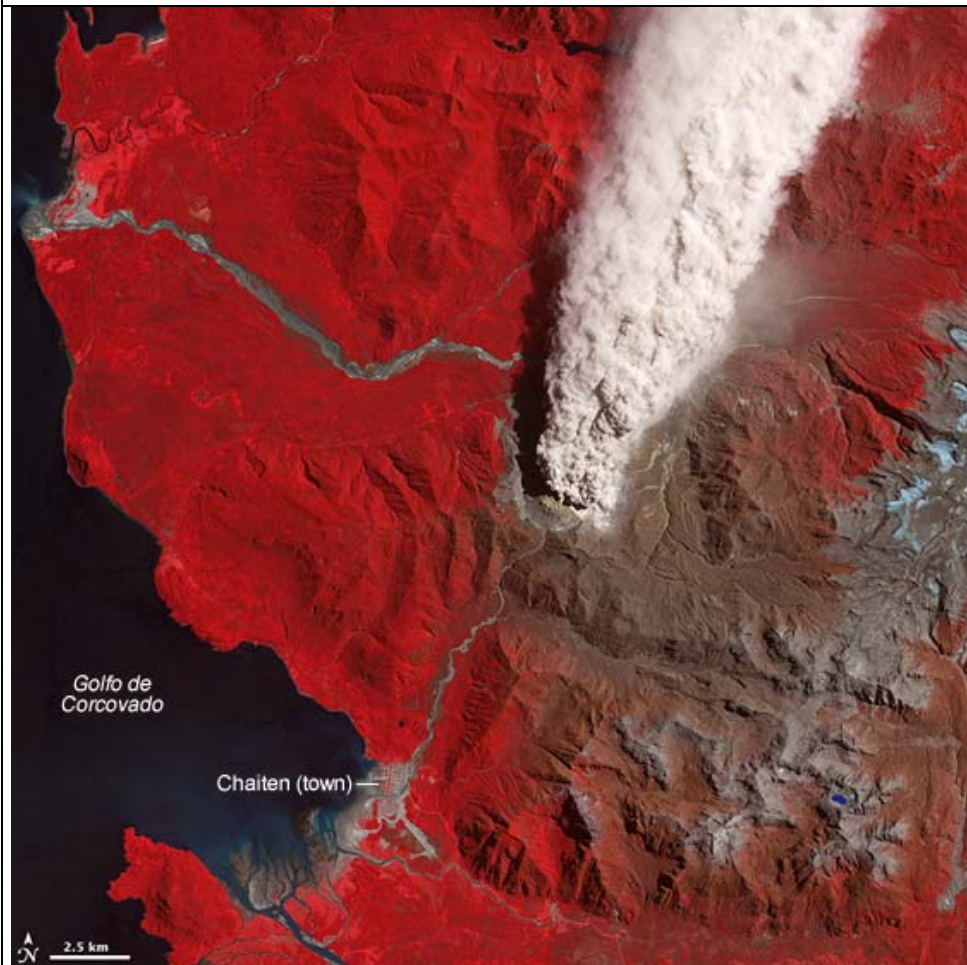


**REPRESAS Y TERREMOTOS
EFECTOS EN LAS CUENCAS PATAGÓNICAS**



MAURICIO FIERRO

* * * * *

MAYO - 2009

RESUMEN

Entre Argentina y Chile existe una larga línea fronteriza, y reiteradamente se menciona como una de las mayores del mundo, pero más allá de límites geopolíticos, existe una geomorfología común, única e indivisible, y activa telúricamente. Donde, todo lo que ocurra en ella desde un punto de vista tectónico, es compartido por ambos países y el planeta.

La cordillera de los Andes, forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, con cientos de volcanes, y una decena de ellos están ubicados en la Patagonia. Estos complejos volcánicos están activos y ligados a una falla geológica altamente peligrosa, denominada *Zona de Falla Liquiñe Ofqui (ZFLO)*. Esta falla es conocida pero muy poco estudiada, y se ha hecho tristemente celebre por la erupción algunos volcanes, especialmente el Volcán Chaiten y los daños causados a los habitantes de Argentina y Chile.

El ser humano y sus actividades industriales, han encontrado un nuevo nombre y culpable para cubrir sus responsabilidades, el *Calentamiento Global*. Este “efecto” que a su vez es una sumatoria de causas, está provocando un cambio climático evidente, pero a la vez una grave inestabilidad geológica y telúrica en el planeta, y la zona austral del continente sudamericano no es una excepción, especialmente entre los 38 y 45 grados de latitud sur, es decir la Patagonia, independiente del país. El incremento en un grado o más en la temperatura media ambiental, ha iniciado un efecto en cascada, provocando una serie de perturbaciones climáticas y ambientales, causando en la zona austral una tendencia hacia la sequía y disminución de caudales en las cuencas lacustres. Esto ultimo significa, una enorme pérdida de masa, que durante miles de años presionó la corteza terrestre, y se mantuvo en un estado de equilibrio, causando un nuevo ajuste de las fuerzas isostáticas corticales y por ende, fenómenos sismológicos y volcánicos.

Por otra parte, las actividades industriales corporativas sobre la corteza terrestre, especialmente los proyectos hidráulicos en las cuencas hidrográficas con presencia de fallas geológicas, están provocando terremotos debido a un fenómeno llamado Sismicidad Inducida, y de no mediar medidas correctivas e impedir estos proyectos, la recurrencia de movimientos telúricos aumentarán peligrosamente en un corto y mediano plazo, potenciado por el efecto del calentamiento global, con las consabidas pérdidas en vidas humanas, deterioro de las economías locales y valiosos ecosistemas australes.

La *Sismicidad Inducida*, provocada por el represamiento de cuencas lacustres y la minería intensiva, han provocado el incremento de terremotos en zonas que históricamente no tenía actividades telúricas. La corteza terrestre al sufrir cambios en las tensiones del subsuelo, inicia un proceso de estabilización de las masas y por ende movimientos tectónicos, que se traducen en fenómenos sísmicos (enjambres de temblores y terremotos).

Actualmente, una serie de proyectos de represamiento de ríos amenaza la Patagonia, y de concretarse alguno de estos proyectos, la estabilidad geológica futura de esta zona, está sentenciada a sufrir graves terremotos. La responsabilidad recae en las autoridades gubernamentales y políticas aquejadas de corrupción y por mentir a las comunidades; en las corporaciones por su codicia criminal y profitar sin respeto por la vida y el medio ambiente; y ***la estupidez de los ciudadanos por creer ingenuamente en que las autoridades dicen la verdad, y no en que la verdad es la autoridad.***

El presente trabajo, detalla en forma simple, la relación entre las represas y los terremotos, en una región donde se ubica una de las fallas geológicas o complejos volcánicos más peligrosos de planeta.

Mauricio Fierro, Mayo del 2009.

INDICE

RESUMEN	Pagina 2.
INDICE	Pagina 3.
1.0. Definiciones.	Pagina 4.
2.0. Antecedentes Generales de la Zona de Falla Liquiñe – Ofqui.	Pagina 6.
2.1. Ubicación Geográfica y Administrativa.	Pagina 10.
3.0. Vulcanismo y Movimientos Telúricos Patagónicos.	Pagina 12.
3.1. Patagonia Argentina.	Pagina 12.
3.2. Patagonia Chilena.	Pagina 15.
4.0. Volcán Chaiten. - Estudio de Caso.	Pagina 17.
4.1. Historia Volcánica y Dispersión de Cenizas.	Pagina 18.
5.0. Represas (definiciones).	Pagina 23.
5.1. Correlación Represas – Embalses - Terremotos.	Pagina 23.
6.0. Terremotos – Teoría Tradicional.	Pagina 29.
7.0. Terremotos – Visión Geológica Alternativa.	Pagina 32.
7.1. Isostasia.	Pagina 32.
7.1.1. Teoría de Prat.	Pagina 33.
7.1.2. Teoría de Airy.	Pagina 33.
7.1.3. Teoría Vening – Heinesz.	Pagina 34.
7.2. Presión Isostática.	Pagina 35.
7.2.1. Rebote Isostático.	Pagina 36.
7.3. Sismicidad Inducida por Actividades Humanas.	Pagina 37.
8.0. Teoría Alternativa.	Pagina 38.
8.1. Variable Hidrológica.	Pagina 39.
8.2. Factor Calentamiento Global.	Pagina 41.
8.3. Represas y Minería.	Pagina 43.
9.0. Conclusiones.	Pagina 45.
10.0. Bibliografía.	Pagina 48.

Imagen de Portada : Volcán Chaiten. Marzo 2009. Autor : NASA – Terra Aster. Image created by Jesse Allen, using data provided courtesy of NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, and U.S./Japan [ASTER Science Team](#). Caption by Michon Scott.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este documento tomo más de un año, en recopilación de información, lecturas varias y análisis generales, pero el tedio que pudo provocar, fue superado por el apoyo y amistad de mis amigos y miembros de GeoAustral, que más que una organización ecologista, es un Club de Quijotes del Medio Ambiente y un salón de Té Verde. A todos ellos deseo expresar mis sinceros agradecimiento y paciencia : Al Sr. José “Cheche” Contreras por su constante apoyo y amistad; A Rafael Manriquez por su versatilidad y risa; Horst George por su apasionado amor por la naturaleza; Angélica Ríos y su inubicable brújula, Katharine Allen por su apoyo y amistad a la distancia ; y Teofilo Martínez un pensador y amigo que todos extrañamos.

*Sinceramente
Mauricio Fierro.*

1.0. Definiciones

La terminología técnica utilizada en las ciencias de la tierra, normalmente provoca confusión en las personas que no son versadas en los temas afines, por ello en este ítem he seleccionado una lista básica de términos y definiciones lógicas, que permita al lector, entender adecuadamente el presente documento.

Atractor Extraño : Está representado por una trayectoria en el espacio de las fases donde pequeñas diferencias en las posiciones iniciales de dos puntos conducen, con el transcurso del tiempo o de la iteración matemática, a posiciones que divergen totalmente y que, por lo tanto, son impredecibles. Su estructura es muy complicada y tiene una dimensión fractal.

Bar : Unidad de presión, igual a la presión atmosférica terrestre a nivel del mar; 1 bar = 0.987 atmósferas = 101,300 Pascales = 14.5 libras/pulgada cuadrada = 100,000 Newtons por metro cuadrado.

Diaclasas : Grietas que se forma en una roca sin existir desplazamiento de los bloques situados a ambos lados de la misma.

Enjambres : Son episodios sísmicos que consisten en un gran número de eventos sin que haya alguno que sea bastante mayor que los demás. Son característico de zonas donde la corteza terrestre puede alcanzar altas temperaturas, como las volcánicas, geotérmicas y de creación de nueva corteza terrestre.

Espacio Fase : Espacio matemático constituido por las variables que describen un sistema dinámico. Cada punto del espacio de las fases representa un posible estado del sistema. La evolución en el tiempo del sistema se representa con una trayectoria en el espacio de las fases.

Falla : Es una fractura que separa dos bloques de rocas, los cuales pueden deslizarse uno respecto al otro en forma paralela a la fractura. A cada deslizamiento repentino de estos bloques se produce un temblor. Existen tres tipos de fallas: fallas de rumbo o transcurrentes, fallas normales y fallas inversas.

Fallas Transcurrente o de rumbo : Son fallas verticales o casi verticales, donde los bloques se movilizan en forma horizontal. Este movimiento puede ser de tipo lateral derecho o bien de tipo lateral izquierdo, dependiendo de la posición del observador.

Fallas normales : Son fracturas inclinadas con bloques que se deslizan en forma vertical principalmente. En este caso los bloques reciben el nombre de *techo* y *piso*, siendo el techo el bloque que yace sobre la fractura inclinada. Si el techo de la falla se mueve hacia abajo la falla es de tipo normal.

Falla inversa : Similar a la normal pero en posición contraria. Cuando el movimiento de los bloques es una combinación de movimiento horizontal y vertical se trata de una falla oblicua.

Fractal : Un fractal es un forma geométrica difícil de definir, pero sería “una figura que se repite a diferentes escalas” pero permanece sin cambio. Esta propiedad recibe el nombre de «autosemejanza». El termino fue acuñado por el Matemático Benoit Maldenbrot.

Maremoto : Es un terremoto ocurrido bajo el fondo marino, pero a veces se llama así (incorrectamente) a las olas, en ocasiones muy grandes, causadas por terremotos o maremotos, y cuyo nombre correcto es tsunami.

Rélicas : Pequeño temblor que ocurre después de un temblor grande.

Sismología : Es la ciencia que estudia todo lo referente a los sismos. La fuente que los produce (localización, orientación, mecanismo, tamaño, etc.), las ondas elásticas que generan (modo de propagación, dispersión, amplitudes, etc.), y el medio físico que atraviesan dichas ondas.

Sismo (del griego seiein = mover) : Correctamente llamado Seísmo y se refiere en términos cinético, a cualquier movimiento del terreno.

Tefra : Es el material expulsado a través de la columna eruptiva tras una erupción volcánica. Se trata de magma que se fragmenta, se expulsa y distribuye por el viento en forma de material suelto (a estos fragmentos, sueltos o compactados, de los que se compone se les denomina, propiamente, piroclastos, que, cuando su tamaño es mínimo, se convierten en ceniza). En erupciones violentas, la Tefra puede ser llevada a las altas capas de la atmósfera siendo transportadas por el viento y depositándose a miles de kilómetros. La lluvia de Tefra constituye el peligro directo de mayor alcance derivado de la erupciones volcánicas; puede provocar casos de: enterramientos; formación de una suspensión de partículas de grano fino en el agua y aire; transporte de gases nocivos, ácidos, sales y, en las cercanías, calor; incendios. La tefra seca y no compactada tiene densidades que varían entre 0.4-0.7 g/cm³; la tefra húmeda y compactada alcanza valores de densidad de hasta 1 g/cm³. *(Tomado de Wikipedia.org)*.

Temblor : Relativo a un sismo pequeño, generalmente local.

Terremoto : Se denomina así a un sismo de gran intensidad, que puede causar daños graves, a veces también se denomina macro sismo.

UMG : Ultimo Máximo Glacial - Durante el Pleistoceno se sucedieron ciclos asociados a drásticos cambios climáticos y glaciaciones de escala planetaria. El último de los intervalos en que el manto de hielo Glacial alcanzó un volumen máximo a nivel global es conocido como Ultimo Máximo Glacial, período que se desarrolló entre 30.000 y 17.500 años AP. Durante este período, en Chile, Glaciares andinos expandieron y formaron una cubierta de hielo continua desde los 35 a 56 grados de latitud sur.

2.0. Antecedentes Generales de la Zona de Falla Liquiñe – Ofqui.

Esta falla geológica, denominada técnicamente Zona de Falla Liquiñe – Ofqui (ZFLO), y totalmente desconocida por el común del ciudadano, y su existencia afecta directa o indirectamente a las comunidades del sur de Argentina y Chile, específicamente en la denominada Patagonia Norte y Patagonia Sur.

La literatura que trata el tema de las fallas tectónicas en la corteza terrestre, especialmente en Chile, es más bien didáctica, y no entrega información precisa sobre los efectos de estas en la vida de las personas o las comunidades que se han establecido en la zona centro sur de la cordillera de los Andes. Si se quiere información más técnica, obligatoriamente debemos recurrir a crípticos tratados o estudios de geología y vulcanología, pero que peculiarmente se ahogan en una vana terminología técnica, olvidando lo esencial, llegar a las comunidades y aportar conocimiento a escala pública.

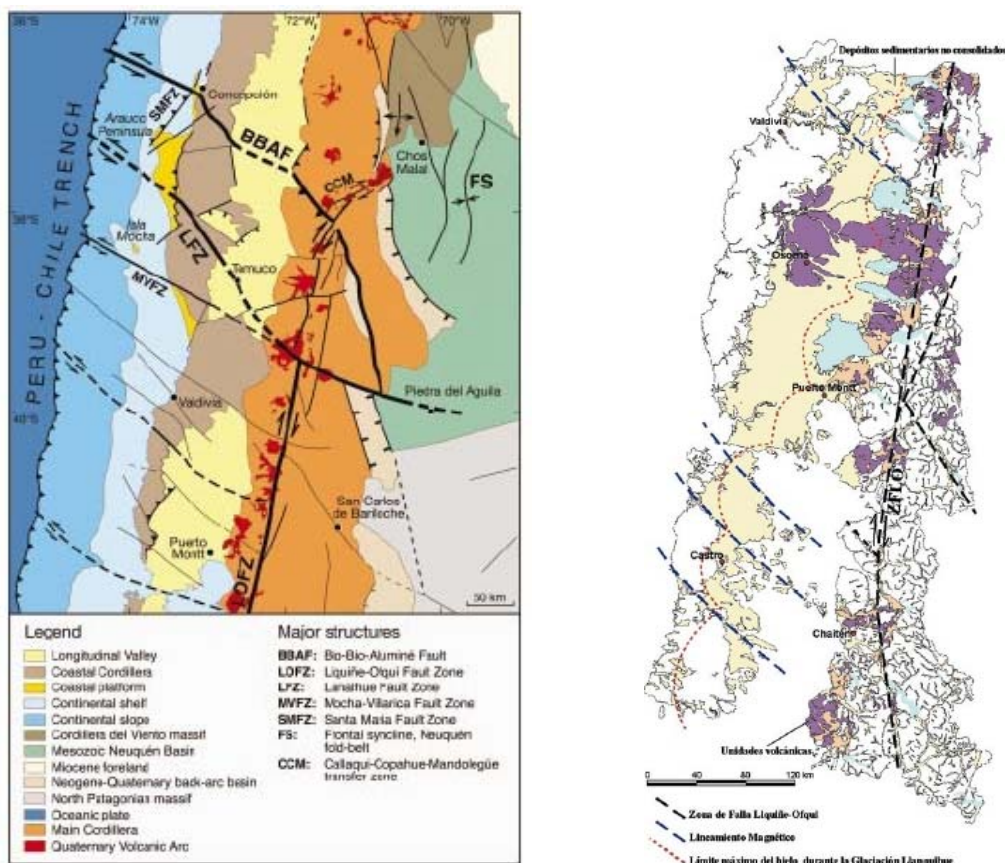
Básicamente la ZFLO, es una falla geológica, que nace en la zona de Liquiñe (Neltume), en zona preandina de la Región de los Ríos en Chile, y se prolonga por más de 1000 kilómetros de distancia en dirección sur, hasta la zona del Istmo de Ofqui en la Región de Aysen. A lo largo de esta falla se ubican los volcanes más activos de Chile, y a la vez es la fuente de constantes temblores y terremotos, que han aquejado la cordillera Nordpatagónica por cientos de miles de años. Los volcanes más destacados a lo largo de esta falla son: Puyehue, Llaima, Osorno, Calbuco, Hornopiren, Chaiten, Hudson, etc.

Históricamente esta falla si bien ha sido estudiada desde un punto de vista cinético y paleo geológico, el comportamiento tectónico, telúrico y consecuencias vulcanológicas, no ha sido medidos y documentados adecuadamente, y menos las incidencias en probables eventos catastróficos que afecten las sociedades humanas. La literatura técnica que menciona y trata el tema de la Falla Liquiñe Ofqui, no es muy extensa, y en este capítulo mencionaremos los más relevantes.

