

ESBOZO DE LA TECTONICA DE LOS ANDES

V. V. BELOUSOV ¹

INTRODUCCION

Con base en observaciones personales, conferencias con geólogos locales y estudios bibliográficos, el autor expone un esbozo general de la estructura tectónica y del desarrollo de los Andes.

Entre octubre y diciembre de 1961, el autor, en su calidad de Director de la Misión Sismológica de la Unesco, visitó varios de los países de América Latina situados en el sistema montañoso de los Andes, a saber: Colombia, Ecuador, Bolivia, Argentina y Chile. En todos estos países el autor trató de enterarse lo mejor posible de la estructura tectónica mediante excursiones, gentilmente organizadas por los geólogos locales, y por medio de comunicaciones personales y estudio de mapas, literatura y otros documentos geológicos. Las visitas fueron muy cortas (aproximadamente una semana en cada país) y colmadas de diversas obligaciones oficiales. Por ese motivo, las observaciones personales del autor fueron muy limitadas. Sin embargo, aun durante una inspección rápida, la asimilación de la literatura geológica, las conferencias con los geólogos locales y un trabajo adicional sobre la literatura, al regresar a Moscú, resultaron ser un buen complemento de las impresiones personales. Como resultado de esto, el autor se formó nociones generales sobre la estructura y la historia tectónica de los Andes. Puesto que esta región es de mucho interés, pero es poco conocida en Rusia, el autor supone útil el publicar algunas de sus deducciones.

¹ Tradujo el Prof. D. W. Schumacher con la colaboración del Prof. L. G. Durán, del Boletín de la Sociedad Moscovita de Ciencias Naturales, Sección Geológica (Nº 2 de 1963), por gentil autorización del autor para Geología Colombiana.



El autor agradece a los geólogos W. Meyers, L. Radelli, K. S. Bishop (Colombia), H. Granck, H. Rivadeneira (Ecuador), R. Calgeiro, F. Zelso, A. Russo, G. López (Bolivia), K. Furke, H. Olsajer, E. Aparicio, B. Zakalik (Argentina), M. Martínez, O. Ferrán, H. Muñoz Christi (Chile), quienes le prestaron ayuda en las visitas a las diversas regiones de los Andes.

Ante todo debe advertirse que el conocimiento geológico de los Andes es hasta ahora deficiente. En la mayoría de los países situados dentro de los límites de este gigantesco sistema montañoso, existen solamente mapas geológicos sumarios a escalas pequeñas, elaborados en grado considerable con datos anticuados.

Muy pocos trabajos nuevos de levantamiento de planos geológicos se hacen, y los mapas detallados cubren solamente una ínfima parte de la superficie total de los Andes. Las instituciones geológicas cuentan con escasísimo personal especializado, y a veces ni siquiera existen dichas instituciones. Así, en Ecuador el Instituto Geológico del Estado no hace trabajo sistemático, sino solo consultas ocasionales y acumula el conocimiento de los informes de las empresas particulares; en esta institución hay solamente un geólogo profesional. Muy limitado también el Servicio Geológico de Colombia, donde sin embargo, las empresas americanas de petróleo desarrollan una gran actividad. En Chile y en Argentina, las instituciones geológicas son más activas, pero también tienen poco personal. Dos a tres decenas de geólogos en Argentina y la mitad de esta cantidad en Chile, no pueden satisfacer las necesidades de estos extensos países en la elaboración sistemática de mapas geológicos. Un grupo muy activo de geólogos, especialmente en la Empresa de Petróleos del Estado, trabaja en Bolivia, pero su labor comenzó solo recientemente.

En lengua rusa se han publicado dos buenos resúmenes sobre la geología de los Andes y de la América del Sur en su totalidad ("Estudios de la Geología de la América del Sur", 1959). En estas obras está mencionada toda la literatura original básica de la tectónica de los Andes hasta el año de 1955. Entre las fuentes más recientes se pueden indicar las siguientes: en Colombia se han editado dos bibliografías muy completas sobre los trabajos geológicos y geofísicos (7 y 10). También se han publicado cinco planchas del mapa geológico en escala de 1:200.000. Breves esbozos de la geología del Ecuador se encuentran en los folletos de Granh (13) y de Sauer (18). La geología de Bolivia está descrita por Alfeld y Branisa (6). Como ayuda para entender la tectónica de Chile son de gran interés las descripciones de hojas geológicas en escalas de 1:50.000, 1:100.000 y 1:250.000 (9,

11, 12, 15, 19, 20, 21, 22, 24). La Dirección Nacional Geológica de Argentina publicó en 1960 un catálogo de sus publicaciones. Entre estas publicaciones existen hojas aisladas de un mapa geológico en escala de 1:200.000 y sus respectivas explicaciones, de las cuales fueron publicadas alrededor de veinte. Algunos problemas tectónicos de los Andes están aclarados por los trabajos de Harrison (14), Petersen (16) y Rasmus (17).

El autor no se referirá en lo sucesivo a las fuentes bibliográficas, puesto que este artículo representa solamente una tentativa para reunir y tratar de entender datos aislados, publicados en los más diversos trabajos, como también los recogidos en las excursiones y en discusiones orales.

La escasez de informaciones efectivas respecto a la geología de los Andes impone, seguramente, cierta condicionalidad a las conclusiones contenidas en el artículo.

Para la estructura tectónica y el desarrollo de los Andes es característica la zonificación longitudinal y transversal.

Como zonas longitudinales, es decir alargadas, en general en dirección meridional, se destacan de occidente a oriente las siguientes:

La llanura litoral: Se extiende a lo largo de las orillas del Océano Pacífico en Colombia y en el Ecuador, pero más al sur se manifiesta solamente por sectores pequeños en el Perú y Chile, donde está cortada por la línea de la costa.

Esta zona está constituida preferentemente por los sedimentos senonenses, paleógenos y neógenos marinos.

La cordillera litoral: Esta zona, situada paralelamente a la primera y al oriente de ella, se manifiesta muy bien en el sur de Chile, desde la Tierra del Fuego hasta Valparaíso; más al norte se encuentran solamente partes pequeñas de ella en el Perú y en el sur del Ecuador. En una gran extensión, esta zona se asemeja a la precedente, está erodada por el océano y constituida por rocas metamórficas, al parecer especialmente precambrianas, pero también paleozoicas. Una parte considerable de la zona de la cordillera litoral está fragmentada por el batolito granítico de los Andes del período Cretáceo.

La cuenca principal mesozoica: Esta zona es la más coherente y se extiende sobre la totalidad de la enorme longitud de los Andes, desde la Tierra del Fuego hasta las orillas del Mar Caribe. Está cons-

tituida principalmente por las rocas del Jurásico y del Cretáceo, de cuya composición se hablará a continuación. En esta zona afloran también los granitos del batolito de los Andes.

