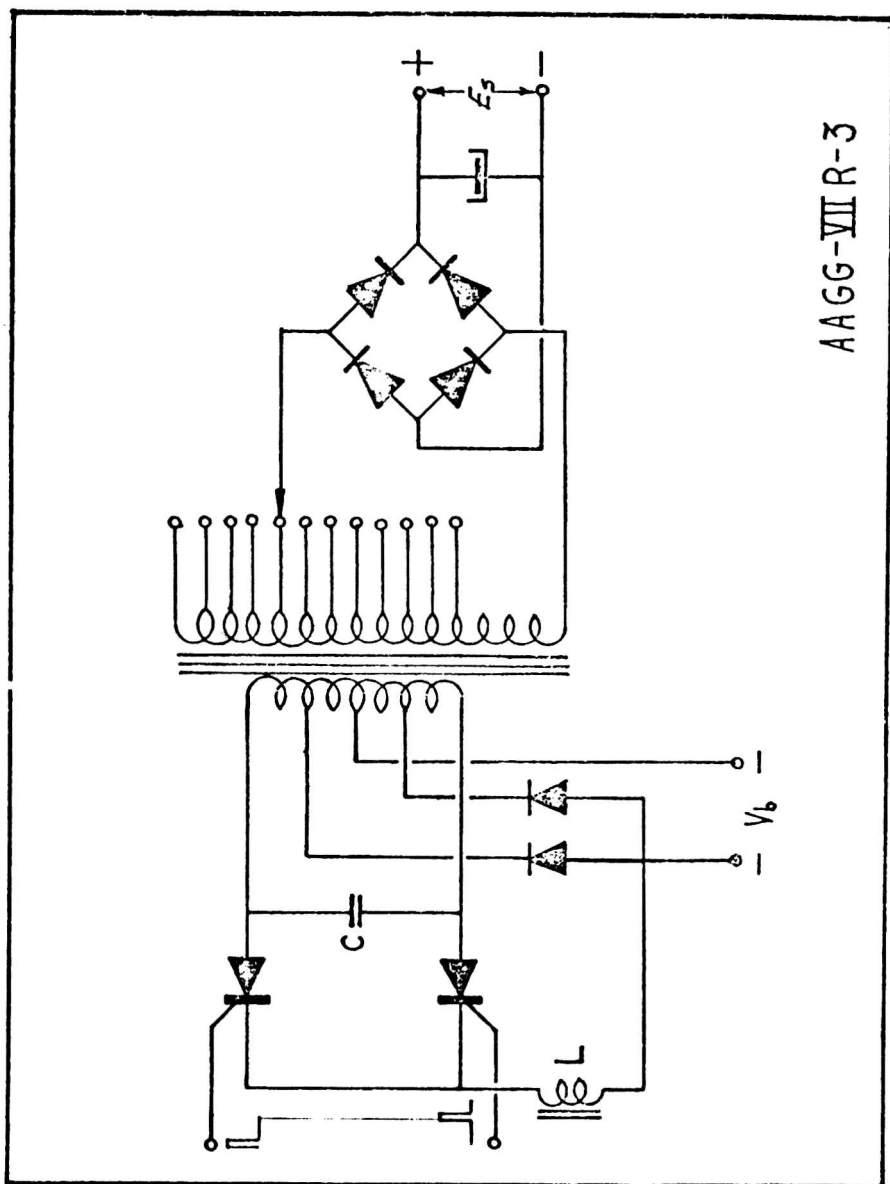
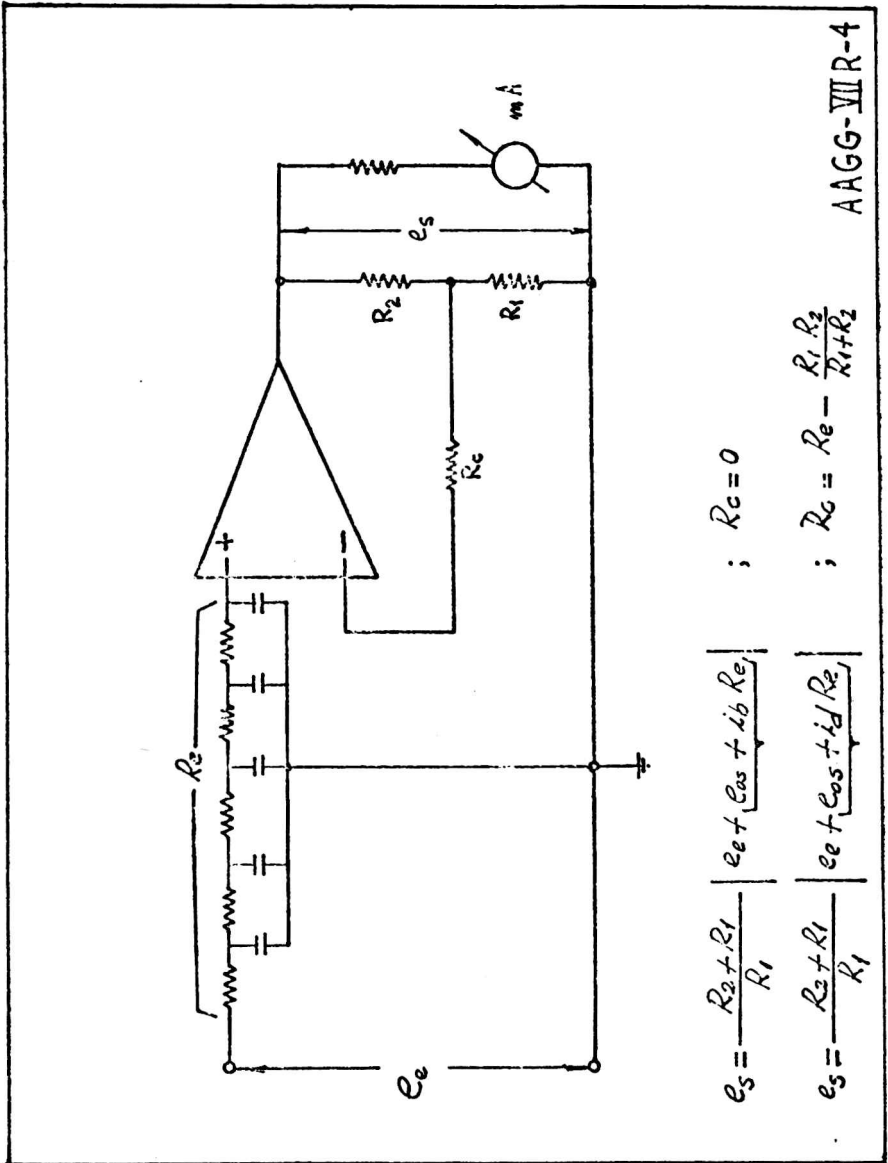


Figura 2



AAGG-VII R-3

Figura 3



$$e_s = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \left| e_e + \underbrace{e_o}_{\cos} + i_b R_e \right| \quad ; \quad R_c = 0$$

$$e_s = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \left| e_e + \underbrace{e_o}_{\cos} + i_b R_e \right| \quad ; \quad R_c = R_e - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Figura 4



## FLUCTUACIONES DE RADIACION SOLAR VISIBLE

E. CRIVELLI y A. RELA

Radiación Solar, Comisión Nacional de Estudios Geoheliofísicos,  
Ministerio de Educación

Con el objeto de evaluar el error estadístico en contrastes pirheliométricos, se ha desarrollado un circuito puente, una de cuyas ramas está constituida por un fotorresistor.

La sensibilidad del puente es de aproximadamente 1 parte en 100.000.

Se ha acoplado además un conjunto de filtros RC para aislar las fluctuaciones de diferente base de tiempo.

Se han obtenido resultados experimentales, y se mencionan otras aplicaciones meteorológicas.

In order to evaluate the statistical error of pyrhelimetric calibrations, work was started on the development of an instrument designed for measuring fluctuations of solar radiation intensity.

The instrument consists of a bridge circuit one of whose arms are a light dependant resistor. The bridge's sensibility is about one part in 100.000.

A system of RC filters was added, in order to isolate fluctuations occurring in different time bases.

Experimental results have been obtained, and other meteorological applications are mentioned.

De manière à évaluer l'erreur statistique des paramètres radiatifs, un travail a été entrepris pour développer un instrument conçu pour la mesure des fluctuations de l'intensité des radiations solaires.

L'appareil comprend un pont dont l'une des branches comporte une photorésistance. La sensibilité du pont est de 1/100.000.

Un système de filtres RC permet d'isoler les fluctuations se produisant avec des bases de temps différentes.

## INTRODUCCION

Una de las principales fuentes de error en la calibración de instrumentos de radiación solar utilizando métodos de contraste, es la variación de la intensidad de radiación durante el ensayo de calibración en campo. Si estas variaciones son lentas, como las debidas al cambio de la altura solar, el error introducido no es demasiado grande, pero la presencia de nubes muy tenues y de corrientes convectivas introduce fluctuaciones de intensidad más rápidas que las originadas por los instrumentos de medición, apareciendo dificultades cuando la respuesta temporal de éstos es desigual. Una manera de evitar estas dificultades es elegir días completamente diáfanos. Esta condición, lamentablemente, es difícil de distinguir a simple vista.

El instrumento que se describirá permite estimar el orden de magnitud de esas fluctuaciones de intensidad y decidir, en menor tiempo que el que demandaría el contraste, si las condiciones atmosféricas son o no apropiadas para efectuar contrastes.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El aparato consiste en un simple puente de Wheatstone, uno de cuyos brazos está constituido por un fotorresistor de sulfuro de cadmio. Su señal de desequilibrio es amplificada mediante un amplificador de estado sólido en circuito integrado cuya salida se conecta a un miliamperímetro de bobina móvil con cero al centro.

Se han intercalado filtros RC con el objeto de aislar a la base de tiempo de interés, dividiendo el espectro en cinco bandas desde 10 Hz hasta 0,01 Hz, correspondientes a tiempos desde 0,1 seg hasta 100 seg, respectivamente. En efecto, la variación de intensidad solar debido al movimiento astronómico tiene una incidencia de alrededor del 1% en un lapso de 100 seg.

La sensibilidad del dispositivo ha sido ajustada de modo tal que permite descubrir variaciones del orden de 1 parte en 100.000, con la posibilidad de atenuar este parámetro mediante una llave selectora de cinco posiciones. De esta manera, la sensibilidad puede hacerse cinco órdenes de magnitud inferior.

Mediante la conexión de un miliamperímetro adicional y un circuito rectificador con filtro, es posible tener una lectura correspondiente al valor medio del valor de pico de la fluctuación en un determinado período, que es del orden de diez veces la base temporal de la fluctuación seleccionada.

## OPERACION

El aparato es apuntado al sol, o a la fuente cuya intensidad de radiación luminosa se esté estudiando, equilibrando al puente con un ajuste grueso y otro fino. Se elige a continuación la sensibilidad más apropiada, teniendo en cuenta la amplitud de la escala. Si, por ejemplo, estamos en un caso en que la intensidad de radiación presenta un decaimiento lento por descenso solar superpuesto a una fluctuación rápida por turbulencia, es posible mediante la interposición de los

filtros RC aislar a cada una de esas variaciones, rechazando a la otra. Esto se logra con dos llaves selectoras, correspondientes a las frecuencias de corte superior e inferior. En el primer caso, se observará un desplazamiento de la aguja de derecha a izquierda, hasta salirse de escala; en el segundo caso, un movimiento oscilatorio de la misma alrededor del centro.

