



## **Análisis comparado de dos megaterremotos chilenos: Valdivia (1960) y Cauquenes (2010)**

REINALDO BÖRGEL OLIVARES<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Profesor de Geomorfología, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Santiago, Chile.  
e-mail: rborgel@geo.puc.cl

Referirse al análisis científico de dos grandes terremotos es un tanto pretencioso, dado que el examen de estos eventos aún está en proceso de análisis. Se trata de situaciones complejas, en las que cada evento sísmico aporta nuevos conocimientos sobre el comportamiento del planeta, en materia de tectónica.

Lo que sí es posible hacer, es un análisis comparativo de dos sismos que ya tienen un lugar destacado en la historia sísmica mundial.

En primer lugar, se trata de dos eventos con una gestación, desarrollo y consecuencias diferentes y con características específicas que le otorgan individualidad propia.

En 1960 el desgarró sísmico cubrió unos 1.200 Km. de extensión, entre Concepción por el Norte y la Península de Taitao por el Sur. Fueron tres eventos, localizados en Concepción, isla de

Chiloé y Valdivia con Magnitudes Richter 7.5, 7.5 y 8.5 respectivamente, con numerosas réplicas todas superiores a Magnitud 6.5 (ver Figura 1).

Estas Magnitudes fueron posteriormente corregidas por Hiroo Kanamori (20 de mayo 2010), investigador del laboratorio Sismológico del Instituto Tecnológico de California, en Pasadena al estimar que en sismos cuya ruptura excede a la longitud de las ondas sísmicas que se usan para determinar la propia magnitud, se produciría una saturación que impide establecer con precisión la cantidad de energía liberada. Aplicando una nueva fórmula para grandes terremotos, la corrección para el sismo del 22 de mayo en Valdivia otorga Magnitud de 9.5, lo que convierte este terremoto en el más grande del siglo, superando al de Alaska en el año 1964 con  $M=9.2$ , Chile (1966) con  $M=8.2$  y San Francisco (1906) con  $M=7.9$ .

Recientemente, el terremoto que afectó a Chile el 27 de Febrero de 2010 tuvo una  $M=8.8$  y el ocurrido el 11 de Marzo de 2011 en las ciudades de Fukushima y Sendai, en Japón, tuvo una  $M=8.9$ .

*deducciones teóricas hasta el 22 de Mayo de 1960, fecha en que se produjo un terremoto en Chile que no solo ocasionó un gran maremoto a través de todo el Pacífico hasta Nueva Zelanda y el Japón, sino que sacudió el globo entero como si se tratara de una campana”.*

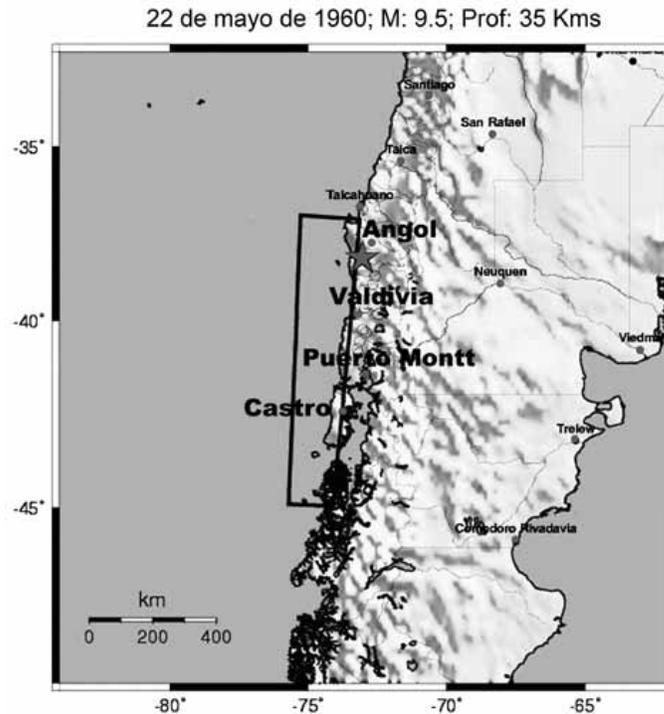


Figura 1. Mapa indicando el territorio afectado durante el terremoto de Valdivia del 22 de mayo de 1960, Región de Los Ríos, Chile. El epicentro es marcado con una estrella y las zonas más afectadas se presentan enmarcadas en el rectángulo. El mapa fue elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) (ver agradecimientos).