El macizo central del Puna: Esta zona está mejor desarrollada en Bolivia en la región del pliegue de los Andes, donde el macizo del Puna forma la última elevación oriental de los Andes y está ligada directamente con las llanuras antemontañas. Hacia el sur, esta zona se proyecta oblicuamente fuera de los límites de la cordillera actual, descendiendo progresivamente hasta las llanuras al noroeste de la Argentina. En la mitad de la plataforma están situadas las planicies elevadas, conocidas bajo el nombre de elevaciones de la Pampa.

Hacia el norte, la zona del macizo central se extiende en el Perú como una banda estrecha que desciende y se sumerge bajo la cubierta de los sedimentos mesozoicos a la altura del río Amazonas, en el curso superior del río Maraón. Sin embargo, más al norte en el Ecuador, esta zona aparece de nuevo y se extiende hasta el mar Caribe, ensanchándose un poco hacia el norte. Esta zona está constituida por rocas precambrianas y paleozoicas, las cuales en ciertos lugares están cubiertas de sedimentos continentales subcretáceos y terciarios.

La cuenca oriental mesozoica: Esta zona está desarrollada solamente en la parte norte de los Andes en el Perú y Bolivia, al oriente del macizo central. En la parte donde este último se sumerge bajo la cubierta de los sedimentos mesozoicos, en el curso superior del río Maraón, esta zona se une directamente con la cuenca principal mesozoica. Está constituida por los sedimentos del Jurásico y del Cretáceo.

La cuenca anterior: A lo largo de los Andes, bordeándolos por el oriente, se extiende la cuenca anterior, rellena especialmente por los sedimentos terciarios continentales. Por estar cubierta por sedimentos cuaternarios muy gruesos en la mayor parte de su extensión, y por estar situada en la zona de selva impenetrable, es muy poco conocida. Es muy probable que no forme una banda continua sino que se descomponga en una fila de depresiones aisladas.

Las zonas transversales, que se manifiestan en la división de los Andes, en una fila de sectores longitudinales, serán tratadas en detalle en el estudio ulterior de la historia del desarrollo tectónico. Pero de una vez salta a la vista la ya citada cuenca transversal de los Andes, situada exactamente en la prolongación occidental de la sineclisa amazónica y expresada en la inmersión de las rocas paleozoicas del macizo central bajo la cubierta mesozoica.

También se observa claramente la elevación transversal del macizo central en Bolivia en la curvatura de los Andes, donde está situada la altísima meseta del Altiplano con el mayor lago de alta montaña, el Titicaca.

Parece que en la disposición de la cuenca transversal y de la elevación transversal de los Andes, se pusieron de manifiesto las reglas observadas en su tiempo por N. S. Schatski (5) para las relaciones entre el Cáucaso y la plataforma rusa: la parte oriental del Cáucaso, profundamente hundida en el mesozoico, está situada en la continuación de la gran plataforma de la sineclisa del Caspio, y la región donde el fundamento del Cáucaso central está muy elevado, se encuentra en la continuación de la plataforma anticlinal.

En los Andes la cuenca transversal está situada en la continuación de la sineclisa amazónica, pero la elevación transversal de Bolivia está situada en las proximidades del elevado "escudo" de Brasil. Volviendo hacia la estratigrafía de los Andes y a la historia de su desarrollo tectónico, en primer lugar es necesario advertir que el precambriano de los Andes está casi absolutamente sin estudiar y nada se puede decir de él, excepto que está compuesto de varias rocas metamórficas.

En el Paleozoico, en la alternación de las formaciones, se revelan claramente ciclos normales tectónicos: el caledoniano y el herciniano.

Después de la acumulación de las calizas, pizarras y asperones del Cámbrico y de las lutitas con graptolitos del Ordoviciano hubo una interrupción en la sedimentación y se formó posteriormente una disconformidad angular; se depositaron los asperones de *molasa* y las tillitas silurianas. Con esto se terminó el ciclo caledoniano.

Después de la interrupción y la disconformidad, se acumularon las lutitas potentes, los asperones y las grauvacas del Devoniano y del Carboniano inferior, encima de las cuales se encuentran yacimientos de rocas rojizas y tillitas, así como carbones del Carbonífero medio superior del Permiano. En este último se encuentran muchas rocas del tipo volcánico (meláfiro).

En todo el Paleozoico se nota la transición a facies costeras y el acunamiento de numerosos horizontes de la zona axial del macizo central, donde están desarrolladas las rocas paleozoicas, hacia el oriente.

Al fin del Paleozoico se formaron los pliegues y el macizo central del Puna se elevó, probablemente en toda su extensión. Los pliegues del Paleozoico se caracterizan por su simplicidad. En algunos lugares, por ejemplo en Bolivia, son extraordinariamente suaves. Probablemente, en su origen pertenecían al tipo de las dovelas. En la región de San Juan, en los Andes argentinos y en las cordilleras exteriores

de Bolivia se observa una compresión en los espesores de las lutitas y calizas-margas de estratificación delgada, con la formación de los pliegues característicos del tipo *cresta*. Pero es posible que estas complicaciones se produjeran más tarde y que estén ligadas ya a los movimientos terciarios de dislocamiento.

Al mismo tiempo, al final del Paleozoico, se produjo también una elevación en la cordillera litoral. Posteriormente, el macizo central del Puna y la zona de la cordillera litoral hicieron el papel de intra-geoanticlinal en el geosinclinal del ciclo alpino de los Andes.

La sección mesozoica empieza con los sedimentos continentales de la formación Gondwana, que incluyen tillitas y rocas del tipo volcánico. Ellos pertenecen al Triásico inferior, y se puede estimar que en el orden de formación terminan con el ciclo herciniano.

El ciclo Alpino empieza con una nueva transgresión marina, que se nota en Chile en el Triásico medio, cuando se sedimentaron conglomerados, lutitas y ceratófidos, y en el Perú en el Triásico superior, cuando se sedimentaron las calizas.

La gran transgresión general comienza, sin embargo, desde el Liásico. El Liásico inferior es conocido solamente en el Perú, donde está representado por rocas potentes del tipo volcánico y calizas.

En el Jurásico medio se sedimentaron calizas, y en el superior lutitas y asperones, los cuales hacia arriba se transformaron en continentales.

Más al sur, en Chile, la sección es parecida a la peruana, pero el principio de la sedimentación se sitúa en el Liásico medio más inferior. Más tarde, en el Aalenense, la transgresión del mar se extendió hacia el oriente, en Mendoza.

En todo este tiempo se observa la sustitución de las facies marinas, típicas en el occidente a las orillas del Pacífico, por las litorales, y en dirección del oriente, por las continentales. El Jurásico superior en Chile está representado por una sección yesífera.

En la Patagonia, en el Jurásico inferior, se produjeron afloramientos de las andesitas y ceratófidos y en el Jurásico medio se sedimentaron lutitas y grauvacas. La potencia de los sedimentos jurásicos en Patagonia es menor que en Chile y Perú. Esta región puede probablemente ser atribuida al parageosinclinal.

