





UNIVERSIDAD  
DE CHILE

# INFORME PROGRAMA RIESGO SÍSMICO 2021

---

Dirección: Blanco Encalada 2002, 5to Piso, Depto. Geofísica, FCFM, U. de Chile  
Tel: +56 2 2696 6563  
mail: [srojas@dgf.uchile.cl](mailto:srojas@dgf.uchile.cl)

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">2. Congresos</a> .....  | 64 |
| <a href="#">3. Working papers</a> .....   | 65 |
| <a href="#">VIII. PATRIMONIO</a> .....  | 68 |
| <a href="#">1. Tareas realizadas</a> .....  | 68 |
| <a href="#">2. Observaciones y futuros avances</a> .....  | 69 |
| <a href="#">IX. FORMACIÓN</a> .....   | 70 |
| <a href="#">1. Curso de Formación General</a> .....   | 70 |
| <a href="#">2. Diplomado Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia</a> .....                          | 70 |
| <a href="#">3. Curso de capacitación MOP</a> .....  | 71 |
| <a href="#">4. Tesis</a> .....  | 71 |
| <a href="#">5. Debate Constituyente:</a> .....  | 71 |
| <a href="#">4. Observaciones y futuros avances</a> .....  | 72 |
| <a href="#">X. DIFUSIÓN Y VALORACIÓN CIUDADANA</a> .....  | 73 |
| <a href="#">1. Proyecto Asociativo Regional Explora 2019-2022</a> .....                               | 73 |
| <a href="#">2. Proyecto “Comprensión Ciudadana de los Fenómenos Geofísicos y los Desastres”</a> ..... | 73 |
| <a href="#">3. Diseño y Comunicación Visual</a> .....   | 74 |
| <a href="#">4. Estadísticas sitio web</a> .....   | 77 |
| <a href="#">5. Posicionamiento en prensa</a> .....  | 80 |
| <a href="#">6. Redes Sociales</a> .....   | 80 |
| <a href="#">ANEXO 1: Bitácora Misión Antártica PRS-CSN (ECA 57 INACH)</a> .....                       | 82 |

## INTRODUCCIÓN

El presente Informe entrega los principales avances y resultados alcanzados durante el año 2021, en las distintas líneas y proyectos del Programa Riesgo Sísmico, PRS.

Al igual que en los períodos anteriores, se ha venido trabajando para asegurar el desarrollo y transferencia tecnológica, científica y de formación de expertos que el país requiere desde la academia a las diferentes instituciones de la sociedad, para responder adecuadamente a la reducción del riesgo de desastres por terremotos y tsunamis.

Tal como podrán observar en las siguientes páginas, el Programa Riesgo Sísmico ha estrechado vínculos con instituciones públicas y privadas relacionadas con la reducción de riesgo de desastres con las cuales ha consolidado fuertes lazos de colaboración en áreas tales como la transferencia tecnológica, científica y de formación.

Del trabajo desarrollado durante 2021, cabe destacar el creciente énfasis en las acciones que buscan ampliar las capacidades de monitoreo y observación con el objetivo de generar un mayor conocimiento, en puntos estratégicos de nuestro país, para entender, comprender, y proyectar los efectos, riesgos y amenazas sísmicas en el territorio. A este respecto, especial énfasis merece la campaña al Territorio Antártico Nacional organizada, liderada y ejecutada por nuestro Programa en colaboración con el Instituto Antártico Chileno a inicios del presente año 2021.

Otro ámbito que destaca en la labor 2021 es el quehacer desarrollado en materia de formación que abarcó distintos niveles. Esto se tradujo en iniciativas implementadas desde el nivel de pregrado (curso de formación general) hasta programas de postgrado (diplomados), incluyendo espacios de formación especialmente diseñados para atender la demanda de especialización solicitada por instituciones públicas, como el Ministerio de Obras Públicas, MOP.

Para atender todas estas acciones de investigación, formación y extensión, focalizadas en la transferencia tecnológica en el tema del riesgo sísmico, el PRS cuenta con una comunidad compuesta por más de 30 especialistas, entre los que se cuentan investigadores, académicos, profesores seniors invitados, postdoc y estudiantes de postgrado. Con este equipo especializado espera seguir aportando a la gestión integrada de riesgos de desastres en nuestro país.



