

METEOROLOGIA EN LA
UNIVERSIDAD DE CHILE
20 AÑOS CUMPLE
SECCION
METEOROLOGICA DE
NUESTRA FACULTAD

“Entre estos estudios, uno de los que toca de más cerca a los intereses de Chile, se encuentra la Meteorología, que ha de venir a revelarnos, una vez que la conozcamos, infinitas mejoras para la agricultura, para la higiene pública y aún el mejor partido que hemos de sacar de todas las circunstancias para la inmigración y colonización”.

Del discurso de recepción en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, pronunciado por el profesor Paulino del Barrio, agosto de 1856. (Anales de la Universidad de Chile).

La Ciencia de la Meteorología, basada en la observación sistemática mediante instrumentos, fue iniciada en el país por la Universidad de Chile que promovió y mantuvo el primer Servicio Meteorológico Nacional hasta 1928. Las primeras ideas en este sentido fueron presentadas, a mediados de 1856, por Paulino del Barrio, quien propuso a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para ejercer la “superintendencia” de la red de observaciones meteorológicas nacionales.

El primer intento de sintetizar observaciones meteorológicas y descripciones de clima regional en diversos lugares del país lo hizo don Ignacio Domeyko, Primer Secretario de la Facultad y posteriormente Rector de la Universidad. En 1861 publica “Meteorología de Chile”, según se señala en los Anales de la Corporación, en su tomo 19, de 1861.

UN SIGLO DESPUES

Cien años más tarde, se crea en nuestra Facultad el actual grupo de trabajo en Meteorología, respondiendo a las conclusiones del Informe de Fin de Misión del destacado meteorólogo Doctor Sverre Pettersen, en 1960. Las autoridades universitarias de ese momento, el Rector Juan Gómez Millas, Carlos Mori, Decano y Enrique D'Etigny, Director de la Escuela de Ingeniería, se encontraban empeñados en un amplio programa de desarrollo de la investigación científica en nuestra Universidad.

Es así que, bajo el alero del entonces Instituto de Geofísica y Sismología, dirigido por Cinna Lomnitz, se trajo, por intermedio de la Organización Meteorológica Mundial, OMM, al ingeniero meteorólogo Pierre Misme, con la misión específica de "colaborar en la organización de una Sección Meteorológica en el seno del Instituto de Geofísica y Sismología; establecer planes de investigación para cooperar con los Servicios Meteorológicos

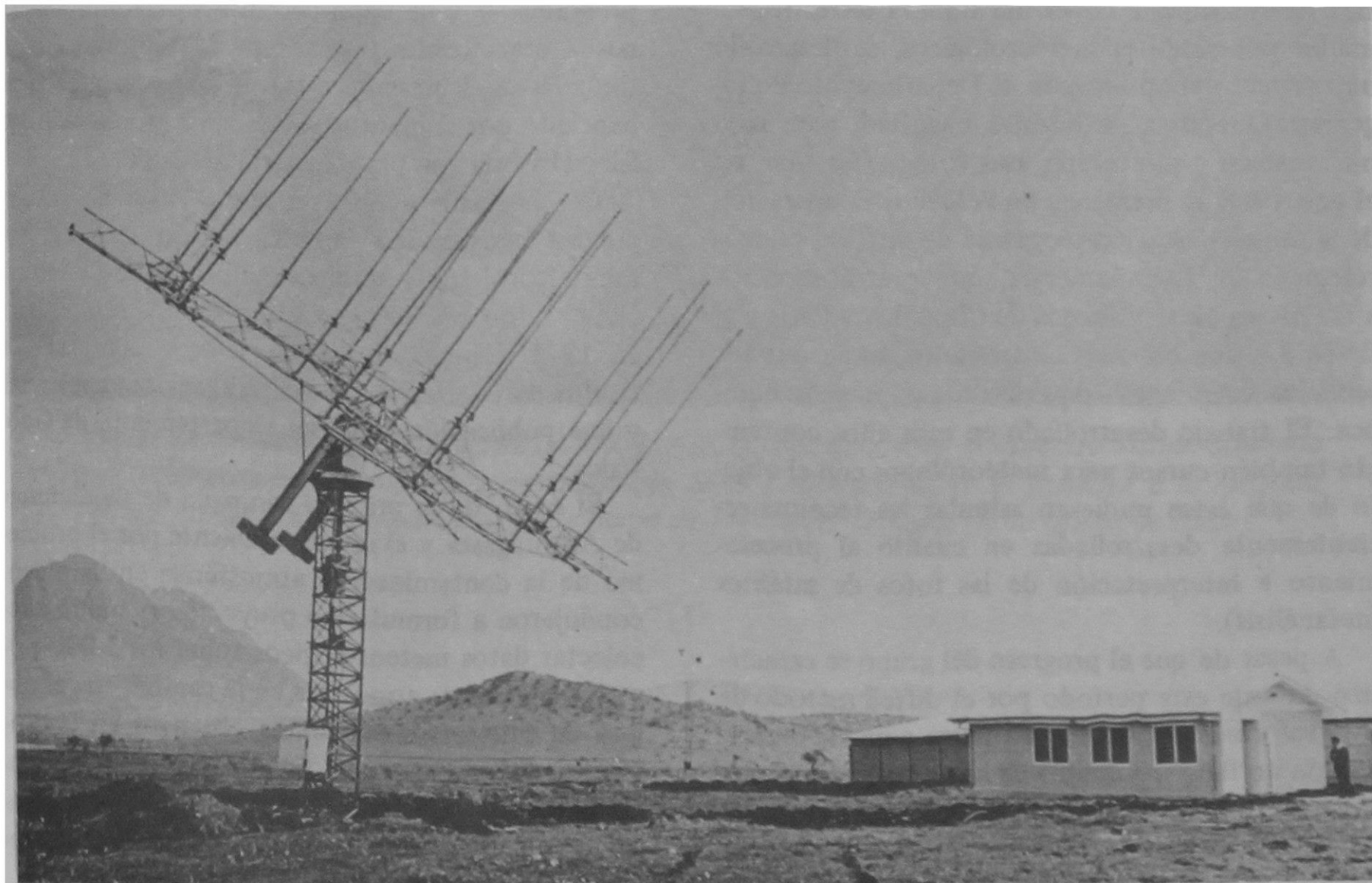
del país; coordinar programas que permitan la formación de meteorólogos a nivel universitario..."

LOS PRIMEROS AÑOS

A principios de 1961 la Universidad de Chile, respondiendo a las exigencias del Tratado Antártico y del Año Geofísico Internacional, inició la operación de una base antártica. En el programa de actividades se contemplaba un proyecto de observaciones y estudios meteorológicos para los que se contrató al especialista español, doctor Manuel Puigcerver, quien tuvo a su cargo el proyecto durante el primer año. Este programa antártico se mantuvo hasta 1963.

Los primeros cursos para estudiantes de ingeniería en la Facultad, se dictaron a mediados de 1961 por Pierre Misme y Vincent Guerrini, meteorólogo de Panagra. Al término de éstos, se formó el primer grupo de ayudantes junto a un egresado de ingeniería que se encontraba desarrollando una memoria de título en Contaminación Atmosférica de la ciudad de Santiago.

Estación de rastreo de Satélites Meteorológicos ubicados en Peldehue (1966).



NOTICIAS

El informe emitido por el ingeniero Misme, en 1962, junto con señalar el alto nivel en la docencia de la Facultad, recomienda desarrollar activamente investigaciones en el área de contaminación atmosférica en la capital, modificación de masas de aire debida a la cordillera de la Costa, radioclimatología de Chile y radiometeorología, evapotranspiración potencial y meteorología antártica. Estos temas correspondían fundamentalmente a la especialidad de los que conformaban el grupo, hacia el término de la misión de Pierre Misme.

El regreso del doctor Puigcerver a su tierra natal hacia fines de 1963 y un incendio que destruyó, a mediados del mismo año, los archivos e instalaciones del Instituto de Geofísica marcaron el comienzo de un nuevo período con un grupo formado por tres ingenieros jóvenes y dos alumnos de los últimos años de ingeniería.

SATELITES METEOROLOGICOS Y LA AUTOFORMACION

En los años que siguieron, y a consecuencias de las primeras experiencias en transmisión automática de fotos de la cobertura nubosa terrestre, tomadas por satélites meteorológicos, se desarrolló un proyecto conjunto con el Departamento de Ingeniería Eléctrica de nuestra Facultad, para recibir, analizar e interpretar esas fotografías. Así, en el año 1966 se comienza en Peldehue la operación de la primera estación receptora de satélites meteorológicos de Latinoamérica, que prestó servicios a la Oficina Meteorológica de Chile, LAN CHILE y ENDESA durante más de tres años, hasta que los servicios nacionales adquirieron sus propios equipos. El trabajo desarrollado en esos años contempló también cursos para meteorólogos con el objeto de que éstos pudiesen asimilar las técnicas recientemente desarrolladas en cuanto al procesamiento e interpretación de las fotos de satélites (nefanálisis).

A pesar de que el progreso del grupo se caracterizó durante este período por el difícil método de la autoformación, debido en parte a que la meteorología no figuraba dentro de las prioridades nacionales y a que los programas de becas no otorgaban facilidades especiales a sus miembros, se realizaron dos estancias de un año de duración en Inglaterra

