

Sismicidad del Arco de las Malvinas, Georgias y Sandwich del Sur (*)

ENRIQUE JASCHEK

ENTRANDO al tema, tendríamos que comenzar por hacer algunas aclaraciones. Normalmente cuando se elige el título, debe dársele un carácter sintético de modo que en pocas palabras quede expresado el asunto sobre el cual se va a hablar. Por ello el título de esta conferencia resultó ser "Sismicidad del Arco de las Malvinas, Georgias y Sandwich del Sur". En esa sinteticidad hay que hacer dos aclaraciones importantes. Primero, qué es lo que se entiende por sismicidad, y segundo, qué es lo que entenderemos por ese arco que mencionamos.

En cuestiones de sismicidad hay que fijar un cierto límite. Si se preguntara a la audiencia y en general a los estudiantes universitarios argentinos qué se entiende por sismicidad, dirían que un área es sísmica si en ella tienen lugar terremotos. Y entonces se podría preguntar inversamente: ¿Hay alguna área que no tenga terremotos?

Aparentemente es muy difícil encontrar un límite entre lo que debe considerarse como zona sísmica y lo que debe considerarse como zona asísmica. En general el límite se fija en base a los estudios llevados a cabo hace muchos años, que fueron resumidos, analizados y publicados alrededor de 1954 por un sismólogo de origen alemán, Benno Gutenberg, que trabajaba en Estados Unidos de Norteamérica en colaboración con otro sismólogo local, Charles Richter, en una obra muy conocida en la cual se indica la ubicación de los focos

* Conferencia pronunciada el 9 de junio de 1982 en la Facultad de Ciencias Naturales.

sísmicos que se habían calculado hasta ese momento; quedan definidas en consecuencia zonas sísmicas y se asigna carácter asísmico, por así decirlo, a las restantes zonas donde no se habían registrado terremotos. Como tales resultaban el escudo de Brasilia, la meseta patagónica, el centro de Asia (excluyendo la parte sur), el escudo canadiense, en fin, lo que se conoce como los grandes escudos precámbricos.

Pero esa división resulta un poco imprecisa a la luz de los conocimientos actuales, porque se ha mejorado sensiblemente el instrumental y se ha mejorado la distribución de las estaciones, tanto que ahora se registran sismos en zonas que se consideraban asísmicas. Pueden mencionarse algunos terremotos importantes en la cuenca del Amazonas, a 60° de longitud oeste, zona que se consideraba totalmente estable; pueden mencionarse sismos producidos en el Matto Grosso, otra zona que se consideraba totalmente estable, podríamos mencionar incluso terremotos registrados en proximidades de la ciudad de La Plata. Teníamos indicios a través de nuestros registros de terremotos registrados en 1949 en la zona de Brandsen, más precisamente entre Brandsen y San Vicente. Otro en años anteriores en la zona de Quilmes y de Martínez, porque se había sentido en ambas localidades el mismo movimiento. Pero sólo se trataba de trazos débiles, de vestigios imprecisos; hasta que en 1971 nos encontramos con la sorpresa de que, al disponer de instrumental moderno, se registró nítidamente un fenómeno evidentemente sísmico, a una distancia de 45 a 50 kilómetros de La Plata, entre Magdalena y Vieytes.

Todo esto hace que se comience a dudar acerca de qué es una zona sísmica y de cuál es una zona no sísmica. Pero vamos a quedarnos con una limitación general, grosera, y vamos a admitir que una zona es sísmica cuando en ella se producen fenómenos que son registrados en estaciones lejanas, entendiéndose por ello a estaciones que están situadas a más de 2.000 km de distancia, cosa que no sucede con estos sismos locales como los que hemos tenido aquí en La Plata. También podríamos fijar como límite entre zona sísmica y asísmica una magnitud, por ejemplo, la magnitud 4.0 de la escala internacional de Richter. No obstante, esto se traduciría en una contradicción semántica al asignar carácter *asísmico* a una región que *tiene sismos*, aunque su magnitud sea pequeña.

La segunda aclaración que es necesario hacer, se refiere a qué entendemos por el llamado Arco de las Malvinas, Georgias y Sandwich del Sur. Diría que en ese arco no habría que incluir las Malvinas ni las Sandwich del Sur. Lo que indudablemente está demostrado que pertenece a la prolongación de la cordillera de los Andes, son las Islas Georgias del Sur, Orcadas del Sur, Shetland del Sur, prolongándose esta cordillera en la península antártica. No se de-

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

ben incluir las Malvinas que pertenecen a una región geológicamente diferente y en cuanto a las Sandwich del Sur, veremos en el curso de esta exposición por qué no corresponde incluirlas en ese arco. Estimo que la denominación de "arco" se origina un poco por asociación visual con el arco de las Antillas, que se extiende desde la península de Florida hasta la costa noroeste de Sudamérica y que tendría una conformación aproximadamente semejante. Por esta razón también se denomina a nuestro arco, arco de las Antillas del Sur o arco antillano del Sur.

Finalmente y antes de entrar en el tema propiamente dicho, haremos referencia a una frase que pone Gutenberg en su obra citada, la cual dice textualmente: "La sismicidad decrece al sur de los 37° de latitud, sin sismos conocidos entre los 47° y los 53°. Desde esa latitud se extiende un cinturón de menor actividad hacia el oeste. Sismos fuertes ocurrieron en 1879 y 1949-50, cerca del estrecho de Magallanes". A esto habría que agregar un sismo registrado el 14 de junio de 1970 que también se produjo en las proximidades de Punta Arenas. Sin embargo vamos a ver más adelante que esto tampoco es absolutamente cierto —sólo lo es en parte— probablemente debido a una falta de información adecuada existente en 1954.

Por supuesto que Gutenberg reconoce la sismicidad existente en el arco de las Sandwich del Sur.

Y todavía es necesario hacer algunas otras menciones. Para poder analizar de alguna manera los fenómenos que tienen lugar en los bordes o en el interior de las grandes placas que cubren la tierra (es decir, estudiar en detalle lo que llamamos tectónica de placas) es necesario hacer un análisis de los registros sísmicos obtenidos en muchas estaciones; en otras palabras, se necesita estudiar el mecanismo focal de cada terremoto, que es lo que en definitiva permite determinar la orientación de la falla, la longitud de ésta, el desplazamiento habido durante el terremoto del cual se trata. Y eso se logra justamente mediante sismógrafos. Si los instrumentos cuyos registros se van a estudiar forman parte de una red que no solamente cubra todo el globo terrestre, sino que además sea homogénea, se goza de la ventaja adicional de disponer de registros de un mismo fenómeno obtenido a diversos acimutes y distancias en instrumentos cuyas respuestas difieren a lo sumo en un factor de escala. Esta red internacional se materializó entre 1962 y 1965, mediante la creación de 120 estaciones sismológicas de igual precisión y dotadas del mismo tipo de instrumental.

Lamentablemente los sismógrafos tienen el inconveniente común a todos los péndulos: son selectivos. La amplificación de un sismógrafo no es constante para cualquier frecuencia de excitación; es máxima en las proximidades de su frecuencia natural y decrece hacia frecuencias mayores y menores. Dado

que la energía de los terremotos es transportada en un rango muy amplio de frecuencias se necesitaría disponer de baterías de sismógrafos para poder registrar con igual amplificación en cada frecuencia. Como eso no es posible por razones económicas, se opta por equipos que registran bien las ondas de corto período, llamándose período corto al que es del orden de uno o dos segundos y otros que registran ondas de largo período, donde entran períodos mayores de quince segundos, veinte o hasta treinta segundos.

La necesidad de registrar en por lo menos estas dos frecuencias, reside en lo siguiente: cuando se trata de hacer el estudio del mecanismo de foco, es necesario conocer el carácter con que se presenta el fenómeno en las distintas estaciones, es decir, si se presenta como una compresión o como una dilatación. Eso normalmente se consigue determinar con instrumentos de corto período que alcanzan amplificaciones elevadas. Pero para completar el estudio y poder precisar las condiciones de la falla, se necesitan analizar los registros de la ondas de gran período, que solamente se obtienen con sismógrafos de largo período. Pero estos sismógrafos tienen a su vez el inconveniente de ser sumamente inestables y estar muy afectados por las condiciones meteorológicas reinantes en el lugar, además del terreno mismo. Tanto es así que el viento suele ser uno de los elementos perturbadores más importantes en los registros de largo período. Eso hace que el registro de un terremoto aparezca "sucio", enmascarado, por causas externas.

