



## Índice

Introducción .....	5
I. Línea de Peligro Sísmico .....	7
1.    Análisis espectral de los Terremotos Chilenos .....	7
2.    Análisis dinámico de la ruptura del terremoto de Iquique 2014 .....	12
3.    Re-análisis del Terremoto de Valdivia 1960 .....	15
4.    Generación Acelerogramas Artificiales Terremotos Tohoku y Valdivia .....	17
II. Línea Tsunami .....	18
1. Modelamiento analítico y numérico .....	19
1.1 Relación entre la velocidad de ruptura de un terremoto y la inundación por tsunamis .....	19
1.2 Metodología tsunami en fiordos de la región de Aysén .....	21
1.3 Amplificación de tsunamis por terremotos lentos .....	26
2. Alerta temprana .....	28
2.1 Robustecimiento del sistema de alerta nacional de maremotos .....	28
3. Peligro tsunamigénico .....	30
3.1 Estudio de peligro tsunamigénico en Coquimbo .....	30
3.2 Peligro de tsunamis en Sudamérica .....	33
Observaciones y futuros avances .....	35
III. Línea de Geofísica Aplicada (NGA) .....	36
1.    Los desafíos proyectados .....	36
1.1 Estudio caracterización geofísica detalle cuenca de Santiago .....	36
1.2 Caracterización geofísica de la falla San Ramón .....	37
1.3. Diseño sistema gestión web para base de datos (bd) de cuenca de Santiago .....	38
1.4. Desde un modelo geofísico de cuenca hacia un mapa de peligro sísmico (mps) .....	38
1.5. Estudio de caracterización de la cuenca de Rancagua .....	39
2.    Proyectos 2018-2019 .....	40
2.1 Estado de avance .....	40
2.2 Resumen ejecutivo .....	40
IV. Línea Alerta Temprana .....	59
Plataforma para Evaluación Temprana del Área impacto e intensidad de Terremotos .....	59

V. Línea Sismología Avanzada para la Estimación de Riesgo Sísmico .....	65
Desarrollo de un Autómata Celular para estudio de la Autoorganización de la Sismicidad y su aplicación en estimación de Riesgo Sísmico .....	65
VI. Línea de Física de Sistemas Complejos Aplicada a la Estimación del Peligro Sísmico .....	70
Objetivos .....	70
Tareas Realizadas .....	70
Estado de Avance .....	71
Observaciones y futuros avances.....	72
VII. Línea Riesgo Sísmico en Patagonia .....	73
Transferencia tecnológica, capacidades y competencias en sismología y monitoreo de sismicidad regional en la Universidad de Aysén .....	73
Objetivo .....	73
Antecedentes .....	73
Descripción.....	74
Estaciones locales de la Región de Aysén .....	79
Tareas Pendientes .....	81
Tareas proyectadas .....	81
VIII. Línea Riesgo Sísmico y Patrimonio.....	83
1. Proyecto vulnerabilidad sísmica de inmuebles patrimoniales.....	83
2. Patrimonio cultural y riesgo de desastres: experiencias y proyecciones entre Chile e Italia	86
IX. Línea Vulnerabilidades e Impactos Sociales del Riesgo Sísmico, en el Contexto Andino .....	92
1. Colaboraciones Nacionales .....	92
2. Colaboraciones Internacionales .....	92
3. Estudio sobre la Resiliencia en el contexto Andino .....	93
X. Línea Formación.....	94
1. Diploma <i>Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres</i> .....	94
2. Cursos de Formación General (CFG) en la Universidad de Chile.....	96
XI. Línea Extensión y Difusión Educativa.....	97
1. Colaboración internacional .....	97
2. Eventos internos – Universidad de Chile.....	98
3. Eventos abiertos a todo público.....	98



4.	Proyectos de valoración y divulgación científica .....	99
5.	Proyecto Asociativo Regional Explora RM Sur Poniente.....	99
XII.	Resultados Científicos Programa Riesgo Sísmico 2018 - 2019.....	102
1.	Artículos Científicos Publicados .....	102
2.	Artículos Científicos En Revisión y/o Preparación.....	106
3.	Congresos .....	106
4.	Otros Medios y/o Columnas de Opinión.....	108

## Introducción

Con gran agrado, el equipo del PRS presenta este Informe que da cuenta de los principales resultados alcanzados durante los años 2018-2019, en las distintas líneas y proyectos del Programa Riesgo Sísmico, PRS.

De los avances que se presentan, cabe destacar el aporte que el PRS ha venido haciendo en la utilización de nuevas tecnologías para la comprensión de los fenómenos sismológicos, abriendo caminos de innovación, hasta ahora no explorados.

Estos aportes a la innovación en el área de la sismología se han desarrollado en estrecho vínculo con instituciones relacionadas con políticas públicas en reducción de riesgo de desastres, más allá de la Academia, especialmente del ámbito público.

Una línea importante de innovación ha sido el desarrollo de tecnologías geoespaciales integradas a los procesos de análisis de flujos de datos en tiempo real para generar información científica que permita la reducción de incertidumbre en el manejo de contingencias. Es un aporte a la dimensión reactiva que el país requiere mantener actualizada y en constante desarrollo. La incertidumbre está cada vez más presente en el debate público de las geoamenazas y también en el análisis de los principales elementos de una decisión en momentos de contingencia.

Las acciones emprendidas por el PRS, en el periodo que da cuenta este reporte, han incorporado además las tecnologías satelitales para ampliar las posibilidades de identificación y caracterización de terremotos también en la dimensión preventiva. Como resultado de ello a fines del 2019 se lograron poner en marcha tres nuevas tecnologías satelitales y a comienzos del 2020 algunas de ellas ya comienzan a tener resultados promisorios. Éstas son: Interferometría de Radar (InSAR), procesamiento de datos GPS en tiempo real (cGPS a 1 Hz) en colaboración con la Universidad de Wuhan, China y Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite (DORIS) en colaboración con el CNES y IGN de Francia. Se establecieron también conversaciones con la DMC para colaborar en la formación de capacidades y competencias en tecnologías satelitales de observación de la Tierra y con la FACH y sus unidades del Grupo de Operaciones Espaciales (GOE) y el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea (SAF) en orden a colaborar en fortalecer un polo de expertos en satélites orientados a estudios de geoamenazas.

En el marco de la tutoría a la nueva Universidad de Aysén, la Universidad de Chile a través del PRS inició conversaciones con académicos y autoridades de la Región de Aysén durante el 2018, y que se continuaron el 2019, para establecer un Observatorio Regional sismológico y un programa de capacitación y formación en sismología. La iniciativa ha tomado fuerza y a fines del 2019 se sumó SERNAGEOMIN-Coyhaique. En este periodo se creó un comité de académicos e investigadores del

PRS-UChile y de la UAysén para materializar el observatorio regional, asegurar la transferencia tecnológica y poner en marcha un programa de formación experta en temas de amenaza y riesgo sísmico en la Región de Aysén.

También destacan las relaciones de trabajo que se han establecido con universidades e instituciones de otros países, lo que permitirá reforzar los vínculos internacionales, abriendo innumerables posibilidades de cooperación en las diversas líneas de investigación del Programa.

Como parte de este Informe, además, se da cuenta de las acciones realizadas por el Programa Riesgo Sísmico en el ámbito de la formación continua, especialmente a través del Diplomado de Gestión de Riesgos y Desastres, impulsado desde el PRS con el apoyo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Agencia de Cooperación Internacional, AGCI, del Ministerio de Relaciones Exteriores. En las dos versiones de este programa (2019 y 2020) participaron representantes de instituciones públicas de Chile y de otros países de América Latina y el Caribe.

Adicionalmente el PRS en este periodo ha impulsado la creación de dos nuevos cursos formales en la Universidad de Chile, uno de Formación General sobre contexto andino y fenómenos extremos: nuevos paradigmas y controversias, dirigido a alumnos de pregrado de todas las carreras y de diferentes facultades y otro de postgrado sobre modelamiento de terremotos y tsunamis, dirigido a alumnos de Magister en Geofísica.

En el último punto de este informe se describen las actividades de extensión y difusión, incluyendo un reporte - síntesis del Proyecto Asociativo Regional, PAR Explora del Ministerio de la Ciencia, que durante 2018 fue impulsado por profesionales del PRS a través de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Con esta línea de trabajo hemos amplificado la divulgación de los temas propios del PRS, así como materias de otras disciplinas, llegando a estudiantes, profesores y comunidades de 22 comunas de la Región Metropolitana, sector sur poniente.

Todas las líneas de trabajo tendrán continuidad y se profundizarán para ampliar el impacto del Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile.

## I. Línea de Peligro Sísmico

**Investigador responsable: Sergio Ruiz T.**

**Investigadores del equipo: Raúl. Madariaga; Felipe Leyton; César Pasten**

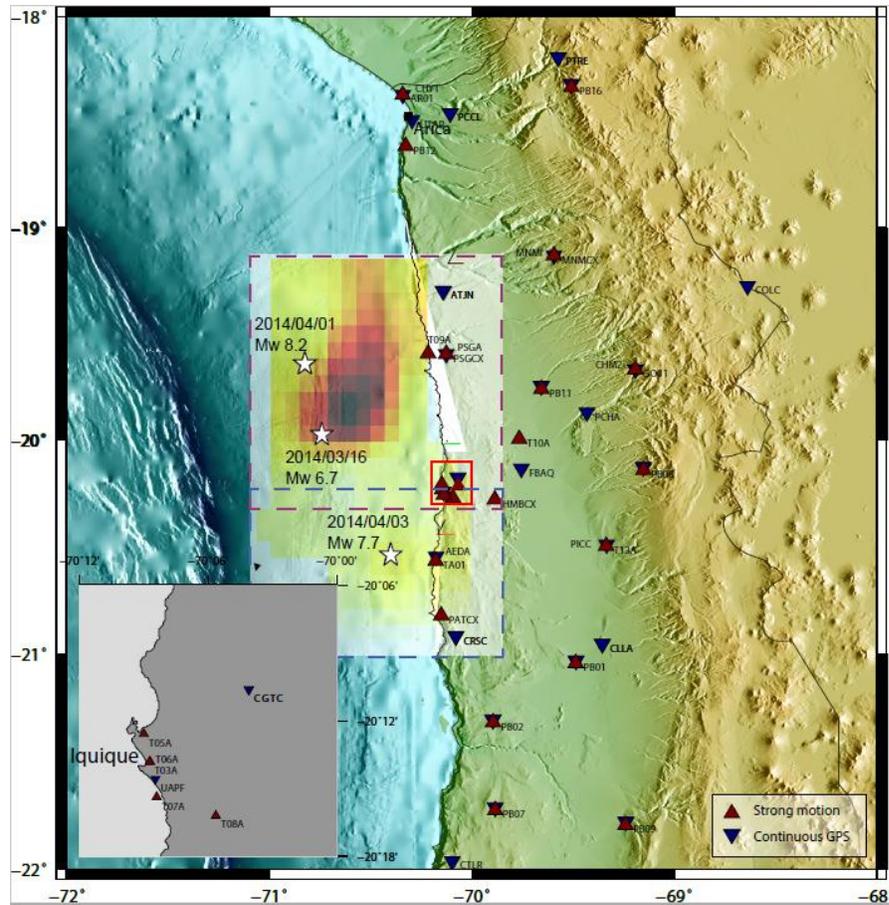
Se presentan los resultados de los siguientes trabajos:

- 1. Análisis espectral de los Terremotos Chilenos**
- 2. Análisis dinámico de la ruptura del terremoto de Iquique 2014**
- 3. Re-análisis del Terremoto de Valdivia 1960**
- 4. Generación de Acelerogramas Artificiales de los Terremotos de Tohoku Mw 9.0 de Japón y de Valdivia Mw 9.5 Chile.**

### 1. Análisis espectral de los Terremotos Chilenos

Se ha analizado el comportamiento espectral de la sismicidad del Norte de Chile, especialmente la sismicidad asociada al terremoto de Iquique 2014, Figura 1. Se han estudiado usando el algoritmo del vecindario (Neighborhood Algorithm) los registros de la secuencia sísmica de Iquique. Se desarrolló un programa computacional que invierte el espectro de fuente de los terremotos. Siguiendo el método propuesto por Ko et al (2012), utilizando grupos de sismos cercanos, asumimos que el rayo saliente de cada evento del grupo recorre la misma trayectoria hasta la estación sismológica que lo registra, además de imponer una sola frecuencia de esquina para cada sismo del grupo (Figura 2). Este método, a diferencia de métodos de inversión simples “sismo-estación”, reduce de manera considerable los grados de libertad en la inversión. El método fue puesto a prueba utilizando espectros teóricos simples y con ruido agregado, obteniendo una mejor restricción para los parámetros de atenuación (valor de  $Q$ ), frecuencia de esquina ( $f_c$ ) y de decaimiento espectral ( $n$ ), en relación a los métodos de ajuste de estos parámetros de manera individual (Figura 3 y 4).

El análisis de los registros de aceleración y GNNS del terremoto de Iquique 2014 Mw 8.2, nos ha permitido demostrar que los espectros de desplazamiento de los grandes terremotos no siguen la forma propuesta por Brune (1970), si no que siguen un espectro de desplazamiento con decaimiento omega  $-1$  en las altas frecuencias. Esto es de gran importancia para el peligro sísmico, porque implica que los grandes terremotos chilenos presentan un contenido espectral en alta frecuencia mayor que el predicho teóricamente, Figura 5.



**Figura 1.** Deslizamiento del terremoto de Iquique 2014 Mw 8.2 y su réplica principal de magnitud Mw 7.8. Los triángulos corresponden a las estaciones acelerográficas y GNNS.

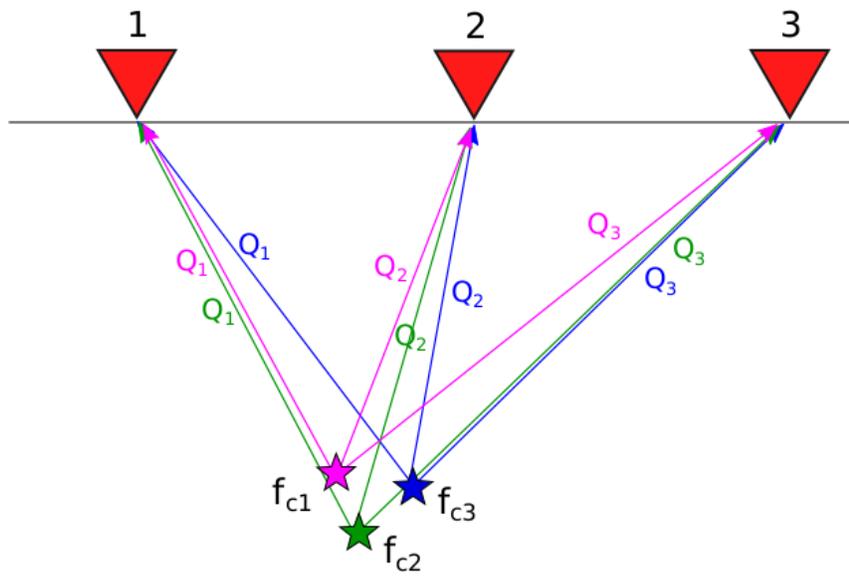


Figura 2. Esquema del método de Ko et al (2012).

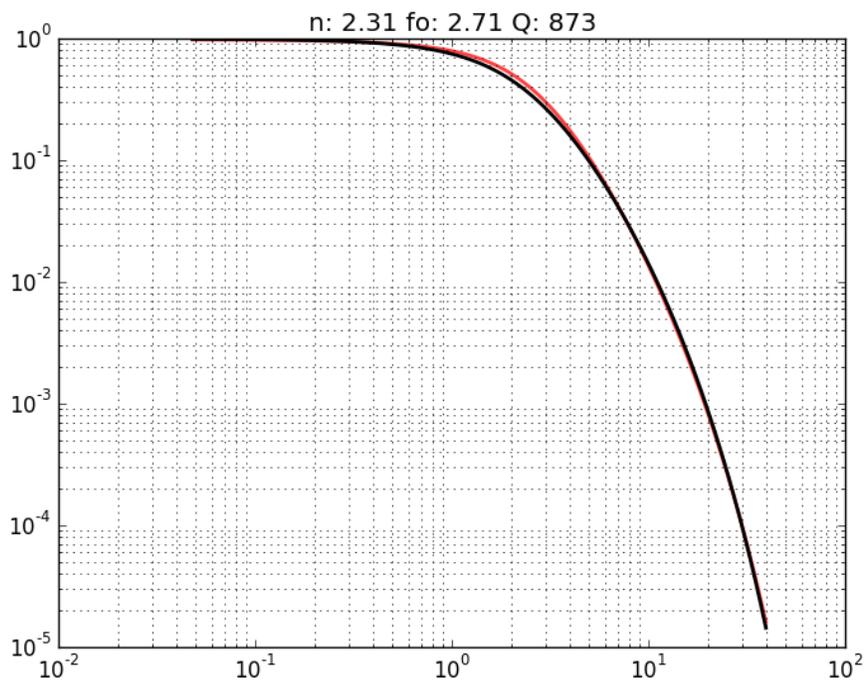
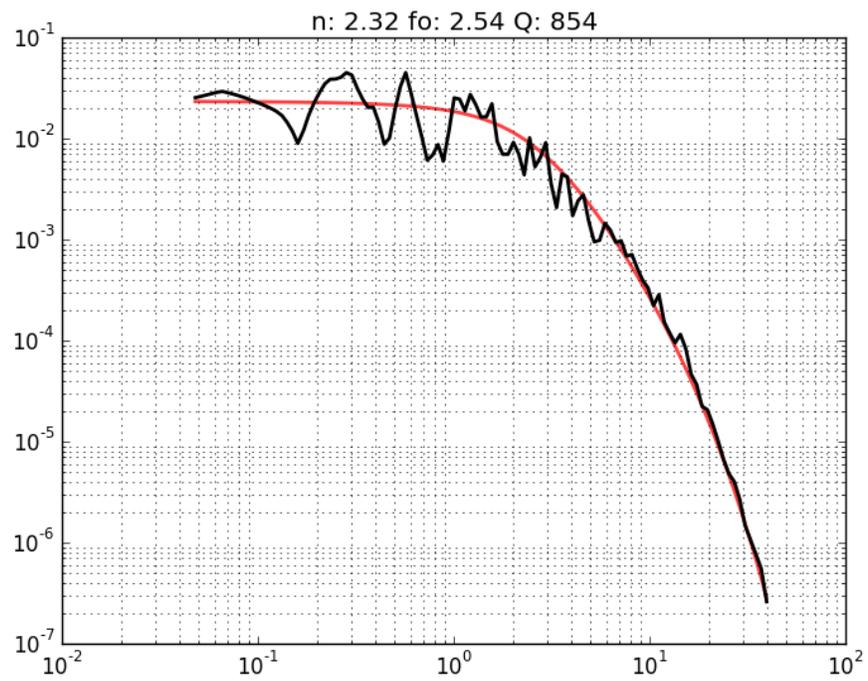
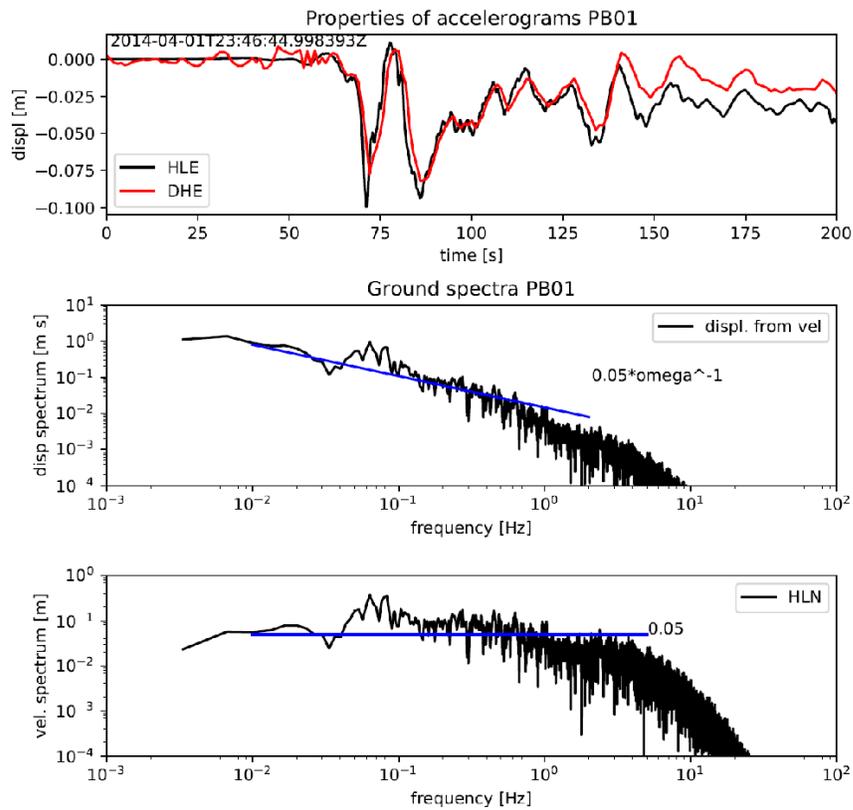


Figura 3. Inversión de parámetros de la fuente utilizando un espectro teórico.



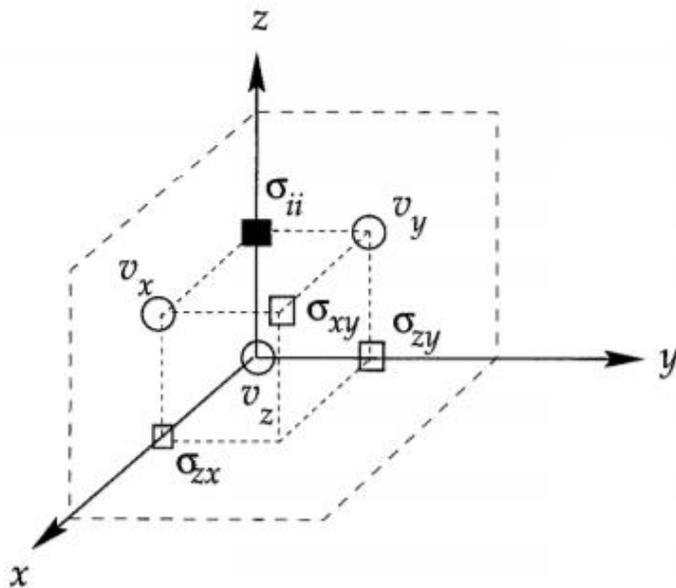
**Figura 4.** Inversión de parámetros de la fuente utilizando un espectro teórico con ruido asociado.



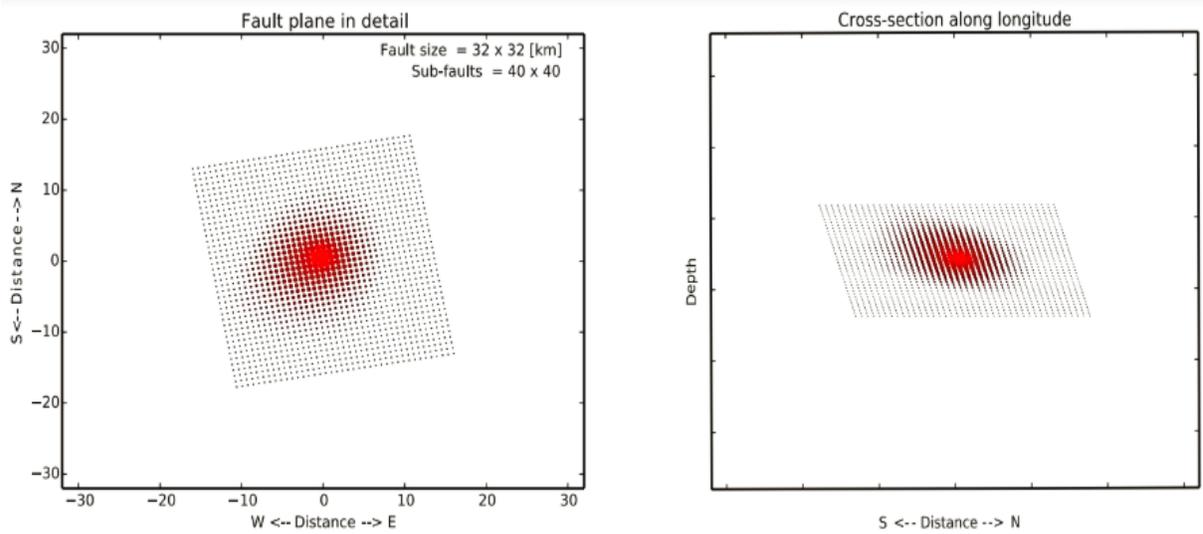
**Figura 5** Ejemplo del decaimiento espectral del registro de aceleración PB01 para el terremoto de Iquique 2014.

## 2. Análisis dinámico de la ruptura del terremoto de Iquique 2014

Se aplicó un programa de diferencias finitas basado en el trabajo de Madariaga et al. (1998). El cual considera un método de diferencia finita de cuadrícula escalonada de cuarto orden para estudiar fallas dinámicas en tres dimensiones. El método usa una implementación de las condiciones de frontera en la falla que permite el uso de modelos de fricción general incluido el debilitamiento del deslizamiento y la dependencia de la velocidad (Figura 6). Nosotros implementamos este método en una malla de 32 km x 32 km, dentro de la cual se ubica la ruptura de terremotos de magnitudes mayores a Mw 6.0 que corresponden a réplicas del terremoto de Iquique 2014 (Figure 7). Con esto hemos simulado correctamente la ruptura de terremotos réplicas de Iquique, en el programa desarrollado en este trabajo, una imagen de la ruptura dinámica de estos terremotos es mostrada en la Figura 8. Finalmente una comparación de los registros simulados y reales es mostrada en la Figura 9.

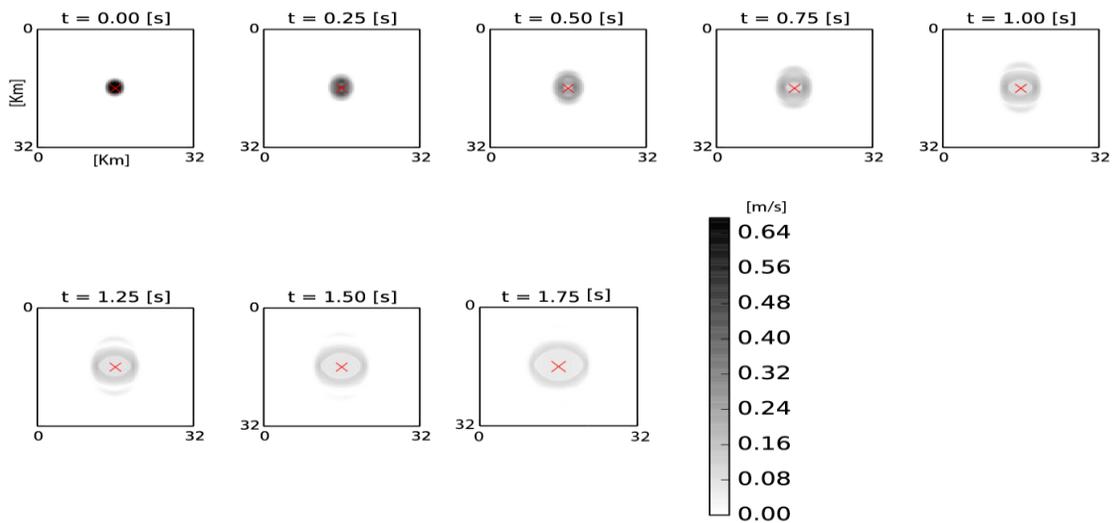


**Figura 6.** Elemento cúbico de la grilla 3-D de diferencias finitas utilizada en la modelación dinámica.  $\sigma$  y  $v$  representan las componentes del tensor de esfuerzos y la velocidad de la partícula respectivamente.

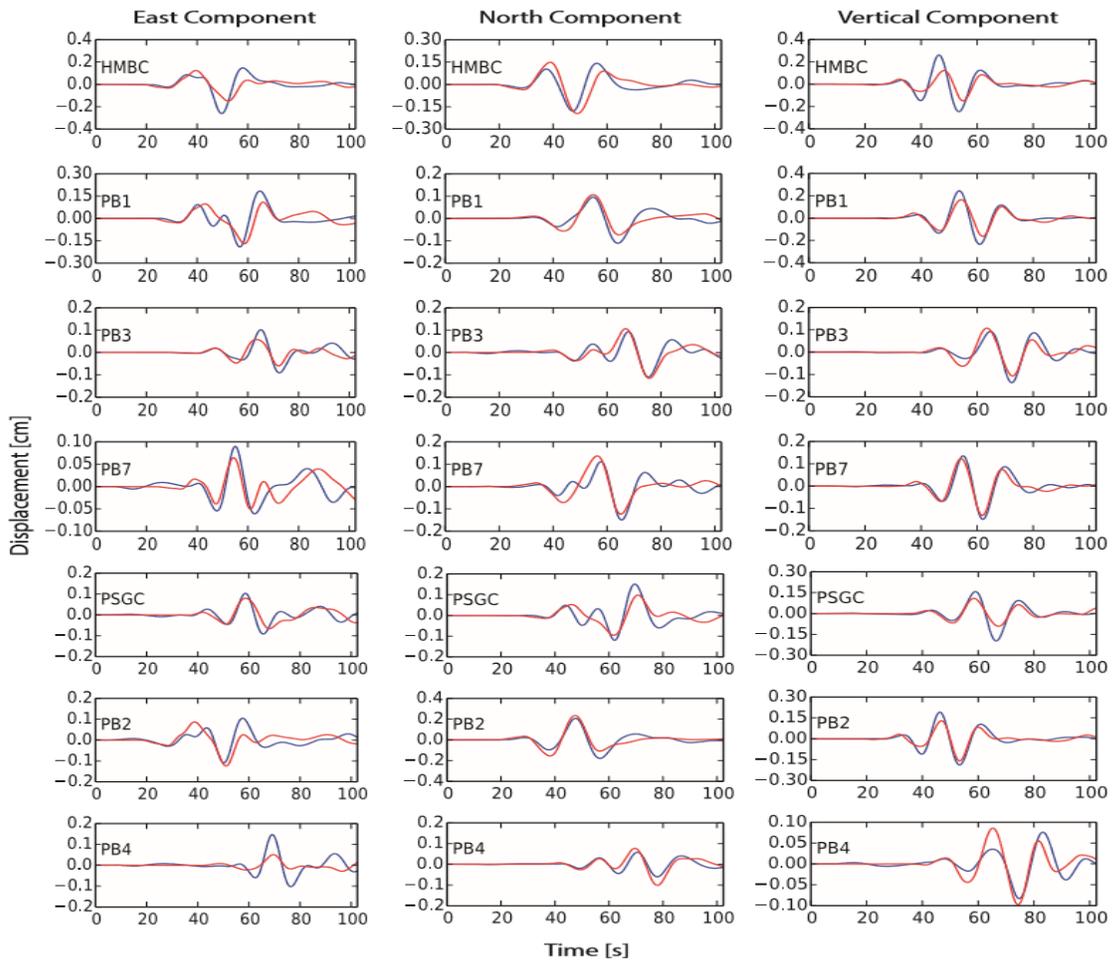


**Figura 7.** Modelo del plano de falla en planta y vista en perfil (NS) de una réplica del terremoto de Iquique 2014 (Mw 8.2), discretizado en 40 x 40 subfallas.

### Slip variations in time [m]



**Figura 8.** Snapshots entre 0 y 1.75 [s] de la velocidad de ruptura en el plano de falla de una réplica del terremoto de Iquique 2014 (Mw 8.2).

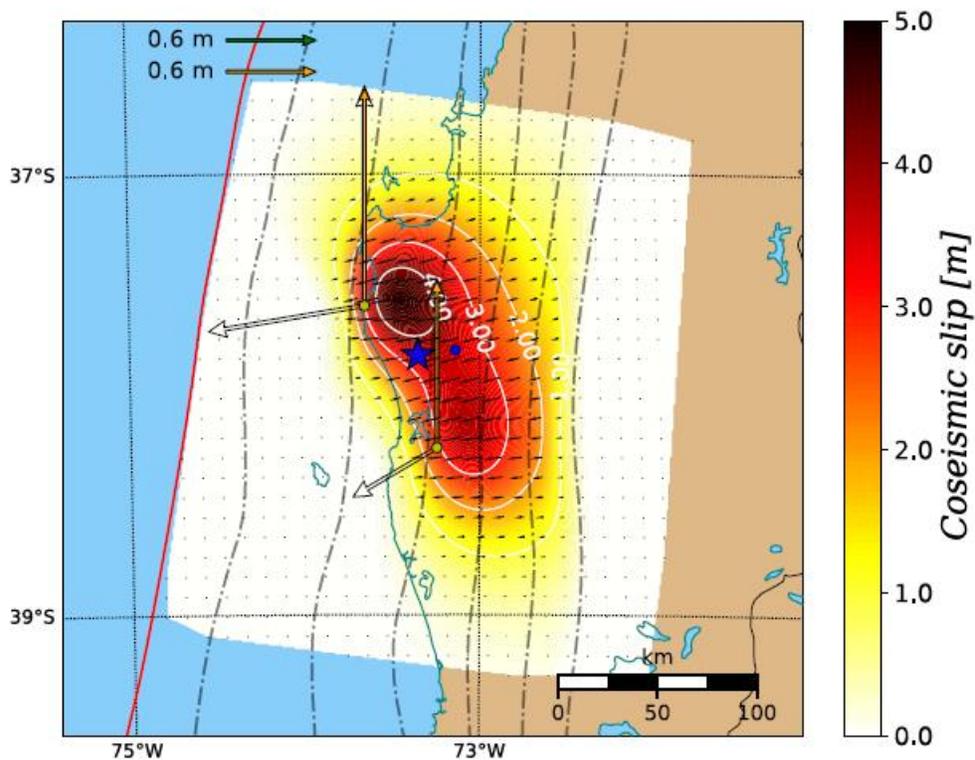


Fig

ura 9. : Comparación entre las trazas modeladas (roja) con las observadas (azul) de una réplica del terremoto de Iquique 2014 (Mw 8.2).

### 3. Re-análisis del Terremoto de Valdivia 1960

Se re-estudió el Terremoto de Valdivia 1960. En particular el terremoto de Concepción ocurrido el 21 de Mayo (Concepción) de magnitud  $M_w$  8.1, y el terremoto gigante de Valdivia del día 22 de Mayo de magnitud  $M_w$  9.5. En este proyecto, se ha propuesto por primera vez el área del ruptura del terremoto de Concepción, ubicada en lo más profundo de la interfaz del contacto sismogénico (Figura 10) y una nueva distribución de deslizamiento para el terremoto de Valdivia (Figura 11).



**Figura 10.** Distribución de deslizamiento Terremoto de Concepción 1960  $M_w$  8.1.

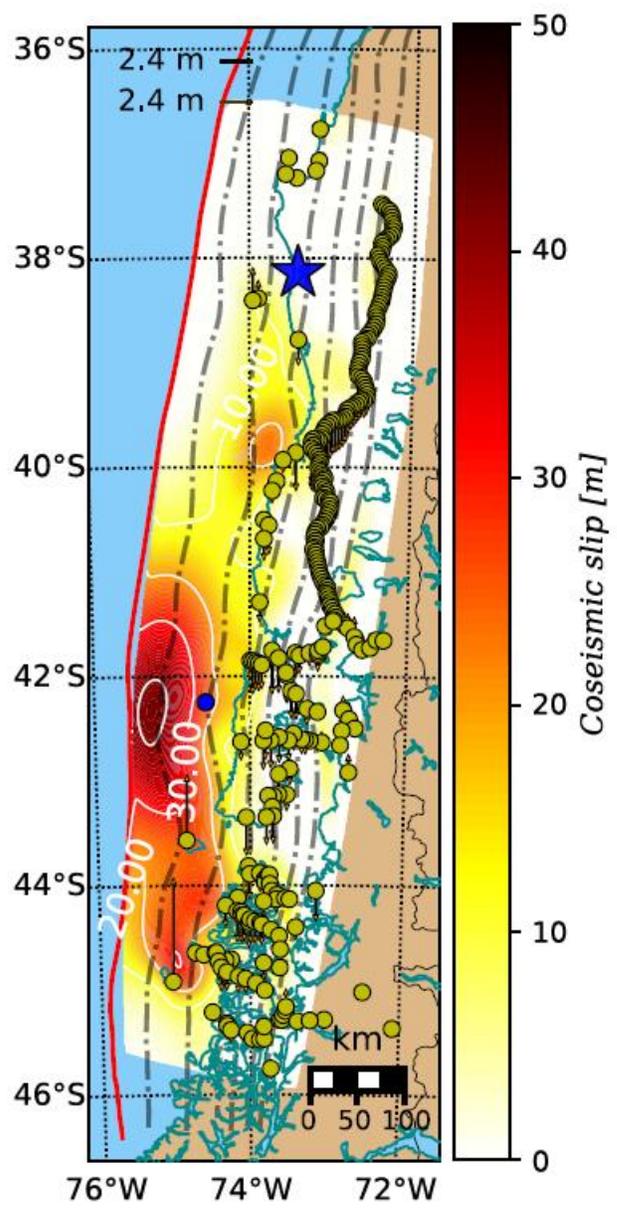


Figura 11. Nueva propuesta de deslizamiento del terremoto de Valdivia 1960.

#### 4. Generación Acelerogramas Artificiales Terremotos Tohoku y Valdivia

Se completó este resultado, los que son presentados en extenso en Anexo adjunto a este informe.

Logros alcanzados en este trimestre: Los programas computacionales funcionan correctamente y debido a su extensión y complejidad en los lenguajes que están escritos (Python, MatLab, Fortran), sólo se presentan los resultados de los cálculos computacionales y numéricos correspondientes a la generación de aceleraciones simuladas (acelerogramas artificiales) de megaterremotos ( $M > 9$ ) para los casos de Japón y de Chile.

## II. Línea Tsunami

**Investigador responsable: Jaime Campos.**

**Investigadores del equipo: Mauricio Fuentes, Sebastián Riquelme.**

**Estudiantes: Miguel Medina, Herman Schwarze, Francisco Uribe.**

### Objetivos

El megaterremoto y tsunami del 27/F del 2010 (M8.8) en la región de Chile Central puso en evidencia la débil capacidad científica y tecnológica nacional orientada a estudiar y comprender los terremotos tsunamigénicos en el contexto de la subducción andina y en particular en Chile. En nuestro país se presentan además dos categorías muy distintas de amenaza de tsunami: a) los asociados a la geodinámica de la subducción, principalmente megaterremotos tsunamigénicos (como el del 27/F del 2010) con movimientos fuertes en la zona epicentral y por lo tanto percibidos por la población, y también los terremotos lentos, que no son adecuadamente registrados y detectados por los sismógrafos convencionales de redes sísmicas ni percibidos por la población, pero capaces de producir un tsunami devastador; y b) los generados en zona de fiordos, especialmente al Sur de la Isla de Chiloé, cuyo origen puede estar asociado a un terremoto y/o deslizamientos subaéreos o submarinos (ej. El tsunami del fiordo de Aysén en abril 2007).