Si se desea resumir la observación de fluctuación mediante un único número, se leerá el valor del segundo miliamperímetro, lectura que será proporcional al valor medio del módulo de la fluctuación, en un intervalo determinado.

## APLICACIONES

En el Departamento de Radiación Solar de la Comisión Nacional de Estudios Geoheliósficos se iniciaron algunos trabajos de experimentación con este instrumento. Este medidor de fluctuaciones fue apuntado a una lámpara conectada a una fuente de tensión estabilizada, de corriente continua en un caso y de alternada en otro. Se determinó en qué casos el brillo de la lámpara presentaba variaciones fuera de los límites establecidos por los requerimientos de calibración en laboratorio. Este ensayo fue necesario porque el flujo luminoso, no sólo depende de la tensión de alimentación, sino de otros parámetros, entre los que se cuentan las variaciones de temperatura, envejecimiento de la lámpara y ennegrecimiento interno. Es posible observar cómodamente la evolución del ennegrecimiento interno en períodos de unos 40 segundos para una extensión de escala.

Se han comparado las fluctuaciones de los rayos solares directos con los reflejados por objetos claros cerca del suelo. Como era de esperar, la fluctuación fue mucho mayor en este último caso, predominando las del rango de 0,1 seg.

Se efectuaron contrastes de pirheliómetros de Linke-Feussner contra patrón Ångström en días completamente claros a simple vista. Aunque aún no se han tomado suficientes datos (tales días son escasos), la Figura 1 parece mostrar una dependencia entre el error de la calibración y el índice de fluctuación. Cada contraste, representado por un punto en el gráfico, comprende unas 100 mediciones simultáneas tomadas a lo largo de 9.000 segundos (más de dos horas), y una determinación de fluctuación que insumió 10 segundos.

Se efectúan ensayos tendientes a correlacionar la fluctuación con corrientes de aire ascendentes y descendentes.

Es posible conectar el medidor a un osciloscopio o un graficador. En tal caso, opera como un amplificador de escala con cero arbitrario, con la posibilidad de retener sólo la base de tiempo deseada. Las fluctuaciones de mayor frecuencia que se han observado corresponden a una frecuencia del orden de los 20 Hz. Aquí aparece una limitación debida al propio tiempo de respuesta del fotorresistor utilizado.



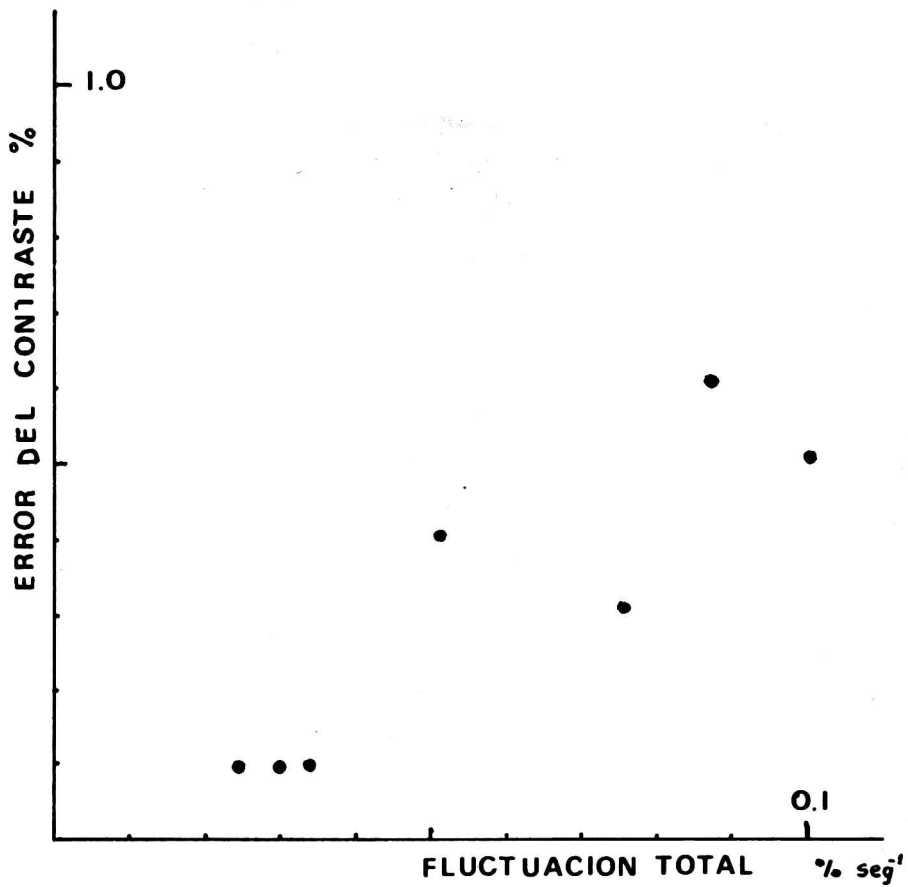


Figura 1: Correlación entre la fluctuación total y el error estadístico del contraste pirheliométrico.

## EFFECTOS NO-LINEALES OBSERVADOS EN LAS PULSACIONES AURORALES

HORACIO A. CAZENEUVE  
Instituto Antártico Argentino

Mediante un fotómetro fotoeléctrico que opera en la Base General Belgrano, Antártida, se estudian las pulsaciones de la intensidad auroral. Las variaciones de intensidad ocurren en forma de trenes de pulsos, en los cuales se repiten cíclicamente fases de crecimiento, saturación y decaimiento, y se distingue además una envolvente de modulación. Se encuentra evidencia de que las pulsaciones aurorales son producidas por ondas que se propagan en el plasma auroral, por lo cual se interpreta que el flujo de partículas aurorales es modulado principalmente por las ondas que se propagan en la ionósfera polar.

Se interpreta además que cada canal de energía de dicho flujo debe interactuar con distintas armónicas, que forman parte del paquete de ondas. Aunque las ondas y sus interacciones no pueden ser identificadas con certeza, se sugiere que las ondas acústico-iónicas deben contribuir a gran parte de los eventos estudiados. Se trata esencialmente de fenómenos no lineales.

The pulsations of the auroral intensity are studied by means of a photoelectric photometer at base General Belgrano, Antarctic. The pulsations are recorded as pulse trains. Each of them exhibits a cyclical behavior of growth, saturation and decay. A modulation envelope is also seen. Evidence is found that auroral pulsations are generated by waves that propagate in the auroral plasma.

Therefore, it is believed that waves which propagate in the polar ionosphere, are the principal source of auroral particles energy modulation. It is also interpreted that each energy channel must interact with the different harmonics composing the wave packet. Even though the identification of the waves and their interaction lies outside the scope of this paper, it is suggested that ion-acoustic waves play a dominant role in the events under study. These are essentially non-linear events.

## INTRODUCCION

Las auroras pulsantes se caracterizan por variaciones quasi-periódicas de su intensidad, superpuestas en un fondo luminoso continuo. Las mediciones de la intensidad auroral nunca indican un nivel estacionario, sino una gama de pequeñas variaciones, cuyos períodos van desde décimos de segundo hasta una o dos horas.

Los estudios hechos con cohetes y satélites indican que la precipitación de electrones aurorales tiene una modulación en pequeña escala, y que nunca alcanza un estado estacionario.

Sin embargo, existen discrepancias en cuanto al origen de esa modulación; Bryant et al. (1969, 1971) ubican la fuente de modulación a grandes distancias de la Tierra, lo mismo que Omholt y Pettersen (1967). En cambio Evans (1967), Lampton (1967) y Mozer (1968) sostienen la idea de un origen ionosférico de la modulación de intensidad.

## OBSERVACIONES

Las observaciones se efectuaron en la Base General Belgrano (lat. geom. 67.3, long. geom. 15.8). Se emplearon registros de la línea de 5577 Å de un fotómetro fotoeléctrico. El instrumento fue dirigido al cenit y calibrado en una escala absoluta. Los errores de esta calibración, después de ajustar el sistema electrónico, provienen del instrumento de medición de tensión, a la salida del amplificador del fotómetro, y de la lámpara de calibración. El error del primero es de  $10^{-4}$  voltios, cuyo equivalente en Rayleigh es aproximadamente dos órdenes de magnitud menor que la sensibilidad del fotómetro.

En cuanto a la luz patrón, tradicionalmente suele considerarse cero el error de un instrumento de calibración fidedigno.

Concluimos que los errores de la calibración absoluta son menores que la sensibilidad del instrumental empleado.

## CARACTERISTICAS DE LAS PULSACIONES

No obstante las dificultades para una clasificación rigurosa, hemos agrupado a las pulsaciones en los siguientes tipos: pulsaciones irregulares (pI), debido a su apariencia desordenada; pulsaciones lentas (pL), debido a su gran período, y pulsaciones esporádicas (pE), en razón de su aperiodicidad. En este trabajo se intenta una explicación de los mecanismos que generan cada uno de los modos de pulsaciones.

Se observa que las oscilaciones se presentan en forma de trenes de pulsos, con las siguientes fases:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Fase de crecimiento:  | la intensidad aumenta desde el nivel continuo.   |
| Fase de saturación:   | la amplitud alcanza su máximo. Los pulsos adquieren formas bien definidas.                 |
| Fase de recuperación: | la intensidad recobra su nivel de base. Los pulsos se distorsionan y decrecen en amplitud. |

## INTERPRETACION DE LAS PULSACIONES

Se ha efectuado el análisis armónico de las pulsaciones ópticas mediante dos métodos: uno de ellos es el de espectro de potencia. El otro ha sido desarrollado en el Instituto Antártico Argentino, y consiste en la aplicación del análisis de Fourier a oscilaciones aperiódicas. Este último método fue verificado empleando funciones de onda conocidas, hasta que sus resultados pudieron ser combinados con los obtenidos mediante espectros de potencia.

Debido a la naturaleza de este análisis, y también a su extensión, los métodos de cálculo empleados serán objeto de una publicación aparte. Aquí sólo incluiremos los resultados físicos. La conclusión es que la fuente de modulación está ubicada en el plasma auroral, y que las pulsaciones ópticas son causadas por perturbaciones en forma de ondas, las cuales existen en la ionósfera polar. Tales pulsaciones deben ser el efecto de complejas interacciones onda-onda y onda-partícula, que tendrían lugar en la misma ionósfera.

En efecto, Farley (1963) ha encontrado que las ondas electrostáticas son generadas en la región E de la ionósfera. Scarf et al. (1966) han descubierto ondas acústico-iónicas en la ionósfera superior, con la mayor amplitud durante los pasos del satélite sobre la zona auroral. Hofstee y Forsyth (1969), mediante experiencias con radar de auroras, han presentado evidencia directa sobre la existencia de esas ondas en el plasma auroral.

Nuestros registros fotométricos no permiten indagar la naturaleza de las ondas ni de sus interacciones, que aparentan gobernar los procesos pulsantes. Además, no puede esperarse que la frecuencia de las pulsaciones ópticas sea comparable a la de las ondas, pues la constante de tiempo del plasma hace que éste reaccione más lentamente que su fuente de excitación. Se trata en esencia de fenómenos no lineales.

En la parte superior de la Figura 1 se han trazado las envolventes de modulación. Tales curvas indican que por lo menos tres perturbaciones en forma de onda interactúan con el flujo de electrones aurorales, y que las frecuencias menores modulan a las más altas. Se observa también en las Figuras 1, 2 y 3 que la modulación es diferente en las envolventes superior e inferior, aunque probablemente ambas sean producidas por el mismo mecanismo.