Uno de los primeros estudios “serios” sobre la estructura de esta falla fueron realizados por Hugo Moreno y M. Parada, en 1974, ambos pertenecientes al Instituto de Investigaciones Geológicas de la época, y por cargo de Endesa (cuando aún esta empresa era chilena). Este estudio nunca fue publicado y se denominó “*Geología del Área de Liquiñe, Neltume y Lago Pirehueico*”. Posteriormente, Miguel Herve, realiza una investigación más profunda de esta falla, a través del estudio denominado “*Estudio Geológico de la Falla Liquiñe – Reloncavi, en el área de Liquiñe, Antecedentes de un movimiento transcurrente (Provincia de Valdivia)*”, efectuado en el año 1976, y hecho público a través del Primer Congreso Geológico en agosto de 1976. Este proyecto de investigación estudio la falla, pero fue identificada parcialmente y hasta la zona del Estuario del Reloncavi. Se lee textualmente en un párrafo de este documento “*Como resultado del levantamiento Geológico realizado al este del área de Liquiñe. Sector nororiental de la zona de Valdivia, se confirmó la existencia de la traza de una falla de carácter regional con rumbo aproximado N10E. Esta estructura se ha reconocido con una extensión de unos 300 kilómetros*” (Herve, 1976).

Básicamente, los estudios realizado por Moreno y Herve, técnicamente están encaminados a realizar un perfil general de esta falla, pero desde un punto de vista del tipo de rocas y sus ciclos magmáticos, las unidades litológicas y estratigráficas, confeccionar un mapa geológico y establecer la estructura dominante de la zona cordillerana, además de determinar pequeñas fallas paralelas o perpendiculares a la mayor, pero no determinaron la relación entre esta zona de falla y los arcos volcánicos presentes a lo largo de esta, a pesar de las evidentes formaciones y correlación existente, entre el arco volcánico interno y la persistente actividad hidrotermal.

Posteriormente, en 1999, unos investigadores centran su atención en la parte más austral de la Falla Liquiñe – Ofqui, realizando un estudio denominado “*Transpresión dextral y partición de la deformación en la Zona de Falla Liquiñe – Ofqui, Aysen. Chile (44 – 45 °S)*”. Los autores, Gloria Arancibia (U. De Chile), José Zambrano (U. de Chile) y Alain Lavenue del Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex ORSTOM), determinan que el objetivo de este estudio es “*establecer el régimen tectónico y grado de partición de la deformación dentro de la ZFLO, mediante el estudio de la geometría y cinemática de la deformación frágil y dúctil, en el segmento expuesto entre los sectores de Puyuguapi y Puerto Cisnes en la región de Aisén*”. Luego, este mismo estudio, en su parte final, correspondiente al ítem conclusiones destaca “*En este trabajo, se documenta la existencia de importantes zonas de deformación dúctil y frágil, de carácter inverso, dentro de la ZFLO. Esta observación, unido al hecho que este sector de los Andes carece de faja plegada y corrida (Ramos, 1989; Ramos y Kay, 1992), sugiere que la convergencia oblicua ha sido acomodada dentro del arco magmático, y no mediante sobreescurremientos en la región de trasarco como ha ocurrido en los Andes Centrales (Jordan et al, 1983)*”.



En fechas más recientes, en el año 2001, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), publicó una investigación denominada “*Geocronología K-Ar y Geoquímica del volcanismo Plioceno Superior – Pleistoceno de los Andes del Sur (39-41 °S)*”, por los autores, Luis Lara, Carolina Rodríguez, Hugo Moreno y Carlos Pérez de Arce. En este estudio se puede vislumbrar ya una mayor atención en la relación entre el vulcanismo y la ZFLO, pero su objetivo se centra básicamente en otros aspectos técnicos, y se lee textualmente “*La geología de la cordillera andina, entre los 39° y 42° S, ha sido recientemente actualizada en programas de cartografía geológica regional. Nuevos antecedentes estratigráficos, geoquímicos y geocronológicos permiten ahora caracterizar las unidades volcánicas antiguas, especialmente asociadas a los volcanes cuaternarios, pero de edad y significado hasta ahora desconocidos. En este trabajo se persigue dos objetivos fundamentales. El primero es informar antecedentes geocronológicos y geoquímicos de*

las unidades volcánicas del Plioceno Superior- Pleistoceno de la cordillera de los Andes, entre los 39° y 42° S. El segundo, situar estas características en el contexto de estudios conducentes a comprender las relaciones causales entre el volcanismo y la tectónica del Cenozoico superior en los Andes de Sur”.

Posteriormente, el año 2003, una organización alemana realizó un estudio sobre la Dinámica y actividad de los Andes continentales en el sur de Chile “*Ergebnisse zur Dynamik desaktiven Kontinentalrandes in Südchi*” (Johannes Glodny et al., 2003).

En esta investigación denota una mayor claridad de la evidente peligrosidad de la falla Liquiñe Ofqui, y de la correlación entre factores componentes del geosistema, que provocan un permanente estado de volcanismo, movimientos telúricos, etc.

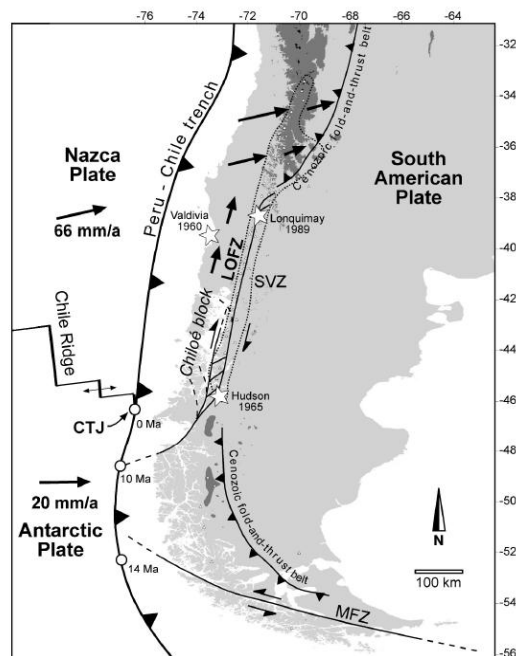


Fig. 1.1: Plate tectonic setting of the Southern Andes. Abbreviations: LOFZ = Liquiñe-Ofqui Fault Zone, MFZ = Magellanes Fault Zone, CTJ = Chile Triple Junction (dots indicate the northward migration of the CTJ during the Neogene), SVZ = Southern Volcanic Zone of the Andes. Stars mark the locations of historic earthquakes (associated with volcanic eruptions in the SVZ). Arrows indicate horizontal displacements. Dark shaded continental areas are higher than 2000 m.

Por otra parte, diversos autores apoyándose eternamente en citas bibliográficas de otros autores, tratan de explicar lo inexplicable, mediante conclusiones académicamente vanas, que solo satisfacen los egos científicos, pero carentes de valor para explicar la creciente dinámica geológica y volcánica a lo largo de esta falla. Algunos párrafos encontrados en tesis de magíster y doctorados que tocan el tema de la ZFLO, concluyen “*Otros autores consideran que la generación y/o activación de la zona de falla sería una respuesta mecánica y termal del margen continental a la colisión de Chile con la placa Sudamericana, en el extremo sur de la zona de falla (46° 30’)* (Nelson et Al., 1994). Luego, existen otras investigaciones como la intitulada “*Estudios de fallas mesoscópicas realizados entre los 41° y 42° de Latitud Sur* (Lavenu y Zambrano, 1994; Lavenu et Al., 1996), *determinan un régimen relativamente compresivo de dirección Este-Oeste Pre Plioceno y una deformación frágil de Cizalle destral del Plioceno Superior – Pleistoceno a lo largo de fallas normoreste a noreste. La subducción oblicua se ha considerado como la principal causa de la deformación de cizalle lateral a lo largo de la ZFLO* (Hervé, 1976; Zambrano 1992). Otro estudio más claro y específico al respecto, denominado “*La Mega Falla Liquiñe – Ofqui en el Fiordo del Reloncavi (31° 30’ L.S.) Chile, Comunicaciones 37 Páginas 31 – 48*”. Los autores Thiele R.; Herve, F.; Parada, M.A.; y Godoy, E., en 1986, a través de este trabajo y otros similares coincidentemente concluyen simplemente “*en esta sección de la falla, se encuentra en una zona muy lluviosa, lo que impide una buena observación de la morfología de la falla, pero se observa un levantamiento de la costa en la zona de falla, posterior al sismo de Valdivia de 1960*”.

Desplazándonos más al sur del Fiordo del Reloncavi, hasta llegar a la zona de Aysen, y en fechas más recientes, tenemos la siguiente situación. El día 21 de abril del año 2007, la zona de Aysen es afectada por un terremoto y el mundo de la Vulcanología y Geología se hizo presente para teorizar por los peculiares eventos producidos en esta área. Numerosos estudios se han realizado

para explicar lo inexplicable, y entre ellos se hace presente el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), en coordinación con la Oficina de Emergencia Nacional de Chile (Onemi). Mediante una declaración pública, estos servicios dan a conocer *“ONEMI declara a la Región de Aysén como zona de Riesgo Sísmico, como lo es el resto del territorio nacional. Si bien siempre ha existido constatación de la existencia de esta falla geológica, no hay registros sísmicos en la región atribuibles a ella antes del 22 de enero último, cuando se inició el fenómeno de recurrencia sísmica. Tal condición supone, al igual que en las demás regiones, la probabilidad de ocurrencia de sismos regulares de menor a mayor intensidad, no existiendo capacidad técnica alguna para determinar fecha(s) de ocurrencia, epicentro(s) ni tamaño(s) de sismos que se pudieran registrar. Vale decir, no dispone el mundo de tecnología ni conocimiento suficiente para predecir sismos”*. (Informe No.192 30/abril/2007 Nuevo escenario sísmico en Aysén.).

Meses antes, específicamente el 30 de enero del 2007, los efectos telúricos de esta falla, continuaban y aumentaban en intensidad, causando preocupación en la ciudadanía y la autoridad de la región de Aysén, la Intendenta regional, Viviana Betancourt hizo un llamado a la tranquilidad a la población. *“El peor escenario no es ni de tanto peligro para la gente de Puerto Aysén ni para la de Puerto Chacabuco, lo que se traduce en que pueden estar más tranquilos de lo que han estado en la última semana”*, y sus expertos asesores, hicieron los siguientes comentarios *“también existe la posibilidad que esta ola de sismos continúe por unas semanas más, sin que terminen en un terremoto o tsunami, como teme la población, la que incluso ha abandonado sus casas por temor a una gigantesca ola”*. (Terra.cl 30 de enero del 2007).

El Geólogo del Sernageomin, Luis Lara, en una entrevista para el Diario La Nación el día 23 de abril del 2007, realizó el siguiente comentario *“Lo que nosotros entendemos es que la falla geológica, puede seguir un tiempo, pero no existe una regla universal. Este evento podría ser un sismo precursor de más actividad, de sismos más pequeños o talvez de uno más grande. Lo que sabemos es que se trata de la propagación de la ruptura, por lo que de haber magma se podría mover a través de esta fractura, si es que existe material cerca de esta fractura”*.

Ahora bien, en la región de los Lagos, provincia de Llanquihue y Palena, el día 2 de mayo del 2008, marca un nuevo giro en la historia de esta zona de falla. El Volcán Chaitén, era un cono volcánico sin actividad por más de 9 mil años, y siendo una estructura magmática que pasó desapercibida para los científicos, ahora es catalogada como un fenómeno mundial, con un sistema inestable y de cambios indeterminados en su actividad sísmica y los enjambres producidos.



Imagen Trimetrogón del Volcán Chaitén en 1948 (fuente IGM - Chile)

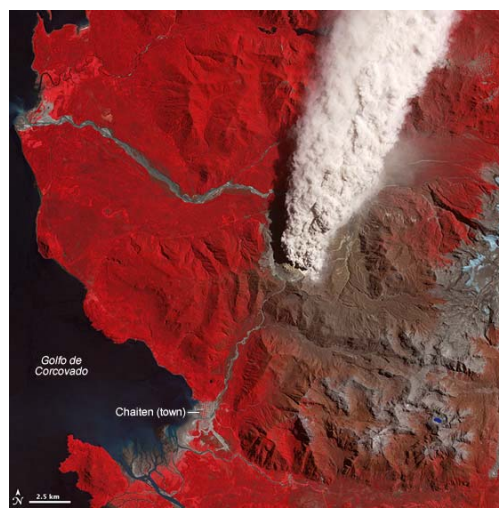


Imagen Falso color. Erupción en Marzo del 2009 (foto NASA-Aster).

Los científicos no tienen registros en la literatura de un comportamiento similar en otras estructuras volcánicas, y que hace temer un resultado catastrófico. A la fecha, el Volcán Chaiten continua su actividad y no hay forma de determinar cuál será la situación futura, o si la falla Liquiñe Ofqui activará otros volcanes más al norte, poniendo en riesgo a otras zonas habitadas e incluso a comunidades en Argentina. La actividad telúrica generada por la activación del “extinto” Volcán Chaiten, se ha mantenido constante y los “científicos” están perplejos frente a este fenómeno.

El día 27 de abril del 2007, a consecuencias de los eventos sísmicos de Aysen, el Servicio Nacional de Geología y Minería, (Sernageomin), realizó una declaración muy significativa para el futuro de la Zona de Falla Liquiñe Ofqui presente en el Estuario del Reloncavi y Río Puelo. Textualmente la declaración es la siguiente *“Las fallas mayores, paralelas a un margen continental como el sudamericano, existen precisamente ahí donde el volcanismo crea condiciones aptas para su desarrollo y, a su vez, los magmas alcanzan la superficie más fácilmente ahí donde existe un sistema de fallas. Entonces, dado que son procesos concomitantes, el dominio de uno de ellos adquiere sentido sólo cuando se analiza un caso particular en una ventana de tiempo restringido. El caso es que una falla se activará más fácilmente cuando en su entorno se encuentran fluidos, magmáticos o hidrotermales, que por la vía de un aumento de la presión (de poros o espacios), reducen el esfuerzo necesario para vencer la resistencia de las rocas a romperse, generándose o reactivándose una falla geológica. Tal ruptura perturba el entorno y se propaga como ondas sísmicas. Pero la ruptura, una vez generada, puede producir, a su vez, una succión de los fluidos circundantes permitiéndoles el ascenso parcial. Estos fluidos, nuevamente, facilitarán otra ruptura y ésta una nueva succión de fluidos. La repetición de este proceso explica tanto el ascenso de magma a través de la corteza como la génesis de algunos depósitos minerales a escalas de tiempo geológico”*.

Finalmente, la peligrosidad de la ZFLO ya es evidente y no existe tecnología que pueda determinar su comportamiento. La actividad creciente en la región Nordpatagónica, mediante marcadas manifestaciones vulcanológicas, telúricas y tectónicas de los últimos meses entre la zona del Volcán Llaima, Volcán Chaiten y Fiordo Aysen en Chile, son solo síntomas de una causa mayor, y estas afectaran zonas que nunca han sentido o sufrido movimientos telúricos. Esto nos lleva a pensar en la seguridad de la región Patagónica, y toda actividad o perturbación de la falla, con proyectos de grandes represas, va en directa activación de esta ZFLO, y pone en peligro las comunidades del sur de Chile y Argentina.

2.1. Ubicación Geográfica y Administrativa.

Desde un punto de vista exclusivamente geográfico, la distribución de esta falla geológica alineada paralelamente al cordón cordillerano de los Andes, entre los 38 y 46 grados de Latitud Sur, y apegada al meridiano 72 de Longitud oeste. A los 38 grados, corresponde administrativamente a Liquiñe, comuna de Panguipulli, Región de Los Ríos. Por el sur, y cercano a los 46 grados de Latitud Sur y 73° grados de Longitud Oeste, se ubica el denominado “Punto Triple”, donde las placas de Nazca por el Oeste y la Antártica por el sur, están penetrando por debajo de la placa continental o Sudamericana, mediante un proceso de Subducción. En este punto se ha marcado hasta ahora el termino de la falla, que administrativamente corresponde a la comuna de Aysen y provincia del mismo nombre.

Si bien, no existen estudios que lo indiquen, la lógica y los temblores sucedidos en las semanas y meses pasados, indican la influencia de esta zona de falla, hacia la republica de Argentina, en especial las provincias de Neuquen, Río Negro, Chubut y Santa Cruz. Los pocos estudios realizados están referidos a las evidencias geológica visible en terreno y que denotan una intensa actividad durante el periodo cuaternario, es decir, dentro de los últimos 2 millones de años. Ahora, el incremento de la actividad de esta falla, demuestra claramente una estrecha relación espacial y física entre la tectónica y el volcanismo. Por lo tanto, existe una correlación positiva entre esta falla, la actividad del Volcán Chaiten, y los fenómenos telúricos de Chubut y Río Negro en Argentina.



La imagen muestra en general, la distribución de la ZFLO a lo largo de la Cordillera de Los Andes Australes de Chile. (Fuente desconocida).

3.0. Vulcanismo y Movimientos Telúricos Patagónicos.

La historia de los movimientos telúricos en la zona patagónica de Argentina y Chile es bastante dispar, ya que el sector que mira hacia el pacífico es el más activo de Sudamérica, y tristemente destacado por ser parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Luego, al realizar un perfil histórico sísmico de ambas secciones, constatamos acontecimientos que indica la estrecha relación.

El vulcanismo en la zona patagónica (independiente de los límites geopolíticos), está en directa relación con los eventos telúricos imperantes en la zona, y no se puede obviar esta conexión. La imagen de la derecha, describe la posición de los volcanes más importantes en el sur y su posición con respecto a la Zona de Falla Liquiñe – Ofqui. Además, estima la temperatura de las estructuras hidrotermales presentes en la zona. Se debe destacar que en la imagen no sale adecuadamente destacada la estructura magmática del Volcán Chaiten, ya que hasta solo el mes de mayo del 2008, nadie sospechaba su peligrosidad o posibilidad alguna de una activación tan violenta, por lo tanto la literatura al respecto tiene que ser revisada y escrita nuevamente.

Se debe tener presente, que las temperaturas figurativas de los estratos volcánicos destacados, no son muy exactas y es de carácter referencial, ya que en la práctica, falta mucha información técnica sobre la actividad termodinámica y tectónica de la Patagonia.

(Fuente Desconocida)



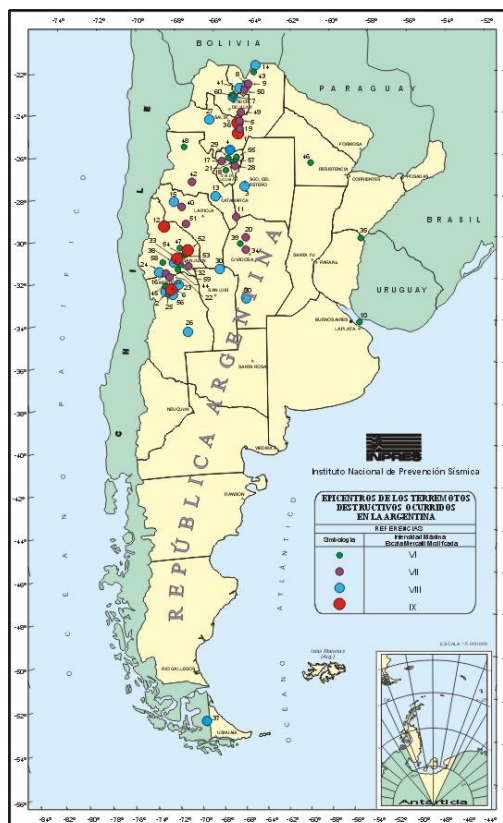
3.1. Patagonia Argentina

La sección Patagónica Argentina se ha destacado por décadas por su tranquilidad telúrica, donde los movimientos sísmicos, son casi desconocidos para las poblaciones humanas actuales, en especial las ubicadas en las provincias de Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz. Esta zona de calma telúrica, casi no registra episodios sísmicos, y la información existente está referida a la zona centro y norte del país, con temblores y terremotos percibidos, con una intensidad de IV a IX en base a la Escala de Mercalli Modificada.

