

# Paradigma de los pronósticos sísmicos en Chile Central

## Paradigm of seismic forecasts in Central Chile

M. Araneda<sup>1</sup>  
A. Araneda<sup>2</sup>  
M. S. Avendaño<sup>3</sup>

*Recibido el 15 de enero de 2021; 17 de noviembre de 2021*

### Resumen

Los terremotos y sus efectos en el territorio de Chile han sido estudiados y analizados desde la llegada de los españoles a América en el año 1575. Dichos fenómenos se deben principalmente a la ubicación geográfica de Chile Central asociada a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Esta situación ha generado una serie de terremotos de gran magnitud que han afectado la zona central y su litoral, en algunos casos acompañados de maremotos devastadores.

La mayoría de estos procesos tectónicos son desconocidos por la población por lo que siempre ha sido de gran interés el estudio de los parámetros que los originan y sus efectos. Estudios tendientes a poder pronosticar dichos eventos considerando la problemática que se tiene en determinar su génesis.

Actualmente la mayor parte del conocimiento de los efectos que producen los terremotos son aquellos que han sido registrados y observados posteriormente de haber ocurrido los eventos sísmicos.

Ninguna de las hipótesis antiguas y actuales que se tienen sobre el origen de los terremotos ha podido resolver el problema de la predicción de estos eventos telúricos, dentro de períodos de tiempos razonables. Actualmente la mayoría de medidas que se tienen para enfrentar los efectos de los terremotos tiene su origen en el análisis detallado de las observaciones superficiales y las rupturas tectónicas profundas, características que en cierta medida han permitido determinar la génesis del movimiento. Este conocimiento ha permitido mejorar la normativa de

<sup>1</sup> Servicios Geofísicos en Minería e Ingeniería (SEGMI), Santiago, Chile, correo electrónico: [segmi@netexpress.cl](mailto:segmi@netexpress.cl)

<sup>2</sup> Servicios Geofísicos en Minería e Ingeniería (SEGMI), Santiago, Chile, correo electrónico: [aaaneda@segmi.cl](mailto:aaaneda@segmi.cl)

<sup>3</sup> Servicios Geofísicos en Minería e Ingeniería (SEGMI), Santiago, Chile, correo electrónico: [segmi@netexpress.cl](mailto:segmi@netexpress.cl)

construcción de obras civiles en general y los protocolos para abandonar áreas de alto riesgo ante tsunamis.

En el presente se han escrito y publicado una serie de artículos relacionados con el pronóstico de los terremotos asociados a la subducción de la placa de Nazca en Chile Central, basados en parámetros estadísticos. Las conclusiones son siempre las mismas, que existe un peligro sísmico que en alguna área puede ocurrir. Los más osados dan hasta fechas de ocurrencia. Si la instrumentalización geofísica no ha permitido pronosticar eventos sísmicos destructivos y otros asociados a la dinámica de fallas, es poco probable que estudios estadísticos puedan realizar un pronóstico confiable.

Palabras clave: *sismología, tectónica.*

## Abstract

Earthquakes and their effects in the territory of Chile have been studied and analysed since the arrival of Spanish conquerors in America in 1575. Such phenomena are mainly due to the geographic location of Central Chile associated to Nazca plate subduction under South American plate. This situation has resulted in a series of major earthquakes affecting the central zone and its coastal area, in some cases accompanied by devastating tsunamis.

Most of these tectonic processes are unknown by the population so it has always been of great interest to study the parameters that originate them and their effects. Studies tending to be able to predict these events, considering the problems that exist in determining their genesis.

Currently, most of the knowledge of the effects produced by earthquakes are those that have been recorded and observed after the seismic events have occurred.

None of the ancient and current hypotheses about the origin of earthquakes have been able to solve the problem of predicting these telluric events, within reasonable periods of time. Currently, most of the measures taken to face the effects of earthquakes have their origin in the detailed analysis of surface observations and deep tectonic ruptures, characteristics that to a certain extent have allowed determining the genesis of the movement. This knowledge has made it possible to improve construction regulations for civil works in general and the protocols for abandoning high-risk areas in case of tsunamis.

At present, a series of articles have been written and published related to the prediction of earthquakes associated with the subduction of the Nazca plate in Central Chile based on statistical parameters. The conclusions are always the same, that there is a seismic risk of an earthquake occurring in some area. The most adventurous even give dates of occurrence. If the geophysical instrumentalization has not allowed to predict destructive seismic events and others associated with fault dynamics, it is unlikely that statistical studies can produce a reliable prediction.