# I. LÍNEA DE PELIGRO SÍSMICO

## Integrantes equipo investigador

**Investigador Principal:** Sergio Ruiz

**Equipo Investigador:** Bertrand Potin, Francisco Pasten, Cristián Otárola

## Objetivo

Cuantificar la amenaza sísmica a lo largo de Chile.

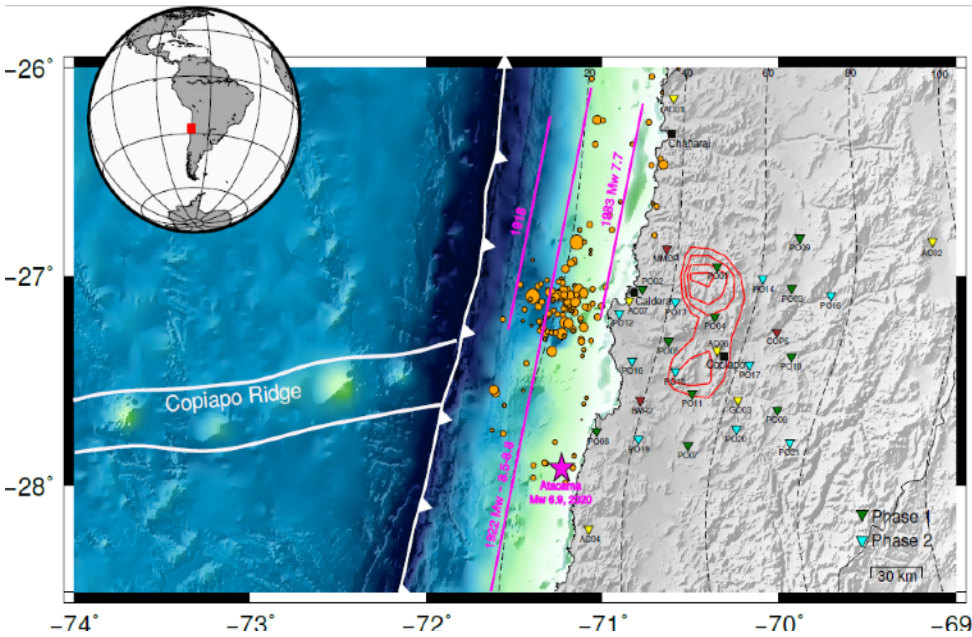
## Tareas realizadas

1. Proyecto Copiapó (2020 -2021)
2. Ruptura Dinámica de los Terremotos
3. Análisis Terremotos
4. Ruido Sísmico
5. Análisis catálogo SSN + CSN
6. Observaciones y futuros avances