La solución en este caso consiste en enterrar la estación con sus instrumentos de largo período, a gran profundidad. Se ha comprobado que si se consigue situar el sensor a 100 metros de profundidad, estos efectos superficiales desaparecen totalmente. Se puede trabajar en consecuencia, con mayores amplificaciones y por lo tanto se pueden registrar las ondas superficiales de terremotos producidos en regiones bastante alejadas. Entonces la solución consistiría en enterrar las estaciones, tanto en La Plata, como en cualquier otro lugar del país. Por supuesto no construyendo un recinto a 100 metros de profundidad, sino efectuando una perforación y dejando el instrumento en el piso de ésta. Con el inconveniente que representa calibrar y mantener las correctas condiciones de funcionamiento de un aparato que está a 100 metros de profundidad, mediante sensores remotos. Por supuesto esto no es un problema insoluble, pero es sin duda una solución costosa.

También es necesario mencionar que la sismicidad del arco de las Sandwich del Sur, al cual nos referiremos en seguida, se puede estudiar únicamente si se dispone de registros a través de períodos prolongados de tiempo, es decir que no tiene sentido mantener estaciones que funcionen durante uno, dos o tres años y que después dejan de registrar. Y ése es precisamente el caso de la mayoría de las estaciones que han estado funcionando —algunas funcionan to-

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

davía— en la Antártida. Hay una larga lista de estaciones que en algún momento han operado en la Antártida y sus adyacencias, de muchas de las cuáles no se sabe en qué año han comenzado y/o dejado de funcionar, porque no hay bibliografía al respecto. Así hay una estación King Edward Point que se halla en las islas Georgias del Sur y de la cual apenas ahora van apareciendo resultados; habría otra que estaría funcionando en las Orcadas del Sur, pero sus resultados no aparecen publicados. Y así se podrían mencionar otras estaciones —además de las nuestras— que inclusive funcionaron durante diez años, pero de ellas se han obtenido pocos datos y para colmo poco precisos: las estaciones Pedro Aguirre Cerdá, Gabriel González Videla, O'Higgins, que están sobre la misma península antártica, una estación que funcionó en Bahía Margarita du-

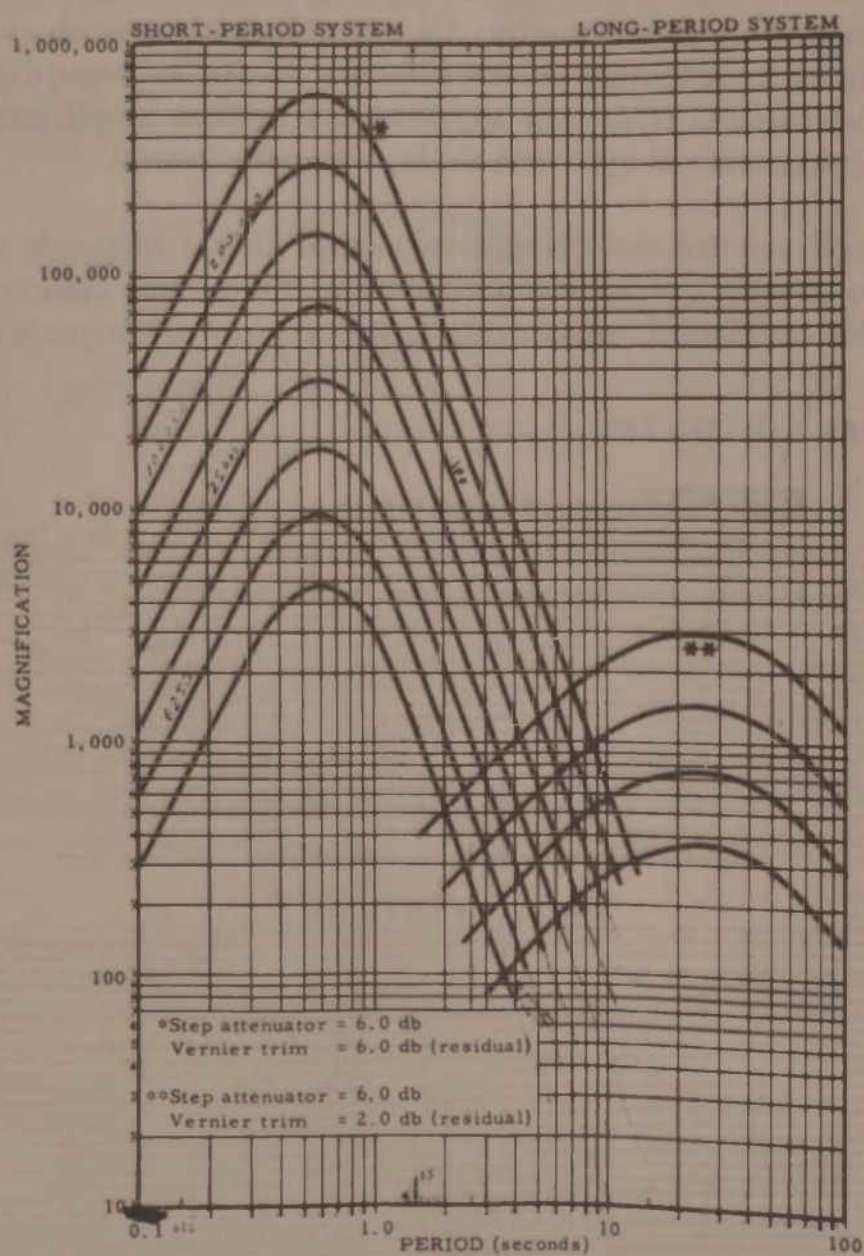


Fig. 1

rante dos años, etc. Pero todos sus registros, si bien fueron útiles en su momento para determinar las posiciones de los epicentros, no nos sirven actualmente para estudiar el mecanismo bajo el cual se están moviendo, o no, las placas de la parte sur del océano Atlántico.

La figura 1 muestra las curvas de amplificación de los sismógrafos de corto y de largo período del Observatorio Astronómico de La Plata. Estamos trabajando sobre las curvas de 3125 y de 750 amplificaciones respectivamente. Estos dos números no son arbitrarios sino que están impuestos por las condiciones de la red homogénea. Podríamos eventualmente trabajar con 6520, 12500, 25000, 50000 y hasta cien o doscientas mil amplificaciones, si las condiciones del terreno fueran lo suficientemente buenas como para que lo hiciéramos. Lamentablemente en La Plata no es posible. Lo que se desea poner en evidencia mediante esta figura es la enorme selectividad que tienen los registros sismográficos que en determinada frecuencia registran con máxima amplificación, la cual decae muy rápidamente al apartarse de la frecuencia central.

La figura 2 muestra una comparación entre lo que se puede obtener con un sismógrafo como el que se tiene en La Plata, que en este caso está instalado en una estación en Hawaii, que corresponde al registro de la parte inferior. La