Key words: *seismology, tectonics.*

## Introducción

Actualmente la predicción de los terremotos es un objetivo latente y lejano de solucionar. En el presente se han estado investigando algunas técnicas relacionadas con la prevención de los terremotos, sin embargo ninguna ha tenido resultados ni el éxito esperado.

La historia de cómo se ha ido desarrollando el saber del origen de los terremotos es bastante extensa. Se destaca que las investigaciones de la génesis de los terremotos tiene su origen hace miles de años, incluso las primeras hipótesis provienen de la mitología. Posteriormente aparecen los filósofos griegos los que asignaron a causas naturales el origen de los terremotos. Se mencionan teorías generadas por Demócrito (siglo IV A.C.) y Anaxímenes (siglo V A.C.) las que se alejan de toda realidad. Se destacan los estudios realizados por Wilsdorf y Schmidt (1981).

La teoría que se mantuvo durante largo tiempo fue la propuesta por Aristóteles (384 A.C.). Esta proponía que las causas de los terremotos se detonaban por la salida súbita de aire caliente desde el interior de la Tierra, el cual se encontraba atrapado en su interior.

Chile Central (Figura 1), ubicado en las proximidades del contacto entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, origina frecuentemente sismos de gran magnitud  $M_b > 7$ . Este hecho han generado gran interés y a su vez preocupación

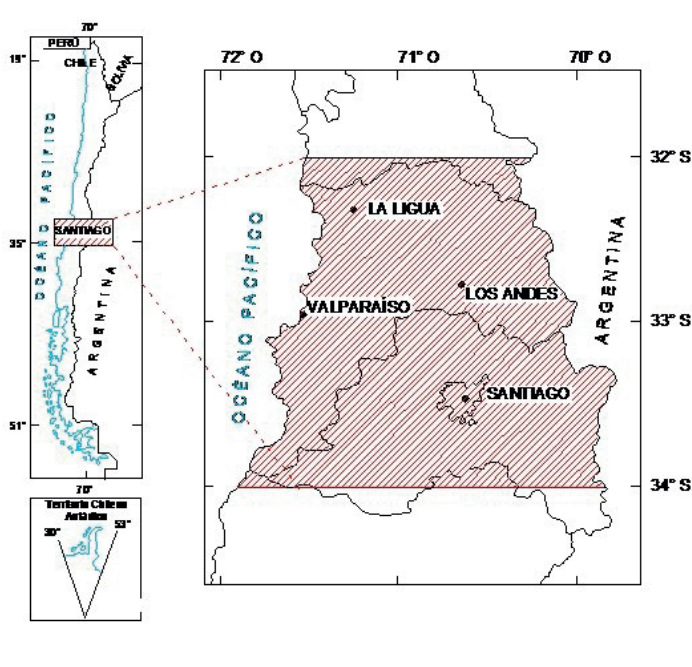


Figura 1. Plano general de Chile Central.

en los profesionales relacionados con la sismología, en buscar metodologías que permitan anticiparse a estos eventos telúricos, sin embargo esta tarea no ha sido fácil debido a que dichos movimientos presentan parámetros físicos diferentes en su génesis y trayectoria.

Actualmente el historial sísmico ocurrido en la zona de Chile Central ha permitido determinar períodos de retorno que varían en decenas de años.

Algunos autores que se pueden mencionar son Nishenko  $82 \pm 6$  años, Comte  $83 \pm 9$  años, Kausel  $82 \pm 7$  años. Valores que entregan un promedio de recurrencia de 84.5 años, valores que no son suficientes como pronósticos serios.

Normalmente los métodos estadísticos y probabilísticas que se utilizan para la predicción de terremotos consideran la ubicación del área esperada del evento, su magnitud histórica, el tiempo de ocurrencia y el origen de ellos. La hipótesis en la cual se basa una predicción solo ha logrado predecir el sitio y la magnitud no así el tiempo esperado de su ocurrencia, parámetro que tiene un mayor impacto social considerando que no se tiene el tiempo necesario para tomar medidas preventivas adicionales al evento sísmico.

## Marco estructural de los Andes

La placa de Nazca subducta bajo la placa sudamericana con una velocidad de 6.2 cm/año en el sector de Chile Central, tasa determinada mediante el advenimiento del sistema GPS Kendrick *et al.* (2003). Este hecho ha constituido un factor favorable para estudiar los procesos tectónicos, tales como la actividad sísmica, el magmatismo de la tierra y el desarrollo de las fosas oceánicas.