Ronald Fraser (1966) en su obra “La Tierra, el Mar y la Atmósfera” hace mención respecto del terremoto de Valdivia, refiriéndose a la capa de baja velocidad de Gutenberg situada entre los 60 y 150 Km. de profundidad (Fraser 1960, pág. 36):

*“la zona de Gutenberg permaneció, sin embargo, en el terreno de las*

El terremoto de Valdivia demostró la existencia real de la capa de mínima viscosidad y alta plasticidad, hoy llamada zona de Gutenberg, donde se originan los grandes movimientos de la corteza terrestre (ver Figura 2).

Las consecuencias post terremoto perduran hasta el día de hoy, en efecto, un hundimiento tectónico superior a

1.5 metros afectó toda la zona litoral y siguiendo el curso de los ríos locales de la cuenca del río Valdivia, afectó todo el valle central. Deslizamientos de tierras represaron el río San Pedro, emisario del lago Riñihue, que formó un gran lago que amenazó con anegar la ciudad de Valdivia, al romperse dicha represa. La represa estaba formada por lodos limo-arcillosos de origen lacustre y cuyo origen, curiosamente databa de un anterior terremoto, ocurrido en 1575 en la misma zona del terremoto de 1960. La característica tixotrópica de los sedimentos generó una forma de cubeta en el río San Pedro.

jaban ver en algunos centímetros las cercas y alambradas que separaban las propiedades rurales; las depresiones locales permanecieron inundadas por largo tiempo constituyendo zonas para el hábitat de aves migratorias.

El tsunami que siguió al sismo entre 15 a 30 minutos después, tuvo una duración de varias horas, con una altura media de 6 metros, las olas invadieron toda la zona costera arrasando con caletas como Mehuin, al Norte de Valdivia, mientras que la morfología costera, con roqueros y alturas menores hacía crecer la altura de la ola,

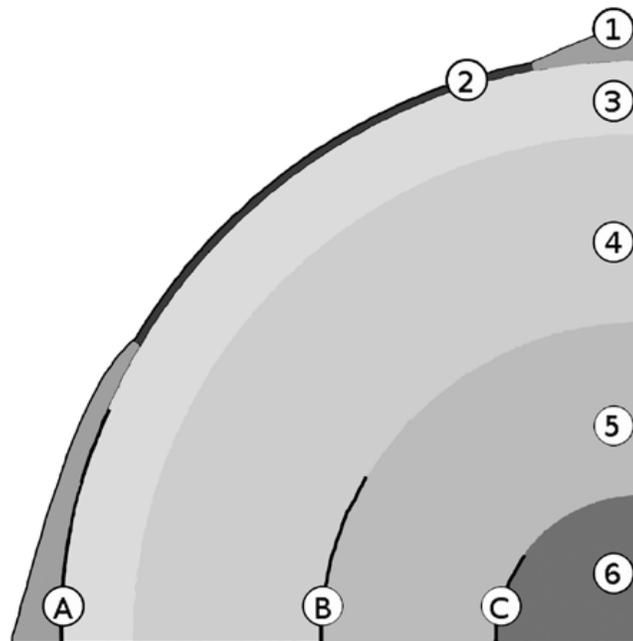


Figura 2. Vista interior de la Tierra indicando: 1) Corteza continental, 2) Corteza oceánica, 3) Manto superior, 4) Manto inferior, 5) Núcleo externo, 6) Núcleo interno, A) Discontinuidad de Mohorovicic, B) Discontinuidad de Gutenberg, C) Discontinuidad de Lehmann. El diagrama fue elaborado por Dake y se encuentra bajo licencia genérica de Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5

Al recorrer la cuenca del río Valdivia, los campos inundados solo de-

dejando testimonios en los fuertes de Corral hasta de 14 metros de altura. Al

igual que Mehuin, la caleta de Queule desapareció. El tsunami removió la barra instalada por el río Valdivia en su desembocadura lo que hizo posible el ingreso de barcos de la Armada hasta el mismo embarcadero de la ciudad, prestando ayuda a los damnificados.

A raíz del hundimiento tectónico la depresión situada en la desembocadura del río Cruces fue ocupada por el mar, al ingresar este por el curso inferior del río Valdivia, formándose el estuario que lleva su nombre. Esto obligó al río Cruces a retroceder su desembocadura unos 10 Km. al interior, lo cual inició un proceso de sedimentación al interior del estuario; por otra parte, las mareas que ingresan al estuario lo hacen a una velocidad mayor que la velocidad del retiro, lo que crea un mecanismo fatal para la contaminación ambiental, ya que, el mar ingresa material de desecho industrial, pero no tiene capacidad para moverlos de regreso al océano. En este proceso colabora toda la cuenca de Valdivia.