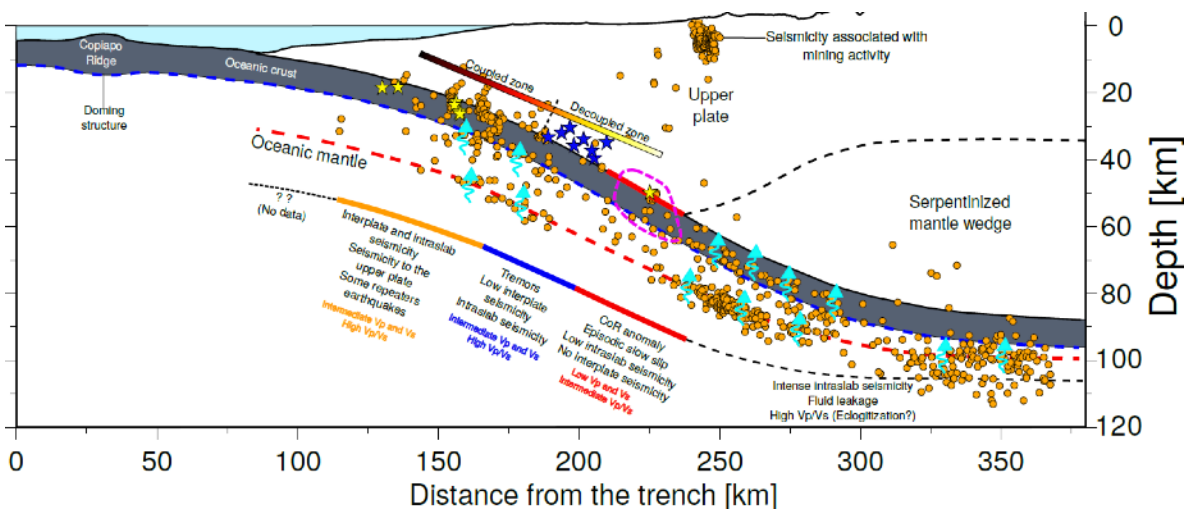
### 1. Análisis sísmico zona de Copiapó

La zona de Copiapó presenta un alto potencial sísmico. El último mega-terremoto ( $M_w \sim 8.5-8.8$ ) ocurrió cerca de la zona de estudio fue en 1922 y otros terremotos menores ocurrieron en 1796, 1918, 1983 (Beck et al., 1998; Ruiz and Madariaga, 2018; Kanamori et al., 2019). Esta zona es de interés sísmológica por la presencia de reiterados enjambres 1973, 1979 y 2006 (Comte et al., 2002; Holtkamp et al., 2011) y la ocurrencia de terremoto lentos (Klein et al., 2018). Toda esta sismicidad estaría relacionada con la presencia del ridge de Copiapó que subducta entre los  $27^\circ S$  y  $28^\circ S$ . Por estos motivos y como parte del proyecto PRS se instaló entre el 24 de Junio 2019 al 17 de Enero de 2020 una red sísmológica que ha detectado la sismicidad de la zona. En este trabajo estudiamos esta sismicidad, localizando, analizando y realizando un tomografía de llegadas de ondas P y S. A partir de estos resultados hemos detectado diferentes características de la sismicidad que se asocia a movimientos lentos de las placas de Nazca y Sudamericana, estos movimientos lentos se manifiestan como eventos similares y tremors no volcánicos. La ubicación espacial de esta sismicidad correlaciona bien con las anomalías de  $V_p/V_s$  que se observan en profundidad. Estas observaciones entregan nuevo conocimiento sobre la relación entre terremotos lentos y rápidos y su relación con la tectónica de la zona.

La Figura 1 presenta la zona de estudio y donde se instalaron las estaciones sísmicas. La Figura 2 resume los principales resultados.



**Figura 1.** Zona de Estudio



**Figura 2.** Resumen de los principales resultados de este trabajo.

## 2. Ruptura dinámica de Terremotos

Modelar en forma dinámica los terremotos permite conocer de mejor forma las variables físicas que controlan su ruptura. En esta línea del programa PRS hemos modelado dinámicamente diferentes terremotos de subducción, en particular en este último periodo nos centramos en los terremotos que han ocurrido en el Norte de Chile cerca de la fosa (Figura 4). Se han escogido 5 terremotos con

magnitudes alrededor de  $M_w$  6.5, los cuales fueron bien registrados por las redes del Centro Sismológico Nacional. Los resultados nos permiten confirmar que las características dinámicas del contacto de placas varía en profundidad (Figura 4), lo que se traduce en que estos terremotos (más cercanos a la fosa) presentan propiedades sísmicas diferentes a los terremotos más profundos.

Los resultados de este trabajo fueron publicados en la revista *Earth Planetary Science Letters*: Otarola, C., Ruiz, S., Herrera, C., Madariaga, R., Siegel, C. (2021) *Dynamic rupture of subduction earthquakes located near the trench*. *Earth and Planetary Science Letters* doi:10.1016/j.epsl.2021.116842

