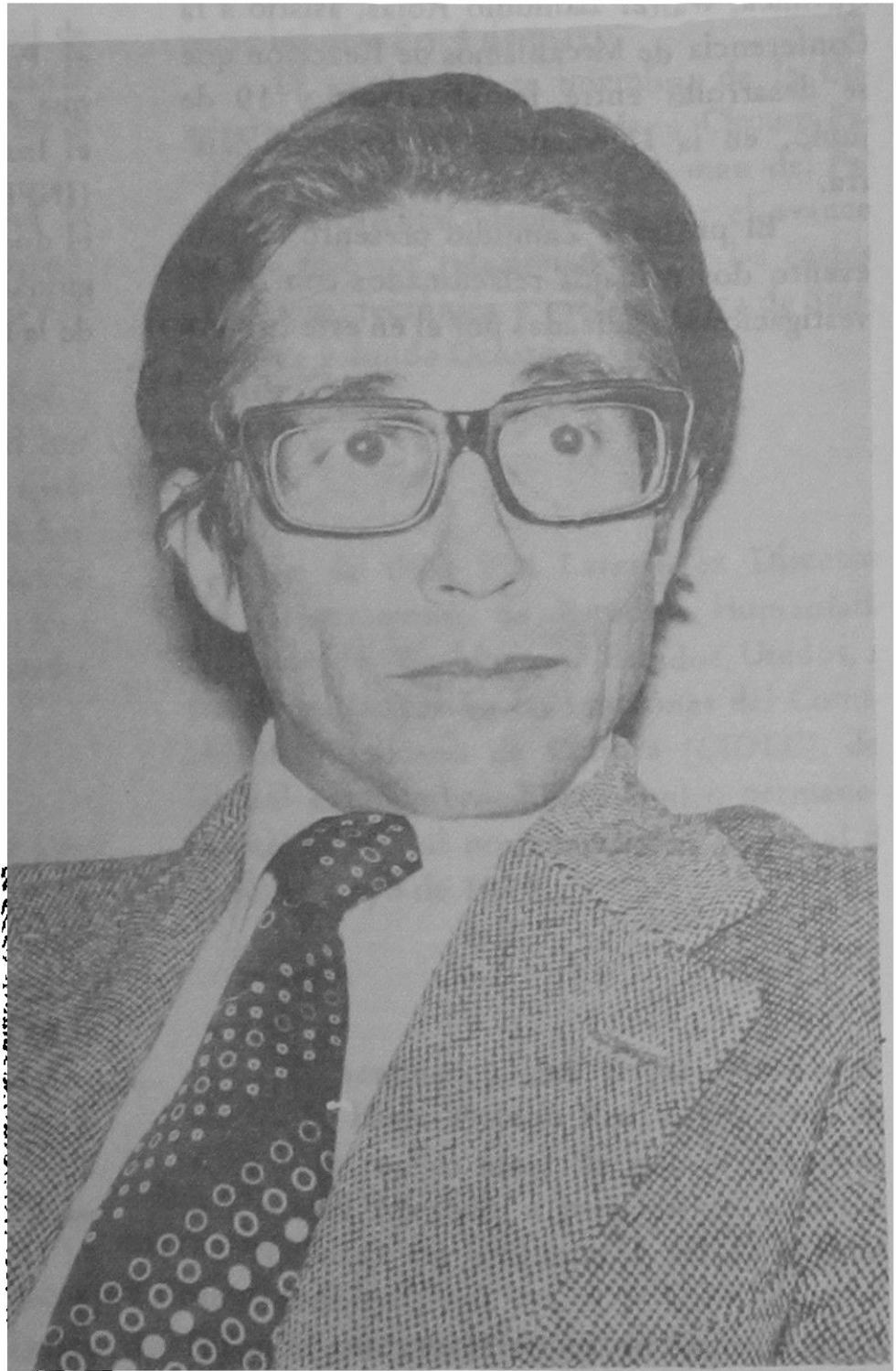


## PREDICION DE SISMOS



Director del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Edgar Kausel Vecchiola.

Vencer los fenómenos negativos de la naturaleza es una de las ambiciones más notables de ser humano, que estudia, investiga la forma de anularlos, de contrarrestar sus efectos nocivos. Uno de esos males son los terremotos. Temblores que dejan tras de sí una serie de secuelas dolorosas tanto humanas como materiales. Terremoto es sinónimo de destrucción, pánico, pérdidas. De ahí que desde hace 10 años, hombres de ciencias han dedicado su tiempo a estudiar la manera, de por lo menos, mitigar las consecuencias de los movimientos telúricos, prediciéndolos con anticipación. Además, un grupo de científicos realizan investigaciones para poder suprimirlos. En estas labores como se supone juegan un papel muy importante los ingenieros sísmicos.

## Predicción de temblores

El Director del Departamento de Geofísica, Edgar Kausel, nos explicó que la predicción de temblores es una línea de trabajo dentro de la sismología, que ha tomado importancia en los últimos años. Un grupo de gente en distintos países del mundo ha tomado esta labor, en forma casi permanente. Dedican todo su esfuerzo, especialmente a analizar datos de diversas estaciones sismológicas, de distintos tipos de instrumentos que permitan ver si hay alguna correlación entre datos, entre mediciones de fenómenos físicos o geofísicos, que se han producido antes de un temblor, con el evento sísmico importante que ha surgido posteriormente. *En realidad de eso trata la predicción naturalmente* – dijo Edgar Kausel – *procurar de encontrar con anticipación a que se produzca el temblor, ciertos efectos premonitores que hagan posible a uno anunciar un sismo.*