KIPAPA, HAWAII 01 JUL 72

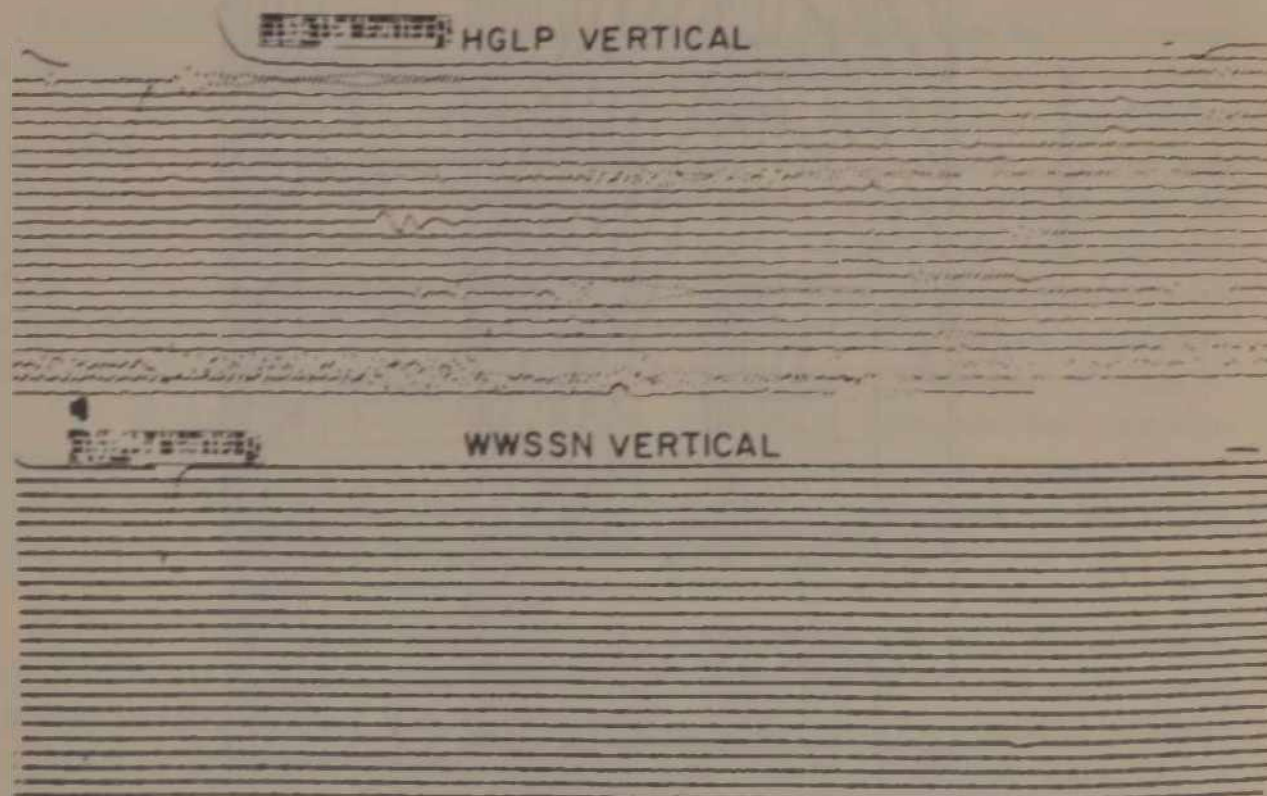


Fig. 2

La figura 3 muestra el arco que mencionáramos y que probablemente se inicia en el sur de Tierra del Fuego, se traslada a la Isla de los Estados, atraviesa el océano Atlántico en forma sumergida, reaparece en las Islas Georgias del Sur, cambia su orientación en 180° volviendo a aparecer en las Islas Orcadas del Sur, después en las Shetland del Sur y penetrando tras un nuevo cambio de dirección en la península antártica.

En la figura 4 se observa la distribución de todos los epicentros calculados durante el período 1963-1973, siempre que se dispusiera de un mínimo de diez observaciones. Muestra prácticamente todo el océano Atlántico Sur y fundamentalmente delinea las tres placas importantes que intervienen en casi todos estos fenómenos. La placa sudamericana separada de la placa africana por la cordillera centroatlántica, la placa africana y la placa antártica. La separación entre estas dos últimas es bastante bien conocida. En donde aún no hay acuerdo es en la separación entre la placa antártica y la placa sudamericana,

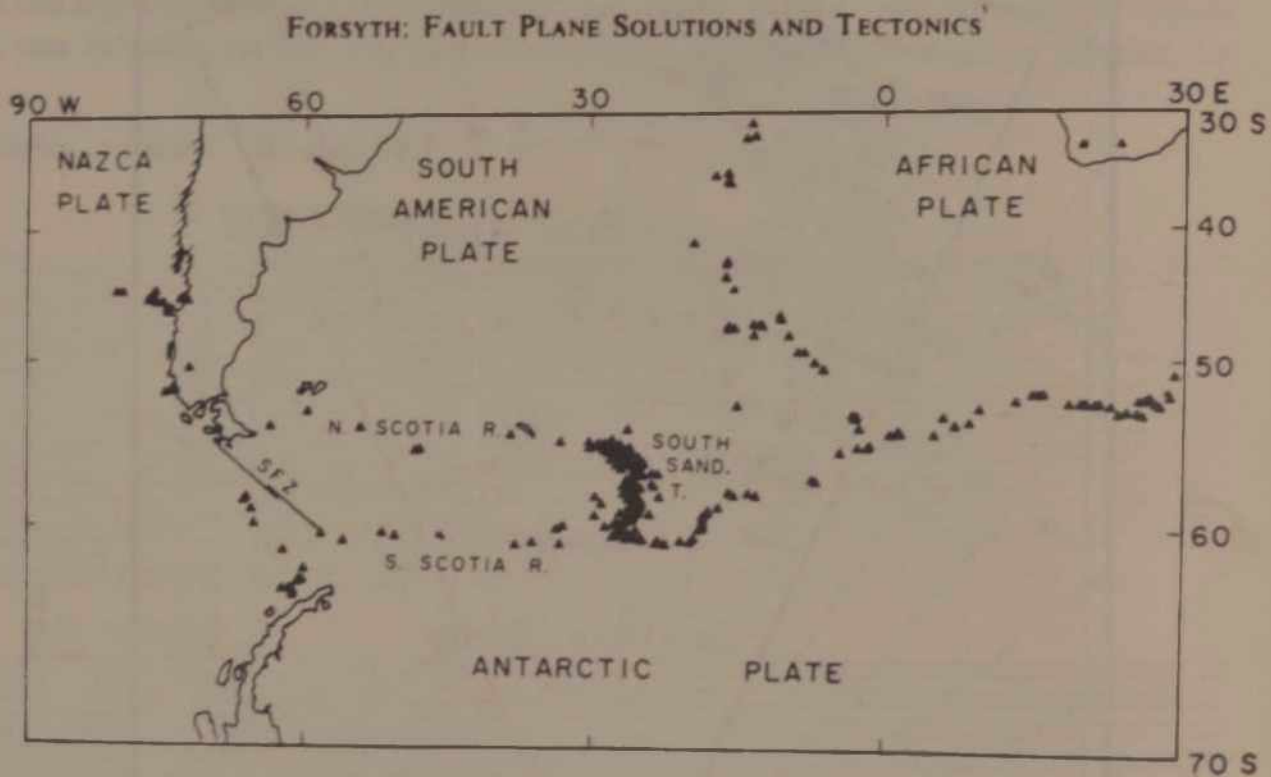


Fig. 4

entre las cuales parecería introducirse una nueva placa, bastante pequeña, la llamada placa de Scotia, que aún no ha sido suficientemente estudiada. Se conocen algunos fenómenos que sin duda confirman la existencia de esa placa, pero sus límites —particularmente su límite occidental— no son bien conocidos.

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

Hay una zona de fractura, la llamada zona de Shackleton, en cuyas proximidades se han registrado algunos fenómenos sísmicos que empero no alcanzan a delimitarla perfectamente. Lo importante que debe recordarse aquí es:

1) en la zona central de la figura hay una enorme acumulación de terremotos, o sea, hay una enorme liberación de energía sísmica, y 2) en la parte superior derecha hay un llamado punto triple, es decir, un punto donde se tocan tres placas.

Cuando hablamos de la deriva de los continentes o de la deriva continental o de la deriva de las placas, estamos acostumbrados a pensar que las placas simplemente se están separando, aunque en rigor de verdad sufren un movimiento de rotación. Tanto la placa africana como la sudamericana, como la antártica, rotan alrededor de ciertos puntos que se llaman polos de rotación. A consecuencia de ello se producen fricciones en sus bordes. Estas fricciones perimetrales serían las causantes de los terremotos.

Se ha determinado el polo de la placa africana y el de la placa antártica, no así la posición del polo de rotación de la placa sudamericana. Aparentemente la placa africana ha ido rotando en dirección noreste, es decir, en forma contraria a la de las agujas del reloj, al revés de la placa antártica que gira en el mismo sentido que las agujas del reloj, pero lo hace a distinta velocidad. Se ha calculado que el ángulo de rotación de la placa africana es de alrededor de $0^{\circ}36$ (o sea un tercio de grado) por millón de años. En cambio la placa antártica rotaría $0^{\circ}24$ (o sea un cuarto de grado) por millón de años. Es decir, que se producen movimientos diferenciales. La placa africana se estaría adelantando respecto a la antártica, o lo que es lo mismo, esta última se estaría atrasando respecto a la africana.

Suponiendo que la placa sudamericana estuviera quieta, se puede demostrar que la placa africana se está alejando de la primera a razón de 2,7 centímetros por año. Mientras que las placas sudamericana y antártica se desplazan relativamente entre sí, alrededor de 1,9 cm por año. Esto es una cantidad bastante menor.

A partir del punto triple se deriva hacia el oeste una zona de segmentos que tienen fracturas y fallas transformantes (*transform faults*). Se trata de una zona poco estudiada, en la cual hay pocos fenómenos y que además son difícilmente estudiables, porque de no ser intensos, no hay estaciones cercanas que los puedan registrar. De modo que de la primera parte es poco lo que se conoce. La segunda parte sí se conoce mejor. Ambas pueden ser observadas en la figura 5, en detalle.