Al norte del Perú, en Ecuador, hay pocas rocas jurásicas. El Liásico está representado allá por las calizas, dogger y malm, unos sedimentos de color rojo. Más al norte, todo el Jurásico, así como el Triásico, son de agua dulce.

De esta manera, la transgresión jurásica acompañó la iniciación del geosinclinal del ciclo alpino, se expandió desde el Perú, en la región situada en la prolongación de la sineclisa amazónica, y de aquí avanzó considerablemente por el sur y muy poco por el norte. En todas partes al fin del Jurásico se operó la regresión.

En los Andes, habitualmente el Titoniano superior se considera como parte del sistema del Cretáceo y se incluye en él (Neocomiense). Con esta época del Titoniano superior Neocomiense, se relaciona la así llamada transgresión andina, que desempeña un papel importante en la historia de los Andes. En Chile, en este tiempo se sedimentaron calizas, margas y asperones con una abundante fauna marítima. La potencia de los sedimentos es de cerca de 1.000 m. En Argentina están desarrolladas las mismas rocas, que transgresivamente se extienden siempre más en dirección al oriente. En Patagonia se acumularon andesitas, después de un gran espesor de lutitas marinas, y después llegó la regresión. En el Ecuador pertenecen a la misma serie los estratos cruzados de asperón en el oriente y una sección de tipo volcánico en el occidente. En Colombia se relaciona con el Neocomiense una sección muy importante de lutitas marinas, 6.000 m, que desempeña un papel importantísimo en la tectónica de este país.

Después de la acumulación de la serie andina, se produjo la intrusión del inmenso batolito andino granítico, cuya edad exacta no es conocida. Según las observaciones, en Chile se originó después del Neocomiense y antes del Senonense. En el Perú el tiempo de intrusión no se puede establecer tan precisamente, y algunos datos permiten suponer que su formación tuvo lugar más tarde, al final del Cretáceo. Los afloramientos de este batolito granítico pueden ser seguidos en una extensión de 6.000 km., desde la Tierra del Fuego hasta la parte norte del Perú. Ellos coinciden con la cuenca principal mesozoica y la cordillera marítima. A veces constituyen bandas continuas de granito que se extienden por centenares de kilómetros, y otras veces son solamente pequeños afloramientos aislados. La composición y la estructura uniformes de estos granitos en todos los afloramientos permiten pensar que ellos se insertan a poca profundidad, en una sola mole granítica enorme.

Los sedimentos del Senonense marino en Chile están desarrollados solamente en la zona marítima. A mayor distancia de las orillas, hasta el límite oriental de los Andes, todos los sedimentos, empezando con el Barremiano superior hacia atrás, son continentales. En Chile, entre las rocas del Senonense, se encuentran manifestaciones volcánicas.

En Bolivia, la Puna de tierra roja pertenece al Cretáceo superior. Ella se formó con un intervalo prolongado y una disconformidad sobre el Paleozoico del macizo central de la Puna. Este último en la época del Cretáceo superior se convirtió en una cuenca. La potencia de los sedimentos de tierra roja no es menor de 1.000 m.

En el Perú noroeste, en la región de la cuenca transversal, están desarrolladas las calizas albianas y cenonianas (?), encima de las cuales yacen pizarras, que pertenecen al Cretáceo superior.

En Ecuador, encima de las calizas albianas-coniacianas, yace la sección de tierra roja.

En Colombia, después de las lutitas del Neocomiense, se acumularon los sedimentos marinos del Cretáceo superior. Solamente al fin del Cretáceo, en el oriente se efectúa la regresión y aparecen las facies carboníferas, desarrolladas, en particular, en la región de Bogotá. Hacia el occidente estas rocas se transforman en facies normales marítimas.

La sección marítima caracteriza todo el Cretáceo superior también en el extremo sur en Patagonia.

No es difícil notar que en la historia mesozoica del desarrollo de los Andes se manifiesta la división en zonas transversales. El hundimiento más temprano en el Liásico se produjo en la parte mediana de los Andes. En esta misma región se desarrolló también la elevación más temprana inmediatamente después del Neocomiense. En los extremos norte y sur de los Andes, la cuenca del principio del ciclo alpino se desarrolló más tarde y las facies marinas en Patagonia aparecen en el Jurásico medio, y en Colombia solamente en el Neocomiense.

Pero tanto en Patagonia como en Colombia, se atrasó considerablemente la elevación definitiva, la que se efectuó al final del Cretáceo superior, y en algunas partes probablemente se produjo en el Mioceno. De esta manera, en un esquema global, el desarrollo de los movimientos oscilatorios durante el Mesozoico se presenta en forma de ondas, divergentes hacia el norte y hacia el sur de la parte mediana de los Andes: primero las ondas de la concavidad, y después las de la convexidad. De manera específica se manifiesta la cuenca transversal en el Perú, donde el hundimiento fue especialmente estable y prolongado. Los sedimentos marinos terciarios se presentan solamente en forma de pequeñas manchas aisladas a lo largo de las orillas del Océano Pacífico. Son especialmente potentes en el Ecuador, en la región de Guayaquil, donde alcanzan 9.000 m. En el interior del continente el sistema Terciario está representado solamente por las rocas continentales terciarias del aspecto molásico de Bolivia, en el Alti-

plano, donde alcanzan una potencia enorme (7.000 m.). El macizo medio durante el Terciario siguió siendo una zona de la cuenca profunda, cuya estructura se complica por las fallas y la formación de fosas considerables. Una gran cantidad de fosas de diversas dimensiones se presentan en este macizo en el Perú y en Bolivia. El macizo central se complica por una fosa también en el Ecuador. Las mismas fosas de ambos lados del macizo central se presentan también en Colombia.

Muy potentes sedimentos continentales del Terciario se acumularon en la cuenca anterior de los Andes, con un espesor no menor de 5.000 m. En la cuenca principal mesozoica en Chile se formaron algunos miles de metros de andesitas, traquitas y basaltos. Ellos están también desarrollados en la cordillera occidental en el Perú. Sin embargo, en Patagonia, el Paleógeno marino se debe a la transgresión del Océano Atlántico.

Los pliegues alpinos en los Andes sorprenden por su suavidad; principalmente son pliegues de bloques, pero a la par con ellos se encuentran también pliegues comprimidos. En las figuras 2 a 6 se ven algunos perfiles que ilustran lo dicho. Las figuras 4 y 5, de las cuales la última es la más oriental, dan una idea de la estructura de toda la cuenca principal mesozoica en Chile. En ellas se ve que esta cuenca constituye estructuralmente un sinclinal ancho muy inclinado, complicado por varias flexiones en los flancos. Los sedimentos del Jurásico, que cubren desordenadamente las rocas metamórficas de la zona litoral, yacen casi horizontalmente. Por una flexión brusca en algunos lugares y complicada por fallas abruptas, el mencionado sinclinal pendiente se enlaza con la zona elevada de la cordillera de los Andes. La figura 6 muestra que en esta última los sedimentos mesozoicos no tienen ningún pliegue. Ellos forman sectores horizontales y monoclinales empinados, divididos en bloques por las fallas verticales. Los sedimentos terciarios rojizos llenan las fosas y el buzamiento es fuerte y a veces invertido en los flancos y un poco ondulado hacia el centro.