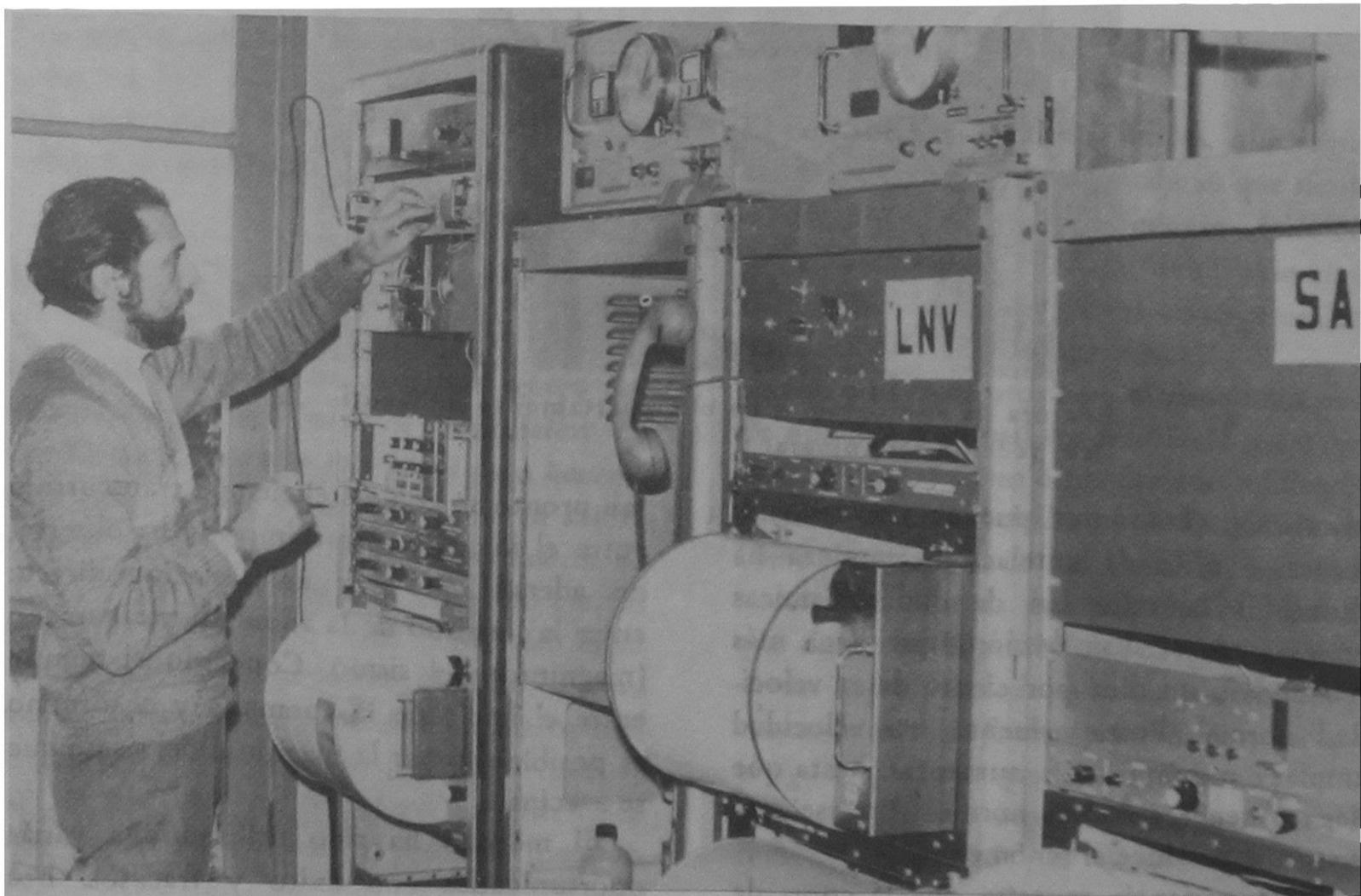
*Predecir un temblor, no significa indicar simplemente que va a haber un sismo, sin especificar hora de ocurrencia, epicentro y tamaño. Porque indudablemente* – acotó el investigador sismo-

*lógico – en una zona sísmica ocurrirá temblores tarde o temprano. La idea es poder dar con precisión el tamaño del fenómeno, dato que se da en una Escala que se llama la Magnitud de Richter, el lugar en que se va a producir, es decir, coordenadas especiales, longitud y latitud, y cuando va a ocurrir, en lo posible, qué día y a qué hora. De faltar algunos de estos parámetros la predicción no sirve. Hay que dar los tres parámetros: tamaño, posición espacial y tiempo* – afirmó Edgar Kausel.

## Métodos empleados

Existen varios métodos para anunciar con antelación estos fenómenos, es decir, mediciones de algunos parámetros físicos que se comportan en forma anómala antes de la ocurrencia de un sismo y que han sido empleados por Estados Unidos, Japón, China y la Unión Soviética con éxito relativo.