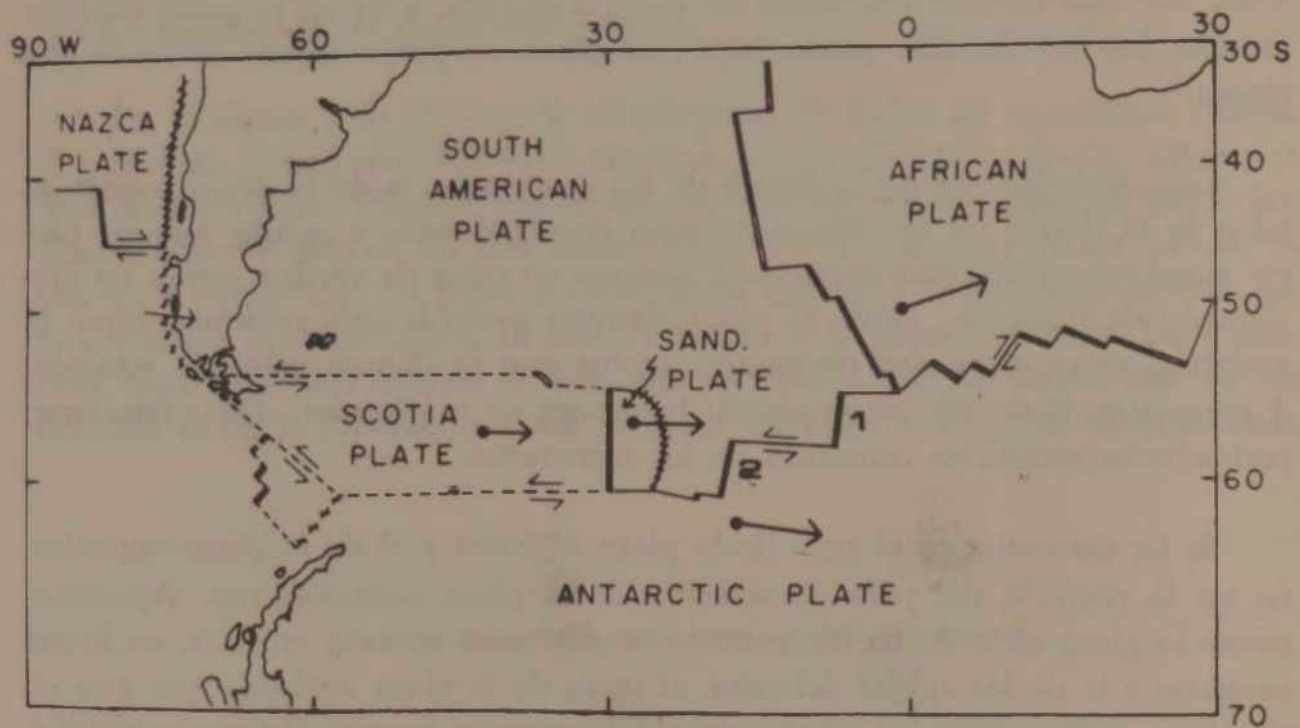


Fig. 5

Posiblemente la cresta [1] debería ser desplazada levemente más hacia el oeste de lo que el dibujo indica, mientras que la [2] ocuparía la situación en la cual está dibujada. Si la placa sudamericana avanza hacia el oeste, se debe encontrar con este arco de las islas Sandwich; cabe aquí la pregunta: ¿ese arco era preexistente, o se formó con posterioridad? Aparentemente el arco se ha formado después de iniciado el movimiento de las placas. Tanto es así que a la longitud de 30° oeste, se ha detectado una zona de creación de corteza terrestre, es decir, una dorsal de la cual sale material del interior del manto a razón de —el dato es provisorio— cuatro centímetros por año. Este material, por supuesto, está empujando el fondo oceánico hacia el este y hacia el oeste, provocando con ello que la parte austral de la placa sudamericana se sumerja por debajo del borde oriental de la placa de Scotia.

Un sismólogo inglés, C. P. Brett, analizó 550 fenómenos a lo largo de una década. No empleó para ello las determinaciones efectuadas con anterioridad, sino que volvió a recalcular los epicentros, de modo que es razonable suponer que las ubicaciones que da son muy precisas y halló que para terremotos cuya profundidad es menor de 60 km, la distribución sería la que muestra la figu-

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

ra 6. En ella, los puntos negros señalan las Islas Sandwich y la línea de círculos indica la posición de la fosa situada al este de dicho arco de islas.

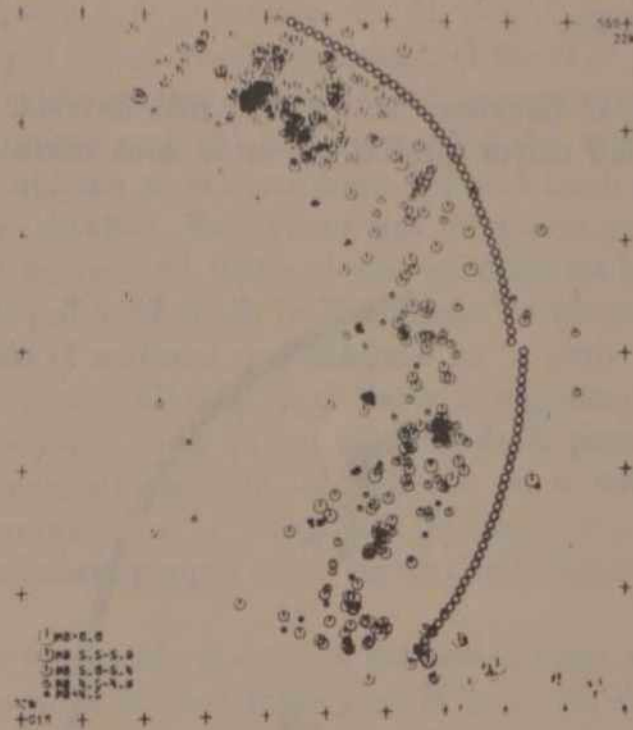


Fig. 6

En la figura 7 se observa cuál es la distribución para sismos de profundidades intermedias, es decir, entre los 60 y los 120 km de profundidad. Se ve

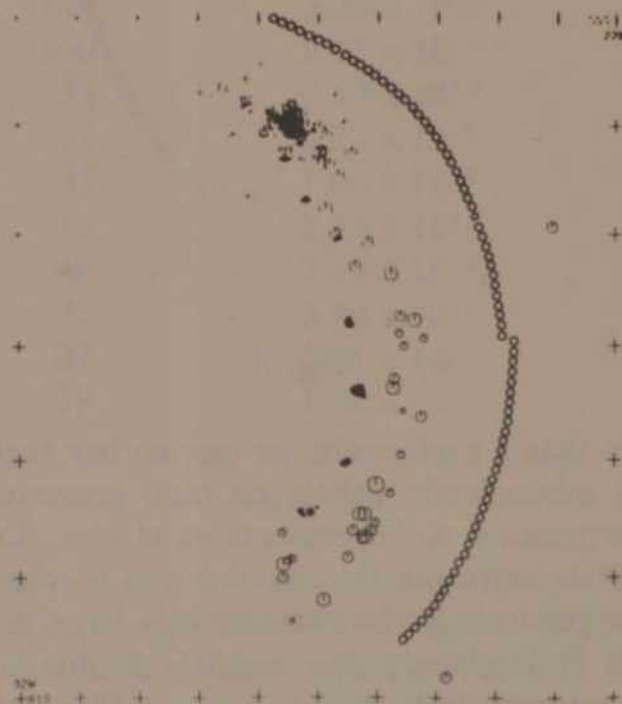


Fig. 7

que decrece notoriamente la actividad, sobre todo en la parte sur. Casi no hay focos profundos y los pocos que se observan no tienen tanta profundidad como los de la figura anterior.

En la figura 8, el fenómeno se agudiza más todavía. Hay muchos fenómenos de profundidad mayor que 120 km en la zona norte del arco y muy pocos en la zona sur.