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica de Argentina, ha representado en el siguiente mapa, los seísmos más destacados a lo largo de la historia de Argentina, y en la figura de la derecha, se puede ver que la zona patagónica, registra una calma aparente.

Esta zona de silencio telúrico que destacó a la Patagonia Argentina, cambió drásticamente el día viernes 2 de mayo del 2008 a las 2:51 de la mañana. Según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (Inpres), “*el epicentro del movimiento telúrico se ubicó 40 kilómetros al oeste de la ciudad de Leleque, en las cercanías del Cordón de Leleque, y tuvo una profundidad de 158 kilómetros, con una magnitud 5 en la escala de Richter, y según la escala de Mercalli modificada alcanzó el grado III a IV en cercanías del epicentro*”.

Nota: Hay que destacar que la zona norte de Chile y Argentina están bajo constante movimiento telúrico, pero existe una peculiar recurrencia y recrudescimiento desde el inicio de operaciones mineras a gran escala y extracción de aguas subterráneas.

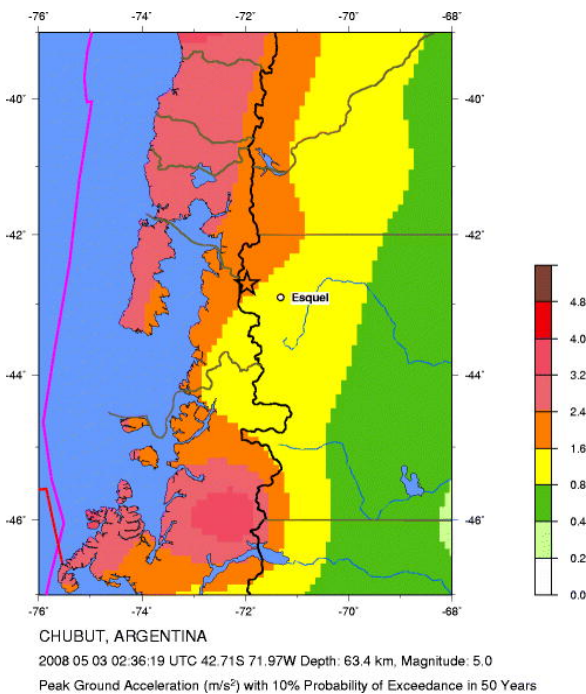


TERREMOTOS HISTÓRICOS OCURRIDOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA
Fuente : INPRES Argentina.

El día Sábado 3 de Mayo del 2008, a las 11:00 horas, en la zona de Cholila, se registro otro temblor pero esta vez de menor intensidad.

Nuevamente, el día 23 de mayo, otros sismos se produjeron a lo largo de la zona patagónica, con diferentes intensidades, afectando las provincias de Río Negro y Chubut (Argentina).

La imagen de la izquierda, obtenida del USGS, muestra la magnitud del sismo a lo largo y ancho de la región del Chubut. Coincidentemente, este temblor se produce al mismo tiempo de ocurrida las explosiones y movimientos telúricos intensos del Volcán Chaiten, en la zona costera chilena (ZFLO), que peculiarmente tiene una anomalía geológica lo largo del lecho del Río Puelo, y que nunca ha sido estudiada.



Fuente USGS

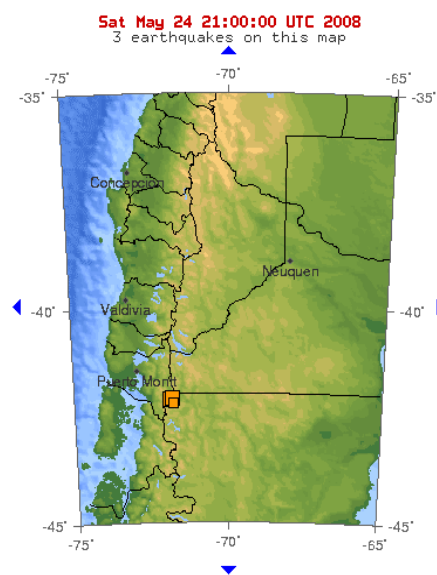
El día 23 y 24 de mayo del 2008, ocurrieron una serie de temblores que afectaron a la Patagonia Argentino Chilena, pero esta vez en un área definida. Según los registros del Servicio de

Geología de los Estados Unidos de America (*U.S. Geological Survey - USGS*), determino lo siguiente:

Día :Viernes 23 de Mayo.
 Hora : 2:43:46 UTC - 10:43:46 PM Hora Chile.
 Grado : 5.3
 Profundidad : 78.9 Kilómetros.
 Epicentro : 41,945 grados S – 71,884 grados W.

Día : Sábado 24 de mayo.
 Hora : 6:26:31 UTC - 2:26:31 AM Hora Chile.
 Grado : 5.0
 Profundidad : 69.7 Kilómetros.
 Epicentro : 41,904 Grados S – 71,806 Grados W.

Día : Sábado 24 de Mayo.
 Hora : 6:53:32 UTC – 2:53:32 AM Chile.
 Grado : 4.7
 Profundidad : 83.4 Kilómetros.
 Epicentro : 42,008 Grados S – 71,770 Grados W.

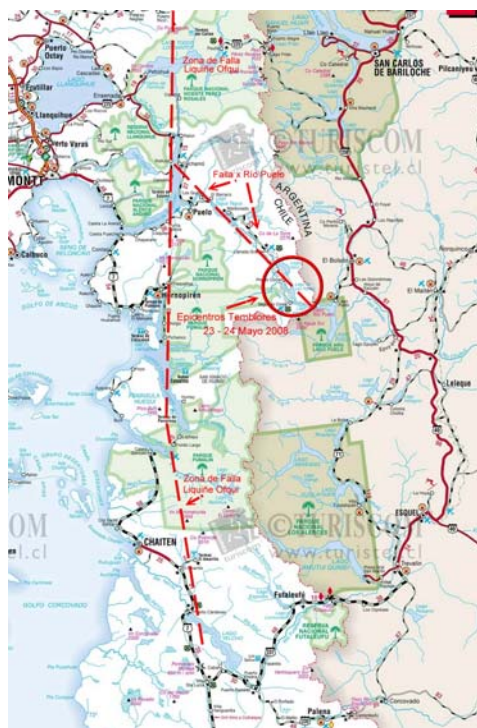


Al realizar el cálculo de posición y profundidad de los diversos eventos telúricos, se tiene la misma zona geográfica, correspondiendo a la sección chilena de la Cuenca Binacional del Río Puelo a la altura de Lago Azul y Lago Las Rocas, entre los 41 y 42 grados de Latitud Sur – 71, 77 y 71,88 grados Longitud Oeste (W).

Hay que hacer notar que en el lecho que ocupa el Río Puelo, subyace una rama de la Falla Liquiñe – Ofqui, que denominaremos provisionalmente *Anomalía Río Puelo*. Esta “anomalía” se desplaza desde la zona del Estuario del Reloncavi, siguiendo básicamente la hoya hidrográfica del Río Puelo y hasta la zona de Lago Puelo en Argentina. Por una cuestión geopolítica, no se han hecho estudios de la continuidad de esta falla hacia la zona de Chubut, pero existe una alta probabilidad de prolongación hasta muy al interior de la provincia de Chubut, hecho que debe ser analizado a la brevedad.

Ahora bien, la imagen de la derecha, muestra en forma simple, la ubicación de estos 3 fenómenos telúricos, con respecto a las ciudades más cercanas.

Fuente de imagen de la izquierda : www.turistel.com
 Procesamiento Mauricio Fierro.



A modo de observación, la zona de Lago Las Rocas, en el curso superior del Río Puelo, históricamente a presentado surgencias de aguas termales, además de la presencia de “gases

sulfurosos”, pero nunca han sido estudiados, y esto confirmaría la presencia de una anomalía a lo largo del Río Puelo.

Finalmente, hay que destacar que el otrora “silencio telúrico” de la zona patagónica Argentina ha cambiado con la activación de la ZFLO, y es necesario tomar las medidas al respecto y desde ya monitorear la tectónica de la zona e impedir que proyectos corporativos, pongan en riesgo la seguridad telúrica de la comarca.

3.2. Patagonia Chilena.

La sección patagónica chilena, a lo largo de miles de años ha sido altamente activa, y la historia registra un sorprendente perfil de sismicidad. La literatura menciona cientos de movimientos telúricos, e incluso el terremoto más intenso que ha vivido el planeta en siglos de historia humana, se registro en el sur de Chile, vecina a la provincia de Neuquen, Río Negro y Chubut en Argentina. Este cataclismo, fue una especial combinación entre la Falla Liquiñe Ofqui, la Placa de Nazca y Continental.

Normalmente, la ciudadanía mantiene en su memoria la ocurrencia de un gran terremoto, pero en la practica se produjeron 9 terremotos en un período de 17 días, es decir, entre el 21 de mayo y el 6 de junio de 1960, además de las replicas correspondientes. Según un informe del subdirector del Instituto de Sismología de la Universidad de Chile, Edgard Kausel, destaco los sismos de una magnitud de 7 grados hacia arriba, y obtuvo el siguiente cuadro:

TERREMOTO	EPICENTRO	FECHA - HORA	MAGNITUD Richter*
1	Concepción y Lebu	Mayo 21, 1960 06,02 am	7.25
2	Concepción	Mayo 21, 1960 06,33 am	7.25
3	Concepción	Mayo 22, 1960 14,58 pm	7.5
4	Valdivia	Mayo 22, 1960 15,10 pm	7.5
5	Valdivia	Mayo 22, 1960 15,40 pm	8.75
6	Península de Taitao	Mayo 25, 1960 04,37 am	7.0
7	Isla Wellington (Puerto Edén)	Mayo 26, 1960 09,56 am	7.0
8	Península de Taitao	Junio 2, 1960 01,58 am	6.75
9	Península de Taitao	Junio 6, 1960 01,55 am	7.0

* Se refiere a la Escala Richter Standard (Ms), reportada entonces por la Universidad de Georgetown y el Boston College de EUA, y los observatorios Villa Ortúzar de Buenos Aires e Instituto Geofísico Los Andes de Bogotá. Actualmente se usa una modificación que considera la geometría de la falla y el momento sísmico (Mw), que le asigna al Terremoto de Valdivia un valor de 9.6.

Por otra parte, la literatura existente hace algunas observaciones al respecto de la zona andina del sur de Chile y Argentina, y la estrecha relación que existe entre ambas. *“En los Andes del Sur, estructuras volcánicas centrales y secuencias volcano sedimentarias, fuertemente erosionadas, constituyen tanto el basamento de los volcanes cuaternarios como centros eruptivos independientes. Se les reconoce en la cordillera andina desde su borde occidental, junto a estratos volcanes del frente activo, hasta la vertiente Argentina, sobre bloques alzados de basamento*

paleozoico, granitoides o secuencias volcano sedimentarias del Meso-Cenozoico (e.g., L. Lara y H. Moreno¹, 1998; Franzese, 1995).

Luego, otros estudios mencionan que en el pasado, el volcanismo ha jugado un rol preponderante en la formación de la cordillera de los andes, ya sea en su área Argentina como la Chilena “*Los antecedentes geocronológicos disponibles muestran que en la cordillera principal ha existido actividad volcánica persistente desde el Plioceno*”. Además, en el mismo estudio, a pesar de las limitaciones metodológicas, se determina “*consistentemente que, entre los 38° y 42°S, ellas definen una franja de hasta 250-300 km., de ancho, que incluye desde el frente volcánico hasta los bloques alzados en territorio argentino. En esta franja, los centros volcánicos erodados no presentan una asociación espacial estricta con estructuras de carácter regional. En cambio, los centros volcánicos cuaternarios muestran una distribución más estrecha, concentrada en la cordillera andina y en el entorno de la Falla Liquiñe-Ofqui. Sólo centros eruptivos menores representan la actividad volcánica cuaternaria en la región oriental. (Luis Lara, et al 2001)*”.

Hay que destacar, que en el momento de ocurrido los eventos telúricos y eruptivos del Volcán Chaiten, el intendente de la Región de Los Lagos, Sergio Galilea, asesorado científicamente, el día primero de mayo del 2008 realizo la siguiente declaración publica “*cada hora que pasa, nos confirma la hipótesis de que estamos frente a un episodio de origen tectónico y no volcánico, lo que nos plantea que los riesgos mayores puedan ser de deslizamiento de tierra sobre la estructura caminera; siempre y cuando la intensidad no sea mayor al grado 5 de la escala de Mercalli. Si es mayor a ello, debemos analizar rápidamente las zonas de riesgos en que puedan estar las viviendas y las rutas viales. (<http://www.regiondeloslagos.cl/noticias/detalle.php?id=254>).*

24 horas después de esta “política y científica ” declaración, el volcán hizo erupción y demostró que el episodio era volcánico y no tectónico, y los asesores técnicos estaban 100 % equivocados. Luego, meses después de estas desafortunadas palabras del Intendente de la Región de Los Lagos, Sergio Galilea, sus asesores y “especialistas” han comentado que este proceso volcánico es diferente y no existen registros de algo similar en la literatura.

A pesar del lenguaje críptico de los geólogos, las políticas declaraciones de las autoridades y los múltiples informes generados, todo indica la estrecha relación entre el volcanismo, los movimientos telúricos y la Zona de Falla Liquiñe Ofqui, que afectan la región nordpatagonica. Por lo tanto es irracional y criminal la autorización de construcción de mega proyectos hidroeléctricos en las cuencas lacustres a lo largo de esta falla geológica, que catalizarían nuevos sucesos telúricos.

4.0. Volcán Chaiten – Estudio de caso.

Este volcán se ubica administrativamente en la Región de Los Lagos, Provincia de Palena, Comuna de Chaiten, y se localizó geográficamente en 42,85° Latitud Sur y 72,52° Longitud Oeste y con una altura de 1.112 msnm, y a 10 kilómetros al NE de la destruida ciudad de Chaiten.

Según estudios, el Volcán Chaiten, tuvo su última erupción hace un poco más de 9 mil años, reinició su actividad volcánica en mayo del 2008, después de semanas de actividad telúrica y tectónica. Según los estudios geológicos, este volcán, era una antigua caldera post glacial con un cráter de explosión de aproximadamente 3 kilómetros de diámetro, y compuesto por un domo de Riolita y Obsidiana, y con un bajo volumen de fenocristales de plagioclasa. Estudios realizados en los depósitos de material piroclástico y tefra antigua, dispersos en un radio de 35 kilómetros a la redonda del volcán, indican que la fecha de emisión y depositación va entre los 9.580 y 10.260 AP (Moreno, 2003).



Volcán Chaiten antes de la erupción (autor Eric Henriquéz Tirado).



Volcán Chaiten en los primeros meses de la erupción (fuente Emol).

La erupción de este volcán fue bastante significativa y “la dispersión espacial de estos depósitos y la química de las pomes riolíticas y los depósitos de tefra, juntas, implican que ellas derivan de la misma erupción explosiva de tamaño medio del Volcán Chaiten (José Naranjo y Charles Stern. Revista de Geología de Chile, Vol 31 # 2 del 2004).

Ahora bien, los mismos autores Naranjo y Stern, en el estudio denominado “Holocene Tephrochronology of the southernmost part of Andean Southern Volcanic Zone” publicado en 2004 en la revista de geología de Chile, Vol 31 # 2, realizan un acabado estudio de dispersión de los depósitos de piroclastos y tefra, emitidos por varios volcanes de esta zona y especialmente el volcán Chaiten, y la información es extremadamente valiosa para determinar que la ciencia, los políticos y la seguridad ciudadana no están en sincronía. Tomando textualmente el resumen de este estudio tenemos “Los depósitos de tefra expuestos en los cortes de caminos entre aproximadamente 42°30' y los 45°S, tanto en Chile como en Argentina, muestran evidencias de cuatro niveles de erupciones explosivas holocenas de magnitud pequeña (IEV <3 y volumen <0,15 km³) y siete de tamaño mediano o mayor (IEV = 3-5 y volumen entre 0,15 y 1 km³). Dichos niveles se generaron en siete de los ocho estratovolcanes en este segmento austral de la Zona Volcánica de los Andes del Sur (ZVS). Estos niveles incluyen uno del Volcán Chaitén de aproximadamente 9.370 AP, dos del volcán Michinmahuida originado a < 6.350 AP y <3.820 AP, tres del volcán Corcovado, de las cuales, la más antigua ocurrió entre < 9.190 y >7.980 AP y las dos más jóvenes < 7.980 AP y <6.870 AP, una del Volcán Yanteles de <9.190 AP, dos del volcán Melimoyu ocurrida entre < 2.740 AP y <1.750 AP, una del volcán Mentolat aproximadamente < 6.960 AP y una del volcán Macá ocurrida <1.540 AP. La orientación principalmente al este de la dispersión de las plumas de

erupciones explosivas en el segmento estudiado, indica que futuras erupciones tendrían un impacto directo en las rutas de aeronavegación en la Patagonia Argentina. Un total de once erupciones explosivas de magnitud menor a media en un período de 8.000 años implica una frecuencia de aproximadamente una erupción cada 725 años en este segmento de los Andes del sur (ZVS), con un promedio de 1,4 eventos explosivos para cada uno de los ocho volcanes durante el Holoceno. Esta frecuencia para erupciones de similar tamaño es semejante a la obtenida en cada volcán hacia el norte dentro de la ZVS. Contrasta con esta cifra, sin embargo, la frecuencia de erupciones explosivas ocurridas en el Hudson, el volcán más austral en la ZVS, ubicado inmediatamente al norte del Dorsal de Chile-Fosa de la conjunción triple a los 46° Sur, el cual ha tenido tres erupciones explosivas muy grandes y nueve eventos explosivos menores documentados durante el Holoceno. Esta característica lo convierte en el volcán que ha tenido las erupciones explosivas más grandes y numerosas del segmento austral de la ZVS. Debido a su ubicación cerca de la conjunción triple, el Volcán Hudson podría ser significativamente más activo que otros centros en la parte sur de la ZVS.

4.1. Historia Volcánica y Dispersión de Cenizas.

Uno de los mayores daños provocados por la erupción del volcán Chaiten, independiente de la destrucción de la ciudad de Chaiten, fue la dispersión de la nube de cenizas en territorio chileno y argentino. La provincia de Palena en Chile y Río Negro y Chubut en Argentina recibieron de lleno el impacto por la emisión de cenizas del volcán, provocando graves consecuencias sanitarias y económicas en ambos países, y que continuara por mucho tiempo, ya que el proceso eruptivo del “Chaiten” esta lejos de disminuir.

Hay que tener presente que el impacto de las cenizas emitidas por este volcán, si bien físicamente son imposible de detener, si pueden ser atenuados los efecto socioeconómico y sanitario, estableciendo planes de contingencia y la aplicación de procesos de logística básica.

La activación de planes de emergencias deben ser coordinados binacionalmente, para disminuir el impacto y deterioro económico y sanitario de la población afectada. Imagen de la derecha corresponde a la ciudad de Trevelin, al mediodía del 5 de mayo del 2008.