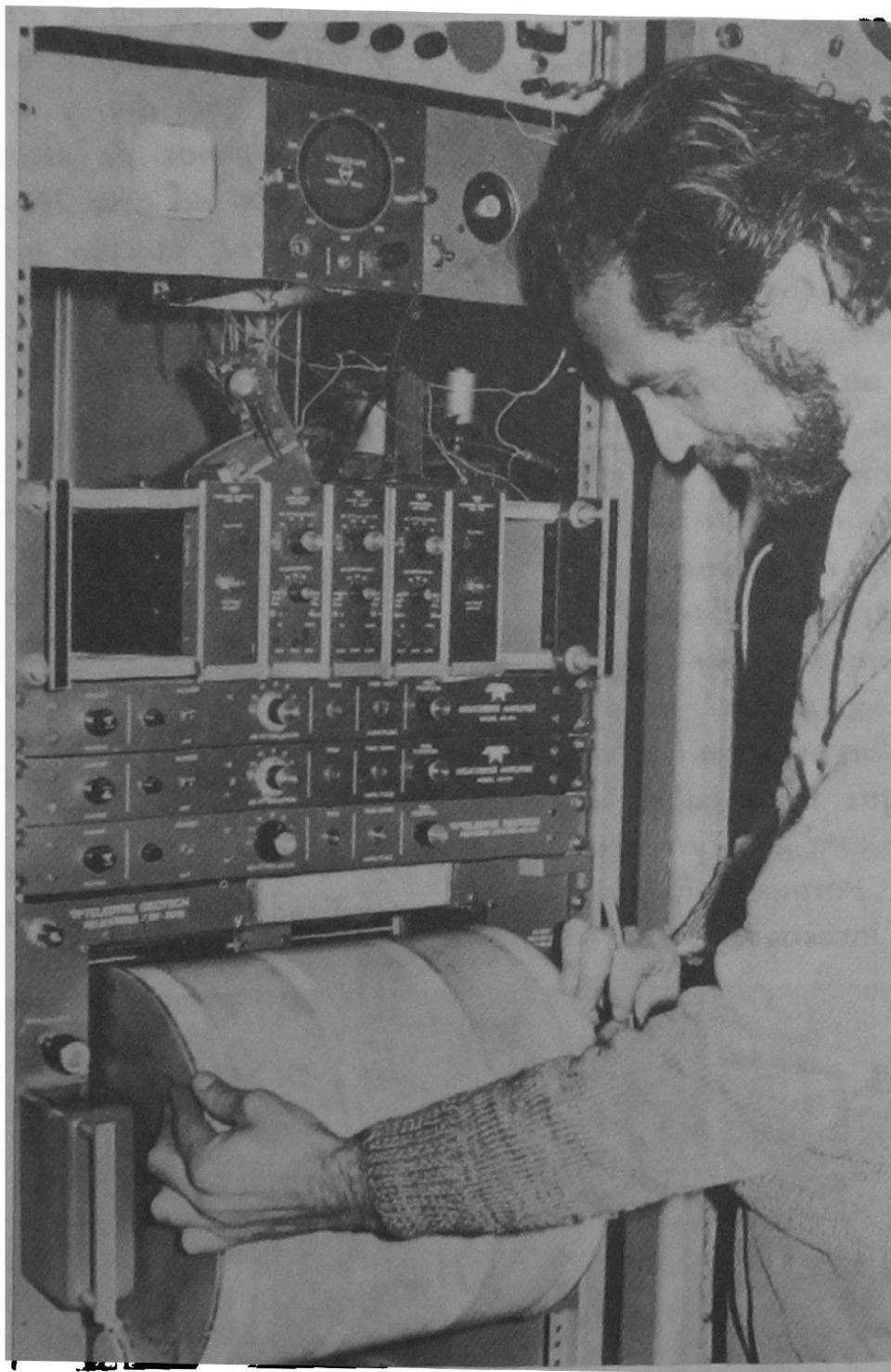
Uno de los parámetros que más se han utilizado es la variación de la velocidad



Recepción de datos proporcionados por el Sismógrafo, respecto a temblores ocurridos.

de propagación de las ondas sísmicas en el lugar donde el temblor se va a producir. O sea, en las rocas que están por provocar un sismo. Cada roca tiene una velocidad característica de propagación de las ondas sísmicas. Sin embargo, se ha notado que en algunas ocasiones antes que se produzca

de las ondas es simétrica en torno al mínimo. Es decir, transcurre un tiempo similar entre el inicio de la anomalía y su punto mínimo y entre este punto y el instante en que la velocidad recupera su valor normal. Esta simetría permite extrapolar el momento de ocurrencia del sismo



Lectura de sismogramas en el Departamento de Geofísica, Sección Sismología.

el sismo (ese antes pueden ser semanas, meses o años de antelación), empieza a disminuir la velocidad de ondas sísmicas en esas rocas; disminución, que llega más o menos a un diez por ciento de su velocidad normal. Posteriormente, esa velocidad empieza nuevamente a aumentar, hasta que llega a tener su nivel normal. En ese momento se produce el fenómeno.

La experiencia muestra que la curva de anomalía de la velocidad de propagación

tan pronto se conoce el tiempo transcurrido entre el inicio y el mínimo. Se ha observado además que hay una relación directa entre la longitud de la anomalía y el tamaño (magnitud) del sismo. Conocido el tiempo entre el inicio de la anomalía y el mínimo, es posible estimar la magnitud del sismo que se avecina.

El método ha sido utilizado en varias oportunidades con éxito y fracasos. Los fracasos han sido generalmente de dos tipos:

anomalías de las características descritas que no vienen acompañadas con un sismo, y sismo que se produce sin que se haya podido detectar anomalías premonitoras. Esfuerzos importantes en varios centros sismológicos están dirigidos a explicar el porqué de estos comportamientos dispares.

Otro de los métodos empleados en la predicción de movimientos telúricos, es el de la Medición de Variaciones Magnéticas en un lugar. Este sistema es indicativo de la proximidad de un temblor, pero con bastante dificultad. *Con las variaciones magnéticas — señaló Edgar Kausel — todavía no ha sido posible determinar el tamaño del sismo, ni cuando se va a producir.*

Además, se usan otros sistemas como el de las variaciones en la resistividad eléctrica de las rocas, variaciones en niveles de agua subterránea, variaciones de contenido de Radón en aguas subterráneas, etc. Actualmente se está desarrollando un estudio de Variaciones de Topografía. Es decir, cambios de altura de la superficie de la tierra en el lugar donde se va a producir el temblor.

Existe una cantidad enorme de otros parámetros que se han medido, incluyendo también el comportamiento de animales. Esas mediciones, esas irregularidades investigadas en los diferentes métodos, a veces dan una pauta de predicción, pero no siempre se tiene éxito.