## FUENTES DE MODULACION

En cuanto a la relación entre los trenes de pulsos y el mecanismo que los genera, deben considerarse los siguientes aspectos:

1. En muchas regiones de la magnetósfera se generan ondas continuamente. En la región de líneas de fuerza cerradas son excitados casi todos los modos de oscilación concebibles. En la ionósfera se encuentra siempre presente una mezcla de diferentes modos, y es en extremo difícil predecir cómo se acoplan entre sí. Esto se debe a que grandes variaciones en el crecimiento de una inestabilidad pueden ser producidas por pequeños cambios en el plasma.

En consecuencia, si existe una compleja interacción entre las fuentes de modulación, los eventos registrados no deben reflejar de un modo simple la naturaleza de sus fuentes.

2. Las partículas con velocidades cercanas a la velocidad de fase de las ondas intercambian energía con éstas. Por esa causa disminuye la cantidad de partículas que interactúan. Además, las colisiones las pueden sacar de fase, produciendo el mismo efecto que cuando las velocidades de las partículas difieren mucho de la velocidad de fase.

Como cada onda parcial que compone el paquete de ondas viaja con velocidad de fase distinta, aquellas partículas pueden interactuar con otra de las ondas parciales. Esas partículas oscilarán a una frecuencia diferente, y tendrán una aceleración diferente. De esto resulta que las partículas que tengan distinto rango de energías oscilarán con distinta fase.

Este efecto podrá observarse como un retardo entre los diversos modos de pulsaciones.

Al hecho de que los tipos de pulsación  $pI$  y  $pL$  estén modulados por lo menos por tres armónicas (Figura 1), lo tomamos como indicación de que las pulsaciones son producidas por paquetes de ondas, cuyas armónicas contribuyen independientemente a la modulación de los flujos aurales. Es obvio que el análisis de las ondas y sus interacciones está fuera de los límites de este trabajo.

La morfología de las pulsaciones del tipo  $pE$  sugiere una fuente diferente. Tal fuente puede concebirse como una perturbación que atraviesa el campo del fotómetro, con un frente de onda bien definido. Este frente debe producir el brusco crecimiento de la pulsación, y su decaimiento puede ser asignado a la "cola" de la perturbación, detrás del frente de onda.

La repetición de este efecto conduce a los trenes de pulsos de la Figura 3. Tal recurrencia sugiere la existencia de una fuente que genera sucesivas perturbaciones.

Los intervalos de las mismas pueden medirse mediante los períodos entre pulsos, y el tiempo de decaimiento mediante el período de las pulsaciones.

La modulación de las envolventes superior e inferior puede explicarse en términos de un mecanismo de período grande, el cual modula a las sucesivas perturbaciones generadas por esa fuente hipotética.

En los tipos  $pI$  y  $pL$  no fue hallado nada similar. En estos casos, las fases de crecimiento y decaimiento indican mecanismos casi simétricos.

## CONCLUSIONES

Las pulsaciones aurales son clasificadas en tres tipos, de acuerdo con las estructuras que caracterizan a los trenes de pulsos. Dos de esos tipos están definidos por una superposición de diferentes frecuencias y por fases de crecimiento, saturación y decaimiento, y se repiten cíclicamente.

Sus rasgos morfológicos, así como el análisis armónico, permiten intentar una explicación de las pulsaciones aurales en términos de interacciones que, en general, son consideradas interacciones onda-onda y onda-partícula.

La morfología de las pulsaciones sugiere que algún mecanismo de gran período debe producir la modulación de la energía, mientras que la estructura de pequeña escala debe ser producida por el acoplamiento de distintas armónicas.

Se considera que cada onda parcial que compone el paquete debe inte-

ractuar con partículas de distintos rangos de energía. Se interpreta que las pulsaciones ópticas y la envolvente de modulación son la resultante del acoplamiento entre distintas frecuencias.

El tipo pE aparenta no responder a este modelo. El hecho de que sus pulsos sean intermitentes y asimétricos es tomado como una indicación de sucesivas perturbaciones, que tienen un frente bien definido, y una cola con densidad decreciente. La propagación de esta perturbación a través del plasma auroral produce el efecto impulsivo.

Sobre la base de nuestros registros fotométricos es imposible identificar las ondas y sus interacciones, las cuales parecen gobernar todos los procesos pulsantes. Sin embargo, admitimos que la frecuencia de las pulsaciones ópticas es mucho menor que la del proceso que las genera. Evidentemente, la constante de tiempo del plasma auroral es la causa de la baja frecuencia de las pulsaciones luminosas.

### AGRADECIMIENTO

El autor agradece al Prof. W. R. Piggott por sus opiniones sobre la interpretación física de las pulsaciones ópticas, y al Dr. Gabriel Guerrero por las útiles discusiones durante el desarrollo de este trabajo.

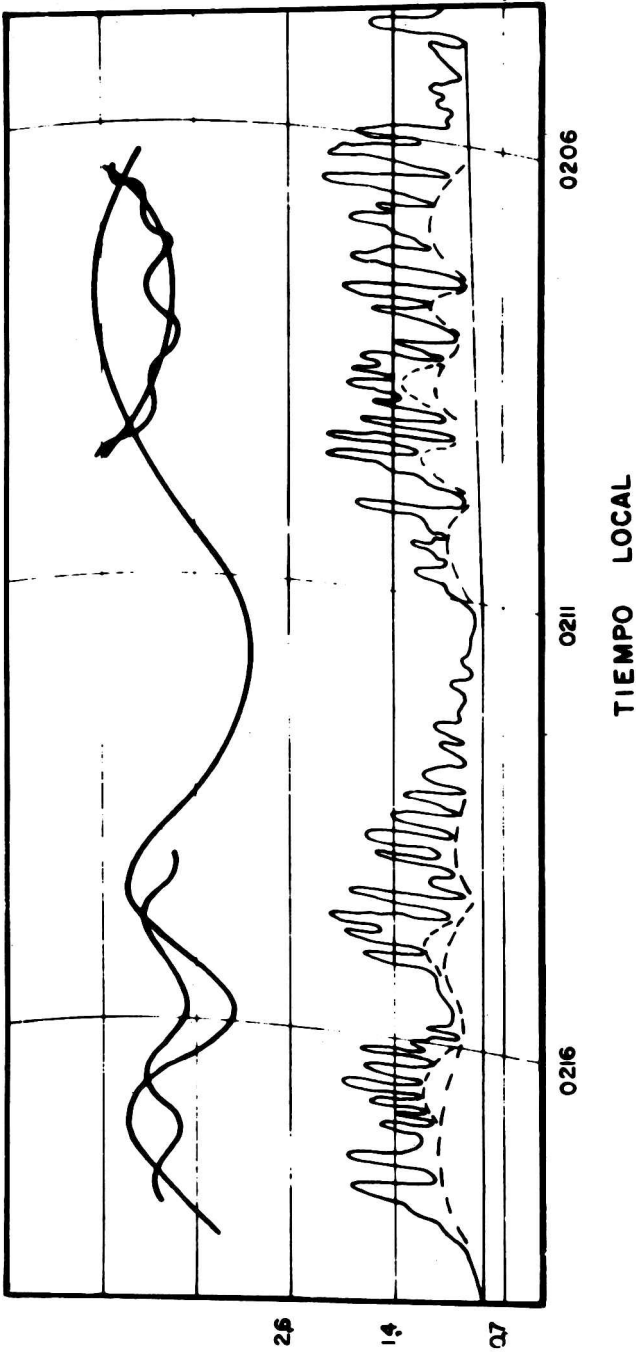


Figura 1: Tren de pulsaciones irregulares registrado en la Base General Belgrano el 4 de junio de 1969. Los trazos representan la envolvente superior de las oscilaciones.

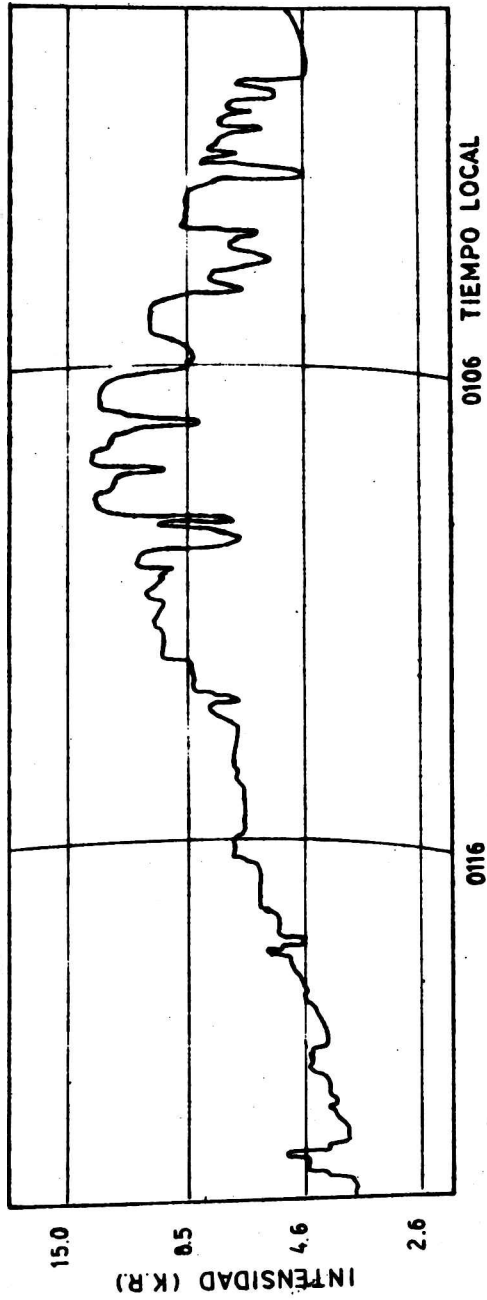


Figura 2: Tren de pulsos del tipo pL, pulsaciones lentas. Se observan las formas casi cuadradas y la alta intensidad ( $\sim 12,5$  KR) en la fase de saturación.



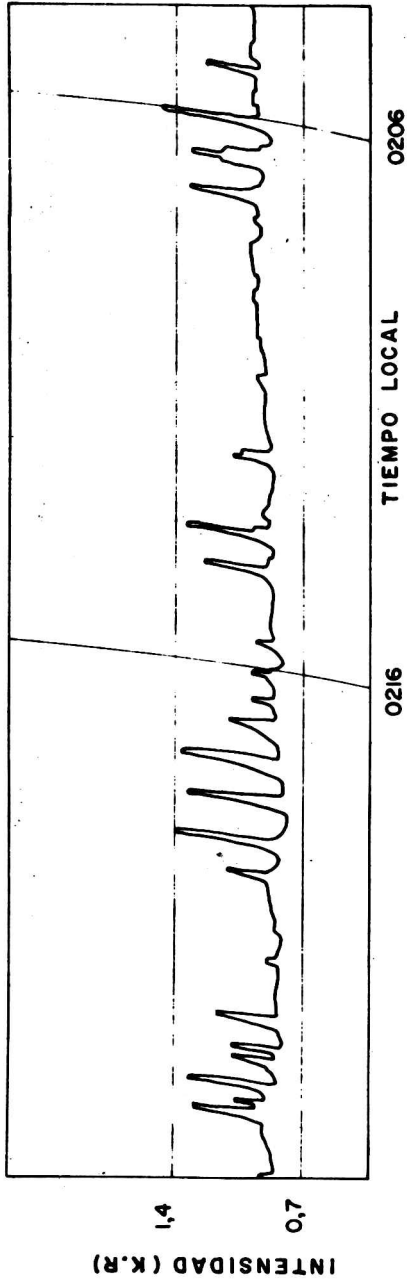


Figura 3: Varios trenes de pulsos del tipo pE. Cada uno de ellos tiene una envolvente superior.