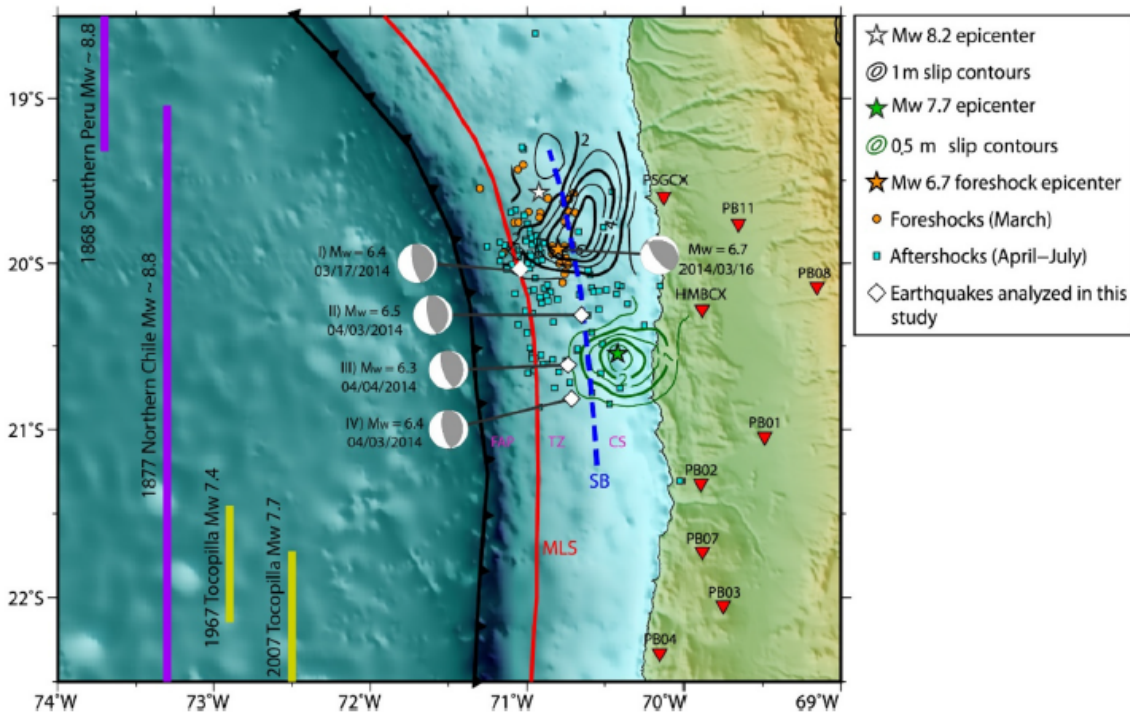


Figura 3. Sismos analizados usando un modelado dinámico.

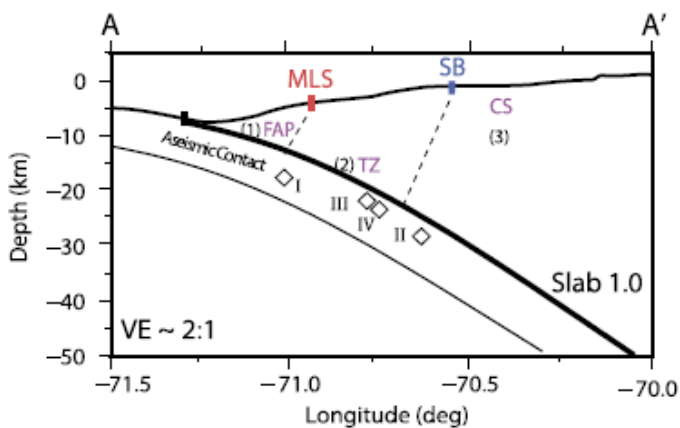


Figura 4. Perfil en profundidad donde se muestra la ubicación de los 4 sismos estudiados en este trabajo.

### 3. Análisis de Terremotos

Para cuantificar la amenaza sísmica a lo largo de Chile hemos estudiado las características de diferentes terremotos.

**3.1) Terremotos intraplaca de profundidad intermedia.** Estos sismos son muy comunes en el Norte de Chile y pueden llegar a ser muy destructivos como son los terremotos de magnitud cercana a 8.0 de Chillán 1939, Calama 1950 y Tarapacá 2005 (Ruiz y Madariaga, 2018). Aquí hemos decidido estudiar las características los terremotos de magnitud mayor a 6.0 que han sido bien registrados en el Norte de Chile (Figura 5). Las principales conclusiones obtenemos del trabajo multidisciplinario desarrollado aquí es la dependencia de la tasa de réplicas con la temperatura de la placa de Nazca. La Figura 6 resume los principales resultados de este trabajo, el cual fue publicado en la revista *Geophysical Journal International*. Cabrera, L., Ruiz, S., Poli, P., Contreras-Reyes, E., Osses, A. and Mancini, R. (2021). *Northern Chile Intermediate-Depth Earthquakes Controlled by Plate Hydration*. *Geophysical Journal International* <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa565>