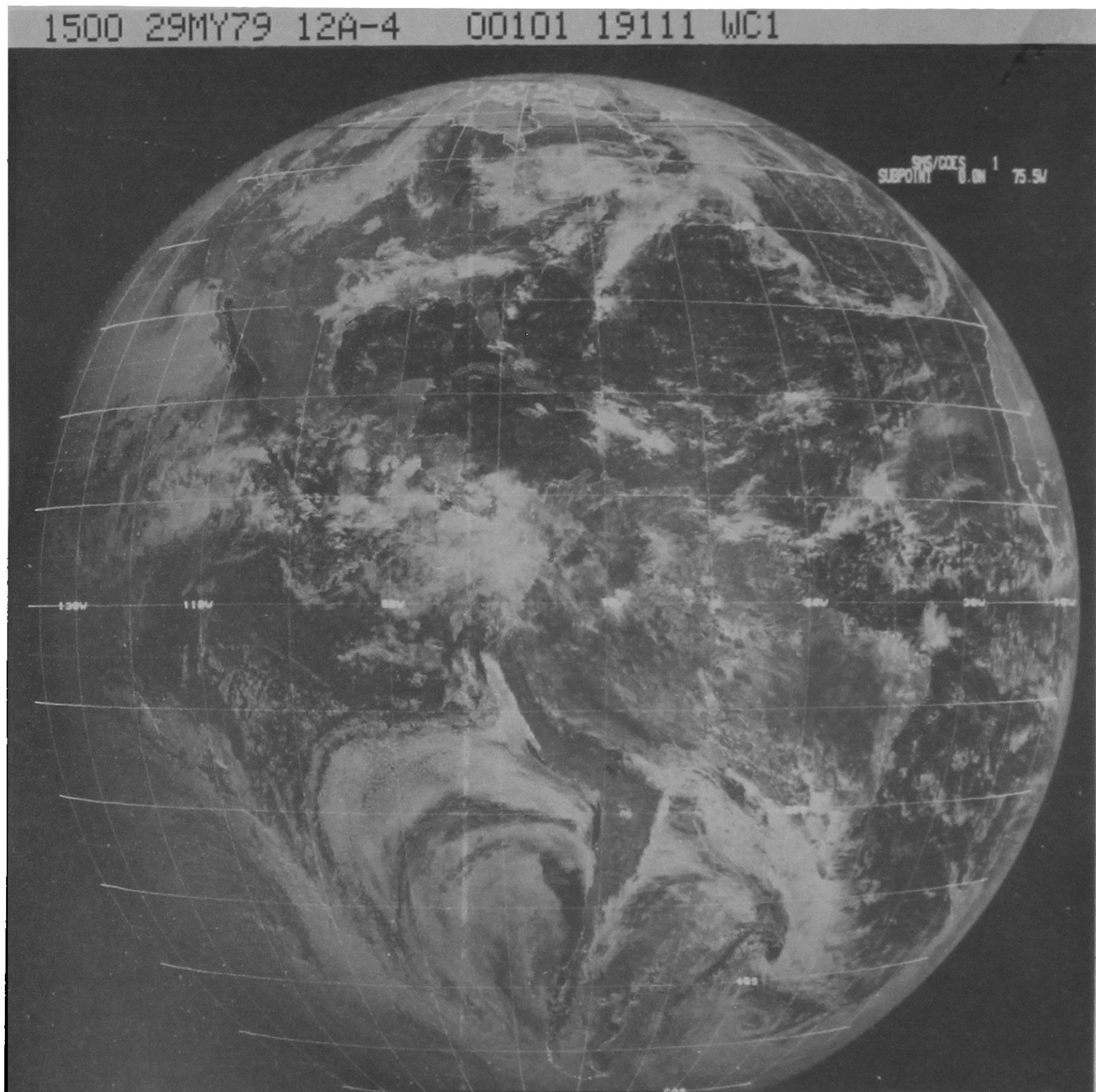
y Francia respectivamente, para seguir estudios de postgrado en Ciencias Atmosféricas.

LA AUTODETERMINACION Y LAS CAMPAÑAS METEOROLOGICAS

Como consecuencia de las múltiples y variadas influencias recibidas por el grupo de la Sección de Meteorología en la década de los 60 se decidió iniciar una línea de trabajo que parecía ofrecer ventajas comparativas dada la configuración geográfica y climática de Chile y la necesidad de no duplicar esfuerzos a nivel latinoamericano. Los estudios sistemáticos de la capa límite atmosférica comenzaron, tras considerar algunas sugerencias por parte de autoridades internacionales en la materia, con una campaña de mediciones meteorológicas. Utilizando equipo sobrante del Año Geofísico Internacional se realizaron mediciones en la provincia de Antofagasta, consistentes principalmente en radiosondeos y sondeos de viento durante 20 días. Esta experiencia marcó el inicio de un Programa destinado a estudiar las circulaciones regionales en los desiertos del norte con el objeto de establecer un modelo capaz de explicar las extraordinarias características áridas de esos desiertos. Este programa, que ha dado origen a varias publicaciones internacionales y una tesis de doctorado, continúa hasta el presente a través de un proyecto financiado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia con participación peruana.

Como recursos de esta nueva línea de acción pueden considerarse también los estudios de Radiometeorología y Radioclimatología de Chile que comenzaron con el ingeniero Misme y terminaron en 1971 después de publicarse tres memorias de títulos de Ingeniería, varias publicaciones internas y una publicación final del Departamento de Geofísica.

El éxito de la primera campaña de mediciones de Antofagasta y el interés creciente por el problema de la contaminación atmosférica en Santiago, condujeron a formular un proyecto orientado a recolectar datos meteorológicos sobre los 1.000 primeros metros de atmósfera en la capital, con el objeto de proveer antecedentes objetivos en la estimación del transporte y dispersión de contaminantes en Santiago. Así, se realiza un total de 4 campañas que junto a mediciones anteriores constituyen las únicas muestras disponibles hasta hoy día.



FOTOGRAFIA DESDE SATELITE METEOROLOGICO. Fotografia en el espectro visible obtenida mediante el satélite meteorológico geostacionario SMS 1 ubicado sobre el Ecuador a la longitud 75.5 W. La fotografía corresponde al 29 de mayo de 1979 a las 11 horas (hora oficial de Chile).

NOTICIAS



Mediciones Meteorológicas en Glaciar Echaurren, en las cercanías de Santiago, relacionadas con un estudio de recursos hídricos.

Entre los años 74 y 76 la Sección dedica parte importante de su esfuerzo al Proyecto de Estudio de Zonas Áridas y Semiáridas, PRIZAS. Este proyecto lo inició la Universidad de Chile con el apoyo de la República de Israel y con la activa colaboración de las Facultades de Agronomía y de Ciencias Físicas y Matemáticas. Dentro de este programa, la Sección desarrolló una línea de investigación básica cuyos objetivos se centraban en la definición precisa y la comprensión de los principales mecanismos de la aridez. Con tal objeto se introdujeron en el país las técnicas aerodinámicas de estimación de flujos turbulentos y de balance de energía, destinadas a medir la forma en que la radiación neta absorbida en la superficie terrestre se transfiere a la atmósfera y el suelo. Simultáneamente, la Sección continuó con trabajos de diagnóstico de la energética de la atmósfera del Hemisferio Sur y comenzó a desarrollar modelos numéricos de procesos de dimensiones regionales.

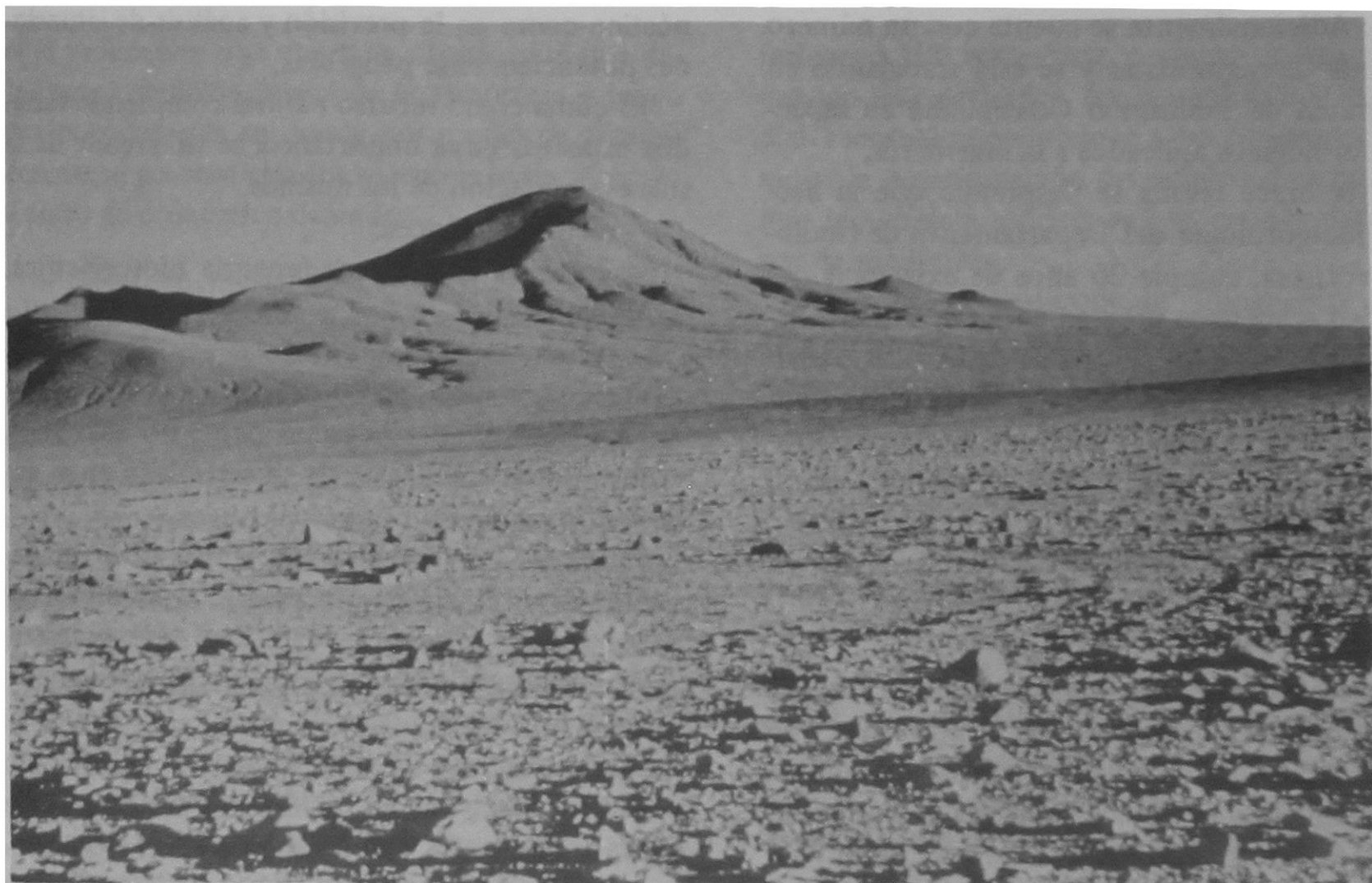
En los años 70 se realizaron diversos eventos nacionales relacionados con la meteorología y acadé-

micos de la Sección formaron parte de comisiones relacionadas con el desarrollo de la meteorología en el país, la contaminación atmosférica, ciencias oceánicas y ciencias antárticas.