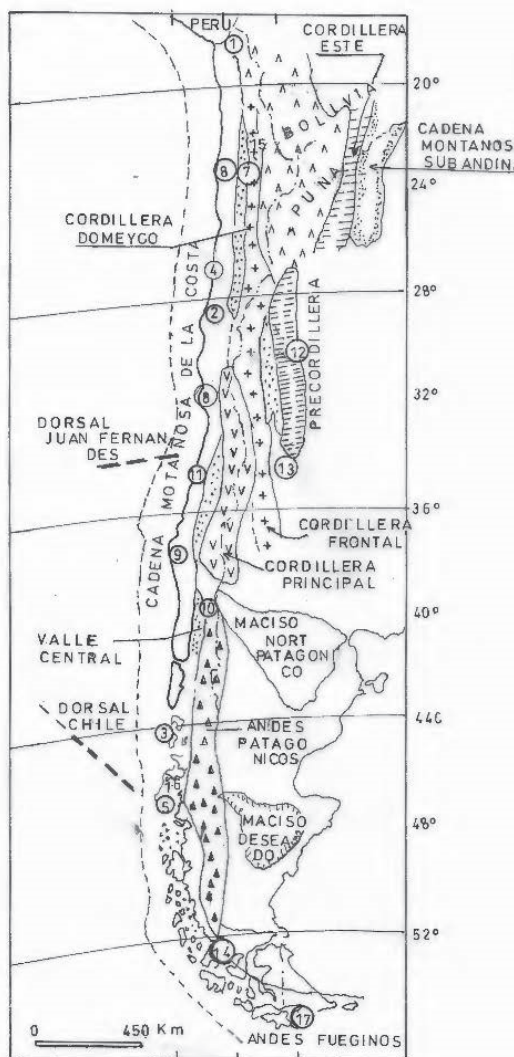
La interacción antes descrita permitió la generación de la cordillera de los Andes debido a los procesos que se extienden desde el Paleozoico, situación que generó un registro de las Cordillera relacionado con cambios geológicos producidos por la interacción de la placa oceánica con la continental. Los principales efectos geotectónicos generados por esta corresponden a arcos magmáticos, antearcos, cuencas sedimentarias, metamorfismo y deformaciones.

Esta secuencia de características tectónicas han sido modelada conceptualmente determinándose un margen activo en la región de los Andes desde el comienzo del Paleozoico, Figura 2.

Estas características morfoestructurales y estructurales del área estudiada se caracterizan por la presencia de la cordillera de la Costa en el margen continental, para continuar con el Valle Central el cual está limitado por áreas montañosas.

Al oriente de esta área se distinguen tres cadenas montañosas de este a oeste, a las cuales se les denomina, cadena principal, frontal y precordillera. Se destaca que la cadena montañosa denominada cordillera frontal está compuesta por una unidad morfoestructural con dirección noreste cuyas rocas tienen origen Paleozoico superior y drenaje continental ubicadas solamente en territorio chileno al norte de la latitud  $28^\circ \text{S}$ .

Al sur aparece un cordón montañoso el cual termina en los Andes Patagónicos ubicados entre las latitudes 40 °S a 52 °S aproximadamente. Los Andes fueguinos están compuestos por bloques de fallas con basamento cristalino de edad Proterozoica los que están expuestos entre las latitudes 28 °S-33 °S y comparte la actividad volcánica plutónica, último tectonismo Paleozoico.



**Figura 2.** Elementos morfoestructurales de los Andes chilenos-argentinos.

1. Belen, 2. Chñaral, 3. Archipiélago Conos, 4. Toco, 5. Golfo de Penas, 6. Huentelauquen, 7. Limón Verde, 8. Mejillones, 9. Cordillera Nahuelbuta, 10. Panguipulli, 11. Pichilemu, 12. San Juan, 13. San Rafael, 14. Sarmiento, 15. Sierra Morena, 16. Taitao, 17. Tortuga (Herve, F. *et al.*).

Localmente Chile Central está compuesto por la cordillera de los Andes al este, el valle central y la cadena montañosa de la Costa al oeste. Los Andes están compuestos principalmente por rocas estratificadas, sedimentarias marinas y continentales plegadas y falladas en sistemas de rumbo norte-sur. Estas rocas están intruidas por plutones granodioríticos del Terciario superior.

El valle central está compuesto principalmente por sedimentos del Cuaternario, pequeños afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico, formaciones afectadas por fallamientos de rumbo noreste.

## **Antecedentes de terremotos históricos**

### ***Terremoto del 17 de mayo de 1575***

De acuerdo al criterio anteriormente expuesto, Lomnitz (1971) le asigna al sismo ocurrido el año 1575 una magnitud de 7.5 en la escala de Richter. De esta misma forma y basados en narraciones habría ocurrido otro sismo similar al del año 1582. Estos eventos constituyen la primera señal de la alta sismicidad asociada a la zona de Chile Central.