Esta línea de investigación tiene por objetivo general el estudio y comprensión del fenómeno tsunami en el contexto andino en todos sus aspectos, especialmente en aquellos donde hay una relación con la fuente sísmica.

Específicamente, se busca:

- Obtener nuevas soluciones analíticas.
- Mejorar el entendimiento entre la fuente sísmica y el tsunami.
- Desarrollar metodologías para evaluar el peligro de tsunamis.
- Diseño y mejoramiento de sistemas de alerta de maremotos.
- Comprender y distinguir las fuentes tsunamigénicas de terremotos y remociones en masa.

Los desarrollos de esta línea se dividen en tres distintas categorías que serán descritas a continuación.

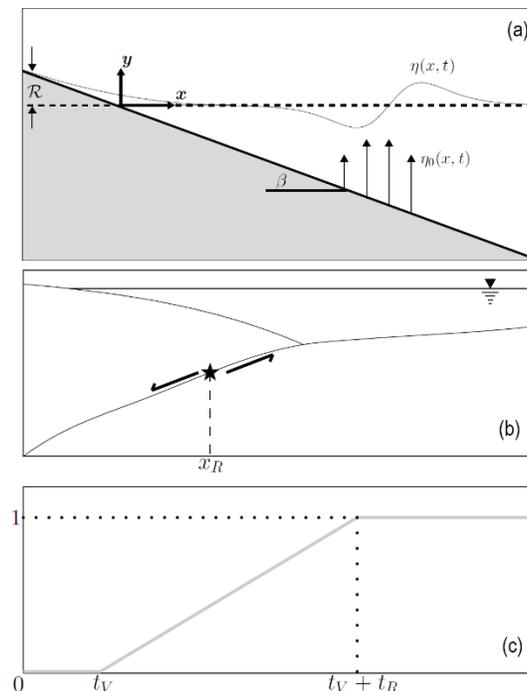
## Tareas realizadas

Las siguientes tareas se encuentran con un 100% de avance.

### 1. Modelamiento analítico y numérico

#### 1.1 Relación entre la velocidad de ruptura de un terremoto y la inundación por tsunamis

En la gran mayoría de los casos, un tsunami se idealiza como una perturbación que ocurre de forma instantánea a causa de un terremoto submarino. Sin embargo, y en el caso de grandes terremotos, éstos pueden tener una duración no despreciable, por lo que averiguar la influencia de los parámetros que controlan las propiedades cinemáticas de la fuente sísmica en un subsecuente tsunami es de alto interés. Para ello, se ha diseñado un modelo unidimensional para obtener las primeras pistas desde un punto de vista teórico.



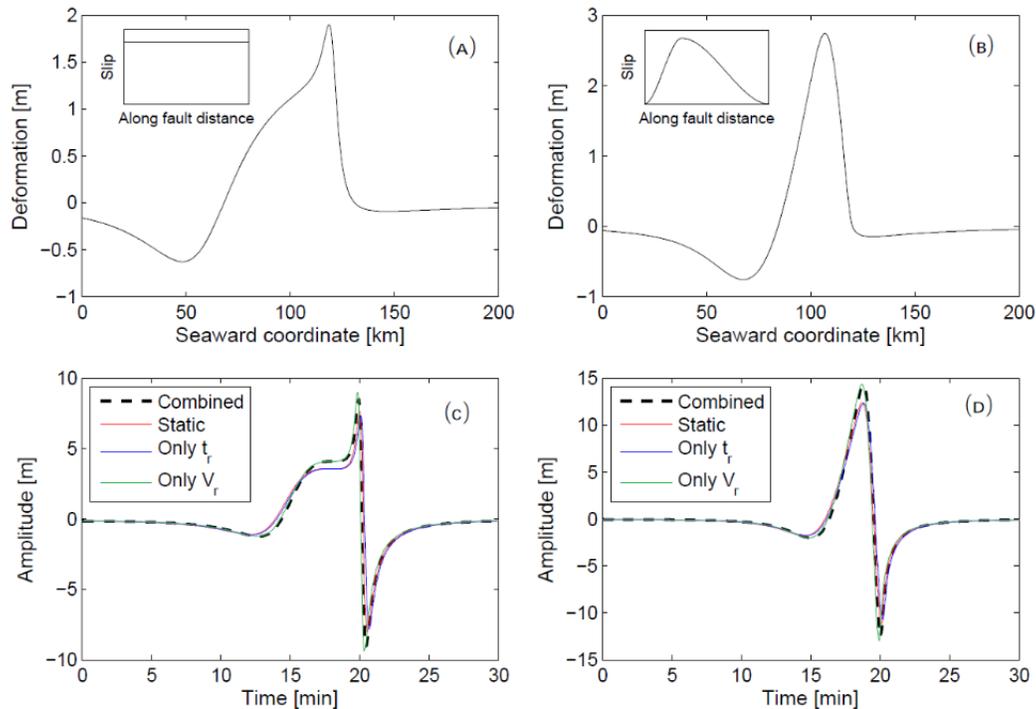
**Figura 1:** Esquema de modelo teórico para estudiar la relación fuente sísmica – Tsunami. El panel (a) muestra las variables del problema y los paneles (b) y (c) ejemplifican la fuente sísmica.

Las nuevas soluciones matemáticas que se obtienen son las siguientes:

$$\mathcal{M}(\zeta, s, u)(t) = \frac{2}{\sqrt{\alpha g}} \int_0^\infty \mathcal{H}(u(\xi)) \frac{\mathcal{H}(\alpha g[t - s(\xi)]^2 - 4\xi)}{\sqrt{\alpha g[t - s(\xi)]^2 - 4\xi}} \zeta(\xi) d\xi$$

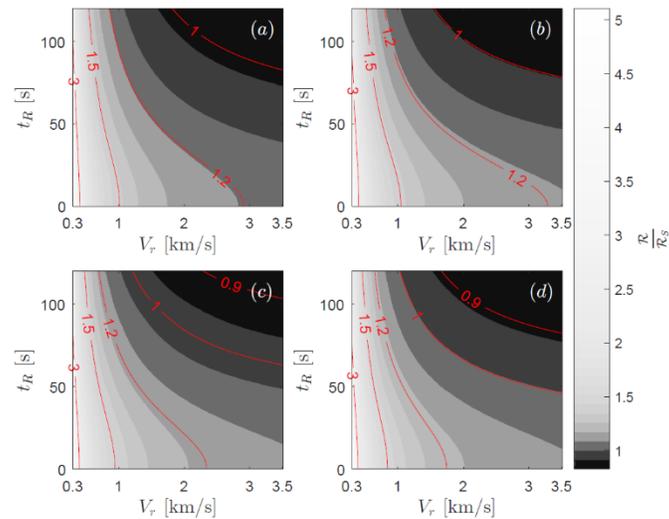
$$\eta_S(t) = \frac{1}{t_R} [\mathcal{M}(\zeta_0, t_R, t_R - t_V)(t) - \mathcal{M}(\zeta_0, t_V, t_R - t_V)(t) + \partial_t \mathcal{M}(t_V \zeta_0, t_V, t_R - t_V)(t)] + \partial_t \mathcal{M}(\zeta_0, t_V, t_V - t_R)(t)$$

y son utilizadas para el estudio de los parámetros de interés.



**Figura 2:** Simulación de inundación costera (run-up) para dos terremotos Mw 8.0, considerando velocidad de ruptura de 2.0 km/s y rise-time de 15 s.

Los cálculos indican que para velocidades que son consideradas “normales” (1.5-2.0 km/s), el proceso de la fuente sísmica puede ser considerado como instantáneo, sin embargo, cuando se consideran eventos más lentos, la amplitud del tsunami puede amplificarse peligrosamente. En el peor caso, es posible obtener amplificaciones de hasta cinco veces, si se toma como caso base el de fuente instantánea.



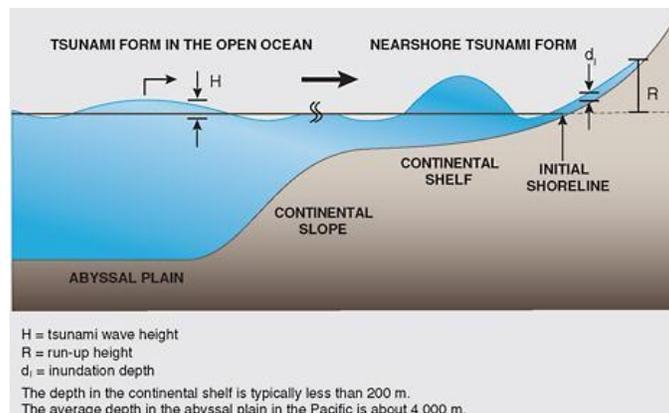
**Figura 3:** Mapa de amplificación de tsunami en función de los parámetros temporales de la fuente sísmica.

## 1.2 Metodología tsunami en fiordos de la región de Aysén

Este estudio corresponde a la tesis de magister del estudiante Francisco Uribe.

Este estudio buscó desarrollar un modelo analítico para representar la generación y propagación de un *tsunami* generado por un deslizamiento de tierra submarino.

Los *tsunamis* generados por deslizamientos de tierra corresponden a la perturbación violenta en la superficie del agua provocada por el choque con bloque deslizante. El bloque se mueve a una velocidad determinada (variable o constante), y generalmente esta velocidad es inferior a la velocidad de la onda de fase de un *tsunami* (régimen subcrítico). El movimiento de este bloque está dominado por la aceleración de gravedad.

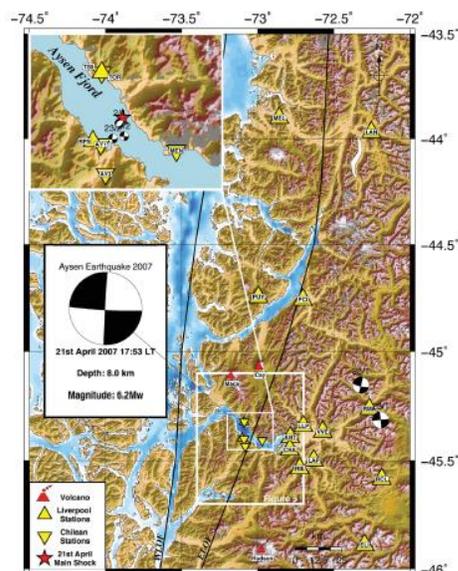


**Figura 1:** Esquema simple de un *tsunami* en la línea de costa (Fuente: <https://www.nap.edu/openbook/12628/xhtml/images/p2001d1aag39001.jpg>)

La figura 1 muestra un esquema simplificado de un *tsunami* cuando llega a la línea de costa, donde los parámetros más importantes para evaluar la potencialidad de un *tsunami* son la entrada máxima de inundación (distancia horizontal) y el *runup*. En este proyecto el parámetro a comparar será la altura de *runup* del *tsunami*.

Se busca modelar analíticamente los *tsunamis* generados por deslizamientos de tierra subaéreos de Aysén del año 2007, específicamente los eventos de Aguas Calientes y frente a Isla Mentirosa.

Para dar un contexto geográfico, El fiordo de Aysén se ubica en las coordenadas 45°22'S 73°05'W, en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. En la figura que se muestra a continuación se observa el epicentro del terremoto principal de Aysén del 21 de abril del año 2007 junto con algunas de las principales réplicas de ese terremoto.



**Figura 1:** Zona epicentral del terremoto principal del 21 de abril del año 2007 en el fiordo de Aysén.

El día 21 de abril del año 2007 se generó un sismo de magnitud 6,2 en la escala de momento sísmico ( $M_w$ ). El hipocentro del sismo principal fue calculado a unos 36 km de profundidad, las coordenadas calculadas por *The National Earthquake Information Center* (NEIC) son latitud 45,2430°S y longitud 72,6480°W, cerca del sistema de fallas conocido zona de fallas de Liquiñe-22

Ofqui (LOFZ). Serey (2011) asevera que la generación de remociones en masa debido a sismos corticales en la zona de estudio estará condicionada, principalmente, por el relieve abrupto de las laderas; la calidad geotécnica del macizo rocoso, la cual es menor en las trazas y/o cercanías de las fallas y lineamientos presentes en el área de estudio; y efectos de sitio de amplificación topográfica de las ondas sísmicas generadoras de las remociones.

El proceso de recolección de datos en este informe considera los datos recabados por estudios de *tsunamis* subáereos, de los cuales, estudios realizados en la zona obtuvieron mediciones de alturas de *runup* a lo largo del fiordo de Aysén, especialmente al deslizamiento generado frente a Isla Mentirosa, no así al evento de Aguas Calientes, el cual no se realizaron mediciones en la línea de costa donde se produjo la remoción en masa.

En este estudio se ha resuelto un problema analítico que modela la serie de tiempo de la altura de agua en las inmediaciones de la inmersión del material en el fiordo.  $\eta(0, t)$  representa la solución analítica de la ecuación lineal de agua poco profunda inhomogénea evaluada en  $x = 0$ , donde el movimiento del fondo marino se modelo como una parábola invertida.

$$\eta(0, t) = \frac{4Av^2}{(x_2 - x_1)^2} \left\{ - \left[ F_1(t) H(t - t_{c,1}) H(t_{c,2} - t) + (F_1(t) - F_2(t)) H(t - t_{c,2}) \right] + \frac{4(x_2 - x_1)}{\alpha g} \left[ G_1(t) H(t - t_{c,1}) + G_2(t) H(t - t_{c,2}) \right] \right\}$$

Donde:

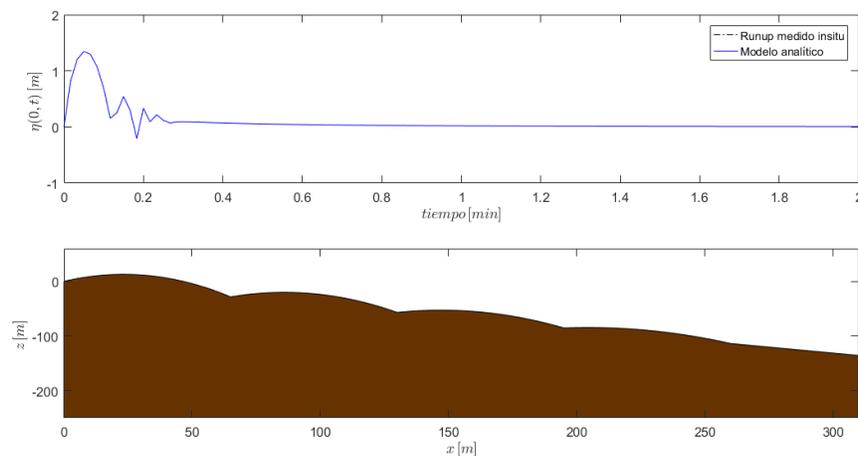
$$F_i(t) = \left( \left( t + \frac{2v}{\alpha g} \right)^2 + t_{c,i}^2 - t^2 \right) \ln \left( \frac{\sqrt{\left( t + \frac{2v}{\alpha g} \right)^2 + t_{c,i}^2 - t^2}}{\sqrt{t^2 - t_{c,i}^2} + t + \frac{2v}{\alpha g}} \right) + \left( t + \frac{2v}{\alpha g} \right) \sqrt{t^2 - t_{c,i}^2}, \quad i = 1, 2$$

$$G_i(t) = \ln \left( \sqrt{\frac{\xi_1^{(i)} - x_{(i)}}{\xi_1^{(i)} - \xi_2^{(i)}}} + \sqrt{\frac{\xi_2^{(i)} - x_i}{\xi_1^{(i)} - \xi_2^{(i)}}} \right)$$

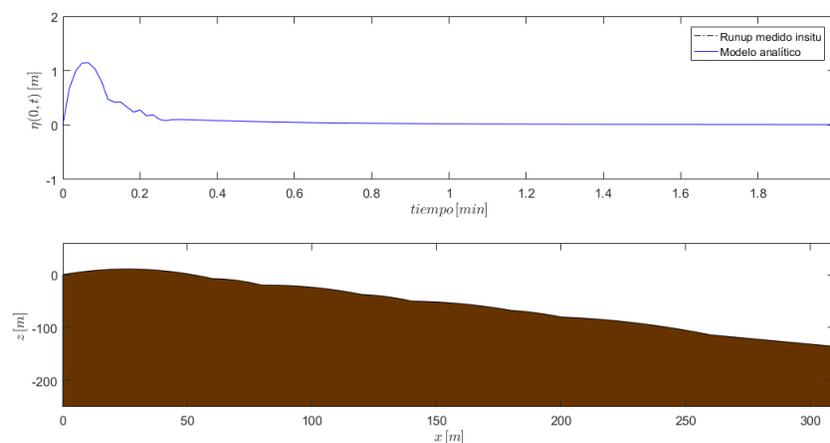
$$\xi_{1,2}^{(i)} = x_i + v \tau_{1,2}^{(i)}$$

En los resultados obtenidos, se modeló el deslizamiento de tierra como la suma de deslizamientos independientes, es decir, se modeló el movimiento del fondo oceánico como la suma de  $n$

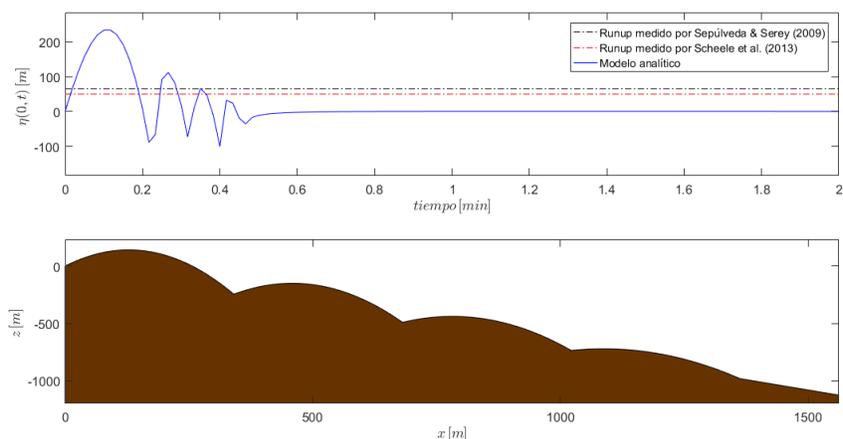
parábolas. Para que la forma del deslizamiento sea más realista, se eligieron 2 configuraciones, la primera consiste en 4 parábolas que no se superponen en ninguna zona (ver figuras 2 y 4), por otra parte, la otra configuración consiste en la superposición de 4 parábolas, esta distancia a la que se superponen los deslizamientos independientes varía dependiendo del evento (si se está modelando el deslizamiento de Aguas Calientes o el evento frente a Isla Mentirosa).



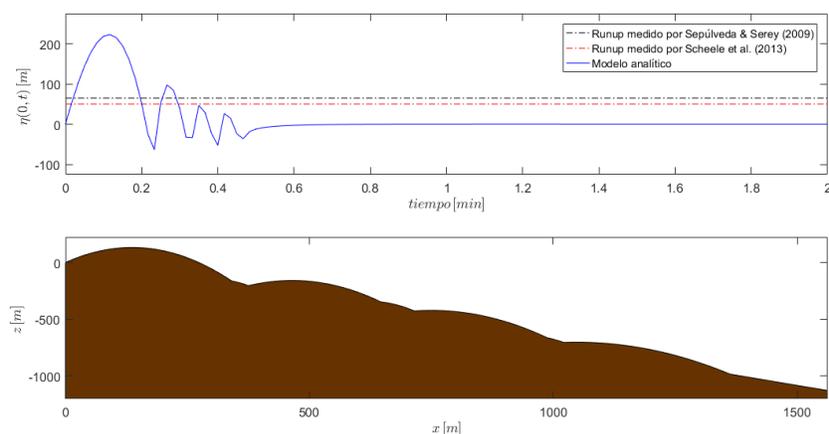
**Figura 2:** (Arriba) altura de *runup* modelado analíticamente del evento frente a Isla Mentirosa. (Abajo) modelo del deslizamiento de tierra frente a Isla Mentirosa (amplificado por 5, para visualizar mejor la forma de la remoción en masa).



**Figura 3:** (Arriba) altura de *runup* modelado analíticamente del evento frente a Isla Mentirosa. (Abajo) modelamiento del deslizamiento de tierra frente a Isla Mentirosa (amplificado por 5, para visualizar mejor la forma de la remoción en masa).



**Figura 4:** (Arriba) altura de *runup* modelada analíticamente del evento frente a Isla Mentirosa. (Abajo) modelamiento del deslizamiento de tierra frente a Isla Mentirosa (amplificado por 5, para visualizar mejor la forma de la remoción en masa)



**Figura 5:** (Arriba) altura de *runup* calculada analíticamente del evento frente a Isla Mentirosa. (Abajo) modelo del deslizamiento de tierra frente a Isla Mentirosa (amplificado por 5, para visualizar mejor la forma de la remoción en masa)

### Observaciones y futuras investigaciones

A pesar de no replicar las alturas de *runup* medidos *insitu*, fue posible obtener valores de altura de *runup* para los eventos de Aguas Calientes y frente a Isla Mentirosa, y con algunas modificaciones al modelo, será posible representar de mejor manera este tipo de fenómenos. Para trabajos futuros se propone que el deslizamiento de tierra sea modelado modificando la forma del deslizamiento de tierra (a una forma más realista).

### 1.3 Amplificación de tsunamis por terremotos lentos

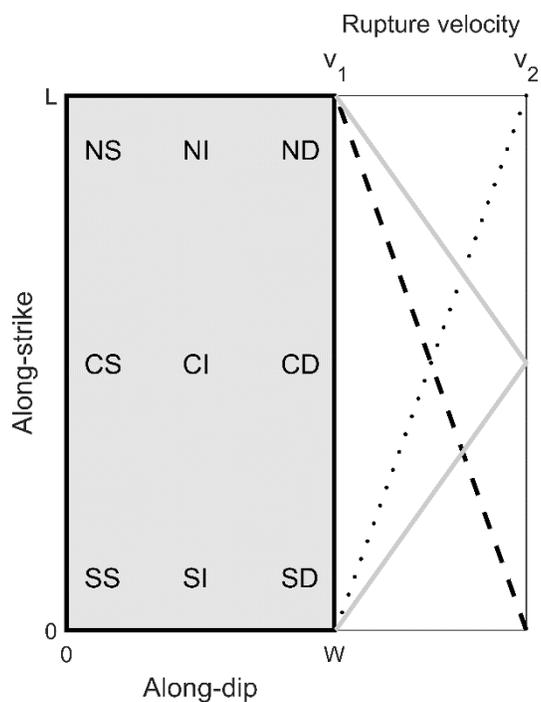
Este estudio corresponde a la tesis de magister del estudiante Herman Schwarze.

Como se demostró en (1.1), la velocidad de ruptura puede ser un factor importante en el modelamiento de tsunamis. Este estudio generaliza al caso 2+1 D, pero debido a la complejidad que ello conlleva, será tratado en todo momento desde un punto de vista numérico.

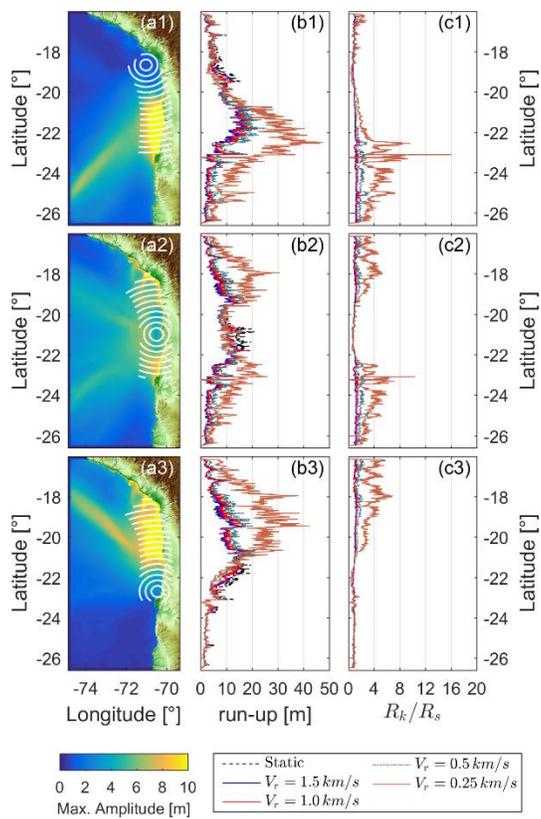
En este trabajo, se han realizado distintos experimentos numéricos con el fin de establecer un vínculo entre la excitación de un tsunami y la velocidad con que se produce y propaga la ruptura sísmica. Esto implica, que muchas variables que antes eran ignoradas ahora emergen debido a la interrelación que poseen, por ejemplo, al incluir una velocidad de ruptura, naturalmente aparece como variable a considerar el hipocentro (de hecho, tres variables, correspondientes a la posición espacial del punto de partida de la ruptura. La elección de este punto define el tipo de ruptura. Si este punto se toma en los bordes de la zona de ruptura, se obtendrá una ruptura unilateral, mientras que, si este punto se toma en el interior, se tendrá una ruptura bilateral.

Se realizan los siguientes experimentos:

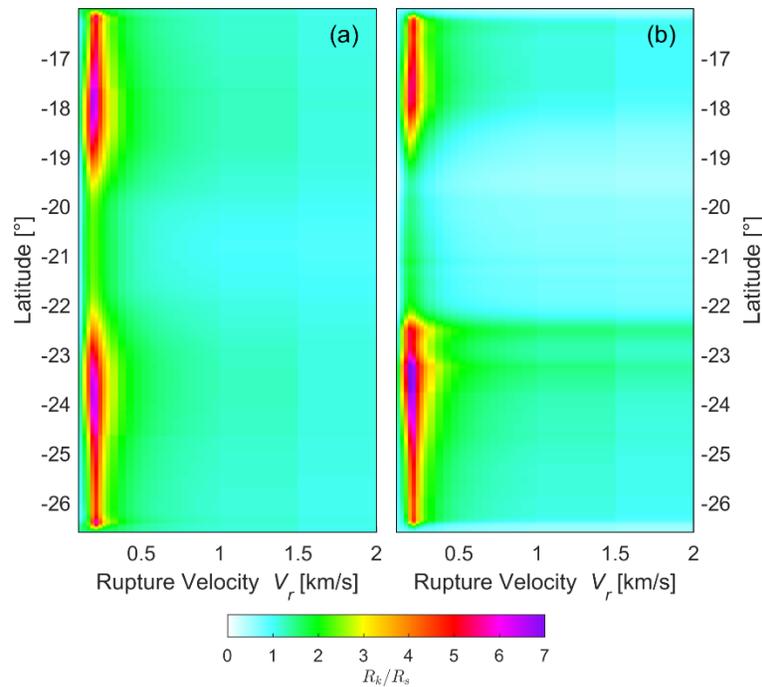
- Escenarios con deslizamiento uniforme con velocidad de ruptura constante en una batimetría idealizada.
- Escenarios con distribución de deslizamiento heterogéneo con velocidad de ruptura constante en una batimetría idealizada.
- Escenarios con deslizamiento uniforme con velocidad de ruptura constante en una batimetría idealizada, variando la profundidad del océano.
- Escenarios con distribución de deslizamiento heterogéneo con velocidad de ruptura constante en una batimetría idealizada, variando la profundidad del océano.
- Escenarios con distribución de deslizamiento heterogéneo con velocidad de ruptura constante en una batimetría real del norte de Chile.



**Figura 1:** Esquema de codificación de hipocentros y tipo de variación en la velocidad de ruptura. En este estudio  $v_1 = 0.5$  km/s y  $v_2 = 2.0$  km/s.



**Figura 2:** Ejemplo de escenario con tres tipos de ruptura y cinco velocidades posibles.



**Figura 3:** Amplificación del run-up con la velocidad de ruptura, respecto del caso instantáneo, considerando rupturas (a) homogéneas y (b) heterogéneas.

De este estudio se concluye que los efectos de la velocidad de ruptura, así como de la directividad de ésta, son fundamentales para modelar terremotos que son considerados anormalmente lentos (0.2 a 1.0 km/s). Las amplitudes de máximo run-up pueden verse incrementadas hasta en ocho veces respecto del caso instantáneo, lo que abre un debate fundamental en la existencia de una familia de terremotos hasta el momento ignorada por su falta de observación: ¿Es posible que un terremoto pueda alcanzar velocidades de ruptura en el rango de 0.2 a 1.0 km/s? y de ser así, ¿Por qué no se observan con la misma frecuencia de ocurrencia que otros terremotos considerados “regulares”?

## 2. Alerta temprana

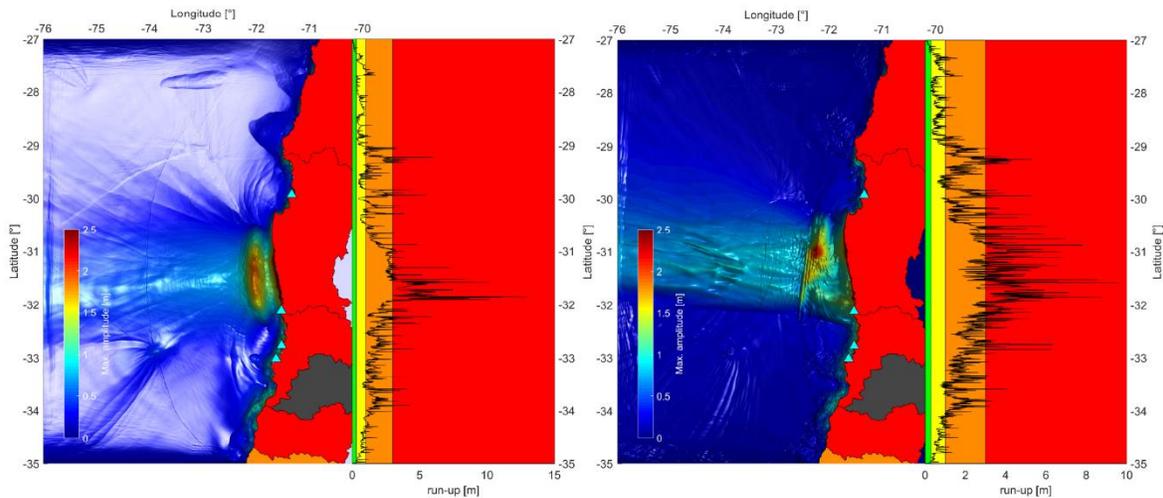
### 2.1 Robustecimiento del sistema de alerta nacional de maremotos

El sistema nacional de alerta de tsunamis se basa en la consulta de una base de datos. Cuando un terremoto es clasificado con potencial tsunamigénico, se consulta una base de escenarios pre calculados para evaluar el evento más parecido, considerando ciertos factores de seguridad.

Este estudio propone complementar este sistema basado en una estimación rápida de alturas de run-up con una aproximación lineal en tiempo casi real.

Una vez que un terremoto es detectado, pueden pasar alrededor de 5 minutos para obtener una estimación de las características del evento. Cuanto más pasa el tiempo, más disminuye la incerteza, pero también disminuye el tiempo de respuesta frente a la eventual evacuación del borde costero.

Utilizando la información de los parámetros focales de la fuente sísmica, se puede considerar una aproximación con una ruptura elíptica con base en leyes de escala. Cuando la primera información detallada de la fuente sísmica es recalculada, el tsunami es recalculado a través de un código en paralelo altamente eficiente. Los resultados son codificados en un mapa de colores basado en los niveles oficiales de alerta usados por el sistema de alerta nacional. Cada simulación se hace a un nivel local con una batimetría de 450 m y a un nivel regional con una batimetría de 1.8 km de resolución para todo Chile.

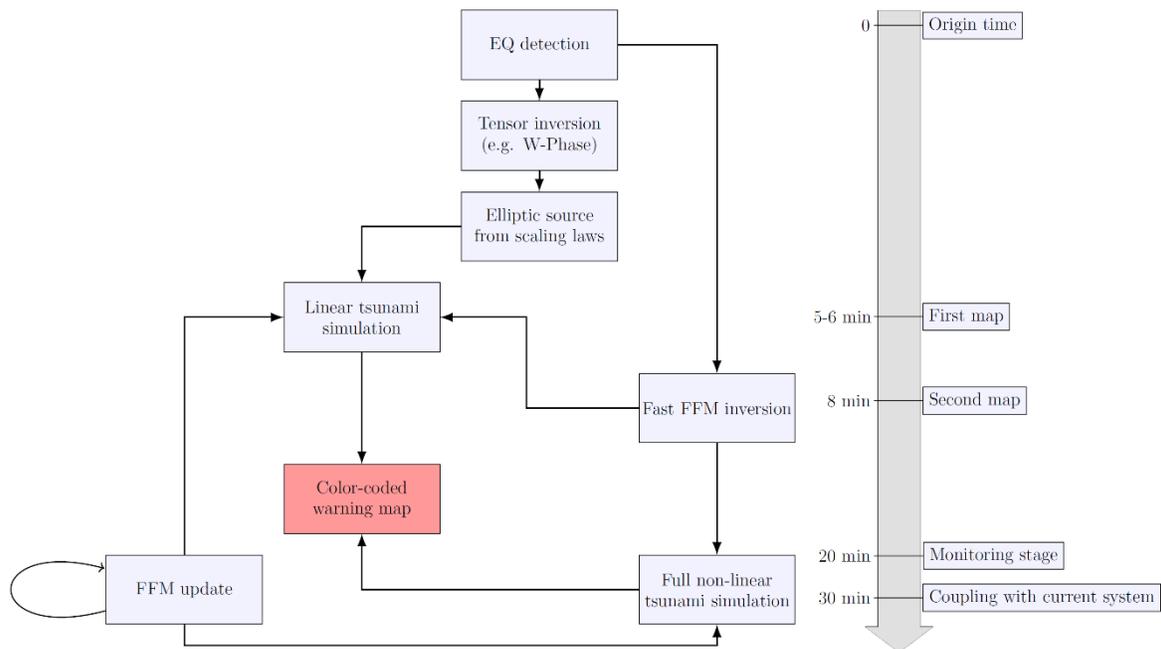


**Figura 1:** Ejemplo de simulación para el terremoto de Illapel, 2015.

Los resultados indican que esta metodología es al menos 80% tan precisa que un modelo no-lineal y hasta 20 veces más rápido.

**Tabla 1:** Resultado del sistema para algunos de los últimos tsunamis del mundo.

El sistema planteado, permite complementar al actual y se encaja a través de una constante actualización de los mapas de alerta para uso interno, especialmente en la etapa de monitoreo posterior a la emisión de la alerta.



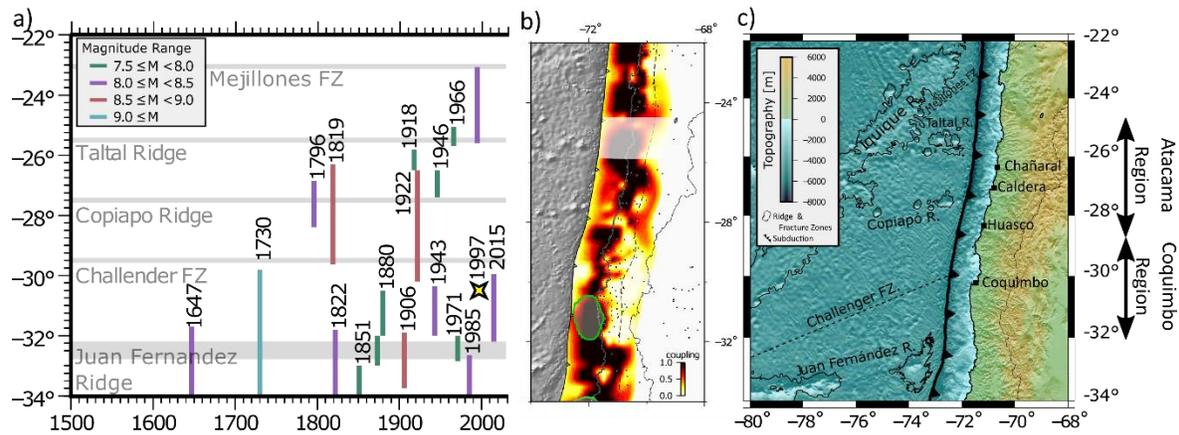
**Figura 2:** Diagrama de flujo para el sistema propuesto.

### 3. Peligro tsunamigénico

#### 3.1 Estudio de peligro tsunamigénico en Coquimbo

La región de Coquimbo alberga un enorme potencial tsunamigénico, es decir, posee la capacidad de generar un terremoto favorable en la producción de un tsunami importante. Conocer, cuantificar y entender este potencial permite mejores los protocolos de seguridad, planeamiento y pérdidas económicas. Para este fin, se realiza un estudio de la sismicidad histórica, con ayuda de

las nuevas tecnologías de GPS, es posible medir el grado de acoplamiento entre las placas tectónicas, permitiendo asignar un terremoto característico.