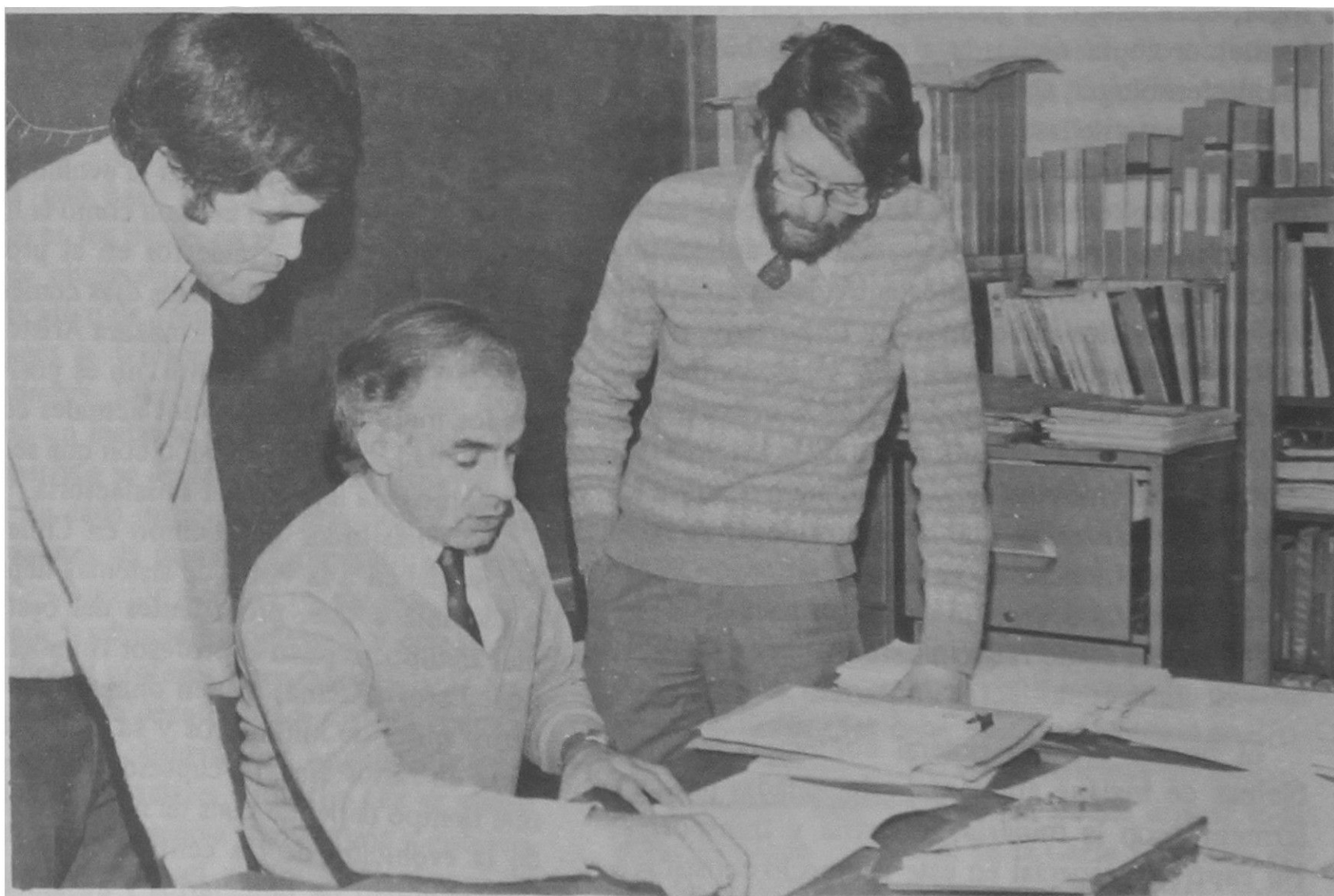
SITUACION ACTUAL

A partir de 1970, la formación académica de los integrantes del Grupo se perfecciona mediante dos doctorados en Estados Unidos, un postdoctorado en Canadá, cursos de agrometeorología en Israel, una estadía en el Centro de Edafología y Biología Aplicada en Salamanca, España, y cursos sobre dinámica de atmósferas, océanos y desiertos en el Centro Internacional de Física de Trieste, Italia.

Las actividades docentes del grupo, integrado por Patricio Aceituno, Humberto Fuenzalida, Ernesto Puccio, Benjamín Rosenbluth, José Rutllant y Pablo Ulriksen, incluyen actualmente dos cursos electivos de pregrado, seminarios para el Magister en Geofísica y un curso de Series de



Desierto de Atacama. La región más árida del planeta.



Patricio Accituno, Humberto Fuenzalida y Pablo Ulriksen, investigadores de la sección Meteorología.

NOTICIAS

Tiempo. Adicionalmente se cuenta con un número importante de memoristas y se está trabajando en un programa de Educación Continuada en aspectos meteorológicos aplicados a la ingeniería.

De esta breve reseña se desprende que la Sección de Meteorología del Departamento de Geología y Geofísica, cumple 20 años de existencia como unidad académica propiamente tal. Durante este período ha sido un centro de desarrollo científico y formativo por excelencia. NOTICIAS quiso, en esta oportunidad, relatar los diferentes campos que abarcan sus meteorólogos y dan una visión general de sus actividades.

METEOROLOGIA Y OTRAS CIENCIAS

La meteorología es una ciencia del medio ambiente que estudia la parte de la atmósfera que incide directamente en la vida y actividad humana. Tradicionalmente ha sido asociada con el arte del pronóstico del tiempo debido principalmente a que, como ciencia, es relativamente joven.

Además de la natural relación que existe con otras ciencias físico-ambientales, como la hidrología, oceanología y glaciología, existen ramas de la meteorología dedicada a problemas biológicos (biometeorología, agrometeorología).

El impacto de las condiciones atmosféricas en la actividad humana se extiende desde una sutil influencia en el desarrollo de las civilizaciones hasta la determinación de simples estados de ánimo, pasando por una vasta gama de actividades productivas y de servicios incluyendo un importante papel en la planificación del desarrollo socioeconómico. Es aquí precisamente donde reside la importancia de la meteorología en las Ciencias de la Ingeniería.

En forma muy general se pueden establecer tres grandes áreas en que la Meteorología se relaciona con las Ciencias de la Ingeniería:

- Protección del medio ambiente.
- El clima como recurso natural.
- El clima como factor limitante.

El primer aspecto general contempla los problemas de higiene ambiental relacionadas particularmente con la minería, industria y transportes. Un capítulo especial en este campo lo constituye la problemática de la difusión atmosférica de contaminantes, en que la meteorología juega un papel determinante tanto a nivel de planificación y diag-

nóstico como en la previsión y análisis de situaciones potencialmente peligrosas.

El clima como recurso natural comprende varios aspectos cuya importancia se desprende de la sola enumeración de los mismos:

- recursos hídricos.
- recursos energéticos (energía hidroeléctrica, solar, eólica).
- recursos agroclimáticos.
- recursos turísticos.

La meteorología juega un papel no sólo en la evaluación de estos recursos sino también en su explotación racional.

El clima, como factor limitante, es de fundamental importancia en procesos y faenas industriales y mineras, transporte marítimo, aéreo y terrestre, arquitectura y diseño estructural, telecomunicaciones y otros.

Desde el punto de vista de la metodología empleada en problemas de meteorología, existen relaciones importantes con las matemáticas aplicadas, la computación y con las ciencias relacionadas con el desarrollo de instrumentos especiales (física experimental, electrónica).

METEOROLOGIA Y PRONOSTICO DEL TIEMPO

La necesidad de anticipar la evolución del tiempo atmosférico es tan antigua como la humanidad. Sin embargo, los desaciertos en el pronóstico siguen provocando en nuestros días comentarios irónicos como los que inmortalizara Aristófanes en la Grecia antigua. Ciertamente, no es posible comparar los métodos y resultados actuales con los de la antigüedad, pero la precisión con que se pronostica el tiempo está lejos de ser satisfactoria.

Las vicisitudes del tiempo en Chile Central y Sur se deben a la visita de sistemas depresionarios o ciclónicos que, procedentes del oeste, traen el mal tiempo, explicó el profesor Humberto Fuenzalida. Estos sistemas tienen dimensiones típicas de varios miles de kilómetros y su ciclo vital se completa en varios días. La capacidad de pronosticar el mal tiempo depende pues de nuestro conocimiento de la evolución de los centros depresionarios, de la posibilidad de detectarlos y adelantar sus comportamientos para, digamos, las 24 horas siguientes, señaló el investigador. Es posible identificar

en el pronóstico una etapa de observación que define una condición inicial de la atmósfera y luego otra de prognosis en donde por medio de algunas técnicas se generan estados sucesivos hasta alcanzar el plazo de pronóstico deseado.

La etapa de observación plantea ya serias dificultades. Las dimensiones de los sistemas que interesa definir y sus velocidades exigen que la red observacional cubra distancias del orden de 10.000 kilómetros y que los instrumentos sean leídos varias veces cada día. La distancia que debe separar lugares de observación vecinos depende de las dimensiones de los detalles de interés en los sistemas depresionarios. Algunos de ellos, como los frentes de mal tiempo, precisan de separaciones de unos 100 kilómetros. Si bien esta cifra no plantea mayores dificultades en lugares poblados —añadió— resulta difícil de satisfacer en áreas desérticas, cubiertas de hielo u oceánicas.

Pero la atmósfera debe ser observada no sólo cerca del suelo sino también en un espesor del orden de unos 15 kilómetros. En altura los sistemas depresionarios atenúan sus contrastes y ganan regularidad por lo que la red observacional deseable puede presentar una separación de unos 500 kilómetros entre estaciones y una frecuencia de 2 observaciones diarias. Sin embargo, la observación de altura demanda equipos costosos y personal especializado lo que hace difícil satisfacer estos requerimientos en los países en vía de desarrollo.

La red de observación recién definida ha recibido el calificativo de "red sinóptica" debido a que sus mediciones se transcriben a cartas que llevan el mismo nombre. Ellas representan el estado de la atmósfera en un instante dado, a varios niveles. La carta de superficie se destaca como la de mayor información. En cada lugar de observación se transcriben los valores de presión, temperatura, humedad, fuerza y dirección del viento, cantidad y tipo de nubosidad, tendencia barométrica y estado del tiempo, explicó el profesor Fuenzalida.

A mediados de la década de los sesenta apareció un nuevo tipo de observación: aquella obtenida desde artefactos espaciales. Hoy día ella se puede obtener con una frecuencia semihoraria y cubriendo prácticamente todo el globo. Sin embargo, su valor cuantitativo aún deja que desear.