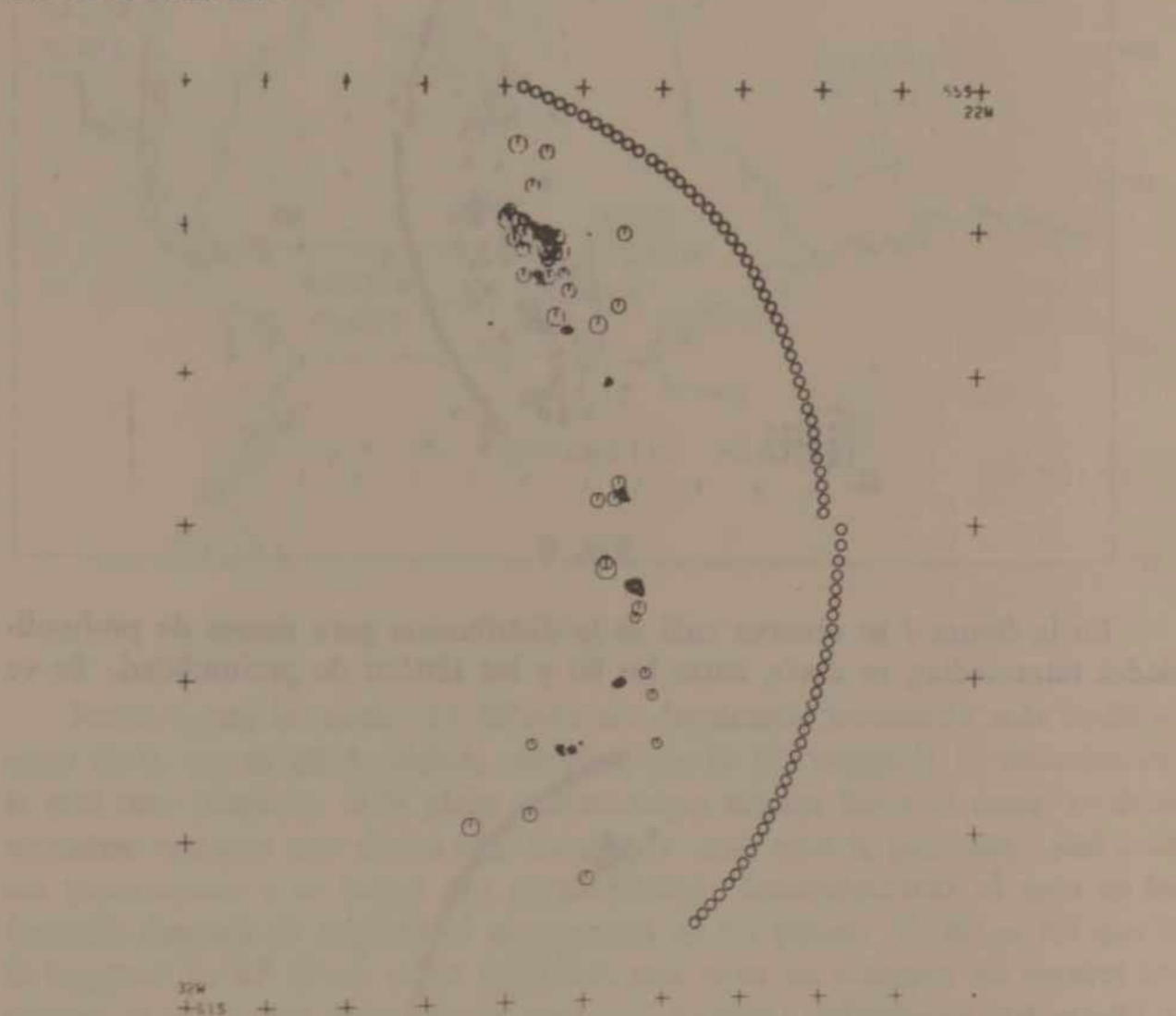


Fig. 8

Esto debe tener alguna explicación, ya que no hay razón para suponer que una placa que está subduciendo debajo de otra, presente fenómenos profundos en uno de sus extremos y no los presente en el otro. La primera suposición que se hizo fue que la extrusión de material que se observó al oeste de las islas Sandwich no se producía uniformemente a lo largo de una línea, sino que inducía una rotación de la placa, a consecuencia de que la velocidad de salida del material en un extremo de la dorsal era muy diferente de la velocidad en el otro. Sin embargo esa rotación no ha podido ser comprobada.

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

Por ello debió buscarse otra explicación. Quizás se la encuentre, volviendo a observar la figura 5. El material que se extruye en [1] va a tener una edad mucho mayor que el que se extruye en [2], cuando ambos lleguen al arco de subducción. Aunque llegan simultáneamente, el material proveniente de [1] ha realizado un recorrido mucho mayor que el proveniente de [2]. Mientras se calcula que este último material tiene una edad del orden de 25-30 millones de años, el que subduce en la zona norte del arco tendría una edad doble: entre 50 y 60 millones de años. Esto marca una diferencia apreciable en cuanto a la consistencia del mismo. El material que subduce en la parte austral del arco, es un material que todavía no ha finalizado los procesos de transformación que sí ha sufrido el material que subduce en la parte norte. O sea, que la porción de la placa que subduce en el extremo septentrional alcanzará profundidades mucho mayores antes que el material de la placa se disuelva en la astenosfera, que el material que está subduciendo en la zona sur. Éste se va disgregando, incorporándose a la astenosfera mucho antes, en razón de que todavía no está consolidado porque tiene "apenas" veinticinco millones de años.

La figura 9 está mostrando la enorme diferencia entre el número de fenómenos que se producen en la zona norte y en la parte sur del arco y asimismo

Table 1. Variation of the level of activity along the length of the arc.

Lat. range (° S)	No. of events	Energy release/yr (erg)	Percentage total energy release
55 00 - 55 49	36	1.66×10^{19}	2.32
55 50 - 55 99	149	2.29×10^{20}	31.94
56 00 - 56 49	100	2.27×10^{20}	31.66
56 50 - 56 99	23	2.53×10^{19}	3.53
57 00 - 57 49	11	6.03×10^{18}	0.84
57 50 - 57 99	35	1.00×10^{19}	1.39
58 00 - 58 49	16	2.92×10^{19}	4.07
58 50 - 58 99	46	7.63×10^{18}	1.06
59 00 - 59 49	35	3.50×10^{19}	4.94
59 50 - 59 99	37	2.55×10^{19}	3.56
60 00 - 60 49	39	1.05×10^{20}	14.64

Fig. 9

la cantidad de energía que se libera anualmente. En la última columna se expresan los porcentajes de energía liberada en función de la latitud. Se observa que entre los 55°0 y los 56°5, se libera aproximadamente el 65 % del total de la energía. En cambio en los cuatro grados siguientes, hasta los 60°5 de latitud sur, solamente se libera un tercio del total de la energía. La causa radi-

caría nuevamente en la diferente consolidación del material que está subduciendo.

En la parte superior de la figura 10 está graficado el número de sismos en función de la profundidad a la cual se producen, para la zona austral del arco.

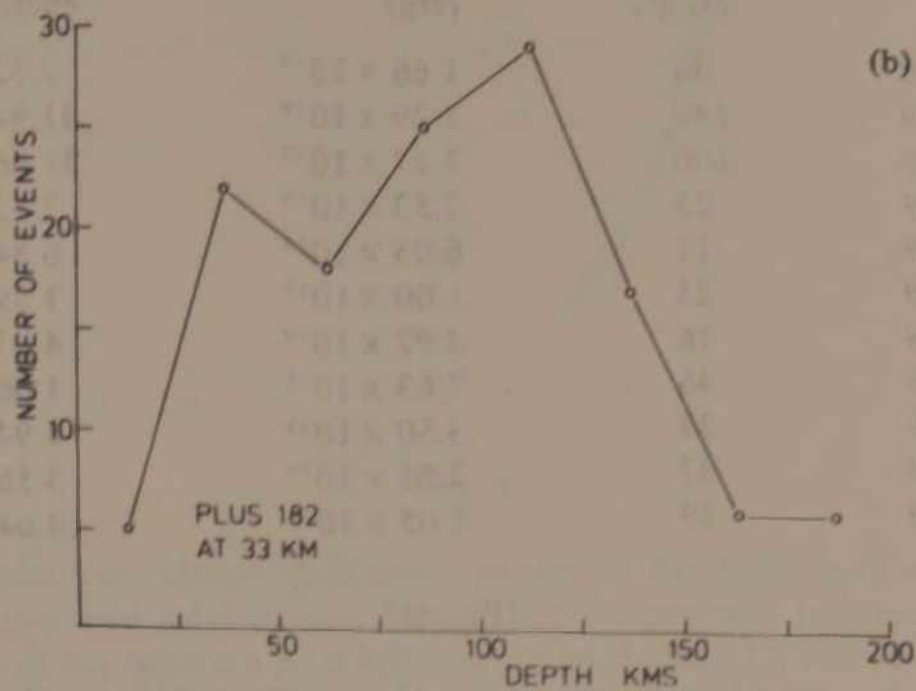
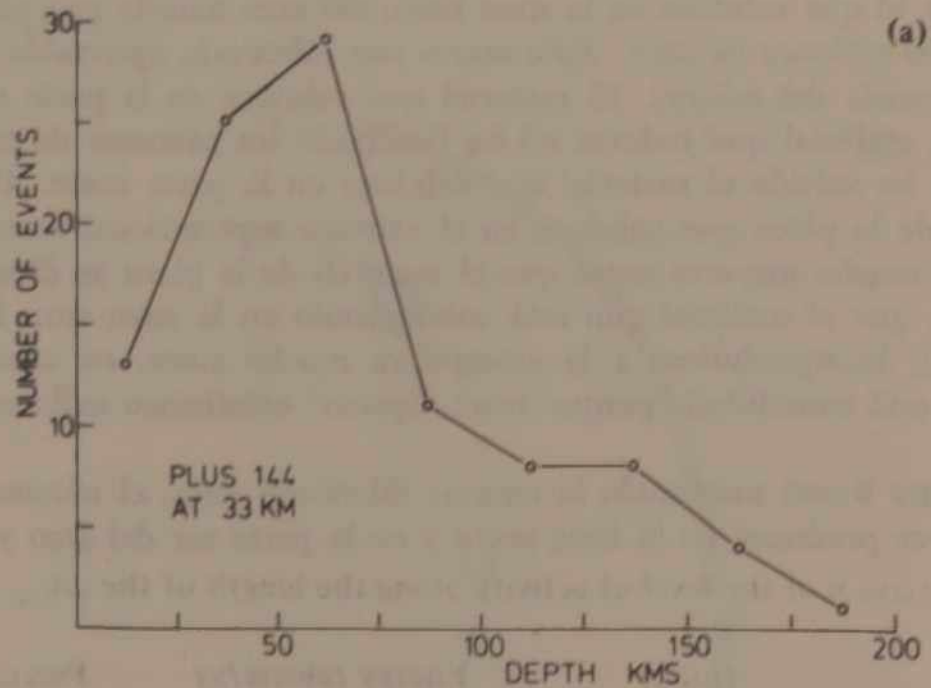