**3.2) Réplicas del Terremoto de Antofagasta 1995, Mw 8.0.** Este terremoto es de gran interés por el lugar donde ocurre y porque entender correctamente sus características nos permite estimar de mejor forma la amenaza sísmica de la zona Norte de Chile. En este trabajo se re-localizaron las réplicas de este evento y se desarrolló una tomografía sísmica. A partir de estos resultados se realizó una interpretación sismo-tectónica (Figura 7). La principal y novedosa conclusión de este trabajo es la presencia de una "splay-fault" la que activó sismicidad hasta la superficie de la placa Sudamericana. La observación de estas fallas es de gran importancia porque no solo permite



estimar la amenaza sísmica de la zona sino que también entrega resultados que permiten re-estimar el potencial sísmico de la zona. Estos resultados fueron presentados en la revista *Tectonophysics: Pasten-Araya, F., Potin, B., Ruiz, S., Zerbst, L., Aden-Antoniow, F., Azua, K., Rivera, E., Rietbrock, A., Salazar, P. and Fuezalida, A., (2021). Seismicity in the upper plate of the Northern Chile offshore forearc: Evidence of splay fault around the Mejillones peninsula. Tectonophysics <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228706>*

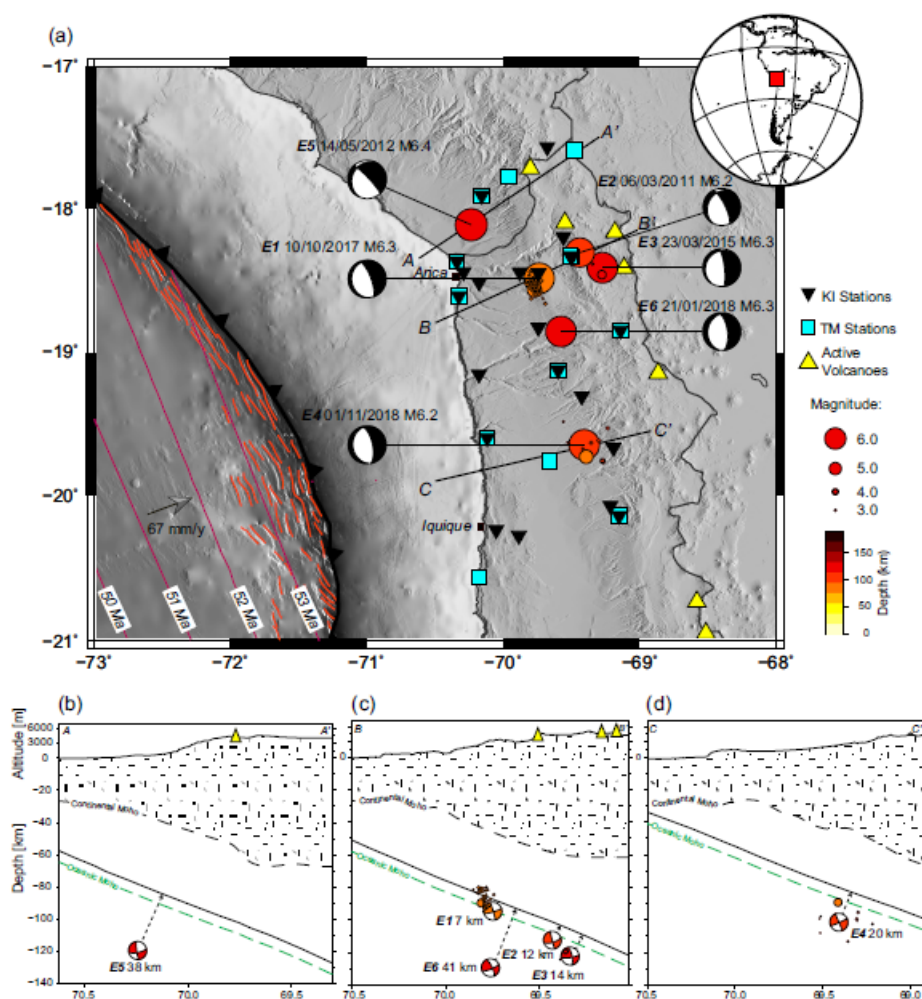


Figura 5. Ubicación en planta y perfil de los sismos de profundidad intermedia estudiados en esta línea.