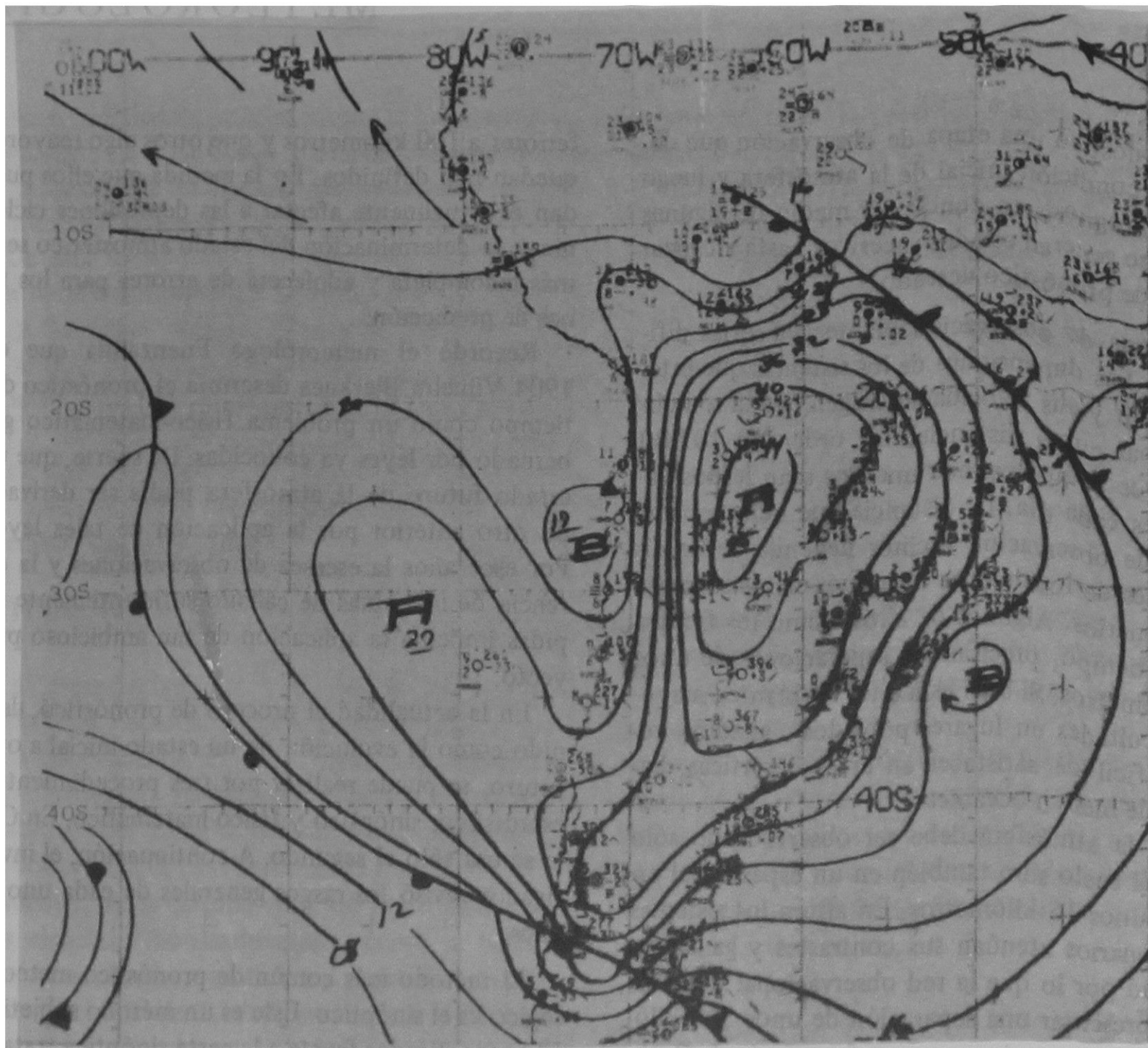
Es indudable que a la red sinóptica escapan todos los fenómenos atmosféricos de dimensiones in-

feriores a 100 kilómetros y que otros algo mayores quedan mal definidos. En la medida que ellos puedan eventualmente afectar a las depresiones ciclónicas, la determinación del estado atmosférico será más incompleta y adolecerá de errores para los fines de predicción.

Recordó el meteorólogo Fuenzalida que en 1904 Vilhelm Bjerknes describía el pronóstico del tiempo como un problema físico-matemático gobernado por leyes ya conocidas. De suerte, que un estado futuro de la atmósfera podía ser derivado de otro anterior por la aplicación de tales leyes. Por esos años la escasez de observaciones y la carencia de máquinas de cálculo suficientemente rápidas impedía la aplicación de tan ambicioso proyecto.

En la actualidad el proceso de pronóstico, definido como la evolución de un estado inicial a otro futuro, se puede realizar por tres procedimientos: estadístico, sinóptico y físico-matemático. En Chile se usa sólo el segundo. A continuación, el investigador revisó los rasgos generales de cada uno de ellos:

El método más común de pronóstico meteorológico es el sinóptico. Este es un método subjetivo. El pronosticador frente a la carta sinóptica trata de estructurar en un cuadro coherente la mayor parte de la información disponible en base a sistemas, tales como áreas de alta y baja presión, masas de aire, sistemas frontales y nubosos. Según el comportamiento que exhiben tales sistemas extrapola sus ubicaciones y estructuras en el futuro, cuidando de añadir nuevos sistemas donde él cree existen condiciones adecuadas para su gestación. Finalmente traduce el nuevo conjunto de sistemas en pronósticos del tiempo para los lugares de interés. Su estimación sobre la evolución de cada sistema depende de su experiencia con sistemas análogos. El éxito de su pronóstico se deberá en gran medida a la elección apropiada de los elementos que use en la comparación con casos pretéritos, por lo que un buen pronosticador debe poseer una mente analítica y una vasta experiencia con sistemas sinópticos. Sin embargo, ninguna persona puede digerir toda la información contenida en la Carta Sinóptica del momento y las inmediatamente anteriores, como tampoco puede su experiencia cubrir todos los detalles de cada situación pasada. Esto hace inevitable la ocasional emisión de pronósticos incorrec-



CARTA SINOPTICA DE SUPERFICIE. Contiene información meteorológica resumida en cada estación de la red para un instante dado. A partir de esta información y de la que se obtiene mediante boyas y satélites meteorológicos se trazan isóbaras y frentes, esto constituye un diagnóstico de la situación meteorológica en ese instante y sirve de base, junto a las cartas meteorológicas de altura, para efectuar un pronóstico.

tos. Esto ha conducido a la búsqueda de métodos que, una vez desarrollados, no dependan del criterio o agudeza del pronosticador.

Uno de éstos es el método estadístico. En él, ciertos números que representan elementos relevantes del tiempo atmosférico (predictores) alimentan fórmulas que entregan otras cifras, que constituyen el valor pronosticado de algún parámetro (predictando) meteorológico en un lugar. El pronóstico se llama estadístico porque en el diseño de la fórmula se ha usado información recolectada a lo largo de extensos períodos de tiempo. Hasta ahora este método no se ha mostrado superior al sinóptico, pues, aunque el computador puede absorber mayor cantidad de información que el pronosticador, no ha logrado superarlo en la versatilidad con que puede usarla.

El tercer método, llamado dinámico o numérico, corresponde al planteado por V. Bjerknes. En su forma actual se instruye a un computador para que resuelva las ecuaciones que representan las leyes físicas que rigen el comportamiento de la atmósfera. En tal proceso el computador no requiere recurrir a la experiencia. Sin embargo, la solución de las ecuaciones completas es inaccesible para cualquier computador existente y es preciso recurrir a formas aproximadas de las ecuaciones, las que se seleccionan a menudo en base a la experiencia.

Ninguno de los tres métodos está exento de elementos subjetivos: evolución de los sistemas, elección de información relevante o aproximaciones en las ecuaciones. Sin embargo, el método dinámico presenta ventajas por un mayor contenido físico

cuantitativo que permite ir mejorando su formulación a medida que avanza en la comprensión de los mecanismos atmosféricos. Cabe preguntarse si cuando la determinación del estado inicial y las ecuaciones usadas hayan alcanzado un alto grado de perfección, seremos capaces de pronosticar el tiempo con tanta seguridad y anticipación como los eclipses de Sol. Para responder a esta interrogante es preciso —indicó— conocer el fenómeno de inestabilidad.

Al respecto, el profesor Fuenzalida explicó que un sistema físico se dice estable si ante una perturbación pequeña sigue una evolución levemente diferente de aquella que hubiera tenido en ausencia de la perturbación. Por otra parte, se dice inestable si al ser perturbado en una forma tan leve como se quiera se comporta de forma considerablemente distinta. Estudios teóricos han mostrado que las depresiones ciclónicas pueden ser generadas espontáneamente a partir de pequeñas perturbaciones que crecen debido al carácter inestable de la atmósfera.

Una medida del grado de inestabilidad es la rapidez de crecimiento de una perturbación. Este parámetro puede ser determinado en los modelos numéricos que simulan el comportamiento atmosférico. Con varias versiones de ellos se ha logrado estimar que una perturbación duplica su tamaño en 2 ó 3 días. Si esto es correcto sería posible pronosticar para una semana, pero no más allá, pues algunas de las perturbaciones siempre presentes habrían tenido tiempo de desarrollarse suficientemente para dominar el cuadro haciendo que la configuración pronosticada difiera considerablemente de la real, merced al desarrollo de detalles imperceptibles en el estado inicial.

Existe entonces un obstáculo poderoso que impide que en el pronóstico del tiempo pueda alcanzarse la precisión lograda en el caso de los eclipses, pues este último forma parte del comportamiento de un sistema estable, en tanto que, la atmósfera es intrínsecamente inestable. Esto no implica que el nivel actual de éxito no pueda ser mejorado, pero sí que el óptimo es muy distinto en ambos casos.

En Chile, el pronóstico del tiempo presenta limitaciones adicionales. Ya se ha mencionado que la única técnica actualmente usada es la sinóptica, que requiere del pronosticador una particular habilidad para prever la evolución de los sistemas. El

comportamiento de éstos se ve severamente modificado por la presencia de la Cordillera de los Andes y muchos de los esquemas de evolución típica, son sustituidos por desarrollos anómalos poco conocidos.

Resulta pues necesario estudiar casos individuales en detalle para conocer los esquemas típicos de evolución. Sin embargo, la presencia al occidente de un océano poco navegado representa un vacío observacional que impide precisar los rasgos de los sistemas que se aproximan al país. Esta circunstancia atenta contra los estudios e introduce una cuota de incertidumbre apreciable en el conocimiento del estado inicial en que se basa el pronóstico. Aún más, señaló, siendo el Hemisferio Sur predominantemente oceánico, es difícil imaginar cómo se podría inicializar un modelo numérico. Es aquí donde las técnicas espaciales cobran particular valor, pues al proveer información global permiten mejorar el conocimiento del estado inicial y en un plazo breve incorporar modelos numéricos a la importante tarea de predecir el tiempo.

Durante su existencia, el grupo de la Sección de Meteorología ha desarrollado varios proyectos relacionados con el problema del pronóstico del tiempo. A lo largo de varios años investigó los procesos de inestabilidad que dan origen a las perturbaciones ciclónicas, introduciendo simultáneamente el uso operacional de las fotos tomadas desde satélites en el proceso de pronóstico. En la última década ha mantenido un esfuerzo continuo tendiente a familiarizarse con los modelos numéricos más simples para que, llegado el momento de aplicarlos, se cuente con la experiencia necesaria.

METEOROLOGIA Y VARIACIONES CLIMATICAS

La posibilidad que se produzcan variaciones climáticas, a escala planetaria o regional, que alteren el modo de vida de la sociedad actual, mantiene este tema en continua actualidad. El crecimiento mundial de la población y el aumento promedio de los standards de vida, ejercen una creciente presión sobre los recursos naturales; en especial, sobre los alimentos. Esto hace que se mire con temor cualquier signo que evidencie un eventual cambio prolongado en las condiciones climáticas. En el caso de Chile, la experiencia pasada ha señalado los

NOTICIAS

graves problemas sobre la producción agropecuaria y de energía que representa el establecimiento de una sequía prolongada.