## BIBLIOGRAFIA

- Bryant, D. A.; Courtier, G. M. y Johnstone, A. D., 1969: Modulation of auroral electrons at large distance from the earth; *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 31, 579.
- Bryant, D. A.; Courtier, G. M. y Bennett, G., 1971: Modulation of electrons in a pulsating aurora; *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 33, 859.
- Evans, D. S. 1967: A 10-cps periodicity in the precipitation of auroral zone electrons; *Journal of Geophysical Research*, 72, 4281.
- Farley, D. T., 1963: A plasma instability resulting in field-aligned irregularities in the ionosphere; *Journal of Geophysical Research*, 68, 6083.
- Hofstee, J. y Forsyth P. A. 1969: Ion-acoustic waves in the auroral plasma; *Canadian Journal of Physics*, 47, 2797.
- Lampton, M., 1967: Daytime observations of energetic auroral zone electrons; *Journal of Geophysical Research*, 72, 5817.
- Omholt, A. y Pettersen, H., 1967: Characteristics of high frequency auroral pulsations; *Planetary and Space Science*, 15, 347.
- SCARF, F. L.; Crook, G. M. y Fredricks R. W., 1966: Survey of VLF electric fields in the magnetosphere; *Radio Science*, 1, 8, 939.



## **EVENTOS IMPULSIVOS DE ABSORCION IONOSFERICA DE RUIDO COSMICO**

**HORACIO A. CAZENEUVE y JORGE GOMEZ**  
Instituto Antártico Argentino

Se estudian procesos de absorción ionosférica del ruido cósmico, impulsivos y de corta duración, registrados en la Base General Belgrano. La singularidad de estos eventos está en que ocurren solamente en altas latitudes y, en especial, en la zona auroral. Sobre bases cualitativas se infiere que estos procesos son producidos por turbulencias de plasma localizadas en una pequeña región de la zona auroral.

**A study of impulsive absorption events recorded at Base General Belgrano is presented; such events have been observed only at high latitude observatories, and specially at those located inside or near the auroral zone. It is inferred that plasma turbulences are the sources of such processes, which are localized in a small portion of the auroral zone.**

## INTRODUCCION

En los últimos años se han clasificado las variaciones rápidas de la intensidad del ruido radioeléctrico cósmico después de atravesar la ionósfera de las zonas polares, y se halló que contienen características particulares y, en especial, los que ocurren en la zona auroral. Se admite que, después de ciertas erupciones solares, en las regiones polares de la Tierra se registra una intensa precipitación de partículas de alta energía, de origen solar.

El propósito de este trabajo es analizar los procesos impulsivos de absorción que se registran en nuestro observatorio de la zona auroral. Estos procesos son en parte similares a los ya clasificados como absorción auroral, pero se observan diferencias substanciales. En virtud de estas diferencias, creemos que tal designación no es adecuada, y preferimos designarlos como procesos impulsivos de absorción.

Fueron estudiados por Parthasarathy y Hessler (1964), por Parthasarathy y Berkey (1965) y por Bewersdorff et al. (1966).

Más recientemente Akasofu (1968) hizo una síntesis de las clasificaciones propuestas, y ordenó el conjunto de estos fenómenos en los tipos E (evening), N (night) y M (morning).

Estos eventos suelen alcanzar intensidades de varios decibeles, y tienen variaciones muy rápidas, cuando son registrados en nuestro laboratorio de la zona auroral. En cambio, la intensidad en el casquete polar es menor que 0,5 db (Vassal, 1971).

No obstante, hasta el momento no existe una interpretación física cierta sobre el origen de estos fenómenos y de sus probables efectos.

Nuestro estudio estuvo dirigido a clasificar los diversos tipos de procesos impulsivos registrados en la Base General Belgrano, Antártida, durante los años 1964-1967.

Las discrepancias más notorias con los estudios anteriores son la falta de correlación con los demás fenómenos geofísicos que hemos analizado y la estructura periódica elemental que está presente en todos los casos.

## OBSERVACIONES

En el presente estudio se emplearon registros de absorción ionosférica del ruido cósmico, obtenidos mediante un riómetro, en la frecuencia de 27,6 MHz, que funcionó en la base General Belgrano, Antártida, durante los años abarcados por este trabajo (1964-1967).

Se emplearon registros de cámara todo-cielo obtenidos en el mismo período, con el fin de analizar la correlación con la actividad auroral. Se emplearon además, los índices de actividad magnética planetaria  $K_p$  calculados mediante magnetogramas obtenidos en la base británica Halley Bay.

## FORMAS Y PERIODOS

Las figuras siguientes contienen las distintas formas de eventos impulsivos. La Figura 1 indica un pulso de absorción simétrico con lento comienzo y lenta

recuperación. La duración es del orden de 40 min. y la intensidad varía desde 1,0 hasta 1,5 db.

En la Figura 2 se observa un pico de absorción asimétrico, pero con un comienzo relativamente lento (2 a 4 min.) y una más lenta recuperación (20 min.). No se advierten variaciones bruscas.

La Figura 3 es un pulso con brusco aumento inicial, un pico bien definido y lenta recuperación: 20 min. El pico de la Figura 4 es similar al anterior, salvo una lenta fase inicial lineal, que precede al brusco incremento.

La Figura 4 contiene un tipo que difiere del de la Figura 3 en el comienzo, muy brusco, y su repetición.

Estos eventos impulsivos tienen un amplio espectro de períodos. En todos los casos se encuentra una estructura elemental cuyo período es aproximadamente de 95 segundos. Este período o sus múltiplos aparecen en todos los eventos impulsivos que se registraron.

Esta periodicidad es un rasgo muy notorio, pues en todos los tipos y en todas las condiciones aparecen los múltiplos de 95 segundos, ya sea como distancia entre los picos, como período de las micropulsaciones que siguen a los pulsos de absorción.

## CORRELACION

Se ha estudiado la correlación temporal de los eventos impulsivos con otros fenómenos y parámetros, en particular con el ángulo cenital solar, con la actividad magnética, con la ocurrencia de erupciones solares y con la actividad auroral.

**Dependencia solar:** En la Figura 5 se representa la frecuencia de ocurrencia a lo largo del año. Se observa, pues, que los picos de absorción se distribuyen erráticamente, lo que evidencia la independencia del ángulo cenital solar.

**Actividad magnética:** Se ha estudiado también la dependencia de la actividad magnética, mediante el índice planetario  $K_p$ , y los índices locales  $K$  y  $Q$ . Se encuentra que los picos de absorción ocurren para todo el espectro de valores de esos índices.

En la Figura 1 se ve un caso típico que ocurre para  $Q = 0$  durante el evento, y en la Figura 4 para valores altos del índice local  $Q$ . En estos casos el incremento del índice, a medida que el evento se desarrolla, expresa una débil dependencia de la actividad magnética.

**Actividad auroral:** La comparación de los registros del riómetro con los de la cámara todo-cielo, indica que en la casi totalidad de los casos no se registra actividad auroral durante los picos de absorción. Esta falta de correlación indica que los eventos impulsivos ocurren también en las condiciones más calmas, sin que ello altere su morfología.

## INTERPRETACION EN TERMINOS DE RUPTURA DE ONDAS Y TURBULENCIAS

Tratando de identificar las fuentes de estos procesos impulsivos y de corta duración, parece adecuado descartar la precipitación de partículas. En efecto, aún

cuando puede esperarse que todo proceso de precipitación comienza en zonas de impacto bien definidas, el influjo de partículas llegará a la tierra isotrópicamente, en todas direcciones, y sus efectos podrán ser registrados en un amplio rango de latitudes. La duración y la morfología de los eventos serán acordes con el desarrollo del efecto producido por el influjo.

Los procesos que estudiamos no responden a este esquema. Por tanto inferimos que las fuentes de estos procesos deben tener una restringida localización en tiempo y en espacio. Esta perturbación, además, debe estar localizada en una zona restringida, sin expandirse a un área mayor de la zona auroral.

Sobre la base de estas observaciones y la falta de correlación con otros fenómenos geofísicos, que ya mencionamos, se deducen los posibles mecanismos que pueden producir estos procesos de corta duración. Primeramente, las formas de los pulsos indican que cada tipo debe ser producido por perturbaciones diferentes. No obstante, los períodos de múltiplos de 95 segundos han sido verificados en los registros obtenidos durante los años abarcados por estos estudios. La aparición de ese período elemental y sus múltiplos es hallada sistemáticamente. Esto debe ser producido por una única fuente de perturbaciones periódicas, que modula los procesos de absorción impulsivos. Es decir, que esta perturbación de período corto debe acoplarse con el mecanismo que genera los picos de absorción.

## TURBULENCIAS

La ionósfera es un medio continuamente perturbado, que nunca relaja a un estado de equilibrio. Aún en las condiciones más estacionarias imaginables, debe existir en forma permanente una diversidad de inestabilidades. Estas condiciones son aún más extremas en altas latitudes, y más todavía en la zona auroral.

En la actualidad se sabe que el plasma ionosférico es inestable a perturbaciones de pequeña amplitud, mediante las cuales pueden excitarse turbulencias. El término turbulencia describe un estado de plasma en el cual ocurre una difusión anómala a través del campo magnético.

Los procesos impulsivos que estudiamos admiten una explicación en términos de turbulencias que se desarrollan en el campo de la antena del detector. La interpretación puede ser entendida dentro del siguiente esquema:

1. Fase inicial: crecimiento inicial, lineal de la inestabilidad.
2. Crecimiento no lineal: ocurre cuando el proceso alcanza un umbral tal que los efectos no lineales son preponderantes.
3. Fase de recuperación: se debe a la ruptura de la turbulencia.

Como producto de la ruptura aparecen turbulencias parciales. Estas turbulencias secundarias, producidas en la ruptura de la turbulencia primaria, pueden disipar toda la energía involucrada, lo cual implicaría la terminación del evento impulsivo de absorción, y la recuperación al nivel de absorción anterior.

Orlanski (1972) estudió la ruptura de ondas de gravedad, que produce turbulencias. Anteriormente Phillips (1966) estudió la generación de turbulencias mediante la ruptura de ondas de gravedad en un medio estratificado, en la atmósfera.