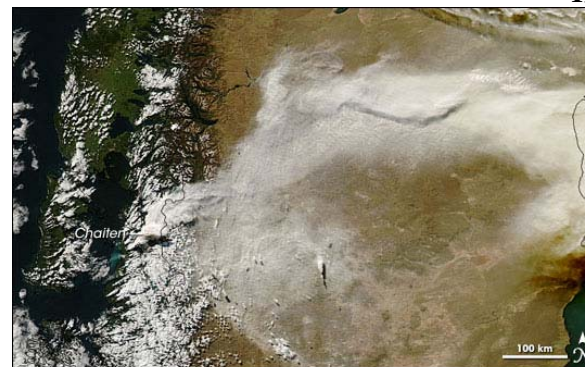


Ciudad de Trevelin 5/5/2008 12:25 PM – Argentina.
Foto Alejandro Beletzky.

Una vez iniciada la erupción del Volcán Chaiten, la pluma de piroclastos, por efecto de los vientos y el efecto Coriolis, desplazo la columna de cenizas hacia el este básicamente, alcanzando las ciudades de Futaleufu (Chile), Esquel, Trevelling, El Bolsón y otras zonas de gran importancia de la región patagónica Argentina.

En la imagen de la superior derecha (*Sat Aqua del 6 de mayo del 2008*), se puede ver la nube de cenizas a las 15:30 desplazada hacia Argentina y llegando hasta el Atlántico.

La Imagen inferior (*Terra Sat*) corresponde a una escena tomada el mismo día, pero a las 11:05 de la mañana y puede verse la pluma iniciando su desplazamiento hacia territorio argentino y ya sobre Trevelling.



Por otra parte, el conocimiento histórico de las actividades pasadas de los estratos volcánicos presentes entre los 38° y 45° de latitud sur, es de extrema importancia, para prevenir efectos catastróficos futuros en las provincias patagónicas de Chile y Argentina. Un plan de contingencia frente a eventos naturales futuros requiere una base técnica generada de situaciones históricas, pero esta situación ideal no se está cumpliendo a pesar de existir la información. Ahora bien, apoyándonos literalmente en lo vertido en el resumen de los autores *Naranjo y Stern* en el 2004, tenemos “La orientación principalmente al este de la dispersión de las plumas de erupciones explosivas en el segmento estudiado, indica que futuras erupciones tendrían un impacto directo en las rutas de aeronavegación en la Patagonia Argentina” Esta sentencia es esclarecedora e indica que la historia eruptiva se repite, y la sociedad y las autoridades en especial, son irresponsables al no tomar las medidas de seguridad adecuadas.

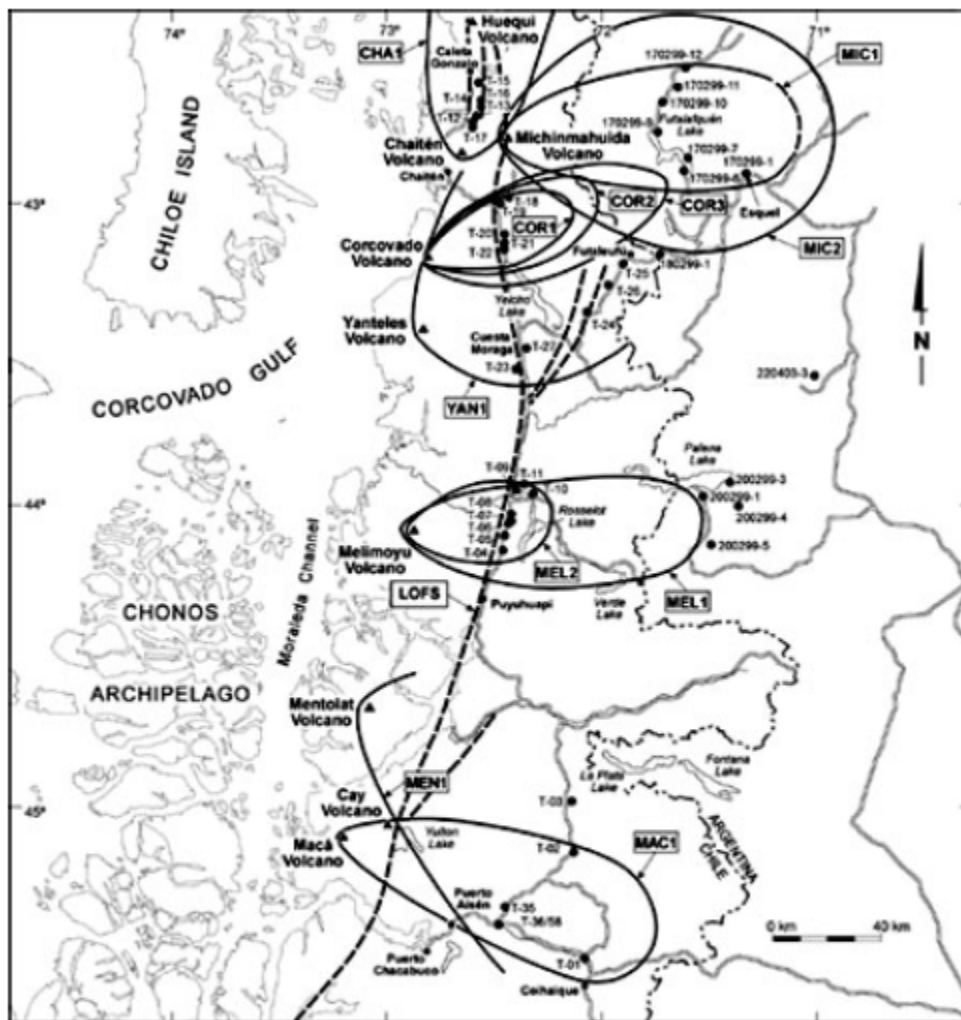


FIG. 2. Map showing the location of volcanoes and road-cut sites studied between $42^{\circ}30'$ and 45°S , as described in the text, and the approximately 10 cm isopachs of the eleven Holocene eruptions identified in this area. LOFS = Liquiñe-Ofqui Fault System.

La imagen anterior ha sido tomada del artículo preparado por *Naranjo y Stern* denominado “*Holocene Tephrochronology of the Southernmost Part of Andean Southern Volcanic Zone*” publicado en 2004 en la revista de geología de Chile, Vol 31 # 2. En esta imagen se pueden ver 44 perfiles realizados, en los cuales se llevaron a cabo mediciones de espesor y textura interna de la Tefra, tipo de suelo donde fue colectada para el análisis químico y datación con el método de Carbono 14, para posteriormente compararlos con datos publicados de otros centros volcánicos, y determinar la correlación básica, trazar un modelo de distribución de la Tefra e identificar la fuente volcánica y la edad.

El cuadro siguiente y designado por estos autores como *Table 1*, detalla una parte de este análisis, y aclara la simbología utilizada en el plano de distribución anterior. El código CH corresponde a la erupción del Volcán Chaitén; MIC al Volcán Michinmahuida; COR al Volcán Corcovado; YAN al Volcán Yanteles; MEL al Volcán Melimoyu; y MAC al Volcán Macá.

TABLE 1. UNCALIBRATED ^{14}C AGES OF ORGANIC MATERIALS UNDERNEATH TEPHRA FALL DEPOSITS IN THE REGION BETWEEN $42^{\circ}30'$ AND 45°S .

Site location	Sample	Tephra	Material	Pretreatment	Relation	Conventional ^{14}C age $\pm 1\sigma$ error (BP)
T-13	($42^{\circ}43.3'\text{S}$; $72^{\circ}35.8'\text{W}$)					
	T-13D	CHA1	Charcoal	Acid/alkali/acid	\leq	9,370 \pm 60
	T-13E	CHA1	Partially burned wood	Acid/alkali/acid	\leq	9,810 \pm 90
170299-1	($42^{\circ}54.71'\text{S}$; $71^{\circ}20.90'\text{W}$)					
	170299-1L	MIC2	Organic soil	Acid washes	$>$	1,840 \pm 70
	170299-1J	MIC2	Peat	Acid washes	\leq	3,820 \pm 70
	170299-1i	MIC1	Peat	Acid washes	$>$	5,120 \pm 80
	170299-1G	MIC1	Peat	Acid washes	\leq	6,350 \pm 60
170299-7	($42^{\circ}51.06'\text{S}$; $71^{\circ}36.27'\text{W}$)					
	170299-7	MIC2	Charcoal (AMS)	Acid/alkali/acid	\leq	4510 \pm 40
T-20	($43^{\circ}06.6'\text{S}$; $72^{\circ}27'\text{W}$)					
	T-20B	COR3	Peat	Acid washes	\leq	6,870 \pm 90
	T-20D	COR2	Peat	Acid washes	\leq	7,980 \pm 100
T-23	($43^{\circ}21.2'\text{S}$; $72^{\circ}24'\text{W}$)					
	T-23	YAN1	Wood	Acid/alkali/acid	\leq	9,560 \pm 60
T-25	($43^{\circ}12'\text{S}$; $71^{\circ}54.5'\text{W}$)					
	T-25B	YAN1	Charcoal	Acid/alkali/acid	\leq	9,190 \pm 130
T-04	($44^{\circ}09.1'\text{S}$; $72^{\circ}28'\text{W}$)					
	T-04B	MEL2	Organic soil	Acid washes	\leq	1,750 \pm 80
	T-04F	MEL1	Charcoal	Acid/alkali/acid	\leq	2,790 \pm 70
T-07	($44^{\circ}03.6'\text{S}$; $72^{\circ}25.8'\text{W}$)					
	T-07	MEL1	Charred material	Acid/alkali/acid	\leq	2,740 \pm 70
T-36/58	($45^{\circ}23.7'\text{S}$; $72^{\circ}29'\text{W}$)					
	T-58B	MAC1	Organic soil	Acid washes	\leq	1,540 \pm 60
	T-58A	MEN1	Organic soil	Acid washes	\leq	6,690 \pm 60

Luego, si contrastamos dos imágenes, el actual evento eruptivo del Volcán Chaitén (desplazamiento de cenizas), visto mediante la foto satelital del 5 de mayo del 2008, y el plano de estudios estratigráficos y dispersión de los depósitos de Tefra, preparados por los autores *Naranjo y Stern* en el 2004, tendremos lo siguiente:

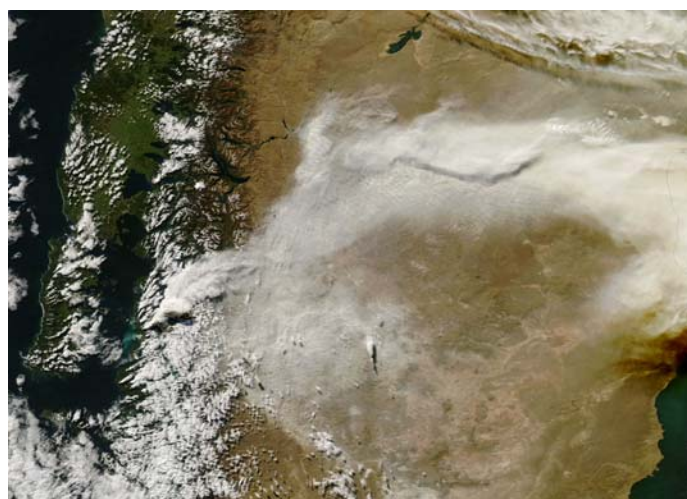
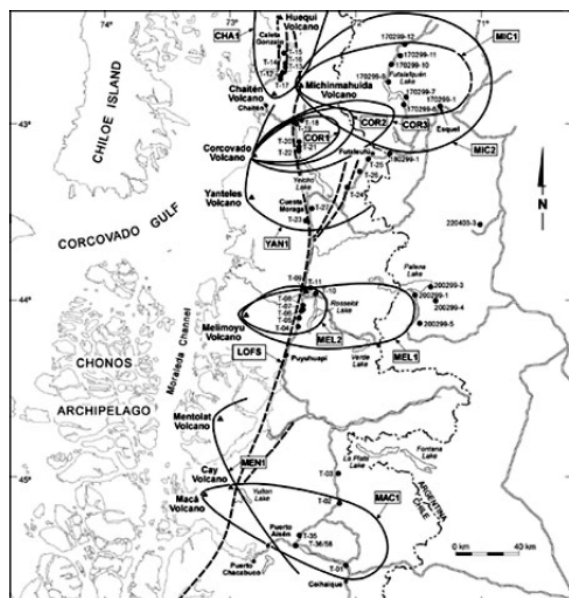
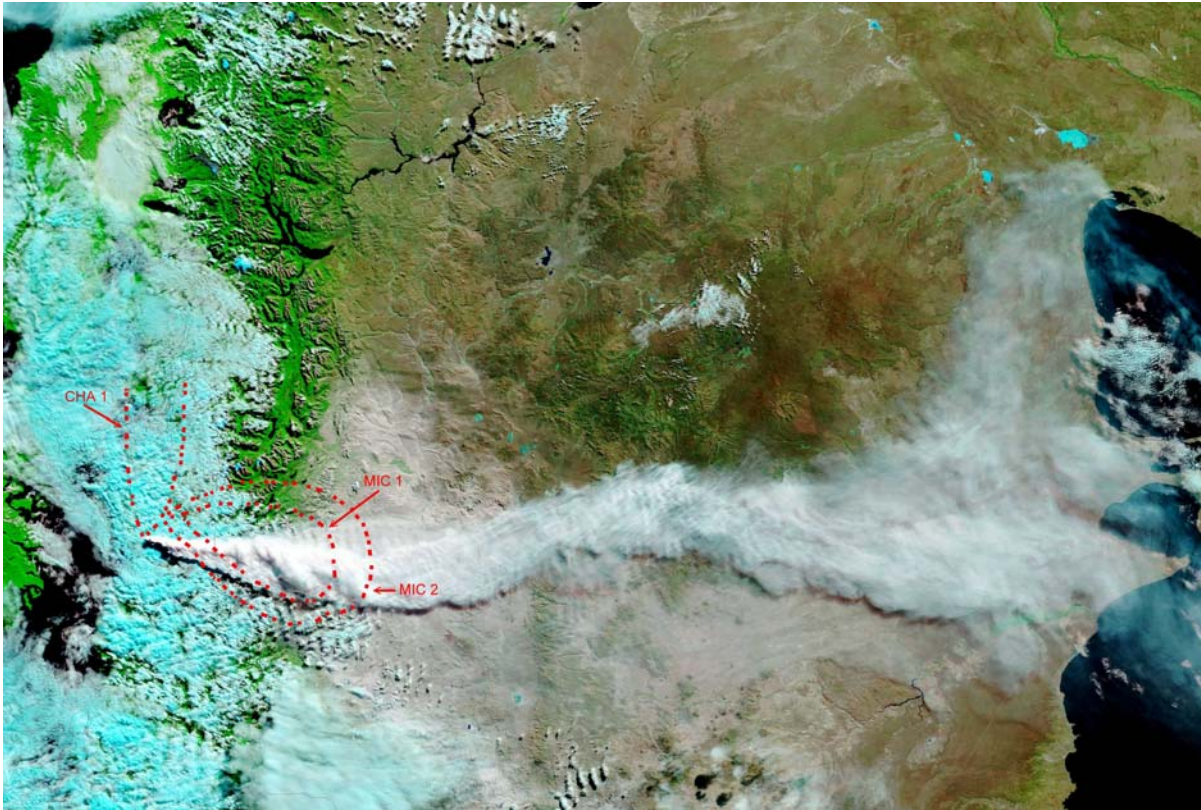


Imagen AQUA

Basados en la comparación de las imágenes anteriores, tenemos cierta claridad en como se ha desplazado en el pasado la emisión de piroclastos producidos por el Volcán Michinmahuida (MIC1 y MIC2), pero existen reportes más recientes como la erupción ocurrida entre el 26 de

noviembre de 1834 y marzo de 1835. Luego, es importante tener presente que un volcán que no tenía actividad conocida por más de 9 mil años como el Volcán Chaiten (CHA1), lo ha hecho con gran violencia y siguiendo el mismo patrón de dispersión de cenizas que el Volcán Michinmahuida, alcanzando las provincias argentinas de Chubut y Río Negro, Argentina. Para una mayor comprensión del desplazamiento histórico de las “plumas” de estos volcanes, la imagen tomada de la NASA (*TMO del 2008*), tiene proyectada encima el esquema preparado por Naranjo y Stern, resultando un patrón de dispersión de cenizas sobre la república de Argentina, similar a los registrados miles de años atrás.



Fuente de Imagen NASA 2008. Elaboración Mauricio Fierro.

Hay que hacer notar, que el desplazamiento de cenizas histórico hacia el norte (CHA 1), según el estudio de Naranjo y Stern, respondería al empuje o presión realizada por los vientos dominantes desde el sur, hecho que se ha confirmado en reiteradas ocasiones durante el periodo 2008 y 2009 de las erupciones del Volcán Chaiten, cuya pluma con vientos del sur, se desplazan en similar dirección, pero en periodos de calma, la rotación de la tierra (efecto Coriolis), presiona la pluma de cenizas hacia el Este, es decir, territorio Argentino.

5.0. Represas.

Según la *Real Academia de la Lengua Española (RAE)*, una represa es “obra generalmente de cemento armado, para contener o regular el curso de las aguas o para detener y almacenar el agua en forma artificial”. En definitiva es un gran muro de concreto destinado a detener las aguas de un río con fines agrícolas, de regulación de flujos del caudal o para generación eléctrica. La *Comisión Internacional de Grandes Represas* establecida en 1928, define a las “*grandes represas*” como aquellas estructuras que tienen una altura de 15 metros o más desde la base; o si tienen entre 5 y 15 metros de altura, pero con un volumen de embalse de más de 3 millones de metros cúbicos.



La Comisión Mundial de Represas ha determinado que “*desde los años 30 hasta los años 70, la construcción de represas se convirtió, a ojos de muchos, en sinónimo de desarrollo y progreso económicos*”. Esta tendencia, según esta misma institución, llegó al máximo en los años 70, cuando se inauguraban un promedio de dos o tres grandes represas cada día en alguna parte del mundo, en el período más sangriento de las dictaduras militares. La inversión total en grandes represas en el mundo ha sido billonaria, lo que ha favorecido el incremento de la deuda externa de los países pobres y en desarrollo. Una vez creada la infraestructura eléctrica para el desarrollo del capital, los gobiernos peculiarmente implementan las políticas y ajustes estructurales del Banco Mundial (BM) y del Fondo Monetario Internacional (FMI)”.

Represa Ralco. Río Bio Bio - Chile. Propietaria Endesa España.

Los efectos provocados por estas estructuras son múltiples, pero los más destacados por la literatura, son las “*pérdidas de pueblos y culturas, patrimonios históricos; así como pérdidas de ecosistemas, extinción de animales, salinidad de tierras y pérdidas de cultivos; impactos irreversibles al medio ambiente y mayor pobreza; endeudamiento y enriquecimiento por parte de los constructores de las represas. Las poblaciones afectadas que viven cerca de los embalses, las personas desplazadas y las comunidades río abajo han tenido que enfrentarse a menudo con problemas de salud, y con consecuencias negativas en sus medios de subsistencia debido a cambios ambientales y sociales*” (*International Rivers - IR*).

“*Las investigaciones demuestran que las hidroeléctricas aportan significativamente al calentamiento global por la descomposición que emite grandes volúmenes de dióxido de carbono y de metano, los dos gases del efecto invernadero más importantes*”(Movimiento Mundial de Bosques Tropicales – WRM).