Este aspecto, es abordado por el investigador Patricio Aceituno. Señala que para entender qué son las variaciones climáticas, se debe definir primero el clima, según una versión convencional basada en un manejo estadístico de datos: "el clima de una región queda definido por el comportamiento promedio de cada una de las variables meteorológicas en un período de tiempo largo, por ejemplo 30 años". Estos promedios constituyen las "normales" utilizadas de referencia para caracterizar cualquier año en particular. Como el espectro de variación en cualquier serie meteorológica es muy amplio, abarcando desde oscilaciones diarias hasta las de miles y millones de años, hemos de decir que el clima es esencialmente variable. Los promedios climatológicos tienen sólo un valor de referencia en un período limitado de tiempo.

HISTORIA DEL CLIMA

La importancia de un cambio climático puede evaluarse si se tienen en cuenta las variaciones experimentadas en el pasado. Las mediciones instrumentales permiten conocer sólo unos siglos hacia atrás (la primera red observacional se estableció a mediados del siglo XVII), y en muchos lugares éstas sólo se iniciaron en los últimos 100 años. Una forma indirecta de conocer el pasado climático es a través de antiguas crónicas que relatan las secuelas de períodos climáticamente desastrosos (sequías, tormentas, vendavales, nieve, etc.). Aparte de lo anterior, deben considerarse diversas técnicas que permiten extraer indirectamente información sobre alguna variable climática. Entre ellas figuran el análisis de las capas anuales de hielo formado en la Antártica, el estudio de los anillos de crecimiento en determinados lugares y especies de árboles, análisis del polen en estado fósil, determinación del grado de avance de glaciares en zonas templadas, determinación de niveles de lagos y océanos y análisis de sedimentos en fondos marinos y lacustres.

Por medio de técnicas paleoclimáticas se ha logrado alguna información sobre el comportamiento del clima, en ciertas regiones del planeta, a lo largo del último millón de años.

Partiendo de la evidencia más lejana es posible afirmar que estamos actualmente en una época interglacial dentro de una edad de hielo que se ha mantenido por lo menos durante dos millones de años. Esta era constituye por lo menos la tercera de una serie que con intervalos cercanos a los 300 millones de años han interrumpido condiciones mucho más cálidas y libres de hielo.

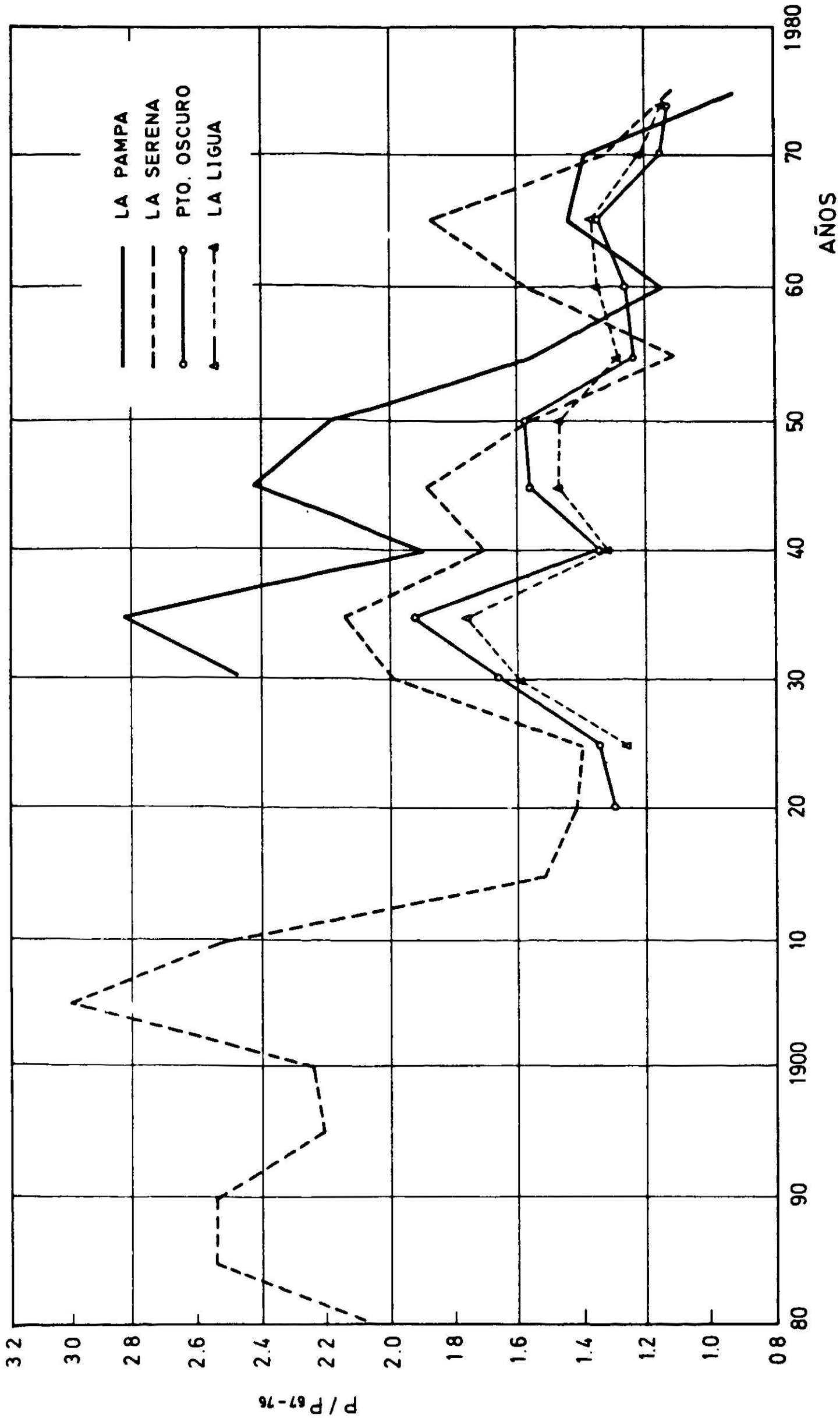
En el último millón de años se han alternado 8 períodos glaciales, en los que la temperatura media desciende y los hielos polares avanzan hacia latitudes medias, con otros interglaciales, en que la temperatura aumenta y los hielos se retraen hacia los polos. Hace unos 18.000 años se alcanzó el máximo del último período glacial, oportunidad en que, gran parte del Hemisferio Norte quedó cubierto de hielo y el nivel del mar bajó en unos 120 metros. El período interglacial en que vivimos se prolonga desde hace 10.000 años estimándose que éste alcanzó su clímax hace unos 7.000 años.

En una escala de tiempo más cercano, se destacan esencialmente tres fluctuaciones climáticas de período largo en el último milenio. Entre 1150 y 1350 prevalece un período relativamente cálido seguido de la llamada "Pequeña Edad del Hielo" entre 1500 y 1850. A partir de 1880 la temperatura empieza a aumentar especialmente en latitudes altas del Hemisferio Norte. Alrededor de 1940 la temperatura se estabiliza produciéndose a partir de entonces una leve disminución.

VARIACIONES CLIMATICAS EN CHILE

La configuración geográfica de Chile hace que en su territorio se distinga una gran variedad de climas con características bien diferenciadas. Considerando que en la región Central del país se encuentra la población y los recursos agrícolas, el investigador Aceituno se refiere en particular a esta zona. Uno de los factores determinantes del clima de esta región es el régimen de precipitaciones, caracterizado por su concentración en el período invernal y una fuerte variabilidad interanual.

Este hecho no es nuevo. Ya a fines del siglo pasado el temor a un año seco o a la eventualidad de un avance hacia el sur del desierto nortino aparecía reflejado en las crónicas de la época, de Benjamín Vicuña Mackenna.



VALORES CORRESPONDIENTES A PROMEDIOS MOVILES DE 10 AÑOS, REFERIDOS A LA
 DECADA 1967 - 1976

**FIG. 1a) VARIACION DE LA PRECIPITACION EN ALGUNAS LOCALIDADES DE LA
 REGION SEMIARIDA DE CHILE**

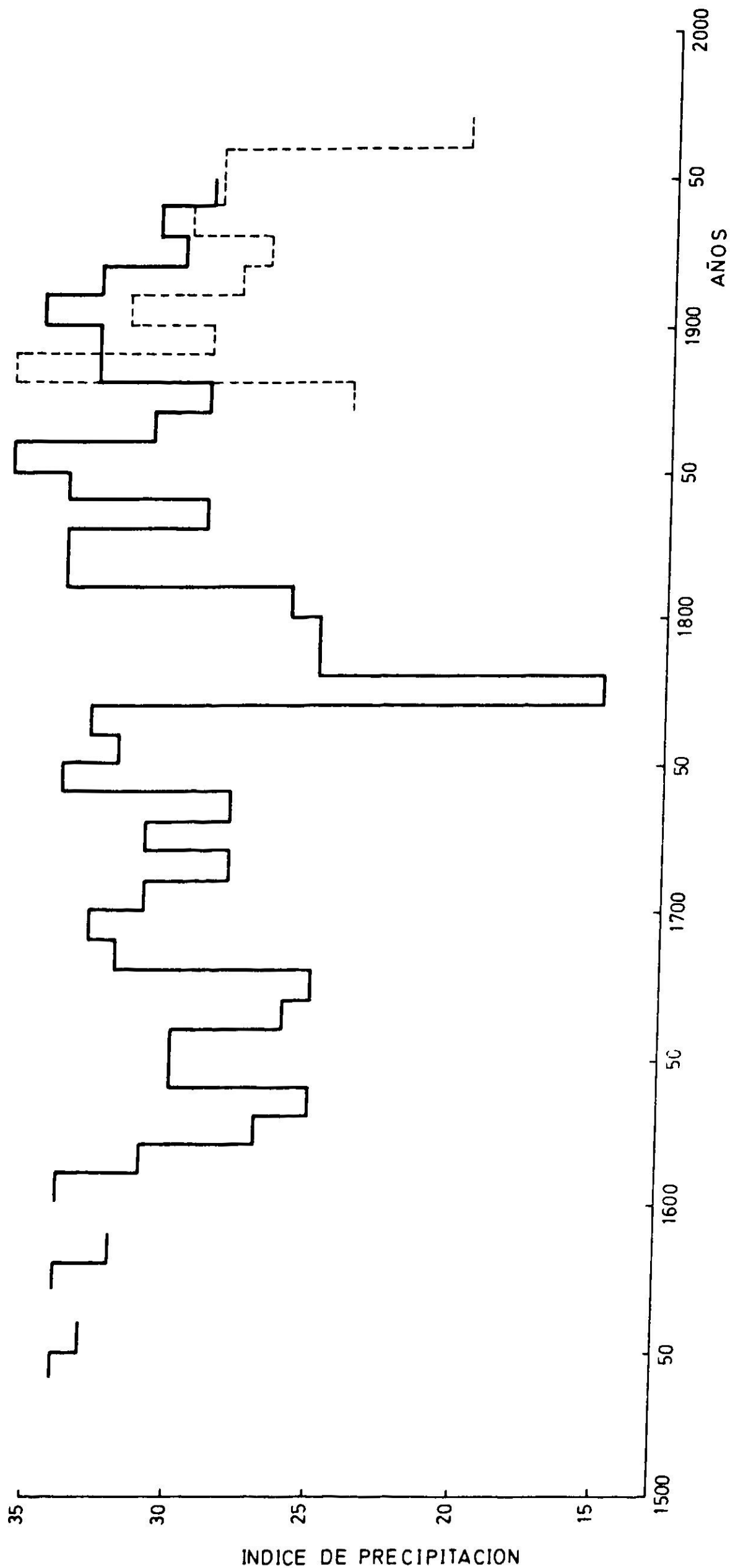


FIG. 1b) PRECIPITACION EN SANTIAGO POR DECADAS (según Taulis, 1934)

La tendencia decreciente de las precipitaciones durante el presente siglo, especialmente en la zona del Norte Chico (Fig. 1 a) ha llevado a muchos a pensar en una intensificación irreversible de la aridez. Sin embargo, hay evidencias que señalan que en los siglos pasados ocurrieron situaciones similares o peores. La Figura 1 b, muestra un índice de precipitación para Santiago estimado en base a crónicas antiguas y que puede representar lo ocurrido en todo Chile Central. Se advierte que la disminución de precipitación a lo largo del presente siglo no parece anormal en un marco de referencia de varios siglos. Incluso la década más seca, 1960-1969, no lo es tanto como aquella de 1770 a 1779 en que ocurrieron 5 años secos y 5 muy secos, según lo consignó Taulis, en 1934.