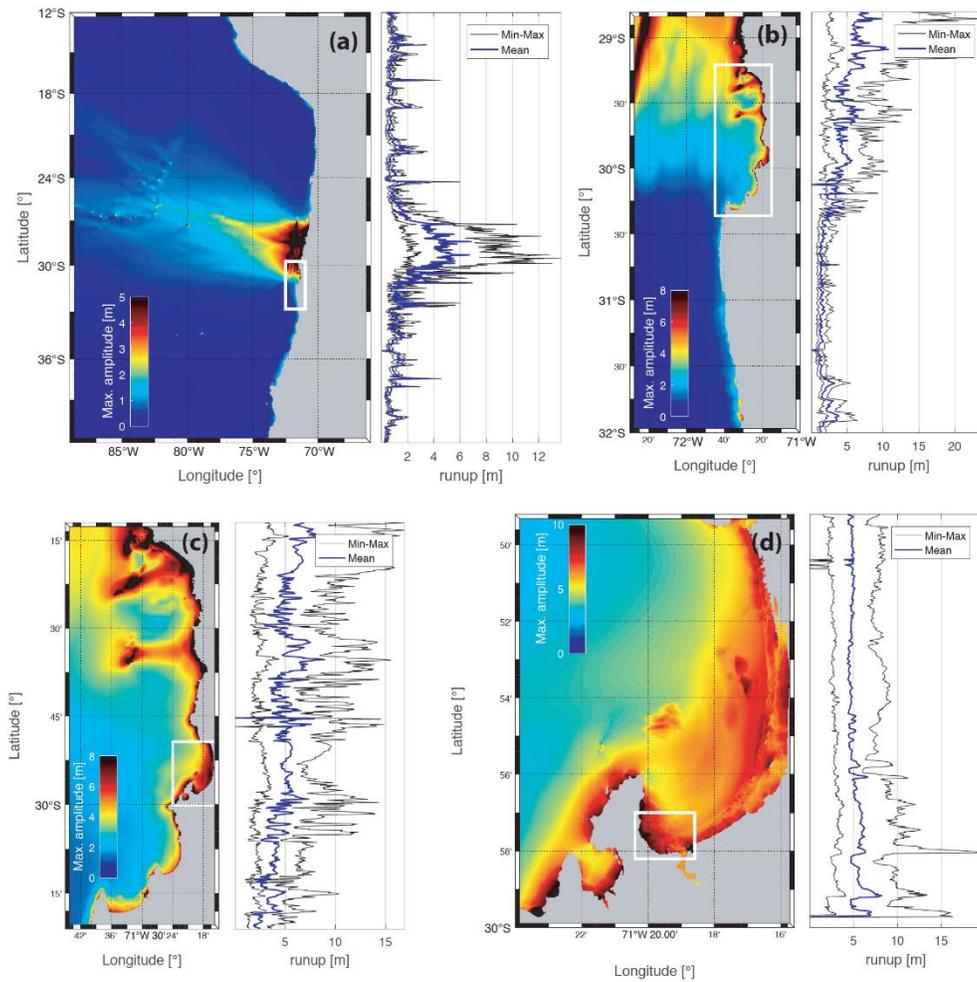


**Figura 1:** Sismicidad histórica de la zona de estudio.

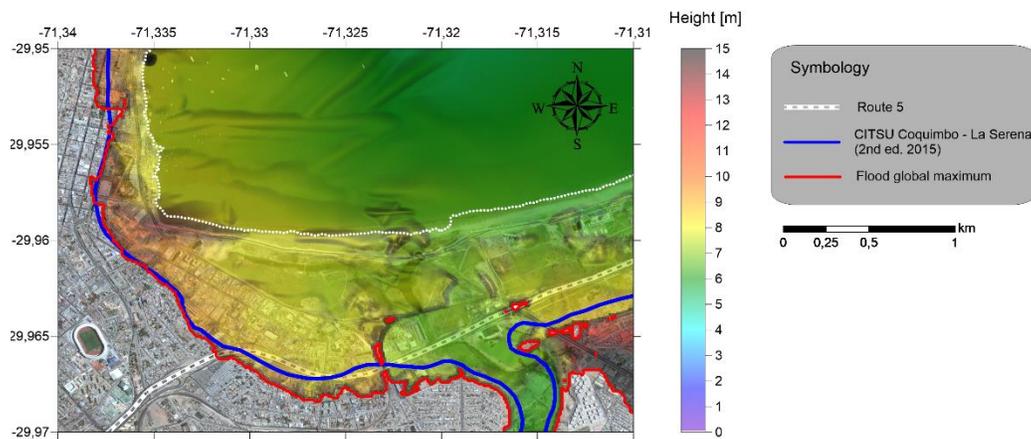
En conjunto con la ley de Gutenberg-Richter, un terremoto Mw 8.8 es el escenario más probable para los próximos años.

Una vez determinado el tamaño del evento, se debe asignar una distribución de desplazamientos a lo largo de la falla. Esto se lleva a cabo mediante el cálculo estocástico de 90 escenarios. Cada escenario representa un terremoto de magnitud 8.8 probable, frente a las costas de Coquimbo y La Serena. Las 90 simulaciones se realizan en un esquema de batimetrías anidadas de cinco niveles, permitiendo llegar a nivel de detalle en la costanera de Coquimbo/La serena.

Los resultados muestran en el quinto nivel una cota de máxima inundación que sigue la tendencia general de la carta de inundación oficial CITSU 2015, proporcionada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), pero en las zonas cercanas al humedal “El culebrón” la inundación obtenida en este estudio es mayor a la carta CITSU. Las diferencias se atribuyen a que el documento oficial está basado en un único escenario (máximo histórico) modelado con una fuente homogénea. Se ha demostrado que este tipo de fuentes subestiman la inundación y que es necesario considerar fuentes más realistas como las usadas en este trabajo.



**Figura 2:** Estadística de los 90 escenarios mostrados en los primeros cuatro niveles anidados de batimetría.



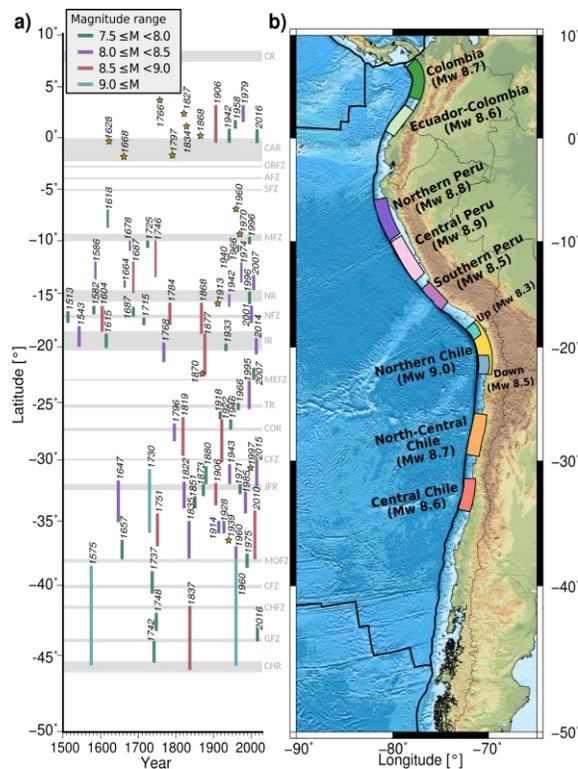
**Figura 3:** Estadística de los 90 escenarios mostrados en los primeros cuatro niveles anidados de batimetría.

### 3.2 Peligro de tsunamis en Sudamérica

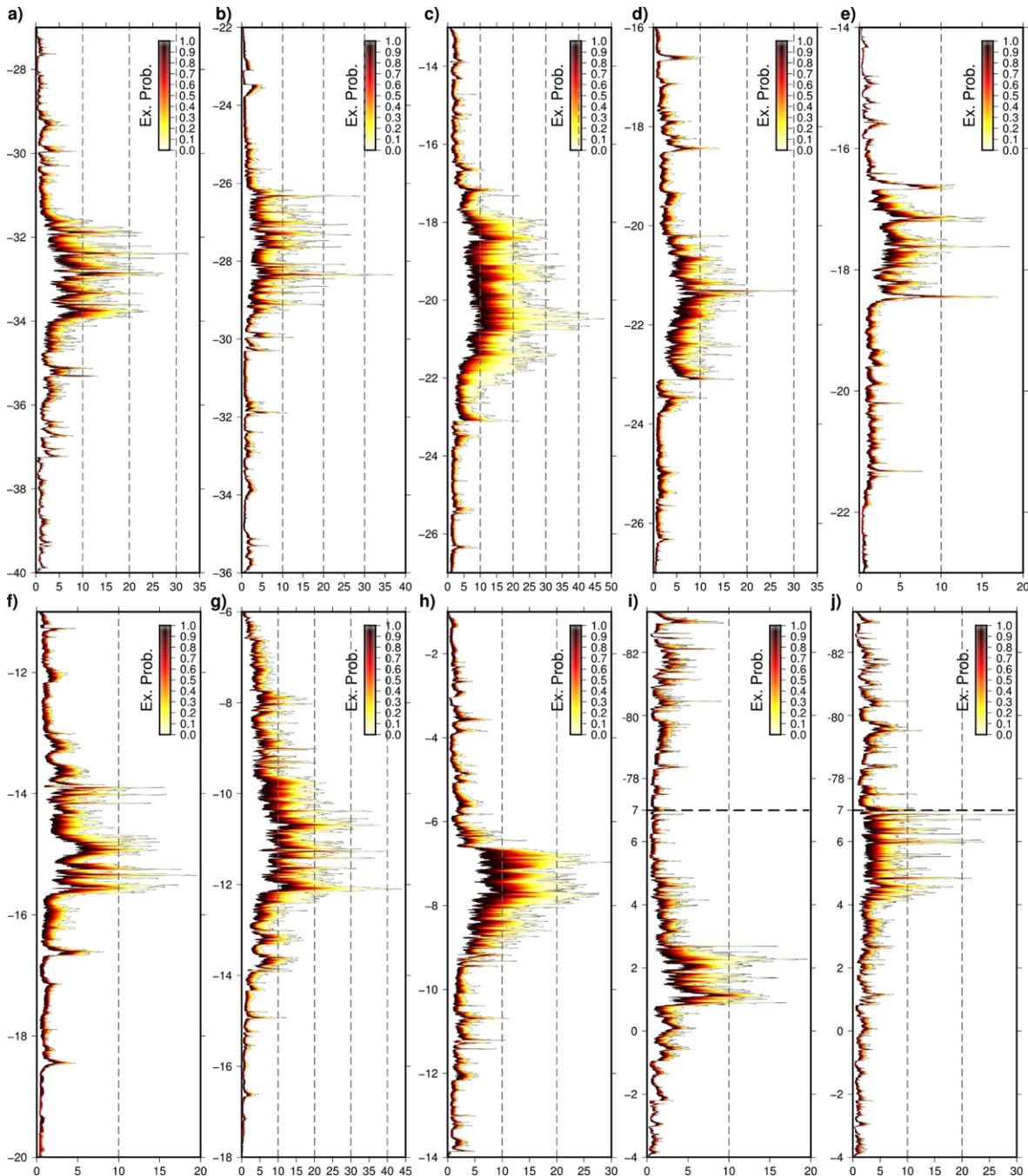
Este estudio corresponde a la tesis de magister del estudiante Miguel Medina.

En el contexto de un continente sudamericano con una gran historia de terremotos y tsunamis, es importante estudiar las posibles consecuencias que un evento tsunamigénico puede tener en las costas aledañas. A raíz de esto, se realizó un estudio del peligro tsunamigénico regional en Sudamérica por terremotos de subducción, utilizando el acoplamiento sísmico y modelaciones numéricas de tsunami mediante el uso de fuentes estocásticas k-2.

Se han estudiado 10 zonas costeras específicas del subcontinente sudamericano.



Los resultados muestran una extensa variabilidad en las distribuciones de run-up. Se encuentra que los máximos run-up escalan con el máximo deslizamiento en la falla, pero esto no ocurre de la misma manera en todas las zonas. La razón, es que la distancia entre la costa y la trinchera oceánica cambia a lo largo del continente, lo que explicaría por qué los tsunamis en Colombia/Ecuador son más pequeños que en Perú o Chile.



**Figura 2:** Probabilidades de excedencia en : a) Chile Central (Mw 8.6), b) Chile Norte-Central (Mw 8.7), c) Chile Norte (Mw 9.0), d) Chile Norte, segmento sur (Mw 8.5), e) Chile norte, segmento norte (Mw 8.3), f) Perú sur (Mw 8.5), g) Peru Central (Mw 8.9), h) Peru norte (Mw 8.8), i) Ecuador-Colombia (Mw 8.6) y j) Colombia (Mw 8.7).

## Observaciones y futuros avances

Los estudios realizados han fortalecido el capital humano en materia de tsunamis, dando como resultado tres nuevos magister en el área. Además, de esta línea, se han desprendido publicaciones científicas en revistas indexadas (*ver apartado de este Informe*):

Estos estudios han culminado con el aporte de nuevos conocimientos y aprendizajes respecto de un área muy importante para Chile.

En el futuro, se propone implementar nuevos métodos que permitan incluir adecuadamente los parámetros temporales de la fuente para realizar simulaciones rutinarias. También, estudios en materia de tsunamis en fiordo revelan la enorme dificultad de este problema y dónde debemos poner nuestros futuros esfuerzos, dado que corresponde a una realidad en la Patagonia chilena.

### III. Línea de Geofísica Aplicada (NGA)

Investigador responsable: Sergio Contreras G.

Investigadores del equipo: Emilio Vera S., Daniel Díaz A., Eduardo Contreras R., Andrei Maksymowicz J., Maximiliano Leiva S., Felipe González R., Sebastián Obando, Daniel Cabrera A., Renzo Mancini.

#### 1. Los desafíos proyectados

##### 1.1 Estudio caracterización geofísica detalle cuenca de Santiago

Mediante la construcción y análisis de los siguientes modelos:

- Construcción de modelos de velocidad de ondas de corte ( $V_s$ )**, con profundidades objetivo de  $\sim 500$  [m] (Fig1.1-1), mediante el análisis multicanal de dispersión ondas superficiales (“MASW<sup>1</sup> profundo”).
- Construcción de un modelo geofísico de la cuenca de Santiago (MGCS)** integrando modelos de gravedad 2-D y 3-D, modelos de resistividad eléctrica 1-D TEM<sup>2</sup> y datos de estratigrafía de pozos (Fig1.2-2).

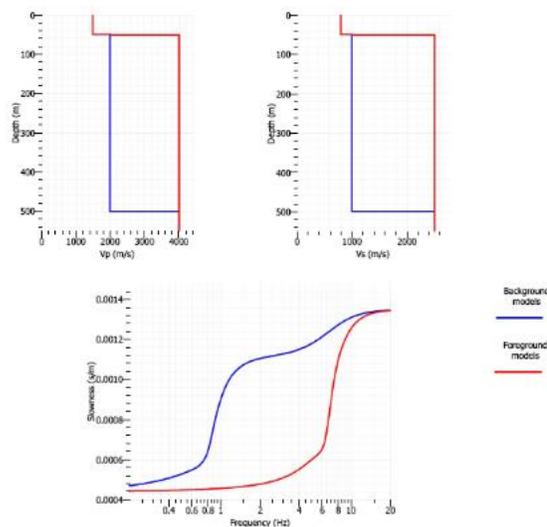


Fig1.1-1 Resumen de pruebas teóricas de curvas de dispersión del modo fundamental para ondas superficiales Rayleigh. En las figuras del panel superior, las líneas azules indican el modelo de referencia y las líneas

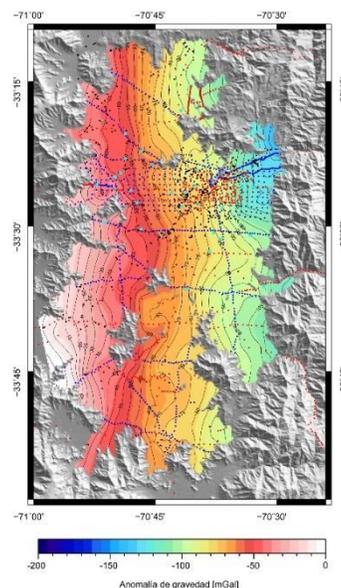


Fig1.1-2: Anomalía de Bouguer Completa en la cuenca de Santiago (Ref. González FA, Maksymowicz A, Díaz D, et al., 2018. Basin Res. 2018;00:1–17. <https://doi.org/10.1111/bre.12281>

<sup>1</sup> Del inglés *Multichannel Analysis of Surface Waves*.

<sup>2</sup> Transiente electromagnético.

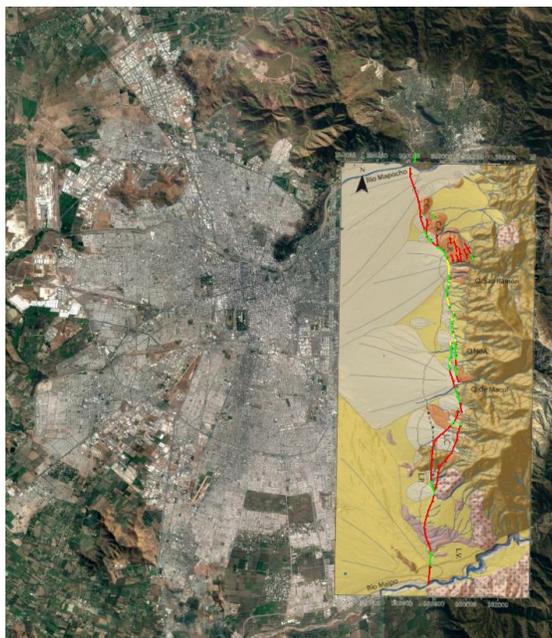
rojas el modelo modificado. En el panel inferior, las líneas azul y roja corresponden a las curvas de dispersión del modo fundamental para el modelo de referencia y el modelo modificado, respectivamente.

## 1.2 Caracterización geofísica de la falla San Ramón

### Ubicada en el borde oriente de la cuenca de Santiago, desde el techo del basamento hasta la superficie de sedimentos

La Falla San Ramón (FSR), Fig1.2-1, tiene una expresión conocida y estudiada en un tramo de ~25 [km] entre los ríos Maipo y Mapocho. Incluso en este segmento, su caracterización es parcial y segmentado debido a que su traza está mayormente cubierta y, por lo tanto, su ubicación ha sido inferida (Armijo et al., 2010; Rauld, 2011), al igual que la recurrencia y magnitudes esperadas de eventos sísmicos pasados (Rauld, 2011; Vargas et al., 2012; Vargas et al., 2014).

En consecuencia, el conocimiento actual sobre la FSR resulta insuficiente para establecer su dinámica y rol morfoestructural en la Cuenca de Santiago. En este contexto, se hace necesario estudiar este rasgo geológico a distintas escalas, considerando por una parte su expresión en superficie, y el rol que ello juega en la estimación de riesgo sísmico vinculado; y, por otro lado, la evolución tectónica de la FSR y su rol en la formación de las cuencas del Valle Central y el Frente Cordillerano.



**Fig.1.2-1 Imagen Satelital de la ciudad de Santiago y mapa geomorfológico del frente cordillerano y piedemonte, con ubicación de la FSR a distintos niveles de determinación (rojo=inferida, verde=observada, amarillo=cubierta).**

### 1.3. Diseño sistema gestión web para base de datos (bd) de cuenca de Santiago

Con la información levantada durante el año 2017 (variables geofísicas y no geofísicas) e implementar funcionalidades y herramientas intuitivas que consulten (*queries*) y muestren datos de una manera que sea fácil de ver y analizar.

### 1.4. Desde un modelo geofísico de cuenca hacia un mapa de peligro sísmico (mps)

En el contexto chileno los mapas de peligro/riesgo sísmico son una herramienta fundamental para una adecuada planificación del territorio y dar gobernanza al desarrollo urbano y social de las comunidades. La ciudad de Santiago, como el resto de las zonas densamente pobladas del país, carece de un mapa de estas características.

Para el bienio 2017 - 2018, el Núcleo de Geofísica Aplicada (NGA), dentro de la cartera de proyectos que desarrolla para el PRS, y en el marco de sus líneas de investigación aplicada (IA), contempla investigar e implementar un método para la construcción de mapas de peligro sísmico para la cuenca de Santiago. Se abordará el problema considerando métodos numéricos 3D de generación de respuesta sísmica en superficie, como elementos y diferencias finitas, los que requieren una caracterización en detalle de propiedades geofísica del medio, en particular la geometría y un modelo de velocidad.

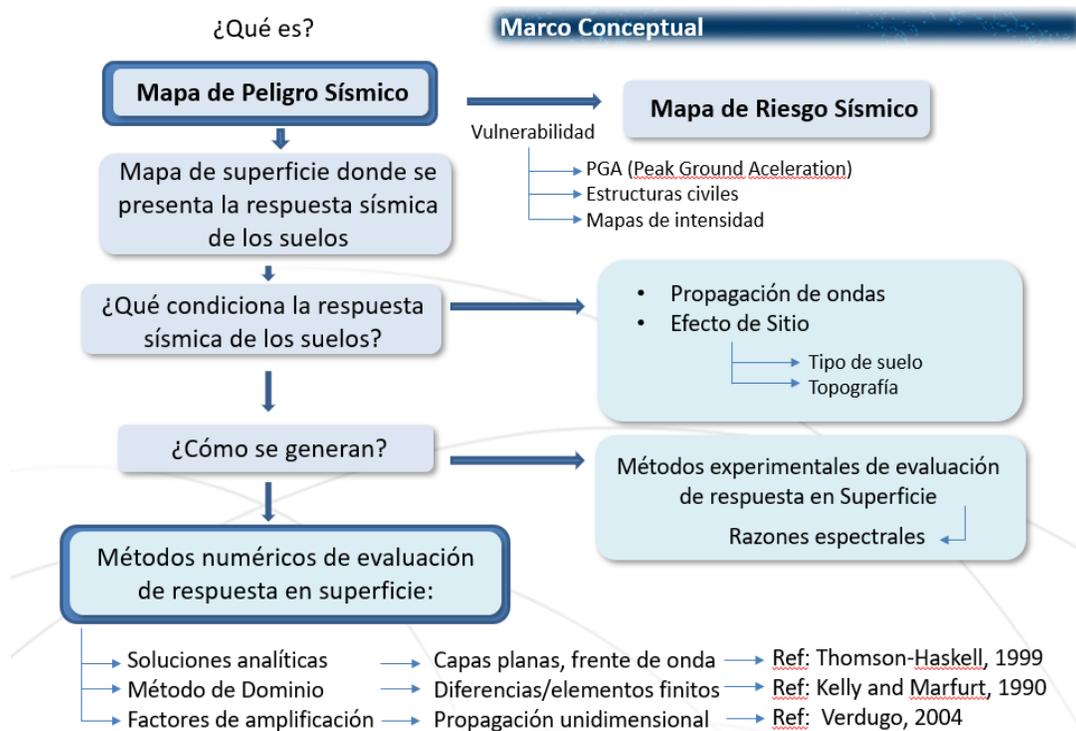


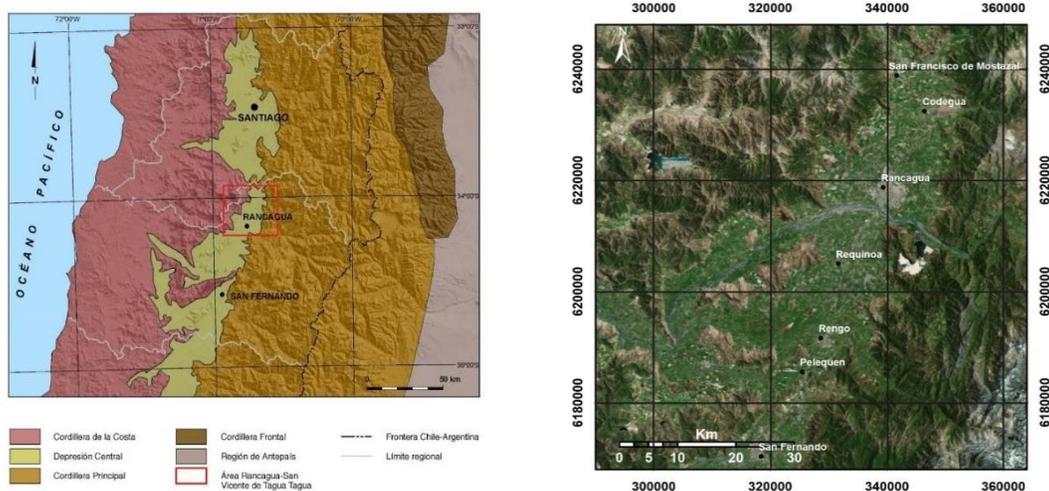
Fig1.4-1 Marco Conceptual.

## 1.5. Estudio de caracterización de la cuenca de Rancagua

### Para la construcción de un modelo geofísico de Cuenca.

El Núcleo de Geofísica de Aplicada (NGA), spin-off de la Universidad de Chile, en una de sus líneas de investigación aplicada (IA) sobre “Modelo geofísico de cuencas y aplicaciones” (MGCA), ha llevado adelante diversos estudios geofísicos desde el año 2015 sobre la cuenca de Santiago, lo que ha permitido consolidar una metodología para desarrollar análisis cuantitativos relacionados con el estudio de la geometría<sup>3</sup> de una cuenca y sus principales propiedades físicas. Estos análisis basados en datos geofísicos (principalmente gravedad y resistividad eléctrica TEM), e integrados con otras fuentes de información de contexto (tales como geología, estratigrafía de pozos y niveles estáticos), permiten construir modelos geométricos 2D y 3D de una cuenca (elevación de basamento y espesor del relleno sedimentario) y caracterizarla mediante parámetros físicos tales como densidad, resistividad eléctrica y velocidad de ondas de cuerpo, construcción que se ha denominado “Modelo Geofísico de Cuenca” (MGC).

En base a la experiencia desarrollada, y como parte de la cartera de proyectos de investigación aplicada del NGA, se está desarrollando un estudio geofísico basado en datos de gravedad, transiente electromagnético (TEM) e información de pozos con el propósito de desarrollar un Modelo Geofísico de la Cuenca de Rancagua (MGCR). La zona de estudio corresponde a Cuenca Cachapoal (Fig1.5-1), ubicada en el Valle Central de la VI Región de Chile, que limita al Norte con la Angostura de Paine (33°55’S) y al Sur por la angostura de Pelequén (34°29’S).



**Fig1.5-1 M Mapa geomorfológico a escala regional de la zona central de Chile.**

En el panel izquierdo de la figura se observan las principales estructuras geológicas de la región. En el recuadro de color rojo se muestra la zona de estudio. El panel de la derecha los topónimos relevantes del área de estudio.

<sup>3</sup> La Morfometría geométrica es una herramienta que permite abstraer la forma mediante el uso de “marcas o puntos”, donde la información sobre el tamaño, la posición y la orientación se ajustan para obtener la información de la “forma” en un contexto matemáticamente analizable.

## 2. Proyectos 2018-2019

### 2.1 Estado de avance

1. Nombre de Proyecto: **"CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO GEOFÍSICO DE LA CUENCA DE SANTIAGO MEDIANTE EL MODELADO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y DE TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO"**.
2. Nombre de Proyecto: **"MODELO GEOFÍSICO DE LA CUENCA DE RANCAGUA (MGCR): GEOMETRÍA Y DENSIDADES DEL BASAMENTO MEDIANTE EL MODELADO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y DE TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO (TEM)"**.
3. Nombre de Proyecto: **"ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE MEDIANTE ANÁLISIS DE ONDAS DE SUPERFICIE MULTICANAL (MASW) A LA ESCALA DE LA CUENCA DE SANTIAGO"**.
4. Nombre del proyecto: **"MODELO GEOFÍSICO DE LA FALLA SAN RAMÓN (FSR): IMPLICANCIAS EN LA EVOLUCIÓN DEL FRENTE DE DEFORMACIÓN ANDINO"**.
5. Nombre del proyecto: **"LEVANTAMIENTO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS METODOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE PELIGRO SÍSMICO"**.

### 2.2 Resumen ejecutivo

**2.2.1 Nombre de Proyecto: "ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE MEDIANTE ANÁLISIS DE ONDAS DE SUPERFICIE MULTICANAL (MASW) A LA ESCALA DE LA CUENCA DE SANTIAGO"**.

#### I. Introducción

El proyecto se desarrolla en el contexto del programa de riesgo sísmico (PRS) con el fin de validar la técnica de MASW a escala de la cuenca de Santiago para determinar la estructura de velocidad de onda de corte a una profundidad objetivo de  $\sim 500$  [m]. Disponer de un modelo de velocidad  $V_s$  a la profundidad señalada permitirá caracterizar el relleno sedimentario y constreñir el límite superior del basamento para utilizarlo como parámetro de entrada en el modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago.

El método de MASW a escala de la cuenca está basado en el análisis de ondas superficiales mediante el registro de ruido ambiente con instrumental sismológico. Esta técnica permite estimar una estructura unidimensional de velocidad de onda de corte versus profundidad, en la cual es posible diferenciar estratos en base al contraste de velocidades permitiendo caracterizar el relleno sedimentario y basamento subyacente.

#### II. Objetivo general

Validar la técnica de MASW a escala de la cuenca de Santiago (profundidad objetivo de  $\sim 500$  [m]) utilizando ruido sísmico para la caracterización del relleno sedimentario y basamento subyacente.

### III. Objetivos específicos

1. Realizar pruebas teóricas para determinar equipos de medición óptimos y parámetros de adquisición para las pruebas de campo.
2. Diseñar experimento para realizar mediciones de prueba de MASW a escala de la cuenca de Santiago.
3. Obtener datos de ruido sísmico y modelos de velocidad de onda de corte en la cuenca de Santiago.
4. Concluir con respecto a las pruebas experimentales realizadas para la caracterización del relleno sedimentario y basamento subyacente.

### IV. Alcances

1. El estudio por realizar se encuentra en una etapa experimental.
2. En el estudio se utilizará una fuente pasiva (ruido antropogénico y natural).

### V. Metodología

1. Revisión bibliográfica y recopilación de antecedentes de la técnica de MASW utilizando el registro de ondas pasivas.
2. Realizar de campaña de mediciones de MASW en la cuenca de Santiago mediante el registro de ruido sísmico.
3. Procesar y modelar de datos de ruido sísmico adquiridos en campaña de mediciones para la obtención de modelos de velocidad de onda de corte mediante curvas de dispersión.
4. Analizar de resultados de modelos de velocidad de onda de corte resultantes integrando otras fuentes de información independientes.

### VI. Resultados parciales

- Descripción de la técnica.** Las técnicas basadas en el análisis espectral de las ondas superficiales se han convertido en la base de la estimación de la estructura de velocidad de onda de corte en profundidad para estudios de suelo en geofísica, ingeniería civil y geotecnia. Entre las técnicas utilizadas en las últimas décadas, la llamada MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) ha sido una de las más recurrentes debido, principalmente, a su simpleza en términos de la adquisición de los datos sísmicos [Ref. 12]. El MASW está basado en la estimación de velocidades de onda de corte mediante el registro y análisis multicanal de ondas superficiales [Ref. 7]. Esta técnica permite obtener una estructura unidimensional de velocidad de onda de corte versus profundidad, en la cual es posible interpretar estratos geológicos cuando esta información se integra con datos complementarios (horizontes geotécnicos, geología y otras fuentes de datos geofísicos, etc.). Esta técnica puede ser utilizada tanto con datos generados con una fuente sísmica activa como pasiva (active MASW and passive MASW). Típicamente la adquisición de los registros sísmicos se realiza en tendidos lineales (ej. [Ref. 8]; [Ref. 11]; [Ref. 6]) o bidimensionales (ej. [Ref. 7]). La adquisición de datos es seguida de una transformación de los datos desde el espacio tiempo – offset al espacio de velocidad de fase – frecuencia, en donde es posible reconocer las curvas de dispersión del medio de estudio. Estas curvas de dispersión son modeladas para obtener finalmente un modelo de velocidad de onda de corte versus profundidad (ej. Fig. 1).

Adquisición de datos

Extracción de curvas de dispersión

Obtención de modelo de velocidad

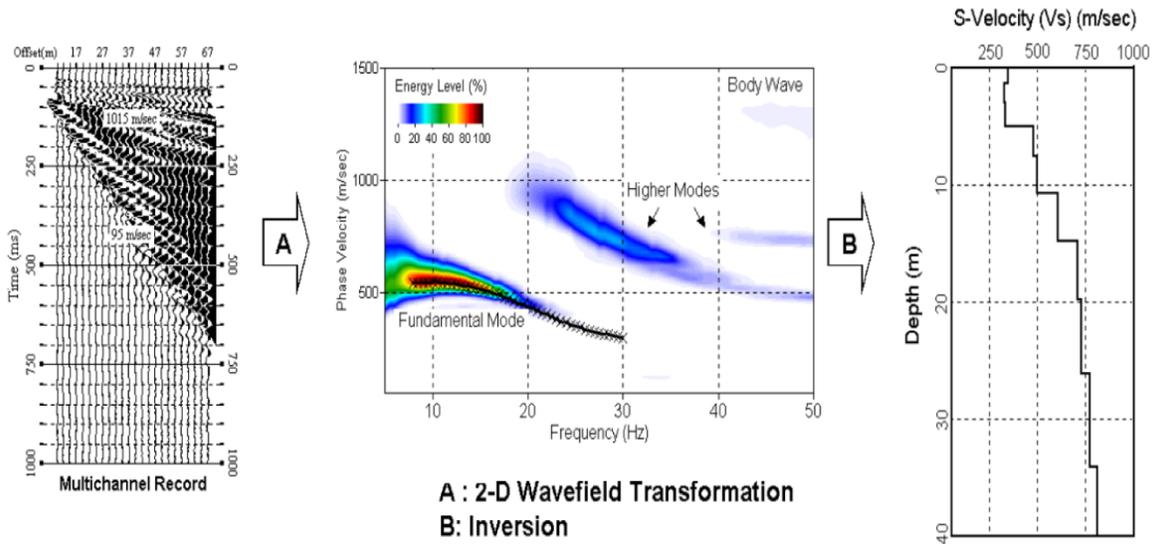


Fig2.2.1-1. Esquema de procesamiento de datos en técnica MASW. Modificado desde Park & Miller 2005 [Ref. 10].

- ❑ **La revisión bibliográfica** muestra que la técnica MASW como tal se ha utilizado solo para estudios locales con profundidades objetivo de decenas de metros. Por otra parte, actualmente se realizan estudios de ruido sísmico (ANT), pero a una escala regional utilizando arreglos de receptores separados por kilómetros de distancia, cuyos datos son procesados en pares de estaciones.
- ❑ **Con el objetivo de adaptar la técnica MASW** desde la escala local hasta una escala intermedia, se realizaron experimentos teóricos para estimar los parámetros de adquisición que forman la base del diseño de las pruebas de campo. Las pruebas indican que, para alcanzar una profundidad objetivo de 500 [m], se requieren idealmente instrumentos que sean capaces de registrar datos adecuadamente a frecuencias tan bajas como 0,2 Hz, por lo cual se trabajará con estaciones banda ancha proporcionadas por el Centro Sismológico Nacional<sup>4</sup> y en paralelo con estaciones de período corto ( $f_c \sim 4$  Hz) para hacer un análisis comparativo de los registros.
- ❑ **Con el propósito de validar la hipótesis de trabajo**, se realizaron pruebas de campo en el entorno del parque O'Higgins siguiendo el diseño propuesto y utilizando instrumental sismológico banda ancha. Los resultados mostraron la identificación de la curva de dispersión del modo fundamental de ondas Rayleigh en un rango de frecuencias entre los 1 y 12 Hz. La inversión de estos datos observados permitió estimar un modelo de velocidad de onda de corte hasta alrededor de los 400 [m] de profundidad, donde se observa un contraste considerable de velocidad.

<sup>4</sup> <http://www.sismologia.cl/>



Fig2.2.1-2. Ubicación de estaciones sísmológicas para pruebas de campo en sector Parque O'Higgins.

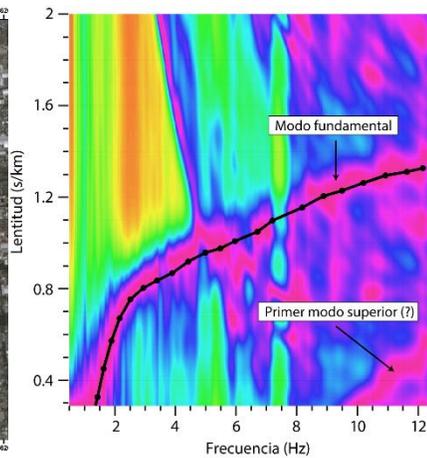


Fig2.2.1-3 Digitalización de curva de dispersión del modo fundamental de ondas Rayleigh.

(a)

Nº capa	Esesor (m)	Vs (m/s)
1	42	760
2	100	1154
3	254	1510
Semi-espacio	-	3496

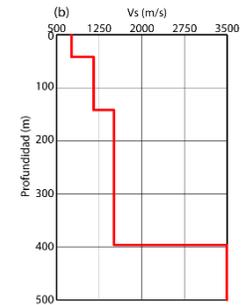
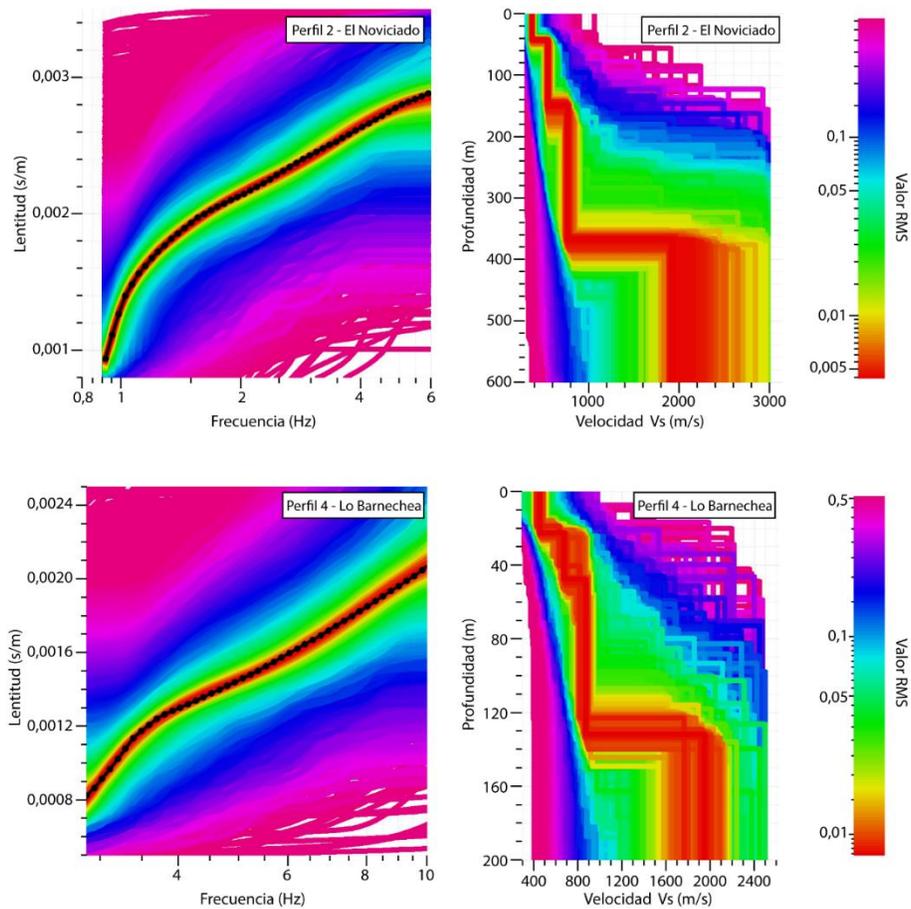


Fig2.2.1-4. Modelo de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) resultante del proceso de inversión de la curva de dispersión.

- Las pruebas de campo realizadas en el Parque O'Higgins en el mes de febrero permitieron confirmar que la adaptación de la técnica MASW a escala de la cuenca de Santiago es factible bajo ciertas condiciones. Con el objetivo de validar la aplicación de la técnica a escala intermedia se realizaron cuatro mediciones adicionales en lugares donde, anteriormente, se ha caracterizado la estructura del subsuelo a partir de mediciones independientes (pozos y datos geofísicos).

Los datos adquiridos fueron procesados para estimar un modelo de velocidad de onda de corte. Los modelos de velocidad de onda de corte obtenidos para los perfiles 2 y 4 muestran un contraste de velocidad interpretable como el límite entre sedimentos-roca. Este límite es concordante con la información de contexto disponible en cada sitio de medición. Por otra parte, para los perfiles 1 y 3 no se pudieron identificar curvas de dispersión y, por lo tanto, no se pudo estimar una estructura de velocidad.



**Fig2.2.1-4. Proceso de inversión de curva de dispersión del modo fundamental para los perfiles 2 y 4.** El panel izquierdo muestra el ajuste entre las curvas de dispersión teóricas (líneas de color) y las curvas de dispersión observadas (puntos negros) para todo el espacio de parámetros. El panel de la derecha presenta los modelos de velocidad  $V_s$  correspondientes a los ajustes mostrados en el panel izquierdo.