## Predicciones en Chile

*Nosotros naturalmente, estamos recién comenzando en la línea de predicción de temblores, porque la dificultad para hacerlo está en que uno tiene que tener la suerte, si uno quiere llamar a ésto una suerte, de que el lugar donde se han instalado ciertos tipo de instrumento esté cerca del lugar donde ocurrirá el próximo temblor. Yo no puedo hacer un anuncio con un instrumento aquí en Santiago de un sismo que se va a producir en Antofagasta. Uno tiene que estar en el entorno al próximo temblor. No se tiene que estar más lejos que digamos para poner una cifra, unos 100 kilómetros*

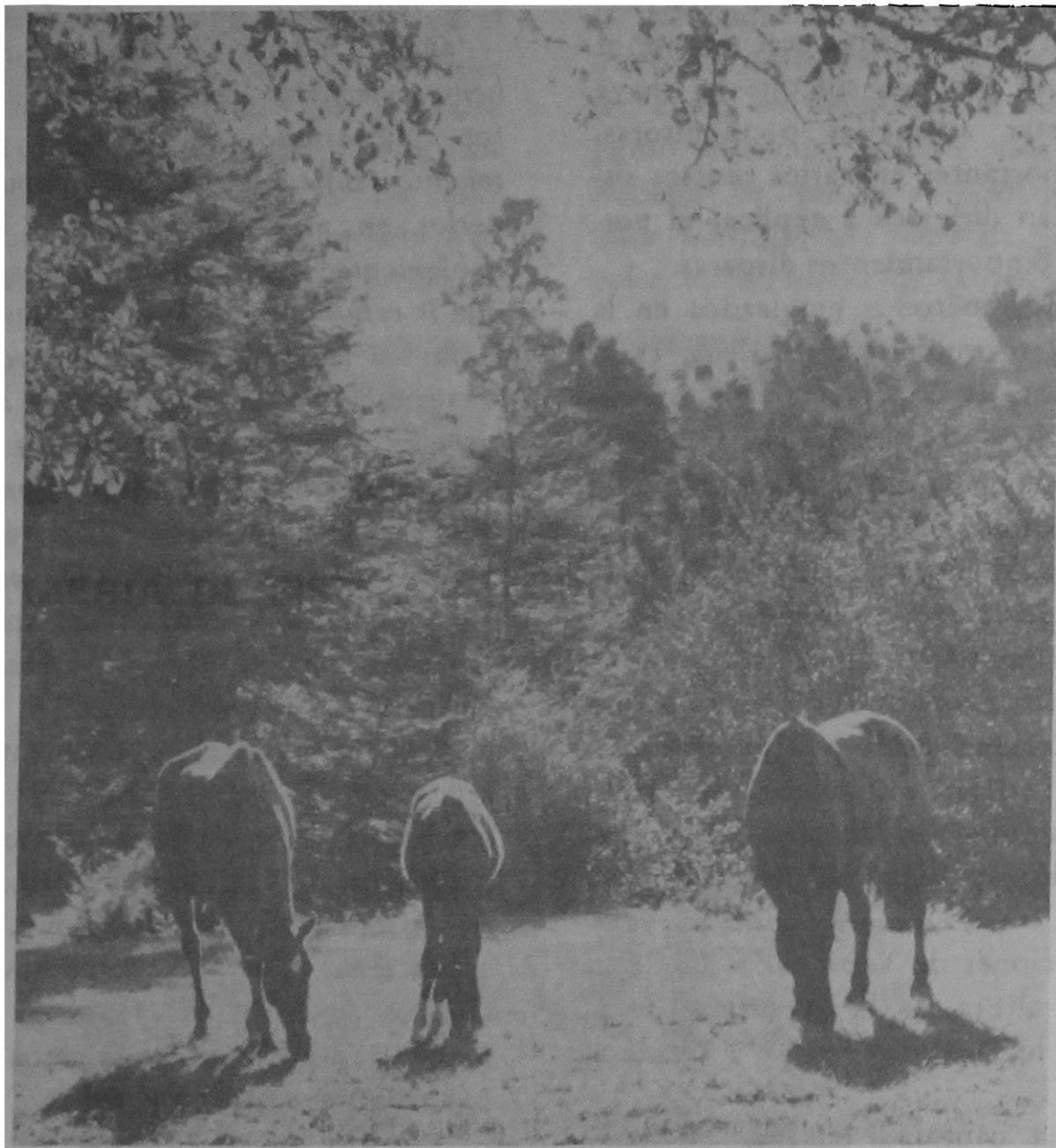
*a la redonda o quizás menos. De manera — añadió Edgar Kausel — que nosotros hemos decidido colocar ciertos instrumentos concentrados en un lugar, porque no tenemos suficientes equipos como para ponerlos en muchas partes de Chile. Indudablemente que habrá que esperar, hay que ir estudiando cada una de las formas de como va variando ese parámetro que uno está midiendo y tratar de ver si hay una anomalía. Entonces, a través de esa irregularidad, decidir si en algún momento posterior puede producirse un temblor. La primera vez, la segunda, las primeras 50 veces, haremos predicciones no oficiales, claro está, pero sí internas en nuestro medio, con nuestros investigadores.*

El Director del Departamento de Geofísica, señaló que si bien Chile recién está comenzando, no es menos cierto que la predicción de temblores en otros países, no está tampoco a un nivel óptimo. No existen condiciones aún para hacer anuncios anticipados de estos fenómenos en forma rutinaria. Resulta en algunos casos y en otros han sido fracasos.

## Comportamiento animal

El comportamiento de animales, que según algunos estudios primarios indican que *siente* la cercanía de un movimiento telúrico, tiene hasta ahora una muy débil base científica, debido a que dichos comportamientos son difíciles de cuantificar.