Sobre climas chilenos más remotos hay estudios basados en técnicas dendroclimatológicas y palinológicas, análisis de polen fósil. Ellos muestran que luego de la última glaciación 20.000 años atrás, se manifestó un óptimo climático centrado entre 8.000 y 7.000 años atrás. A este siguió un largo período en que el clima empeoró para iniciar luego una recuperación que aún persiste.

CAUSAS DE LAS FLUCTUACIONES CLIMATICAS

Las causas que gobiernan las fluctuaciones del clima son complejas, con muchos fenómenos interrelacionados y efectos de realimentación. Uno de los factores que ha recibido más atención en los últimos años —señaló el académico José Rutllant, es la influencia de los océanos. Su gran capacidad de almacenar energía y su gran inercia térmica constituyen variables importantes que determinan las fluctuaciones de largo período en el sistema integrado océano-atmósfera. En efecto, algunas irregularidades climáticas observadas en el mundo estos últimos años parecen estar asociadas a pequeños cambios de temperatura en la superficie del Océano Pacífico. En particular, la desaparición de la lengua de temperaturas bajas que se desprende hacia el oeste desde la costa occidental de Sudamérica, estrechamente relacionada con las perturbaciones oceánico-meteorológicas conocidas como "El Niño", parece tener decisiva influencia en la ocurrencia de inviernos anómalos en Estados Unidos.

En estrecha relación con este fenómeno está la "Oscilación del Sur" que, expresada a través de ciclos más o menos regulares de la diferencia de presión entre las partes oriental y occidental del Pacífico Sur, ha sido utilizada con relativo éxito en la predicción de El Niño.

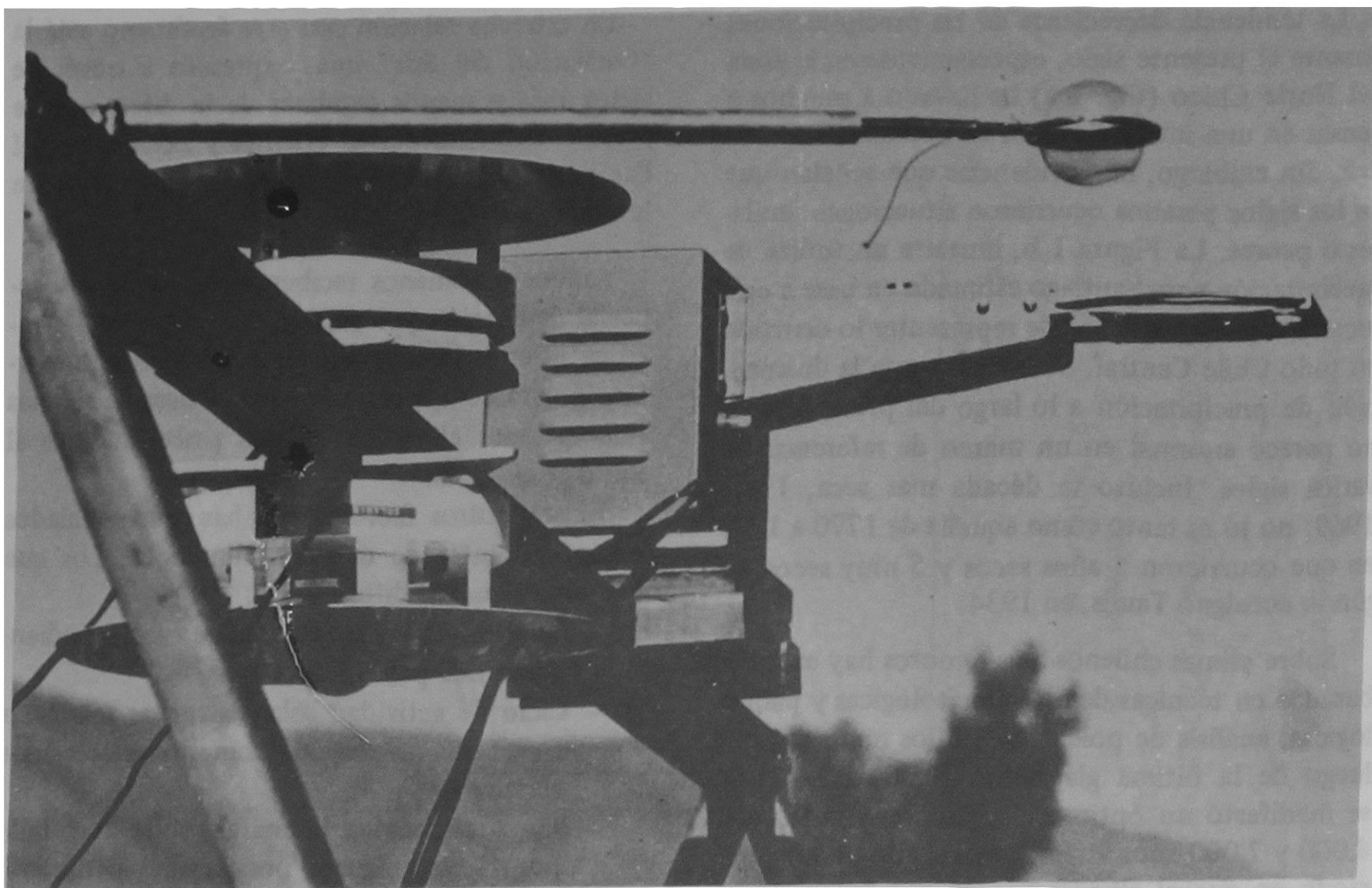
Ambos fenómenos reciben en la actualidad especial dedicación por parte de la comunidad científica internacional y son de fundamental importancia para comprender las bases físicas de algunas fluctuaciones climáticas en los países andinos al Sur de Colombia.

Existen otros factores que han sido señalados como causantes de cambios climáticos. Los que han tenido mayor difusión son:

- Fluctuación en la cantidad de energía radiante emitida por el Sol.
- Ciclo de actividad solar (manchas solares) a través de mecanismos aún no establecidos claramente.
- Fluctuaciones en la energía solar absorbida por nuestro planeta, por factores astronómicos (cambios en la excentricidad de la órbita terrestre, en la oblicuidad del eje de rotación y precesión de los equinoccios).
- Movimiento relativo de los continentes.
- Cambios en el índice de reflexión superficial en la radiación solar.
- Variación en la transmitancia atmosférica a la radiación solar, atribuible a gran actividad volcánica.
- Variación del balance de radiación de onda larga en la atmósfera.
- Efectos antropogénicos.

Durante bastante tiempo se ha discutido la influencia sobre el clima de la actividad solar, medida a través de las manchas solares. A pesar del esfuerzo añadió el investigador Patricio Aceituno—no hay conclusiones definitivas, y en todo caso los resultados positivos muestran que la dependencia es estadísticamente poco significativa. Estudios realizados en la Sección de Meteorología, utilizando técnicas estadísticas modernas, concluyeron que la precipitación en Chile Central no muestra influencia de este tipo de actividad solar.

Durante el último siglo, la actividad humana se ha constituido en un factor adicional de alteraciones del clima. La liberación, en términos crecien-



Meteorología y energía. Energía intercambiada entre el suelo y la atmósfera.

tes, de gases y partículas y la modificación de extensas superficies naturales contribuyen a modificar el balance de energía superficial.

Dos temas que han sido objeto de controversia en el último tiempo son: la eventual influencia del hombre en la modificación de la capa de ozono y el efecto de la acumulación de dióxido de carbono.

El ozono, cuya concentración máxima se observa a unos 20 kilómetros de altura, cumple una función protectora sobre la vida orgánica absorbiendo la mayor parte de la radiación ultravioleta proveniente del Sol. La alteración que sobre la capa de ozono pueden producir ciertos compuestos emitidos a nivel de superficie como los gases propulsores de productos domésticos e industriales en aerosol y otros inyectados "in situ" a través de explosiones nucleares, vehículos espaciales o aviones que vuelan a grandes alturas, ha sido objeto de especial preocupación.

En el caso del CO₂ su principal efecto es contribuir, junto con el vapor de agua, a mantener un

control térmico sobre la superficie, absorbiendo la radiación infrarroja emitida en la superficie terrestre. Su concentración en la atmósfera del planeta ha aumentado significativamente en el último siglo debido principalmente al consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, es difícil establecer claramente su efecto neto sobre el clima ya que, como se ha dicho, hay una multiplicidad de factores que actúan simultáneamente y en estrecha relación. En efecto, un aumento de la temperatura superficial del planeta, debido al incremento de CO₂ en la atmósfera, podría ser compensado por el aumento de evaporación oceánica que daría origen a un incremento de la nubosidad media y por tanto a una mayor intercepción de la radiación solar. Por lo demás, el aumento de temperatura media observado hasta 1940 se detuvo, produciéndose luego un descenso.

Se estima que en la actualidad la actividad humana ha llegado a modificar en forma importante el clima local, especialmente urbano; sin embargo, en una escala global, aún prevalecen las causas naturales.

OBSERVACIONES METEOROLÓJICAS

HECHAS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE SANTIAGO. 11
ENERO DE 1856.

ANALES

DE LA

UNIVERSIDAD DE CHILE,

O REPERTORIO DE INSTRUCCION PÚBLICA, BELAS ARTES, MEDICINA, FÍSICA, FLOSOFÍA I CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS, MÉDICAS, LEGALES, Y SACRADAS.