En Colombia, los pliegues en la sección de las lutitas del Neocomiense (figura 2) parecen ser más complicados que en otras regiones de los Andes. Sin embargo, observando la parte del perfil correspondiente a las cordilleras del Oriente, es fácil notar que en la base de la estructura están situados unos desplazamientos verticales de dovelas, los cuales están complicados por unos pliegues menores, merced a la mayor plasticidad de la lutita. Lo típico aquí son los anticlinales de cabalgamiento y unos pliegues menudos, al parecer de gravedad. La

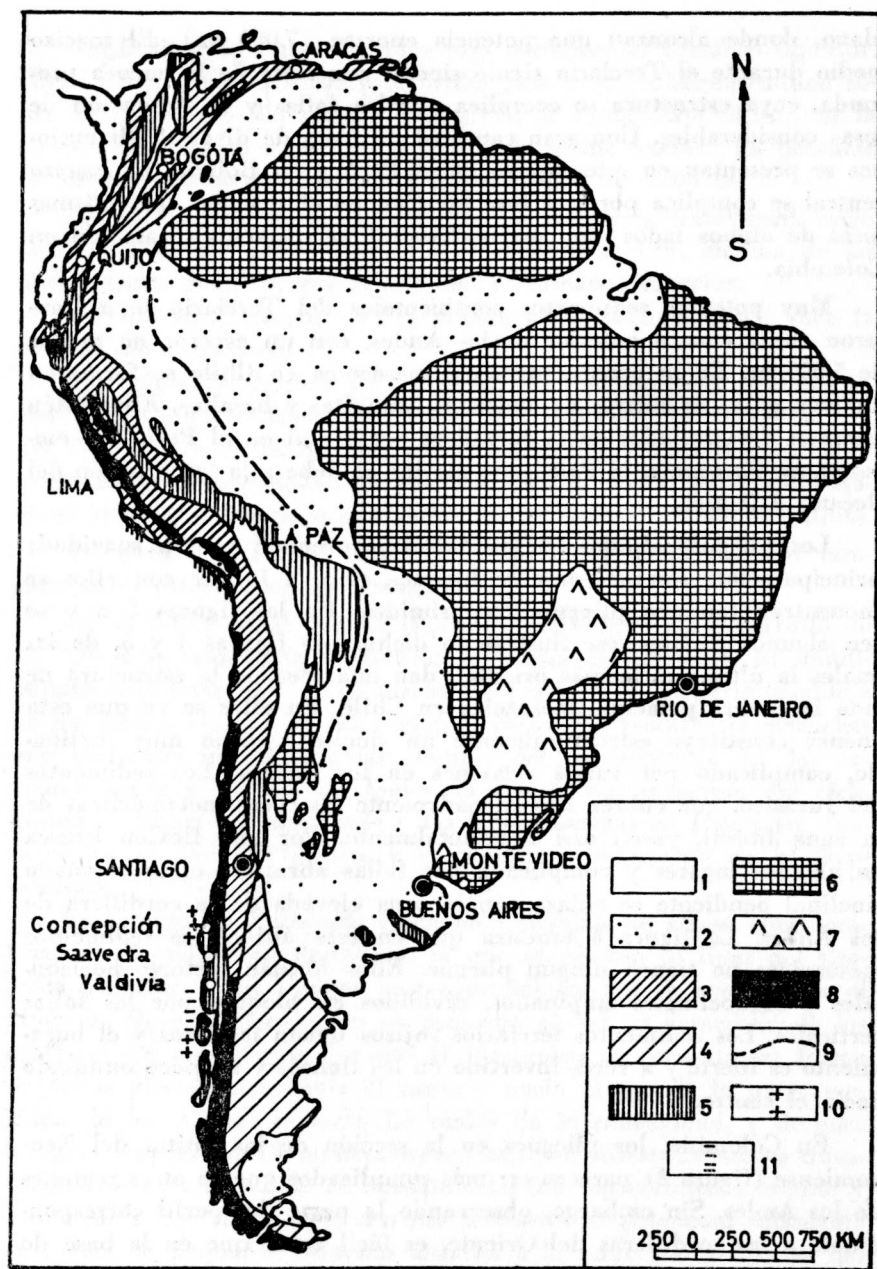


Fig. 1. — Esquema de la estructura geológica de los Andes. 1. Rocas neógenas y cuaternarias de las fosas en los Andes. 2. Principalmente las rocas terciarias. 3. Principalmente las rocas mesozoicas en la región geosinclinal. 4. Principalmente las rocas mesozoicas en la región de la acumulación para geosinclinal. 5. Principalmente rocas paleozoicas. 6. Principalmente rocas paleozoicas. 7. Escalones del "Escudo Brasileño". 8. Granitos del período cretáceo. 9. El límite supuesto de la cuenca andina avanzada. 10. Sectores del litoral que sufrieron una elevación durante el terremoto del año 1960. 11. Sectores del litoral que sufrieron hundimiento durante el terremoto del año 1960.

cordillera central de Colombia representa una elevación de rocas antiguas (macizo central). En la cordillera occidental de Colombia los estudios realizados son muy escasos, por lo cual no se puede confiar del todo en la estructura representada en el perfil.

En la figura 3 se ve un corte esquemático por Ecuador. En su conjunto la estructura de los Andes dentro de los límites de este país presenta un anticlinal ancho y sencillo, complicado en la parte axial por una fosa. Esta se presenta llena de potentes lavas del Plioceno y del Cuaternario, tobas, brechas volcánicas, y a lo largo de las fallas que la bordean, sobre las bandas anchas de las brechas tectónicas, se elevan filas de volcanes activos.

El núcleo del anticlinal está formado por rocas metamórficas (Paleozoico), los flancos por rocas cretácicas y terciarias. Ambos flancos están bastante inclinados, pero en el flanco oriental, en las cercanías inmediatas del macizo de rocas metamórficas elevado por fallas verticales, los estratos del Cretáceo forman una flexión, invirtiéndose por completo.

Los pliegues de gravedad en el Ecuador occidental, descritos en la literatura, representan un fenómeno particular que complica las formas estructurales generales (Fig. 7).