Fig. 10

Se observan muchos fenómenos a una profundidad del orden de los 50 km y hay pocos fenómenos a profundidades del orden de los 170 km. El "+144"

anotado cerca del origen de coordenadas significa que este punto no es real, por cuanto al efectuarse las determinaciones de las coordenadas de los epicentros (latitud, longitud, profundidad, hora de origen), en ciertas oportunidades los datos son insuficientes o están mal distribuidos alrededor del epicentro. En tal circunstancia no es posible hallar una solución manteniendo libres todos los parámetros haciéndose forzoso fijar algunos de ellos, es decir, imponer alguna restricción. Normalmente se fija la profundidad en 33 km, lo que permite calcular los otros tres parámetros. Pero ello implica una restricción arbitrariamente impuesta y en consecuencia el autor no quiso incluir en el gráfico los 144 puntos que han sido "forzados" a tener esa profundidad.

En la parte inferior de la figura se tiene la misma representación respecto a la parte norte del arco, donde se ve que el número de fenómenos profundos es enormemente superior al registrado en la porción austral del arco. Al primer punto de la curva habría que agregarle 182 fenómenos más, que han sido restringidos en su profundidad.

La figura 11 muestra un detalle de la zona en cuestión. Se observan las dos zonas de extrusión de material, al este del arco de islas, la fosa de las Sandwich y al oeste del arco de islas, la dorsal de donde también fluye material, que es el que produce el avance de esta placa de Scotia y la correspondiente subducción de la parte austral de la placa sudamericana.

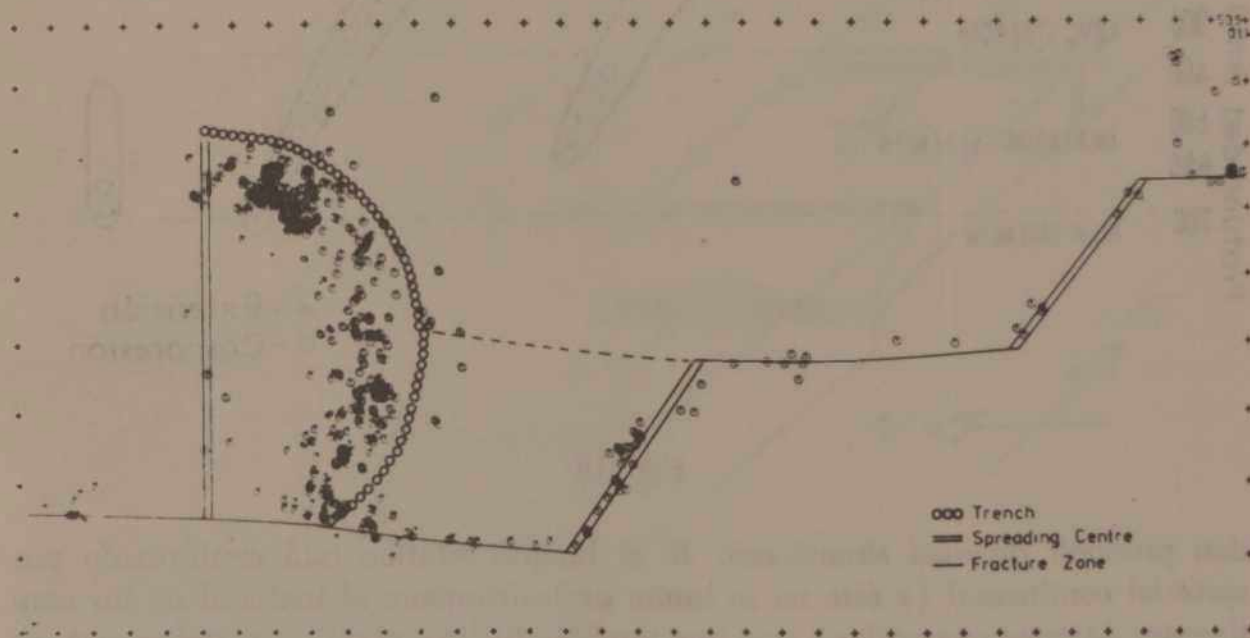


Fig. 11

En cuanto a cómo prosigue después el límite entre la placa sudamericana y la placa antártica, es dudoso. Algunos autores creen que la línea punteada norte que pasa por las Islas Georgias del Sur, podría ser una línea de dife-

renciación, es decir, que la placa de Scotia integraría la placa antártica, mientras que otros autores incluyen la placa de Scotia en la placa sudamericana. Es un problema difícil de resolver porque hay varios registros de fenómenos, que en algunos casos son contradictorios y en otros casos no tienen explicación acertada de por qué los movimientos o las inclinaciones son de una u otra manera.

Tampoco hay que despreciar la existencia o la supuesta existencia de la pequeña placa situada al noroeste de la península antártica, que a su vez estaría subduciendo debajo de la placa antártica y que sería la causante de los fenómenos de vulcanismo que conocemos en la isla Decepción. Acerca de la actividad de esta pequeña placa, nada puede decirse por el momento; algunos autores consideran que ha dejado de moverse desde hace muchos años, aproximadamente desde el mioceno.

La figura 12 trata de mostrar cómo es la mecánica del proceso. En las dorsales se extruye material que sale desde el interior de la tierra y provoca un desplazamiento del fondo oceánico; al encontrarse con otro bloque, se pue-

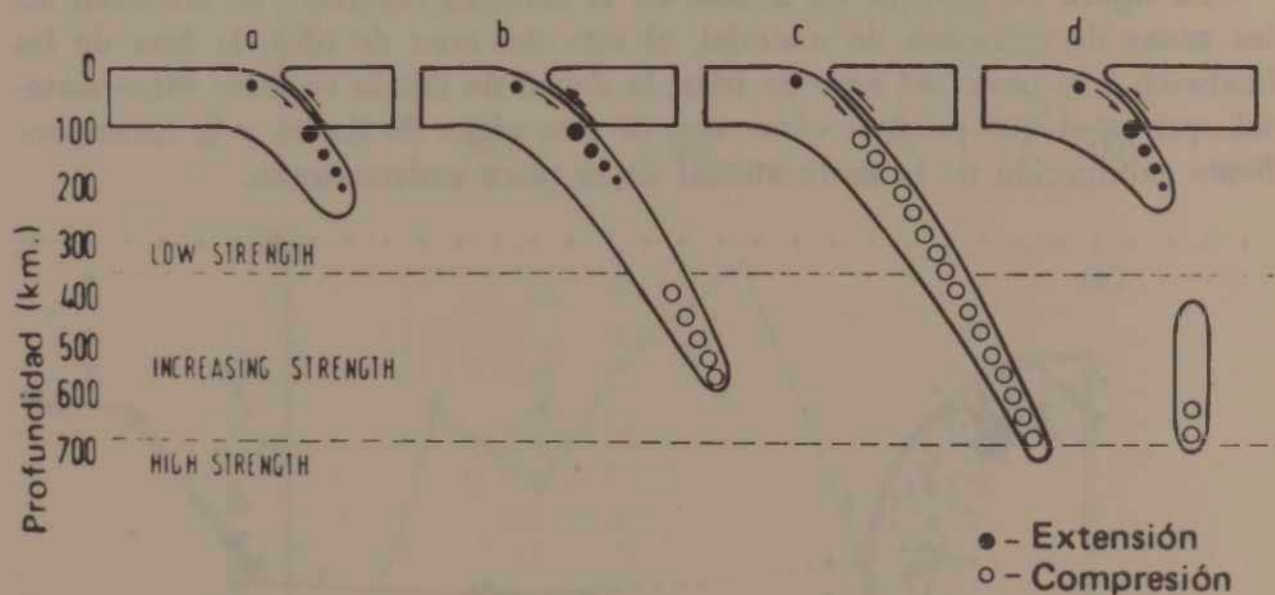


Fig. 12

den producir diversas situaciones. Si el bloque estático está conformado por material continental (y éste no se limita exclusivamente al material de los continentes —tierras emergidas— sino que también incluye el de las plataformas), se produce una subducción del fondo oceánico cuyo material es más denso que el que conforma el continente. Las fosas oceánicas podrían ayudar al proceso aunque no está establecido si son anteriores o posteriores a la iniciación del proceso de subducción. Mientras la subducción es escasa, aparecen únicamente fuerzas de tensión, porque la placa está introduciéndose en el material por