*Sin embargo, prosiguió el sismólogo, puede que algún animal sea sensible a cosas que todavía nosotros no hemos estado midiendo. En ese caso, se podría aceptar de que ciertos comportamientos de los animales sean buenos indicadores de una predicción. No hay que descartar la posibilidad de que el nerviosismo experimentado por un animal tenga causas ajenas al fenómeno telúrico, ya que al igual que una persona puede estar alterado por alguna otra razón, que no sea el temblor que está por ocurrir. Esa es la dificultad. Hasta el momento se está tratando de hacer este tipo de estudio en forma*



En la predicción de temblores se estudia también el comportamiento de animales

*estadística. Uno no puede analizar un solo animal, sino que se está intentando observar muchos simultáneamente. Hasta ahora — afirmó Edgar Kausel — en ningún país se utiliza el comportamiento de los animales como un indicador de predicción. Puede que se aproveche en algunas ocasiones como una forma complementaria, como un agregado a otros parámetros medidos.*

Generalmente, también, los comportamientos anormales de los animales, previo a un sismo, han ocurrido en un tiempo muy corto, habitualmente minutos antes y excepcionalmente con uno o dos días de antelación. En cambio se han visto variaciones de parámetros que se pueden medir instrumentalmente, con años de anticipación a la ocurrencia de un temblor de gran magnitud.

La predicción de un temblor, no es algo que se pueda hacer sin una seguridad prácticamente absoluta de acertar, ya que

una falsa alarma puede producir en la población más daño que dejar que el temblor se produzca sin aviso.

### Reglamentación para las predicciones

En algunos países donde se han hecho predicciones tanto a nivel científico como a la población, se están realizando estudios para elaborar una especie de legislación, que determine como debe darse a conocer un anuncio y quién debe darlo a conocimiento del público. Se trata de evitar que los antecedentes que se entreguen a la población, sean dados por personas de poca responsabilidad. Eso nada más que desde el punto de vista de

cómo darlo al grueso público. Pero, por otro lado, hay una cantidad de gente que está trabajando en las medidas a tomar en caso de que se anuncie un futuro sismo con mucha antelación. ¿Qué hace la autoridad con ese dato? Tiene que haber una organización que utilice ese antecedente, con el objeto de tomar las providencias del caso. *Aún no está claro lo que hacer* — afirmó Edgar Kausel — *Probablemente una de las medidas que se deberían adoptar es suspender clases, especialmente en las escuelas donde concurren niños pequeños; suspender la construcción de edificios, no construir nuevos andamios. En fin, no hacer nada que pueda estar en condiciones desfavorables para el momento del temblor. Hay una serie de cosas que decidir luego de la predicción de un sismo de proporciones. Incluso, cuando se cree que faltan sólo días para su ocurrencia, a lo mejor sería hasta conveniente paralizar el trabajo, evacuar la ciudad. Todo esto implica tener un lugar para cobijar a la población, tener suficiente alimentación para un par de días, por si el temblor no se registra el día indicado. Luego viene una segunda responsabilidad de la autoridad, cuando debe decidir el retorno de las personas a la ciudad evacuada; de ahí la necesidad de que exista una buena organización, pero sobre todo la responsabilidad del anunciante del fenómeno telúrico. Es un problema muy grande y no está resuelto. Hay gente, grupos de muchas disciplinas que están trabajando en esa línea tanto en Estados Unidos como en Japón, China y la Unión Soviética.*

### Anuncios de predicciones

Se sabe que oficialmente se han hecho predicciones en cuatro países, Estados Unidos, Unión Soviética, Japón y China. En los Estados Unidos, las predicciones salvo una, se han hecho a nivel científico, no se han dado a la publicidad. Algo similar sucedió en Japón y la Unión Soviética. Sin embargo, en China se ha ido un poco más allá y se

han entregado estos anuncios a la población y, hay casos, por lo menos uno en que se evacuó una ciudad y se produjo el temblor. Se cumplió con el objeto de salvar vidas.

*Conozco un investigador norteamericano* — contó Edgar Kausel — *que hizo una predicción por su cuenta como científico de una Universidad de ese país y tuvo varios problemas judiciales. Mucha gente se vio afectada económicamente por el anuncio y entabló juicio contra él. Resulta que predijo que se iba a producir un temblor en una zona muy concurrida en la época de vacaciones. Muchas personas se abstuvieron de ir y, los hoteles, camping estuvieron desalojados, lo que lógicamente perjudicó a los propietarios de esos establecimientos. Hubo un temblor, pero de muy escasa intensidad. No coincidió así la magnitud hecha por la predicción. Por esta razón en los Estados Unidos, un grupo estatal está estudiando justamente como permitirle a los sismólogos judicialmente hacer sus predicciones sin que eso les afecte. También ese es un problema no resuelto.*

### Como evitar la ocurrencia de temblores

*Se está estudiando la posibilidad de controlar la ocurrencia de los temblores, informó Edgar Kausel. Para que se produzcan las condiciones necesarias para la ocurrencia de un temblor, las rocas en el interior de la tierra deben acumular deformaciones. Mientras mayores son las tensiones que se acumulan, mayor es el sismo futuro que se puede producir. Si uno deja que esas tensiones se acumulen el temblor podría ser más grande que si uno evita que esas deformaciones aumenten. Una manera de disminuir el peligro, es tratando de desencadenar temblores en forma regular. O sea,* — aclaró Edgar Kausel — *obligando a la roca a que entregue su energía más pronto. Esto se consigue perforando y haciendo un disparo en el interior, removiendo la energía acumulada en un temblor de poca*

*intensidad, sin esperar que pasen muchos años y esa energía se siga acrecentando y después produzca un sismo de proporciones.*

Se está intentando también, introducir líquidos a presión en ciertos lugares, con el objeto de darle posibilidad a ciertas fallas que están trabadas, facilitando su movimiento generando un temblor mucho menor que el que se produciría en forma natural.

*Hay científicos en Estados Unidos que están trabajando en este aspecto — señaló el Director del Departamento de Geofísica — pero como siempre existen dudas. Imagínese que un investigador dice, éste sería un buen lugar para probar, introducir líquido a presión o perforar y disparar, para así aliviar las tensiones ... y prueba ... El resultado, sin embargo puede ser catastrófico. Suponga que en ese lugar hay demasiada tensión y, en vez de provocar un*

temblor de poca intensidad, desencadena un terremoto. Ahí está la duda. La responsabilidad es aun mayor que predecir un sismo. Todavía no se ha podido planificar un sistema para llevarlo a la práctica.