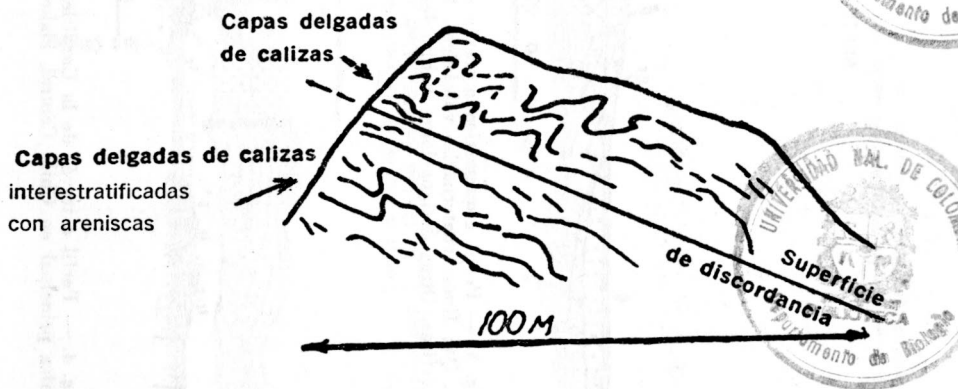


Fig. 7. — Pliegues disarmónicos de gravedad en rocas cretácicas en el Cerro del Carmen, cerca de Guayaquil (Ecuador). Diagrama de V. V. Belousov.

Los pliegues en los sedimentos terciarios y cretáceos son característicos de las regiones litorales del Ecuador y también lo son los pilares unilaterales, habitualmente inclinados en monoclinal hacia el océano y con una grada tectónica hacia el continente.

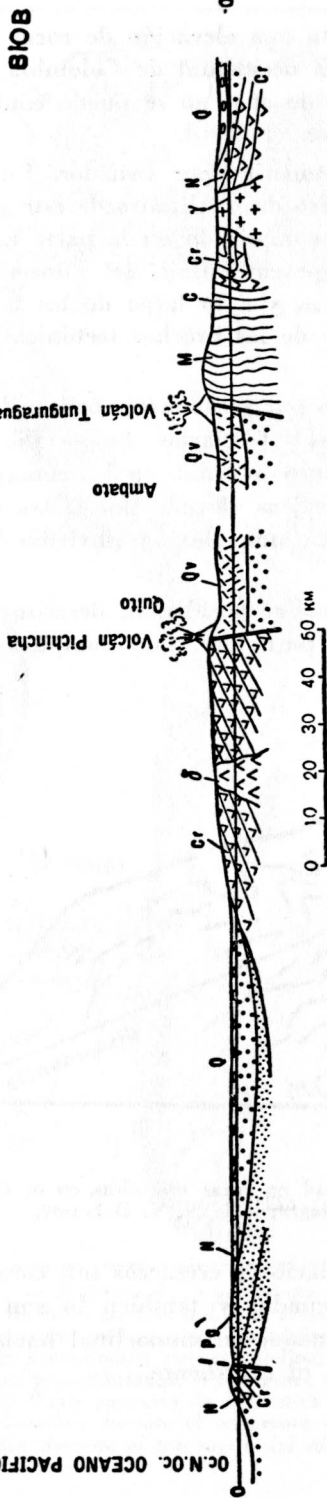


Fig. 3. — Perfil esquemático a través del norte del Ecuador, elaborado por V. V. Belousov. Qv: Rocas cuaternarias volcánicas. δ : gabros y granodioritas. γ : granitos. M: Rocas metamórficas. Otras designaciones habituales.

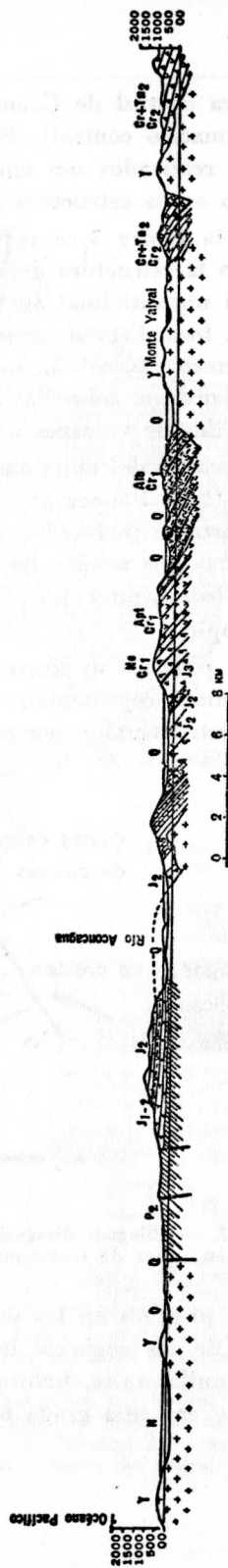


Fig. 4. — Perfil a través de la Cordillera del litoral y la parte occidental de la cuenca mesozoica principal en Chile Central, elaborado por Thomas en 1958.

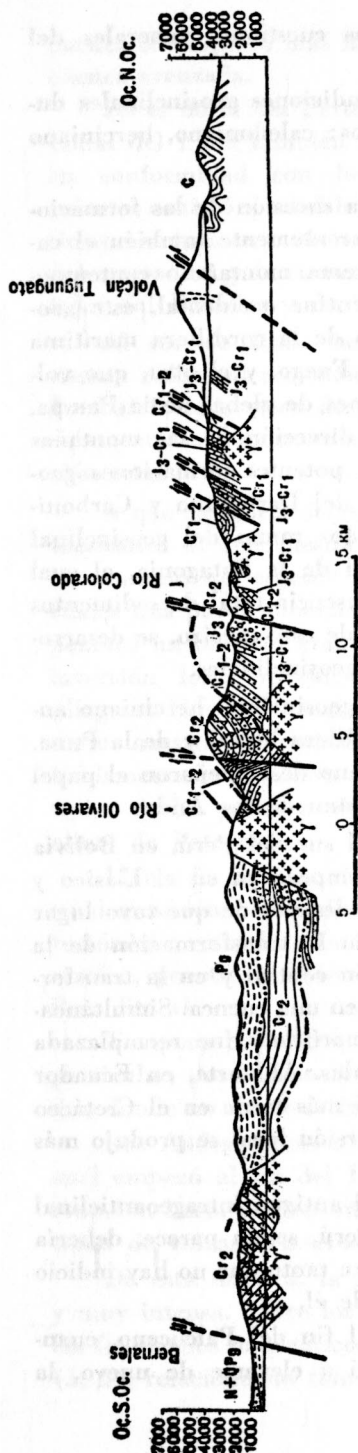


Fig. 5. — Perfil a través de la parte oriental de la cuenca mesozoica en Chile Central, elaborado por C. K. Giehm en 1960. Con puntos y rayas se indican las discordancias.

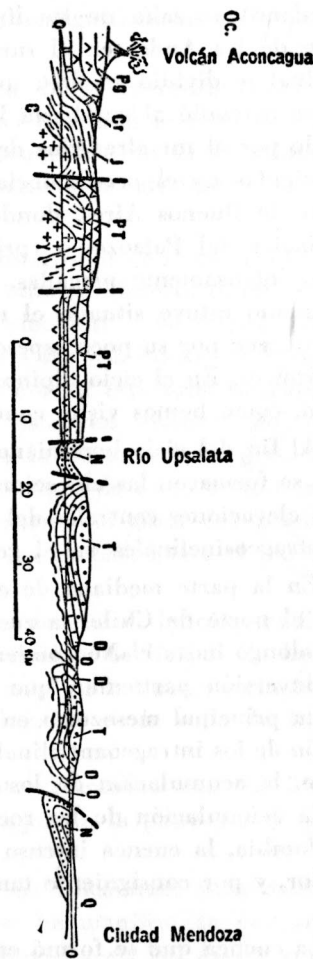


Fig. 6. — Perfil esquemático de la vertiente oriental de los Andes en la región de Ciudad Mendoza (Argentina), elaborado por V. V. Belousov.