DEL FUNDAMENTO Y CULTIVO DE LAS Y PUBLICA EN CHILE

DES. ASESORADO POR LOS Y EN CHILE

Horas	Notas	Barómetro a 0.	Termómetro libre.	Humid.	Presión de vapor de agua.	Estado del cielo.
1	9	711.90	24.			
2	3	712.89	27			
3	9	713.74	17			
4	4	712.44	21			
5	9	713.37	1			
6	9	712.60				
7	4	712.86				
8	9	715.49				
9	9	712.2				
10	3	712.7				
11	7	712.				
12	10	713				
13	7	718				
14	10	715				
15	10	71				
16	11	71				
17	12	71				
18	13	71				
19	13	71				
20	13	71				
21	13	71				
22	13	71				
23	13	71				
24	13	71				
25	13	71				
26	13	71				
27	13	71				
28	13	71				
29	13	71				
30	13	71				

METEOROLOJIA.—Don Ignacio Domeyko presentó a la Facultad de Ciencias Matemáticas i Físicas sus *Observaciones barométricas i termométricas del año 1848 i de una parte del de 1847, hechas en Santiago;* i por indicacion suya, encargóse a los señores don Alejandro Vial i don Antonio Ramirez, que sacasen de ellas un *Cuadro jeneral de la Meteorolojia de la capital,* el cual sirviese de introduccion a las observaciones que de allí en adelante se presentáran mensualmente a ambas Facultades reunidas, la de Medicina i la de Ciencias Matemáticas i Físicas.—Ese Cuadro jeneral es el primero de los que siguen, i va marcado con el número 1. °

Don Antonio Osorio tambien presentó las observaciones hechas por él en Santiago durante el primer cuatrimestre de 1849.—Van marcadas a continuacion, con los numeros 2. °, 3. °, 4. ° i 5. °

El Sr. Domeyko presentó, además, las observaciones hechas por él en Santiago en los meses de mayo i junio del mismo año; i con este motivo hizo notar, que, apesar de que junio habia sido el mes mas lluvioso de dicho año, su *altura barométrica media* habia sido mayor que la de todos los meses de la mayor sequia del año. Este hecho, lejos de formar excepcion a la regla jeneral, tambien tuvo lugar en los dos ultimos años anteriores al de 49, i probablemente se repite todos los años por esta misma época.—Estas observaciones van marcadas con los numeros 6. ° i 7. °

Finalmente, don Luis Troncoso principio a mandar, i mandó desde Coquimbo, en 1849, las *Observaciones meteorolojicas* de los cuatro primeros meses de dicho año hechas por él en la Serena, i que comprenden observaciones barométricas, termométricas e higrométricas, acompañadas de *temblores*, i de calculos que manifiestan las *presiones i temperaturas medias de cada mes.*—Atendiendo al merito e importancia de este trabajo, la Facultad de Ciencias Matemáticas i Físicas acordó que se diera las gracias al Sr. Troncoso, suplicandole además, que continuara haciendo i remitiendo sus investigaciones a este respecto, i que procurara guardar el mismo orden i metodo que hasta entonces habia observado, como que en efecto así lo hizo hasta su muerte.—Van marcadas con los numeros 8. °, 9. °, 10, 11 i 12.

Don Ignacio Domeyko, al exhibir el trabajo precedente, llamo la atencion del publico hacia un hecho particular que se refiere a los *temblores* observados por el señor Troncoso i que consiste en que todos los *temblores* acaecidos en los primeros cuatro meses de ese año, casi coincidieron con la *presion media del año* en la Serena.

En realidad, esta presion media, sacada de unas mil observaciones hechas por el señor Domeyko en los años de 1838 a 1842 en la

NOTICIAS

PRONOSTICO DE LAS VARIACIONES DEL CLIMA MODELOS CLIMATICOS

Desde un punto de vista planetario y estadístico hay una probabilidad muy baja de que en los próximos siglos se inicie una nueva época glacial, aseguró el académico Aceituno.

En el caso particular de Chile y para una escala de tiempo más corto, sucede más o menos lo que en el resto del mundo. Aún se desconocen muchas de las bases físicas que permiten explicar con detalle el origen de las fluctuaciones climáticas. Por ahora, cualquier pronóstico debe ser de tipo estadístico y éste puede resumirse afirmando que las fluctuaciones del clima, entre las cuales destacan el establecimiento periódico de situaciones de sequía, continuarán con aproximadamente igual magnitud, frecuencia y variabilidad que en el pasado.

La tendencia actual en el estudio del clima es cambiar las técnicas estadísticas, meramente descriptivas, por el desarrollo de complejos modelos físico-matemáticos que integren la atmósfera y los océanos en un sólo sistema geofísico. Si bien el futuro del pronóstico de las variaciones climáticas en base a esos modelos es auspicioso, resulta indispensable pasar por una etapa previa de conocimiento y análisis de cada una de las variables que allí se integran. Este es uno de los objetivos que cumplen actualmente las actividades que se desarrollan en la Sección de Meteorología de nuestra Facultad.

METEOROLOGIA Y CONTAMINACION ATMOSFERICA

La atmósfera es el medio que recibe los efluentes emitidos por chimeneas y otras fuentes contaminantes y que se encarga de transportarlos y dispersarlos, señaló el académico Pablo Ulriksen. Los factores meteorológicos que influyen especialmente en la contaminación atmosférica son la intensidad y dirección del viento, el grado de mezcla turbulenta de la atmósfera, la presencia de capas de inversión que limitan la dispersión, la ocurrencia de precipitaciones y otros parámetros que influyen en las reacciones químicas entre contaminantes.

Para simular el efecto de la atmósfera sobre los contaminantes, se han desarrollado modelos numé-

ricos de dispersión que pueden llegar a una gran complejidad al hacer intervenir numerosos efectos tales como la topografía, la deposición de contaminantes en la superficie, el arrastre por la lluvia, la decantación de partículas más pesadas, reacciones fotoquímicas, etc. Estos modelos, manifestó el investigador Ulriksen son una herramienta matemática muy poderosa que permite evaluar el efecto de aplicar diversas medidas de control sobre las emisiones, o de pronosticar el aumento de concentraciones de contaminantes por aumento proyectado de población, vehículos, actividad industrial, etc. La meteorología juega un papel fundamental en la evaluación de las estrategias de control que pueden aplicarse, en la selección de lugares apropiados para la instalación de grandes fuentes emisoras de contaminantes como centrales térmicas, refinerías y otros, y en general, en la planificación urbana y regional.

Existen situaciones de emergencia en las cuales el nivel de contaminación puede llegar a valores críticos. En estos episodios es muy importante el apoyo que puede prestar la meteorología en el pronóstico de condiciones meteorológicas desfavorables y su probable evolución, permitiendo así la eventual aplicación de medidas de control. El Grupo de meteorología, ha comenzado a trabajar en la identificación de estas condiciones críticas. Las primeras conclusiones y algunas inquietudes previas han dado origen a un Proyecto conjunto con la Universidad de Concepción en que se estudiarán las características y evolución de situaciones adversas que afectan periódicamente toda la zona Central de Chile.

Nuestro grupo, indicó Ulriksen, ha trabajado en los aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica de Santiago desde sus inicios. Se han efectuado diversas mediciones de parámetros meteorológicos que han permitido definir las características de capas de inversión de temperatura que limitan la difusión de contaminantes hacia niveles superiores, la distribución de vientos en la ciudad y los efectos urbanos sobre la distribución de temperaturas. Un esquema simplificado de las situaciones meteorológicas que se dan en la madrugada y a media tarde se muestra en la Fig. 2. Durante la noche y primeras horas de la mañana, una débil brisa de la cordillera mueve los efluentes hacia el centro y sector poniente de la ciudad. El enfria-