*Hay otra manera, — contó Edgar Kausel — de provocar temblores artificiales. Es bastante normal que en un llenado de un embalse grande la carga adicional de agua produzca desequilibrio en la corteza y genere temblores inducidos. En estos momentos hay muchos embalses que están siendo estudiados antes y durante el llenado, con el objeto de ver si hay una posibilidad de predecir su comportamiento futuro.*

### Servicio sismológico

El antiguo Servicio Sismológico de Chile que se creó a través de un Decreto el año



**Embalse de Rapel. Actualmente se desarrollan estudios para determinar la predicción de los temblores inducidos, provocados por el llenado de los embalses.**

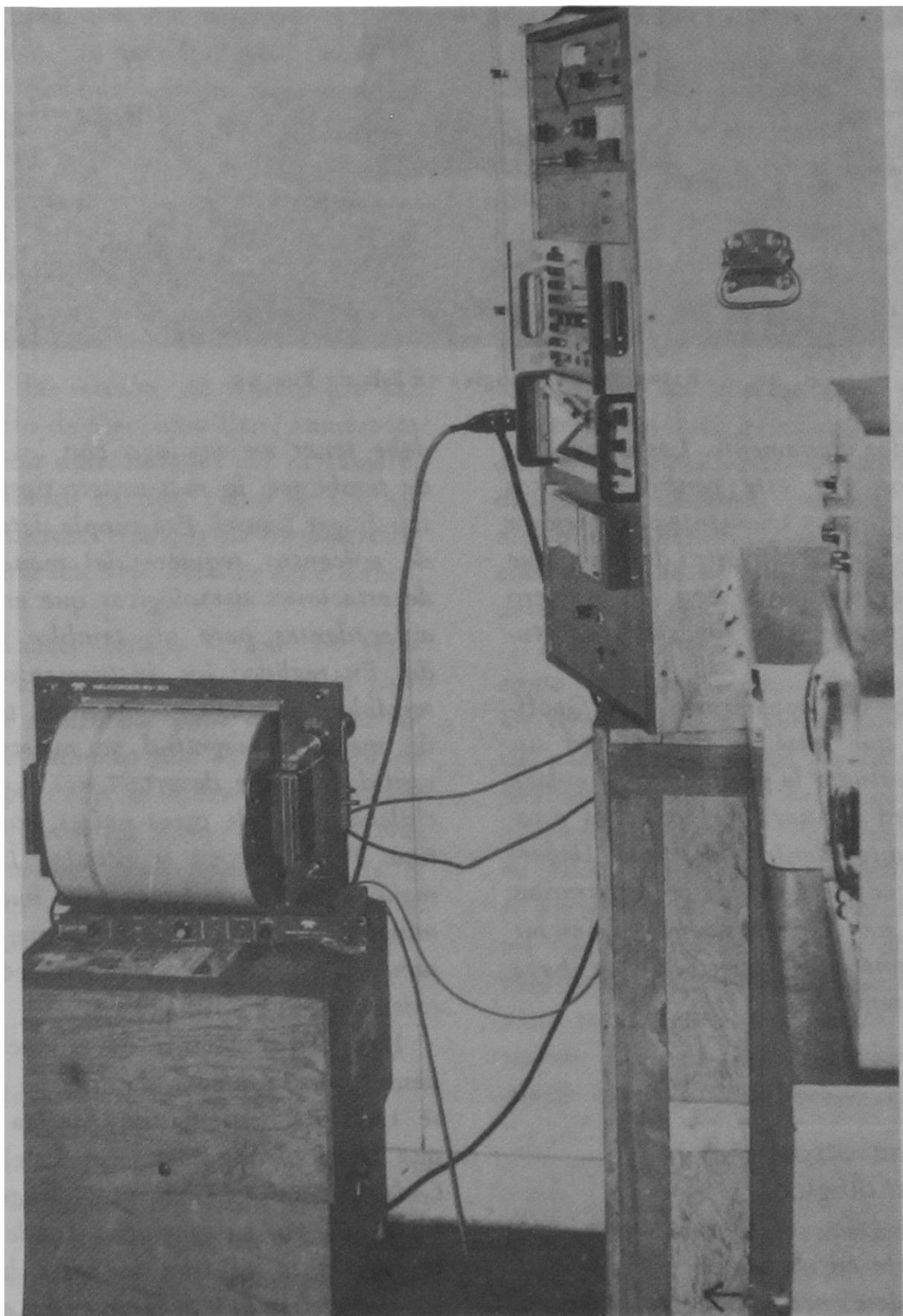
1946, ha evolucionado y se encuentra ahora incorporado al Departamento de Geofísica en su sección de Sismología, constituyendo la organización oficial que reúne los antecedentes y proporciona datos ya sea a la prensa o a la institución que los requiera.