Pasaremos ahora a considerar algunas cuestiones generales del desarrollo del geosinclinal de los Andes.

En la zona de los Andes existieron condiciones geosinclinales durante todos los tres últimos ciclos tectónicos: caledoniano, herciniano y alpino.

Estos ciclos están bien expresados en la sucesión de las formaciones. Pero el geosinclinal herciniano (y aparentemente también el caledoniano) se salía de los límites del sistema montañoso contemporáneo de los Andes en el sur. En la Argentina occidental, este geosinclinal se dividió en dos: uno a lo largo de la cordillera marítima que se extendió al sur hasta la Tierra del Fuego, y el otro, que volteando por el sur alrededor de las elevaciones de glebas de la Pampa, depositadas en el pre-Cambriano, viró en dirección de las montañas al sur de Buenos Aires, donde se conocen potentes formaciones geosinclinales del Paleozoico (principalmente del Devoniano y Carbonífero), intensamente plegadas. Entre estas dos ramas del geosinclinal herciniano estuvo situado el macizo central de la Patagonia, el cual se distingue por su poco espesor o por la ausencia total de sedimentos paleozoicos. En el ciclo alpino, en el lugar de este macizo, se desarrollaron, como hemos visto, condiciones parageosinclinales.

Al fin del ciclo herciniano, dentro del geosinclinal herciniano andino, se formaron las elevaciones de la cordillera litoral y de la Puna. Estas elevaciones centrales del ciclo herciniano desempeñaron el papel de intrageosinclinales en el geosinclinal alpino de los Andes.

En la parte mediana de este último, al sur del Perú, en Bolivia y en el norte de Chile, la cuenca intenso empezó ya en el Liásico y se prolongó hasta el Neocomiense inclusive, después de que tuvo lugar una inversión particular, que se expresó en la transformación de la cuenca principal mesozoico en una elevación central y en la transformación de los intrageoanticlinales del Puna, en una cuenca. Simultáneamente, la acumulación de los sedimentos marítimos fue reemplazada por la acumulación de las rocas continentales. Al norte, en Ecuador y Colombia, la cuenca intenso se desarrolló más tarde en el Cretáceo inferior, y por consiguiente también la inversión local se produjo más tarde.

La cuenca que se formó en el lugar del antiguo intrageoanticlinal del Puna en Bolivia, y en el sureste del Perú, según parece, debería ser interpretado como una cuenca regional, en tanto que no hay indicio del comienzo de una elevación al oriente de él.

Solamente más tarde, probablemente al fin del Paleoceno, cuando la zona del Puna y de Bolivia empezó a elevarse de nuevo, la

cuenca se desplazó más hacia el oriente y se transformó en una típica cuenca avanzada.

En el norte del Perú, en Ecuador y en Colombia, el intrageoantichlinal del Puna también descendió en relación con la inversión. Pero en conformidad con la más tardía inversión local, este hundimiento ocurrió probablemente al principio del Mioceno. Al mismo tiempo se formaron elevaciones centrales aisladas en la cuenca oriental del mesozoico, y la cuenca avanzada se configuró en las regiones orientales del Ecuador y de Colombia.

Al sur de Chile no hay indicios de la inversión local de la cuenca principal mesozoica. Esta última continuó lentamente hasta el final del ciclo, pero después del Neocomiense en él se acumulaban solamente las rocas continentales, hecho que atestigua una inversión total.

A qué categoría debemos atribuir esta parte de la cuenca principal mesozoica es una cuestión difícil. Durante el Mesozoico, en esta área se acumuló un espesor enorme ("geosinclinal") de rocas, entre las cuales una parte importante pertenecía a las volcánicas; en estas rocas penetró un batolito granítico colosal. Pero en esta zona no existe una inversión local y, como lo hemos visto, en esencia, no hay ni pliegues. Este caso sugiere la idea de la necesidad de precisar aún mejor nuestra clasificación actual de los tipos de zonas tectónicas. Probablemente se presenta aquí una transición original del geosinclinal típico de las partes media y norte de los Andes, hacia el parageosinclinal de Patagonia.

Llama la atención la circunstancia de que el batolito andino, en su disposición no se circunscribe del todo a los límites de las zonas tectónicas; estando situada principalmente en la cuenca principal mesozoica, penetra también en muchos lugares en la zona de la cordillera litoral.

Tampoco está ligado especialmente el batolito con la inversión particular, por cuanto se manifiesta mejor en la parte sur de los Andes, donde no existe la inversión local.

Los Andes representan una zona de volcanismo muy intenso, el cual empezó al fin del Paleozoico y se ha manifestado casi sin interrupción hasta el presente, pues hay hoy día en los Andes gran cantidad de volcanes activos.

De esta manera, la historia magmática de los Andes es original y muy intensa. Sobre los posibles motivos de tan fuerte intensidad de los fenómenos magmáticos en los Andes, el autor escribió en otro lugar (1, 2), relacionando tales motivos con la influencia del proceso de la