### ***Terremoto del 13 de mayo de 1647***

La destrucción originada por este terremoto se dejó sentir entre el río Choapa en el norte y el río Maule en el sur. Según la historia este terremoto fue situado en el continente, Lomnitz (1971). Posteriormente el mismo autor el año 1983 rectifica la ubicación de la zona de ruptura, ubicándola en la parte más superficial del plano de Wadati-Benioff entre la fosa marina y la costa.

### ***Terremoto del 8 de julio de 1730***

Este terremoto ocurrió frente a Valparaíso afectando también en forma significativa a la ciudad de Santiago, la magnitud de este evento fue de  $8\frac{3}{4}$  aproximadamente, además fue acompañado de un maremoto que desoló las costas de Valparaíso. La discusión que provocó este evento está relacionada con la zona de ruptura, que según Kelleher (1972) habría abarcado una zona de 350 a 450 km y según Nishenko (1985) ubica la zona de ruptura entre  $31^{\circ}\text{S}$  y  $34^{\circ}\text{S}$  aproximadamente 330 km. Posteriormente Comte et al (1985) propone una zona de 550 km la que se estima exagerada si se considera que con este valor la zona de ruptura se superpone con las zonas de ruptura investigadas anteriormente. Solo 21 años después Kausel E. (1986) determinó la zona de ruptura que actualmente se utiliza en sismología.

### ***Terremoto del 19 de noviembre de 1822***

Este terremoto produjo un maremoto con olas de 4 m de altura aproximadamente. Se destaca que gran parte de los efectos generados por este sismo fueron

entregados por relatos proporcionados de María Graham, visitante en Valparaíso en esa época. Dentro de estas notas cuenta que se observaron alzamientos de la costa de 1.2 m en Valparaíso y 0.9 m en Quintero. Lomnitz (1971) estima la magnitud en 8.5. El maremoto generado no produjo daños en Valparaíso y la intensidad en la escala de Mercalli fue estimada en VII a VIII en Santiago.

Gran parte de las observaciones realizadas en terreno provienen de estimaciones dadas por lugareños de la zona afectada, dentro de ellas las más importantes fueron los solevantamientos producidos en la desembocadura del río Rapel y la zona de ruptura en la cual la latitud 32 °S a 34 °S dado por Comte *et al.* (1985).

### ***Terremoto del 17 de agosto de 1906***

El epicentro de este terremoto se produjo costa afuera de Valparaíso. Su intensidad aproximada fue de VIII y el maremoto no generó daños de consideración. Se observaron solevantamientos en la costa que fluctuaron entre 0.4 a 0.8 m en Pichilemu al sur y Quintero-Zapallar, en Los Vilos y en Pichidangui se observaron alzamientos en la costa no evaluados. En Valparaíso se observaron alzamientos del orden 0.6 m. La zona de ruptura no fue definida, pero se estima que se produjo entre Los Vilos y Llico abarcando 330 km aproximadamente. La magnitud fue de 8.2 según Kausel (1985). El período de retorno a la zona se le asigna 82+6 años.

### ***Terremoto del 3 de marzo de 1985***

Este evento fue el último ocurrido en la secuencia de los sismos históricos de la zona de Chile Central. Este sismo permitió obtener la mayor cantidad de información de los parámetros físicos observados antes y después de haber ocurrido el evento, Figura 3. Estos comenzaron con el registro del primer sismo precursor cuya magnitud fue 4.7, ocurrido el 21 de febrero de 1985, sentido en el litoral entre San Antonio y Algarrobo, seguido posteriormente por ocho sismos cuya magnitud mayor fue de 4.5, Comte *et al.* (1985). Además se identificaron un total de 360 sismos cuya magnitud fue mayor de 3.0 entre el período del 21 al 28 de febrero. Posteriormente Algermissen y Kausel (1985) basados en la sismicidad precursora identificaron la posible zona de influencia, asociándole una dimensión de 50 km x 50 km costa afuera frente a Valparaíso y Algarrobo, zona que correspondería posteriormente a la ubicación del sismo principal donde se iniciaría la ruptura del probable terremoto.

El epicentro del sismo principal ocurrido el 3 de marzo de 1985 fue ubicado a 33.13 °S, 71.87 °O según el NEIS (*Nacional Earthquake Information Service*, Estados Unidos). Según Kausel (1985) consideró que la precisión de la ubicación del sismo principal fue producto de dos sismos superpuestos en el tiempo, tomando en cuenta la escasa distancia que los separó.