Con o sin intervención humana, el caso del estuario del río Cruces, nacido a raíz del terremoto de 1960 es irreversible desde el punto de vista ambiental. Este estuario se convertirá en el futuro en un pantano y otros gases ocuparán el ambiente subaéreo; entre otros el gas metano.

Los efectos sobre la población del terremoto de 1960 afectó a más de 2.5 millones de personas, 450.000 viviendas dañadas, de las cuales un 10%

quedó destruida, a lo largo de 600 Km. en el eje Norte Sur, carreteras, puentes y viaductos dañados, más de 1.000 personas muertas, principalmente por el tsunami.

La economía nacional retrocedió en un 12% del PGB lo que, para la época representaba el 50% del presupuesto de la nación.

Esta imagen descrita para los terremotos de 1960 en la zona comprendida entre los 37° y 45° de latitud Sur es muy diferente del terremoto ocurrido el 27 de Febrero de 2010.

El terremoto del 27 de Febrero de 2010 ocurrido a las 03:34 hrs de la madrugada de un día sábado, debería denominarse “Terremoto de Cauquenes”, considerando a esta ciudad como la zona más afectada en daños. Lamentablemente aún no se dispone de la información completa sobre este evento, ya que la sismología es una ciencia que, para analizar un terremoto requiere de muchos análisis posteriores al evento para certificar las características geofísicas en todos sus detalles. No hay que olvidar que cada terremoto de magnitud mayor entrega nuevas enseñanzas a la sismología y estos dependen de correlaciones matemáticas fundadas en principios logarítmicos complejos. Los sismólogos que son muy prudentes en sus afirmaciones no han divulgado resultados o conclusiones, más bien, han detectado nuevas variables. Por lo tanto, es aventurado informar de conclusiones sobre este reciente evento,

destacando solo algunas diferencias geográficas con el ocurrido en el año 1960.

En primer lugar, la ruptura fue menor, solo unos 350 Km. extendiéndose con las réplicas hasta unos 500 Km.

La población afectada supera los 10 millones de habitantes ya que es la parte central y costera del territorio que

Concepción, Valparaíso, Rancagua, Talca y Curico (ver Figura 3).

Lo anterior trasciende a la economía regional, afectada en su producción, provocada por la destrucción de infraestructura y efectos en la actividad económica y servicios locales. El costo de la reconstrucción se ha calculado que sería cercano a los US 30.000 millones.

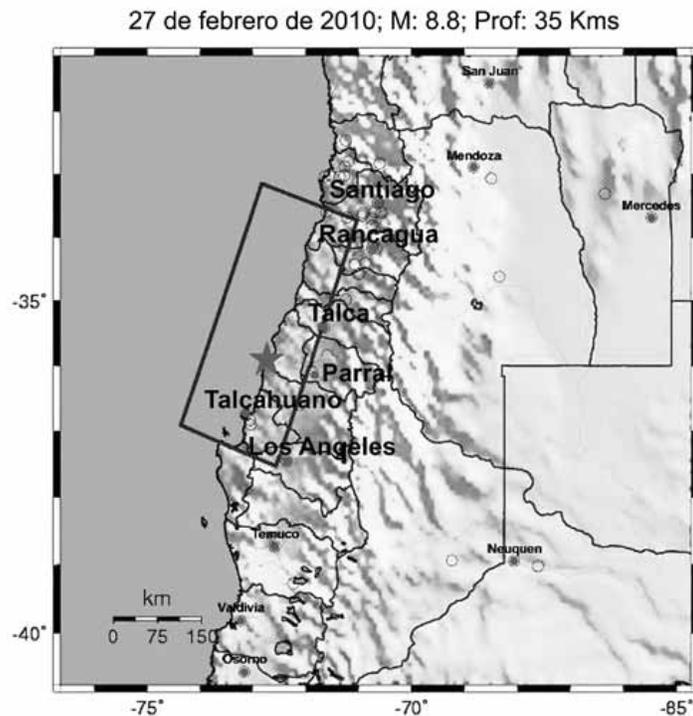


Figura 3. Mapa indicando el territorio afectado durante el terremoto de Cauquenes del 27 de febrero de 2010, Región del Maule, Chile. El epicentro es marcado con una estrella y las zonas más afectadas se presentan enmarcadas en el rectángulo. El mapa fue elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) (ver agradecimientos).