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y . .

simple gravedad, pero a medida que la intrusión avanza, aparecen focos de terremotos que indican compresiones probablemente debidas a que el material que se va introduciendo encuentra resistencia creciente en el material existente; y esta situación puede inclusive conducir a situaciones límites en las cuales la lengua de material que subduce se rompe, separándose del resto. Esto queda revelado por la ausencia de focos de profundidad intermedia. Es decir, hay focos sísmicos hasta una cierta profundidad, a partir de la cual deja de haber terremotos y recién reaparecen focos a grandes profundidades. Un proceso de este tipo parece que existiera en la parte norte del país, donde la profundidad de los focos sísmicos aumenta desde la costa chilena hacia el interior de la Argentina hasta profundidades del orden de 200 a 250 km; a mayor profundidad hay muy escasos sismos, pero en Santiago del Estero reaparecen focos con profundidades de 500 a 620 km. Es como si la placa de Nazca se hubiera quebrado después de subducir debajo del continente, reapareciendo el resto de esta quebradura a una profundidad mucho mayor.

Una representación tridimensional de todo este proceso que tiene lugar en las islas Sandwich del Sur es lo que pretende mostrar la figura 13. Se observa

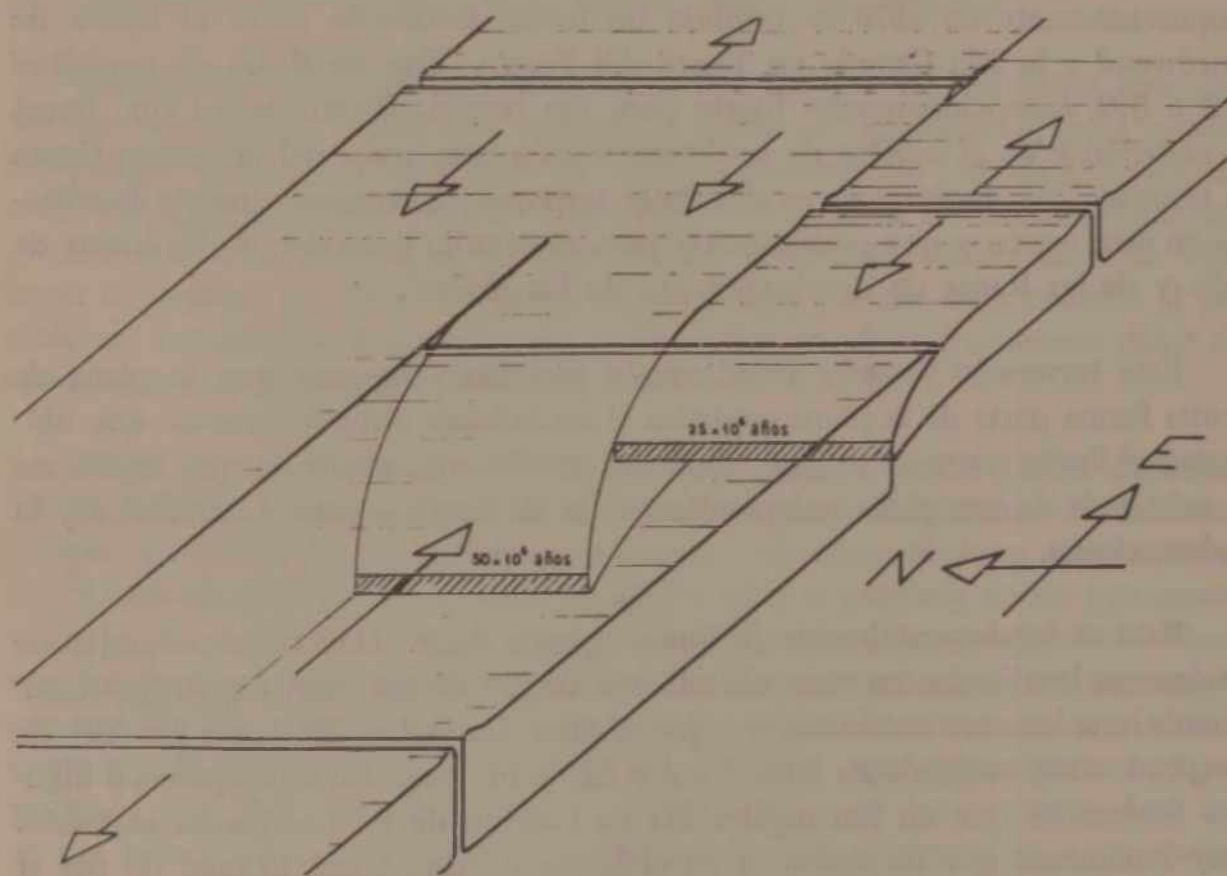


Fig. 13

la placa sudamericana y la placa creada al oeste de las Islas Sandwich. Esta última placa tiene menor extensión en latitud que la placa americana y por lo tanto solamente una parte de la placa sudamericana es "montada", por así decirlo, por la placa de Scotia. Ello obliga a que la placa sudamericana se rompa en dos trozos, uno de los cuales sigue deslizándose hacia el oeste, mientras que el otro va deslizándose hacia abajo. Pero como el material de ambos trozos viene soldado, las velocidades de la parte norte (no quebrada) y la velocidad con que subduce el material deben ser semejantes. En todo caso no pueden ser muy diferentes. Cuando se produce este tipo de ruptura aparece un tipo de fallamiento especial que es el que se ha comprobado en la parte norte del arco de las Sandwich. En este punto, convendría hacer una aclaración: muchas veces se trata de acomodar las teorías a los hechos y otras veces los hechos van creando las teorías que no hacen más que explicarlos. Nadie podría en estos momentos afirmar qué es lo real: si se ha buscado de acomodar la teoría a las necesidades o si la práctica confirma la teoría que se está exponiendo. Por el momento los conocimientos que tenemos son éstos y no parece haber muchas otras explicaciones posibles.

Antes de finalizar, es necesario mencionar que hay un agregado todavía. Imprevistamente en 1970 se produjo un fuerte terremoto entre el banco de Burdwood y la Isla Grande de Tierra del Fuego. Fue un sismo de magnitud 5.8 ó 5.9, excepcionalmente fuerte para esa región. Tanto es así que llamó la atención y en el boletín de la determinación provisoria del epicentro figura la leyenda: "Se supone que es el primer terremoto instrumentalmente localizado en esta región y que podría servir para el estudio posterior de las líneas de falla y de las líneas de desplazamiento de las placas".

Este terremoto tomado aisladamente permitiría suponer que la placa de Scotia forma parte de la placa antártica si no hubiera otros fenómenos que ubicarían el límite norte de la placa antártica mucho más al sur, lo que implicaría la existencia de una placa independiente —la de Scotia— entre la antártica y la sudamericana.

Esto es fundamentalmente lo que se puede decir. Hay otros conjuntos de fenómenos localizados en otras ubicaciones dentro de esa gran región que comprende una enorme extensión, ya que abarca desde los 23° hasta los 70° de longitud oeste, variando su latitud entre 54° y 61° sur. En ella aparecen algunos fenómenos que no son explicables en función de lo que hemos expuesto. Hay fenómenos que no aparecen en el borde de las placas, lo cual de por sí los califica de extraños, y hay fenómenos que aunque aparezcan en el borde de las placas permiten inferir conclusiones contrarias a algunas de las expuestas aquí.

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

Lamentablemente en esto nunca hay una última palabra. Únicamente la naturaleza puede dar ésta, pero para eso hay que armarse de paciencia y esperar algunos millones de años. En principio el descubrimiento de esa extrusión de material que se produce al oeste de las islas Sandwich del Sur podría ser causa del inicio de la subducción de parte de la placa sudamericana y explicaría con ello la existencia de fenómenos volcánicos en las islas Sandwich. Las dataciones que se han hecho indicarían que esa salida de material comenzó hace alrededor de ocho millones de años, edad relativamente pequeña, lo que estaría en buen acuerdo con las dataciones que se han hecho mediante el método de potasio-argón de material recogido en las mismas islas y que dieron edades de entre 5 y 7 millones de años. Es por lo tanto razonable suponer que la antigüedad del arco de las Islas Sandwich del Sur es de ese orden de magnitud.

Por eso es que al principio proponía que no debía ser considerado como parte integrante del arco andino, que supongo es bastante más antiguo. Eso es todo.