- **Los resultados obtenidos permiten validar la aplicación de la técnica de MASW a escala intermedia** utilizando tanto estaciones anda ancha como de período corto. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos para dos de los perfiles, se requiere mayor trabajo para entender de mejor manera el rango de aplicación de la técnica y optimizar sus aspectos metodológicos. Para conseguir esto, se recomienda continuar la línea de trabajo con el diseño de pruebas en el proceso de datos y una nueva campaña de terreno que permita entender el efecto de la configuración espacial y la directividad de la fuente de ruido sísmico en el rango de profundidades, estructura de velocidades y aplicación de la técnica.

## **2.2.2 Nombre del proyecto: “LEVANTAMIENTO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS METODOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE PELIGRO SÍSMICO”.**

### **I. Introducción**

En el contexto chileno los mapas de peligro sísmico son una herramienta fundamental para la buena planificación y normativa de los desarrollos urbanísticos y sociales. Santiago, como el resto de la zona densamente poblada del país, no cuenta con un mapa de estas características.

Para el 2018, el Núcleo de Geofísica Aplicada (NGA) dentro de sus de su línea de trabajo contempla el desarrollo de un método para la construcción de un mapa de peligro sísmico en la cuenca de Santiago, que permita establecer las bases conceptuales y teóricas para la implementación efectiva de una estrategia futura en la construcción de un MPS. Se abordará el problema considerando métodos numéricos de generación de respuesta sísmica en superficie, como elementos y diferencias finitas, los que requieren una caracterización en detalle de propiedades geofísica del medio, en particular la geometría de la cuenca y un modelo de velocidad de sedimentos.

### **II. Objetivo general**

Desarrollar un método para la construcción de un Mapa de Peligro Sísmico de la cuenca de Santiago.

### **III. Objetivos específicos**

1. Generar una base de datos asociadas a:
  - Metodologías de generación de MPS.
  - Casos comparados más relevantes en generación de mapas de peligro sísmico en cuencas.
2. Definición de criterios y variables para la construcción de un mapa de peligro sísmico.

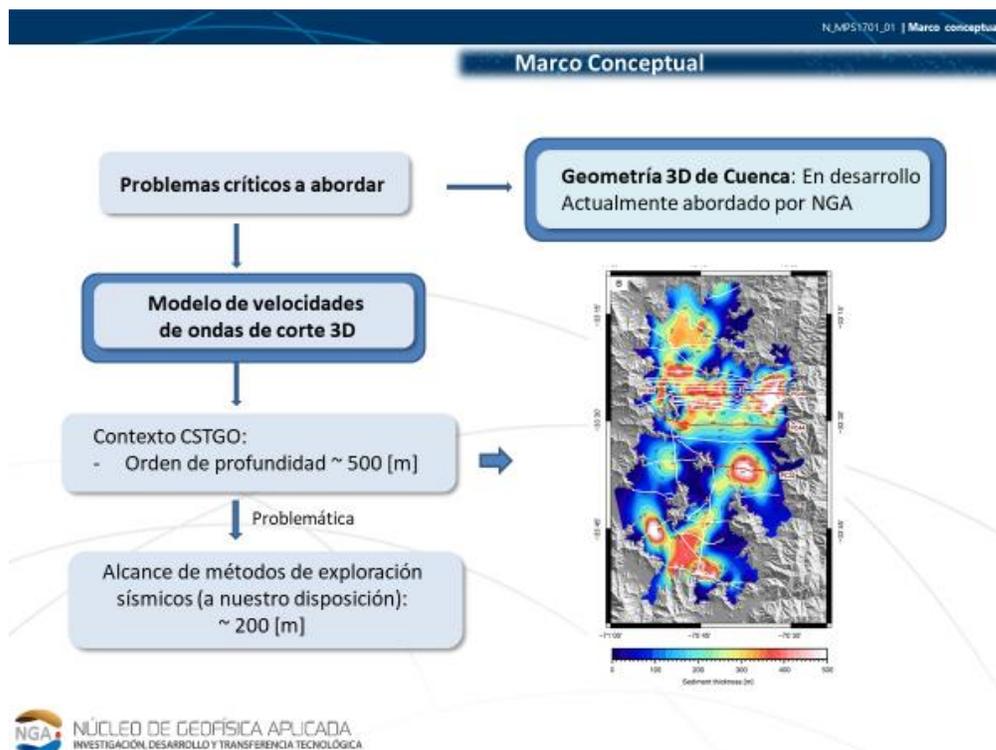
### **IV. Alcances**

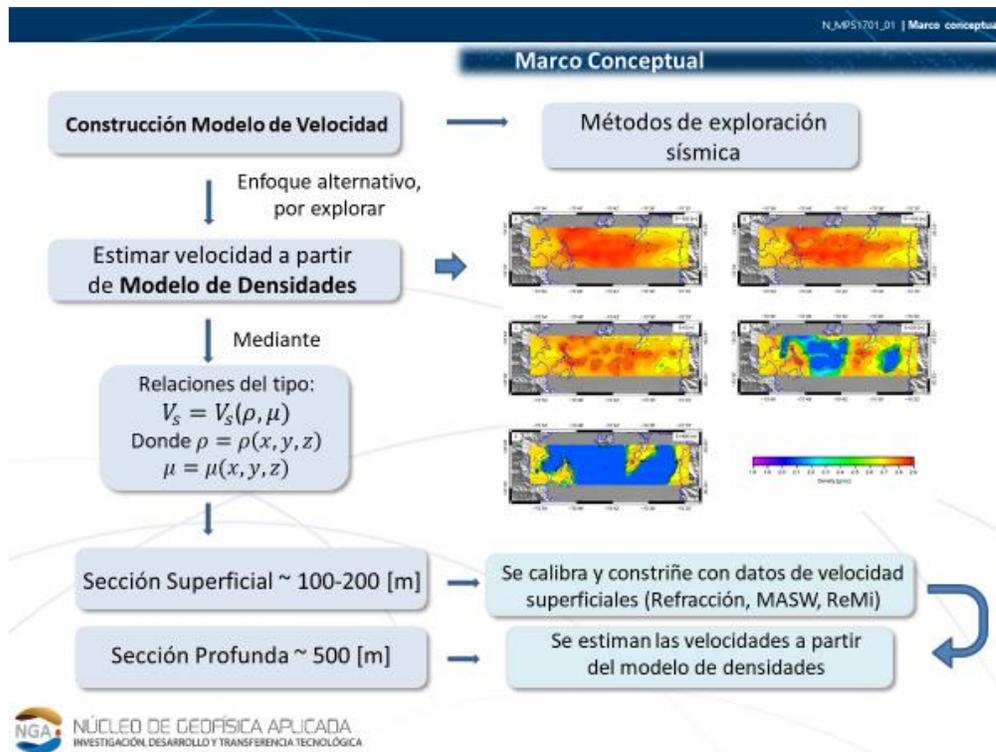
1. La propuesta contempla la posibilidad de realizar pruebas controladas de validación del método.
2. Queda fuera del alcance del proyecto la construcción de un mapa de peligro sísmico para la cuenca de Santiago.

### **V. Metodología**

1. Levantamiento de información
2. Clasificación de información
3. Correlación de información
4. Planteamiento de marco teórico en la construcción de MPS
5. Desarrollo de un método para la construcción de MPS

## VI. Resultados parciales

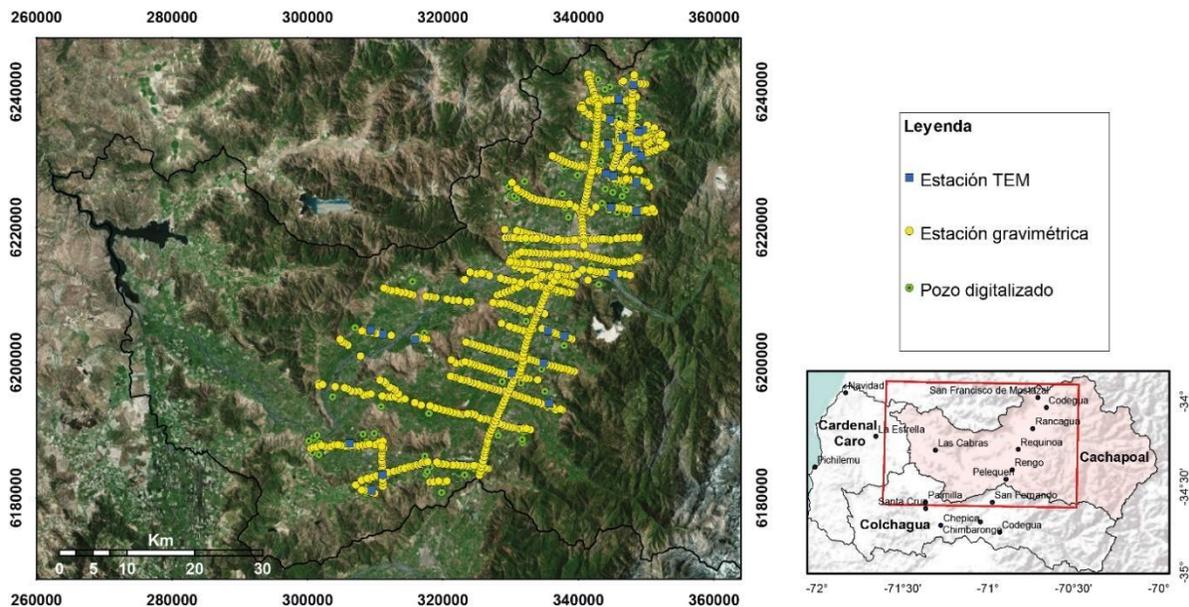




**2.2.3 Nombre de Proyecto: "MODELO GEOFÍSICO DE LA CUENCA DE RANCAGUA (MGCR): GEOMETRÍA Y DENSIDADES DEL BASAMENTO MEDIANTE EL MODELADO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y DE TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO (TEM)".**

**I. Introducción**

Como parte del programa de proyectos de investigación aplicada (IA) que el NGA desarrolla para el Programa de Riesgo Sísmico (PRS), se llevó a cabo un estudio geofísico basado en datos de gravedad, Transiente Electromagnético (TEM) e información de pozos en el sector de la Cuenca de Rancagua (Valle del Cachapoal), VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Durante el año 2016, se realizó la adquisición de 188 estaciones gravimétricas y 14 estaciones TEM, en el 2017 se adquirieron 290 estaciones gravimétricas y 8 estaciones TEM mientras que en el año 2018 se obtuvieron 382 estaciones gravimétricas y 8 estaciones TEM. Las estaciones gravimétricas fueron medidas cada ~500 [m], y se distribuyeron a lo largo de 38 líneas o perfiles, mientras que las estaciones TEM se ubicaron aproximadamente sobre las trazas de las líneas gravimétricas y se adquirieron con un *loop* de 100 [m] x 100 [m].



**Fig2.2.3-1. Datos de gravedad y TEM medidos durante 2016 y 2017.** Incluye información de pozos recopilados en el área de estudio.

En este reporte, se presenta un avance del proyecto hasta diciembre 2018, e incluye la siguiente información: a) perfiles gravimétricos 2D de la zona de estudio, b) modelos de resistividad eléctrica 1D (TEM) y c) información de pozos para constreñir los perfiles de gravedad. Estos resultados permitirán, en la siguiente etapa de proyecto, la construcción de un modelo morfométrico 3D de la cuenca de Rancagua (Provincia del Cachapoal). Para el desarrollo de este trabajo, se ejecutaron las siguientes actividades: compilación de información geofísica y geológica de la zona de estudio, diseño de campañas geofísicas gravimétricas y de TEM, proceso de datos gravimétricos para el cálculo de una Anomalía de Bouguer Completa (ABC), modelado de datos TEM, modelado de perfiles gravimétricos 2D con amarres en los extremos de cada perfil y constreñidos con los modelos de resistividad TEM e información de pozos del área de estudio.

Utilizando los perfiles gravimétricos 2D constreñidos se obtuvo un modelo interpolado de la elevación de basamento y del espesor sedimentario para la Cuenca de Rancagua.

## II. Objetivo general

Construir una versión actualizada de la morfometría de la cuenca de Rancagua (Provincia del Cachapoal) mediante un análisis integrado de datos geofísicos de gravedad y TEM, obtenidos en el proyecto, más otras fuentes de información como la geología regional y estratigrafía de los pozos disponibles para el área de estudio, obtenidas desde la base regional de la DGA<sup>5</sup>.

## III. Objetivos específicos

1. Actualizar el marco del proyecto (teórico, geológico, tectónico, etc.).

<sup>5</sup> Dirección General de Aguas ([www.dga.cl](http://www.dga.cl)).

2. Ampliar el área de estudio a toda la Provincia del Cachapoal incorporando nueva data de gravedad, TEM y estratigrafía de pozos.
3. Construir una base de datos del proyecto de gravedad y TEM obtenidas en las campañas geofísicas desarrolladas durante el 2016 y 2017, incluyendo la compilación de información de pozos en la zona de estudio.
4. Calcular la Anomalía de Bouguer completa (ABC) para toda Provincia del Cachapoal.
5. Construir modelos de resistividad eléctrica TEM 1D para determinar una estructura geoléctrica de la cuenca en los puntos de medición.
6. Construir perfiles gravimétricos calibrados con los modelos 1D de resistividad eléctrica TEM y con la información de profundidad de los pozos presentes en el área de estudio.
7. Construir vistas en planta con la estimación de los espesores del relleno sedimentario y de la altura del basamento de la Cuenca de Rancagua.

#### IV. Alcances

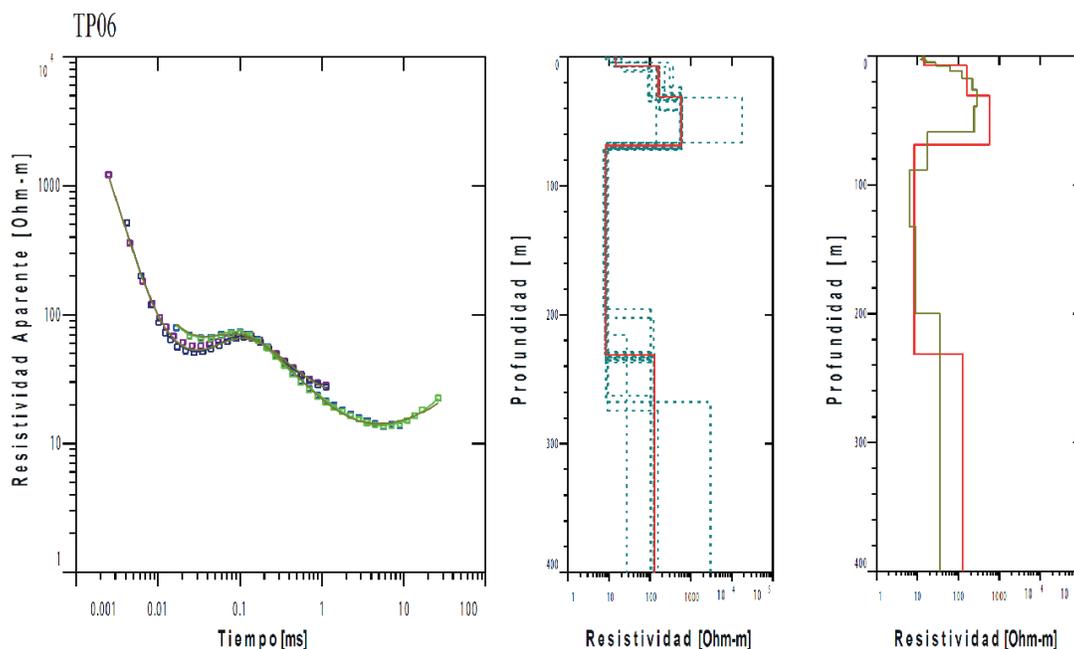
Descripción	Productos	Entregables
Generación de un modelo actualizado de la cuenca de Rancagua con datos obtenidos durante las campañas 2016 y 2017.	1. Modelo morfométrico actualizado de la cuenca de Rancagua.	- Mapa ABC. - Mapa espesor sedimentario. - Mapa altura de basamento. - Base de datos gravimétricos, TEM y modelo altura de basamento (*.XYZ). - Informe . - Archivo kmz con los datos medidos y figuras del modelo de la cuenca. - Secciones de perfiles grav 2D calibradas.
	2. Propiedades de la cuenca de Rancagua	- Resistividad - Marco del proyecto (geológico, tectónico, teórico, etc.)

#### V. Metodología



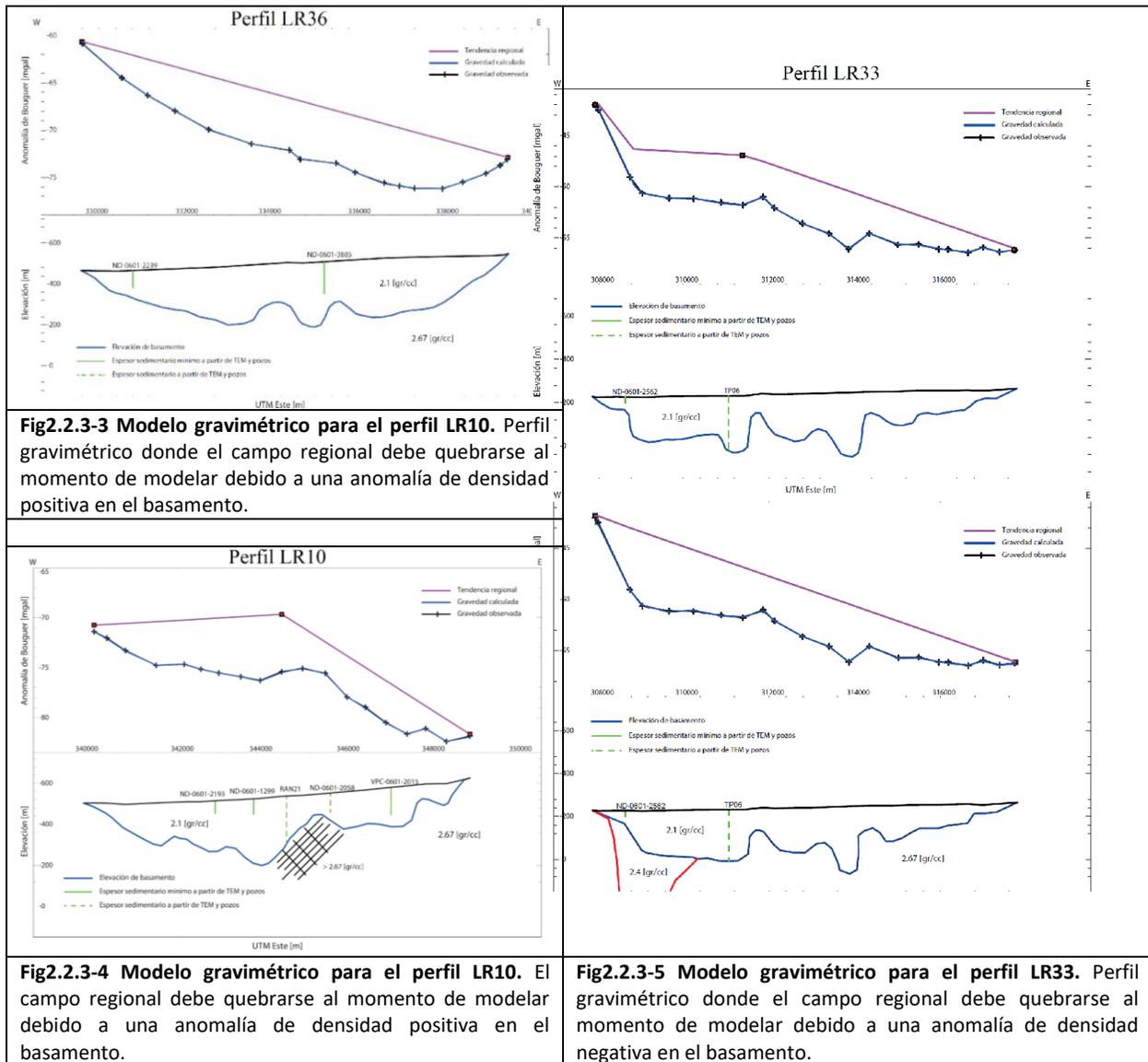
## VI. Resultados parciales

- De las 30 estaciones TEM adquiridas durante 2016, 2017 y 2018 se descartaron 6 mediciones debido al ruido existente que impidió un modelamiento confiable (TR12, TR13, TR14, Ran\_5, RAN\_7 y TP10). Por otro lado, 15 fueron los modelos de resistividad eléctrica 1D que alcanzaron a detectar basamento. En la figura Fig2.2.3-2 se presenta un ejemplo de TEM que alcanzó basamento.



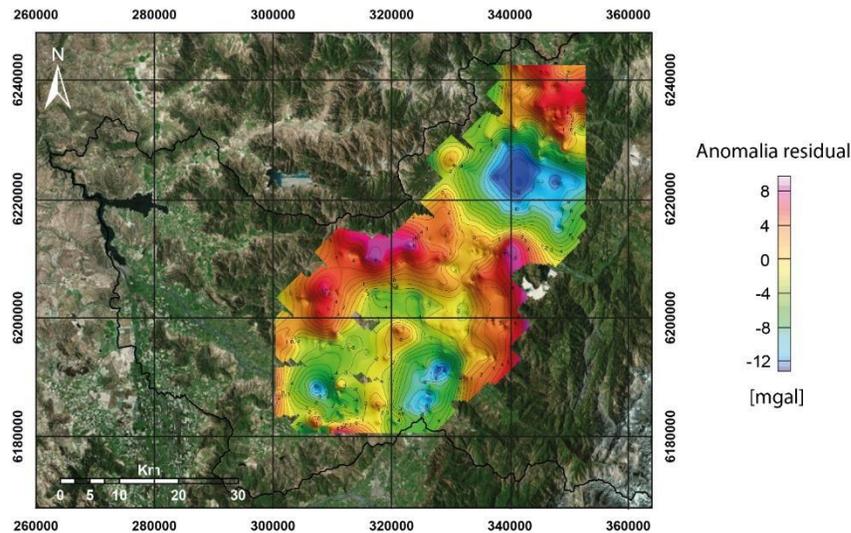
**Fig2.2.3-3 Estación TEM TP 06.** En el panel de a izquierda se puede observar la curva de resistividad aparente. En el panel central un modelo de resistividad de capas simples y en el panel de la izquierda un modelo de resistividad 1D multicapas.

- En los modelos de gravedad 2D se consideró una densidad homogénea de 2,1 [gr/cc] para el relleno sedimentario. El espesor fue controlado utilizando los pozos reconocidos en el área que tuvieran estratigrafía reportada, mientras estos se ubicaran a menos de 500 [m] de distancia del perfil. Para algunos perfiles, debido a la falta de información, esta distancia se aumentó a 2 [km], pero de forma referencial (e.g. Fig2.2.3-3, Fig2.2.3-4 y Fig2.2.3-5).



- ❑ La figura Fig2.2.3-6 muestra la anomalía residual de gravedad luego de extraer de los datos una tendencia regional lineal. De color rojo se presentan las anomalías positivas, es decir, zonas donde los datos presentan un valor mayor a la tendencia regional. Para modelar esta señal se debería usar un contraste de densidad positivo entre basamento y cuenca, lo cual no aplica al momento de modelar una cuenca sedimentaria.

Este problema se observa en el sector Nororiente de la zona de estudio como también a los costados Este y Oeste de la zona central. Son estas zonas donde se debe concentrar la búsqueda de información complementaria de elevación de basamento



**Fig2.2.3-6. Anomalia residual de Bouguer.** Corresponde a la anomalía modelada, luego de remover la tendencia regional lineal.

- Una vez modelados los 38 perfiles gravimétricos, se procede extrayendo la elevación de basamento bajo cada estación gravimétrica, calculando la diferencia entre la elevación topográfica y la elevación de basamento se obtiene el espesor sedimentario bajo cada estación, ambos modelos se presentan como ejemplo en las figuras Fig2.2.3-7 y Fig2.2.3-8.

**Fig2.2.3-6. Modelos de espesor de sedimentos y elevación de sedimentos.**

- En el Modelo Geofísico de la Cuenca de Rancagua (MGCR) se observa que en promedio el espesor de sedimentos que rellena la cuenca, en la Provincia del Cachapoal, es de ~ 200 [m]. Se observan 3 depocentros principales donde el relleno sedimentario supera los 400 [m] de espesor. En diversos perfiles, los regionales gravimétricos y datos independientes de profundidad de basamento, evidencian variaciones significativas en su densidad. Además, se ha podido apreciar un patrón escalonado en la profundidad del basamento, que se puede interpretar como la presencia de un sistema de fallas relacionadas al desarrollo de la cuenca Abanico (deformación posterior del frente cordillerano Andino).
- Los trabajos futuros para el año 2019 en este estudio corresponden a ampliar la Base de Datos (BD) de gravedad y TEM, aumentando la densidad de perfiles gravimétricos (constreñidos con TEM y estratigrafía de pozos) cuyas ubicaciones se definirán a partir de los resultados preliminares logrados hasta diciembre 2018. Respecto del estudio de densidades del basamento, se realizarán análisis mediante inversión 3D.

## **2.2.4 Nombre del proyecto: “MODELO GEOFÍSICO DE LA FALLA SAN RAMÓN (FSR): IMPLICANCIAS EN LA EVOLUCIÓN DEL FRENTE DE DEFORMACIÓN ANDINO”.**

### **Introducción**

Durante las últimas décadas, el estudio del sistema de fallas en el frente activo de deformación occidental del orógeno Andino ha mostrado un importante desarrollo debido al trabajo de numerosos autores [Ref. 1, 5]. Particularmente, el estudio de la zona de falla San Ramón (ZFSR) es relevante para comprender la evolución tectónica de los Andes en la región de Chile central, y para evaluar el potencial riesgo sísmico asociado a su ubicación en el límite oriental de Santiago. En este sentido, se han realizado estudios geofísicos para observar la estructura de la ZFSR cercana a la superficie [Ref. 4] y la actividad sísmica asociada a la deformación cortical en profundidad [Ref. 13], pero la caracterización completa de este sistema a diferentes escalas espaciales y temporales se encuentra aún en una etapa inicial.

Como parte del estudio se adquirieron 8 perfiles gravimétricos. Con estos modelos se construyeron mapas de anomalía de Bouguer, anomalía residual, espesor sedimentario y elevación de basamento en el área de estudio. Es importante tener en consideración que la información de contexto disponible, particularmente de pozos, no se encontraba en proximidad inmediata de los perfiles, ni alcanzaban grandes profundidades, por lo que el espesor sedimentario modelado cuenta con control limitado. Se requiere de más información, tal como modelos geofísicos de otras propiedades físicas, que permitan estimar la profundidad a la cual se encuentra el basamento en algunos puntos bajo los perfiles.

El presente reporte corresponde al avance del estudio hasta diciembre 2018 e incluye el resultado del modelado de perfiles gravimétricos en las comunas de Buin, Paine y Pirque, en conjunto a la información recopilada (geofísica, geología y pozos) como parte de las actividades del proyecto

### **I. Objetivo general**

Estudiar la morfología del basamento en el sector nororiente y sur de la cuenca de Santiago para reconocer la expresión de la FSR en el basamento.

### **II. Objetivos específicos**

1. Adquirir 8 perfiles gravimétricos.
2. Adquirir, modelar e interpretar 4 perfiles MASW.
3. Modelar e interpretar los perfiles gravimétricos utilizando información de pozos y modelos MASW.
4. Interpretar los rasgos de la geometría del basamento del área de estudio.

### **III. Alcances**

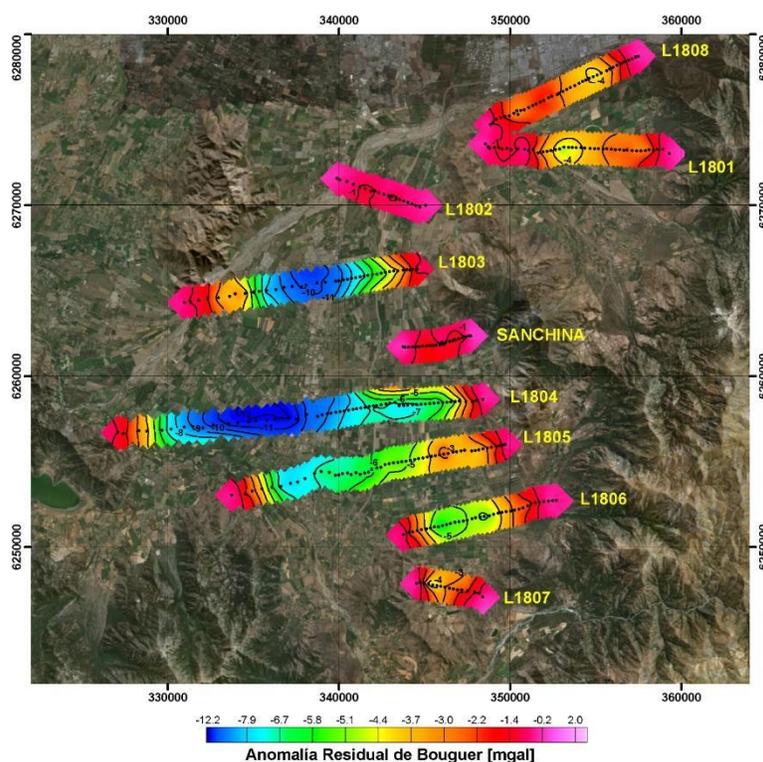
1. El área de estudio se ha dividido en 2: Pirque y Provincia de Maipo.
2. El área de estudio Pirque comprende la comuna de Pirque. Al área de estudio Provincia de Maipo comprende la zona desde el río Maipo al sur y hasta los cerros que limitan el área al sur y al este.
3. El estudio de la morfología del basamento comprende su forma.
4. El número total de perfiles gravimétricos y MASW finalmente adquiridos y/o modelados puede variar, dependiendo de si se cuenta con acceso a la totalidad de los puntos.

#### IV. Metodología

1. Levantamiento bibliográfico.
2. Levantamiento de información geofísica, geológica y de pozos.
3. Análisis de los antecedentes recopilados.
4. Diseño y ejecución de una campaña gravimétrica.
5. Proceso y modelado conjunto de perfiles gravimétricos e información de contexto.
6. Análisis integrado y comparativo de resultados.
7. Interpretación de modelos.

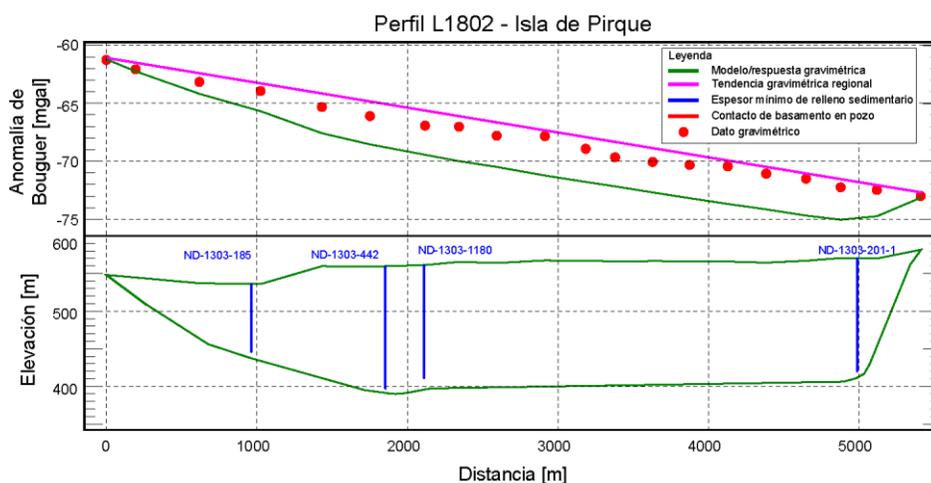
#### V. Resultados parciales

- **Anomalía de gravedad.** Para los datos gravimétricos considerados en el proyecto se obtuvo la Anomalía de Bouguer completa. Esta anomalía se caracteriza por una disminución en el sentido Oeste-Este, debido al efecto gravimétrico de la raíz de la Cordillera de Los Andes. Se observa también una variación en el sentido Norte-Sur en la porción oriental de los perfiles L1804 a L1807. Para poder modelar las anomalías correspondientes al relleno sedimentario de las cuencas, esta señal debe ser aislada de la tendencia regional. Esto se hace considerando una tendencia lineal entre los extremos de cada perfil individualmente. Esta elección de tendencia regional se sustenta en el hecho de que los perfiles fueron medidos con sus puntos extremos ubicados sobre o en proximidad de afloramientos del basamento rocoso. De esta forma, la Anomalía residual de Bouguer (Fig.2.2.4-1) resultante corresponde principalmente a la anomalía producto del relleno sedimentario de menor densidad que la considerada en las correcciones gravimétricas aplicadas (2,67 [gr/cc]).

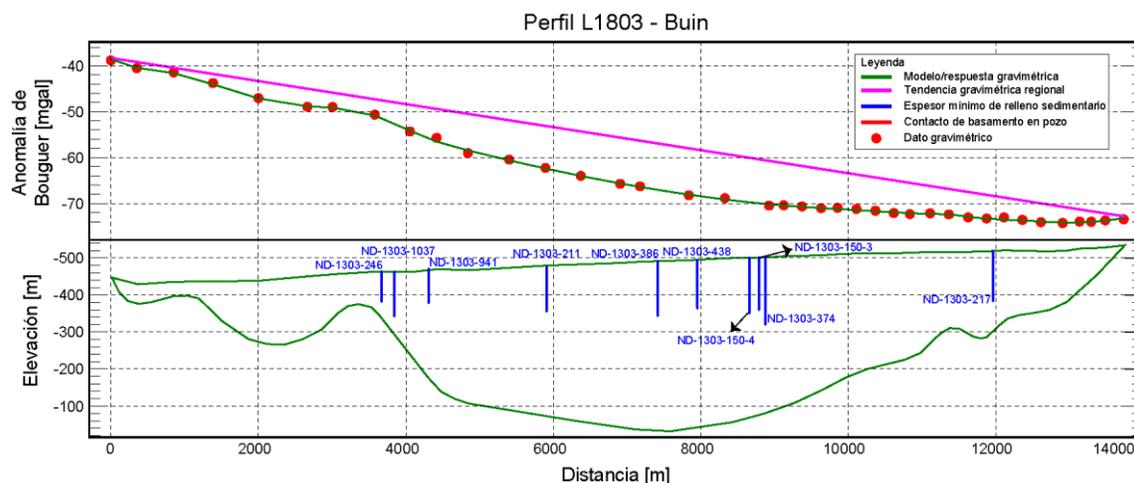


**Fig2.2.4-1. Anomalía residual de Bouguer.** Corresponde a la anomalía modelada, luego de remover la tendencia regional lineal individualmente para cada perfil.

□ **Modelos de gravedad 2D.** Para el modelado de gravedad 2D se consideró un relleno sedimentario de densidad homogénea de 2,1 [gr/cc], en contraste a los 2,67 [gr/cc] atribuido al basamento rocoso en las correcciones gravimétricas. El espesor fue controlado utilizando los pozos reconocidos en el área que tuvieran estratigrafía reportada, mientras estos se ubicaran a menos de 500 [m] de distancia del perfil. En los perfiles con poca o sin información esta distancia se aumentó a 1 [km], pero de forma referencial. Utilizando el software de modelación directa ModelVision v11 [Ref. 14], se obtuvieron modelos para los 8 perfiles gravimétricos adquiridos en este proyecto, además del perfil incorporado [Ref. 17]. A continuación, algunos ejemplos de ellos. La información de pozos en ocasiones no se ajusta exactamente con los modelos, lo que obedece principalmente a que no se encuentra sobre el perfil en cuestión y en zonas cercanas a los extremos, en donde la presencia de cordones y proyecciones de los cerros aumenta la variabilidad en la dirección perpendicular a los perfiles.



**Fig2.2.4-2. Modelo gravimétrico para el perfil L1802.**



**Fig2.2.4-3. Modelo gravimétrico para el perfil L1803.**

- **Espesor de sedimentos y elevación de basamento.** A partir de los modelos de gravedad obtenidos para cada perfil se extrajo el espesor del relleno sedimentario bajo cada uno de los puntos gravimétricos modelados. Observar dichos valores en planta (Fig2.2.4-4) permite reconocer la distribución y correspondencia de las zonas más profundas entre los perfiles e identificar depocentros en la cuenca. De forma análoga, basándose en la elevación de los puntos en los cuales se evalúa el espesor del relleno sedimentario, es posible calcular la correspondiente elevación del contacto entre relleno y basamento en el modelo. Para ello, a la elevación obtenida mediante GPS diferencial de cada uno de los puntos gravimétricos se le restó el valor del espesor de relleno sedimentario, y así se obtuvo la elevación del basamento en referencia la elevación GPS diferencial medida en terreno. El mapa de elevación de basamento permite entender de mejor forma la relación entre depocentros y estructuras, para identificar posibles lineamientos estructurales en el basamento.

Para comprender la relación de la elevación de basamento previamente descrita y graficada con los cerros circundantes, se generó un mapa de elevación del basamento, incorporando la elevación de los cerros, además de la elevación de basamento reportada para algunos puntos en el área pertenecientes a otros estudios [Ref. 17] (Fig.2.2.4-5). Para compatibilizar las bases de elevación de estas distintas fuentes, se utilizó como base el modelo de elevación digital ASTER GDEM.