se encuentra más densamente poblado; en ella se encuentran las principales ciudades del país, incluyendo a la capital de Chile, Santiago, y otras como:

Otra diferencia se refiere a los efectos que el terremoto ocasionó con la agitación de las aguas marinas, las cuales ingresaron al litoral, pero con

características que no cumplen en rigor, las que se definen como tsunami (ver tabla 1).

esto fue solo un problema de falta de regulación estatal sobre la línea de edificación en un litoral expuesto a este

Tabla 1: Definición, manifestación y consecuencias físicas de algunos términos utilizados en este trabajo.

Concepto	Definición	Manifestación física	Consecuencias físicas
Marejada sísmica	Sistema de olas ingresando al continente como consecuencia de epicentros sísmicos cercanos.	Es un tren de olas que ingresa al continente con velocidades bajas de 30 a 40 Km/hora.	Inundación temporal del litoral y anegamiento de áreas pobladas por el hombre.
Tsunami	Gran ola producida por terremoto submarino o erupción volcánica. En Japón se denomina “ola de bahía”.	Del mar sobre la costa, alcanzando hasta 30 metros de altura en costas expuestas. En litorales cerrados por barras fluviales afecta la estabilidad de dichas barras.	Ruptura de la ola sobre la playa produce deformación del litoral y destrucción de obras hechas por el hombre.
Maremoto	Olas sísmicas causadas por hundimiento submarino o terremoto con hipocentro en el mar o en el continente.	Del mismo tipo que el tsunami, pero el ingreso de las aguas es con menor agitación y en oleadas sucesivas.	Igual que para el tsunami.
Estrán Marino	Zona de la playa submarina que alternativamente queda bajo o sobre la superficie de las olas de acuerdo al movimiento de las mareas.	Tiene efectos moderadores en la superficie de las playas alcanzando el mayor efecto con ocasión de altas mareas coincidentes con temporal en el mar.	Efectos destructivos en períodos de altas mareas equinocciales.

sensu Bates & Jackson 1983.

Más bien, se debería hablar de marejadas sísmicas, con ingreso de las aguas en forma de corrientes, sin presencia de olas de gran tamaño; debido a la morfología de la costa.

En zonas cercanas a la orilla en la línea de marea alta y debido a la ocupación humana, la destrucción aparece con características de desastre, pero

tipo de fenómenos naturales. Esto es un reflejo además, de la ausencia de educación y cultura sísmica por parte de las autoridades, lo que estimula a la población a ocupar espacios que no forman parte del continente y que el océano, alternativamente, ocupa o desaloja de acuerdo a las características de la tectónica local.

En Chile, dos tercios de la línea de costa aparecen sollevantadas y un tercio con tendencia al hundimiento.

#### COMPARACION DE AMBOS TERREMOTOS

Si se compara la actividad del mar entre el terremoto de 1960 con el de 2010, se pueden observar dos respuestas diferentes, para dos morfologías de desembocaduras semejantes. En 1960, las olas del tsunami que afectaron la desembocadura del río Valdivia desalojaron la barra de sedimentos que dicho río tenía en su llegada al mar. En 2010, la barra del río Maule ha permanecido y las aguas marinas no tuvieron la energía característica de grandes olas de tsunami para sacarla del lugar. El material audiovisual del evento así lo confirma.

Charles Mc Creery (04 de marzo, 2010), Director del PTWC (Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico), comentó: *“la magnitud de un sismo solo es indicador de la posibilidad de tsunami, pero no entrega información sobre el volumen de la ola”*. Alfredo Eisenberg, Ph. D. en Sismología, agrega: *“la definición de tsunami requiere un conocimiento profundo de sismología y un análisis sutil de lo que está aconteciendo”*. (Información en Diario El Mercurio 09 de Marzo de 2010).

En conclusión, en Valdivia (1960) hubo un tsunami; en la costa de

Cauquenes (2010) solo hubo marejadas de origen sísmico.

En cualquier caso, la destrucción provocada por el mar al ingresar a tierra firme fue desastrosa, considerando lo precario de las construcciones edificadas en zonas de playas y la ausencia de aviso oportuno sobre esta actividad en el mar.