• • •

PRECUNTA: ¿En Malvinas hubo alguna estación de registro?

RESPUESTA: Efectivamente. En el hoy llamado Puerto Argentino funcionó durante dos años y medio una estación operada por los ingleses, pero lamentablemente no existe ningún tipo de indicación acerca de cuándo fue establecida, por qué cerrada o dejó de funcionar, ni hay datos del instrumental con el cual operó. El período de funcionamiento se extiende desde abril de 1959 hasta noviembre de 1961. No puedo asegurar que ése sea estrictamente el período de funcionamiento, pero es el período durante el cual aparecen datos de esa estación en los boletines internacionales.

En el trabajo de *Recálculo de epicentros localizados en territorio argentino (1920 - 1963)* hemos analizado 235 fenómenos durante el intervalo de funcionamiento (presunto) de esa estación y solamente aparecen 40 datos suministrados por Puerto Stanley. Eso hace suponer que, o bien se disponía de un instrumento deficiente en cuanto a que era de poco alcance, de poca sensibilidad, o bien que la amplificación estaba limitada por las malas condiciones del terreno. Si son veraces las versiones periodísticas que describen el terreno de las Malvinas como gigantescos turbales, es evidente que hay una capa meteorizada muy importante que debe introducir un ruido catastrófico en los registros. Las dos únicas soluciones serían: primero, ir allá con buenos instrumentos y ver cuáles son las condiciones reales; en segundo lugar, si las condiciones superficiales no lo permiten, sumergir el instrumento, siempre y cuando eso se pueda hacer, de acuerdo a la roca que se encuentre.

PREGUNTA: ¿Se tenía previsto instalar una estación en las Malvinas?

RESPUESTA: Es un problema estrictamente vinculado al tiempo histórico. La necesidad de estudiar la sismicidad del Atlántico Sur es evidente y también es evidente que para poder realizar ese estudio se necesita contar con estaciones que funcionen en forma permanente. La Argentina ha hecho algunos intentos en ese sentido. Uno por ejemplo, intentar trasladar el equipo platense a Tandil para lograr una mayor amplificación que la que nos permite operar el suelo local. Otra posibilidad sería instalarse en Tierra del Fuego, pero los sitios que allí se habían preseleccionado, no resultaron buenos en cuanto a que eran terrenos sedimentarios, con mucho ruido. La tercera posibilidad sería instalarse en la propia Antártida, pero eso implica dificultades muy grandes. La cuarta posibilidad está llevándose a cabo en el sentido de que, por lo menos desde hace algún tiempo, funciona una estación argentina en la isla Morrell, la más austral del arco de las Islas Sandwich. Lamentablemente hasta la fecha no han sido publicados los resultados, ni he podido ver los registros. Solamente el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, con sede en San Juan conoce qué se ha registrado hasta ahora. (°)

En cuanto a la pregunta que usted formula de si se tenía previsto instalar una estación, yo diría que hasta el 2 de abril no se tenía previsto, simplemente por la imposibilidad física. Es evidente que en este momento existe la intención de establecer actividad científica en las Islas Malvinas, así como la Argentina lo ha hecho en todos los órdenes en la Antártida, para reforzar —si es que hiciera falta— nuestros derechos sobre las islas y el continente austral.

PREGUNTA: Ese sismo que usted mencionó, de 1970, en el Banco de Burdwood, ¿quién lo detectó?

RESPUESTA: Es un sismo que fué detectado por alrededor de 280 estaciones, dada la magnitud que tuvo, 5.8 ó 5.9 en la escala de Richter. En 1970 la red internacional ya estaba en pleno funcionamiento. Si no recuerdo mal, el registro de ese terremoto hizo saltar en La Plata la aguja de la componente norte-sur del sismógrafo mecánico, lo que de por sí ya indica una violencia extrema, considerando que el fenómeno estaba localizado a casi 2400 km.

PREGUNTA: ¿Ha podido determinarse con precisión el epicentro?

° Acontecimientos militares que tuvieron repercusión pública a finales de junio de este año, confirmaron la existencia de una estación sismológica argentina que funcionaba en la isla mencionada, al ser retirada por la fuerza la dotación que la operaba y destruidos los instrumentos existentes.

SISMICIDAD DEL ARCO DE LAS MALVINAS, GEORGIAS Y...

RESPUESTA: El epicentro está determinado con toda precisión e incluso está hecho el estudio del mecanismo de foco.

PREGUNTA: ¿Cuál es la magnitud que un sismo debe tener para que a una distancia semejante sea detectado por el mecanismo que ustedes, tienen? La pregunta es si ustedes lo detectaron porque tenía una magnitud 6 ó 7 o si aun con una magnitud menor lo habrían detectado.

RESPUESTA: La pregunta no se la puedo contestar en forma directa porque es el único fenómeno que hemos tenido en esa posición, pero lo que sí puedo asegurar es que, de las islas Sandwich del Sur que para nosotros están a una distancia de 3.500 ó 3.600 km, registramos en condiciones normales todos los terremotos de magnitud 5.2 ó 5.3. A veces el comienzo no es muy claro, pero ello no es por culpa de nuestro instrumental, sino del mecanismo del terremoto, porque las ondas de compresión o de tracción longitudinales distribuyen su energía de una cierta manera, que depende de la falla; es decir que, si estamos en una zona de silencio, no vamos a registrar los comienzos, pero sí registramos las ondas superficiales que engendra ese terremoto. Así que diría que cualquier sismo del Banco de Burdwood que tuviera magnitud superior a 5.0, deberíamos registrarlo. Magnitudes menores ya son dificultosas dado el ruido sísmico de La Plata que es grande e incluso, insisto, depende de las condiciones meteorológicas. Hay días en que el microsismo, es decir, el ruido que no podemos eliminar, tiene una amplitud expresada en milímetros —medida sobre la banda de papel— de entre 3 y 4 milímetros entre pico y pico, lo que es normalmente superior al primer impulso que podamos recibir de un terremoto de esa magnitud originado a esa distancia. Por lo tanto quedaría totalmente enmascarado.

PREGUNTA: En una conferencia anterior nos hablaban del límite de la falla transcurrente: ¿Hay datos de si esa falla está provocando sismos?

RESPUESTA: Hasta el momento solamente hubo dos sismos de magnitud suficiente como para poderlos analizar. Uno, el mencionado recientemente y otro en las proximidades de las Islas Georgias del Sur. Son los dos únicos y han dado datos coincidentes. Tenemos la suerte de que los dos únicos terremotos analizados, no están en contradicción. Hubo fenómenos que no corresponden exactamente al borde de placa, pero de esos no podemos decir nada ya que no nos sirven para apoyar ni para desechar nada.

BIBLIOGRAFIA

- BARKER P. F., "Plate Tectonics of the Scotia Sea Region". *Nature*, Vol. 228, N° 5278, diciembre 1970, págs. 1293-1296.
- BRETT C. P., "Seismicity of the South Sandwich Islands region", *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*; Vol. 51, 1977, págs. 453-464. (Figuras: 6, 7, 8, 9, 10 y 11).
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL AÑO GEOFÍSICO INTERNACIONAL, *Mapas del Informe de la...*, Bs. Aires, 1960. (Figura 3.)
- EWING J. I., LUDWIG W. J., EWING M., EITREIM S. L.; "Structure of the Scotia Sea and Falkland Plateau", *Journal of Geophysical Research*; Vol. 76, N° 29, 1971, págs. 7118-7137.
- FORSYTH, DONALD W., *Journal of Geophysical Research*; Vol. 80, N° 11, Abril 1975, páginas 1429-1443. (Figura 4.)
- GUTENBERG B. y RICHTER C. F., *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*; Princeton University Press, 1954.
- INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE, *Regional Catalogue of Earthquakes*; Vol. 7, N° 1, 1970, pág. 102.
- KHAN M. A., *Geología Global* (Trad. por Fernando Melendez Hevia y María José Morillo-Velarde-Gómez-Bravo); Editorial Paraninfo, Madrid, 1980. (Figura 12.)
- PETERSON JON, "Worldwide Standardized Seismograph Network", *Earthquake Information Bulletin*; Vol. 9, N° 4, 1977, págs. 36-45. (Figura 2.)
- RICHTER CHARLES F., *Elementary Seismology*, W. H. Freeman and Company, 1958.
- SCLATER J. G., BOWIN C., HEY R., HOSKINS H., PEIRCE J., PHILLIPS J. y TAPSCOTT C.; *Journal of Geophysical Research*; Vol. 81, N° 11, 1976, págs. 1857-1869.
- SPALL HENRY, "Earthquakes and Plate Tectonics", *Earthquakes Information Bulletin*; Vol. 9, N° 6, 1977, págs. 14-17.
- World-Wide Seismograph System, Model 10700, *Operation and Maintenance Manual*, The Geotechnical Corp. (Figura 1.)