5.1. Correlación Represas – Embalses – Terremotos.

La relación entre las grandes represas y los terremotos siempre ha estado en la polémica, pero los grandes intereses económicos detrás de ella, han podido manipular la información a escala pública logrando pasar desapercibida. Además, es común que los científicos e investigadores en temas afines, no arriesguen sus fondos de investigación o bien actúen de mercenarios, y realicen estudios sesgados o que no pongan en tela de juicio a las grandes corporaciones energéticas y las grandes obras hidráulicas, además de catalogarlas como beneficiosas para la humanidad y el medio ambiente.

La literatura existente al respecto de la *Sismicidad Inducida* por los embalses o represas es bastante limitado, pero lo que existe es definitivo e indica una directa correlación entre estas estructuras y los terremotos.

Se entiende por *Sismicidad Inducida* por represas o embalses, a la ocurrencia (espacial y temporal) de fenómenos telúricos, que tienen un vínculo u origen en la construcción de este tipo de proyectos hidráulicos. Además, la *Sismicidad Inducida* también se presenta por otras actividades de origen antrópico, como las labores mineras (extracción a tajo abierto, minas de carbón), y la extracción de petróleo. “*La Sismicidad Inducida por Embalses, comparte con estos fenómenos alguna de sus características, pero el mecanismo que las genera es más complicado debido en parte a las mayores dimensiones físicas implicadas en el proceso*” (Gupta y Chadha. 1997).

Las primeras mediciones sobre *Sismicidad Inducida* fueron observadas a mediados de la década de los años 30 en el siglo 20, y represas famosas como Hoover (Colorado - EUA), fueron evaluadas y se demostró el vínculo de estas y la producción de terremotos. En los años posteriores, otras represas también fueron objeto de intensas investigaciones, demostrándose la correlación positiva y directa en la producción de fenómenos telúricos en zonas sísmicas y asísmicas, y con regímenes tectónicos distintos. Pero la peligrosidad de este efecto fue evidenciado dramáticamente el día 10 de diciembre de 1967, con la represa de Koyna (India), ya que produjo un terremoto grado 6,5 en las proximidades de esta estructura, y los estudios indicaron fehacientemente su directa responsabilidad. Posteriormente a este caso, otras represas y embalses se sumaron como ejemplos dramáticos, destacándose Xinfengjing (China, 1962), Kariba (Zambia, 1963), Kremásta (Grecia, 1966), Oroville (California – EUA, 1975).

A escala mundial, los ejemplos de la relación represa – terremotos, han ido apareciendo a medida que las comunidades se han preocupado y los científicos vencen el temor a las corporaciones energéticas y al poder gubernamental. Entre los investigadores que han centrado sus trabajos en este fenómeno, se destacan los autores H.K. Gupta, D.N. Patil, y Miguel Herraiz,. Este fenómeno va en aumento debido a las necesidades energéticas de las industrias, en especial las grandes empresas mineras del planeta, apoyados en la recurrente corrupción de los gobiernos y políticos, que permiten el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, despreciando los riesgos de vidas y los impactos ambientales.

***OBSERVACIÓN** : A nivel chileno, la Comisión Nacional del Medio Ambiente – CONAMA, recibió críticos comentarios públicos y cientos de consultas, durante el proceso de “participación ciudadana” del Sistema de Evaluación Ambiental – SEIA de la Represa Ralco (Endesa España), pero este proyecto fue aprobado, y se demostró que la Ley de Bases del Medio Ambiente (Ley 19.300), no es más que una anécdota jurídica, dentro de todo el corrupto proceso de aprobación política de los SEIA. Por lo tanto, cualquier corporación con el suficiente poder económico y las conexiones políticas adecuadas, puede llevar a cabo en Chile, proyectos de destrucción masiva de ecosistemas, justificándose en el cumplimiento de una patética Ley de Bases del Medio Ambiente y con la complicidad de un mediocre y vanidoso Poder Judicial que no defiende a las comunidades y la naturaleza afectada.*

Ahora bien, la figura destacada abajo y que ha sido obtenida de uno de los trabajos de Gupta (1992), destaca los principales casos comprobados de *Sismicidad Inducida* en nuestro planeta, pero peculiarmente a pesar de las grandes construcciones y represamiento a escala sudamericana y chilena, no presentan investigaciones que denoten la recurrencia del fenómeno telúrico en los años recientes, a pesar de las evidentes manifestaciones sísmicas.



Para profundizar en el conocimiento general sobre el fenómeno de la *Sismicidad Inducida* por represas, esta se ha clasificado en dos tipos, la primera denominada de **Respuesta Rápida**, caracterizada por que los temblores o terremotos comienzan inmediatamente al comenzar el llenado del embalse, se producen muy próximos a este, son de escasa magnitud y superficiales (<10 kilómetros). Se debe tener presente que el período para que ocurra sismicidad puede tardar varios meses. La segunda clasificación se denomina **Respuesta Demorada**, y se caracteriza por que su efecto comienza después de varios ciclos de llenado del embalse, y la sismicidad se da con gran intensidad, con un hipocentro que bordea los 30 kilómetros, pero sus epicentros no necesariamente se ubican cerca de la represa.

El origen exacto de la *Sismicidad Inducida* por represas aún está bajo discusión, y los científicos aceptan principalmente dos causas, el **Efecto de Carga** (Gough-1969; Rajendran y Talwani - 1992) y el **Incremento de la Presión de Poros** (Talwani y Acree, 1985).

El Efecto de Carga, consiste en el aumento de presión sobre el fondo del embalse causado por el peso de la columna de agua, que provoca cambios en los estados y esfuerzo elásticos de la zona. Luego, este efecto depende de algunos factores como las características del fondo de asiento del embalse, la altura de la columna de agua, y cómo se distribuyen las tensiones al comienzo del proceso de actividad de la represa-embalse.

El Efecto Incremento de la Presión de Poros, consiste en el aumento de la presencia y difusión de agua en los poros de las zonas permeables, por debajo y aledañas al embalse. Básicamente se produce por un cambio drástico en las condiciones hidrológicas de la zona.

Se debe agregar que existen otros factores que inciden en la *Sismicidad Inducida*, destacándose la Litología de la zona. *La presencia de rocas masivas y frágiles como el granitos, o la existencia de Karst o fisuras producidas por rocas carbonatadas, pueden inducir la sismicidad producida por Embalses, como sucedió en el caso de Danjiangkou, China (Chen y Talwani, 1998. Miguel Herraiz, 2005).*

Por otra parte, también se menciona que la *Sismicidad Inducida* es provocada por las dimensiones del embalse, las propiedades hidrológicas, y la frecuencia de las fluctuaciones del nivel del agua. Estos factores fueron mencionados por *Roeloffs en 1988, y por Miguel Herraiz en el 2005.*

Ahora bien, la situación más propicia para la aparición de *Sismicidad Inducida* está dada por el volumen del embalse, la profundidad del reservorio, la presencia de una zona de esfuerzo de cizalla, con fallas activas antes de la existencia del embalse y ubicadas en formaciones sedimentarias (Herraz, 2005). Por lo tanto, al iniciar la proyección de una represa, es imprescindible tomar en cuenta estos factores. La presencia de una falla geológica, es un obstáculo insoslayable ya que existe un potencial máximo de ocurrencia de terremotos. También, la historia sísmica y volcánica de la zona es un factor importante, y además de la magnitud y energía liberada, ya que se puede deducir cuanta energía se puede liberar si se produce un nuevo fenómeno telúrico. En el gráfico de abajo, se muestran diversos embalses en el planeta con *Sismicidad Inducida*, estudiados mientras se va realizando el llenado del embalse propiamente tal.

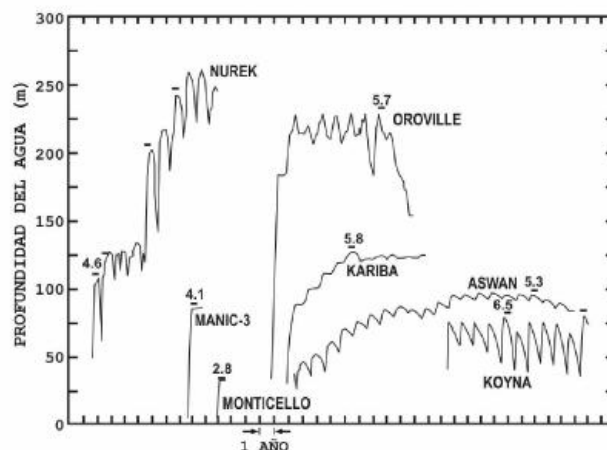


Figura 1. Niveles de agua y sismicidad en diferentes embalses con sismicidad inducida. Las alturas de agua están referidas a la base de la presa para que los datos sean comparables. Los números indican la magnitud del evento más importante y las barras señalan incrementos de sismicidad. (Adaptado de Simpson, 1986)

La Represa Tres Gargantas (Three Georges) en China, debido a la presencia de 6 fallas geológicas, estaría causando terremotos de gran magnitud. Medios periodísticos chinos, indicaron que el 25 de Octubre de 2003 se registraron temblores de 6,1 y 5,8 en la escala de Richter que sacudieron la región de Zhangye.

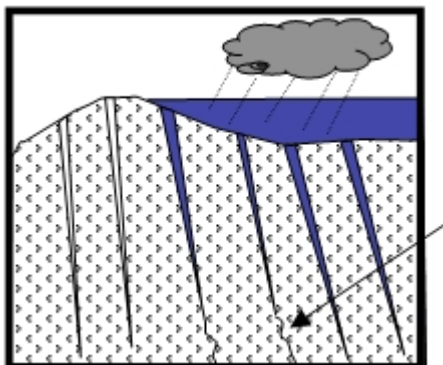
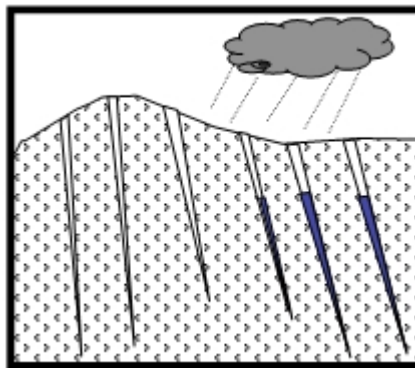
El ingeniero hidráulico Wang Weiluo señaló sobre la represa Tres Gargantas “la probabilidad de que el proyecto provoque un terremoto es muy alta. La razón principal es que el agua retenida por la presa provocaría una intensa presión del agua, y ésta penetraría en las grietas de los cimientos, provocando un corrimiento del estrato y continuando con un terremoto”. (Diario La Gran Época, 22/10/2007 Artículo de Xin Fei. <http://www.lagranepoca.com/articles/2007/10/22/1375.html>).

En mayo del 2008, el complejo de represas Tres Gargantas en China, provocó un grave terremoto de 7.8 grados en la escala de Richter, causando al mismo tiempo el agrietamiento de la represa de Zipingpu, y la muerte de más de 15 mil personas. *Imagen Izquierda represa Zipingpu.*



Para graficar lo expresado en los párrafos anteriores tenemos los siguientes esquemas:

Cuando llueve y al no existir barreras de embalsado, la acumulación de agua sobre el suelo y el posterior escurrimiento y llenado de las grietas de la corteza, se da sin efectos mecánicos intensos, a escala vertical y horizontal. El esquema muestra el llenado de grietas o zonas de fallas, durante la ocurrencia de lluvias.



Si existiere un proceso de embalsado como una represa, la acumulación de agua y la correspondiente filtración hacia las grietas o fallas, causará una enorme presión, afectando las estructuras rocosas y una progresiva ruptura.

La ruptura de la roca se produce por peso del agua.

Esquemas; Erin Beutel. College of Charleston. Departamento de Geología.

Se debe tener presente que el peso del agua sobre una formación geológica inestable ejerce una enorme presión, por lo que las formaciones rocosas o capas tectónicas, inevitablemente ceden y se producen los movimientos telúricos o la activación de un estrato volcánico.

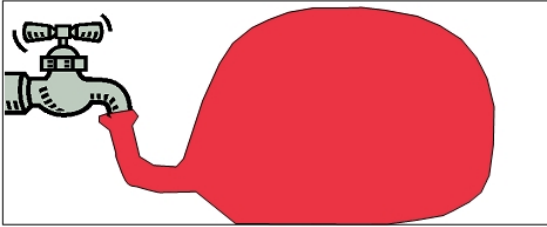
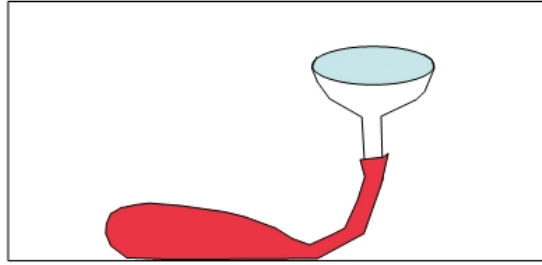
Una investigación científica realizada en el año 2002, arrojó que “*las grandes represas de agua podrían afectar de manera peligrosa la corteza de la tierra al punto de comprometer las vidas de las personas que viven en áreas colindantes. Es muy probable que aumente dramáticamente el costo económico de los desastres volcánicos y sísmicos durante este siglo*” (Chris Hartnady, geólogo, Universidad de Ciudad de El Cabo – Sudáfrica). Este mismo investigador hizo pública ante el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), una investigación donde recalcó que realizó estudios en diferentes países, que demostraron que las grandes represas y las excavaciones mineras habían causado terremotos. En la misma conferencia agregó que “*Las áreas montañosas parecen muy atractivas para establecer represas hidroeléctricas. Sin embargo, en el este y sur de África, esas zonas altas están generalmente relacionadas con cinturones de tierra activos, ubicados cerca de fallas y acantilados de la corteza terrestre*”.

Por otra parte, el científico Bill Mc Guire (Director del Benfield Greig Hazard Research Centre - Londres), señaló a un diario local, que el aumento del nivel volcánico y de terremotos en el mundo es un problema que se está produciendo a nivel mundial. “*No hay dudas de que si abres una gran reserva, vas a tener terremotos*”.

(http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_1978000/1978214.stm).

Ahora bien, si hacemos una analogía de cómo una represa puede provocar terremotos, debemos hacer el siguiente experimento, utilizando los siguientes elementos; una llave de agua, una manguera de agua, un globo y un embudo.

En el dibujo de la derecha, podemos ver que el agua en el embudo no logra llenar el globo, ya que carece de la presión suficiente para lograrlo. Por lo tanto, si estuviera en una falla, las estructuras rocosas no sufrirían efecto algunos.



Ahora bien, en el esquema de la izquierda, vemos que al conectar el globo a la llave de agua en equivalencia a un embalse - represa, el globo se llenará de agua, debido a la presión que ésta ejerce. Si este “globo” estuviera inserto entre una falla geológica o grietas, la presión provocaría un “pequeño” movimiento tectónico, por lo tanto un **terremoto**.

6.0. Terremotos – Teoría Tradicional.

Desde tiempos inmemoriales, el ser humano ha tratado de explicar el origen de los terremotos, de acuerdo a sus limitados conocimientos científicos o posturas religiosas. En pleno siglo 21, los humanos aún continúan tratando de explicar adecuadamente el origen de estos fenómenos, así como el volcanismo asociado, pero lamentablemente, la ciencia continuará teorizando sobre estos eventos, ya que nadie ha podido incursionar en profundidad (literalmente) en aquellas zonas donde se produce el trabajo de la tectónica, que va desde un rango de 20 a 600 kilómetros de profundidad. La inexacta ciencia de la tierra, apela a una amplia variedad de causas sobre el origen de los terremotos y las más usadas son :

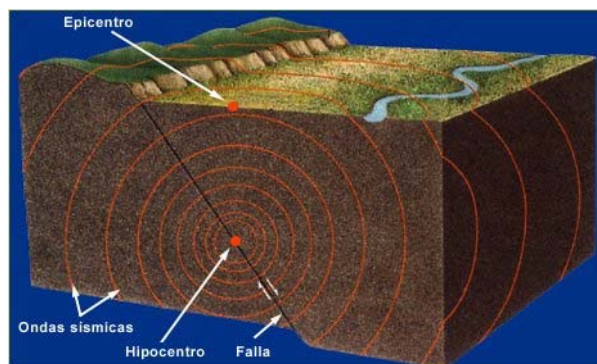
- Roturas repentinas de partes del subsuelo o profundas zonas de la Litosfera.
- Hundimiento de sectores internos de la corteza terrestre.
- Movimientos bruscos de una placa contra otra (Nazca – Continental – Antártica).
- Liberación de la tensión o energía plástica entre las distintas placas y el roce que se produce entre ellas, siguiendo la línea de falla, hasta que se produce una dislocación, fractura o enganche.
- Reajustes del equilibrio isostático entre las distintas placas tectónicas, produciéndose un punto de tensión, hasta que se libera y produce el movimiento telúrico.
- Por lentos e impredecibles corrimientos, siguiendo ciertas fallas, hasta que se produce una súbita rotura.
- Otros apuntan a colisiones o desplazamientos que tienen lugar entre los bloques o placas de una misma zona.

Otras hipótesis defienden que los terremotos se producen por corrientes de aire, vapores de agua a presión que pueden ir de unas zonas a otras a gran velocidad, por corrientes de lava o masa magmática en movimiento por el interior de las galerías o por fisuras del interior de la Litosfera, que serían las responsables de producir las fuertes vibraciones sobre la superficie de la Tierra.

Todas estas teorías tratan de explicar lo inexplicable, y en el fondo un movimiento telúrico o una erupción volcánica son síntoma de una causa desconocida. Por supuesto, tienen alguna relación, pero no se puede afirmar la relación exacta, ya que nunca nadie ha podido ver el punto exacto del fenómeno, o ingresado a un volcán en erupción para ver la causa de este proceso. En el fondo, todas las teorías se basan en “deducciones” de la propagación de las ondas de choque a través de las diferentes capas de rocas.

Debemos tener claro, que los terremotos son producidos por efectos de un fenómeno ocurrido en algún lugar de las capas interiores de la tierra, el cual produce la liberación de energía en un punto llamado Hipocentro, y desde aquí se generan ondas sísmicas que se manifiestan en la superficie o zona del Epicentro.

El esquema de la derecha, grafica la tradicional teoría del terremoto.



Fuente Desconocida

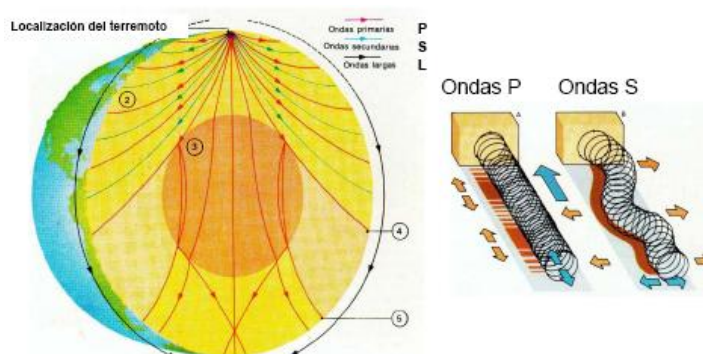
Las diversas teorías existentes en tiempos presentes tienen un punto de partida, los Sismógrafos y los Acelerógrafos (mecánicos o electrónicos), y el análisis de las ondas registradas por estos equipos. Estos instrumentos registran dos tipos de ondas: las *Superficiales*, que viajan a

través de la superficie terrestre y que producen la mayor vibración de ella y casi siempre producen el mayor daño. Luego están las *Centrales o Corporales*, que viajan a través de la Tierra desde lo profundo.

“Las ondas Centrales a su vez son de dos tipos: las **Ondas Primarias ("P") o Compresivas** y las **Ondas Secundarias ("S") o Cortantes**. Lo interesante de estas ondas es que las "P" viajan a través del magma (zona de rocas fundidas) y llegan primero a la superficie ya que logran una mayor velocidad y van empujando pequeñas partículas de material delante de ellas y arrastrando otro tanto detrás”.