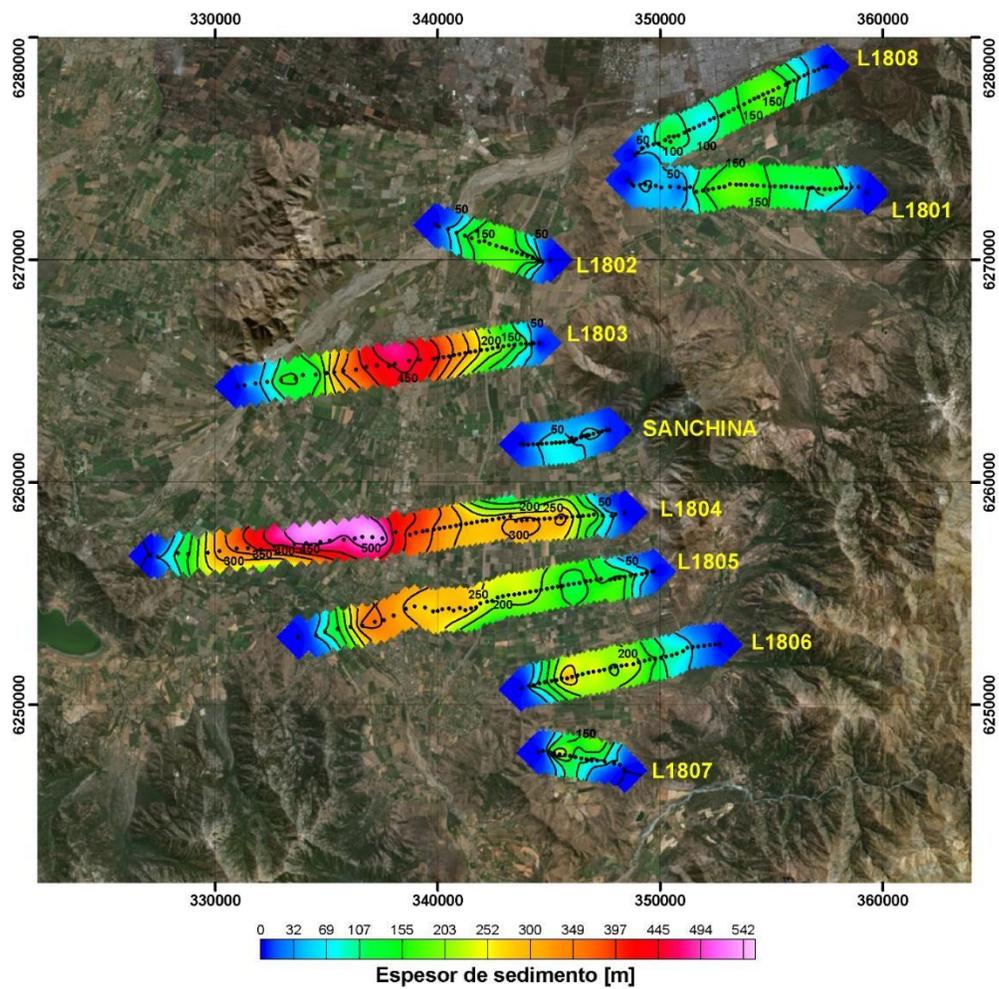


Fig2.2.4-4. Espesor sedimentario modelado.

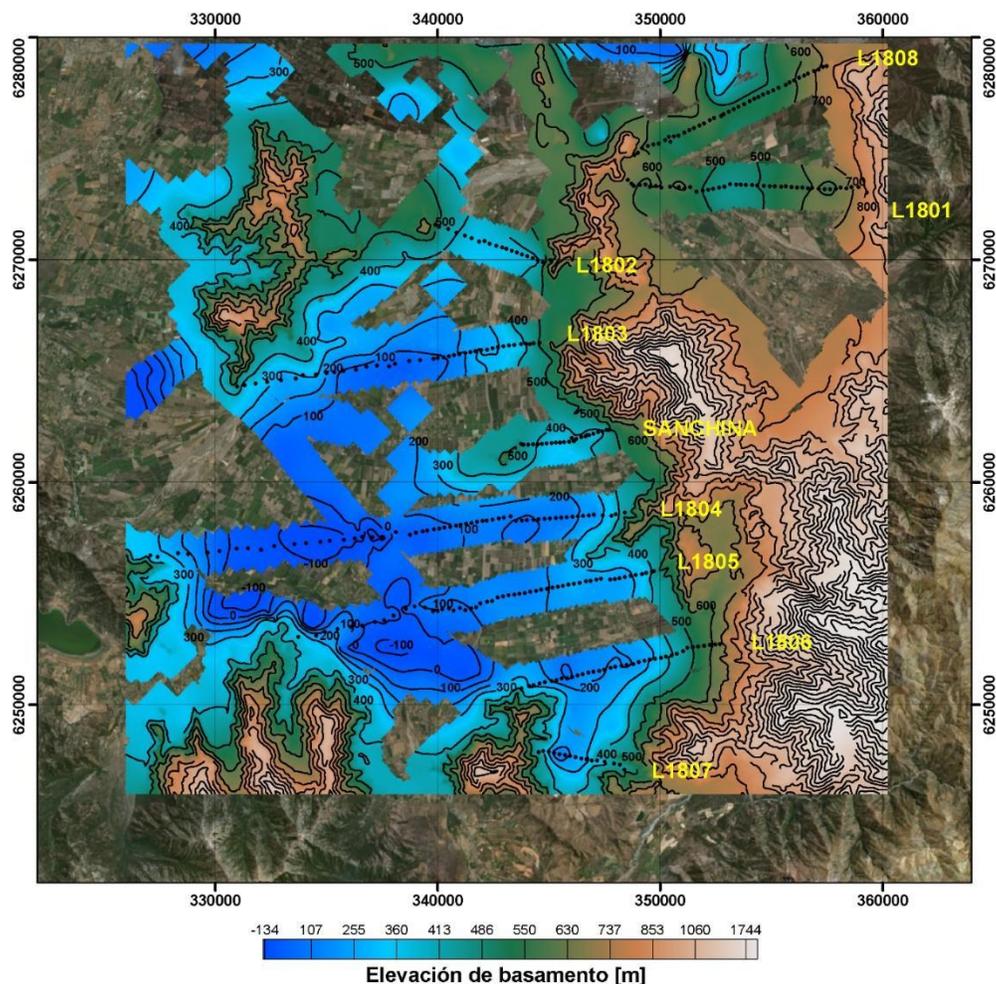


Fig.2.2.4-5. Elevación de basamento en el área, referenciada a la elevación del modelo de elevación digital DEM, combinando los valores de [Ref. 7] y los obtenidos en este proyecto.

- **Como resultado general**, se define un depocentro de eje central nor-noreste y un espesor sedimentario superior a 500 [m] en el sector de Buin-Paine, mientras que en Pirque se reconocen 2 depocentros con espesores máximos en torno a los 150 [m]. Se observa además cambios abruptos en la elevación de basamento en el sector oriente de las comunas de Buin y Paine, que podrían ser evidencia de la presencia de la traza de la Falla Portezuelo de Chada.
- **Mediante la comparación de resultados** se observa que la resolución ganada permite observar en mayor detalle la geometría del contacto relleno/basamento, indispensable para identificar los rasgos que podrían asociarse a la presencia de fallas corticales, en particular de la Falla San Ramón, alguna de sus ramificaciones u otras fallas en el área.

## IV. Línea Alerta Temprana

**Investigador responsable: Jaime Campos M.**

**Investigadores del equipo: R. Scheihing; R. Sánchez; S. Riquelme; F. Uribe; J. Campos**

### **Plataforma para Evaluación Temprana del Área impacto e intensidad de Terremotos**

El objetivo de la línea es desarrollar capacidades tecnológicas para una evaluación temprana del impacto de un terremoto. La herramienta hace uso de un catastro geoespacial que permite capturar, gestionar, analizar y publicar datos e información clave para el manejo de contingencias asociadas a terremotos y tsunamis. Basados en datos e información científica-técnica experta preliminar suministrada por el CSN en tiempo real, se ejecutan procesos de análisis, evaluación y representación de rápida de escenarios para contar con elementos cualitativos y cuantitativos del impacto del terremoto y dimensionar territorialmente la eventual población afectada así como infraestructura crítica expuesta en la zona epicentral. La herramienta permite tener un primer diagnóstico que apoye y complemente los actuales dispositivos existentes para el manejo de contingencias asociadas a terremotos. Un objetivo central es estimar el potencial daño (costos) y los efectos del terremoto y posible tsunami sobre la población expuesta. En una primera etapa del desarrollo del prototipo, se estiman los efectos geofísicos del terremoto, como la deformación instantánea de la superficie terrestre y cuantificar los movimientos fuertes (aceleración del suelo) en la zona epicentral y distancia regional. Se ha observado una carencia de este tipo de instrumentos para identificar rápidamente el tamaño del área de impacto y los efectos directos e indirectos del terremoto. La herramienta se basa en una plataforma informática que requiere un sistema de comunicación e internet robusto a disposición de responsables de instituciones a cargo de la gestión de la emergencia y de la continuidad operacional del país. La información y datos son representados de manera gráfica junto a mapas y recuadros informativos dinámicos (en tiempo real), proponiendo escenarios verosímiles sobre lo que puede estar sucediendo paso a paso y las posibles consecuencias materiales de la contingencia. La información tecnológica experta es proporcionada por un análisis y procesamiento automático de las señales sísmicas, con software y algoritmos validados por la comunidad científica, algunos desarrollados por el equipo del PRS, para generar información adicional a la que produce el CSN y que envía a la ONEMI y SHOA cada vez que ocurre un evento sísmico que causa alarma pública (localización del epicentro, profundidad focal y magnitud Richter).

En esta fase piloto se ha trabajado con datos y catastro de las Redes de salud del MinSal (hospitales, CESFAM, etc), escuelas, bomberos, puentes, rutas, etc. y en una segunda fase se

incorporarán zonas productivas, puertos, número de posibles afectados, distribución en función de edad, sexo, condición social, etc.

### **Equipo de expertos:**

Para la investigación avanzada en los aspectos de ciencias de la computación (algoritmos) y de acceso y manejo tecnológico en DataMining, BigData, Internet, se contó con la participación de un grupo de estudiantes de último año de la carrera de Ingeniería del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, como parte de la evaluación del curso “Proyecto de Software”, quienes desarrollaron el kernel de los algoritmos y la programación de los procesos de flujos de datos e información de manera robusta. Esta etapa estuvo a cargo del grupo de investigadores del PRS, se desarrolló el concepto y se realizaron pruebas de un prototipo

Esta nueva línea de investigación utiliza las nuevas tecnologías de la Información (IoT, IA, BigData y DataMining).

Los tópicos abordados y el trabajo realizado durante el periodo reportado consisten principalmente en:

- Se incorporaron los procesos automáticos de inversión de señales sísmicas en tiempo real (formas de onda) correspondientes a los registros obtenidos por comunicación robusta de estaciones sismológicas a distancia regional (< 1000 km). Estos resultados corresponden fundamentalmente a la solución del tensor de Momento Sísmico (parámetros geométricos y cinemáticos que describen el proceso de ruptura sísmica de la fuente del terremoto), el momento del evento (área de ruptura), duración de la función temporal de la fuente para la liberación de energía sísmica (ondas dinámicas), etc.

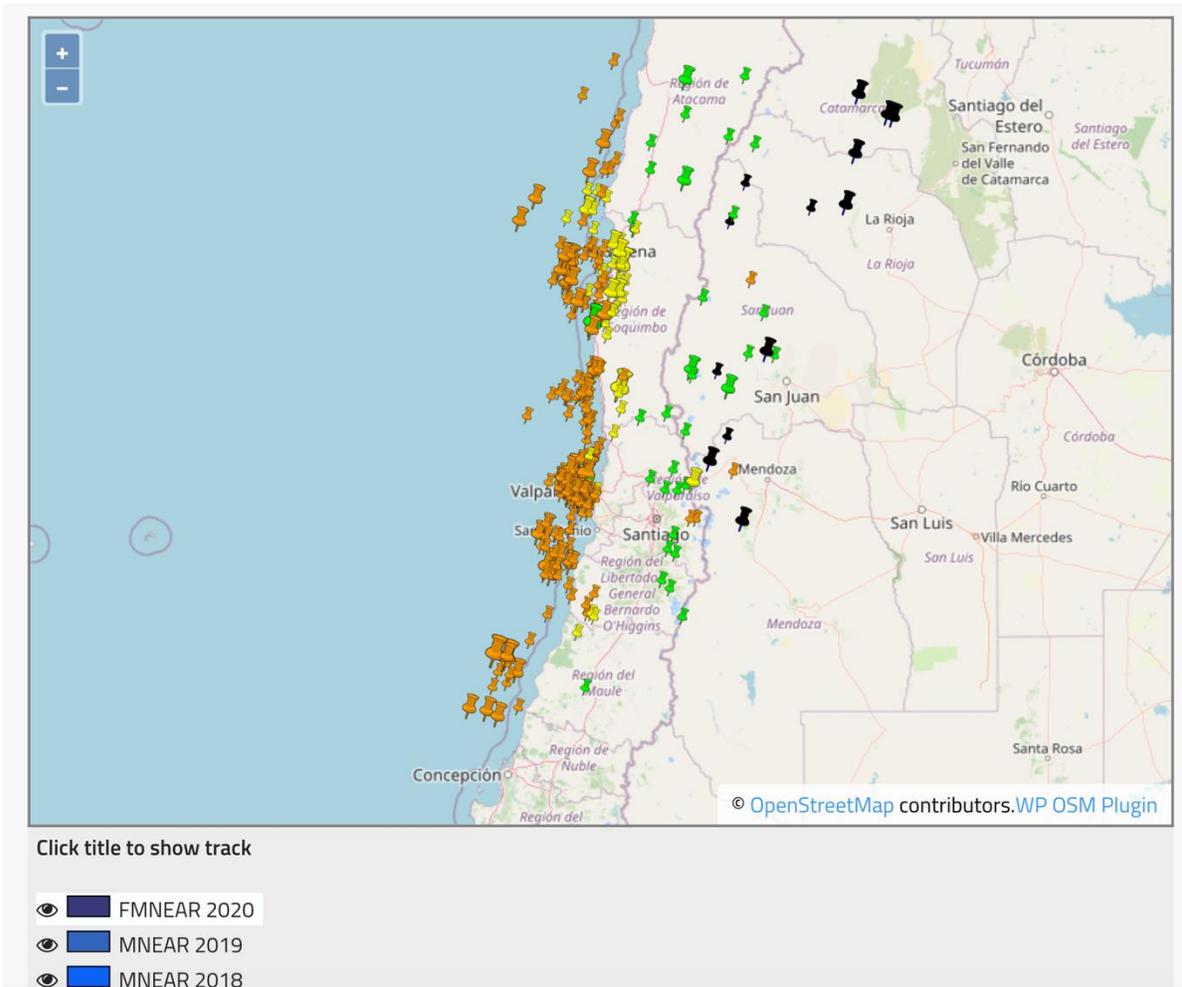
Los programas utilizados para esta etapa son W-Phase y FMNEAR y se han implementado de manera que corren en automático en estrecha colaboración y coordinación con el CSN.

- Diseño de proceso de captura de datos asociados a eventos sísmicos, utilizando un dispositivo android (celular, tablet o similar) por parte de los usuarios (comunidad en general y/o personal especializado de la ONEMI) para obtener Intensidades de Mercalli de manera automática mediante un algoritmo (elaborado a través de una discusión de carácter heurística con alumnos de magister en computación) con aplicación a diversas situaciones geográficas que representen las respectivas complejidades del territorio nacional.
- Con los datos ingresados, se calcula y despliega localmente en el dispositivo android, la intensidad Mercalli, en un mapa con la geolocalización correspondiente del usuario.

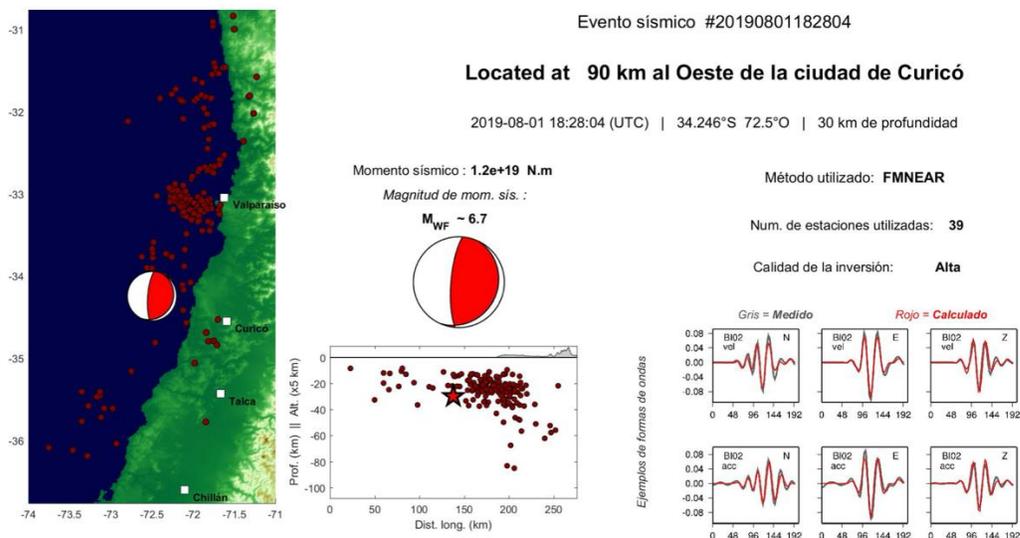
- Los datos capturados son enviados a un servidor para que sean almacenados y posteriormente procesados. Teniendo en cuenta que en tiempo de contingencia existen recurrentes problemas de las redes de comunicación (interrupción o saturación de éstas), la solución debe ser robusta para que garantice un funcionamiento en momentos críticos.
- Se generan visualizaciones a partir de los datos obtenidos de todos los usuarios, mediante un panel gráfico de forma que puedan ser de utilidad referencial para tomadores de decisiones. Los mapas obtenidos deben poder ser fácil de entender y reflejar anomalías en las curvas isosistas de intensidades que permitan detectar zonas con mayores daños post-sísmico.

Dentro de las actividades realizadas, cabe mencionar:

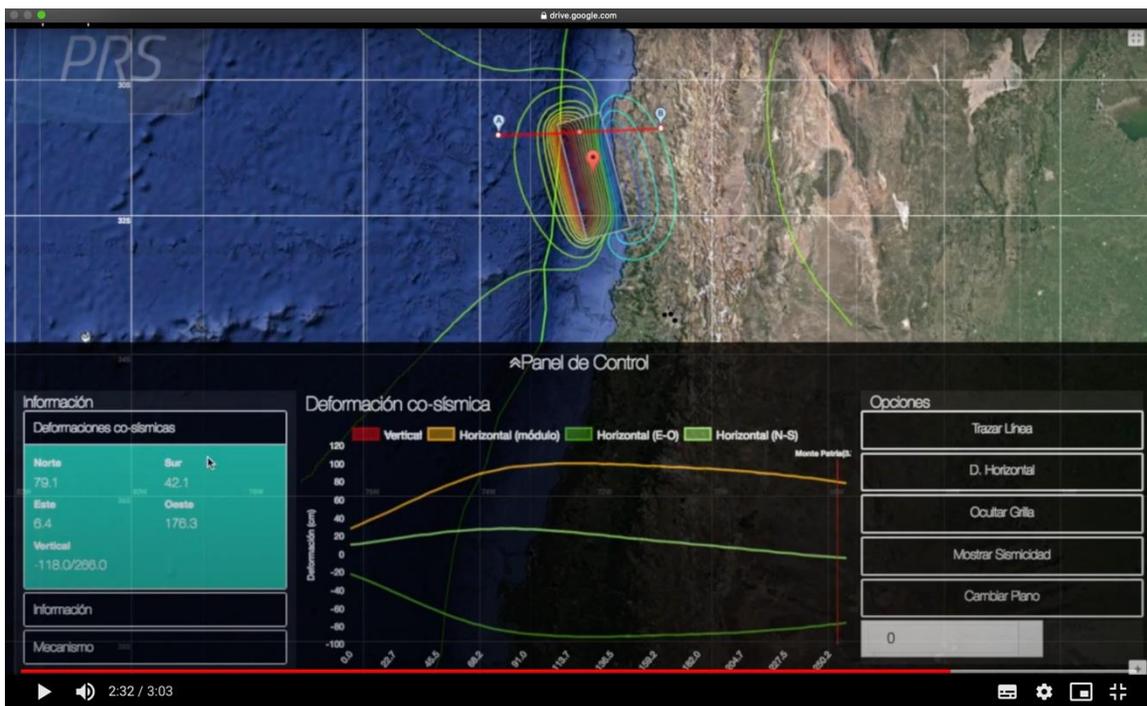
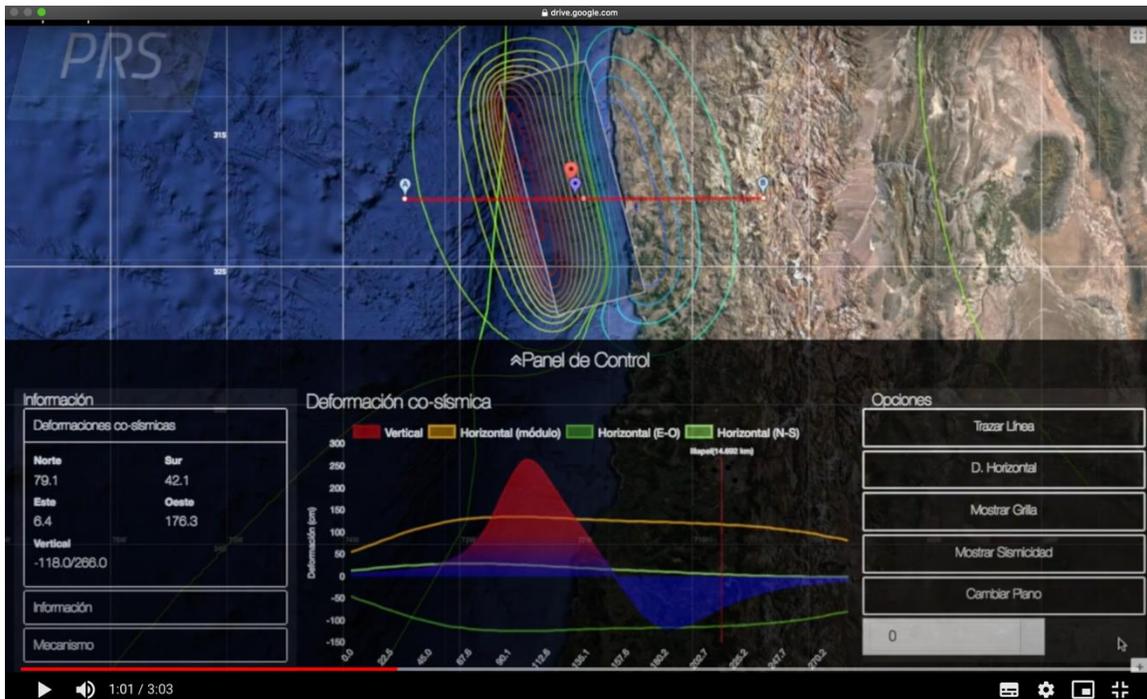
- Coordinación entre el grupo de desarrollo del proyecto y los expertos sismólogos del Programa de Riesgo Sísmico.
- Coordinación y discusión en torno al diseño de la solución en los aspectos de software y hardware.
- Reuniones semanales con el grupo de desarrollo, en las cuales se discuten los avances y problemas detectados, y se buscan soluciones a estos últimos.
- Reunión mensual con el grupo de desarrollo y el profesor del curso (Cecilia Bastarrica). En esta reunión se discuten aspectos relacionados con el desempeño del grupo de desarrollo.
- Instalación y configuración de las herramientas de software necesarias en el servidor que almacena los datos capturados.



CATALOGO CMT AUTOMÁTICO – FMNEAR: Eventos sísmicos ocurridos en zona central de Chile 2018-2019 y primeros meses del 2020 para los cuales se les realizó procesamiento automático (inversión de formas de onda) para obtener parámetros de la ruptura sísmica (CMT, tensor de Momento Sísmico) y propiedades físicas de la fuente (duración, profundidad centroide, área de ruptura sísmica, etc)..



Solución CMT del mecanismo focal del terremoto (tipo de terremoto indicado en la proyección estereográfica en rojo) para detectar aquellos que pueden producir un tsunami. Proceso automático desarrollado por el equipo del PRS y consiste en un proceso de inversión de las señales sísmicas. Recuadro derecho inferior presenta la calidad del modelamiento automático, el sismograma observado (color negro) calza perfectamente con el sismograma teórico, solución del modelo.



Plataforma/Interfaz dinámica en tiempo real para analizar los efectos del terremoto o tsunami e identificar las zonas afectadas.

## V. Línea Sismología Avanzada para la Estimación de Riesgo Sísmico

**Investigadores guías:** Patricio Toledo, Jaime Campos

**Estudiante tesista:** Cristián Siegel Ignatiew

### Desarrollo de un Autómata Celular para estudio de la Autoorganización de la Sismicidad y su aplicación en estimación de Riesgo Sísmico

A continuación se presentan los resultados preliminares de esta tesis de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica.

#### 1. Introducción

La capa externa frágil de la litosfera terrestre es llamada Esquizósfera. Se extiende a profundidades de entre 10-20 km en placas continentales y hasta 40-50 km en placas oceánicas y en ellas se genera cerca del 98% de la energía sísmica liberada (Scholz, 1991).

#### 2. Hipótesis

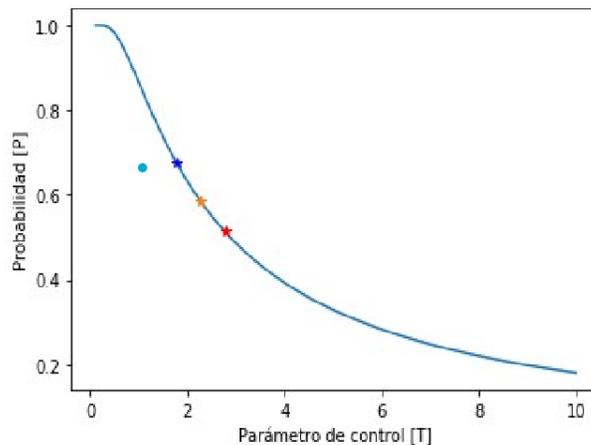
La sismicidad correspondiente a deformación frágil en la esquizósfera es una manifestación de un proceso de disipación de energía en el sistema litosférico, que se encuentra continuamente en un estado crítico. Por lo tanto, comparte propiedades y características propias de sistemas muchas partes que interactúan entre sí y que muestran transiciones de fase. Las partes corresponden a las fuentes de falla que organizan desplazamientos según un principio de minimización de energía y están sometidas a fuerzas externas de origen tectónico.

#### 3. Modelo

El modelo utilizado en este trabajo está definido por un red bidimensional de sitios en los cuales se sitúa una fuente de falla sismogénica. Cada sitio está caracterizado por una variable que alterna entre 2 posibles estados, y que corresponden a los 2 sentidos de cizallamiento posibles en un plano: una falla dextral y una sinistral. Arbitrariamente se asigna un valor +1 para la primera y -1 para la segunda. La evolución de este sistema está dada por la tendencia de las fallas a alinearse unas con otras, de manera de minimizar la energía total de cualquier par de ellas, según se señaló

en la hipótesis. Esta condición corresponde a la regla de interacción del autómata celular estudiado. La simulación se hace a través de la implementación de un algoritmo de tipo clúster (Wolff, 1989).

Éste fue concebido originalmente para la simulación del Modelo de Ising ferromagnético, que corresponde al modelo más simple de una transición de fase. En nuestro modelo cada paso del algoritmo consiste en elegir un sitio al azar y construir un clúster al agrupar sitios vecinos más próximos y que posean el mismo sentido de fallamiento, con una probabilidad [P] relacionada directamente con el valor del parámetro de control [T] de sistema (Figura 1).

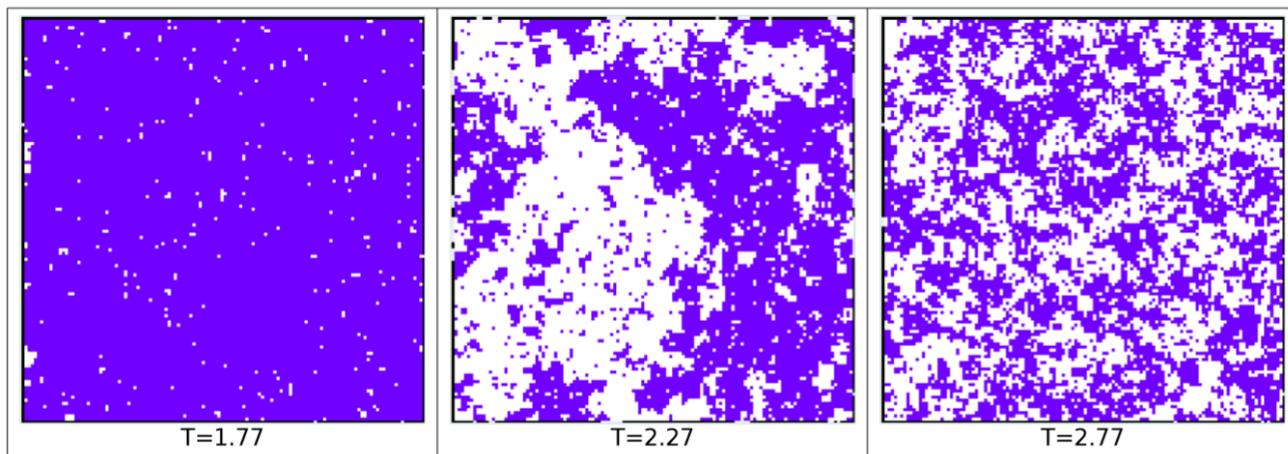


**Figura 1:** Probabilidad P de añadir sitio al clúster según valores del parámetro de control T. El valor  $T=2.27$  (amarillo) corresponde al valor crítico en el cual un ferromagneto posee un cambio de fase, llamado temperatura de Curie. Los otros valores corresponden a  $T=1.77$  (azul) y  $T=2.77$  (rojo).

Esto se hace iterativamente para cada sitio añadido al clúster. Luego de explorar las posibilidades de agrupación del clúster que se construyó, se desarrolla un evento, definido como la alineación de sitios de fuente de falla y la acción correspondiente es la inversión del valor de sentido de cizallamiento de los elementos pertenecientes al clúster.

El proceso simula como elementos del sistema coalescen antes de fallar. 4. Resultados La figura 2 muestra una de las configuraciones obtenidas al simular el sistema cuando se encuentra en 3 distintos valores de su parámetro de control. A valores menores al valor crítico observado en la transición de fase de un ferromagneto, se puede observar que el sistema posee una alineación homogénea de los sitios en un sentido predominante. En su valor crítico aún hay alineación predominante, pero esta no se observa homogénea, sino que existen múltiples agrupaciones de sitios alineados y estos tienen tamaños desde sitios individuales hasta clústers que percolan toda

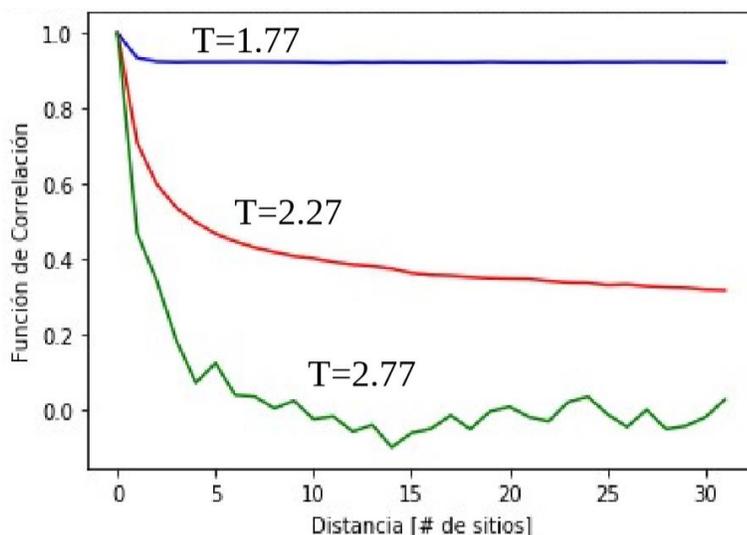
la red. Para valores mayores, en tanto, se observa que los sitios se disponen desalineados y distribuidos de manera aleatoria en sus valores posibles a lo largo de la red bidimensional.



**Figura 2:** Configuraciones del modelo obtenido para 3 valores del parámetro de control  $T$ . Al centro el valor crítico, a la izquierda un valor menor y a la derecha un valor mayor en las cantidades allí expresadas.

Estas observaciones del sistema en torno a su punto crítico corresponden con la característica multiescala de la distribución espacial de la sismicidad, expresada en la existencia de fenómenos de fallamiento que abarcan desde la escala nanométrica en estructuras cristalinas, hasta la escala kilométrica de procesos de ruptura en zonas de subducción. La figura 3 muestra la función de correlación entre sitios de la red bidimensional en los 3 valores de parámetro de control mencionados anteriormente. Con un valor de  $T$  menor a su valor crítico el sistema está altamente correlacionado y esta función es constante. Con un valor de  $T$  mayor, en cambio, esta función de correlación decae rápidamente por lo que sitios alejados entre sí no tienen mayor influencia unos con otros. En el valor crítico del parámetro de control, sin embargo, esta función decae de forma polinomial, lo cual indica que sitios lejanos tienen influencia entre ellos.

#### Nivel de correlación entre fuentes de falla según la distancia en sitios que las separa

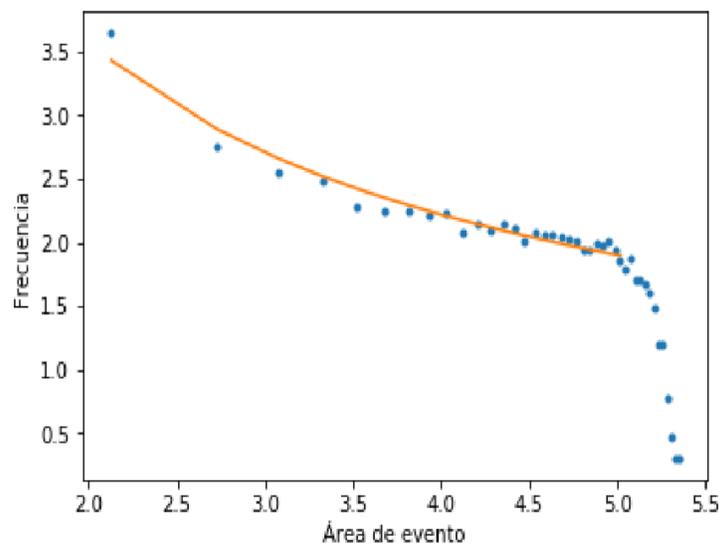


**Figura 3:** Valores de la función de correlación en función entre fuentes de falla según distancia en número de sitios a la que se encuentran, para 3 valores distintos del parámetro T de control, señalados en la figura.

Esta observación está en acuerdo con la idea de que en la litosfera terrestre fallas distantes entre sí están correlacionadas. Se tiene evidencia de esto en Chile central según lo publicado en Lemoine et al (2001).

La figura 3 muestra la distribución de la frecuencia de los eventos según su tamaño. Se observa que esta decae como ley de potencia para magnitudes pequeñas y medianas. Para magnitudes grandes los eventos tienen dimensiones del mismo orden que el arreglo utilizado y dado este efecto de finitud no cumplen con la misma condición.

En el análisis de catálogos sísmicos se encuentra esta misma distribución, llamada Ley de GutenbergRichter según la relación propuesta en Aki (1981), que expresa la tasa de sismicidad que tiene una cierta región espacial en un intervalo de tiempo determinado. Ha sido utilizada para la estimación de riesgo sísmico a partir de los parámetros que posee.



**Figura 4:** Frecuencia acumulada de eventos según su área, en escala logarítmica. En amarillo se muestra el ajuste en forma de ley de potencia cuya relación se muestra en la figura.

## 5. Extensión

Dados los resultados preliminares obtenidos, el modelo de autómatas celulares simulado representa aspectos básicos de la emergencia de la autoorganización de la sismicidad en la esquizósfera. Se buscará encontrar más asociaciones mediante futuras complejizaciones del modelo, a través de la implementación de fuerzas externas y su parametrización y escalamiento con parches de aspereza de modelos de terremotos de subducción ocurridos en Chile en los últimos años.

De esta forma, se espera encontrar relaciones entre los parámetros del modelo y los parámetros obtenidos en los catálogos sísmicos estudiados. Se tiene como objetivo futuro generar a partir de estas comparaciones un análisis de riesgo sísmico en función de mapas probabilísticos de activación para las zonas sismogénicas de la subducción chilena estudiada.

## VI. Línea de Física de Sistemas Complejos Aplicada a la Estimación del Peligro Sísmico

**Investigadores del equipo: Cristián Siegel, Benoit Derode, Jaime Campos y Patricio Toledo**

### Objetivos

#### **Objetivo general de la línea de investigación:**

Aplicar la perspectiva de la Física de Sistemas Complejos a la estimación del peligro sísmico en el territorio chileno

#### **Objetivos específicos 2018-2019:**

- Caracterizar la distribución espacio-temporal de la sismicidad en el territorio nacional mediante el análisis estadístico de catálogos sísmicos instrumentales.
- Desarrollar un modelo conceptual del sistema en estudio para explicar la complejidad observada.
- Calcular el peligro sísmico en el Norte Grande de Chile.

### Tareas Realizadas

- Se implementó un set de rutinas computacionales para el análisis de catálogos sísmicos (Steqca1.0, link github). Está basado exclusivamente en recursos open-source (Python, Pandas, Geopandas, Shapely, Powerlaw). Permite realizar las siguientes funciones: visualización de distribución espacial de epicentros y de hipocentros, homogenización de magnitudes sísmicas, separación de catálogos por ambiente tectónico, cálculo de magnitud de completitud, cálculo de coeficiente b-value, cálculo de dimensión fractal, visualización de la ley de Gutenberg-Richter (Gutenberg & Richter, 1944), visualización de distribución temporal de eventos sísmicos, cálculo de coeficientes de ajuste con leyes de potencia y otras distribuciones, almacenamiento eficiente de datos según jerarquía espacial con quadtrees (ver figura 1).
- Se analizó la distribución espacio-temporal-magnitud de los eventos sísmicos en el norte de Chile, utilizando el paquete mencionado en el punto anterior. Para esto se utilizaron 3

distintos catálogos sísmicos: Comcat (1974-2017), IPOC (2007-2015; Sippl et al, 2018) y FMNEAR (2015-2018; Derode et al, 2017). Como resultado a destacar, se tiene que se puso en evidencia una relación adimensional de escala unificada para la sismicidad (Christensen et al, 2002) en catálogos chilenos de ambiente de subducción (ver figura 2, presentación en STATSEI2019). Además, se encontró una diferencia funcional en la distribución normalizada de los tiempos intereventos para los ambientes de subducción superficial y para los sismos de profundidad intermedia (ver figura 3, manuscrito en preparación), que sería una evidencia de la largamente anticipada diferencia entre los procesos físicos de ambos ambientes.

- Se desarrolló un modelo minimal (reporte anterior) que representa el proceso de generación de sismicidad en la litósfera terrestre, mediante la simulación de un autómata celular. Esto se hizo con la implementación de un algoritmo de Montecarlo tipo Clúster (Wolff, 1989). La litósfera es representada con un modelo clásico de asperezas y barreras. De las simulaciones se obtienen leyes de potencia para la distribución de energía-tamaño de los eventos sísmicos, en acuerdo con la ley de Gutenberg-Richter. La distribución normalizada de los tiempos de espera resulta acorde a una relación unificada para la sismicidad, en la cual emerge la dimensión fractal de la distribución de los epicentros como un índice crítico (ver figura 4, poster AGU FALL MEETING 2018). Otros mapeos entre este modelo crítico y la distribución de los mecanismos focales han sido estudiado como posibles variables precursoras de incrementos de sismicidad (ver figura 5, presentación en XVI Congreso Geológico Chileno)
- Se implementó un método de estimación de peligro sísmico basado en la evidencia de la distribución fractal de los epicentros (Scaling Coefficients Estimation, Kobbosokov & Mazhekov 1988, Nekrasova et al 2015). Este método ha probado ser superior al cuestionado método tradicional de estimación probabilística (PSHA, Probabilistic Seismic Hazard Assesment). Se aplicó para el norte grande de Chile, utilizando el catálogo del USGS para los años 1974-2017. Este método no necesita una zonificación previa y permite cuantificar la peligrosidad sísmica en la escala espacial de interés (ver figura 6, manuscrito en preparación).