Hay otros factores, como la morfología del “estrán” marino (ver Tabla 1), constituido por roqueríos que anteceden a la playa submarina y que, reducen la energía cinética de grandes olas, obligándolas a romper antes de llegar a la playa.

Lo anterior se combina con la apreciación hecha por sismólogos, en el sentido que hubo un sollevamiento del sector costero estimado en más de 1.5 metros (El Mercurio 23 de Marzo de 2010).

Respecto de otros aspectos que diferencian los terremotos de 1960 con el de 2010, es que no está claro a la fecha, si en el de Cauquenes fueron uno o más epicentros sísmicos los que tuvieron lugar. Si fue más de un terremoto, ello explicaría la discontinuidad en tiempo y lugar en que impactaron las aguas marinas sobre el litoral, cuestión que hasta el día de hoy, no ha sido resuelta.

Finalmente, en términos de relación entre calidad de suelos de fundación y efectos destructivos sobre edificios y casas, el terremoto de 1960

afectó un sector de costa donde la densidad poblacional se estableció en suelos originados en la sedimentación cíclica de suelos aluviales entremezclados con depósitos pelágicos de textura deltaica; este tipo de suelos de fundación son propensos a procesos de licuefacción cuando las sacudidas sísmicas desalojan napas de aguas contenidas en su interior, provocando en las construcciones asentamientos de sus fundaciones con movimientos rotacionales en diversos grados de inclinación.

En el caso del terremoto de 2010, esta condición de suelos se repite en el área de Concepción con un efecto adicional, la existencia de fallas geológicas de precario conocimiento a escala detallada, lo cual explica el colapso de edificios en altura.

En conclusión, no habría un terremoto igual a otro con efectos similares. Tampoco hay elementos definidos para calificar la actividad del mar en correlación con sismos de gran Magnitud, como tsunamis, maremoto o marejada sísmica. Solamente una detallada cartografía del ambiente litoral, incluyendo tanto el espacio continental como el marítimo, podría permitirnos identificar los sitios que en los próximos grandes sismos que vendrán, afecten la invasión del mar sobre el continente.

## CONCLUSIÓN FINAL:

Los mega terremotos de los años 1960 y 2010 son diferentes desde el punto de vista geográfico, sus efectos sobre el paisaje han sido opuestos: hundimiento del terreno en el año 1960, sollevamiento el 2010. Además en Valdivia hubo tsunami que afectó toda la cuenca del Pacífico, el 2010 solo hubo marejadas de origen sísmico sobre un litoral vulnerable al establecimiento humano.

Los expertos señalan que los modelos de pronóstico en materia de tsunami aún son limitados.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) por las figuras de dominio público incluidas en el presente trabajo. La página web del USGS es <http://www.usgs.gov>.

## BIBLIOGRAFÍA:

Bates, R.L. & Jackson, J.A. (1983). Dictionary Geological Terms. Instituto Geológico Americano. 3ra edición, Nueva York, USA.

- Brüggen, J. (1944). Contribución a la Geología sísmica de Chile. Imprenta Universitaria, Santiago, Chile. 132 pp.
- Fraser, R. (1966). La Tierra, el Mar y la Atmósfera. Iniciación a la Geofísica. Editorial Oikos-Tau, Barcelona, España. 153 pp.
- Gun-Bayer, F. (1951). Problemas de sismología, apartado de la Revista Universitaria. Universidad Católica de Chile, año XXXVI N°1 pp: 167-223.
- Illies, H. (1970). Geología de los alrededores de Valdivia y volcanismo y tectónica en márgenes del pacífico en Chile Meridional, 1970 Valdivia. Facultad de Ciencias Natural y Matemáticas. Instituto de Geología y Geografía. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 64 pp.
- Saint Amand, P. (1961). Observaciones e interpretación de los terremotos chilenos de 1960. Comunicaciones de la Escuela de Geología año 1 número 2, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Stanley, D & Karzulovic, J. (1961). Deslizamientos en el valle del río San Pedro, provincia de Valdivia-Chile. Apartado del volumen 18 de los Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Instituto de Geología. Publicación N°20, Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 108 pp.
- Weischet, W. (1960). Contribuciones al estudio de las transformaciones geográficas en la parte septentrional del sur de Chile por efecto del sismo del 22 de Mayo de 1960. apartado del volumen 17 de los Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Publicación N°15, Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

---

Revisor: Antonio Rivera H.

Revisado: Abril 2011; Aceptado: Mayo 2011