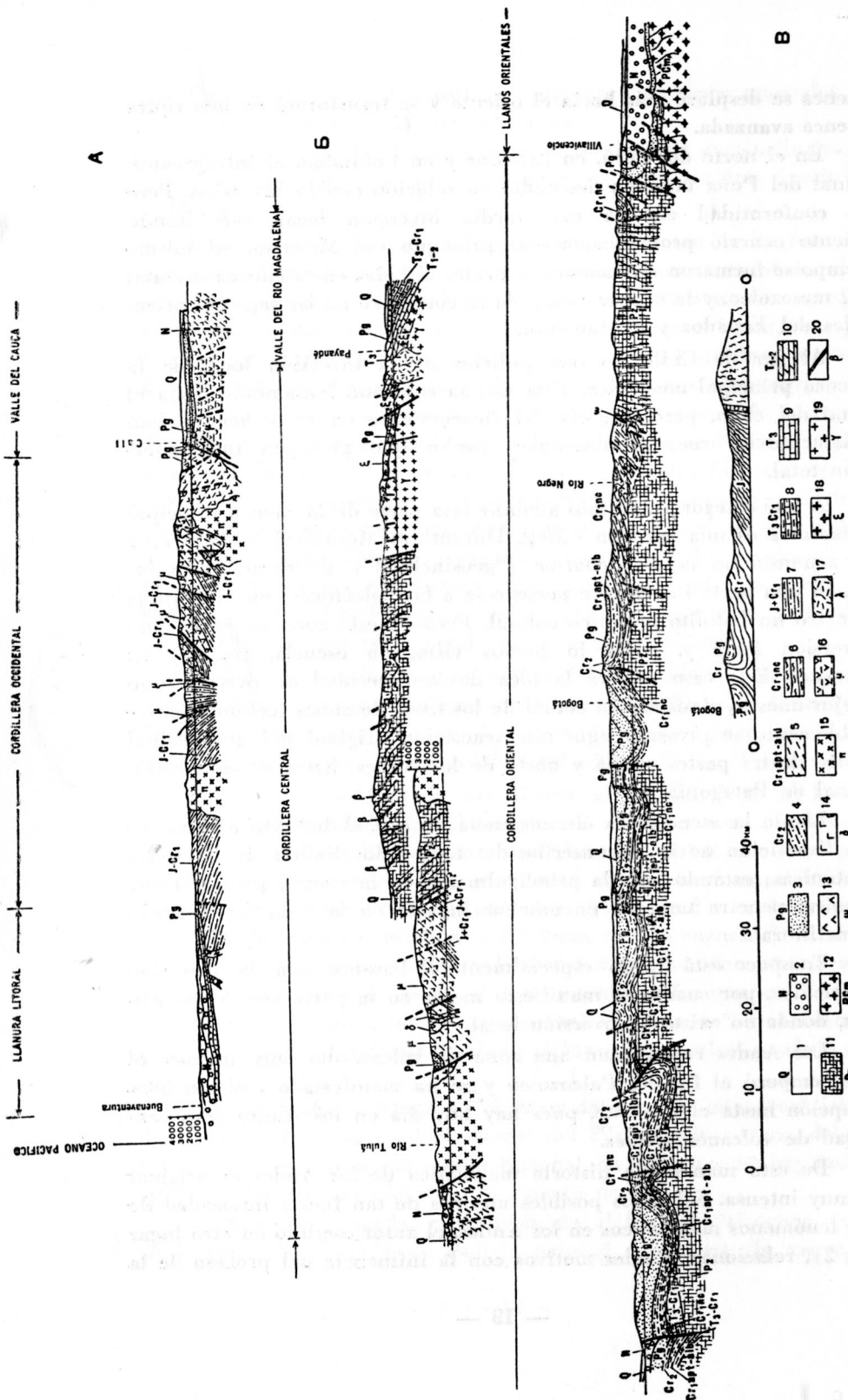


Fig. 2. — Perfil a través de los Andes Colombianos, elaborado en 1956 por E. Hubach, Nelson, Keiser. El perfil inferior elaborado por V. V. Belousov. — 1. Cuaternarios. 2. Neoceno. 3. Paleoceno. 4. Cretáceo superior. 5. Apiano y Albiano. 6. Neocomiano. 7. Jurásico-neocomiano, indiferenciados. 8. Triásico superior, Jurásico inferior, indiferenciados. 9. Triásico superior. 10. Triásico inferior y medio. 11. Paleozoico. 12. Precámbrico. 13. Andesitas neógenas y cuaternarias. 14. Riodacitas miocenas. 15. Intrusiones ácidas del Cretáceo superior y Paleoceno. 16. Diabasas y ultra básicas del Cretáceo medio y superior. 17. Intrusiones ácidas del Jurásico. 18. Rocas ácidas eruptivas del Pérmico. 19. Intrusiones ácidas del Paleozoico. 20. Diabasas paleozoicas.

formación del Océano Pacífico sobre los continentes circunvecinos. Es bien sabido que todo "el anillo volcánico del Pacífico" se distingue por un volumen enorme de magmas segregados.

Como un aspecto particular es necesario notar que en el momento del hundimiento del intrageosinclinal anterior del Puna, en relación con la inversión, se formaron sobre él unas fosas considerables, rellenas en la actualidad en parte por los sedimentos cretácicos y terciarios (en Bolivia) y en parte considerable por rocas volcánicas post-terciarias y cuaternarias (en Ecuador y Colombia). Esta complicación de los intrageosinclinales que se hundieron después de la inversión particular, por medio de fosas, representa regularmente un fenómeno más generalizado.

En los tiempos recientes, empezando con el Plioceno, los Andes se elevaron a una gran altura. Ella es especialmente grande en Bolivia, donde la antigua superficie de nivelación (Altiplano) se encuentra elevada hasta los 4.000 m.

El levantamiento del Altiplano es tan reciente, que la antigua superficie de nivelación solo ha empezado a ser atacada por la erosión, en grado insignificante, principalmente en los bordes. La enorme superficie del Altiplano constituye una llanura desierta, cubierta de pedruzcos y guijarros, y solamente en la lejanía la encierran las cimas de las cordilleras orientales y occidentales, que se elevan sobre ella de 1 a 1,5 km. aproximadamente.

La elevación reciente del Altiplano debe atribuirse a la categoría de los fenómenos unificados bajo la denominación de actividad tectónica.

Antes de la inversión, el Altiplano fue un intrageoanticlinal, pero después de la inversión llegó a ser una cuenca marginal y una elevación tan grande en su periferia parece ser anormal, si se la considera dentro del desarrollo normal geosinclinal.

La reciente elevación se extendió también a la zona situada al sur del Altiplano, en la pendiente oriental de los Andes, en el noroeste de Argentina. Es la continuación meridional del macizo del Puna, donde éste progresivamente se proyecta oblicuamente fuera de los límites de los Andes contemporáneos. Como ya se señaló, en esta zona los sedimentos mesozoicos fueron deformados solamente por los movimientos de las dovelas, y los sedimentos terciarios llenan las fosas.

Evidentemente, es necesario relacionar la descomposición de esta zona en dovelas, y los desplazamientos verticales de éstas, con la mencionada elevación reciente del Puna, es decir, con la actividad tectó-

nica. Se insinúa una estrecha similitud entre esta parte de los Andes y el Tian Chan.

En los Andes hay muchas rupturas tectónicas fuertes, al parecer en forma de fallas verticales, las cuales dividen este macizo montañoso en dovelas separadas, elevadas y hundidas unas con relación a otras.

De estas rupturas, como se acabó de mencionar, hay una cantidad particularmente grande en la zona del Puna. Pero la división en bloques aislados, desplazados en dirección vertical, es característica también para la cordillera litoral. Las costas actuales del Océano Pacífico deben su configuración al sistema de rupturas grandes y pequeñas. La red complicada de las rupturas determina la morfología actual de la Tierra del Fuego y también de una fila de macizos montañosos en el norte de Colombia. A lo largo de las rupturas se presentan en los Andes cadenas de volcanes activos y extinguidos.

Para terminar, citemos algunas impresiones de la visita a regiones de Chile, sometidas a las destructivas sacudidas sísmicas del 21 y el 22 de mayo de 1960.

Según se estableció por las observaciones sísmicas, este terremoto fue provocado por desplazamientos de la falla que se encuentra en el océano y se extiende paralelamente al litoral en una extensión de 700 km., desde la ciudad de Concepción en el norte, hasta la isla de Guafo en el sur.