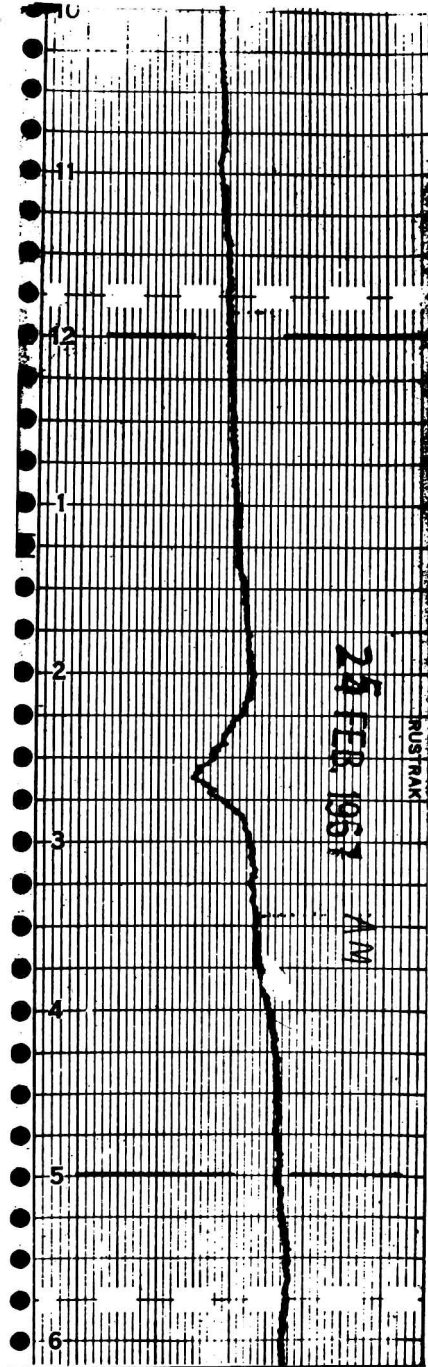


Figura 1

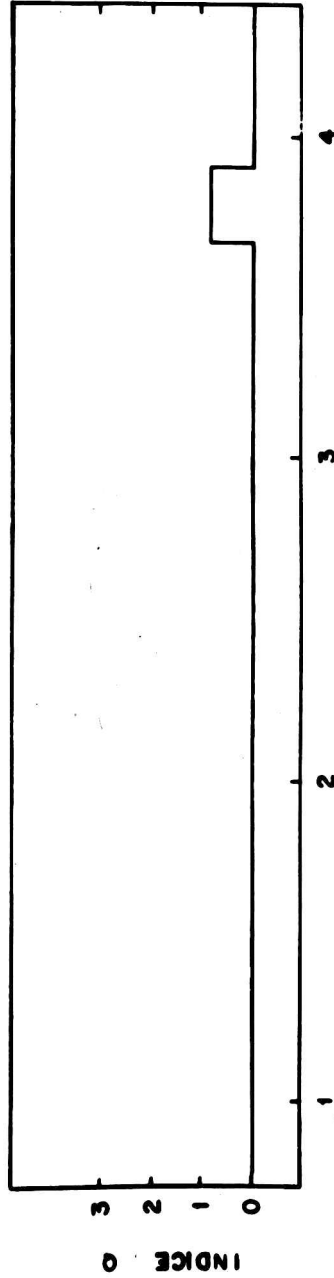


Figura 1 a

Figura 1: Pulso de absorción simétrico. Ocurre en medio de un período calmo.  
 Figura 1a): Variación del índice magnético local Q. Se mantiene en  $Q = 0$  hasta el final del evento.



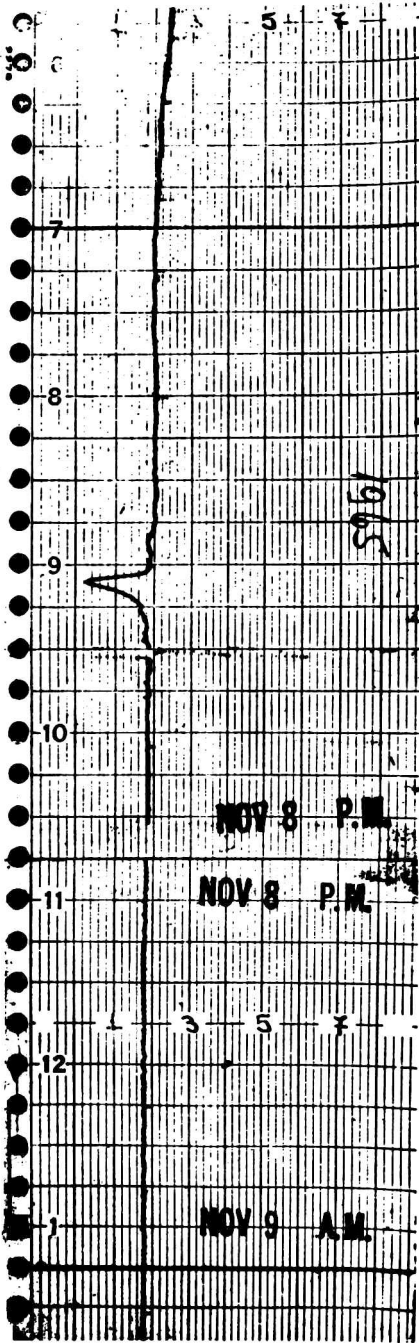


Figura 2

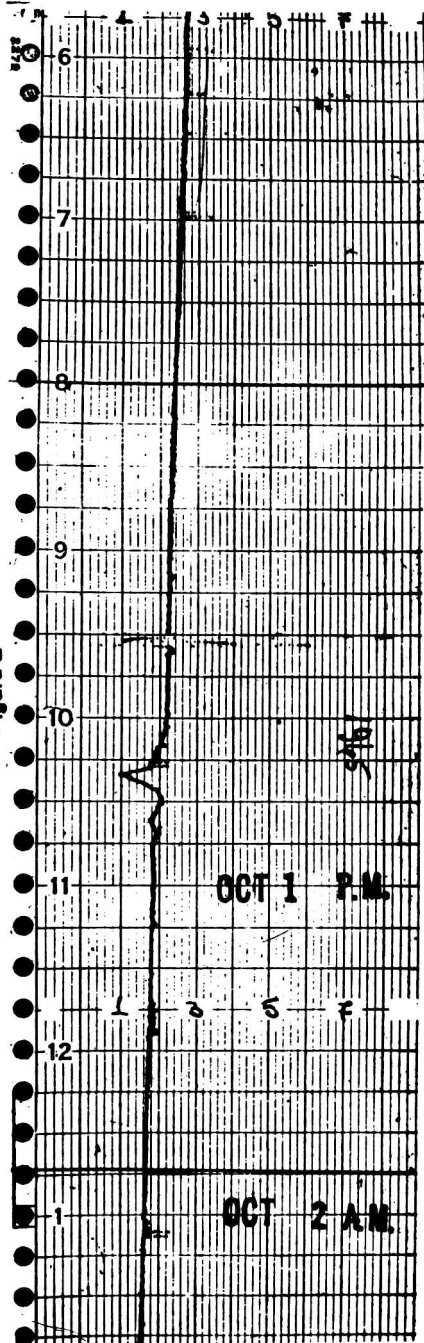


Figura 3

Figura 2: Pulso asimétrico, con comienzo relativamente lento. Se observa una fase inicial lenta antes del pico principal.

Figura 3: Pico de absorción con una fase inicial abrupta.

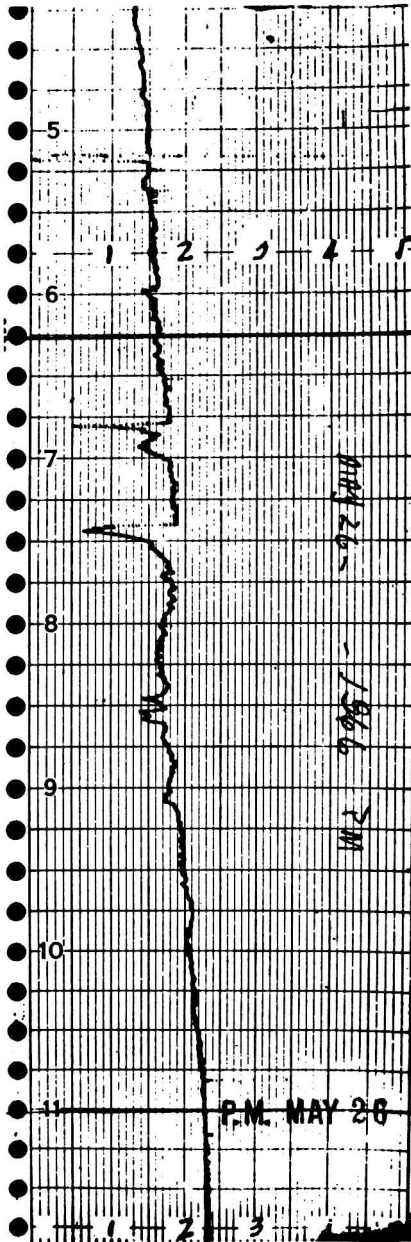


Figura 4

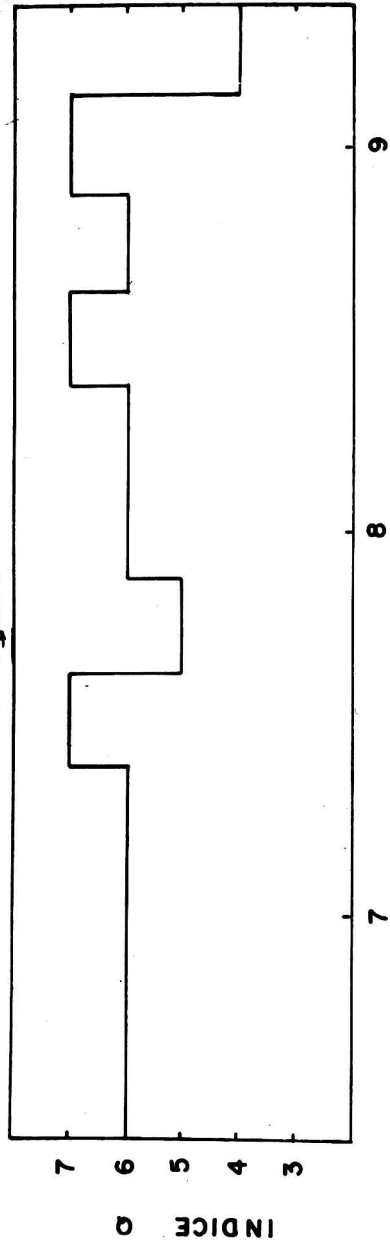


Figura 4 a

Figura 4: Picos de absorción con comienzo abrupto, sin fase inicial. Se observa la rapidez con que alcanza el valor del pico.

Figura 4a): Variación del índice Q durante el evento. Alcanza el valor  $Q = 7$  durante el segundo pico y luego cae a  $Q = 5$ . Luego el índice aumenta nuevamente sin que se produzcan eventos de absorción.