*Respecto a las estaciones sismológicas que posee el Departamento de Geofísica, — señaló Edgar Kausel — existe una cantidad bastante importante.*

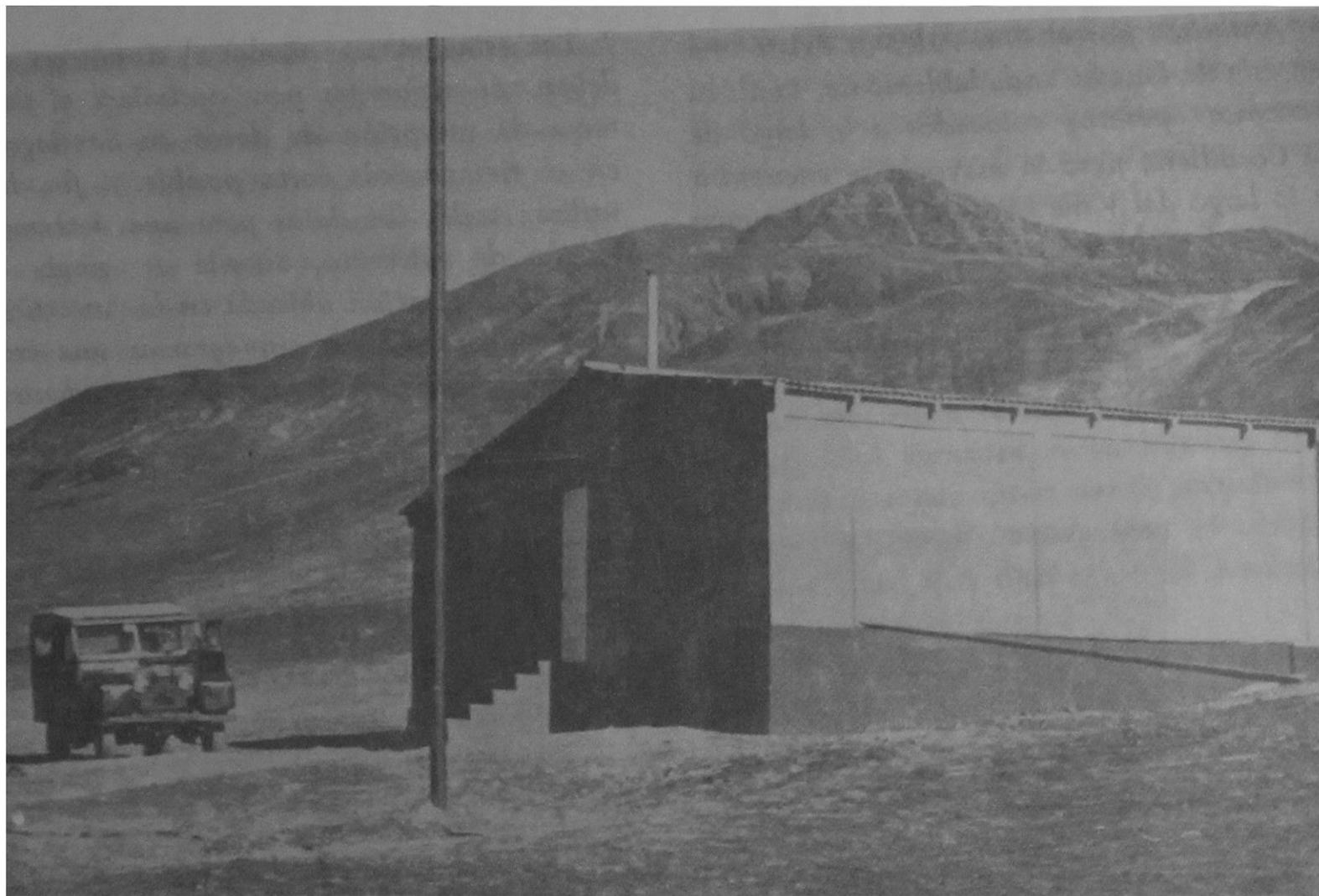
*Las estaciones sismológicas se encuentran ubicadas desde Arica, por el Norte hasta*

la Antártica por el Sur. Además existe una en Isla de Pascua. Indudablemente, también tenemos aparatos colocados a lo largo de la Cordillera, pero la mayoría se encuentra a lo largo del Valle Central. En total suman unas 20 o 25 estaciones sismológicas que funcionan normalmente todos los días, lo que permite hacer las determinaciones de epicentro, manifestó Edgar Kausel.

Las estaciones — añadió el sismólogo — deben ser mejoradas para optimizar el sistema de recepción de datos en Santiago, en el tiempo más corto posible, a fin de utilizar todos los datos para una determinación de epicentro. Sucede — agregó — que de la estación ubicada en la Antártica sólo recibiremos los sismogramas una vez al año, lo que impide que sus antecedentes



Equipos ubicados en Isla de Pascua, pertenecientes al Departamento de Geofísica.



Estación sismológica en Isla de Pascua.

sean empleados diariamente. Los antecedentes aportados por este centro de datos pueden ser utilizados solamente para mejorar la determinación de epicentro de sismo que ya fueron especificados con un número menor de estaciones, en su debida oportunidad.

El Director del Departamento de Geofísica, señaló que para mejorar la red sismológica se estudia la posibilidad de enlace telemétrico en Santiago de todas las estaciones. Los antecedentes llegarían al Departamento de geofísica, donde se registrarían cada uno de los sismogramas y podrían ser leídos de inmediato, luego que se haya producido el temblor.

### Contacto con otros Centros Sismológicos

Indudablemente en un campo como la Sismología requiere necesariamente estar en contacto con otros centros. El contacto es practicamente diario, debido a que se

debe tener un catálogo con los epicentros de temblores, lo más exacto posible — afirmó Edgar Kausel. Esa simple determinación de epicentro requiere del mayor número de estaciones sismológicas que están dando antecedentes para un temblor determinado. En realidad los instrumentos son tan sensibles — señaló — que un temblor de mediana magnitud se registra en una cantidad grande de estaciones no tan sólo chilenas, sino de otros países, como Argentina, Perú, Europa y Estados Unidos, de manera que para hacer una buena determinación de epicentro, uno tiene que forzosamente utilizar todos los antecedentes que existan.

Hay otros sistemas de contacto permanente, que se pueden determinar rutinarios, se trata del Sistema de Alarma Tsunami, que funciona para las Costas del Pacífico. Cada vez que en Chile se produce un temblor, que por su magnitud puede provocar un maremoto, se debe dar aviso de inmediato al Centro que se encuentra en Hawaii. Este a su vez, debe dar la alarma al resto de los países del Pacífico por una posible

ola, maremoto que puede llegar a Costas distantes de nuestro país, con bastante demore. Por ejemplo, — añadió Edgar Kausel — de aquí al Japón puede demorar dos días el Tsunami (maremoto) en llegar.