“Las ondas "S" en cambio, por ir más lentas van desplazando material en ángulo recto a ellas (por ello se les denomina también "Transversales"). La secuencia típica de un terremoto es: primero el arribo de un ruido sordo causado por las ondas("P") compresivas, luego las ondas ("S") cortantes y finalmente el "retumbar" de la tierra causado por las ondas superficiales”.

(<http://www.bibliotecavirtual.com.do/Geografia/Terremotos.htm>)



Las ondas sísmicas en la Tierra

Las ondas primarias (P) pueden traspasar el núcleo. Las ondas secundarias (S) no pueden. Esto lleva a deducir que el núcleo externo es líquido, pues las ondas S, las cuales requieren un medio elástico o sólido, no pueden penetrar líquidos.

Producto del análisis de las ondas y los movimientos telúricos producidos, la ciencia ha catalogado estos movimientos en:

Plutónicos: Son el 3% del total de sismos, con profundidad entre 300 y 900 kilómetros. Son los de más energía por su profundidad, aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso. Estos seísmos se explican por un cambio de fase de las rocas del Manto (implosión) o por rupturas en el flujo plástico del Manto (explosión). Para diferenciar ambos mecanismos focales los análisis se basan en la primera onda sísmica que llega a la estación de registro. (*Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional de Colombia, 2003*).

Interplaca: Son el 5% del total de los sismos y aparecen a una profundidad entre 70 y 300 kilómetros. Son típicos de zonas de subducción, los focos de ellos van delimitando el plano de Benioff. Son los segundos en energía, ya que a esta profundidad la Tierra no almacena tanta como en el caso anterior, pero dado su carácter más somero son destructivos. El registro de éstos sismos, en la superficie, muestran pocas frecuencias altas. Ello se explica por un filtraje de las capas recorridas, ejercido sobre el frente ondulatorio, que podríamos interpretar como un consumo de energía en el transporte de las ondas sísmicas. (*Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional de Colombia, 2003*)

Intraplaca: Son sismos de fallas, y representan el 85% de los sismos. Se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles (fallas). Son los más destructivos aunque acumulan menos energía que los anteriores dado que se dan a menos de 70 kilómetros de profundidad. Se distinguen porque tienen múltiples premonitores y múltiples réplicas en razón de que a esta profundidad las rocas antes que plásticas son rígidas. Los premonitores son las rupturas que anteceden al paroxismo y las réplicas son las rupturas que lo suceden. (*Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional de Colombia, 2003*)

Cuando se trata de sismos por fallas, el mecanismo focal sugiere el tipo de falla, por lo tanto tenemos;

Los volcánicos: Son el 7% de los sismos y se presentan a menos de 20 kilómetros de profundidad. A diferencia de los otros, la aureola de daños es de pocos kilómetros ya que el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. Cuando las burbujas del magma alcanzan la zona rígida de la corteza y los volátiles disueltos cambian a la fase gaseosa, y además la presión del fundido es suficiente, se provoca el emplazamiento del magma en regiones superiores y el escape de gases que deforman y fracturan la corteza.

La velocidad de ascenso del magma, como su volumen, suelen inferirse por la magnitud de los sismos y desplazamiento temporal de los focos sísmicos. La interpretación de éstos fenómenos puede corroborarse a veces por la dinámica que muestre la extensión del campo o de deformaciones (disminuyendo) y la intensidad de las deformaciones (aumentando) en superficie. (*Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional de Colombia, 2003*).

Los sismos artificiales. Son aquellos producidos por detonaciones de bombas nucleares, extracciones mineras, yacimientos petroleros, represas y embalses, etc. Tienen una profundidad dependiente de la zona, las capas tectónicas y fallas subyacentes al punto de impacto o carga isostática. Estos terremotos están catalogados como *Sismicidad Inducida* por acción humana.

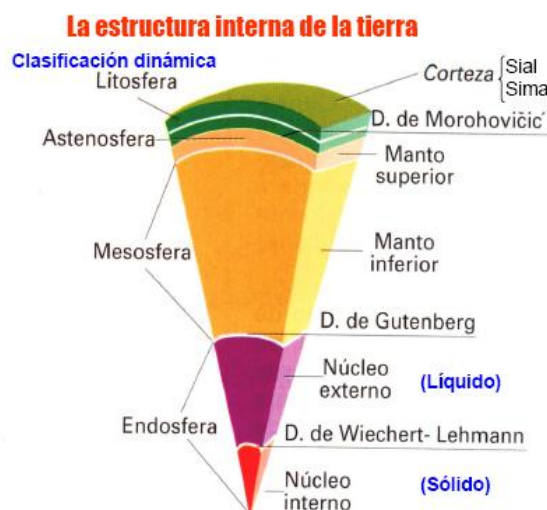
7.0. Terremotos - Visión Geológica Alternativa.

Este capítulo y los expuestos anteriormente, servirán de base para plantear y entender una teoría alternativa posterior (Capítulo 8.0), además, se destacar algunas definiciones y temas, que son importantes para clarificar y comprender esta “teoría”, que conjuga varios factores naturales y antrópicos, que explicarían a priori los intensos cambios que están afectando el sur de Chile y Argentina, y que de no mediar los factores de corrección o prevención, las consecuencias para las comunidades patagónicas serán lamentables.

7.1. Isostasia

La Isostasia fue enunciada formalmente por Dutton en 1889, y básicamente es la condición de equilibrio que presenta la superficie terrestre debido a la diferencia de densidad de sus partes, y que se resuelve en movimientos verticales (Epirogénicos) y basada en el principio de Arquímedes.

Para entender el concepto, haremos la siguiente comparación; La corteza terrestre (Sial) flota sobre el Manto (Sima) como un iceberg en el océano. El principio básico está determinado por la flotabilidad de un cuerpo sobre otro, debido a la densidad, donde el más denso se situara debajo del menos denso. El material que flota, se hunde en un porcentaje que varía según su composición, pero siempre tendrá una parte de él emergido.



Los bloques en equilibrio no tienen todos el mismo espesor, y el “fluido” en el cual reposan los continentes no es comparable con el agua, en este caso es un fluido muy viscoso, donde el equilibrio no es perfecto, y no puede llamarse “hidrostático”, sino “isostático”. Las presiones ejercidas por el peso de los bloques se igualan en una superficie situada a 60 kilómetros de profundidad, llamada *Superficie de Compensación Isostática* y por debajo de esta superficie, la distribución de las masas es regular.

El equilibrio isostático puede romperse, debido a lo siguiente:

- Al formarse una cordillera.
- Si una fuerte erosión aligera un bloque montañoso, acumulándose los materiales sobre otro bloque, suboceánico, por aporte y sedimentación.
- Si un aumento de temperatura funde un espeso casquete glaciar que recubre un bloque.
- La formación de un lago artificial (embalse).
- Explotación minera y petrolera (gas natural).

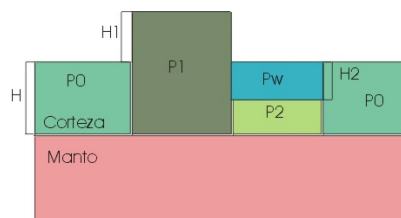
El equilibrio tiende a reestablecerse mediante movimientos verticales; el bloque aligerado tiende a elevarse y a hundirse el que esta sobrecargado, produciéndose movimientos de los materiales fluidos infracorticales y provocar insospechados fenómenos telúricos.

La Isostasia es fundamental para el relieve de la Tierra, y de debe tener presente que los continentes y sus placas, son menos densos que el Manto, al igual que la corteza oceánica. Cuando la corteza continental se pliega, acumula gran cantidad de materiales en una región concreta. Terminado el ascenso, comienza un proceso de erosión, y los materiales se depositan, a la larga, fuera de la cadena montañosa, con lo que ésta pierde peso y volumen. Los cuerpos o bloques ascienden para compensar esta pérdida dejando en superficie los materiales que han estado sometidos a un mayor proceso metamórfico, y que se han convertido en granito.

Para explicar este fenómeno, a mediados del siglo 19 y principios del 20, se propusieron 3 teorías, que mencionaremos rápidamente:

7.1.1. Teoría de Pratt:

Respecto a la Isostasia, sostiene que los bloques que forman el relieve terrestre como cordilleras, llanuras o depresiones; tienen en el fondo un nivel de compensación, aunque en la superficie tienen alturas diferentes, por lo cual cada bloque debe tener muy diferente densidad (Pratt, 1856). Su bosquejo es el siguiente:



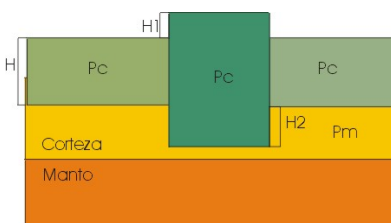
$$H p_0 = (H+H_1) p_1 = (H-H_2) p_2 + H_2 p_2$$

$$p_1 = \frac{H}{H+H_1} p_0$$

$$p_2 = \frac{H p_0 - H_2 p_0}{H - H_2}$$

7.1.2. Teoría de Airy:

Esta hipótesis nos dice que todos los bloques que forman la corteza terrestre tienen más o menos la misma densidad, y los que tienen mayor altura deben tener también mayor profundidad para mantener el equilibrio. Actualmente se sabe que existen las raíces de las montañas, por lo tanto esta teoría es la más aceptada (Airy, 1855). Su bosquejo es el siguiente:



$$H_2 (P_m - P_c) = H_1 P_c$$

$$H_2 = \frac{P_c H_1}{P_m - P_c}$$

Según la teoría de Airy, aplicando la ecuaciones de la figura de arriba, la raíz de una montaña de 1 kilómetro de altura sería de aproximadamente 5 kilómetros, hecho comprobado mediante procesos sísmicos.

Pero con respecto a ambas teorías, se ha comprobado que las dos hipótesis son ciertas, ya que establecen raíces profundas pero también es cierto lo de distintas densidades.

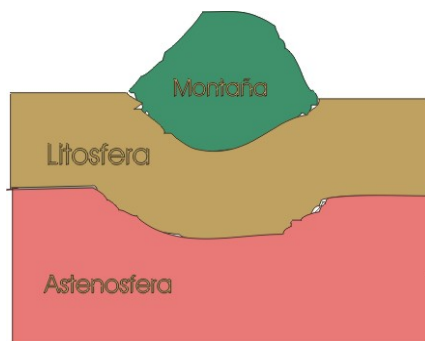
La hipótesis de Airy se cumple en el 63% de los casos mientras que la de Pratt se cumple en el 37%.

Las consecuencias de la teoría de Airy, en el ajuste isostático, es que al quitar masa a los bloques isostáticos, estos se elevan, y esto sucede en las cordilleras. El material se sedimenta en las cuencas sedimentarias, por tanto estas se hundén.

Luego, también la Isostasia demuestra la existencia de una capa plástica bajo la Litosfera llamada Astenosfera (nivel de compensación isostático), que permite esta “flotabilidad”.

7.1.3. Teoría Vening – Heinesz.

La tercera teoría de la Isostasia es más reciente (1930 aprox.), y fue propuesta por Felix Vening-Heinesz. El descubrió que los Himalayas no tienen raíces de 80 kilómetros como predecía la teoría de Airy. Según esta teoría, la topografía depende del espesor de la Litosfera. Cuando existe una montaña sobre la Litosfera ésta se hunde y mientras más delgada sea más se hundirá. Con esta teoría, las raíces de una montaña de 1 kilómetro de altura disminuyen un poco su profundidad. El bosquejo de esta teoría queda es la siguiente:



Ahora bien, independiente de la teoría, lo determinante es que las formaciones graníticas que han ascendido, forman escudos o macizos antiguos extremadamente rígidos, y que no se pliegan ante nuevas actividades orogénicas, sino que se rompe formando un relieve fallado. Cada uno de los bloques en los que se rompe el escudo, y que son de diferentes tamaños, también tiende a alcanzar un determinado equilibrio isostático. Los diversos ajustes, movimientos ascendentes y hundimientos de unos bloques con respecto a los otros, generan pequeños terremotos.

En una cuenca hidrográfica, el hundimiento producido a lo largo de la hoya, donde se están sedimentando materiales (técnicamente llamado *Subsidencia*), también se estabiliza isostáticamente, a pesar de que el barrido o erosión fluvial, comienza a sacar fuera de la cuenca, grandes cantidades de material. Un ejemplo de esta situación corresponde a la cuenca binacional del Río Puelo, pero en la mayoría de los grandes ríos australes, se da esta situación.

7.2. Presión Isostática.

Ahora bien, mirando con mayor profundidad la esfera terrestre, al interior de ella “teóricamente” se conjugan fuerzas que determinan el comportamiento geotectónico de la corteza. Usualmente, la ciencia tradicional, menciona el *Equilibrio Isostático*, el *Ajuste*, el *Rebote* y la *Compensación Isostática*, pero nada se menciona al respecto de la Presión Isostática, como si ésta no existiese, pero para efectos de este documento, la tomaremos en cuenta.

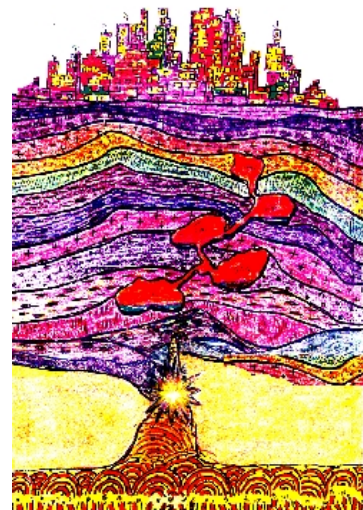
Teóricamente, la Presión Isostática es una fuerza real que está presente en el desarrollo de la orogenia, de la actividad volcánica, en el proceso de generación de los terremotos, en la elevación del relieve, en el nacimiento y ascensión de las montañas. Al momento de negar la existencia de este proceso, no es posible explicar adecuadamente el desarrollo de los fenómenos tectónicos. La Presión Isostática, es debida a un aumento de la radiación que se produce en la zona exterior del núcleo del interior de la Tierra. Es decir, se produce un aumento de la temperatura y una dilatación de la masa que forma el manto o diversos puntos de la *Astenósfera*.

Para entender este principio, debemos primero graficar el siguiente proceso al interior de la tierra ;

El esquema a la derecha, muestra que una vez completado el ciclo de Tensión – Relajación, se presenta un incremento en el riesgo sísmico, hasta que se inicia un aumento en la Presión Isostática.

El aumento de presión, produce una elevación de la masa magmática por el interior de las fisuras o Diaclasas, hasta que se produce una ruptura de la energía que llenaba las cavidades mencionadas.

Con este fenómeno y a gran profundidad, se inicia un proceso telúrico inicial, que conlleva a una secuencia de sismos, que tienden a disipar la energía antes de que se produzca una ruptura mayor y por ende un terremoto preliminar.



Fuente :*Jesús Miranda Lopera (www.fisicaweb.com)*

La Presión Isostática se genera por aumento de la actividad que produce el núcleo interno de la Tierra. Teóricamente, este núcleo está formado de una masa en estado de termofusión, similar al proceso de “mecánica de las estrellas”. Esta mecánica está basada en el desarrollo de un proceso de máxima y mínima actividad y en ciclos de tiempo similares a los que se dan en el sol. Este proceso es el que se desarrolla, en el interior de la Tierra, el aumento y disminución de la presión isostática.

El interior de la Tierra se comporta como una “*olla con leche sobre el fogón de una cocina de gas*”. Cuando se abre la llave del gas, la sustancia que está en su interior se calienta más de prisa, la masa se dilata por un aumento de la temperatura, lo que produce un aumento de la presión en su interior, todo lo contrario se produce si la energía disminuye o la llave del gas se cierra. Así podemos ver que cuando abrimos la llave del gas, *la leche* o sustancia que se hay en su interior hierve más deprisa y aumenta la presión en el interior de la olla; si la tapa no está bien ajustada, ésta empezará a agitarse por un aumento del vapor; el agua, la leche o la sopa subirán hasta derramarse por los bordes. Esto es un ejemplo a pequeña escala de lo que es la presión isostática.

Debido a este aumento de temperatura, las masas internas terrestres se dilatan, aumentando así de volumen; esto desarrolla, en algunas zonas de la Astenosfera, esta presión “Isostática”, y que durante las primeras eras geológicas producía sobre diversas zonas de la superficie el nacimiento de

las montañas, y que aún continúan produciéndose. Esta presión, es una fuerza que produce grandes movimientos epirogénicos (movimientos verticales), además de otros movimientos que se deben al equilibrio isostático que frecuentemente presenta la corteza terrestre.

El cráter de un volcán, es una válvula de escape de la presión que se acumula en el interior de la chimenea, y el desarrollo de las erupciones hace bajar la presión en el interior de la Astenósfera. Además, la Presión Isostática puede surgir también por una determinada zona de una falla, una isla en el mar, la elevación de un arco insular o el mismo borde de una placa o falla tectónica. Todos estos son puntos por donde puede actuar la Presión Isostática.

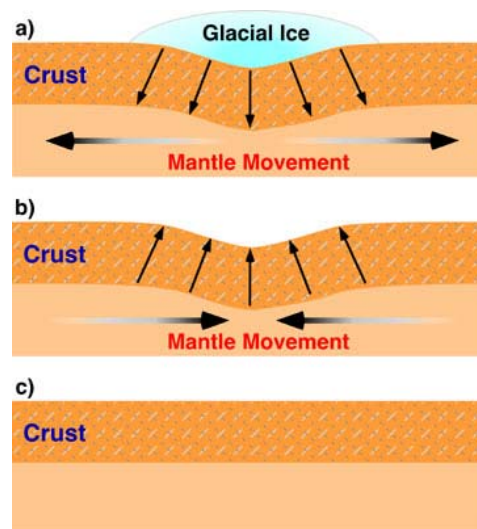
Esta presión, cuando aumenta en el interior de la Astenosfera, tiende a salir por alguna fisura o cráter de un volcán, por allí expulsa la masa magmática o la energía que se acumuló en su interior. Por lo tanto, cuando la temperatura sube, la masa interna se dilata y aumenta de volumen, los productos sobrantes de proceso (gases, etc.), tienen que ser expulsados al exterior, y por este motivo en el caso de las erupciones se producen volcanes de fisura o de tipo islándico. Esto es potenciado, si se está produciendo una disminución de la carga (*Rebote Isostático*) ejercida sobre la corteza por cuerpos superficiales como lagos o campos de hielo.

7.2.1. Rebote Isostático.

En palabras simples, el *Rebote Isostático*, es el efecto de deformación que ejerce un cuerpo sobre la corteza terrestre, y una vez que este desaparece, el Manto recupera su forma.

Durante mucho tiempo la geología tradicional menciona un Rebote Isostático Post Glacial, es decir, en el pasado, cuando la tierra (especialmente el sur de Chile y Argentina), estaban cubiertas de grandes masa de hielo (*Ultimo Máximo Glacial - UMG*), y estas producían una enorme carga cinética sobre la Litosfera terrestre, causando una flexión por debajo del manto terrestre. Pero cuando comenzó el proceso de calentamiento climático y derretimiento de los campos de hielo, se produjo una deflexión, y el manto recuperó la profundidad original.

El esquema de la derecha indica el proceso de rebote producido por el hielo (Glacial Ice), la carga efectuada sobre la corteza (Crust) y el desplazamiento del manto (Mantle Movement).