La primera sacudida ocurrió el 21 de mayo en la parte norte de esta falla y provocó destrucciones relativamente pequeñas en la ciudad de Concepción. Mucho más catastrófico fue el segundo golpe, el 22 de mayo, si puede llamarse golpe en ese día el desplazamiento, que había empezado en la parte norte de la falla, y se propagó con la velocidad de una ola elástica hacia el sur, hasta la extremidad meridional de la fisura tectónica. Esta última fue de esta manera, como si dijéramos, progresivamente descosida en una extensión de muchos cientos de kilómetros.

Grandes desastres causó el "tsunami", que se produjo en relación con este golpe. El autor estuvo en Saavedra, pequeña ciudad en la desembocadura del río Caután. Esta ciudad fue destruída completamente, después de que el nivel del mar bajó un poco, lo que habitualmente precede a los "tsunami", una ola de 10 m. de altura saltó sobre la ribera con una velocidad de 600 km. por hora. La ola penetró por el valle en el interior del país hasta 3 km., y luego refluyó. De los

edificios de la ciudad quedaron solamente los cimientos. Felizmente el número de víctimas humanas fue reducido (7 personas), puesto que la población, que tenía ya una experiencia de los anteriores "tsunami", se refugió en las colinas vecinas tan pronto como se dio cuenta de la amenazadora baja del nivel del mar. Actualmente, la población vive en casas prefabricadas, construídas bajo la protección de la elevación litoral. Debido al "tsunami" cambió la configuración de la desembocadura del río Caután. La antigua desembocadura fue rellenada por la arena, y el río se abrió una nueva salida al océano a través de un banco de arena, transformando una parte de éste en un isla.

En relación con los terremotos ocurrieron elevaciones y hundimientos de la superficie terrestre. En la figura 1 se ve cómo están dispuestos a lo largo de la orilla. La amplitud de las elevaciones en el norte y el sur de la zona destruída (en la península Arauco y en la isla Guafo) alcanza 2 metros. En la parte media de la misma zona ocurrió un hundimiento que es particularmente fuerte en la región de la ciudad de Valdivia, donde el autor pudo ver los efectos del hundimiento. A juzgar por las observaciones en las rocas ribereñas, la amplitud del hundimiento alcanzó 2 metros. Pero a lo largo del valle del río Calle Callo, probablemente a consecuencia de la compresión de los sedimentos aluviales blandos en el momento de la sacudida, la amplitud visible del hundimiento es mayor, llegando a más de 3 metros. En la ciudad de Valdivia bajaron mucho las calles contiguas al río, y ahora en el tiempo del flujo, el agua llega hasta los umbrales de las casas. Bajo el nivel del agua se encuentran los malecones, las construcciones del amarradero y el ramal del ferrocarril. Indicios del hundimiento se observan valle arriba hasta una distancia de 60 km. del océano. En los límites de esta zona se pueden ver campos inundados por el agua, y postes telegráficos que emergen del agua.

Valdivia sufrió grandes destrucciones. En las montañas hubo unos deslizamientos considerables y se formaron nuevos lagos, cuyas aguas ya se han retirado. Sin embargo, las informaciones de prensa en las que se afirmaba que a causa del terremoto empezaron a funcionar gran cantidad de volcanes, resultaron ser falsas. Es posible que un volcán efectivamente hubiera aumentado su actividad, pero la relación de este fenómeno con el terremoto no está demostrada.

BIBLIOGRAFIA

1. BELOUSOV, V. V. — *El desarrollo de las tierras y la tectogénesis*. La Geología Soviética, 1960, Nº 7.
2. BELOUSOV, V. V. — *Las cuestiones principales de la geotectónica*, ed. 2. Edición Técnica Geológica del Estado, 1962.
3. GERTH, G. — *La Geología de los Andes*, 1959.
4. *Bosquejo de la geología de Suramérica*, 1959.
5. SCHATSKI, N. S. — *De las dislocaciones profundas que circundan plataformas y regiones de los pliegues* (región del Volga y del Cáucaso), 1948.
6. AHLFELD, F., BRANISA, L. — *Geología de Bolivia*. La Paz, 1960.
7. *Bibliografía de la Biblioteca del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos sobre geología y geofísica de Colombia*. 2ª ed., Bol. Inst. Geofísico de los Andes Colombianos, Ser. C-Geol., 1957, Nº 6, Bogotá.
8. *Catálogo de publicaciones de la Dirección Nacional de Geología y Minería*. Dir. Nac. Geol., Minería. Buenos Aires, 1960.
9. CECIONI, G., y GARCÍA, F. — *Observaciones geológicas en la cordillera de la costa de Tarapacá*. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1960, Nº 6.
10. *Compilación de los estudios geológicos oficiales en Colombia*. Serv. Geol. Nac., Bogotá, 1960, t. IX.
11. CRISTI, Y. M. — *Contribución al conocimiento geológico de la cordillera de la costa de la zona central*. Minerales, 1960, Nº 69, Santiago.
12. GIEHM, C. K. — *Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central*. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1960, Nº 8.
13. GRANJA, J. — *Bosquejo de la geología del Ecuador*. Quito, 1957.
14. HARRISON, Y. V. — *Some mountain structures with special reference to Central Perú*. Soc. Geol. Perú, 1956, t. 30, pt. I.
15. LE-BERT, L. A. — *Geología de los Andes de Chile Central*. Provincia de Aconcagua. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1960, Nº 9.
16. PETERSEN, B. U. — *Structure and uplift of the Andes of Peru, Bolivia, Chile and adjacent Argentina*. Soc. Geol. Peru, 1957, t. 33.
17. RASMUS, Y. E. — *Movimientos orogénicos y epirogénicos en el Perú*. Soc. Geol. Perú, 1957, t. 32, pt. II, pp. 253-254.
18. SAUER, W. — *El Mapa Geológico del Ecuador*. Quito, 1957.
19. SEGERSTROM, K. — *Carta geológica de Chile. Cuadrángulo Los Loros*. Provincia de Atacama. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1959, vol. I, Nº 1.
20. SEGERSTROM, K., y PARKER, R. L. — *Carta geológica de Chile. Cuadrángulo Cerrillos*. Provincia de Atacama. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1959, vol. I, Nº 2.
21. SEGERSTROM, K. — *Carta geológica de Chile. Cuadrángulo Quebrada Paipote*. Provincia de Atacama. Bol. Inst. Invest. Chile, 1960, vol. II, Nº 1.
22. SEGERSTROM, K. — *Carta geológica de Chile. Cuadrángulo Llampos*. Provincia de Atacama. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, 1960, vol. II, Nº 2.
23. SEGERSTROM, K., DE VALENZUELA, B. L., y MEHECH, S. — *Carta geológica de Chile. Cuadrángulo Chamonate*. Provincia de Atacama. Bol. Inst. Invest. Geol. Chile, vol. II, Nº 3.
24. THOMAS, H. — *Geología de la cordillera de la costa entre el valle de la Zigna y la cuesta de Barriga*. Bol. Inst. Invest. Geol., 1958, Nº 2.