El mecanismo focal según NEIS correspondió a una falla inversa de bajo ángulo con rumbo N 20 °O y manteo 10 °E-NE con deslizamiento de acuerdo a la máxima pendiente, asociada al ángulo de inclinación del plano de subducción en dicha zona.

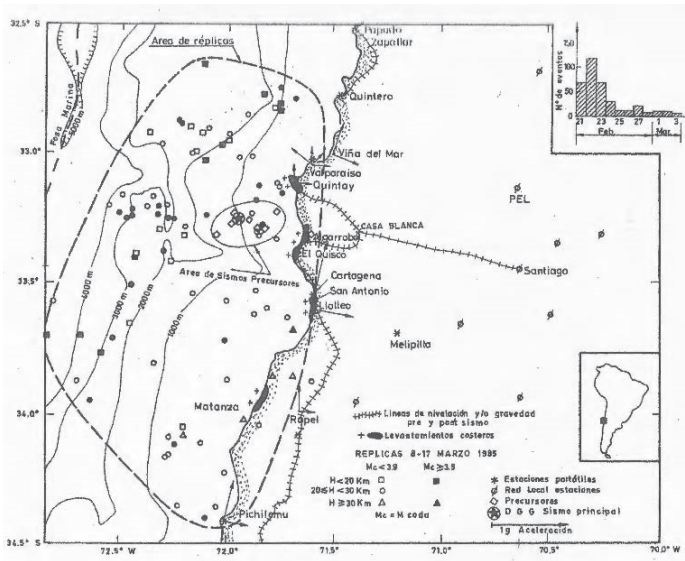


Figura 3. Sismo del 3 de marzo de 1985. Área de sismos precursoros y replicas. Figura tomada de Comte et al. (1985).

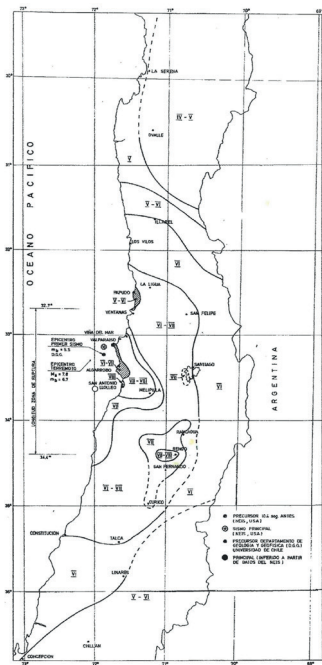


Figura 4. Isosistas del terremoto del 3 de marzo de 1985.



Considerando la posición relativa del epicentro del terremoto respecto de la superficie total de dislocación se concluyó que la ruptura se propagó principalmente de norte a sur unos 100 a 130 km, deteniéndose aproximadamente al llegar a la latitud 34.4°S. Esta dirección de ruptura explica la asimetría de las curvas isosistas que se extendieron más hacia el sur que al norte según Kausel (1985) (Figura 4).

En cuanto a las intensidades observadas entre la costa y la fosa marina, llamó la atención el desplazamiento de las curvas isosistas hacia el sur-este de la zona de ruptura que se explica por la dirección de propagación de la ruptura de norte a sur, pero el factor más importante fue la calidad del suelo. Por ejemplo las variaciones fueron observadas entre San Antonio y Cartagena los cuales tienen suelos diferentes.

## Nivelación y gravedad

El parámetro de deformación tectónica se obtuvo durante el proceso observado antes y después de haber ocurrido el evento cerca de la zona de ruptura. Esta particularidad se permitió detectar la existencia de líneas de nivelación de primer orden entre Papudo y Pichilemu, y líneas entre San Antonio-Algarrobo-Casablanca y Santiago. Se destaca que parte de las líneas de nivelación habían sido realizadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Este proceso permitió en parte constatar los sollevamientos entre Santiago, San Antonio, Casablanca y otras líneas medidas más al sur y al norte del área de interés sísmico.

La primera deformación observada después del sismo fue aquella ubicada entre San Antonio y Algarrobo (30 y 40 cm) respectivamente.

Importa mencionar que las primeras deformaciones fueron observadas mediante cambios de la gravedad en un pilar ubicado en San Antonio, el cual fue usado como base fundamental para las líneas antes mencionadas, Araneda, M. *et al.* (1985).