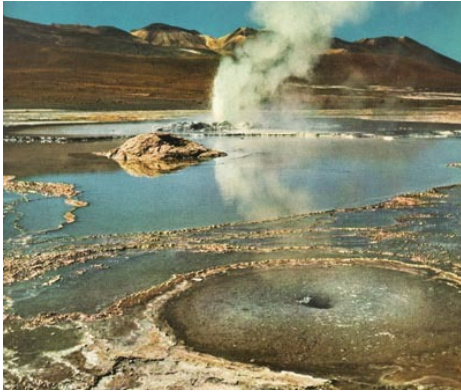


Ahora bien, siempre se menciona que la importancia de este rebote se debe a que al deprimir el Manto, la carga impide el ascenso de magmas, los cuales dan origen a la actividad volcánica. En otras palabras, este efecto limita la ocurrencia de erupciones, pero una vez que esta carga disminuye o desaparece, los eventos eruptivos pueden aparecer en forma intensa, especialmente si existen fallas geológicas implicadas, y que facilitan el surgimiento de los magmas.

Por otra parte, este efecto no solo se limita al hielo, también están los cuerpos de agua continentales (por ejemplo los Lagos Araucanos de origen glacial), que producen una enorme carga sobre el Manto, y este efecto se denomina *Rebote Hidroisostático*. El efecto que ejerce un lago se puede cuantificar usando Isostasia y Presión Litostática, calculadas sobre un punto específico del manto terrestre, donde las presiones con y sin agua tienen que ser iguales. Para realizar estos cálculos, debemos aplicar fórmulas y modelos matemáticos, como las desarrolladas por *Turcotte(1982)* y *Hulton (2002)*, pero para los efectos de este estudio, solo las mencionaremos.

7.3. Sismicidad Inducida por Actividades Humanas.

En el capítulo 5.1 describe este fenómeno en forma más completa, el cual es provocado básicamente por las actividades humanas sobre la corteza terrestre. La ciencia no ha estudiado este fenómeno con detenimiento, ya que por sus implicancias provocaría un grave menoscabo en las utilidades financieras e intereses corporativos, y que causa la pérdida de las vidas y hogares de miles de humanos cada año, además de la destrucción de ecosistemas y sus organismos componentes. Las actividades humanas responsables de *Sismicidad Inducida* recaen en la minería, la extracción petrolífera, el embalsado de ríos por proyectos hidroeléctricos o de riego, la extracción de agua para uso geotérmico. Además, se debe mencionar aquellas actividades provocadas por el mercado de la guerra y el uso de artefactos nucleares, en zonas sensibles del planeta y que están deteriorando las reservas de agua dulce planetaria.



8.0. Teoría Alternativa.

La naturaleza es una compleja red de relaciones, donde unas con otras están íntimamente relacionadas, potenciadas o reguladas por si mismas y conforman en alguna medida un infinito sistema de retroalimentación, pero entendiendo que la limitada ciencia humana tradicional no puede comprender adecuadamente o explicar estas infinitas relaciones, según el actual nivel de las matemáticas y conceptos tradicionales.

Para comenzar a entender algo de la naturaleza, podemos utilizar el termino acuñado por Ilya Prigogine en 1967, de las “*Estructuras Disipativas*”, y si en nuestro caso, nos referimos a una falla geológica, ésta no es solo una fractura en la capa tectónica, muchos son los factores que inciden en su dinámica, y la supuesta estabilidad, esta lejos del equilibrio según nuestro concepto, y tiende hacia formas de complejidad creciente. “Un sistema así, no puede ser deducido de las propiedades de sus partes componentes analizadas individualmente, si no que es consecuencia de la suma de las correlaciones de largo plazo de todas las partes que interactúan (en procesos de equilibrio a desequilibrio y viceversa), y que forman el todo”. (Mauricio Fierro, 2007).

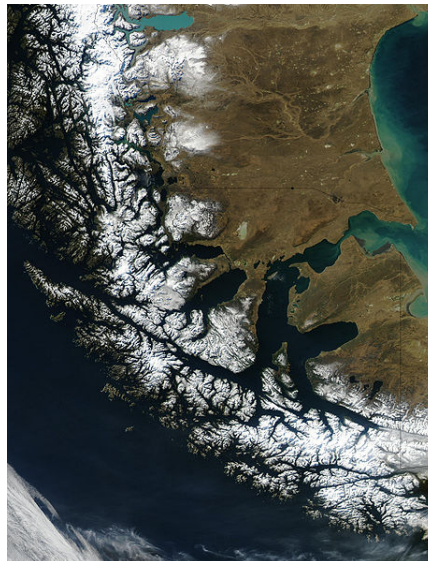
Ahora bien, para poder explicar el porque de la activación de una falla y las consecuencias de ello, deberíamos incluir la mayor cantidad de factores que inciden en el proceso, y para mencionar algunas, a escala local se requiere contar con variables tales como, la tectónica de placas, la hidrología y el rebote hidroisostático, presión litostática, las constantes de dilatación térmica de los materiales componentes de las rocas, la densidad estructural de las masas rocosas, el electromagnetismo y situación del campo geomagnético terrestre, el efecto de las mareas, la temperatura media local y global, etc. Además, habría que considerar el efecto del campo magnético solar sobre la tierra, el ciclo de manchas solares y tormentas, anomalías en la rotación y presesión terrestre, y solo por mencionar algunas. Hay que tener presente, que las variables mínimas necesarias aplicables para tener algunos grados de confianza son demasiados, y todas ellas responden a ecuaciones no lineales, y no pueden ser aplicables a los limitados modelos lineales o sistemas matemáticos tridimensionales deterministas de la ciencia actual. Algunos geólogos podrán acudir a las formulas o modelos matemáticos de compensación isostática como los de *Turcotte & Schubert (1982)*, u otros similares, pero finalmente comprenderán que los grados de confiabilidad son extremadamente pobres y existe una falta de conocimiento al respecto de la tierra y su dinámica geotectónica.

Para entender adecuadamente esta “*vía de respuesta alternativa*”, debemos entrar a un mundo matemático muy poco conocido, denominado *Fractales*, que esta vinculado con la teoría del caos, donde toda predictibilidad tal como la conocemos no existe. Todas las variables que interactúan para producir un resultado y en este caso una perturbación sísmica, se desarrollan en un espacio multi dimensional y que los matemáticos para poder entenderlo, lo han denominado *espacio fase* (espacio matemático abstracto), es decir, si se tienen por ejemplo 14 variables, y cada una de estas posee una coordenada y una dimensión determinada, se tienen un espacio fase de 14 variables. Por ello, es imposible visualizar un espacio fase con 14 dimensiones y he aquí la razón de la denominación de *espacio fase abstracto*.

La sismicidad terrestre es un sistema complejo y puede ser explorado mediante la técnica Fractal, aplicando ecuaciones no lineales, y sistemas iterativos, y con software de ultima generación ayudan en gran medida a acortar el tiempo de respuesta. Ahora bien, predecir el comportamiento de la tierra desde un punto de vista sismológico, es imposible ya que una falla geológica o un volcán son estructuras fractales con un comportamiento “caótico”, y este sistema caótico tiende siempre a comportarse como un “*Atractor Extraño*” y por ende toda predictibilidad es imposible. Más aun, un sistema caótico se caracteriza por ser muy sensible a las condiciones iniciales, y cualquier pequeñísimo cambio en el estado inicial, conducirá en un periodo de tiempo indeterminado a consecuencias de gran escala. Este efecto caótico se denomina “Efecto Mariposa” (Edward Lorenz,

Determinismo no periódico. 1969), y en forma resumida grafica que dos trayectorias, partiendo desde un mismo punto de origen, se desarrollan de un modo diferente, impidiendo toda predicción a largo plazo. Algo similar sucede con nuestro tema de la Sismicidad Inducida y el comportamiento de las fallas geológicas.

Un bello ejemplo de un fractal en la naturaleza, lo podemos graficar con una imagen satélite NASA de la zona de Tierra del Fuego, estrecho de Magallanes . Imagen de la Izquierda.



Se debe tener presente que toda la costa pacifica chilena y la Cordillera de los Andes compartida por Argentina y Chile, es un gigantesco fractal, que esta regido por un determinismo no periódico, donde el “caos” es ley e imposible de modelar aún con las matemáticas actuales.

Imagen Fuente : NASA

Por lo tanto, en los siguientes párrafos, se incluye la aplicación general de algunos conceptos y directrices vertidos anteriormente, que darán algo de luz y respuesta en cierta medida al ¿por qué? de la activación de la falla Liquiñe Ofqui, pero desde un punto de vista más “alternativo” y no cartesiana como lo plantea la geología tradicional. Pero antes debemos hacer hincapié en que, la activación de la Zona de Falla Liquiñe Ofqui (*ZFLO*), esta determinada por una multiplicidad de variables, y cada una inmersa en las complejidades de interrelaciones de un sistema “caótico”, y para los efectos y simplicidad de este trabajo, mencionaremos algunas y que están bajo los efectos directos de la acción antrópica, es decir por las actividades humanas. Las variables son: El agua propiamente tal; el Calentamiento Global, las represas y la minería.

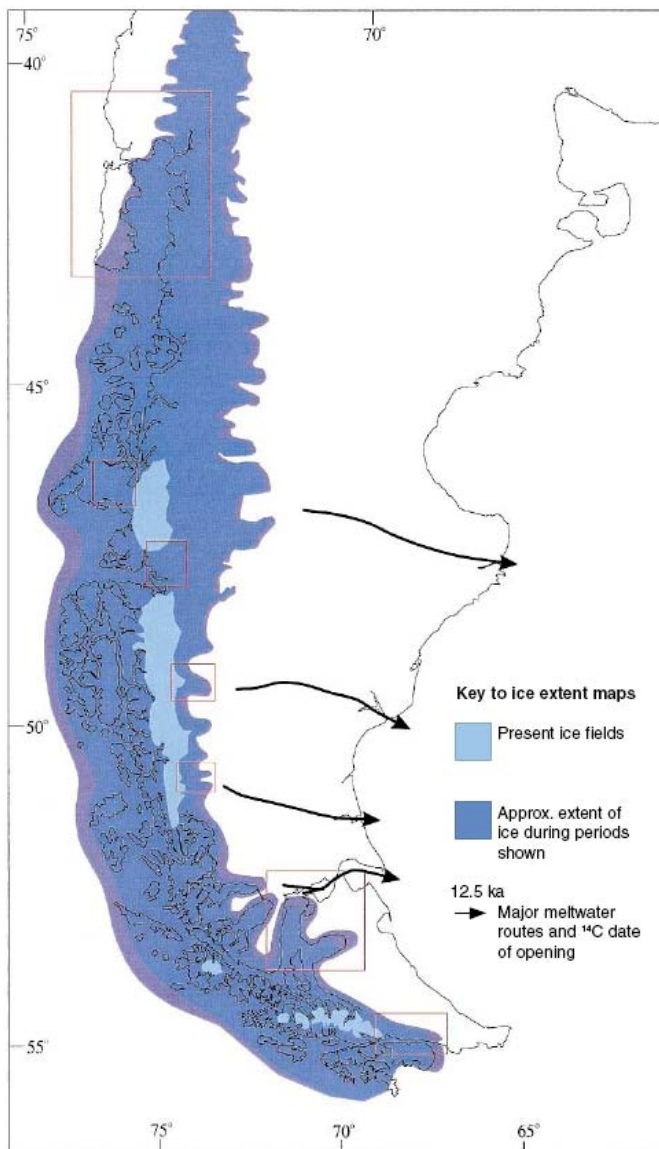
8.1. Variable Hidrológica.

Desde el afloramiento de la falla Liquiñe – Ofqui, en la zona de Neltume (Región de Los Ríos), hasta su termino en la zona del Fiordo Aysen (Región de Aysen), ésta estructura se encuentra íntimamente relacionada al agua. Si observamos detenidamente un mapa, podremos visualizar que coincidentemente la cordillera de los Andes, a lo largo de esta *ZFLO*, presenta grandes estructuras hidrográficas o cuencas lacustres, producto del pasado glacial, con una intensa dinámica geológica y un clima templado húmedo. Cada uno de estos grandes lagos se distribuyen, siguiendo intrincados patrones fractales, ocupando una superficie, un volumen, y con una masa variable según la condicionante climática (Precipitación, evapotranspiración, presión barométrica, frecuencia de vientos, etc.) o por la extracción criminal de una empresa hidroeléctrica.

El gran campo de hielo que cubría desde los 39 a los 55 grados de Latitud sur, fue el responsable del actual paisaje Patagónico desmembrado, compuesto por fiordos, islas, canales, lagos y cuencas lacustres.

Los diversos estudios realizados mediante la Paleo ecología, la distribución de especies arbóreas, y el fechado radiocarbónico, indica que en el pasado, se produjo un gran cambio del clima (Glaciación Llanquihue, GLL), y que entre 14.600 y 10.000 AP., y que producto de una serie de etapas de clima cálido, el hielo se retiró hasta lo que conocemos hoy como campos de Hielo sur y norte. En su lugar quedaron enormes cuerpos de agua dulce, que se distribuyen a lo largo de toda la cordillera Andino Patagónica. El retiro del hielo, coincide con un activo periodo volcánico producto del fenómeno de Rebote Isostático Post Glacial, y que otros autores ya mencionados en este documento.

La imagen de la derecha, indica teóricamente, una reconstrucción de los límites glaciares australes en el pasado y los campos remanentes actualmente.



Fuente: Journal Of Quaternary Science (2000) 15 (4) 409–417 Copyright 2000 John Wiley & Sons, Ltd.

Figure 2a. Glacier reconstruction inferred from the study areas marked. The glacier limits outside those areas remain speculative at this stage. Glacier extent immediately prior to deglaciation at ca. 14 600–14 000 ^{14}C yr BP. Also shown is the outermost Quaternary glacier limit.

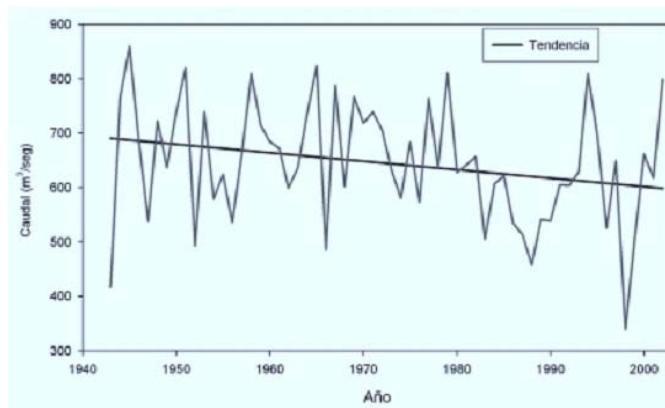
Los grandes cuerpos de agua dulce creados por el retiro de la masa de hielo glacial (*UMG*), representan miles de millones de toneladas cúbicas que ejercen una fuerza sobre la corteza terrestre, y el peso de esta columna de agua actúa, aumentando los esfuerzos normales y tangenciales en la corteza terrestre, pero a su vez este efecto dependerá de las condiciones geológicas del lugar y de la geometría del cuerpo de agua.

En las primeras fases de la creación de estos cuerpos de agua (14.600 a 10.000 años AP), los esfuerzos producidos por el hielo y su retiro, causó grandes movimientos geológicos y actividad volcánica, hasta que se alcanzó cierta “estabilidad” o equilibrio Isostático, proceso conocido técnicamente como *Rebote Isostático Post Glacial*, el cual tardó miles de años, pero modeló el paisaje hasta dejarlo tal cual lo conocemos ahora.

Actualmente este proceso sigue actuando, y no en forma tan dinámica e intensiva como antaño, pero igual de efectivo y peligroso para las comunidades humanas australes. En tiempos

actuales, las cuencas lacustres están perdiendo volumen rápidamente y la tendencia continua a la baja.

Los ríos patagónicos en general son producto de las nieves y precipitaciones que se dan en las cuencas de captación, pero el grave cambio climático que afecta el planeta, ha modificado y deprimido el régimen de precipitaciones (Pluvial y Nival) entre un 10 a un 40 %, y los ríos se están quedando sin agua. El gráfico de la derecha corresponde al caudal del Río Puelo, período 1940 – 2000, e indica una grave tendencia negativa o de pérdida.



Fuente Dirección General de Aguas de Chile – DGA.

La pérdida de caudal de los ríos y por ende el menor volumen de las cuencas lacustres, significa una menor cantidad de agua disponible para el llenado de los lagos. Este menor volumen, significa un menor peso, y si lo ponderado a escala patagónica, significan miles de millones de toneladas cúbicas en pérdida de masa. Por lo tanto la corteza terrestre esta en un proceso de equilibrar esta pérdida, y la creciente actividad tectónica, telúrica y volcánica solo son una consecuencia natural de este ajuste “Isostático”.

Lago Chapo, es uno de los lagos que constantemente esta en pérdida de volumen, y a la vez es uno de los mayores desastres ecológicos de la Región de Los Lagos. Este lago ubicado entre el Parque Nacional Alerce Andino, la Reserva Forestal Llanquihue y el peligroso Volcán Calbuco, esta siendo vaciado por la Empresa Colbún S.A., para utilizar las aguas en beneficio de la Central Hidroeléctrica Canutillar, y generar 174 MW/hora, cuyo destino es el Sistema Interconectado Central (SIC) y las mineras del norte de Chile. El constante llenado y vaciado de este lago, ha provocado innumerables temblores, pero las autoridades no han realizado monitoreos alguno para determinar el grado de *Sismicidad Inducida* que causa esta central hidroeléctrica.



En la imagen se puede apreciar la “ceja” y las líneas de Alta tensión.

Imagen Mauricio Fierro. 2008.

8.2. Factor Calentamiento Global.

El calentamiento Global o Efecto Invernadero también es una variable importantísima en el cambio de condiciones estructurales de la corteza terrestre, pero para entender su participación, debemos definir el concepto y los efectos.

A nivel mundial ya se sabe y discuten los alcances del efecto invernadero, y que nuestro planeta se está calentando, y la mayoría de los expertos están de acuerdo en que los humanos ejercemos un impacto directo sobre este proceso de calentamiento.

Hay que tener presente que el efecto invernadero es una condición natural de la atmósfera de la tierra, ya que algunos gases, como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂) y el metano son llamados gases invernadero, pues ellos atrapan el calor del sol en las capas inferiores de la atmósfera, y sin estos, nuestro planeta se enfriaría drásticamente y nada podría vivir en él.

Ahora bien, a estos gases, los humanos suman contaminantes que resultan finalmente en una acumulación de gases en la atmósfera y que son los que están provocando el problema. De todos los gases producidos por las actividades humanas, el CO₂ es el más crítico y es liberado a la atmósfera al quemar materiales que contienen carbono, especialmente un combustible fósil como el carbón mineral, y otros como el petróleo y metano (hidrocarburos de origen radio núcleo mineral), de intenso uso planetario.

A medida que nuestro planeta se calienta, los campos de hielo y los cascos polares se derriten, y hay que tener presente que el hielo refleja el calor del sol cuando llega a los polos (a pesar de su oblicuidad), devolviéndolo hacia el espacio. Si estos casquetes polares se derriten, menor será la cantidad de calor reflejada, y la tierra se calentará más de lo debido. El calentamiento global también provoca que se evapore más agua de los océanos, y este vapor de agua a su vez actúa como un gas invernadero, por lo tanto, el calentamiento es mayor contribuyendo al llamado "efecto amplificador".