## Estado de Avance

- En un 100% se ha logrado caracterizar la sismicidad de la región de estudio para este periodo, correspondiente al norte grande de Chile.
- La modelización conceptual logra reproducir características básicas de la sismicidad real, pero aún falta complejizar el modelo de manera de poder utilizar una representación con

los mecanismos focales que se obtienen en tiempo real con FMNEAR y que permita utilizar la información contenida en esas variables.

- Se han obtenido los primeros mapas de peligro sísmico basados en la estructura fractal de los epicentros. Los mapas obtenidos aún no han sido revisado cautelosamente, y hasta ahora solo pueden ser utilizados con fines académicos.

## Observaciones y futuros avances

- El equipo trabajará para publicar en 2020 los resultados obtenidos en revistas indexadas.
- La participación en congresos internacionales y nacionales ha permitido establecer redes de contacto y de colaboración.
- Se espera, además, difundir la línea de investigación, tanto en el entorno académico como en la sociedad en general.
- A partir del año 2020 se aplicarán los aprendizajes obtenidos en los años 2018-2019 y se seguirá profundizando en el modelamiento conceptual, para desarrollar herramientas que permitan estimar la peligrosidad sísmica en zonas de baja sismicidad y escasez de datos, como lo es la región de Aysén.
- Parte del trabajo de esta línea de investigación se enmarcó en la Tesis de Magíster en Ciencias, mención Geofísica del investigador Cristián Siegel

## VII. Línea Riesgo Sísmico en Patagonia

### Transferencia tecnológica, capacidades y competencias en sismología y monitoreo de sismicidad regional en la Universidad de Aysén

**Investigadores del equipo:** Sophie Peyrat, Francisco Uribe, Benoit Derode, Rodrigo Sanchez, Jaime Campos, Juliette Marin, Patricio Toledo y Cristian Siegel.

#### Objetivo

- Capacitación en aspectos científicos y tecnológicos de la sismología moderna y en la instalación y puesta en marcha de un observatorio local en la Universidad de Aysén para el monitoreo de la actividad sísmica regional.
- Capacitación a académicos y personal experto de apoyo de la Universidad de Aysén para el proceso y análisis de señales sísmicas producidas por eventos en la región.
- Inducción en el uso del software SeisComp3 para la localización de sismos locales en la región de Aysén por medio de estaciones sismológicas instaladas con apoyo del PRS y disponibles por la Universidad de Chile y el SERNAGEOMIN en la región.
- Instalación y configuración del software SeisComp3 para el monitoreo de eventos locales por medio de estaciones sismológicas en la Universidad de Aysén, campus Río Simpson.

#### Antecedentes

La capacitación en aspectos científicos y tecnológicos de la sismología moderna a investigadores y personal técnico experto de la Universidad de Aysén, Coyhaique, se enmarca en el proyecto G-Data del PRS y es parte de los compromisos que se discutieron y consensuaron durante el 2018 en diversas instancias académicas y que se plasmaron finalmente en el encuentro académico multidisciplinario UCh-UAysén, realizado en la sede Coyhaique de UAysén del 24 al 27 de junio 2018.

En este evento participaron más de una docena de académicos e investigadores de ambas universidades y sintetizó el trabajo de reflexión y discusión iniciado en mayo 2018 para identificar y fortalecer líneas de colaboraciones emergentes o ya existentes, entre ellas la sismología y análisis del peligro y riesgo sísmico en la región de la Patagonia a través de G-Data del PRS. Se

enfaticó la necesidad que las líneas de investigación en torno a las geociencias y riesgo sísmico potencien la interdisciplinariedad, cubriendo inquietudes sobre la identificación de las zonas de amenaza sísmica con impacto y de alto interés de la comunidad y particularmente priorizando temas claves para la región.

Estas actividades contaron con el apoyo de autoridades de ambas instituciones y las propuestas fueron reportadas en una minuta que, con fecha 30 de Junio 2018, fue enviada a la Rectora de la UAysén Sra. María Teresa Marchant, a la Vicerrectora de la VAA-UCH Sra. Rosa Devés, y difundida a otras autoridades y académicos de ambas universidades.

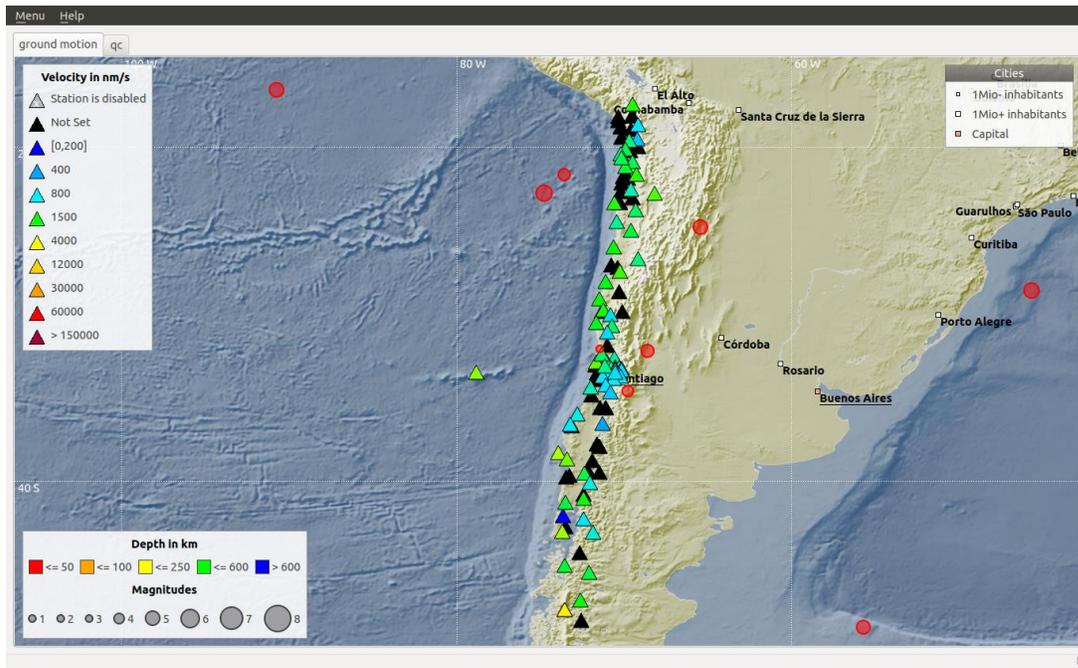
La colaboración con la recientemente creada Universidad de Aysén, como institución académica y de investigación local con sede en Coyhaique, y con los expertos del SERNAGEROMIN también con oficinas en la misma ciudad y que mantiene y opera una red sismológica regional para el monitoreo de la actividad sísmica asociada a volcanes, permite contar con condiciones favorables para la implementación de un programa de Riesgo Sísmico regional en la Patagonia.

El proyecto G-Data del PRS se ajusta perfectamente a este objetivo y permitirá coordinar los esfuerzos de las instituciones involucradas para desarrollar en la región capacidades de análisis de datos sísmicos para caracterizar peligro y riesgo sísmico a partir de datos capturados por la red sismológica local.

## Descripción

El fiordo de Aysén se ubica en las coordenadas 45°22'S 73°05'W, en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. La Universidad de Aysén sede Río Simpson se ubica en la ciudad de Coyhaique, la cual se encuentra a unos 80 kilómetros de distancia del fiordo de Aysén. En el presente proyecto se capacitará al académico de la Universidad de Aysén, Doctor en Física, Felipe Aguilar.

La capacitación comprende las etapas de instalación de SeisComP3, adquisición, procesamiento y análisis de datos sísmicos (metadata). En esta etapa de la inducción al académico de la Universidad de Aysén es imperativo incorporar en el inventario de SeisComP3 las estaciones sismológicas de la Región de Aysén, especialmente las situadas en la ciudad de Coyhaique y en la zona del Fiordo de Aysén.



F

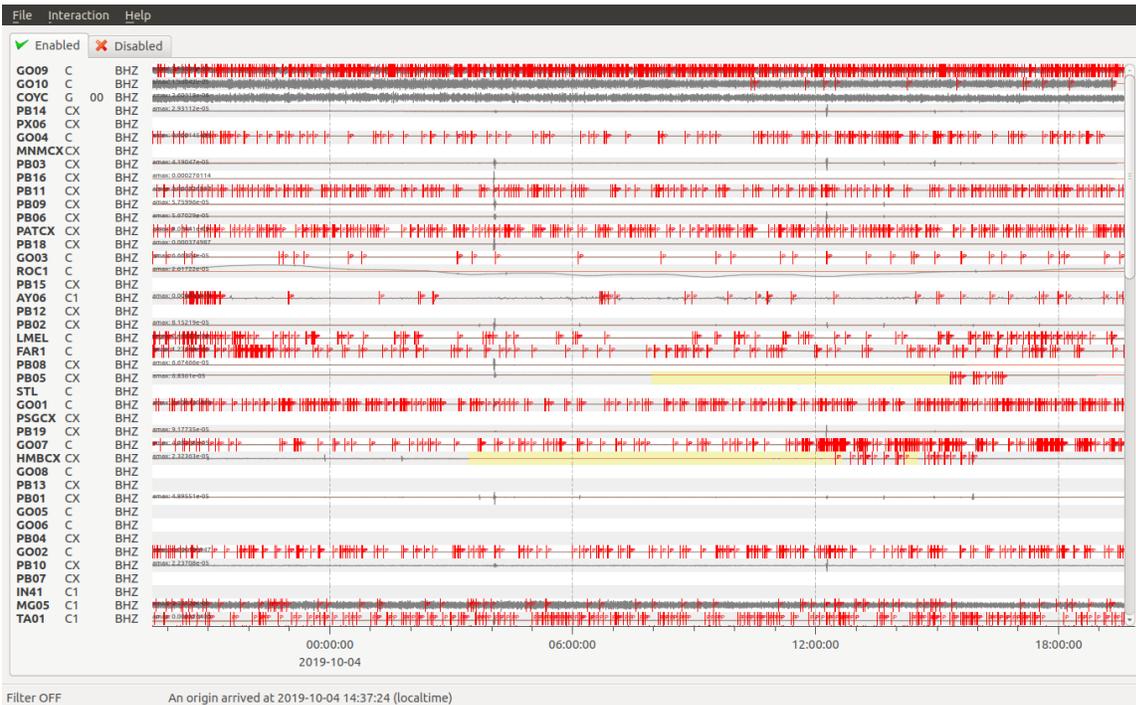
**Figura 1:** Distribución de las redes C, C1 y CX a lo largo de todo Chile instalados en un

computador de la Universidad de Aysén.

En la figura 1 se muestran las estaciones sismológicas correspondientes a la red C, C1, CX y G, que son de propiedad del Centro Sismológico Nacional (CSN), al programa científico *Integrated Plate Boundary Observatory* (IPOC, Alemania- Francia-Chile) y a GEOSCOPE (Red Global de Estaciones Sísmicas de Banda Ancha), respectivamente. Los colores de las estaciones indican la velocidad de la onda de fase que llegan a dichas estaciones, donde el color azul es la que presenta la menor velocidad (0-200 mm/s) y el color fucsia corresponde al valor máximo (> 1.500.000 mm/s), el color negro indica que las estaciones no están establecidas (que no reciben señales o trazas sísmicas) y las de color gris indican que están deshabilitadas. Los puntos rojos corresponden a epicentros determinados automáticamente por SeisComp3.

SeisComp3 tiene tres etapas de funcionamiento: adquisición, procesamiento y análisis de datos.

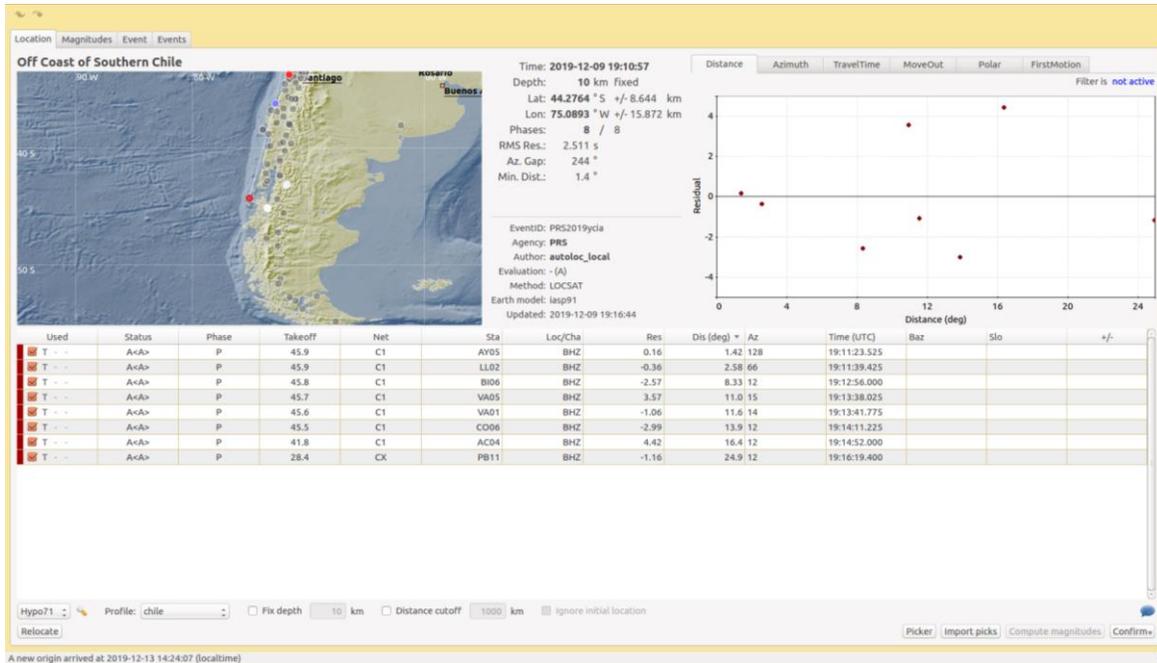
El proceso de adquisición de datos en SeisComp3 es por medio de varias fuentes de información, dentro de los cuales cabe mencionar a *Seedlink* (adquisición y distribución de datos en tiempo real mediante protocolo TCP/IP), *arclink* (recuperación y distribución de formas de onda guardadas) o *FDSNWS* (Servidor moderno *FDNS* para formas de onda, eventos y parámetros de las estaciones sísmicas cargadas al inventario de Seiscomp).



**Figura 2:** Trazas sísmicas en tiempo real visualizadas por el módulo GUI llamado scrttv de SeisComP3.

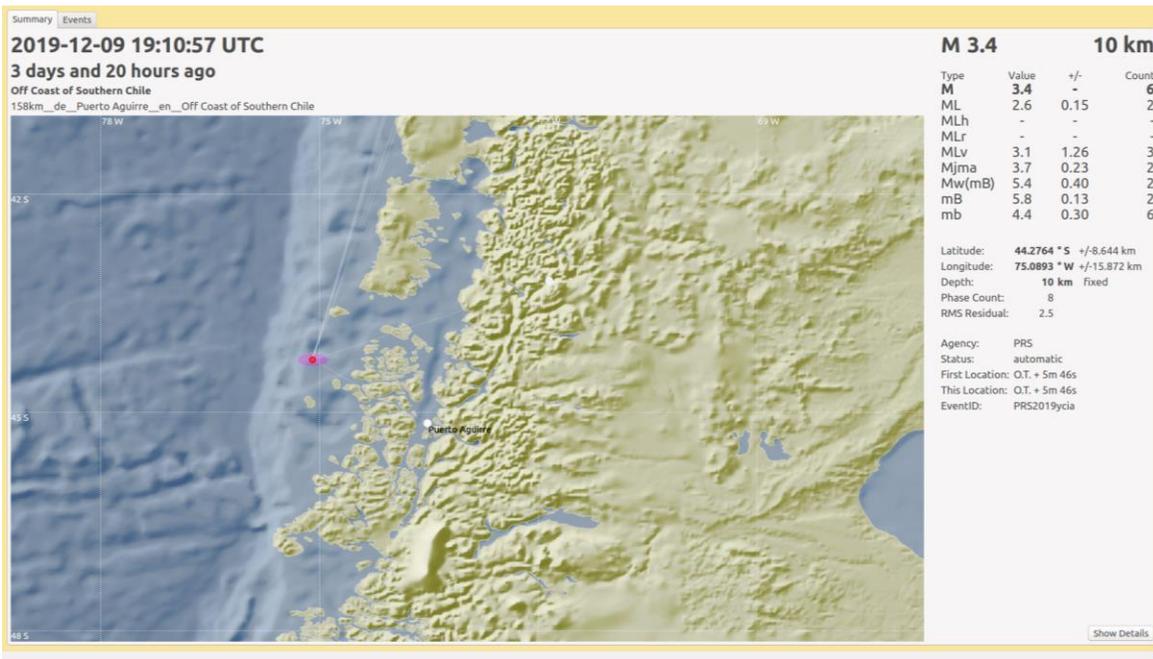
En la figura 2 se observa el módulo GUI (*Graphical user interfaces*) llamado scrttv (*Real-Time Trace View*), que permite controlar y visualizar las trazas sísmicas que son recibidas por medio de los datos de las estaciones sísmicas en tiempo real (*SeedLink*) y también por medio de un análisis off-line (sin conexión a internet). En scrttv es posible generar un evento (terremoto) manualmente o de forma automática, donde los eventos gatillados son enviados a un módulo central de Seiscomp llamado scmaster y a la base de datos de SeisComP3 (que puede ser MySQL, PostgreSQL o MariaDB).

En la base de datos se almacenan los eventos por un tiempo definido por el usuario (mínimo de un día), en dicha base de datos se guardan los parámetros más significativos de tales eventos, por ejemplo: localización, tiempo, magnitud y el código ID del evento, etc. El módulo scmaster es el encargado en entregar la información a los distintos módulos GUIs de SeisComP3, tales como: scolv (*Origin Locator View*), scmv (*Map View*), scesv (*Event Summary View*), scqcv (*Waveform Quality View*) o scmm (*Message Monitor*), u otros módulos como por ejemplo: scautopick (encargado del picado de ondas), scqc (relacionado al control de calidad de las estaciones incorporadas al inventario de SeisComP3), scautoloc (cuya función es la de localizar los eventos gatillados manualmente o automáticamente), scamp (encargado de la amplitud de las fases picadas por *scautopick*), scmag (relacionado a la magnitud sísmica con la cual será calculada el evento), etc.



**Figura 3:** módulo GUI scolv de SeisComP3 para un evento cercano a Santiago.

El análisis de datos (formas de onda) es llevada a cabo por el módulo GUI scolv (mostrada en la figura 3). En scolv es posible realizar muchas tareas, tales como: picado de fases (onda P y S), determinación manual de mecanismos focales, elección de las polaridades de las ondas picadas con sus respectivas incertezas, selección del modelo de velocidades (IASP91 o Hypo 71, por ejemplo), localización o relocalización del hipocentro, planos de falla, modelo de atenuación y determinación de magnitudes sísmicas. Además scolv provee una lista para la clasificación de eventos y creación de botones configurables (por ejemplo: boletines).



**Figura 4:** módulo GUI llamado scesv de SeisComP3.

El módulo GUI denominado scesv permite resumir los parámetros más importantes de los eventos alojados o guardados en la base de datos de SeisComP3. Las magnitudes que se muestran en la parte derecha superior de la figura 4 están establecidas por el usuario, donde *Count* corresponde a la cantidad de fases seleccionadas en el cálculo de la magnitud del evento (notar la diferencia entre *count* relacionada a la magnitud y relacionada al hipocentro).

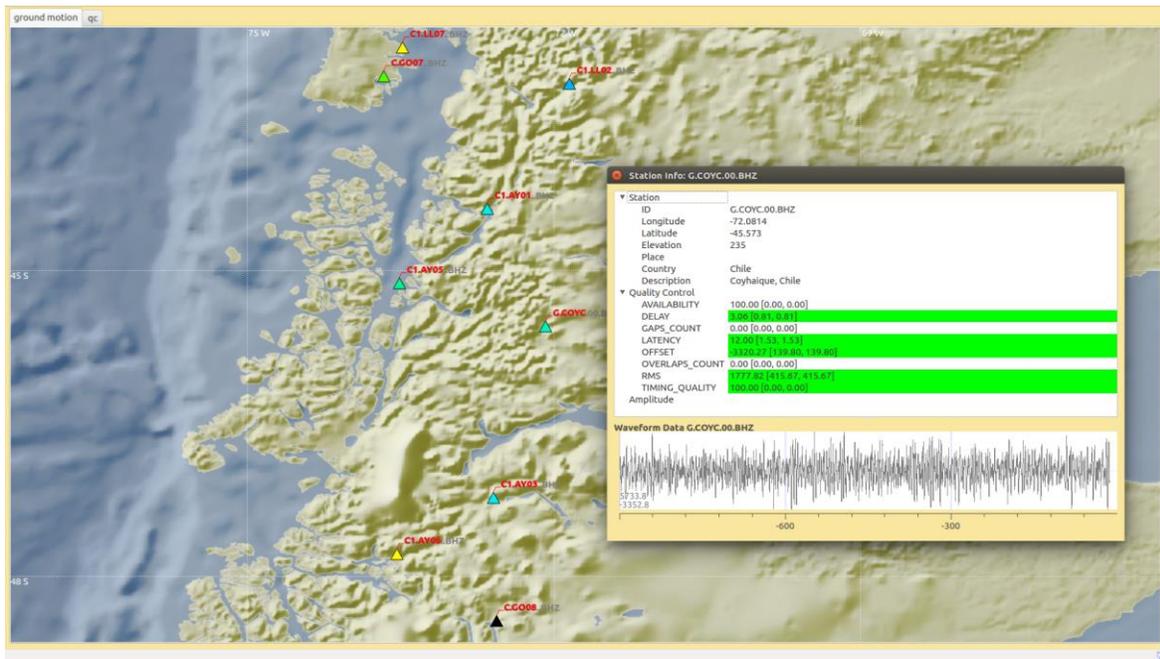
En este módulo GUI se visualiza el último evento guardado en la base de datos de SeisComP3 o también es posible visualizar un evento seleccionado por el usuario (alojado en la base de datos de SeisComP3).

OT[UTC]	M	TP	Phases	Lat	Lon	Depth	Stat	Agency	Region	ID
2019-12-10 05:21:18	4.5	M	7	20.4568 S	77.2713 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ydc
2019-12-10 05:19:41	4.7	M	7	32.4525 S	85.6670 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ydc
2019-12-10 04:33:16	3.0	M	13	28.4766 S	70.6391 W	63 km	A	PRS	Central Chile	PRS2019yda
2019-12-10 04:25:03	5.4	M	8	43.2693 S	39.7321 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ydh
2019-12-10 04:11:49	2.5	M	9	33.8795 S	72.3874 W	10 km	A	PRS	Off Coast of Central Chile	PRS2019ydz
2019-12-10 03:52:16	4.2	M	8	38.2487 S	91.1368 W	10 km	A	PRS	West Chile Rise	PRS2019ydz
2019-12-10 02:43:07	5.4	M	14	7.2941 S	62.3121 W	10 km	A	PRS	Western Brazil	PRS2019yca
2019-12-10 01:56:28	3.2	M	8	18.7165 S	72.3790 W	10 km	A	PRS	Off Coast of Northern Chile	PRS2019yck
2019-12-10 01:54:24	4.4	M	6	33.8819 S	91.9852 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019yck
2019-12-10 01:35:07	4.9	M	11	25.9861 S	84.2709 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ycu
2019-12-10 00:25:58	4.4	M	6	18.7605 S	64.7736 W	10 km	A	PRS	Central Bolivia	PRS2019yck
2019-12-09 23:48:17	5.1	M	10	30.4512 S	85.2861 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019yrd
2019-12-09 23:44:59	4.7	M	12	22.2942 S	68.8334 W	218 km	A	PRS	Northern Chile	PRS2019yrb
2019-12-09 23:00:17	3.8	M	6	34.0298 S	81.3922 W	10 km	A	PRS	Juan Fernandez Islands Region	PRS2019ycc
2019-12-09 22:56:23	5.0	M	8	57.4127 S	46.2848 W	10 km	A	PRS	Scotia Sea	PRS2019yck
2019-12-09 22:35:28	6.0	M	8	47.6553 N	46.1857 W	10 km	A	PRS	North Atlantic Ocean	PRS2019ycc
2019-12-09 21:54:03	5.2	M	11	28.5121 S	88.1274 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 21:17:45	5.8	M	7	52.8299 S	121.3876 W	10 km	A	PRS	Southern East Pacific Rise	PRS2019ycl
2019-12-09 20:53:57	2.0	M	14	33.1735 S	70.2781 W	10 km	A	PRS	Chile-Argentina Border Region	PRS2019ycl
2019-12-09 20:28:35	5.9	M	10	67.2771 N	100.4709 W	10 km	A	PRS	Galapagos Triple Junction Region	PRS2019yck
2019-12-09 20:13:21	6.0	M	10	14.3595 S	21.2068 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019yck
2019-12-09 19:26:34	5.5	M	7	26.1592 S	110.3676 W	10 km	A	PRS	Easter Island Region	PRS2019ycl
2019-12-09 19:19:37	4.0	M	6	21.7271 S	60.3127 W	10 km	A	PRS	Paraguay	PRS2019ycl
2019-12-09 19:15:31	4.8	M	27	19.9031 S	69.9304 W	381 km	A	PRS	Northern Chile	PRS2019ycl
2019-12-09 19:10:57	3.4	M	8	44.2764 S	75.0893 W	10 km	A	PRS	Off Coast of Southern Chile	PRS2019ycl
2019-12-09 19:08:51	4.9	M	6	53.5928 S	25.6425 W	10 km	A	PRS	Southwestern Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 19:08:44	5.3	M	6	48.6637 S	33.7216 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 19:07:14	5.5	M	7	41.6647 S	24.2091 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 19:06:23	5.2	M	9	43.8667 S	97.9658 W	10 km	A	PRS	Southern Pacific Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 19:05:29	5.6	M	7	39.5335 S	85.3749 W	10 km	A	PRS	West Chile Rise	PRS2019ycl
2019-12-09 19:02:56	5.0	M	7	44.8949 S	58.0539 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 19:02:02	4.8	M	6	52.3362 S	100.1750 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:59:18	5.2	M	8	56.0119 S	65.6182 W	10 km	A	PRS	Drake Passage	PRS2019ycl
2019-12-09 18:58:30	3.5	M	7	40.4855 S	71.1204 W	5 km	A	PRS	S. Chile-Argentina Border Region	PRS2019ycl
2019-12-09 18:57:28	5.0	M	9	25.6313 S	46.8554 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:54:19	4.8	M	7	22.8386 S	54.7870 W	10 km	A	PRS	Brazil	PRS2019ycl
2019-12-09 18:53:13	5.0	M	8	22.8719 S	86.8588 W	10 km	A	PRS	Southeast Central Pacific Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:44:59	5.3	M	7	44.8587 S	47.9096 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:38:48	4.1	M	11	24.0629 S	72.6388 W	204 km	A	PRS	Off Coast of Northern Chile	PRS2019ycl
2019-12-09 18:37:50	5.0	M	7	52.3354 S	58.3107 W	10 km	A	PRS	Falkland Islands Region	PRS2019ycl
2019-12-09 18:36:59	5.8	M	8	41.6488 S	120.0505 W	10 km	A	PRS	South Pacific Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:34:43	5.0	M	7	40.4251 S	38.8022 W	10 km	A	PRS	South Atlantic Ocean	PRS2019ycl
2019-12-09 18:30:06	4.0	M	11	23.8733 S	71.9734 W	750 km	A	PRS	Off Coast of Northern Chile	PRS2019ycl
2019-12-09 18:25:09	4.2	M	9	41.8151 S	67.9099 W	334 km	A	PRS	Southern Argentina	PRS2019ycl

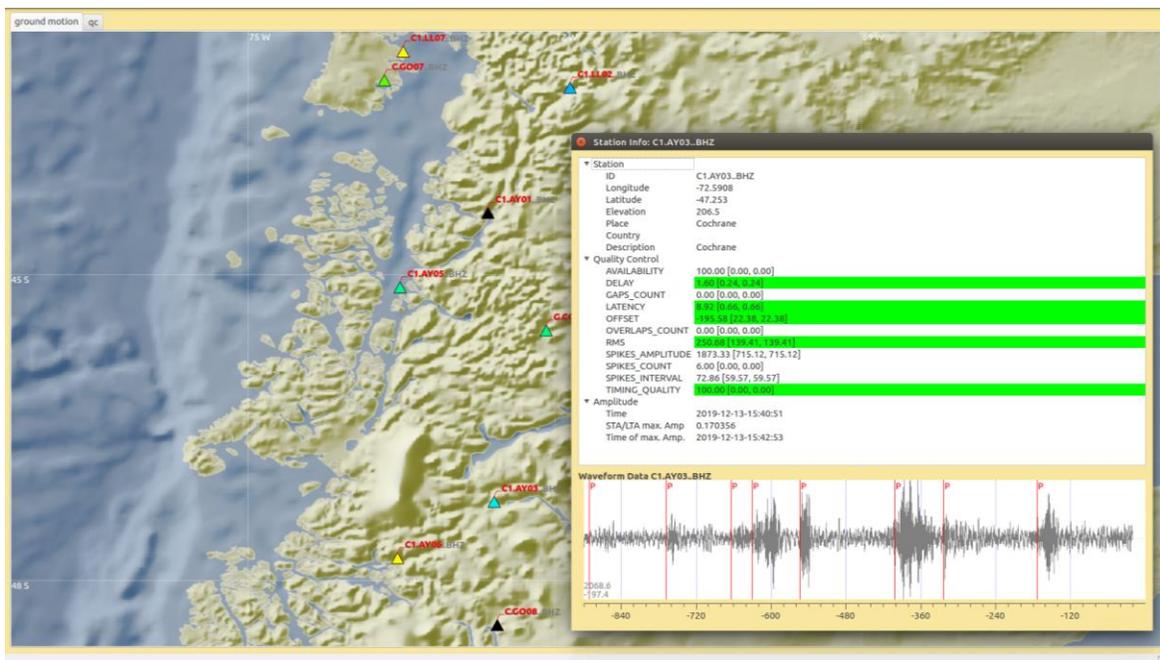
Figura 5: Base de datos de Seiscomp mostrado por el GUI scolv.

En la figura 5 se muestran los eventos alojados en la base de datos de SeisComp3 y/o en el módulo GUI scolv, cada evento tiene los correspondientes parámetros del evento (fecha y hora del evento, magnitud, latitud, longitud, hipocentro, estatus de cálculo (automático o manual), agencia, región más cercana del evento sísmico, y código ID del evento). El código ID del evento es un parámetro muy importante en Seiscomp, ya que con él es posible realizar muchas acciones, tales como: análisis *off-line* (sin conexión a internet o SeedLink), selección de un tramo de una traza sísmica específica, importar formas de ondas a un archivo tipo seiscmp (formato .xml), etc. La columna correspondiente a *Status* indica la forma de cálculo del evento guardado en la base de datos de SeisComp3, donde 'A' corresponde a la forma automática de cálculo y 'C' indica a una forma manual de determinación del evento ('C' en Seiscomp significa *Commit*).

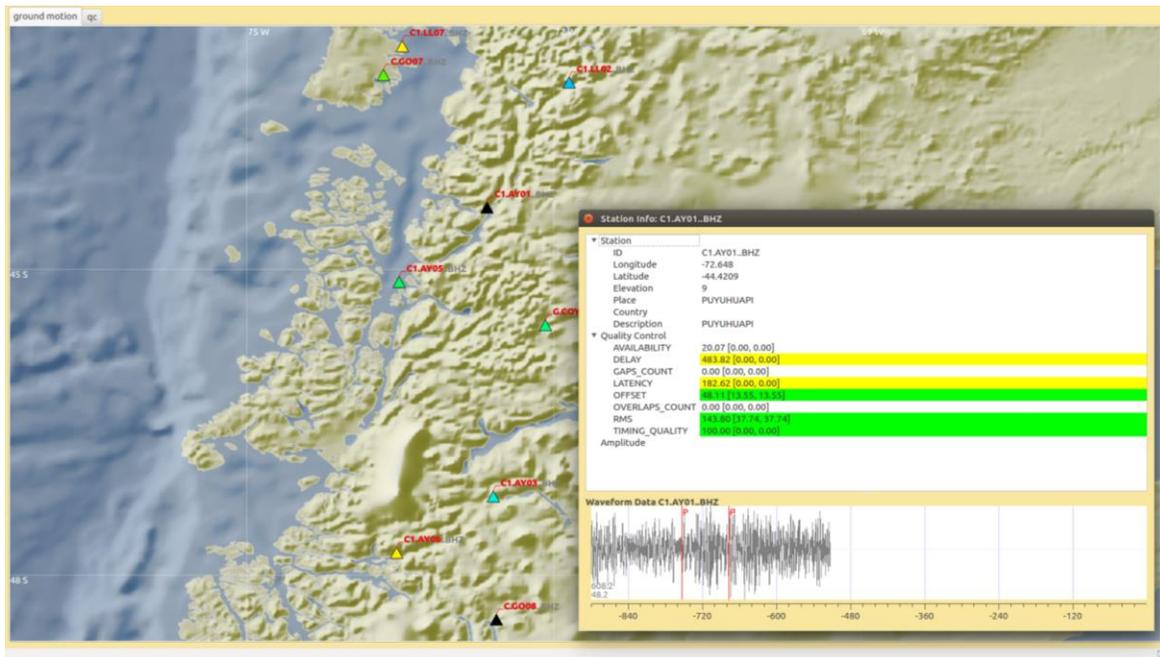
### Estaciones locales de la Región de Aysén



**Figura 6:** Visualización de la forma de onda, parámetros del control de calidad y localización de la estación COYC en el módulo GUI SCMV.



**Figura 7:** Visualización de la forma de onda, parámetros del control de calidad y localización de la estación AY03 en el módulo GUI SCMV.



**Figura 8:** Visualización de la forma de onda, parámetros del control de calidad y localización de la estación AY01 en el módulo GUI SCMV.

## Tareas Pendientes

- Continuar con la inducción dirigida al académico de la Universidad de Aysén, Felipe Aguilar, ya que solo se ha visto una parte del manual de usuario de SeisComP3 elaborado por Francisco Uribe.
- Finalizar con la configuración local del monitoreo de eventos locales, es decir, que las estaciones locales sean capaces de gatillar eventos bien definidos, y que las estaciones locales en Aysén y las del resto de Chile (red C, C1, CX y G) solo gatillen eventos que ocurran en Chile.
- Instalación de un centro de análisis y procesos de señales sísmicas en las dependencias de la Universidad de Aysén en Cerro Castillo.

## Tareas proyectadas

- La estación sísmica ubicada en Coyhaique, específicamente en la sede Simpson de la Universidad de Aysén será trasladada a un recinto propiedad de la Universidad de Aysén, este

nuevo lugar será en Cerro Castillo. Esta nueva localización cuenta con una estructura acorde para poder transmitir las señales sísmicas obtenidas por el instrumento.

- La segunda estación sísmica, ubicada en Puerto Aysén sería reubicada en una zona al norte de Coyhaique, probablemente en Villa Mañihuales. El motivo de este cambio de lugar para la estación es porque hay una saturación de estaciones en Aysén y Coyhaique, y para obtener un monitoreo más homogéneo de las señales sísmicas generadas en la región es mejor reubicar ciertas estaciones (por ejemplo, la ubicada en Coyhaique y en Puerto Aysén).

## VIII. Línea Riesgo Sísmico y Patrimonio

**Investigadora responsable: Juliette Marin.**

**Investigadores del equipo: Ricardo Tapia (FAU, CITRID); Jaime Campos.**

**Estudiante del equipo: Guillermo González.**

**Colaboraciones: Daniela Díaz (U. Basilicata, Italia).**

Esta línea de investigación se inicia en 2018 con el objetivo de proponer metodologías para estimar la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras patrimoniales adaptadas al contexto Andino y a los territorios chilenos. Se llevaron adelante estudios a escala territorial de iglesias patrimoniales en adobe en Valparaíso y Tarapacá, contribuyendo en la formación de estudiantes de ingeniería civil y desarrollando intercambios y colaboraciones con universidades italianas e instituciones públicas chilenas generando así vínculos inéditos en Chile. A continuación, se espera publicar algunos de los aprendizajes y seguir avanzando los estudios con otros tipos de estructuras.

### 1. Proyecto vulnerabilidad sísmica de inmuebles patrimoniales

El objetivo de este proyecto es el diagnóstico de la vulnerabilidad estructural de iglesias patrimoniales de Valparaíso y Tarapacá, y la exploración de la adaptación de la norma italiana al contexto Andino. Cuenta con la colaboración del departamento de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad de Chile y la Università della Basilicata (Italia).

Se desarrolla la tesis del estudiante de ingeniería civil (DIC) Guillermo González sobre “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio cultural chileno: Estudio de iglesias patrimoniales de Valparaíso” y un trabajo dirigido de Diego Díaz sobre “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio cultural chileno: Estudio de iglesias patrimoniales de Tarapacá”.

El equipo se adjudica en enero 2018 un fondo DIRAC para intercambio Chile-Italia que permite el desarrollo de actividades de intercambio de conocimientos y aprendizajes entre ambos países.

En agosto 2018, se participó en el congreso *Structural Analysis of Historical Constructions An Interdisciplinary Approach* (SAHC 2018).

En 2019, se dictó el curso sobre “Riesgo de desastres en América Latina. Marco conceptual. Introducción a las geoamenazas del contexto andino.” en un Webinar abierto a funcionarios público de América Latina, organizado por el Instituto Italo Latinoamericano IILA y relativo a protección del patrimonio cultural ante riesgo de desastres.

En 2019, se confeccionó un volante “Nuestros patrimonios presentes y futuros, Nuestros desastres pasados” y se participó en acciones de difusión científica en ONEMI para el Día del patrimonio (26 de mayo 2019).

Se está preparando un artículo sobre “Un método simplificado para evaluar el riesgo sísmico del patrimonio religioso chileno: el caso de la reconstrucción de las iglesias de la Quebrada de Tarapacá”.

**NUESTROS PATRIMONIOS PRESENTES Y FUTUROS, NUESTROS DESASTRES PASADOS**

**SABÍAS QUE LOS INCENDIOS AFECTAN REGULARMENTE EL PATRIMONIO, COMO OCURRIÓ EN LA CIUDAD-PUERTO DE VALPARAÍSO, O CON LOS BOSQUES DE ARAUCARIAS DEL SUR.**

**LA MEMORIA DE LOS EVENTOS PASADOS ES FUNDAMENTAL PARA PREVENIR DESASTRES FUTUROS.**

**¿CREES TÚ QUE LOS TERREMOTOS FORMAN PARTE DE NUESTRO PATRIMONIO INMATERIAL?**

Reconocer los lugares más expuestos a ciertos peligros, permite evitar construir en ellos ciudades o edificios muy sensibles, como colegios y hospitales.