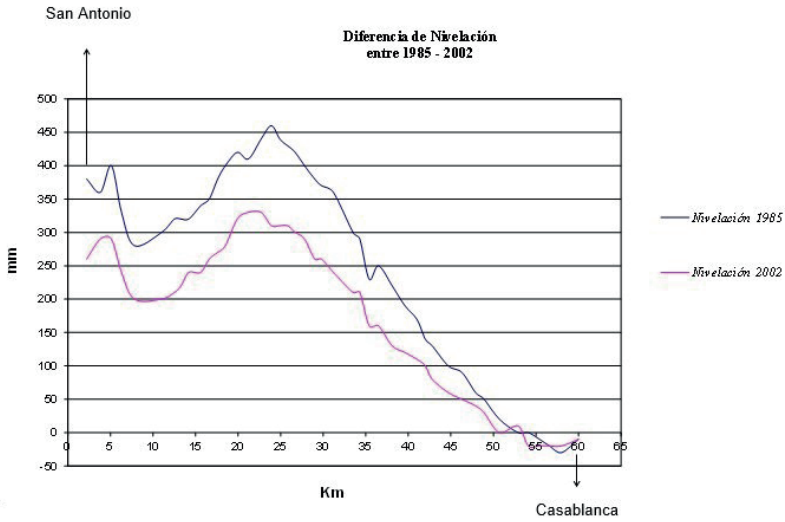
El análisis de los datos obtenidos entre los años 1982 y 1985 muestra que los valores de la gravedad disminuyeron 150 microgales en San Antonio, 75 microgales cerca de Algarrobo. Adicionalmente se detectaron variaciones cercanas a los 5 a 10 microgales en Casablanca, Araneda M., Avendaño M. S. (2006).

El proceso de acomodo del tectonismo de las deformaciones mediante los métodos geodésicos y geofísicos marca una tendencia que correlaciona de buena forma las nivelaciones de 1er. orden, Figura 5 y los valores de la gravedad, Figura 6.

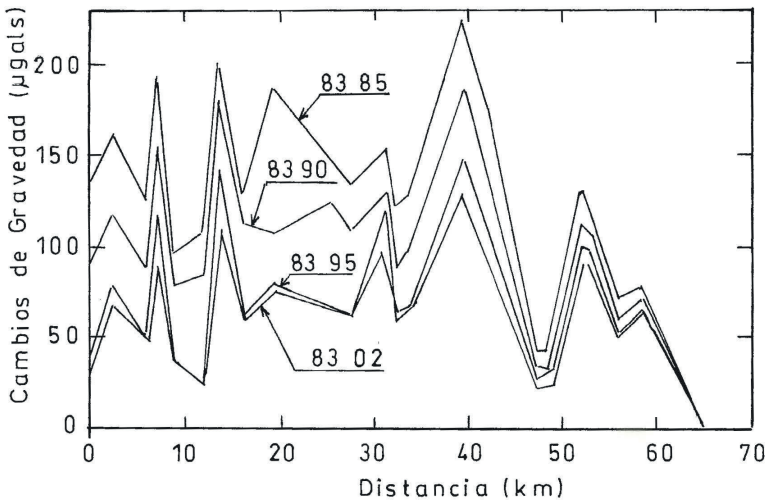
Adicionalmente la deformación cortical central parece haber inducido un cambio de nivel relativo del agua entre los extremos del lago Rapel de algunos centímetros en ambos sentidos NO-SE, datos procesados por Barrientos (1985).

Las mediciones continuas de las deformaciones producidas por los terremotos probablemente permitan reconocer el tiempo de relajación de las tensiones de dichos eventos. Las deformaciones corticales co-sísmicas normalmente bajo el agua son recuperadas en el tiempo por fluencia del material astenosférico situado bajo la litosfera, estos movimientos post-sísmicos y pre-sísmicos

producen deformaciones pre-sísmicas y co-sísmicas más alejadas de las placas, complementando de esta forma el ciclo intersísmico, Kausel (1985).



**Figura 5.** Variación de altura registrada en los años 1985 y 2002, tomando como referencia el año 1981 respecto al terremoto de marzo de 1985.



**Figura 6.** Variación de gravedad en el tiempo.

Las deformaciones experimentadas en el fondo marino en el sector de Valparaíso produjeron un pequeño maremoto que fue registrado en dichas costas, el cual habría tenido una altura máxima de 1.5 m. Adicionalmente se habría registrado en los mareógrafos de Iquique, Antofagasta y Caldera con alturas de 0.3 m. Finalmente se habrían registrado en los mareógrafos lejanos en el océano Pacífico, según Kausel (1985). Estos valores se muestran en Tabla 1.

Tabla 1

Guayaquil	15 cm
Papeete	10 cm
Hilo Hawai	48 cm
Honolulu	3 cm
Kushiro	10 cm
Adak, Alasca	12 cm
Kodiak, Alasca	4 cm

## Periodo de recurrencia

El historial sísmico de Chile Central ha sido afectado por los terremotos ocurridos en los años 1575, 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985. Esta secuencia ha sido estudiada por diversos autores determinándose diferentes períodos de retorno de dichos eventos y definiéndose probables zonas de ruptura para los mismos eventos, lo que es mucho más complejo y poco exacto, Tabla 2.