MARCHA ANUAL DE OCURRENCIA DE EVENTOS SUBITOS DE ABSORCION

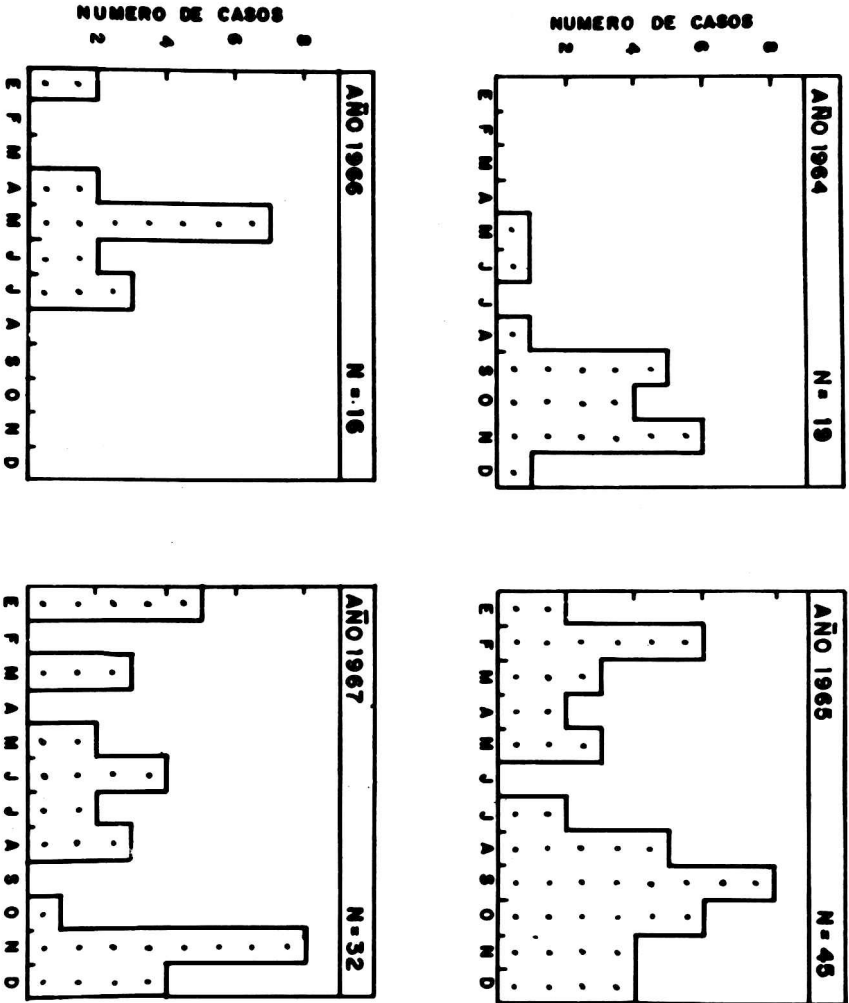


Figura 5: Frecuencia de casos de absorción ionosférica durante 4 años. No se observa una marcha regular.

La ruptura no significa el colapso total de la onda, sino la súbita excitación de un gran número de oscilaciones, como productos de la ruptura.

Sobre bases cualitativas creemos poder identificar así las etapas de los procesos impulsivos de absorción:

La **fase 1)** la vinculamos con el crecimiento inicialmente lineal de la inestabilidad, cuya interacción con el plasma ambiente, si bien es pequeña, puede llegar a producir una absorción observable (fase inicial).

La **fase 2)** en la mayoría de los casos tiene un comienzo brusco, el cual debe señalar la abrupta transición de la forma inicial de la onda a una más perturbada en la cual se excitan oscilaciones colectivas.

Las interacciones colectivas se diferencian de las "colisionales" entre dos cuerpos, en que en las primeras una determinada partícula interactúa simultáneamente con muchas otras. Se trata de interacciones de gran alcance las cuales sólo involucran pequeños cambios de momento.

Estas interacciones colectivas de gran alcance son importantes en la conducta de los gases ionizados, y sólo contribuyen a las propiedades promedio, o resultantes, de un medio.

En el caso de las turbulencias, el abrupto aumento de la absorción debe indicar el comienzo de la interacción entre los remolinos iniciales del proceso, su difusión en el espacio, o bien el comienzo brusco de la generación de oscilaciones colectivas.

## CONCLUSION

Se presenta un estudio de los procesos impulsivos de absorción registrados en la Base General Belgrano, ubicada en la zona auroral. Se efectúa una clasificación de acuerdo con la morfología la cual, en general, no coincide con la efectuada por distintos autores en el Hemisferio Norte.

La falta de correlación de estos procesos impulsivos con los demás fenómenos geofísicos conduce a una interpretación en términos de turbulencias. Estas deberían desarrollarse en el campo de la antena del receptor, sin expandirse a áreas mayores de la zona auroral.

Sobre estas bases y en forma cualitativa se asigna cada una de las fases observadas en las pulsaciones (inicial, de crecimiento y de recuperación) a las etapas de desarrollo de turbulencias estudiadas en física de plasmas.

Como fuentes de esas turbulencias se señalan las inestabilidades propias del plasma ionosférico, y la ruptura de ondas de gravedad.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Sr. Jorge Araujo por su eficaz colaboración en los cálculos durante el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Akasofu, S. I., 1968: Polar and magnetospheric substorms; D. Reidel Publishing Company Dordrecht.*
- Bewersdorff, A., Kremser G., Riedler W. y Legrand J. P., 1966: Some properties of the slowly varying ionospheric absorption events in the auroral zone; Arkiv för Geofysik, Band 5 nr 15, Estocolmo.*
- Orlanski, I., 1972: On the breaking of standing internal gravity waves; Journal of Fluid Mechanics, 54, 577-598. Londres.*
- Parthasarathy, R. y Hessler, V. P., 1964: Periodic covariation radiowave absorption, earth currents and other associated phenomena in the auroral zone, Journal of Geophysical Research, 69 (13): 2867.*
- Parthasarathy, R. y Berkey, F. T., 1965: Auroral zone studies of sudden - onset radiowave absorption events using multiple-station and multiple-frequency data. Journal of Geophysical Research 70.*
- Phillips, O. M., 1966: The dynamics of the upper ocean, Cambridge University Press.*
- Vassal, J., 1971: Etude de certains phénomènes d'absorption ionosphérique anormale détectés à l'aide de riomètre a la station Dumont D'Urville. Tesis, Universidad de París.*

## VARIACION DE LA ABSORCION IONOSFERICA EN LA ZONA AURORAL \*

HORACIO A. CAZENEUVE e ISAAC MESTERMAN  
Instituto Antártico Argentino  
LIARA

Se presenta un análisis de observaciones hechas en la Base General Belgrano, Antártida, sobre procesos de absorción ionosférica del ruido cósmico. Como esta base está ubicada en el óvalo auroral durante casi toda la noche polar, es óptima para el estudio de los procesos típicos de esa zona.

Se estudian variaciones impulsivas de la absorción ionosférica, con datos de los años 1964 a 1967. Se observa una neta diferencia en la morfología de estos eventos, en las partes ascendente y descendente del ciclo solar, así como entre los períodos quietos y activos. Estos rasgos en general no pueden explicarse basándose en consideraciones clásicas.

The cosmic noise absorption events recorded at Base General Belgrano are studied. During the polar night this station remains in the auroral zone; such situation being optimal for the study of polar events.

Impulsive variations of the absorption are studied, by using data from the period 1964-1967. Events recorded during the ascendent and descendent portions of the solar cycle, as well as those recorded during quiet and active periods, show a different morphology. In general such features cannot be explained by classical considerations.

\* Parte de este trabajo se presentó en el "SCAR Symposium on Scientific and Technical Problems Affecting Antarctic Telecommunications", Sandefjord, Noruega, 1972.

## INTRODUCCION

En el presente estudio se analizan datos desde 1964, año de mínima actividad solar, hasta 1967, año de máximo de manchas solares, continuando hasta 1972. Es decir, abarca casi un ciclo solar.

Los valores de absorción se computaron sobre la base de un nivel de referencia, con datos de los años 1964 a 1967. Debido a la ubicación de la Estación en el óvalo auroral, no puede considerarse una absorción ionosférica nula, como lo prevé el concepto clásico de "día quieto", sino en un nivel mínimo de absorción. Este nivel, a su vez, tiene variaciones diarias, estacionales y anuales. (Mesterman y Cazeneuve, 1972).

La información proviene de un riómetro en 27,6 MHz, y un sondador ionosférico, instalados en la Base General Belgrano (lat. geomag. 67.3; long. geomag. 15.8). Se emplearon algunos datos provenientes de la estación británica Halley Bay (75° 31' S; 26° 42' W). Los datos empleados son valores de absorción de frecuencia mínima ( $f_{min}$ ); frecuencia crítica de la capa F<sub>2</sub> ( $f_o F_2$ ), las medianas mensuales de esta última y su dispersión.

## PERIODOS QUIETOS Y ACTIVOS

La Figura 1 corresponde al período calmo del ciclo solar, y contiene las variaciones relativas de la frecuencia mínima, la frecuencia crítica y la absorción. Se emplearon medianas mensuales. Es, además, un ejemplo de la marcha diaria de la absorción ionosférica. Se observa el acentuado mínimo en la medianoche local, y el incremento de la absorción durante el día. La correlación con la frecuencia crítica  $f_o F_2$  indica fuerte contribución de la capa F<sub>2</sub> a la absorción total. Esto es más notorio en los períodos más activos.

Si bien en este caso la marcha de la absorción responde a la variación de los valores medianos de  $f_o F_2$ , en la mayoría de los casos la relación es entre la absorción y las fluctuaciones de la banda de cuartiles de la  $f_o F_2$ . En la misma figura se observa la anticorrelación entre la absorción y el ancho de la banda de cuartiles.

El cálculo de la contribución de la región F a la absorción total se efectuó en un trabajo aparte, con un método desarrollado especialmente.

La Figura 2 contiene valores medianos de absorción de noviembre de 1967 y su dispersión. Se observa una marcha regular y un máximo centrado en el mediodía local. Esta evolución es característica de la parte ascendente del ciclo solar y de períodos calmos.

La Figura 3 corresponde al período de máximo de manchas solares. La absorción se aparta de lo previsto por la teoría clásica. Se observa un pronunciado mínimo a las 15:10 TL y su máximo a las 01:20 TL. La frecuencia mínima y la absorción varían en oposición: el mínimo de absorción concuerda con el máximo de  $f_{min}$ . La  $f_o F_2$  y su dispersión varían de un modo incoherente, pero el máximo de la banda de cuartiles concuerda con el mínimo de la  $f_{min}$  y recíprocamente.

Estas relaciones se apartan por completo de lo previsible, por lo cual se intenta una explicación preliminar acerca de las fuentes de estas fluctuaciones.

## LA CONTRIBUCION DE LA REGION F

El resultado más significativo de este estudio es que, en los períodos perturbados, cuando la absorción alcanza su máximo, la frecuencia mínima pasa por su mínimo y recíprocamente. Además, los valores de  $f_o F_2$  son muy altos (Figura 3).

Estos hechos admiten una explicación basada en las contribuciones de cada región ionosférica a la absorción total. Sobre las bases cualitativas que nos permite el estado actual de nuestro estudio, inferimos que, en períodos perturbados, la contribución principal no proviene de la región D, y que la contribución de la capa F debe exceder en mucho a lo previsible. No obstante, la capa D debe existir y ser alimentada durante la noche polar, pues su contribución debe ser preponderante, por lo menos durante los períodos no perturbados.

El hecho de que la región D debe ser mantenida y produce una intensa absorción durante la noche polar, tiene un significado muy especial en la dinámica de la ionósfera, y se lo está analizando.

## INTERPRETACION EN TERMINOS DE LA RUPTURA DE CAPAS

Los fenómenos que hemos descripto sobre la base de la variación relativa de los parámetros ionosféricos admiten una explicación en términos de desplazamientos verticales de ionización.

Los incrementos de absorción no son, en general, acompañados por grandes valores de la frecuencia crítica  $f_o F_2$  sino por una mayor dispersión de esta última. Esta dispersión indica grandes fluctuaciones en la densidad electrónica en el nivel  $F_2$ . Se interpreta, además, que el mecanismo que genera el incremento de absorción debe generar también las fluctuaciones de densidad en la región  $F_2$ .