Reconocer los lugares seguros de nuestro entorno permite saber cómo actuar en caso de una emergencia.

La ciencia los incorpora en sus estudios de casos y en análisis estadísticos. La ingeniería civil incorpora esta información en las normas de construcción vigentes que regulan cómo diseñar edificios e infraestructura.

Los relatos de personas mayores que vivieron desastres nos enseñan sobre nuestro propio territorio.

Algunos mitos ancestrales, como la leyenda mapuche de las dos serpientes Caicai y Tenten son ecos de antiguos eventos.

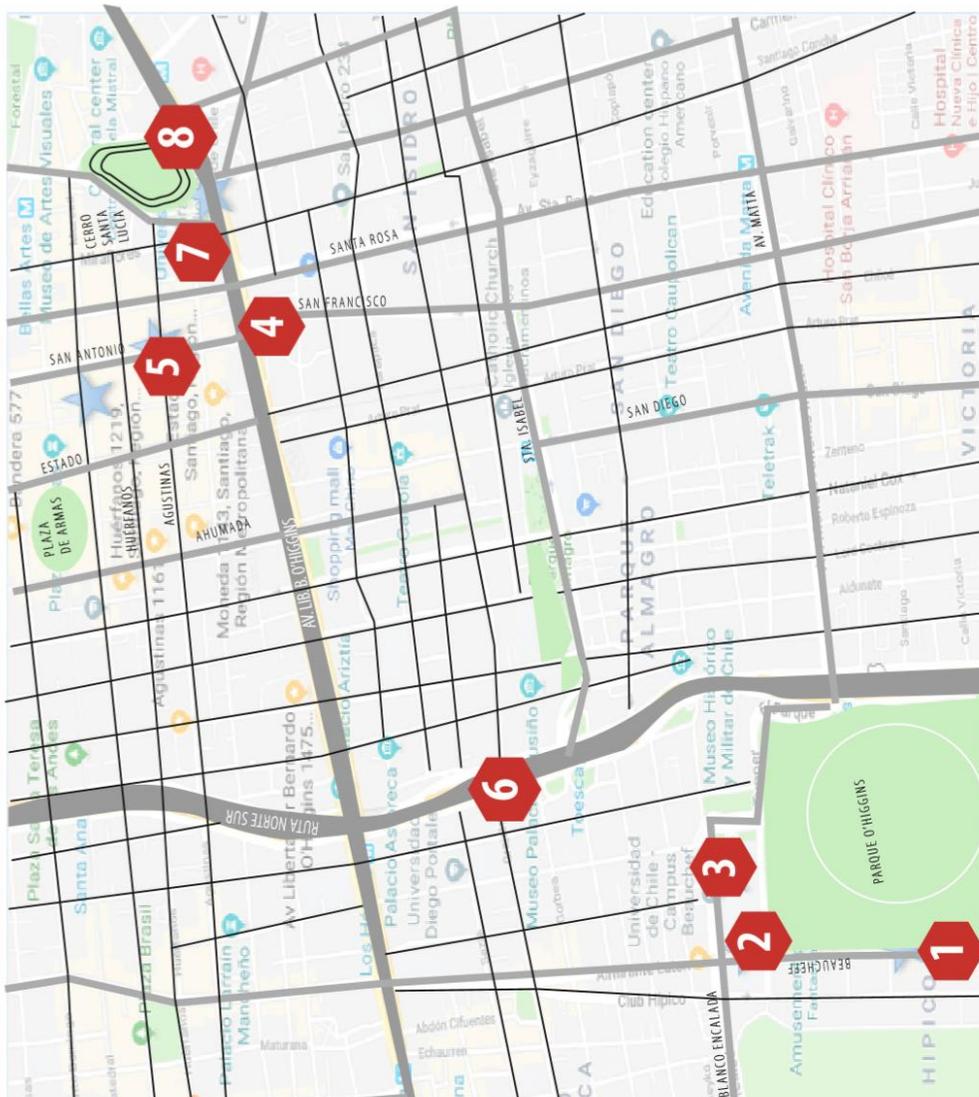
También nuestras ciudades, nuestras calles y edificios guardan huellas de desastres pasados.

Gran parte del patrimonio cultural está constituido por edificios, o zonas urbanas, o está protegido en museos. Muchas de estas construcciones son antiguas por lo que sufren de la degradación por el paso del tiempo. Algunas fueron construidas antes que existiesen normas sismorresistentes, o con técnicas y materiales que hoy sabemos son vulnerables a los sismos.

La voluntad de preservar estas construcciones y obras de gran importancia cultural para la sociedad lleva a las y los ingenieros civiles, arquitectos, conservadores, y otros profesionales, a preocuparse por reducir el riesgo de desastres de estos edificios.

Logos: PRS, explora, PAREXPLORA, UNIVERSIDAD DE CHILE

## TE INVITAMOS A RECORRER EL CENTRO DE SANTIAGO BUSCANDO LA HUELLA DE LOS DESASTRES EN LA CIUDAD



1. Oficina Nacional de Emergencia ONEMI (punto de partida)
2. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (construida en 1911)
3. Centro Sismológico Nacional (antes Servicio Sismológico de Chile)
4. Iglesia San Francisco (dispositivos sísmicos prehispánicos)
5. Iglesia Los Agustinos (Cristo de Mayo)
6. Iglesia San Lázaro (arquitectura neogótica)
7. Plaza Vicuña Mackenna (San Saturnino)
8. Cerro Santa Lucía (1º servicio sismológico)

Completa tu ruta de los saberes:




## 2. Patrimonio cultural y riesgo de desastres: experiencias y proyecciones entre Chile e Italia

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Embajada de Chile en Italia, la Dirección de Asuntos Culturales del Ministerio de Relaciones Exteriores (DIRAC) de Chile y la Universidad de La Sapienza.

El propósito es intercambiar experiencias, desafíos y posibles colaboraciones desde la academia e instituciones públicas en torno ejes estratégicos relacionados a patrimonio cultural y a riesgo de desastres, en particular riesgo sísmico, potenciando las experticias respectivas a ambos países.

Los objetivos específicos son:

- Establecer lineamientos estratégicos de trabajos conjuntos entre instituciones chilenas e italianas.
- Generar convenios bilaterales.
- Ser referentes nacionales en tema patrimonio y riesgo de desastres.
- Posicionar internacionalmente a la Universidad de Chile.

### Acciones y resultados:

En agosto 2018 se realizó un primer encuentro en la FCFM de la U. de Chile, llamado “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de experiencias y proyecciones”, en el que participaron representantes de ONEMI, Sernageomin, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Desarrollo Social, Consejo de Monumentos Nacionales, Centro Sismológico Nacional, Superintendencia de Servicios Sanitarios, Cruz Roja Chilena, Fuerza Aérea de Chile y universidades, entre otros. Ambas jornadas contaron con la participación de más de 60 expertos provenientes del mundo académico o público, y fueron transmitidas vía *streaming* por los canales oficiales de la Universidad.

Este encuentro se estructuró en cinco mesas de conversación y reflexión: Mapas de riesgo de desastres: aprendizajes y desarrollos; Estrategias de habitabilidad transitoria; Memoria y patrimonio ante desastres socionaturales; Nuevos avances científicos y tecnológicos para la identificación de geoamenazas; y Diálogo de culturas y saberes para la reducción de riesgo de desastres.

En paralelo, en octubre 2018 se organizó un encuentro internacional en Roma, Italia. Este tuvo lugar los días 1 y 2 de octubre, sobre “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de

experiencias y proyecciones Chile – Italia”, en el que instituciones académicas y públicas de ambos países discutirán sobre experiencias, desafíos y posibles colaboraciones conjuntas. Estas jornadas contaron con la participación del Rector de la U. de Chile, Decano de la FCFM, miembros del PRS y del programa CITRID de la U. de Chile, académicos de la Universidad de O’Higgins, representantes de la ONEMI, MOP y del SAF. Por Italia, participaron representantes del Ministerio de Bienes Culturales, Commissione Nazionale per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi presso il DPC (Presidenza del Consiglio dei Ministri), Ministero degli Affari Esteri, Ministero del Interno-Protezione Civile, Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale, INGV, ENEA, CNR, ICOMOS, ICCROM, Università Roma Sapienza, Università Roma Tre, Università degli Studi di Perugia, Università degli Studi della Basilicata, Università Federico II Napoli.

El equipo escribió una columna, cuyo título fue “Patrimonio cultural y reducción del riesgo: ¿por qué y para qué?”, publicada en El Desconcierto el 13/10/2018.

<https://www.eldesconcierto.cl/2018/10/13/patrimonio-cultural-y-reduccion-del-riesgo-por-que-y-para-que/>

En 2018, se organizó una jornada de inducción para Carabineros de Chile que participaron en pasantía con Carabinieri italianos sobre “Patrimonio & Riesgo de desastres” en conjunto con ONEMI, DIRAC y Subsecretaría de Patrimonio Cultural.

Los resultados de las jornadas de intercambio, de levantamiento de información y del estado de arte realizado fueron publicados y presentados en el XII Congreso de ACHISINA (Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica) en abril 2019 en Valdivia.

**Encuentro “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: Intercambio de experiencias y proyecciones entre académicos, investigadores y funcionarios públicos” en Santiago:**

## ENCUENTRO SOBRE PATRIMONIO CULTURAL Y RIESGO DE DESASTRES:

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS Y PROYECCIONES ENTRE ACADÉMICOS, INVESTIGADORES Y FUNCIONARIOS PÚBLICOS



Lugar del evento:  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Beauchef 851, Santiago**

### MARTES 28 DE AGOSTO

- 9.00 - 9.30 horas: Palabras de apertura.
- 9.30 - 12.30 horas: Mesa 1: Mapas de riesgo de desastres: aprendizajes y desarrollos.
- 12.30 - 13.30 horas: Pausa de almuerzo.
- 13.30 - 16.30 horas: Mesa 2: Estrategias de habitabilidad transitoria
- Mesa 3: Memoria y patrimonio ante desastres sicionaturales.

### VIERNES 31 DE AGOSTO

- 9.30 - 12.00 horas: Mesa 4: Nuevos avances científicos y tecnológicos para la identificación de geoamenazas.
- 12.00 - 13.00 horas: Pausa de almuerzo.
- 13.00 - 16.00 horas: Mesa 5: Diálogo de culturas y saberes para la reducción de riesgo de desastres.
- 16.00 - 16.30 horas: Cierre del encuentro.

MÁS INFORMACIÓN EN:  +56229782133  FMEZA@DCF.UCHILE.CL

Invitan:



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE



**Encuentro “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de experiencias y proyecciones Chile – Italia” en Roma (Italia):**





**Participación en congreso ACHISINA 2019:**

## IX. Línea Vulnerabilidades e Impactos Sociales del Riesgo Sísmico, en el Contexto Andino

Investigador responsable: Julián Cortés Oggero

Investigadores del equipo: Juliette Marin, Sandra Rojas, Jaime Campos.

### 1. Colaboraciones Nacionales

- Elaboración en conjunto con la Línea Teoría del Riesgo del [Programa de Riesgos y Desastres \(CITRID\) de la Universidad de Chile](#) del documento: “Dinámica del riesgo: una epistemología para observar desastres socio-naturales. Síntesis integrativa Línea Teoría del Riesgo” (en proceso de correcciones finales).
- Elaboración en conjunto con la Red de Pobreza Energética de los documentos:
  - [Pobreza Energética en Chile: ¿un problema invisible? Análisis de fuentes secundarias disponibles de alcance nacional.](#)
  - [Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?](#)
- Presentación en el XIII Congreso Chileno de Ciencia Política: *La crisis de Aysén 2007 revisitada: ¿la institucionalidad del conocimiento en Chile como factor de riesgo?*
- Presentación en ONEMI de Puerto Aysén sobre el estudio “”.

### 2. Colaboraciones Internacionales

- Seminario Internacional: “Gobernanza del Riesgo y Política Pública: Desafíos Regionales” (23 de enero de 2018) FCFM. Actividad desarrollada en conjunto con la Línea Teoría del Riesgo de CITRID y la Dirección Académica de Responsabilidad Social Universitaria de la Pontificia Universidad Católica del Perú (DARS-PUCP)
- Postulación y adjudicación de la [Beca de Integración Chile-Perú](#) del Grupo Generación de Diálogo Chile-Perú de la Fundación Konrad Adenauer, con el proyecto denominado: “Análisis comparado de la institucionalidad implicada en la reducción de riesgo de desastres socionaturales: una mirada desde el voluntariado en los casos de Chile y Perú” de la estudiante María Paz Cárdenas Briones.

- Organización de la Mesa de Trabajo: *“Institucionalidad del conocimiento: diálogo Universidad- Estado”*, en conjunto con el Instituto Geofísico del Perú y en el marco del [Segundo Congreso Latinoamericano de Investigación y Educación Superior Interdisciplinaria](#), realizado en Lima, Perú entre el 18 a 21 de Septiembre de 2018.

### 3. Estudio sobre la Resiliencia en el contexto Andino

El objetivo de esta línea es el estudio de la resiliencia en Chile y en el contexto Andino, a partir de los modelos de resiliencia urbana ante sismos y su uso en las políticas públicas territoriales.

- Publicación en revision artículo “Scientific controversy as a disaster risk factor: The 2007 seismic crisis in Patagonia, Chile” International Journal of Disaster Risk Reduction.
- Participación en el proyecto “Network for Research in Seismic Resilience in the Andean Context”, REDES 180026 de Conicyt.PI: Ricardo Herrera (DIC, FCFM).
- Presentación “Resiliencia y territorio: una mirada desde el sur global” en Seminario “Desafíos socio-ambientales en la Región de Aysén”, en la Universidad de Aysén, Coyhaique (12/8/2019).
- En 2019: Participación en la redacción y edición de la dimensión de riesgo sísmico y riesgo de desastres en un manual sobre "Género y gestión del riesgo de desastres" para Municipalidades chilenas, en colaboración con el programa CITRID, ONEMI, Ministerio de la Mujer y la Equidad de Género, OFDA y Caritas Chile. Publicación prevista en abril 2020.

## X. Línea Formación

**Investigadora responsable: Juliette Marin.**

**Investigadores del Equipo: Jaime Campos; Sandra Rojas; Richard Weber; Julián Cortés.**

### ***1. Diploma de postítulo en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres***

Durante el segundo semestre de 2018, el PRS coordinó la realización de la primera versión del “Diploma de Postítulo en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres”, que se gestiona desde la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, con el apoyo de la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AGCID.

El PRS participó en el diseño de este programa de formación, cuyo objetivo es entregar a alumnos de Latinoamérica y el Caribe conocimientos avanzados, herramientas de las ingenierías y últimos antecedentes científico-tecnológicos a actores involucrados en la reducción del riesgo de desastres para que puedan concebir, diseñar, implementar, operar y evaluar proyectos que contribuyan a la reducción del riesgo de desastres siconaturales y a la resiliencia.

La primera edición del Diploma se realizó entre el 19 de noviembre y el 7 de diciembre de 2018, y contó con la participación de profesionales especialistas en temas de riesgo de diversos países de la región: Perú, Ecuador, Bolivia, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, así como de instituciones públicas chilenas (ONEMI, FACH, SERNAGEOMIN). Esta primera edición fue evaluada muy satisfactoriamente por y la AGCID, las y los estudiantes, el equipo docente y la Escuela de Postgrado de la FCFM, por lo que se recondujo para una segunda edición en 2019.

La segunda edición del Diploma se realizó entre el 18 de noviembre y el 6 de diciembre de 2019, y contó con la participación de profesionales especialistas en temas de riesgo de diversos países de la región: Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Perú, República Dominicana, Surinam, así como de instituciones públicas chilenas (MOP, ONEMI, FACH, SERNAGEOMIN, Ejército). Esta segunda edición fue evaluada aún más satisfactoriamente por y la AGCID, las y los estudiantes, el equipo docente y la Escuela de Postgrado de la FCFM, por lo que se recondujo para una tercera edición en 2020.

El Diploma considera 5 módulos:

### Módulo 1: Avances conceptuales y normativas sobre riesgo de desastres

- Marco teórico-conceptual
  - Fundamentos y modificaciones del marco teórico-conceptual
  - La construcción social del riesgo
  - Prácticas internacionales en el marco de la resiliencia
- Marco funcional, normativo internacional de la reducción de riesgos de desastres
- Responsabilidad del Estado frente a los riesgos siconaturales

### Módulo 2: Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales

- Introducción: Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales
  - El contexto andino y las geoamenazas
  - Avances en la comprensión de los procesos geofísicos de las geoamenazas
- Peligro sísmico y de tsunami
  - Taxonomía de terremotos y tsunamis
  - Dimensión preventiva y reactiva de la amenaza sísmica
- Peligro volcánico
  - Volcanismo
  - Volcanismo y peligro volcánico
- Fallas geológicas y peligros asociados
  - Fallas geológicas y remociones en masa
  - Visión espacio temporal de los peligros geológicos
  - Métodos geofísicos utilizados para el estudio de fallas geológicas
- Herramientas de mapeo y uso de información
- Peligros climáticos e hidro-meteorológicos
- Otras amenazas: la contaminación atmosférica

### Módulo 3: La reducción de riesgos a través de la gestión pública

- Marco de la gestión pública y los sistemas complejos
- Herramientas de la gestión pública para la evaluación/implementación de proyectos
- Herramientas de la gestión pública aplicables para la reducción del riesgo de desastres

### Módulo 4: Vanguardia tecnológica para la resiliencia

- Introducción al módulo
- Minería de Datos para el manejo de desastres
  - Calidad de datos para la minería de datos en la Web
  - Aplicación de la minería de datos para el manejo de desastre
- Tecnologías de la información y comunicación a la hora del Internet de las Cosas
  - Debilidades de los sistemas de telecomunicaciones
  - Internet de las Cosas

- Fragilidad y resiliencia en los sistemas energéticos
  - Resiliencia de los sistemas energéticos - Marco Teórico
  - Resiliencia de los Sistemas de Distribución
  - Herramientas matemáticas para el estudio de la resiliencia en sistemas energéticos

#### Módulo 5: Mitigación de desastres y preparación

- Medidas estructurales de mitigación desde la ingeniería civil
- El ordenamiento y la planificación territorial para la reducción del riesgo de desastres
- Transferencia del riesgo financiero
- Sistemas de alerta temprana para la gestión de la contingencia
- Resiliencia urbana

Módulo transversal: Taller

## 2. Cursos de Formación General (CFG) en la Universidad de Chile

En 2018, se presentó un poster para el Congreso Internacional de Orientación para el Aprendizaje en Educación Superior: “Desarrollando docencia inter y transdisciplinarias de pregrado: lecciones aprendidas del CFG sobre riesgo de desastres” sobre un Curso de Formación General en el que fue diseñado y desarrollado por el Programa de Riesgo Sísmico junto con el Programa de Riesgo de Desastres (CITRID) entre 2015 y 2017.

En 2019, se diseñó un CFG llamado “Contexto Andino y fenómenos extremos: Nuevos paradigmas y controversias a 10 años del megaterremoto del 27F” que se dictará en el primer semestre 2020.

## XI. Línea Extensión y Difusión Educativa

**Investigador responsable: Sandra Rojas**

**Investigadores del equipo: Juliette Marin; Julián Cortés; Jaime Campos**

### 1. Colaboración internacional

- Programa de actividades de intercambio y colaboración, en torno al tema de gestión de riesgos de desastres, con el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y con la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Dirección Académica de Responsabilidad Social Universitaria (DARS). En las actividades de intercambio han participado alrededor de 20 especialistas de ambos países.
- Intercambio de trabajo con Italia, que involucra a la Universidad de la Sapienza y la Embajada de Chile en Roma, con actividades preparativas para la organización de eventos de difusión, que se realizarán en octubre de 2018 en Roma. Estas actividades involucran a 9 investigadores de la Universidad de Chile y, hasta ahora, 3 representantes de instituciones públicas.
- Acuerdo de cooperación (marzo 2018) entre la red de 30 satélites del Programa Copernicus de la UE y la Universidad de Chile, a través de distintas unidades, entre ellas el PRS.
- El PRS organizó y participó en el encuentro (10 abril 2018) con la delegación de 48 profesionales del Instituto de Altos Estudios para la Ciencia y Tecnología, IHEST, de Francia.
- En abril 2018 y abril 2019, invitados por el Programa de Riesgo Sísmico, PRS, una delegación de 15 estudiantes y 2 profesores del Liceo Louis le Grand de París, Francia, realizó una visita al Departamento de Geofísica y al Centro Sismológico Nacional, de la Universidad de Chile.
- Representantes del PRS participan en el Segundo Congreso Latinoamericano de Investigación y Educación Superior Interdisciplinaria (IEI 2018), organizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Su intervención se realiza en dos ejes temáticos (1) Impacto de la interdiscipliniedad y de la transdiscipliniedad en las prácticas sociales y políticas públicas y (2) Transdiscipliniedad y gestión de riesgos de desastres (septiembre de 2018).

- Posterior al Congreso, se realizan reuniones y encuentros en con el Instituto Geofísico del Perú, a propósito del convenio de colaboración con la Universidad de Chile (septiembre de 2018).
- Charla sobre peligro y riesgo sísmico en el contexto Andino en el colegio Eugène Delacroix (Maison-Alfort, Francia) el 23/9/2019.

## 2. Eventos internos – Universidad de Chile

PRS ha realizado seminarios internos en torno a diversos temas:

- "Remociones en masa y tectónica activa: Desde una mirada global hasta el contexto andino" (enero 2018).
- "Tasa de variación latitudinal de la rigidez del corte geomagnético en el margen convergente activo de Chile" (abril 2018).
- "Modeling fault slip initiation: Stiction and the transition from pre-sliding to gross-sliding" (septiembre 2018).

En estos eventos participó un total de 80 personas, entre académicos, investigadores y estudiantes de pre y post grado.

## 3. Eventos abiertos a todo público

- "Gobernanza del Riesgo y Política Pública: Desafíos Regionales" (Santiago, enero 2018)
- "Observando los fenómenos geofísicos", Campamento Explora Va! (Valparaíso, enero 2018)
- "El Periodismo en un País de Amenazas Naturales" (Santiago, abril 2018)
- "La crisis de Aysén 2007 revisitada: ¿la institucionalidad del conocimiento en Chile como factor de riesgo? (Puerto Aysén, junio 2018)
- Encuentro entre investigadores Universidades de Chile y Aysén (Coyhaique, junio 2018)
- "Observando los fenómenos geofísicos", Campamento de Educación en Ciencias Explora VA! (Valparaíso, julio 2018)
- Exposismos y Ruta de los saberes en el marco del Día del patrimonio (mayo 2019)

En estos eventos participó un total de 450 personas, entre académicos, investigadores, periodistas y docentes de establecimientos escolares del área de las ciencias.

## 4. Proyectos de valoración y divulgación científica

### - Ruta de los Saberes

El Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile con la colaboración del Archivo Andrés Bello, de la misma casa de estudios, la Municipalidad de Santiago y Explora CONICYT desarrollaron un proyecto para recuperar el patrimonio científico que alberga el Cerro Santa Lucía, creando la Ruta de los Saberes.

La iniciativa pretende recuperar los espacios que representan el patrimonio científico que albergaba el Cerro en el pasado, particularmente la caverna donde estuvieron los primeros instrumentos científicos de sismología, en vistas a crear un Museo Abierto de las Ciencias de la Tierra.

Acciones realizadas:

- Se firmó un convenio colaboración entre la I. Municipalidad de Santiago y la Universidad de Chile (2015).
- Se elaboró un concepto para generar un centro de interpretación en la caverna donde estuvieron instalados los primeros sismógrafos.
- La Universidad de Chile hizo un estudio de las condiciones geológicas-geotécnicas que señaló los requerimientos para la reparación estructural de los espacios.
- Se identificó una RUTA CIENTÍFICA con distintos puntos.
- Explora CONICYT financió instalación de la primeras señalética y material de difusión de la Ruta.
- Se instalaron los primeros hitos de la Ruta de los Saberes (diciembre 2018)

## 5. Proyecto Asociativo Regional Explora RM Sur Poniente

### - Postulación al VIII Concurso Proyecto Asociativo Regional (PAR) de Divulgación y Valoración Científica y Tecnológica Explora 2019-2022

Durante los meses de agosto y septiembre de 2018, el Programa Riesgo Sísmico elaboró una propuesta para presentar a Explora CONICYT que se denominó “Ciencia Abierta y Colaborativa para el Buen Vivir”. El proyecto fue presentado para desarrollar un conjunto de programas dirigidos a las comunidades educacionales de 22 comunas del sector Sur Poniente de la Región Metropolitana.

### - Adjudicación y puesta en marcha del Proyecto

A comienzos de marzo de 2019, el Programa Riesgo Sísmico se adjudicó el proyecto antes mencionado, siendo una iniciativa del Ministerio de Ciencia liderada por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

En una primera etapa, el proyecto implicó un conjunto de tareas de carácter más interno:

- Apoyo a la conformación de un equipo de trabajo que finalmente quedó conformado por 13 personas.
- Ubicación de e instalación de oficinas dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile..
- Primer encuentro con profesores y directores de establecimientos escolares (17 abril)
- Lanzamiento oficial (7 mayo)
- Inicio convocatorias para principales iniciativas de trabajo.

#### - **Iniciativas de trabajo del Proyecto**

El Proyecto Asociativo Regional, PAR, Explora de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, dirigido por el equipo del PRS, desarrolla iniciativas dirigidas a comunidades escolares y público en general. Éstas son;

- Programa de Indagación para Primeras Edades, PIPE
- Investigación Científica Escolares, para estudiantes de básica y media.
- Congresos de Investigación Científica Escolar
- Campamento de profesores (50 docentes)
- Teatro y Ciencia
- Ciencia Ciudadana

Las últimas dos iniciativas dan continuidad a la experiencia del PRS en materia de divulgación científica en establecimientos escolares y comunidades locales.

#### - **Primeros resultados**

Con estas iniciativas se ha amplificado la llegada a diversos públicos:

- **208 establecimientos**
- **481 docentes**
- **27.341 estudiantes**
- **Más de 4.000 personas en Semana Explora**
- **Más de 200 personas en Ciencia Ciudadana**



## XII. Resultados Científicos Programa Riesgo Sísmico 2018 - 2019

### 1. Artículos Científicos Publicados

- Bravo F., Koch P., Riquelme S., Fuentes M., Campos J.  
*Slip distribution of the 1985 earthquake constrained with seismic and deformation data.*  
**Seismological Research Letters, 2019.**
- Derode B., Madariaga R., and Campos J.;  
Seismic rate variations prior to the 2010 Maule, Chile MW 8.8 giant megathrust earthquake, 2020, Nature Geoscience;  
**Nature Geosciences; En revisión, 2020, NGS-2019-11-02805**
- Derode B., and Campos. J.;  
*Spatial variations and depth-dependence of the seismic b-value along the Chilean part of the Andean subduction zone.*  
**Seis. Res. Lett.;under revision, 2020, SRL-D-18-00397**
- Derode B., Delouis B., and Campos. J.;  
*Systematic determination of focal mechanisms over a wide magnitude range: Insights from the real-time FMNEAR implementation in Chile from 2015 to 2017.*  
**Seis. Res. Lett. 90(3), pp. 1285-1295, 2019.**  
**doi: 10.1785/0220180322**
- Derode B., and Campos. J.;  
*Energy budget of Intermediate-depth earthquakes in Northern Chile: Comparison with shallow earthquakes and implications of rupture velocity models used.*  
**Geophys. Res. Lett. 46(5), pp. 2484-2493, 2019;**  
**doi: 10.1029/2018GL080962**
- Fuentes M. , Arriola S., Riquelme S., and Delouis B.  
*Speeding up and boosting tsunami warning in Chile.*  
**Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 19, 2019: 12971304.**  
**[https://doi.org/10.5194/nhess-2019-9.](https://doi.org/10.5194/nhess-2019-9)**

- Fuentes M., Riquelme S., Ruiz J. And Campos J.  
*Implications on 1+1 D Tsunami Runup Modeling due to Time Features of the Earthquake Source:*  
**Pure Appl. Geophys. 175, 1393 - 1404.**  
Seismological Research Letters, 90(5), 1812-1819.
- Fuentes, M., Riquelme, S., Medina, M., Mocanu, M., and Filippi, R.  
*Tsunami Hazard evaluation in the Coquimbo region using non-uniform slip distribution sources.*  
**Seismological Research Letters ; 90 (5): 18121819.**
- Fuentes Serrano, M., Riquelme Muñoz, S., Medina, M., Mocanu, M., & Filippi Fernandez, R. (2019).  
*Tsunami hazard evaluation in the Coquimbo Region using nonuniform slip distribution sources.*  
**Seismological Research Letters, 90(5), 1812-1819.**
- González-Alfaro, J., Vargas, G., Ortlieb, L., Gonzalez, G., Ruiz, S. , Baez, J.C., Maden-Yogo, M., Caquineau, S., Alvarez, G., del Campo, F., del Rio, I. (2018).  
*Abrupt increase in the coastal uplift and earthquake rate since ~40 ka at the Northern Chile seismic gap in the Central Andes.*  
**Earth and Planetary Science Letter doi: 10.1016/j.epsl.2018.08.043.**
- González F-A., Maksymowicz A., Díaz D., Villegas L., Leiva M, Blanco B., Vera E., Contreras S., Cabrera D.y Bonvalot S.  
*“Modelo geofísico de cuenca, forma y propiedades”.*  
**Basin Research, 2018.**
- Leyton, F., Leopold, A., Hurtado, G., Pasten, C., Ruiz, S., Montalva, G. and Saez, E. (2018).  
*Geophysical Characterization of the Chilean Seismological Stations: First Results.*  
**Seismological Research Letter. doi:10.1785/0220170156**
- Leyton, F., Pasten, C., Ruiz, S., Idini, B\*\* and Rojas, F. (2018).  
*Empirical Site Classification of CSN network using Strong-Motion records.*  
**Seismological Research Letter. doi:10.1785/0220170167**
- Leyton F., Ruiz S. and Madariaga R.;  
*Focal Mechanism, Magnitude and Finite-Fault rapid estimation using the Elliptical Patch Method in Chile.*

**Sismol. Res. Lett , 89, 503-511. 10.1785/0220170174, 2018.**

- Leyton, F., Ruiz, S., Baez, J.C., Meneses, G. and Madariaga, R. (2018).  
*How fast can we reliably estimate the Magnitude of Subduction Earthquakes?*  
**Geophysical Research Letter doi: 10.1029/2018GL078991**
- Leyton, F., Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Focal Mechanism, Magnitude and Finite Fault Rapid Estimation using the Elliptical Patch Method in Chile.*  
**Seismological Research Letterdoi:10.1785/0220170174**
- Makysmowicz, A., Ruiz, J., Vera, E., Contreras-Reyes, E., Ruiz, S., Arriagada, C., Bonvalot, S., Bascuñan, S. (2018)  
*Heterogeneous structure of the Northern Chile marine fore-arc and its relation to the rupture of the 2014 Mw 8.2 Iquique earthquake and the currents seismic gaps.*  
**Geophysical Journal International doi: 10.1093/gji/ggy325**
- Marin, J., Mendez, I., Sarmiento, J. P.,  
*Dimensionando la precariedad urbana y su vínculo con la gestión del riesgo de desastres*  
**Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción de Riesgo de Desastres (2018), 2(2):4-15, ISSN: 0719-8477**
- Medina M., Riquelme S., Fuentes M. and Campos J.;  
*Near field tsunami run-up modeling and coastal amplification in South America using non-uniform sources.*  
**Bulletin of Seismological Society of America.2020.**
- Pasten-Araya, F., Salazar, P., Ruiz, S., , Rivera, E., Potin, B., Makysmowicz, A., et al. (2018).  
*Fluids along the plate interface influencing the frictional regime of the Chilean Subduction zone, Northern Chile.*  
**Geophysics Research Letter doi: 10.1029/2018GL079283**
- Riquelme, S., Schwarze, H., Fuentes, M., & Campos, J.;  
*Near Field Effects of Earthquake Rupture Velocity into Tsunami Run-up Heights.*  
**Journal of Geophysical Research, Solid Earth, 125, First published:20 March 2020;**  
<https://doi.org/10.1029/2019JB018946> e2019JB018946.  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JB018946>
- Riquelme. S, Medina M., Bravo F., Barrientos S., Campos J., Cisternas A.  
W-phase Real Time Implementation and Network Expansion.  
**Seismological Research Letters (2018) 89 (6): 2237-2248.**  
<https://doi.org/10.1785/0220180146>

- Ruiz S., Ammirati J-B., Leyton F., Cabrera L., Potin B., and. Madariaga R.,  
*The January 2019 (Mw 6.7) Coquimbo Earthquake: Insights from a Seismic Sequence within the Nazca Plate.*  
**Seismological Research Letters, 90, 1836-1846, 2019.**
- Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Reply to the comment on "Historical and Recent Large Megathrust Earthquakes in Chile".*  
**Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2018.06.007**
- Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Historical and Recent Large Megathrust Earthquakes in Chile.*  
**Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2018.01.015**
- Ruiz, S., Ojeda, J., Pasten, C., Otarola, C., Silva, R. (2018).  
*Stochastic strong motion simulation in borehole and on surface for the Mw 9.0 Tohoku-Oki 2011 mega-thrust earthquake considering P, SV and SH amplification transfer functions.*  
**Bulletin of the Seismological Society of America doi: 10.1785/0120170342**
- Saéz, M\*\*, Pasten, C., Ruiz, S. , and Salomón, J\*\* . (2018).  
*The impact of a buried high stiffness layer in the site amplification of Lolleo city, Chile.*  
**Bulletin of the Seismological Society of America. doi:10.1785/0120170274**
- Saez, M., Ruiz, S. (2018).  
*Controls on the T-phase energy flux recorded on Juan Fernandez Island by continental seismic waves path and Nazca bathymetry".*  
**Geophysical Research Letter doi: 10.1002/2017GL076790**
- Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J.;  
Domain-Independent Detection of Emergency Situations Based on Social Activity Related to Geolocations ;  
**WebSci'18: 10th ACM Conference on Web Science, May 27–30, 2018, Amsterdam, Netherlands. ACM, New York, NY, USA, 10 pages.**  
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3201064.3201077>  
[https://doi.org/10.1145/3201064.3201077.](https://doi.org/10.1145/3201064.3201077)

## 2. Artículos Científicos En Revisión y/o Preparación

- Díaz, D., Marin, J., Campos, J.  
*Un método simplificado para evaluar el riesgo sísmico del patrimonio religioso chileno: el caso de la reconstrucción de las iglesias de la Quebrada de Tarapacá*
- Fuentes, M., Uribe, F., Riquelme, S., and Campos, J.;  
*Analytical Model for Tsunami Propagation including Source Kinematics.*  
**Pure and Applied Geophysics, 2020, (En revision)**
- Marin, J., Cortés, J., Aliste, E., Campos, J.  
*Scientific controversy as a disaster risk factor: The 2007 seismic crisis in Patagonia, Chile.*  
**International Journal of Disaster Risk Reduction.**
- Siegel C., Derode B., Toledo P. and Campos. J.;  
*Seismic fault interactions, a new representation using Spin-Lattice Montecarlo Simulations;*  
**Bulletin of Seismological Society of America, 2020, (en preparación)**

## 3. Congresos

1. *The hunt for a universal friction law: a bristle-based rate and state dependent constitutive relation simulates high velocity rupture experiments, connecting fault friction across loading conditions;*  
Seth Saltiel, Jorge Crempien, and Jaime Campos;  
**AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December 2019.**
2. *Implication of common rupture velocity models on the source-parameters evaluations for shallow and intermediate-depth earthquakes in northern Chile;*  
Benoit Derode and Jaime Campos;  
**AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December 2019.**
3. *New real-time FMNEAR implementation in Chile: An advanced seismic catalogue by systematic determination of focal mechanisms, and observation of subsequent statistical seismic source parameters variations;*  
B. Derode, B. Delouis, and J. Campos;  
**8th International Symposium on Andean Geodynamics, Quito, Ecuador; 24-26<sup>th</sup> Septiembre, 2019.**

4. Scaling relation for earthquakes holds for a Chilean seismic catalog, (2019)  
Siegel C., Campos. J., Derode B., and Toledo P.  
**11th International Workshop on statistical Seismology, Halone, Japan, August 18-21th, 2019.**
  
5. Resiliencia y territorio: una mirada desde el sur global  
Juliette Marin  
**Seminario Desafíos socio-ambientales en la Región de Aysén, Coyhaique, Chile, 12 agosto 2019.**
  
6. Mapas de riesgo de desastres para el patrimonio cultural: aprendizajes y desarrollos en Chile e Italia;  
J. Marin, M. Cáceres;  
**XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valdivia, Chile, 3-5 abril 2019.**
  
7. Speeding up and boosting tsunami warning in Chile;  
M. Fuentes, S. Arriola, S. Riquelme, B. Delouis, and J. Campos  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
8. Thermodynamics of a Double-Couple Fault Plane Model by Spin-Lattice Montecarlo Simulations; Cristián E. Siegel, Jaime Campos, and Patricio Toledo,  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
9. Implications on Tsunami Run-up due to Slow Ruptures Velocities;  
S. Riquelme, M. Fuentes, J. Campos, and H. Schwarze  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
10. Modelo Geofísico de la Cuenca de Ranco y Geometría del basamento en el sector nororiente de la Cuenca de Santiago.  
**XV Congreso Geológico Chileno, "Geociencias hacia la comunidad". Universidad de Concepción. 18 al 23 de noviembre del 2018.**
  
11. Desarrollando docencia inter y transdisciplinarias de pregrado: lecciones aprendidas del CFG sobre riesgo de desastres  
Jaime Campos, Carmen Paz Castro, Rose Marie Garay, Juliette Marin and Ricardo Tapia  
**Congreso Internacional de Orientación para el Aprendizaje en Educación Superior, Santiago, Chile, 24, 25 y 26 de octubre 2018.**

12. Explorando los vínculos entre institucionalidad del conocimiento, conflictos territoriales y desastres socionaturales. La crisis de Aysén de 2007 revisitada;  
Juliette Marin, Julian Cortés, Enrique Aliste, Jaime Campos  
**XIII Congreso Chileno de Ciencia Política, Santiago, Chile, 24-26 octubre 2018.**
13. Free Oscillations of the Earth observed with continuous GPS; Riquelme, S., Bravo, F., Fuentes, M., Campos, J., and Toledo, P  
**AGU Fall Meeting, New Orleans, USA, 11-15 December 2017.**
14. Implications on 1+1 D runup modeling due to time features of the earthquake source;  
Fuentes, M., Riquelme, S., Campos, J.  
**AGU Fall Meeting, New Orleans, USA, 11-15 December 2017.**
15. Detecting Emergency Situations by Inferring Locations in Twitter  
Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J.;  
**European Summer School in Information Retrieval (Symposium), Septiembre 2017, Barcelona.**
16. Using IMS IS-13 and IS-14 stations to analyze strong seismic and volcanic activity in Chile;  
De Negri, R., Garcia, P., and Campos, J.,  
**CTBT: Science and Technology Conference** in Vienna, Austria, 26th to 30th of June, 2017.
17. Detecting Emergency Situations by Inferring Locations in Twitter,  
Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J., *Accepted in HCOMP 2017, The fifth AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing*, Quebec City, Canada, October 24-26, 2017.