Tabla 2

Autor	Período de retorno
Comte, D. <i>et al.</i>	83±9 años
Kausel E. <i>et al.</i>	82±7 años
Pardo M. <i>et al.</i>	86±4 años
Nichenko <i>et al.</i>	82±6 años
Sauter F.	84±5 años

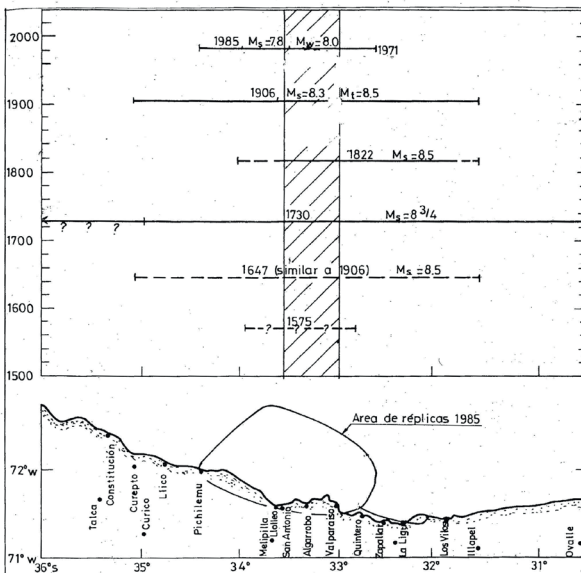
Comte *et al.* (1985) al analizar las dimensiones y efectos de los terremotos ocurridos entre los años 1575 y 1985, llegaron a la conclusión que un período de recurrencia tan regular de algo más de 80 años para sismos considerables en la zona de Chile Central, no concuerda con una razón de acumulación constante de tensiones y deformaciones generadas por el movimiento de la subducción de aproximadamente 6 cm/año de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, ya que períodos de recurrencia constante implicarían sismos de tamaño constante.

Para resolver esta contradicción es necesario buscar modelos de ruptura algo distinto a los mecanismos clásicos de los ciclos sísmicos que predominan actualmente en esta zona.

Se debiera considerar como datos de entrada de dichos modelos, a) la velocidad de convergencia de la placa de Nazca y Sudamericana no puede ser sino constante dentro del corto período de 400 años de conocimiento de los terremotos en la zona (1575-1985) y que, b) el período de recurrencia entre sismos sea extremadamente regular ( $82 \pm 6$  años), la Figura 7 muestra ocho longitudes de ruptura "L" de la secuencia de grandes sismos de acuerdo a Comte *et al.* (1985). Se observan grandes diferencias en L. Sin embargo es interesante observar que hay una zona común de ruptura para todos ellos.

Esta zona de ruptura común se ubica entre las latitudes  $33^\circ\text{S}$  y  $33.5^\circ\text{S}$ , frente a Valparaíso y Algarrobo. Además en esta zona se ubica la iniciación de la ruptura del sismo de 1985, mediante los sismos precursoros ocurridos dos semanas antes y probablemente lo fue también para el sismo de 1906 debido a que Gutenberg y Richter estiman que el epicentro estuvo en la latitud  $33^\circ\text{S}$  y  $72^\circ\text{O}$ .

La Figura 7 muestra el diagrama espacio temporal de grandes terremotos en la zona de Chile Central, las líneas horizontales representan longitudes de ruptura "L". Las flechas indican que L se extiende más allá de los márgenes de la figura. Los asteriscos muestran la ubicación de inclinación de la ruptura (epicentro). Sismos de magnitud  $7.0 < M_s < 7.5$  con L desconocida aparece como círculos. Las magnitudes Richter (onda superficial) de Knamori (a partir de momento sísmico  $M_s$  y de Abe a partir de la altura de las olas del tsunamis.



**Figura 7.** Diagrama espacio-temporal de grandes terremotos en la zona de Valparaíso.

Generalmente la iniciación de la ruptura de un terremoto importante se produce por una aspereza considerable de la resistencia cuando la tensión local

supera un cierto nivel  $k$ . Una vez iniciada la falla se propaga hasta encontrar una barrera. Esta barrera puede ser una heterogeneidad o un cambio en la geometría de la subducción. También la propagación de la ruptura puede detenerse por que se ha llegado a una zona en que las tensiones se han relajado previamente a raíz de un gran sismo ocurrido en una zona vecina.