Esto significa que, a medida que aumenta la densidad electrónica o la frecuencia de colisiones, la distribución de electrones de la capa  $F_2$  se hace inestable. Este redistribución de ionización debe corresponder a desplazamientos con una componente vertical dominante. Durante estos movimientos debe desaparecer la estructura de capas en la región en que ocurre el evento, y la absorción debe ser homogénea en todos los niveles ionosféricos. Esta situación es inestable y se mantiene hasta que se recuperan las condiciones más estables de la ionósfera.

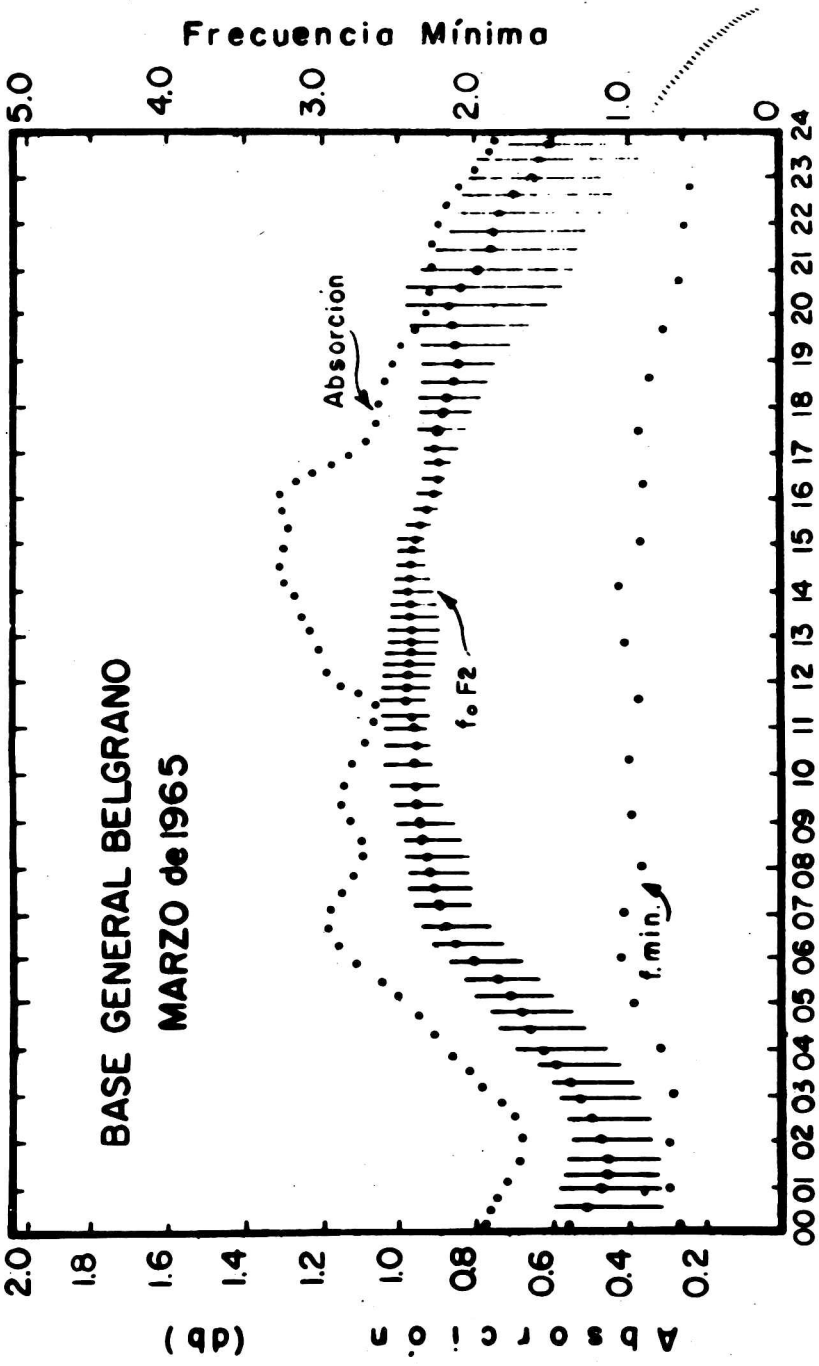
Este proceso corresponde al achatamiento del pico de la  $F_2$ , compensado por la disminución del gradiente de densidad a ambos lados del máximo.

## CONTRIBUCIONES A LA ABSORCION TOTAL

Finalmente, nos referimos a lo que parece ser uno de los resultados más importantes de este estudio. En los períodos perturbados, cuando la absorción alcanza su máximo, la  $f_{min}$  pasa por su mínimo y recíprocamente; además la  $f_o F_2$  alcanza valores muy altos.

Estas variaciones relativas revelan el acoplamiento que existe en la dinámica de las distintas regiones ionosféricas, y nos llevan al resultado de que la contribución de la región F a la absorción integrada es mucho mayor de lo que indica





TIEMPO LOCAL

Figura 1: Variaciones de la absorción, la frecuencia mínima y la frecuencia crítica  $f_0 F_2$ , en el período de mínima actividad solar.

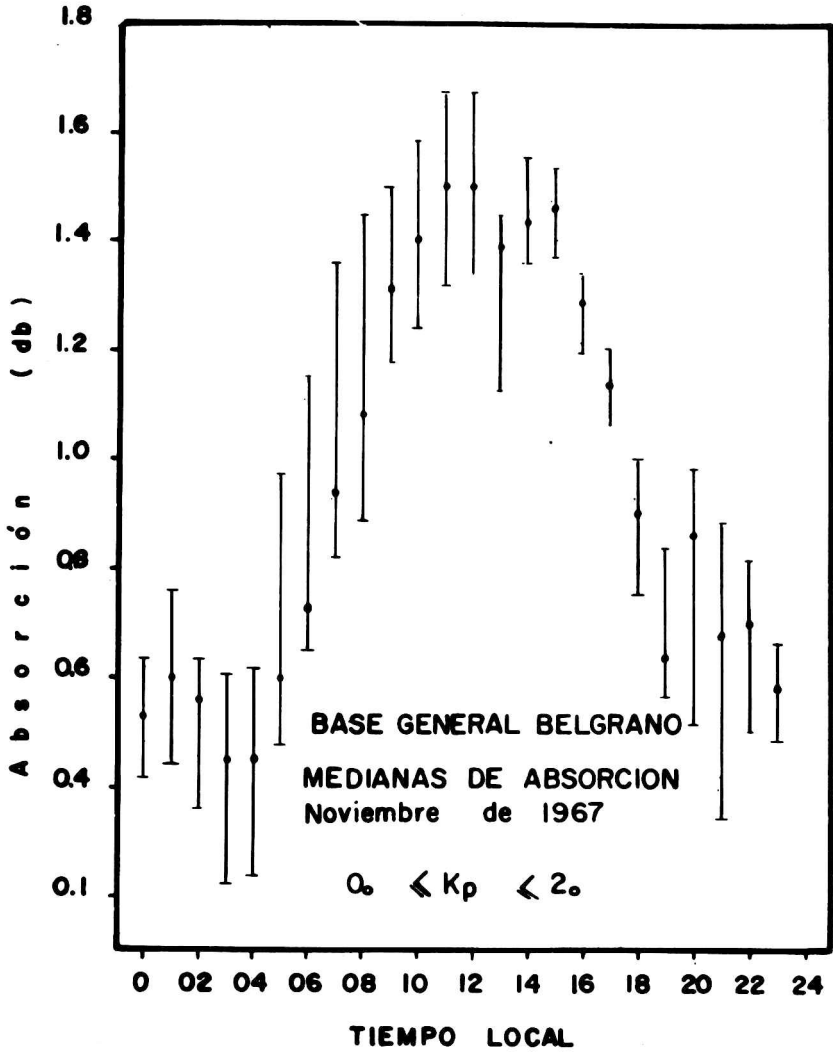


Figura 2: Distribución de medianas de absorción y su dispersión, para valores bajos del índice planetario Kp.

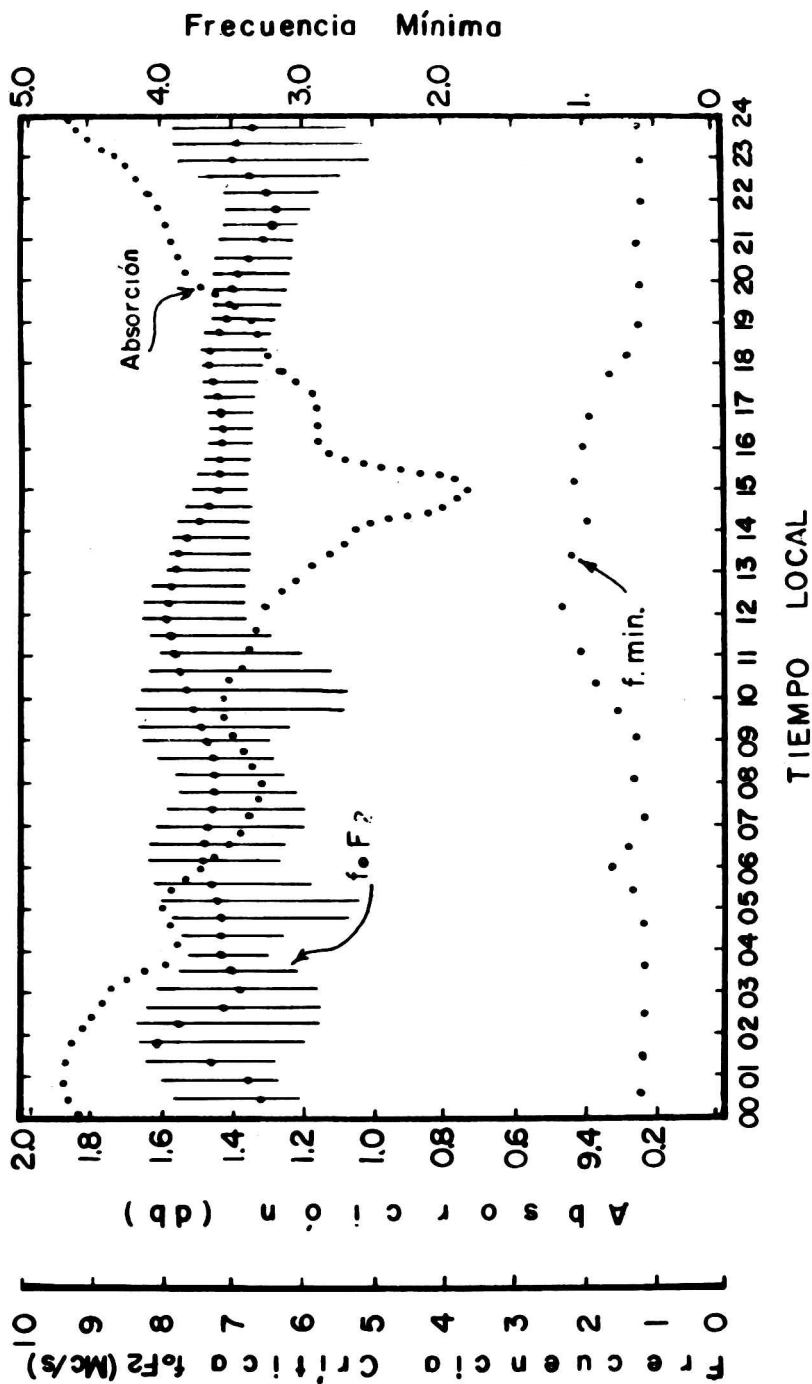


Figura 3: Variaciones de los mismos parámetros de la figura 1, tomadas en marzo de 1967, que corresponde al máximo de actividad solar.

la teoría clásica. Por otra parte, el hecho de que la contribución de la región D a la absorción total es preponderante aún durante la noche polar, muestra claramente que la misma no se extingue durante el período oscuro.