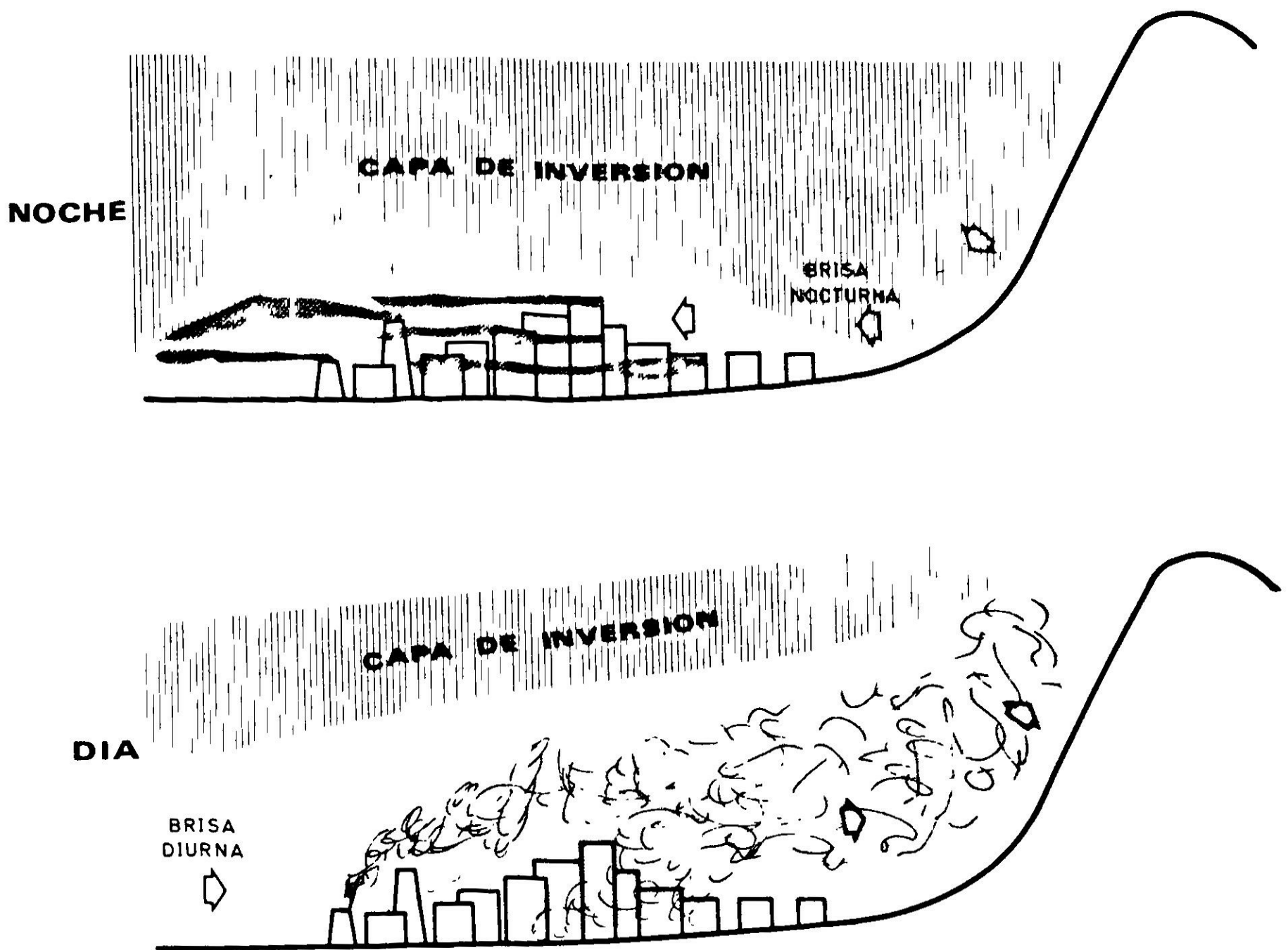


FIG. 2 CONDICIONES METEOROLOGICAS DE LA CONTAMINACION DE SANTIAGO

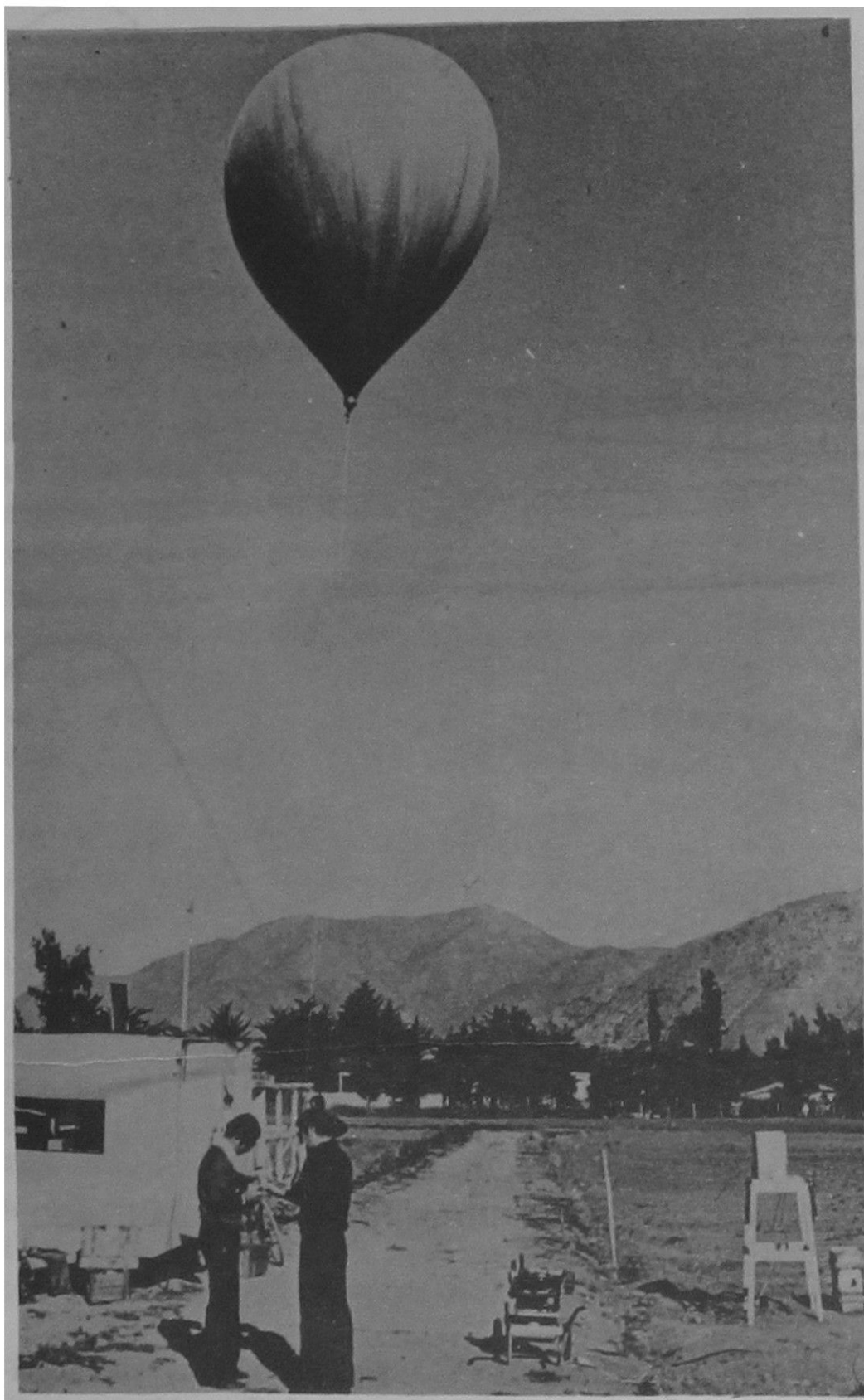
miento nocturno crea condiciones atmosféricas de muy poca mezcla entre diferentes capas, dando origen a capas de aire delgadas, densamente contaminadas. Estas características empeoran en las primeras horas de la mañana, en que al incremento de la actividad industrial y comercial y el tráfico vehicular, se agrega, el efecto de fumigación de los efluentes provenientes de fuentes elevadas cuando comienza el calentamiento solar. Durante el día se desarrolla una capa de aire mejor mezclada por el calentamiento de la superficie y una brisa transporta los contaminantes hacia el sector oriente de la ciudad.

Estas condiciones se repiten de un día a otro, con variaciones en su intensidad según el grado de calentamiento del suelo y las condiciones meteorológicas de escala regional, indicó Pablo Ulriksen.

Asimismo señaló que Santiago presenta condiciones atmosféricas muy desfavorables para la dispersión de contaminantes, debido especialmente a las bajas velocidades de ventilación de la cuenca y a la presencia frecuente de capas de inversión de temperatura que impiden una mezcla adecuada con el aire a niveles superiores. Las velocidades medianas están en el intervalo de 1 a 2 m/s. La frecuencia de ocurrencia de capas de inversión excede un 70% durante el período otoño-invierno.

Actualmente agregó el grupo realiza mediciones de las características del campo térmico de la ciudad y del viento. Adicionalmente se desarrollan instrumentos especiales para obtener datos experimentales, métodos de procesamiento, modelos de simulación del comportamiento de la atmósfera sobre Santiago, y modelos numéricos de difu-

NOTICIAS



*Campaña de medición
en el Valle del Elqui.
(aridez).*

sión mediante técnicas espectrales y elementos finitos. Existe una colaboración estrecha con otros Departamentos de la Facultad, que se dedican al estudio de los problemas de la contaminación, especialmente a través de un proyecto encargado por ODEPLAN a nuestra Facultad. La colaboración se extiende a otros organismos a través de trabajos conjuntos y conferencias en cursos relacionados con el tema.

METEOROLOGIA Y RECURSOS ENERGETICOS

Existe una estrecha relación entre la meteorología y algunas fuentes de energía, entre las que po-

demostramos mencionar —indicó el académico Pablo Ulriksen— la hidroelectricidad, la energía solar y la energía eólica. La generación de la energía hidroeléctrica depende de la cantidad y repartición de las precipitaciones que presenta una variabilidad importante en el tiempo y una repartición geográfica en la cual influye especialmente el relieve. Nuestra Sección agregó ha realizado varios estudios relacionados con el análisis de series pluviométricas largas y con la distribución espacial de precipitación.

Para llegar a la utilización de la energía solar se requiere de la evaluación del recurso, el cual depende de las características de transparencia de la atmósfera y de la nubosidad del lugar. La Sección,

señaló Ulriksen, ha desarrollado varios trabajos relacionados con radiación solar, incluyendo el trazado de los primeros mapas climáticos de la repartición de este parámetro sobre nuestro territorio.

La utilización de la energía eólica se vislumbra como una importante alternativa en lugares remotos o aislados que presentan condiciones adecuadas de viento. Se ha sistematizado la metodología para evaluar el recurso en un lugar dado y se han desarrollado técnicas estadísticas espaciales para estimar la energía eólica en lugares para los cuales existan datos de viento resumidos a nivel mensual. Se trabaja actualmente —informó— en la evaluación estadística de vientos en altura sobre las zonas norte y central de Chile, y en una simulación del uso en molinos de viento en un sistema de riego.

En estos campos existe una activa relación con otros grupos de la Facultad, dedicados a estudios de recursos hídricos y energéticos.

METEOROLOGIA Y ARIDEZ

Desde un punto de vista meteorológico, la aridez, indica una deficiencia de humedad utilizable en procesos biológicos, indicó el profesor Rutllant. Hay varias formas de definir "índices" de aridez basados en una medida de la efectividad de la precipitación disponible. Esta efectividad puede medirse comparando la precipitación real con la capacidad de evaporación (evapotranspiración potencial).

A escala mundial, la gran mayoría de las zonas áridas se extiende en fajas centradas en torno a los 30 grados de latitud, siendo especialmente importantes en las costas occidentales de los continentes. Estas vastas extensiones del planeta son ocupadas en su mayoría, por países en vías de desarrollo los cuales han debido preocuparse preferentemente de este problema. Ejemplos de apoyo gubernamental al desarrollo autóctono de la investigación de zonas áridas, cuyos resultados han alcanzado un relieve internacional, lo muestran Israel y Australia.

Entre las variedades de desierto que existen sobre la Tierra hay una particularmente interesante, aquella que se desarrolla en las costas occidentales de los continentes, acotó José Rutllant. El desierto del Norte Grande chileno pertenece a esta categoría. No deja de sorprender que coexistan allí la mayor fuente de humedad atmosférica, el océano, con el aire más seco del globo.

Se suele afirmar que la aridez del norte del país, se debe a la presencia continua de un gran sistema anticiclónico que domina la región, pero no se aclaran las causas de la alta persistencia de ese centro de alta presión, precisó el académico. Indudablemente, deben existir factores locales que hacen que el grado de aridez del Norte Grande no se reproduzca en otros continentes. Candidatos naturales para desempeñar esta influencia son la orografía, las corrientes marinas y la distribución de océanos y continentes del hemisferio. La medida que estos factores y los de gran escala cooperan para generar las condiciones de aridez aún no ha sido determinada.

Tal interrogante tiene, aparte de su interés científico, un valor adicional en estos tiempos en que el hombre y su tecnología están interfiriendo, a propósito o accidentalmente, con los procesos naturales, comentó el profesor Rutllant. Por ejemplo, si se desea saber en qué medida las grandes sequías están determinadas por un sobrepastoreo y tala de bosques o son sólo el resultado de las variaciones climáticas naturales, es preciso conocer cómo y hasta qué punto la alteración del suelo puede afectar a los mecanismos de aridez. Hasta hace poco parecía difícil que esto sucediera en una escala regional, sin embargo, hace algunos años el profesor Jules Charney del MIT, sugirió un mecanismo que podía explicar la gran sequía que sufrió la región del NW del Africa Ecuatorial, conocida como Sahel, en la segunda mitad de la década de los años sesenta como consecuencia de un sobrepastoreo.

Estos y muchos otros problemas e interrogantes buscan su respuesta en la Meteorología.