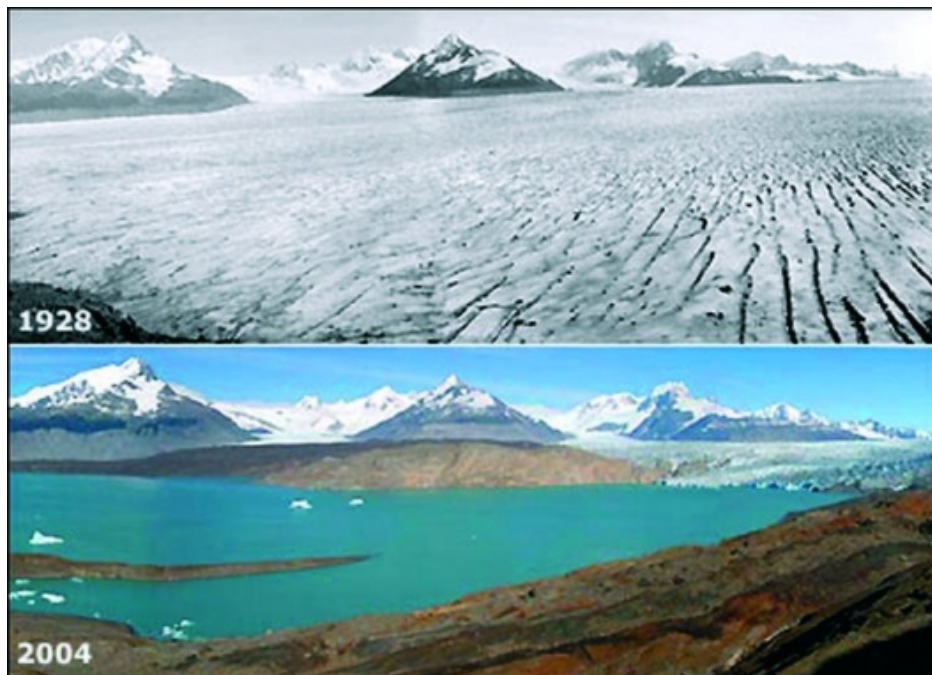
Un nuevo cuerpo de agua como los embalses de represas, con materia orgánica presente, reflejan calor y a la vez liberan gases de metano, debido a la descomposición de la materia presente en sus aguas.

Este proceso de calentamiento global, provoca un cambio en los patrones de clima a nivel global, y el alza de temperatura ha provocado un cambio en el régimen de precipitación mundial. Esto significa que muchas áreas están bajo condiciones de sequía y otras con graves tormentas e inundaciones. En la zona austral de Chile, se visualizan reducciones drásticas de precipitación y el régimen húmedo está cambiando severamente a uno más seco. Por lo tanto, las fuentes de agua dulce como los glaciares y campos de hielo, están bajo peligro de desaparecer, excepto casos puntuales como la zona de Perito Moreno, que por condiciones geoclimáticas, está siendo afectado en forma inversa, es decir, ganando volumen.

En general, las masas de hielo presentes en la zona cordillerana ubicada en el área centro sur de Chile y Argentina (Patagonia), y las cuencas lacustres asociadas, que dependen del aporte nival invernal, han visto reducido drásticamente sus caudales y a medida que este proceso se agudice, serán afectados por peculiares fenómenos físicos y geoquímicos.

Por lo tanto, esto significa que las masas volumétricas de los lagos araucanos ha perdido drásticamente "peso" y la corteza terrestre está recuperándose de un intenso esfuerzo de carga y se está produciendo una compensación y se está dando el fenómeno de *rebote hidroisostático* hasta que se logre nuevamente el punto de equilibrio litosférico.

En la zona patagónica, los efectos de la reducción de los campos de hielo son evidentes, pero no han sido estudiados profundamente. En la zona central de Chile, el ejemplo más claro corresponde al Glaciar Echaurren, que otrora era una reserva y fuente de agua dulce (Río Maipo) para la Región Metropolitana chilena. La imagen muestra los cambios sufridos en un periodo de 76 años (1928 – 2004).



Fuente : Desconocida

8.3. Represas y Minería.

En el capítulo 5.1 hemos hecho un análisis detallado de la relación *Represa y Sismicidad Inducida*, por lo tanto en este capítulo, solo mencionaremos algunos datos generales. Debemos reiterar, que la acumulación de grandes volúmenes de agua en zonas altamente inestables, provoca graves consecuencias en estabilidad de las cargas isostáticas de la corteza terrestre. Si bien este fenómeno, ha sido constantemente tomado a la ligera por la ciencia geológica, esta situación, es producto del temor que los geólogos manifiestan frente a la presión de las corporaciones energéticas dueñas de las represas, la pérdida de “credibilidad” científica y los viejos esquemas arraigados.

Además, la gran minería juega también un papel importante en los fenómenos telúricos, muy especialmente aquellas de gran envergadura como las minas a tajo abierto ubicadas en el norte de Chile. La excesiva remoción y traslado de cientos de miles a millones de toneladas de material a otras zonas, es decir, esta pérdida o desplazamiento de los pesos, provoca drásticos cambios en los estados y esfuerzos elásticos de la corteza terrestre, y por ende una nueva distribución de tensiones y compensaciones, que inducen a movimientos telúricos repetitivos y cada vez más intensos.

Los constantes temblores y terremotos que se producen en el norte de Chile, son esencialmente provocados por la interacción de algunas variables, entre las cuales, las más destacadas son, la minería intensiva, el bombeo de aguas subterráneas para uso de estas industrias, la movilización de grandes masas de material, el uso reiterado de explosivos (que provocan micro fracturas), y la presencia de fallas y anomalías geológicas presentes en la zona. Luego, es inevitable que se produzcan mayores disturbios geológicos, si se concretan nuevos proyectos de extracción minera, como los que se pretenden en la zona norte del país (por ejemplo Pascua Lama y la movilización - eliminación de Glaciares milenarios).

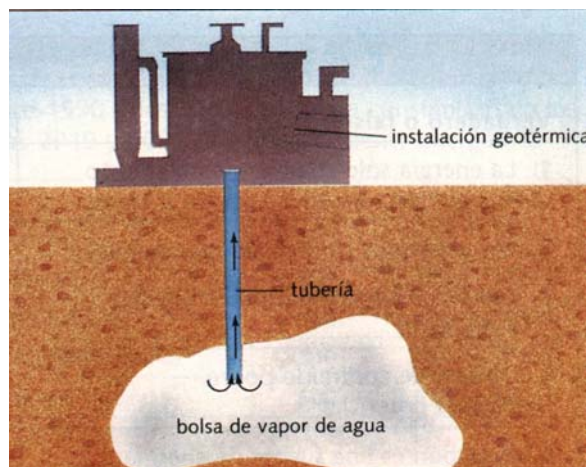
Actualmente hay una recurrencia de fenómenos telúricos en el norte de Chile. Si bien históricamente existen antecedentes de intensos movimientos telúricos, estos se han visto agravados por la intensa acción minera realizada en forma indiscriminada y altamente intrusivas. Hay que hacer notar que la información técnica sobre la tectónica de la zona esta localizada en destacar los recursos mineralógicos explotables, y no los efectos de esta industria en la corteza terrestre, a excepción de los daños superficiales provocados por los relaves. La ciencia geológica actual es aun extremadamente primitiva y dista mucho de alcanzar un nivel tecnológico que permita tener grados de certeza sobre la estructura, relaciones y dinámica de la corteza terrestre. Además, existen demasiados intereses económicos y corrupción política involucrados, por lo tanto, toda investigación sobre la relación terremotos y minería, son desvirtuados por la pseudo ciencia y las empresas.



Mina Chuquicamata Fuente : Desconocida

Hay que tener presente también, que excesiva extracción de aguas subterránea de parte de la gran minería, esta provocando graves desplazamientos verticales y generación de fracturas en la corteza terrestre, y es necesario detener a la brevedad estos primitivos procedimientos de extracción de aguas de las napas freáticas, ya que el nivel de perdidas de estabilidad tectónica esta alcanzando niveles peligrosos e irreversibles.

Se debe tener presente también que, existen peligros al implementar proyectos geotérmicos a gran escala, ya que este procedimiento de obtención de vapor de agua para el movimiento de turbinas o por intercambio de calor (inducción), requiere mantener un flujo de agua extraída (Bombeada) desde subsuelo a alta temperatura, turbinada y posteriormente debe ser inyectada a la fuente hidrotermal, para mantener el ciclo dinámico de origen. Pero lógicamente, se esta provocando un cambio en el balance hídrico y termo cinético de la zona, y probablemente en algún momento, el sistema hidrotermal local entrara en perdida y se producirán desplazamientos verticales y fracturas geológicas, y si existen fallas geológicas cercanas, la activación de estas es inminente.



Fuente: Desconocida

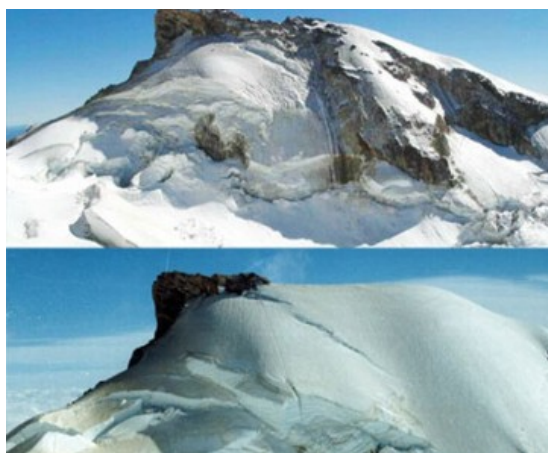
9.0. CONCLUSIÓN.

La evidencia técnica de la *Sismicidad Inducida* por la construcción y operación de represas y proyectos mineros es evidente, y esta no puede ser menospreciada.

- Los efectos del Calentamiento Global y los cambio producido en los patrones climáticos son claros y estos serán más agudos cada año, alcanzando niveles críticos en un corto y mediano plazo. Actualmente, en la zona centro sur y Patagonia continental, ya se percibe una grave disminución del régimen de precipitación y el número de horas sol se ha incrementado.
- El incremento en la frecuencia de los fenómenos telúricos, esta en directa relación con el cambio en el patrón climático, y la tendencia del ciclo de lluvias es negativa, lo que significa un menor aporte pluvial y nival a las fuentes de nieves perpetuas, ventisqueros y cuencas lacustres. Esto a su vez se traduce en una grave perdida de volúmenes y masa en las cuencas lacustres y por ende sobre la corteza terrestre, y esto a su vez significa un intenso cambio en los estados y esfuerzos elásticos en las capas geológicas de las cuencas y placas tectónicas.
- Existe una evidente correlación entre el efecto de la descarga de las cuencas lacustres, la Zona de Falla Liquiñe Ofqui, y la ocurrencia de erupciones y fenómenos telúricos en la zona patagónica de Chile y Argentina.
- La perdida de masa o “peso” sobre la corteza terrestre por un irreversible disminución de los cuerpos de agua que conforman el sistema de *Lagos Araucanos*, induce a que se produzca un fenómeno de rebote hidroisostático y de equilibrio litosférico. Este ajuste y compensación se da a nivel de la Litosfera y en especial sobre las fallas geológicas presente. Desgraciadamente a lo largo de la Cordillera de Los Andes, entre los 38° y 46° grados de Latitud Sur y apegada al meridiano 72, está presente la Zona de Falla Liquiñe Ofqui, la cual ha incrementado su actividad, manifestada por las constantes perturbaciones volcánicas, siendo unas mas evidentes que otras (Volcán Llaima, Volcán Chaiten, Volcán Tronador, etc).

La reducción de los volúmenes hídricos de las cuencas lacustres y otros fenómenos asociados, serán cada vez más intenso a lo largo de la Patagonia, especialmente entre los 38° y 42° grados de latitud sur. La ocurrencia de eventos telúricos, a lo largo de la Falla Liquiñe Ofqui, están correlacionados positivamente con el rebote hidroisostático.

En la imagen de la izquierda se puede apreciar la reducción del Glaciar del Volcán Tronador. La foto superior corresponde a Marzo del 2008, y la inferior a Marzo de 1981.



Fuente : Río Negro On line. Argentina.

Las imágenes siguientes, son aun más evidentes e indican la grave situación que están viviendo las masas de hielo en la zona Patagónica, donde el Volcán Tronador, es un indicador formidable de lo critico del problema.



Volcán Tronador en 1911 desde Casa Pangué (Reichert, 1927). El frente del Glaciar está encerrado en el círculo blanco.



Volcán Tronador al año 2000, tomada en la misma posición. Foto de Ricardo Villalba. Mendoza.
 Nota : fuente general de info. Francisca Bown Gonzales, 2004

- Aunque las ciencias de la tierra, traten de negar este hecho, la Zona de Falla Liquiñe Ofqui y el incremento de la actividad volcánica están en directa relación con el calentamiento global. La activación y recurrencia de fenómenos a lo largo de esta falla es una realidad, y la concesión de derechos de agua y aprobación de proyectos hidroeléctricos en las áreas de influencia, es una grave irresponsabilidad y crimen contra la humanidad.

- Técnicamente, los centros académicos para poder entender la correlación Calentamiento Global - Sismicidad, deberán estructurar e incluir una vasta gama de variables y constantes complejas, dentro de una nueva matemática no lineal. La limitante de esta propuesta y su concreción, se debe a la falta de conocimiento en primero lugar por y como amalgamar el vasto numero de variables y constantes a considerar, y que corresponde a la totalidad de las partes componentes de la trama del ecosistema a escala global.
- La recurrencia de temblores y terremotos en la zona norte de Chile y Argentina, históricamente la geología conservadora, acusa como causal directa la inestabilidad generada por la interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Continental, además de la presencia de fallas geológicas notables como la de Atacama, Loa o Mejillones entre otras, pero poco o nada se sabe o investigan las anomalías como la existente en Quillagua (*denominada anomalía Avalos por su descubridor en septiembre del 2007*). Ahora bien, si históricamente se han producido terremotos en la zona norte, existe un evidente recrudescimiento y frecuencia de estos fenómenos a medida que se intensifican las áreas de explotación de minería intensiva, la remoción de grandes masas de material, y la extracción indiscriminada de aguas subterráneas para uso de refinado del metal propiamente tal. La minería, esta causando un desbalance en la presión isostáticas de la corteza terrestre, y generado procesos de desequilibrio – equilibrio, de las fuerzas y cargas de las masas tectónicas de la zona nortina, las cuales son potenciadas por la presencia de fallas geológicas profundas como la de Atacama, Mejillones o la desconocida falla o *anomalía Avalos*.
- Para lograr algún tipo de vaticinio, la ciencia humana, deberá estructurar y pensar en una nueva matemática, que considere los principios complejos de organización de la naturaleza, pero con los actuales niveles de avance de la tecnología y la ciencia, será imposible explicarla en un mediano y largo plazo. Lamentablemente y a pesar de todos los esfuerzos, aun no tenemos las ecuaciones y modelos que expliquen la naturaleza, por lo que deberemos seguir contentándonos con divertidas teorías geológicas y fatuas explicaciones de los voceros gubernamentales frente a catástrofes naturales.
- Las autoridades y oficinas gubernamentales chilenas están bajo una condición y estado de irresponsabilidad, y notable abandono de deberes, al autorizar y permitir la concreción de proyectos hidroeléctricos con la correspondiente destrucción de cuencas hidrográficas, además de facilitar y fomentar el desarrollo de proyectos de minería intensiva, ambas actividades causales directas de terremotos.
- La ciencia geológica, las corporaciones energéticas y la corrupción política, han ocultado información al respecto de la relación represas – minería – terremotos, e irresponsablemente han caído en una actitud criminal, que debería ser sancionada por la ciudadanía. Es una grave irresponsabilidad el no utilizar la información científica existente sobre los eventos volcánicos pasados, ya que se podrían estimar y reducir las perdidas materiales y económicas de las comunidades Chilenas y Argentinas afectadas por la erupciones de los volcanes ubicados en la cordillera de los Andes (ejemplo Volcán Chaiten).

10.0. BIBLIOGRAFÍA

Aldo Villavicencio y su pagina www.angelfire.com/nt/terremotos/

Arancibia, Gloria, Cembrano, José y Lavenu, Alain. *Transpresión dextral y partición de la deformación en la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, Aisén, Chile (44-45°S)*. *Rev. geol. Chile*, jul. 1999, vol.26, no.1, p.03-22. ISSN 0716-0208.

Erin Beutel. *College of Charleston. Departamento de Geología.*

Biblioteca Virtual <http://www.bibliotecavirtual.com.do/Geografia/Terremotos.htm>
Bonilla. A. “El Calentamiento del Planeta. Premio Global 500 – ONU. 2006.

Bown Gonzalez, Francisca. “Cambios Climáticos en la región de Los Lagos...”. *Universidad de Chile*.2004.

Cheng Horng Lin, *Geophysical Research Letters*.

Duhart, P. ; Quiroz David.; “Evolución Geológica Región de los Lagos”. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Mayo 2006. Puerto Varas. Chile.

Duque Escobar, Gonzalo. *Universidad Nacional de Colombia, 2003. Manual de Geología para Ingenieros*.

Fierro, Mauricio; “Impactos Generales de la Represa El Portón – Río Puelo”. *Chile*. 2007.

Fierro, Mauricio; “Análisis general de la cuenca del Río Puelo”. *Sin publicar*. Chile. 1993.

Herraziz. Miguel. “Sismicidad Inducida por Embalses”. *España*. 2005

Lara, Luis, Rodriguez, Carolina, Moreno, Hugo et al. *Geocronología K-Ar y geoquímica del volcanismo plioceno superior-pleistoceno de los Andes del sur (39-42°S)*. *Rev. geol. Chile*, jul. 2001, vol.28, no.1, p.67-90. ISSN 0716-0208.

Ministerio de relaciones Exteriores de Chile. “Tratado y Protocolo Específicos del Medio Ambiente Antártico y recursos Hídricos Compartidos. Buenos Aires, 2 de Agosto de 1991.

Modis Termal Imagen. *Hawai University*. <http://modis.higp.hawaii.edu/cgi-bin/modis/modisnew.cgi>

NASA. *Imágenes Satelites ASTER - Terra & Aqua*.

ONEMI. *Informe No.192 30/abril/2007 Nuevo escenario sísmico en Aysen*

Diario La Gran Epoca – China. <http://www.lagranepoca.com/articles/2007/10/22/1375.html>

Park Watch; “Parque Nacional Lago Puelo”. www.parkswatch.org

Prigogine. Ilya.; “Dissipative Structure in Chemical Systems”.*New York*. 1967. USA.

Servicio Sismológico Universidad de Chile. Estadísticas 1965 – 1995.

U. S. Geological Survey. <http://earthquake.usgs.gov/>

Valladares, A.; "Cuenca del Río Puelo". Documento 75. Subsecretaria de Recursos Hídricos. Republica de Argentina. 2003.
Wikipedia.org Enciclopedia on line.

LINKS VARIOS.

www.henciclopedia.org.uy/autores/Mandressi/Atractor.htm

www.regiondeloslagos.cl/noticias/detalle.php?id=2547 (Informe Situación de Palena Día 1 de Mayo del 2008).

http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_1978000/1978214.stm

www.bibliotecavirtual.com.do/Geografia/Terremotos.htm

www.parkswatch.org

<http://modis.higp.hawaii.edu/cgi-bin/modis/modisnew.cgi>

<http://earthquake.usgs.gov/>

www.angelfire.com/nt/terremotos/

www.lagranepoca.com/articles/2007/10/22/1375.html

www.ieb-chile.cl