La determinación de la contribución de cada una de las capas ionosféricas no es inmediata, y estamos efectuándola con un método especialmente desarrollado.

### CONCLUSIONES

En el estudio de la absorción ionosférica del ruido cósmico, en un observatorio de la zona auroral a través de medio ciclo solar, se encuentra que su variación se aparta considerablemente del comportamiento previsto por la teoría clásica. Las diferencias más notorias que hemos descrito en este trabajo son: La existencia de un nivel continuo de absorción, el cual varía durante el ciclo solar, y al que se superponen las variaciones diarias y estacionales; rasgos diferentes durante las fases ascendente y descendente del ciclo solar; inversión de los máximos de absorción durante la noche y el día polares; y evidencia de una fuerte contribución de la capa F<sub>2</sub> a la absorción total, y de la capa D durante la noche polar.

Estos resultados son difíciles de entender sobre la base de consideraciones clásicas, por lo cual se desarrollan métodos para la determinación de sus efectos, lo que será expuesto en otra publicación.

### AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al Prof. W. R. Piggott por las fructíferas discusiones sobre la interpretación de los fenómenos de absorción, y a la Sra. Adriana Fernández de Núñez, por haber conducido eficazmente los cálculos durante el desarrollo de este trabajo.

### BIBLIOGRAFIA

- CIG-IQSY COMMITTEE, IQSY, 1963: *Instruction Manual n. 4, Ionosphere.***
- Mesterman, I.; Trentini, F. y Fernández Sarmiento, N. G., 1963: *Planning of decametric waves telecommunications networks in the Antarctic; LIARA Report C-18.***
- Mesterman, I. Cazeneuve, H., 1972: *Ionospheric absorption measurements by the A-2 method obtained at "Base General Belgrano". Proceedings of the SCAR Symposium on Scientific Problems affecting Antarctic Telecommunications, Oslo.***



## INDICE DE AUTORES

	Página
ALTINGER de SCHWARZKOPF, María L. (de ... y MIGLIARDO Romualdo C.): Estudio de los Tornados en la Argentina	93
CAIMI, Emilio A.: La concentración de núcleos higroscópicos gigantes de sulfatos y cloruros en el aerosol atmosférico de Buenos Aires	51
CASTANO, Juan C. (de ... y ZAMARBIDE José L.): Proyecto de una red de estaciones sismológicas, de una red de acelerómetros y de una red de sismoscopios para la República Argentina	5
CAZENEUVE, Horacio A.: Efectos no-lineales observados en las pulsaciones aurales	119
CAZENEUVE, Horacio A. (de ... y GOMEZ Jorge): Eventos impulsivos de absorción ionosférica de ruido cósmico	129
CAZENEUVE Horacio A. (de ... y MESTERMAN Isaac): Variación de la absorción ionosférica en la zona auroral	139
CHRISTENSEN, Alberto H. J.: Trazado de Isopletas con computadora y graficador. Aplicación a perfiles de polarización inducida	23
CHRISTENSEN, Alberto H. J. (de ELIAS Alfredo V. y ...): Compensaciones geodésicas con computadoras digitales	37
CICCHINI, Adulio A.: Estudio de la componente "núcleónica en la atmósfera mediante un equipo de "multiplicidad"	1
CICCHINI, Adulio A.: Medición del flujo de neutrones a 6,1 GV.	3
COLLINI, Estela A. (de RIVERO Omar R. DUARTE de LLORET María L. y ...): Pronóstico automático de olas en el Atlántico Sur	103
CRIVELLI, E. (de ... y RELA A.): Fluctuaciones de radiación solar visible	115
DEMICHELI, José A. (de ... y FEBRER José M.): Mejoras en el diseño de resistímetros	107
DUARTE de LLORET, María L. (de RIVERO, Omar R. y ...): Ciclogénesis, movimiento y distribución de depresiones en los océanos Atlántico y Pacífico Sur durante el período de Diciembre de 1969 a Noviembre de 1970	63
DUARTE de LLORET, María L. (de RIVERO Omar R. ... y COLLINI Estela A.): Pronóstico automático de olas en el Atlántico Sur	103
ELIAS, Alfredo V. (de ... y CHRISTENSEN Alberto H. J.): Compensaciones geodésicas con computadoras digitales	23
FEBRER, José M. (de DEMICHELI José A. y ...): Mejoras en el diseño de resistímetros	107
GOMEZ, Jorge (de CAZENEUVE Horacio A. y ...): Eventos impulsivos de absorción ionosférica de ruidos cósmicos	129
GUTIERREZ, Rafael I. (de MALBERTI Raúl O., y ...): Cálculo de la latitud por el método de Gauss utilizando una computadora electrónica de mesa	105
HUERTA, Eduardo (de INTROCASO Antonio y ...): Perfil gravimétrico transcontinental Sudamericano (Paralelo 32° S)	19
INTROCASO, Antonio (de ... y MOLOEZNÍK Pedro): Enlaces gravimétricos aéreos en la Zona Sur de Santa Fé	21
INTROCASO, Antonio (de ... y HUERTA Eduardo): Perfil gravimétrico transcontinental Sudamericano (paralelo 32° S)	19

LICHTENSTEIN, Erich R. (de . . . , NUÑEZ Mario N., PEREZ DISCERNI María R. y VARGAS Walter M.): Ensayo de un pronóstico numérico para la Argentina	91
MALBERTI, Raúl O. (de . . . y GUTIERREZ Rafael I.): Cálculo de la latitud por el método de Gauss utilizando una computadora electrónica de mesa	105
MARTINEZ, Claudio P.: Planes meteorológicos internacionales y su relación con la Argentina	65
MESTERMAN, Isaac (de CAZENEUVE Horacio A. y . . .): Variación de la absorción ionosférica en la zona auroral	139
MIGLIARDO, Romualdo C. (de ALTINGER de SCHWARZKOPF, María L. y . . .): Estudio de los Tornados en la Argentina	93
MOLOEZNIK, Pedro (de INTROCASO Antonio y . . .): Enlaces gravimétricos aéreos en la Zona Sur de Santa Fé	21
NUÑEZ, José M.: Proyecto de lucha antigranizo	47
NUÑEZ, José M. (de SALUZZI María E. y . . .): Comportamiento de granizadas sobre diversas áreas cultivadas del país	77
NUÑEZ, Mario N. (de LICHTENSTEIN Erich R. . . ., PEREZ DISCERNI María R. y VARGAS Walter M.): Ensayo de un pronóstico numérico para la Argentina	91
PEREZ DISCERNI, María R. (de LICHTENSTEIN Erich R., NUÑEZ Mario N. . . ., y VARGAS Walter M.): Ensayo de un pronóstico numérico para la Argentina	91
RELA, A. (de CRIVELLI E. y . . .): Fluctuaciones de radiación solar visible	115
RIVERO, Omar R. (de . . . y DUARTE de LLORET María L.): Ciclogénesis, movimiento y distribución de depresiones en los océanos Atlántico y Pacífico Sur durante el período de Diciembre de 1969 a Noviembre de 1970	63
RIVERO, Omar R. (de . . ., DUARTE de LLORET María L. y COLLINI Estela A.): Pronóstico automático de olas en el Atlántico Sur	103
SALUZZI, María E. (de . . ., y NUÑEZ José M.): Comportamiento de granizadas sobre diversas áreas cultivadas del país	77
VARGAS, Walter M. (de LICHTENSTEIN Erich R., NUÑEZ Mario N., PEREZ DISCERNI María R. y . . .): Ensayo de un pronóstico numérico para la Argentina	91
ZAMARBIDE José L. (de CASTANO Juan C. y . . .): Proyecto de una red de estaciones sismológicas, de una red de acelerómetros y de una red de sismoscopios para la República Argentina	5





**C O N T E N I D O**

**COMUNICACIONES DE ACTIVIDADES**

	Página
Estudio de la componente nucleónica en la atmósfera mediante un equipo de "multiplicidad"	
<i>ADULIO A. CICCHINI</i>	1
Medición del flujo de neutrones a 6,1 GV	
<i>ADULIO A. CICCHINI</i>	3
Proyecto de una red de estaciones sismológicas, de una red de acelerómetros y de una red de sismoscopios para la República Argentina	
<i>JUAN C. CASTANO y JOSE L. ZAMARBIDE</i>	5
Perfil gravimétrico transcontinental Sudamericano (Paralelo 32° S)	
<i>ANTONIO INTROCASO y EDUARDO HUERTA</i>	19
Enlaces gravimétricos aéreos en la Zona Sur de Santa Fé.	
<i>ANTONIO INTROCASO y PEDRO MOLOEZNİK</i>	21
Compensaciones geodésicas con computadoras digitales.	
<i>ALFREDO V. ELIAS y ALBERTO H. J. CHRISTENSEN</i>	23
Trazado de isopletas con computadora y graficador. Aplicación a perfiles de polarización inducida	
<i>ALBERTO H. J. CHRISTENSEN</i>	37
Proyecto de lucha antigranizo	
<i>JOSE M. NUÑEZ</i>	47
La concentración de núcleos higroscópicos gigantes de sulfatos y cloruros en el aerosol atmosférico de Buenos Aires.	
<i>EMILIO A. CAIMI</i>	51
Ciclogénesis, movimiento y distribución de depresiones en los océanos Atlántico y Pacífico Sur durante el período de Diciembre de 1969 a Noviembre de 1970	
<i>OMAR R. RIVERO y MARIA L. DUARTE DE LLORET</i>	63
Pianes meteorológicos internacionales y su relación con la Argentina	
<i>CLAUDIO P. MARTINEZ</i>	65
Comportamiento de granizadas sobre diversas áreas cultivadas del país	
<i>MARIA E. SALUZZI y JOSE M. NUÑEZ</i>	77
Ensayo de un pronóstico numérico para la Argentina	
<i>ERICH R. LICHTENSTEIN, MARIO N. NUÑEZ, MARIA R. PEREZ DISCERNI y WALTER M. VARGAS</i>	91
Estudio de los tornados en la Argentina	
<i>MARIA L. ALTINGER de SCHWARZKOPF y ROMUALDO C. MIGLIARDO</i>	93
Pronóstico automático de olas en el Atlántico Sur	
<i>OMAR R. RIVERO, MARIA L. DUARTE de LLORET y ESTELA A. COLLINI</i>	103
Cálculo de la latitud por el método de Gauss utilizando una computadora electrónica de mesa	
<i>RAUL O. MALBERTI y RAFAEL I. GUTIERREZ</i>	105
Mejoras en el diseño de Resistivímetros	
<i>JOSE A. DEMICHELI y JOSE M. FEBRER</i>	107
Fluctuaciones de radiación solar visible	
<i>E. CRIVELLI y A. RELA</i>	115
Efectos no-lineales observados en las pulsaciones aurorales	
<i>HORACIO A. CAZENEUVE</i>	119
Eventos impulsivos de absorción ionosférica de ruido cósmico	
<i>HORACIO A. CAZENEUVE y JORGE GOMEZ</i>	129
Variación de la absorción ionosférica en la zona auroral	
<i>HORACIO A. CAZENEUVE e ISAAC MESTERMAN</i>	139