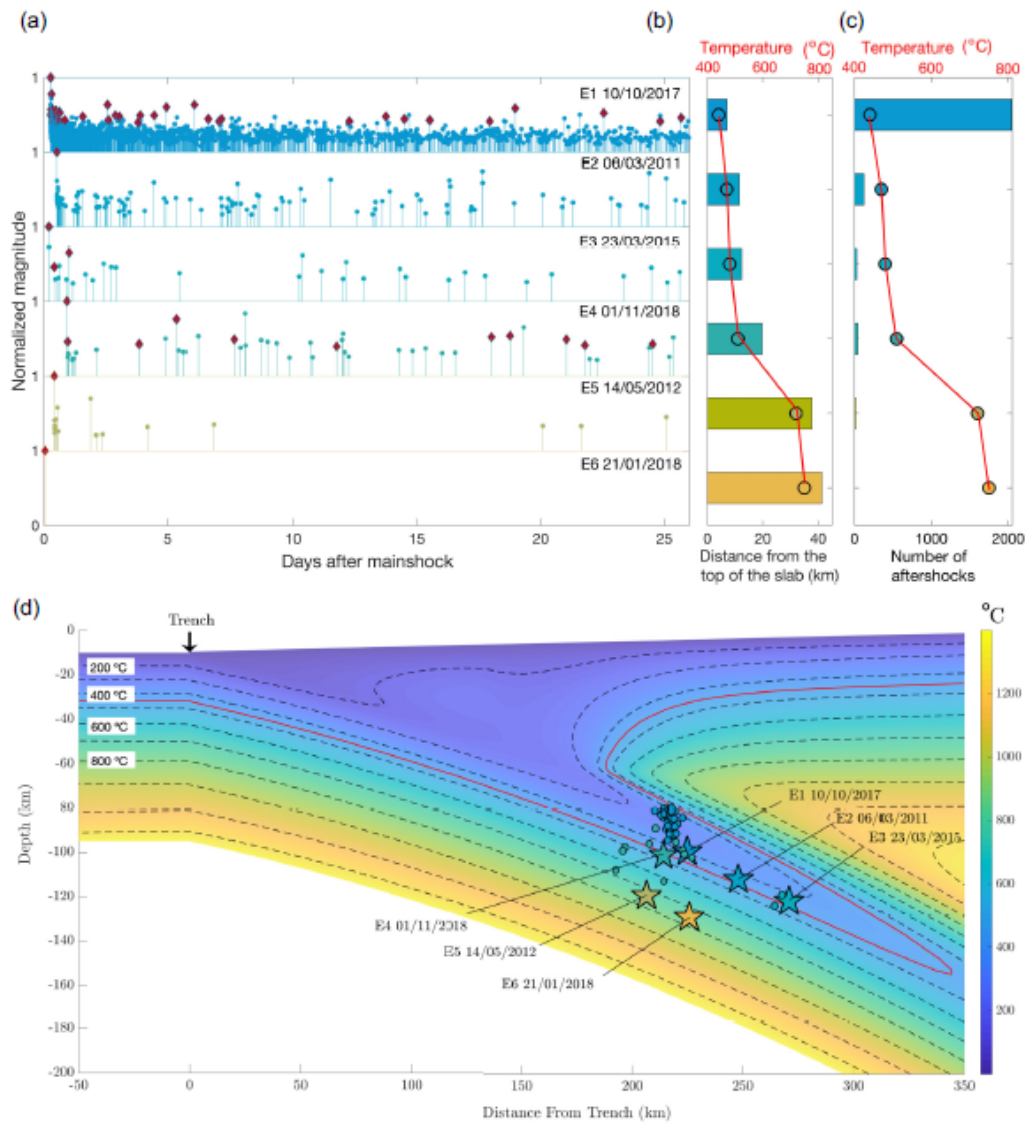


Figura 6. Esquema que representa la relación entre profundidad y temperatura a la cual ocurren los sismos estudiados aquí con su producción de réplicas.