#### 4. Otros Medios y/o Columnas de Opinión

Medios de comunicación:

<http://www.dgf.uchile.cl/noticias/141003/nuevos-paradigmas-y-desafios-para-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres>

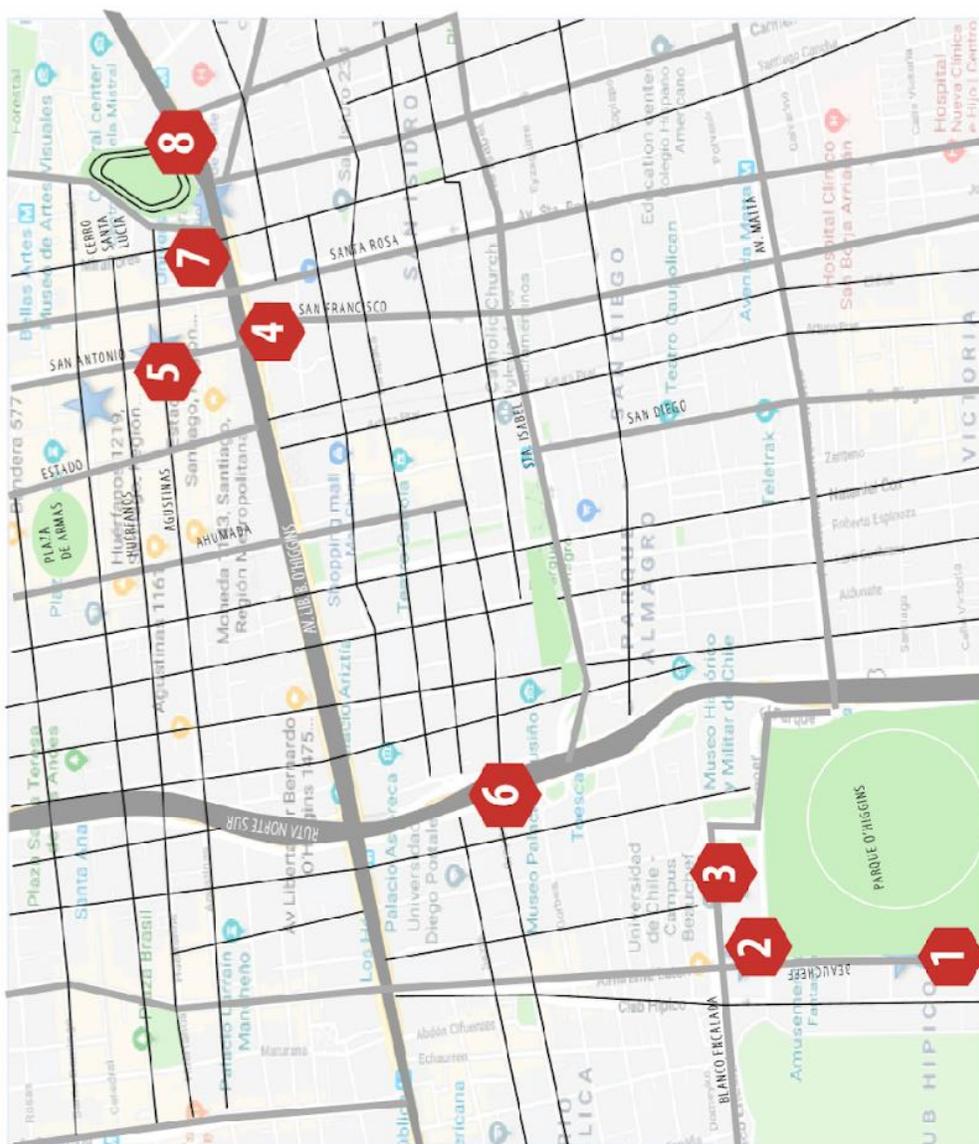
Patrimonio cultural y reducción del riesgo: ¿por qué y para qué?

Jaime Campos, Juliette Marín, Sonia Pérez, Sandra Rojas, Ricardo Tapia.

El Desconcierto, 13 octubre 2018.

<https://www.eldesconcierto.cl/2018/10/13/patrimonio-cultural-y-reduccion-del-riesgo-por-que-y-para-que/>

## TE INVITAMOS A RECORRER EL CENTRO DE SANTIAGO BUSCANDO LA HUELLA DE LOS DESASTRES EN LA CIUDAD



1. Oficina Nacional de Emergencia ONEMI (punto de partida)
2. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (construida en 1911)
3. Centro Sismológico Nacional (antes Servicio Sismológico de Chile)
4. Iglesia San Francisco (dispositivos sísmicos prehispánicos)
5. Iglesia Los Agustinos (Cristo de Mayo)
6. Iglesia San Lázaro (arquitectura neogótica)
7. Plaza Vicuña Mackenna (San Saturnino)
8. Cerro Santa Lucía (1º servicio sismológico)

Completa tu ruta de los saberes:




- Establecer lineamientos estratégicos de trabajos conjuntos entre instituciones chilenas e italianas.
- Generar convenios bilaterales.
- Ser referentes nacionales en tema patrimonio y riesgo de desastres.
- Posicionar internacionalmente a la Universidad de Chile.

### **Acciones y resultados:**

En agosto 2018 se realizó un primer encuentro en la FCFM de la U. de Chile, llamado “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de experiencias y proyecciones”, en el que participaron representantes de ONEMI, Sernageomin, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Desarrollo Social, Consejo de Monumentos Nacionales, Centro Sismológico Nacional, Superintendencia de Servicios Sanitarios, Cruz Roja Chilena, Fuerza Aérea de Chile y universidades, entre otros. Ambas jornadas contaron con la participación de más de 60 expertos provenientes del mundo académico o público, y fueron transmitidas vía *streaming* por los canales oficiales de la Universidad.

Este encuentro se estructuró en cinco mesas de conversación y reflexión: Mapas de riesgo de desastres: aprendizajes y desarrollos; Estrategias de habitabilidad transitoria; Memoria y patrimonio ante desastres socionaturales; Nuevos avances científicos y tecnológicos para la identificación de geoamenazas; y Diálogo de culturas y saberes para la reducción de riesgo de desastres.

En paralelo, en octubre 2018 se organizó un encuentro internacional en Roma, Italia. Este tuvo lugar los días 1 y 2 de octubre, sobre “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de experiencias y proyecciones Chile – Italia”, en el que instituciones académicas y públicas de ambos países discutirán sobre experiencias, desafíos y posibles colaboraciones conjuntas. Estas jornadas contaron con la participación del Rector de la U. de Chile, Decano de la FCFM, miembros del PRS y del programa CITRID de la U. de Chile, académicos de la Universidad de O’Higgins, representantes de la ONEMI, MOP y del SAF. Por Italia, participaron representantes del Ministerio de Bienes Culturales, Commissione Nazionale per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi presso il DPC (Presidenza del Consiglio dei Ministri), Ministero degli Affari Esteri, Ministero del Interno-Protezione Civile, Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale, INGV, ENEA, CNR, ICOMOS, ICCROM, Università Roma Sapienza, Università Roma Tre, Università degli Studi di Perugia, Università degli Studi della Basilicata, Università Federico II Napoli.

El equipo escribió una columna, cuyo título fue “Patrimonio cultural y reducción del riesgo: ¿por qué y para qué?”, publicada en El Desconcierto el 13/10/2018. <https://www.eldesconcierto.cl/2018/10/13/patrimonio-cultural-y-reduccion-del-riesgo-por-que-y-para-que/>

En 2018, se organizó una jornada de inducción para Carabineros de Chile que participaron en pasantía con Carabinieri italianos sobre “Patrimonio & Riesgo de desastres” en conjunto con ONEMI, DIRAC y Subsecretaría de Patrimonio Cultural.

Los resultados de las jornadas de intercambio, de levantamiento de información y del estado de arte realizado fueron publicados y presentados en el XII Congreso de ACHISINA (Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica) en abril 2019 en Valdivia.

## Encuentro “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: Intercambio de experiencias y proyecciones entre académicos, investigadores y funcionarios públicos” en Santiago:

### ENCUENTRO SOBRE PATRIMONIO CULTURAL Y RIESGO DE DESASTRES:

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS Y PROYECCIONES ENTRE ACADÉMICOS, INVESTIGADORES Y FUNCIONARIOS PÚBLICOS

Lugar del evento:  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Beauchef 851, Santiago**

MARTES 28 DE AGOSTO	VIERNES 31 DE AGOSTO
9.00 - 9.30 horas: Palabras de apertura.	9.30 - 12.00 horas: Mesa 4: Nuevos avances científicos y tecnológicos para la identificación de geoamenazas.
9.30 - 12.30 horas: Mesa 1: Mapas de riesgo de desastres: aprendizajes y desarrollos.	12.00 - 13.00 horas: Pausa de almuerzo.
12.30 - 13.30 horas: Pausa de almuerzo.	13.00 - 16.00 horas: Mesa 5: Diálogo de culturas y saberes para la reducción de riesgo de desastres.
13.30 - 16.30 horas: Mesa 2: Estrategias de habitabilidad transitoria	16.00 - 16.30 horas: Cierre del encuentro.
Mesa 3: Memoria y patrimonio ante desastres sicionaturales.	

MÁS INFORMACIÓN EN: [+56229782133](tel:+56229782133) [FMEZA@DGF.UCHILE.CL](mailto:FMEZA@DGF.UCHILE.CL)

Invitan:



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**Encuentro “Patrimonio cultural y riesgo de desastres: intercambio de experiencias y proyecciones Chile – Italia” en Roma (Italia):**



**Participación en congreso ACHISINA 2019:**



## VII. Línea Vulnerabilidades e Impactos Sociales del Riesgo Sísmico, en el Contexto Andino

**Investigador responsable: Julián Cortés Oggero**

**Investigadores del equipo: Juliette Marin, Sandra Rojas, Jaime Campos.**

### 1. Colaboraciones Nacionales

- Elaboración en conjunto con la Línea Teoría del Riesgo del Programa de Riesgos y Desastres (CITRID) de la Universidad de Chile del documento: “Dinámica del riesgo: una epistemología para observar desastres socio-naturales. Síntesis integrativa Línea Teoría del Riesgo” (en proceso de correcciones finales).
- Elaboración en conjunto con la Red de Pobreza Energética de los documentos:
  - Pobreza Energética en Chile: ¿un problema invisible? Análisis de fuentes secundarias disponibles de alcance nacional.
  - Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?
- Presentación en el XIII Congreso Chileno de Ciencia Política: *La crisis de Aysén 2007 revisitada: ¿la institucionalidad del conocimiento en Chile como factor de riesgo?*
- Presentación en ONEMI de Puerto Aysén sobre el estudio “”.

### 2. Colaboraciones Internacionales

- Seminario Internacional: “Gobernanza del Riesgo y Política Pública: Desafíos Regionales” (23 de enero de 2018) FCFM. Actividad desarrollada en conjunto con la Línea Teoría del Riesgo de CITRID y la Dirección Académica de Responsabilidad Social Universitaria de la Pontificia Universidad Católica del Perú (DARS-PUCP)
- Postulación y adjudicación de la Beca de Integración Chile-Perú del Grupo Generación de Diálogo Chile-Perú de la Fundación Konrad Adenauer, con el proyecto denominado: “Análisis comparado de la institucionalidad implicada en la reducción de riesgo de desastres socionaturales: una mirada desde el voluntariado en los casos de Chile y Perú” de la estudiante María Paz Cárdenas Briones.

- Organización de la Mesa de Trabajo: *“Institucionalidad del conocimiento: diálogo Universidad- Estado”*, en conjunto con el Instituto Geofísico del Perú y en el marco del Segundo Congreso Latinoamericano de Investigación y Educación Superior Interdisciplinaria, realizado en Lima, Perú entre el 18 a 21 de Septiembre de 2018.

### 3. Estudio sobre la Resiliencia en el contexto Andino

El objetivo de esta línea es el estudio de la resiliencia en Chile y en el contexto Andino, a partir de los modelos de resiliencia urbana ante sismos y su uso en las políticas públicas territoriales.

- Publicación en revision artículo “Scientific controversy as a disaster risk factor: The 2007 seismic crisis in Patagonia, Chile” International Journal of Disaster Risk Reduction.
- Participación en el proyecto “Network for Research in Seismic Resilience in the Andean Context”, REDES 180026 de Conicyt.PI: Ricardo Herrera (DIC, FCFM).
- Presentación “Resiliencia y territorio: una mirada desde el sur global” en Seminario “Desafíos socio-ambientales en la Región de Aysén”, en la Universidad de Aysén, Coyhaique (12/8/2019).
- En 2019: Participación en la redacción y edición de la dimensión de riesgo sísmico y riesgo de desastres en un manual sobre "Género y gestión del riesgo de desastres" para Municipalidades chilenas, en colaboración con el programa CITRID, ONEMI, Ministerio de la Mujer y la Equidad de Género, OFDA y Caritas Chile. Publicación prevista en abril 2020.

## VIII. Línea Formación

**Investigadora responsable: Juliette Marin.**

**Investigadores del Equipo: Jaime Campos; Sandra Rojas; Richard Weber; Julián Cortés.**

### **1. Diploma de postítulo en *Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres***

Durante el segundo semestre de 2018, el PRS coordinó la realización de la primera versión del “Diploma de Postítulo en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres”, que se gestiona desde la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, con el apoyo de la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AGCID.

El PRS participó en el diseño de este programa de formación, cuyo objetivo es entregar a alumnos de Latinoamérica y el Caribe conocimientos avanzados, herramientas de las ingenierías y últimos antecedentes científico-tecnológicos a actores involucrados en la reducción del riesgo de desastres para que puedan concebir, diseñar, implementar, operar y evaluar proyectos que contribuyan a la reducción del riesgo de desastres siconaturales y a la resiliencia.

La primera edición del Diploma se realizó entre el 19 de noviembre y el 7 de diciembre de 2018, y contó con la participación de profesionales especialistas en temas de riesgo de diversos países de la región: Perú, Ecuador, Bolivia, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, así como de instituciones públicas chilenas (ONEMI, FACH, SERNAGEOMIN). Esta primera edición fue evaluada muy satisfactoriamente por y la AGCID, las y los estudiantes, el equipo docente y la Escuela de Postgrado de la FCFM, por lo que se recondujo para una segunda edición en 2019.

La segunda edición del Diploma se realizó entre el 18 de noviembre y el 6 de diciembre de 2019, y contó con la participación de profesionales especialistas en temas de riesgo de diversos países de la región: Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Perú, República Dominicana, Surinam, así como de instituciones públicas chilenas (MOP, ONEMI, FACH, SERNAGEOMIN, Ejército). Esta segunda edición fue evaluada aún más satisfactoriamente por y la AGCID, las y los estudiantes, el equipo docente y la Escuela de Postgrado de la FCFM, por lo que se recondujo para una tercera edición en 2020.

El Diploma considera 5 módulos:

### Módulo 1: Avances conceptuales y normativas sobre riesgo de desastres

- Marco teórico-conceptual
  - Fundamentos y modificaciones del marco teórico-conceptual
  - La construcción social del riesgo
  - Prácticas internacionales en el marco de la resiliencia
- Marco funcional, normativo internacional de la reducción de riesgos de desastres
- Responsabilidad del Estado frente a los riesgos siconaturales

### Módulo 2: Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales

- Introducción: Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales
  - El contexto andino y las geoamenazas
  - Avances en la comprensión de los procesos geofísicos de las geoamenazas
- Peligro sísmico y de tsunami
  - Taxonomía de terremotos y tsunamis
  - Dimensión preventiva y reactiva de la amenaza sísmica
- Peligro volcánico
  - Volcanismo
  - Volcanismo y peligro volcánico
- Fallas geológicas y peligros asociados
  - Fallas geológicas y remociones en masa
  - Visión espacio temporal de los peligros geológicos
  - Métodos geofísicos utilizados para el estudio de fallas geológicas
- Herramientas de mapeo y uso de información
- Peligros climáticos e hidro-meteorológicos
- Otras amenazas: la contaminación atmosférica

### Módulo 3: La reducción de riesgos a través de la gestión pública

- Marco de la gestión pública y los sistemas complejos
- Herramientas de la gestión pública para la evaluación/implementación de proyectos
- Herramientas de la gestión pública aplicables para la reducción del riesgo de desastres

### Módulo 4: Vanguardia tecnológica para la resiliencia

- Introducción al módulo
- Minería de Datos para el manejo de desastres
  - Calidad de datos para la minería de datos en la Web
  - Aplicación de la minería de datos para el manejo de desastre
- Tecnologías de la información y comunicación a la hora del Internet de las Cosas
  - Debilidades de los sistemas de telecomunicaciones
  - Internet de las Cosas

- Fragilidad y resiliencia en los sistemas energéticos
  - Resiliencia de los sistemas energéticos - Marco Teórico
  - Resiliencia de los Sistemas de Distribución
  - Herramientas matemáticas para el estudio de la resiliencia en sistemas energéticos

#### Módulo 5: Mitigación de desastres y preparación

- Medidas estructurales de mitigación desde la ingeniería civil
- El ordenamiento y la planificación territorial para la reducción del riesgo de desastres
- Transferencia del riesgo financiero
- Sistemas de alerta temprana para la gestión de la contingencia
- Resiliencia urbana

Módulo transversal: Taller

## 2. Cursos de Formación General (CFG) en la Universidad de Chile

En 2018, se presentó un poster para el Congreso Internacional de Orientación para el Aprendizaje en Educación Superior: “Desarrollando docencia inter y transdisciplinarias de pregrado: lecciones aprendidas del CFG sobre riesgo de desastres” sobre un Curso de Formación General en el que fue diseñado y desarrollado por el Programa de Riesgo Sísmico junto con el Programa de Riesgo de Desastres (CITRID) entre 2015 y 2017.

En 2019, se diseñó un CFG llamado “Contexto Andino y fenómenos extremos: Nuevos paradigmas y controversias a 10 años del megaterremoto del 27F” que se dictará en el primer semestre 2020.

## IX. Línea Extensión y Difusión Educativa

**Investigador responsable: Sandra Rojas**

**Investigadores del equipo: Julietten Marin; Julián Cortés; Jaime Campos**

### 1. Colaboración internacional

- Programa de actividades de intercambio y colaboración, en torno al tema de gestión de riesgos de desastres, con el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y con la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Dirección Académica de Responsabilidad Social Universitaria (DARS). En las actividades de intercambio han participado alrededor de 20 especialistas de ambos países.
- Intercambio de trabajo con Italia, que involucra a la Universidad de la Sapienza y la Embajada de Chile en Roma, con actividades preparativas para la organización de eventos de difusión, que se realizarán en octubre de 2018 en Roma. Estas actividades involucran a 9 investigadores de la Universidad de Chile y, hasta ahora, 3 representantes de instituciones públicas.
- Acuerdo de cooperación (marzo 2018) entre la red de 30 satélites del Programa Copernicus de la UE y la Universidad de Chile, a través de distintas unidades, entre ellas el PRS.
- El PRS organizó y participó en el encuentro (10 abril 2018) con la delegación de 48 profesionales del Instituto de Altos Estudios para la Ciencia y Tecnología, IHEST, de Francia.
- En abril 2018 y abril 2019, invitados por el Programa de Riesgo Sísmico, PRS, una delegación de 15 estudiantes y 2 profesores del Liceo Louis le Grand de París, Francia, realizó una visita al Departamento de Geofísica y al Centro Sismológico Nacional, de la Universidad de Chile.
- Representantes del PRS participan en el Segundo Congreso Latinoamericano de Investigación y Educación Superior Interdisciplinaria (IEI 2018), organizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Su intervención se realiza en dos ejes temáticos (1) Impacto de la interdisciplinariedad y de la transdisciplinariedad en las prácticas sociales y políticas públicas y (2) Transdisciplinariedad y gestión de riesgos de desastres (septiembre de 2018).

- Posterior al Congreso, se realizan reuniones y encuentros en con el Instituto Geofísico del Perú, a propósito del convenio de colaboración con la Universidad de Chile (septiembre de 2018).
- Charla sobre peligro y riesgo sísmico en el contexto Andino en el colegio Eugène Delacroix (Maison-Alfort, Francia) el 23/9/2019.

## 2. Eventos internos – Universidad de Chile

PRS ha realizado seminarios internos en torno a diversos temas:

- "Remociones en masa y tectónica activa: Desde una mirada global hasta el contexto andino" (enero 2018).
- "Tasa de variación latitudinal de la rigidez del corte geomagnético en el margen convergente activo de Chile" (abril 2018).
- "Modeling fault slip initiation: Stiction and the transition from pre-sliding to gross-sliding" (septiembre 2018).

En estos eventos participó un total de 80 personas, entre académicos, investigadores y estudiantes de pre y post grado.

## 3. Eventos abiertos a todo público

- "Gobernanza del Riesgo y Política Pública: Desafíos Regionales" (Santiago, enero 2018)
- "Observando los fenómenos geofísicos", Campamento Explora Va! (Valparaíso, enero 2018)
- "El Periodismo en un País de Amenazas Naturales" (Santiago, abril 2018)
- "La crisis de Aysén 2007 revisitada: ¿la institucionalidad del conocimiento en Chile como factor de riesgo? (Puerto Aysén, junio 2018)
- Encuentro entre investigadores Universidades de Chile y Aysén (Coyhaique, junio 2018)
- "Observando los fenómenos geofísicos", Campamento de Educación en Ciencias Explora VA! (Valparaíso, julio 2018)
- Exposismos y Ruta de los saberes en el marco del Día del patrimonio (mayo 2019)

En estos eventos participó un total de 450 personas, entre académicos, investigadores, periodistas y docentes de establecimientos escolares del área de las ciencias.

## 4. Proyectos de valoración y divulgación científica

#### - **Ruta de los Saberes**

El Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile con la colaboración del Archivo Andrés Bello, de la misma casa de estudios, la Municipalidad de Santiago y Explora CONICYT desarrollaron un proyecto para recuperar el patrimonio científico que alberga el Cerro Santa Lucía, creando la Ruta de los Saberes.

La iniciativa pretende recuperar los espacios que representan el patrimonio científico que albergaba el Cerro en el pasado, particularmente la caverna donde estuvieron los primeros instrumentos científicos de sismología, en vistas a crear un Museo Abierto de las Ciencias de la Tierra.

Acciones realizadas:

- Se firmó un convenio colaboración entre la I. Municipalidad de Santiago y la Universidad de Chile (2015).
- Se elaboró un concepto para generar un centro de interpretación en la caverna donde estuvieron instalados los primeros sismógrafos.
- La Universidad de Chile hizo un estudio de las condiciones geológicas-geotécnicas que señaló los requerimientos para la reparación estructural de los espacios.
- Se identificó una RUTA CIENTÍFICA con distintos puntos.
- Explora CONICYT financió instalación de la primeras señalética y material de difusión de la Ruta.
- Se instalaron los primeros hitos de la Ruta de los Saberes (diciembre 2018)

## 5. Proyecto Asociativo Regional Explora RM Sur Poniente

#### - **Postulación al VIII Concurso Proyecto Asociativo Regional (PAR) de Divulgación y Valoración Científica y Tecnológica Explora 2019-2022**

Durante los meses de agosto y septiembre de 2018, el Programa Riesgo Sísmico elaboró una propuesta para presentar a Explora CONICYT que se denominó “Ciencia Abierta y Colaborativa para el Buen Vivir”. El proyecto fue presentado para desarrollar un conjunto de programas dirigidos a las comunidades educacionales de 22 comunas del sector Sur Poniente de la Región Metropolitana.

#### - **Adjudicación y puesta en marcha del Proyecto**

A comienzos de marzo de 2019, el Programa Riesgo Sísmico se adjudicó el proyecto antes mencionado, siendo una iniciativa del Ministerio de Ciencia liderada por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

En una primera etapa, el proyecto implicó un conjunto de tareas de carácter más interno:

- Apoyo a la conformación de un equipo de trabajo que finalmente quedó conformado por 13 personas.
- Ubicación de instalación de oficinas dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile..
- Primer encuentro con profesores y directores de establecimientos escolares (17 abril)
- Lanzamiento oficial (7 mayo)
- Inicio convocatorias para principales iniciativas de trabajo.

#### - **Iniciativas de trabajo del Proyecto**

El Proyecto Asociativo Regional, PAR, Explora de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, dirigido por el equipo del PRS, desarrolla iniciativas dirigidas a comunidades escolares y público en general. Éstas son;

- Programa de Indagación para Primeras Edades, PIPE
- Investigación Científica Escolares, para estudiantes de básica y media.
- Congresos de Investigación Científica Escolar
- Campamento de profesores (50 docentes)
- Teatro y Ciencia
- Ciencia Ciudadana

Las últimas dos iniciativas dan continuidad a la experiencia del PRS en materia de divulgación científica en establecimientos escolares y comunidades locales.

#### - **Primeros resultados**

Con estas iniciativas se ha amplificado la llegada a diversos públicos:

- **208 establecimientos**
- **481 docentes**
- **27.341 estudiantes**
- **Más de 4.000 personas en Semana Explora**
- **Más de 200 personas en Ciencia Ciudadana**



## Resultados Científicos Programa Riesgo Sísmico 2018 - 2019

### 1. Artículos Científicos Publicados

- Bravo F., Koch P., Riquelme S., Fuentes M., Campos J.  
*Slip distribution of the 1985 earthquake constrained with seismic and deformation data.*  
**Seismological Research Letters, 2019.**
- Derode B., Madariaga R., and Campos J.;  
Seismic rate variations prior to the 2010 Maule, Chile MW 8.8 giant megathrust earthquake, 2020, Nature Geoscience;  
**Nature Geosciences; En revisión, 2020, NGS-2019-11-02805**
- Derode B., and Campos. J.;  
*Spatial variations and depth-dependence of the seismic b-value along the Chilean part of the Andean subduction zone.*  
**Seis. Res. Lett.;under revision, 2020, SRL-D-18-00397**
- Derode B., Delouis B., and Campos. J.;  
*Systematic determination of focal mechanisms over a wide magnitude range: Insights from the real-time FMNEAR implementation in Chile from 2015 to 2017,*  
**Seis. Res. Lett. 90(3), pp. 1285-1295, 2019.**  
**doi: 10.1785/0220180322**
- Derode B., and Campos. J.;  
*Energy budget of Intermediate-depth earthquakes in Northern Chile: Comparison with shallow earthquakes and implications of rupture velocity models used,*  
**Geophys. Res. Lett. 46(5), pp. 2484-2493, 2019;**  
**doi: 10.1029/2018GL080962**
- Fuentes M. , Arriola S., Riquelme S., and Delouis B. (2019)  
*Speeding up tsunami forecasting to boost tsunami warning in Chile .*  
**Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 19, 2019: 12971304.**  
**[https://doi.org/10.5194/nhess-2019-9.](https://doi.org/10.5194/nhess-2019-9)**

- Fuentes M., Riquelme S., Ruiz J. And Campos J. (2018)  
*Implications on 1+1 D Tsunami Runup Modeling due to Time Features of the Earthquake Source;*  
**Pure Appl. Geophys. 175, 1393 - 1404.**
- Fuentes, M., Riquelme, S., Medina, M., Mocanu, M., and Filippi, R. (2019)  
*Tsunami Hazard evaluation in the Coquimbo region using non-uniform slip distribution sources.*  
**Seismological Research Letters ; 90 (5): 18121819.**
- González-Alfaro, J., Vargas, G., Ortlieb, L., Gonzalez, G., Ruiz, S. , Baez, J.C., Maden-Yogo, M., Caquineau, S., Alvarez, G., del Campo, F., del Rio, I. (2018).  
*Abrupt increase in the coastal uplift and earthquake rate since ~40 ka at the Northern Chile seismic gap in the Central Andes.*  
**Earth and Planetary Science Letter doi: 10.1016/j.epsl.2018.08.043.**
- González F-A., Maksymowicz A., Díaz D., Villegas L., Leiva M, Blanco B., Vera E., Contreras S., Cabrera D.y Bonvalot S.  
*“Modelo geofísico de cuenca, forma y propiedades”.*  
**Basin Research, 2018.**
- Leyton, F., Leopold, A., Hurtado, G., Pasten, C., Ruiz, S., Montalva, G. and Saez, E. (2018).  
*Geophysical Characterization of the Chilean Seismological Stations: First Results.*  
**Seismological Research Letter. doi:10.1785/0220170156**
- Leyton, F., Pasten, C., Ruiz, S., Idini, B\*\* and Rojas, F. (2018).  
*Empirical Site Classification of CSN network using Strong-Motion records.*  
**Seismological Research Letter. doi:10.1785/0220170167**
- Leyton F., Ruiz S. and Madariaga R.;  
*Focal Mechanism, Magnitude and Finite-Fault rapid estimation using the Elliptical Patch Method in Chile.*  
**Sismol. Res. Lett , 89, 503-511. 10.1785/0220170174, 2018.**
- Leyton, F., Ruiz, S., Baez, J.C., Meneses, G. and Madariaga, R. (2018).  
*How fast can we reliably estimate the Magnitude of Subduction Earthquakes?.*  
**Geophysical Research Letter doi: 10.1029/2018GL078991**

- Leyton, F., Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Focal Mechanism, Magnitude and Finite Fault Rapid Estimation using the Elliptical Patch Method in Chile.*  
**Seismological Research Letters** doi:10.1785/0220170174
- Makysmowicz, A., Ruiz, J., Vera, E., Contreras-Reyes, E., Ruiz, S., Arriagada, C., Bonvalot, S., Bascuñan, S. (2018)  
*Heterogeneous structure of the Northern Chile marine fore-arc and its relation to the rupture of the 2014 Mw 8.2 Iquique earthquake and the currents seismic gaps.*  
**Geophysical Journal International** doi: 10.1093/gji/ggy325
- Marin, J., Mendez, I., Sarmiento, J. P.,  
*Dimensionando la precariedad urbana y su vínculo con la gestión del riesgo de desastres*  
*Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción de Riesgo de Desastres (2018), 2(2):4-15,*  
*ISSN: 0719-8477*[1]
- Medina M., Riquelme S., Fuentes M. and Campos J.;  
*Near field tsunami run-up modeling and coastal amplification in South America using non-uniform sources.*  
**Bulletin of Seismological Society of America.2020.**
- Pasten-Araya, F., Salazar, P., Ruiz, S., , Rivera, E., Potin, B., Makysmowicz, A., et al. (2018).  
*Fluids along the plate interface influencing the frictional regime of the Chilean Subduction zone, Northern Chile.*  
**Geophysics Research Letter** doi: 10.1029/2018GL079283
- Riquelme, S., Schwarze, H., Fuentes, M., & Campos, J.;  
*Near Field Effects of Earthquake Rupture Velocity into Tsunami Run-up Heights.*  
**Journal of Geophysical Research, Solid Earth, 125, First published:20 March 2020;**  
<https://doi.org/10.1029/2019JB018946> e2019JB018946.  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JB018946>
- Riquelme. S, Medina M., Bravo F., Barrientos S., Campos J., Cisternas A.  
W-phase Real Time Implementation and Network Expansion.  
**Seismological Research Letters (2018) 89 (6): 2237-2248.**  
<https://doi.org/10.1785/0220180146>
- Ruiz S., Ammirati J-B., Leyton F., Cabrera L., Potin B., and. Madariaga R.,

*The January 2019 (Mw 6.7) Coquimbo Earthquake: Insights from a Seismic Sequence within the Nazca Plate.*

**Seismological Research Letters, 90, 1836-1846, 2019.**

- Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Reply to the comment on "Historical and Recent Large Megathrust Earthquakes in Chile".*  
**Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2018.06.007**
- Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018).  
*Historical and Recent Large Megathrust Earthquakes in Chile.*  
**Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2018.01.015**
- Ruiz, S., Ojeda, J., Pasten, C., Otarola, C., Silva, R. (2018).  
*Stochastic strong motion simulation in borehole and on surface for the Mw 9.0 Tohoku-Oki 2011 mega-thrust earthquake considering P, SV and SH amplification transfer functions.*  
**Bulletin of the Seismological Society of America doi: 10.1785/0120170342**
- Saéz, M\*\*., Pasten, C., Ruiz, S. , and Salomón, J\*\* . (2018).  
*The impact of a buried high stiffness layer in the site amplification of Lolleo city, Chile.*  
**Bulletin of the Seismological Society of America. doi:10.1785/0120170274**
- Saez, M., Ruiz, S. (2018).  
*Controls on the T-phase energy flux recorded on Juan Fernandez Island by continental seismic waves path and Nazca bathymetry".*  
**Geophysical Research Letter doi: 10.1002/2017GL076790**
- Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J.;  
Domain-Independent Detection of Emergency Situations Based on Social Activity Related to Geolocations ;  
**WebSci'18: 10th ACM Conference on Web Science, May 27–30, 2018, Amsterdam, Netherlands.**  
**ACM, New York, NY, USA, 10 pages.**  
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3201064.3201077>  
[https://doi.org/10.1145/3201064.3201077.](https://doi.org/10.1145/3201064.3201077)

## 2. Artículos Científicos En Revisión y/o Preparación

- Díaz, D., Marin, J., Campos, J.  
*Un método simplificado para evaluar el riesgo sísmico del patrimonio religioso chileno: el caso de la reconstrucción de las iglesias de la Quebrada de Tarapacá*
- Fuentes, M., Uribe, F., Riquelme, S., and Campos, J.;  
*Analytical Model for Tsunami Propagation including Source Kinematics.*  
**Pure and Applied Geophysics, 2020, (En revision)**
- Marin, J., Cortés, J., Aliste, E., Campos, J.  
*Scientific controversy as a disaster risk factor: The 2007 seismic crisis in Patagonia, Chile.*  
**International Journal of Disaster Risk Reduction.**
- Siegel C., Derode B., Toledo P. and Campos. J.;  
*Seismic fault interactions, a new representation using Spin-Lattice Montecarlo Simulations;*  
**Bulletin of Seismological Society of America, 2020, (en preparación)**

## 3. Congresos

1. *The hunt for a universal friction law: a bristle-based rate and state dependent constitutive relation simulates high velocity rupture experiments, connecting fault friction across loading conditions;*  
Seth Saltiel, Jorge Crempien, and Jaime Campos;  
**AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December 2019.**
2. *Implication of common rupture velocity models on the source-parameters evaluations for shallow and intermediate-depth earthquakes in northern Chile;*  
Benoit Derode and Jaime Campos;  
**AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December 2019.**
3. *New real-time FMNEAR implementation in Chile: An advanced seismic catalogue by systematic determination of focal mechanisms, and observation of subsequent statistical seismic source parameters variations;*  
B. Derode, B. Delouis, and J. Campos;  
**8th International Symposium on Andean Geodynamics, Quito, Ecuador; 24-26<sup>th</sup> Septiembre, 2019.**

4. Scaling relation for earthquakes holds for a Chilean seismic catalog, (2019)  
Siegel C., Campos J., Derode B., and Toledo P.  
**11th International Workshop on statistical Seismology, Halone, Japan, August 18-21th, 2019.**
  
5. Resiliencia y territorio: una mirada desde el sur global  
Juliette Marin  
**Seminario Desafíos socio-ambientales en la Región de Aysén, Coyhaique, Chile, 12 agosto 2019.**
  
6. Mapas de riesgo de desastres para el patrimonio cultural: aprendizajes y desarrollos en Chile e Italia;  
J. Marin, M. Cáceres;  
**XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valdivia, Chile, 3-5 abril 2019.**
  
7. Speeding up and boosting tsunami warning in Chile;  
M. Fuentes, S. Arriola, S. Riquelme, B. Delouis, and J. Campos  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
8. Thermodynamics of a Double-Couple Fault Plane Model by Spin-Lattice Montecarlo Simulations; Cristián E. Siegel, Jaime Campos, and Patricio Toledo,  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
9. Implications on Tsunami Run-up due to Slow Ruptures Velocities;  
S. Riquelme, M. Fuentes, J. Campos, and H. Schwarze  
**AGU Fall Meeting, Washington, D.C., USA, 10-14 December 2018.**
  
10. Modelo Geofísico de la Cuenca de Rancagua y Geometría del basamento en el sector nororiente de la Cuenca de Santiago.  
**XV Congreso Geológico Chileno, "Geociencias hacia la comunidad". Universidad de Concepción. 18 al 23 de noviembre del 2018.**
  
11. Desarrollando docencia inter y transdisciplinarias de pregrado: lecciones aprendidas del CFG sobre riesgo de desastres  
Jaime Campos, Carmen Paz Castro, Rose Marie Garay, Juliette Marin and Ricardo Tapia  
**Congreso Internacional de Orientación para el Aprendizaje en Educación Superior, Santiago, Chile, 24, 25 y 26 de octubre 2018.**
  
12. Explorando los vínculos entre institucionalidad del conocimiento, conflictos territoriales y desastres socionaturales. La crisis de Aysén de 2007 revisitada;  
Juliette Marin, Julian Cortés, Enrique Aliste, Jaime Campos  
**XIII Congreso Chileno de Ciencia Política, Santiago, Chile, 24-26 octubre 2018.**

13. Free Oscillations of the Earth observed with continuous GPS; Riquelme, S., Bravo, F., Fuentes, M., Campos, J., and Toledo, P  
**AGU Fall Meeting, New Orleans, USA, 11-15 December 2017.**

14. Implications on 1+1 D runup modeling due to time features of the earthquake source; Fuentes, M., Riquelme, S., Campos, J.  
**AGU Fall Meeting, New Orleans, USA, 11-15 December 2017.**

15. Detecting Emergency Situations by Inferring Locations in Twitter  
Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J.;  
**European Summer School in Information Retrieval (Symposium), Septiembre 2017, Barcelona.**

16. Using IMS IS-13 and IS-14 stations to analyze strong seismic and volcanic activity in Chile;  
De Negri, R., Garcia, P., and Campos, J.,  
**CTBT: Science and Technology Conference** in Vienna, Austria, 26th to 30th of June, 2017.

17. Detecting Emergency Situations by Inferring Locations in Twitter,  
Sarmiento, H., Poblete, B., and Campos, J., **Accepted in HCOMP 2017, The fifth AAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing,** Quebec City, Canada, October 24-26, 2017.

#### 4. Otros Medios y/o Columnas De Opinión

Medios de comunicación:

<http://www.dgf.uchile.cl/noticias/141003/nuevos-paradigmas-y-desafios-para-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres>

Patrimonio cultural y reducción del riesgo: ¿por qué y para qué?

Jaime Campos, Juliette Marín, Sonia Pérez, Sandra Rojas, Ricardo Tapia.

El Desconcierto, 13 octubre 2018.

<https://www.eldesconcierto.cl/2018/10/13/patrimonio-cultural-y-reduccion-del-riesgo-por-que-y-para-que/>