## Conclusiones

El estudio de la génesis y los efectos posteriores que generan los terremotos son de particular importancia. Esta inquietud se origina desde tiempos antiguos (Aristóteles siglo V A de C), teniendo directa relación con la dinámica de la tectónica del planeta tierra.

En la actualidad dicho interés no ha disminuido considerando la importancia que sería contar con expertos y capacidad técnica para pronosticar y prevenir terremotos en la tierra.

El análisis de los terremotos históricos ocurridos en la zona central de Chile permitió obtener información valiosa sobre la génesis y sus efectos, principalmente por relatos escritos de personas que vivieron esos movimientos telúricos antiguos y mediciones instrumentales realizadas en los eventos más nuevos en especial el terremoto de 1985. Dentro de las observaciones superficiales se destacan los daños observados en la infraestructura de cada época, desplazamientos verticales del terreno, zona de ruptura superficial y comportamiento de mareas en zonas costeras.

Se destaca el esfuerzo científico que se realizaron previo y posterior a la ocurrencia del terremoto de 1985, dentro de los cuales se distingue el control de líneas gravedad en pilares de nivelación realizados por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La precisión de las lecturas fue de 0.02 miligales tomados con 2 gravímetros LaCoste Romberg.

Se recomienda además realizar mediciones del nivel estático en aguas de sondajes profundos, estudio de la sismicidad precursora en áreas catalogadas como sísmicas, estudios de la calidad de los suelos ante el paso de las ondas S y P (ReMi y Nakamura).

Actualmente con la información disponible que se tiene de la génesis y su desarrollo de los procesos dinámicos de los terremotos, todavía no es posible predecirlos, el motivo es claro. Estos eventos son totalmente diferentes en otras palabras cada terremoto presenta variable propias, por lo tanto no tienen un comportamiento homogéneo.

De todas formas los datos que se obtienen son considerados como información física valiosa para conocer la génesis y evolución de los terremotos aun cuando todavía falta bastante tiempo para poder pronosticar dichos eventos.

## Referencias

- Algermissen, T., Kausel, E. (1985). *El sismo de marzo 1985, Chile*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Auspicio Grupo CAP.
- Araneda, M., Avendaño, M. S. y Kausel, E. (1989). Determinación de los parámetros del terremoto del 3 de marzo de 1985 a partir de la distribución de las deformaciones superficiales. *5tas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica 1*, Santiago, 303-310.
- (2010). Observaciones gravimétricas y nivelaciones en el proceso del terremoto del 3 de marzo de 1985, Chile. *Revista Geofísica*, 62.
- Baranzangi, M., Isack, B. I. (1976). Spatial distribution of earthquake and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology*, 4, 686-692.
- Barrientos, S. (1988). *Slip distribution of the 1985 central Chile earthquake; Deformation process in the Andes*. Freie Universitat, Berlin.
- Comte, D., Lorca, E., Eisemberg, A., Pardo, M., Ponce, L., Saragoni, R., Singh, S., Suarez, G. (1986). *The central Chile earthquake of 3 March 1985; Repeat of the great Valparaiso earthquake of 1906*.
- Darwin, C., (1851). *Geological observation on coral reefs, volcanic island and on South America being the geologist of the voyage of Beagle under the command of captain Fitz Roy R.N. during the years 1831-1836*. London, 768 pp.
- Herve, F., Godoy, E., Miguel, A. P., Ramos, V., Rapela, C., Mpodozis, C. Davinson, J., (1987). A general view on the Chilean-Argentine Andes with emphasis on their early history. *Circum Pacific Orogenic Belts and evolution of the Pacific Ocean basin. Geodynamics series*, 18.
- Graham, M. (1824). *Diario de mi residencia en Chile en el año 1882*. Maria E. Martínez y Javiera Palma (trads.). Grupo Editorial Norma.
- Kausel, E. (2005). *Proceso sísmico, parámetros focales y réplicas del sismo del 3 de marzo 1985*. Auspicio Acero Comercial S. A. Empresa del Grupo CAP.
- Kelleher, J. (1972). Rupture zone of large South American earthquake and some prediction. *J. Geophy Res*, 77, 2097-2103.
- Lomnitz, C. (1971). Grandes terremotos y tsunamis en Chile durante el período 1535-1955. *Geofísica Panamericana*, 1, 151-178.
- Montessus de Ballore (1911). *Historia sísmica de los Andes Meridionales*. Biblioteca Nacional.
- Pardo, M., Comte, D., Eisemberg, A. (1985). Secuencia sísmica de marzo de 1985. *Gaceta de los Investigadores del Ambiente*, 1, 1-11.
- Plafker, G. (1985). *Geological reconnaissance of the March 3 1985 Chile earthquake. Published report*.