En 1960, cuando Chile en el mes de mayo sufrió un devastador terremoto-maremoto, existía ya este Sistema de Alarma. Se dió el aviso de inmediato a Hawai, para que alertara al resto de los países. El Organismo lo hizo, avisó al Japón, pero esa nación no dió importancia a la alarma, suponiendo que una ola originada en las Costas Chilenas no las alcanzaría. Se equivocaron, 70 personas murieron y se registraron cuantiosos daños materiales. A raíz de eso, entonces — señaló el sismólogo — desde ese momento se tomó en serio al Sistema de Alarma de Tsunami, justamente porque se aprendió a palos, o sea, tuvo que ocurrir una desgracia para que se tomara en cuenta.

Además, la sección de Sismología del Departamento de Geofísica tiene numerosos proyectos con universidades del extranjero, tanto de Estados Unidos, como de Europa y Japón e incluso trabajos de investigación con la Organización de Estados Americanos, OEA.

Edgar Kausel señaló — que en estos momentos, existe un convenio con la Universidad de California para desarrollar un proyecto relacionado con la estructura de los Andes, para ello, se utiliza la información que proporcionan los sismogramas, a través de las estaciones colocadas tanto en el lado chileno de la cordillera, como en el lado argentino.

### Cuasi anecdota

Quizás, esto no sea una anecdota, pero yo siempre se las cuento a los alumnos a objeto de que se den cuenta que no siempre uno tiene los antecedentes suficientes para hacer una determinación de un epicentro, que es una cosa importante. Se produce un temblor en Santiago, por lo menos sentido

en la capital, entonces la mayoría de los medios de comunicación llaman inmediatamente al Departamento, para solicitar antecedentes de esa sismo. Hay veces que de ese fenómeno telúrico, ya sea porque ha sido muy chico o por alguna circunstancia especial tenemos pocos datos como para hacer una determinación buena de epicentro. Tenemos información, por ejemplo, solamente de dos estaciones. Dos estaciones son insuficiente para determinar el epicentro. De manera, que tenemos que buscar otra forma para dar algún antecedente. Para ello, a pesar, de que parezca extraño a veces tenemos que utilizar los datos que la misma población nos entrega con respecto a la intensidad, para ejecutar los cálculos del epicentro, por lo menos en los primeros instantes.

Claro que esto sucede pocas veces — afirmó Edgar Kausel — pero como una enseñanza a los alumnos de que no siempre uno tiene todos los antecedentes, pese a que la población está pendiente de los datos que proporcione este Departamento. No deja de ser divertido ¿verdad? que tengamos que ayudarnos en los primeros instantes con datos que no son instrumentales para determinar el epicentro del temblor.

También le puedo decir — agregó — que como todo ser humano le tengo temor a los temblores. Uno nunca sabe que consecuencias, que magnitud puede tener. Es un fenómeno que por el hecho que el hombre no puede controlarlo, da respeto. El grado de miedo es relativo — añadió — Si uno se encuentra en el momento del sismo en un edificio que no conoce, el temor será mayor, pero si se conoce que la construcción es antisísmica, el susto será mucho menor. Pero en definitiva, creo que nadie puede dejar de tener miedo a un temblor.

### Departamento de Geofísica

El Departamento de Geofísica, en realidad no nació como tal, sino como el Instituto Sismológico en el año 1908, con ocasión

del Terremoto de Valparaíso de 1906. A través de los años se fue desarrollando hasta llegar a lo que es hoy el Departamento, donde la sismología es una de las muchas actividades que se realizan. Es cierto — dijo, Edgar Kausel — *que la Sismología sigue siendo una sección fuerte dentro de él, que incluye el Servicio Sismológico propiamente tal encargado de la mantención de las estaciones y la interpretación rutinaria de los sismógramos. También existen otras dos secciones importantes que son Meteorología y Geofísica Aplicada o Geofísica de Prospección. Esta última sección utiliza métodos geofísicos en la búsqueda ya sea, de aguas subterráneas, de yacimientos minerales profundos, y de cuencas sedimentarias.*

*Respecto a las dificultades que enfrenta el Departamento — Edgar Kausel señaló — son semejantes al resto de los Departamentos de la Facultad, en el sentido que hay líneas de investigación en que no se todavía un número suficiente de investigadores de alto nivel, que constituyan un grupo que se automantiene y que puedan estar continuamente preparando nuevas investigaciones. Yo creo — afirmó — que es un problema similar al de otros grupos de la Facultad.*

*En cuanto a los fondos, éstos faltan,*

*— señaló Edgar Kausel — Uno siempre podría utilizar muchos más fondos de los que en realidad tiene porque el monto de ellos es pequeño. Sin embargo, es verdaderamente increíble lo que a pesar de todo uno puede hacer con tan poco dinero. Si uno piensa en la forma como se trabaja en otros países con mayores presupuestos uno se admira de lo que se hace con tan pocos fondos.*

*Nuestro Departamento — añadió — sin equivocarme diría que el 90 por ciento del equipo que tiene funcionando, se ha logrado a través de proyectos de investigación con instituciones en el extranjero, ya sea en forma de Grant's o a través de convenios con instituciones o universidades. Por otra parte, Naciones Unidas y la Comisión de Energía Nuclear, nos están otorgando ahora equipos por una cantidad que sobrepasa los cien mil dólares. Esa es una cantidad importante para nosotros. 100 mil dólares es un monto comparable a 4 años de presupuesto de operación del Departamento. En definitiva, casi todos los equipos que posee se han adquirido con fondos internacionales, lo que implica un reconocimiento de los trabajos que se hacen en Geofísica en Chile son de suficiente calidad como para que fondos de otros países, financien proyectos que se están haciendo acá.*