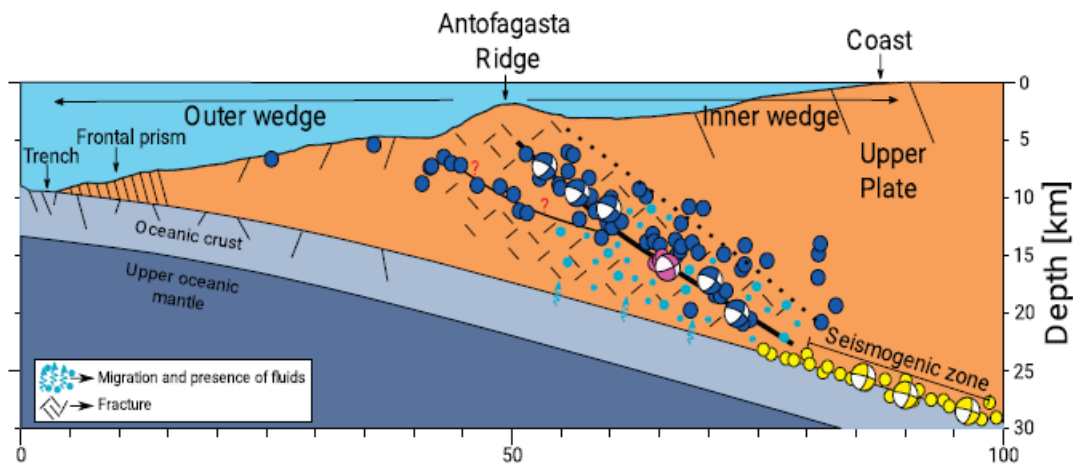


Figura 7. Presencia de Splay-Fault en el Norte de Chile, zona de Mejillones.

#### 4. Ruido Sísmico

La pandemia de COVID obligó a los diferentes países a tomar decisiones sobre la movilidad de las personas para reducir las tasas de contagio. Este hecho inédito en cuanto a movilidad social permitió confirmar que las estaciones sismológicas pueden ser utilizadas para estimar la tasa de ruido antropogénico cerca de ellas. En este estudio se analizaron las estaciones sismológicas del Centro Sismológico Nacional ubicadas en la región metropolitana y las principales ciudades de Chile para mostrar como estos instrumentos detectaron la mayor o menor movilidad social generadas por los diferentes restricciones que aplicó el gobierno. La Figura 8 resume estos resultados y además los resultados fueron presentados en la revista *Solid Earth*: *Ojeda, J. and Ruiz S., (2021) Ambient Seismic Noise variability as an indicator of urban mobility during COVID-19 pandemic in Santiago Metropolitan Region, Chile. Solid Earth doi:19.5194/se-12-1075-2021*

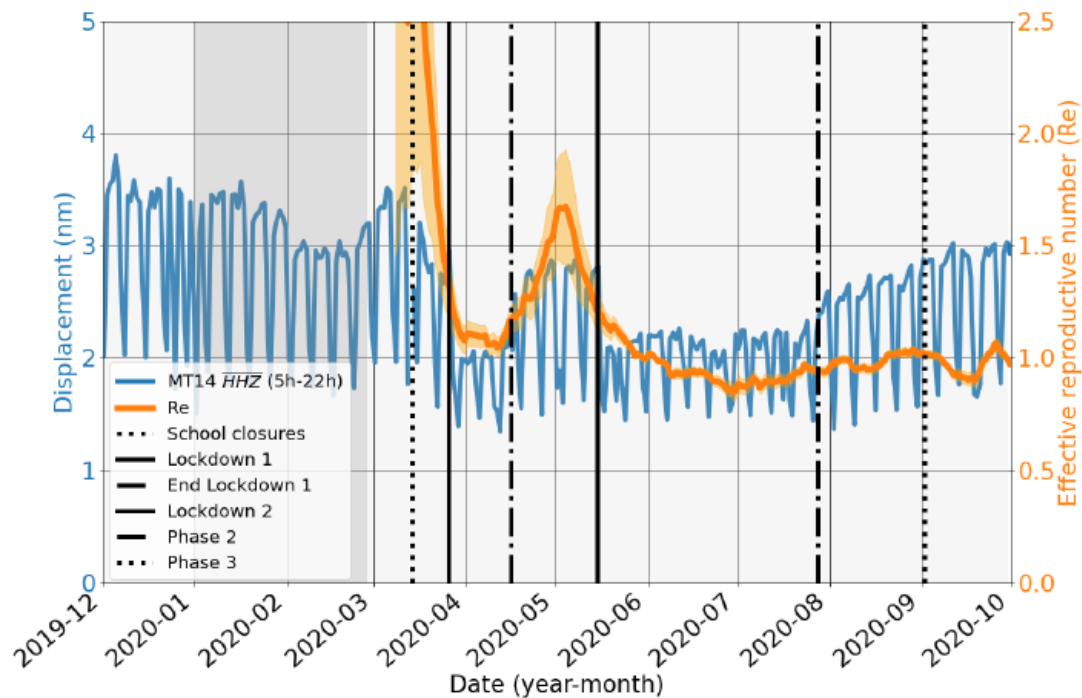


Figura 8. Variación del ruido sísmico a lo largo de 11 meses y su relación con las restricciones de movilidad y tasa de contagio.

## 5. Estudio y análisis catálogo SSN y CSN

En este trabajo se estudia el catálogo del Servicio Sismológico (1980 - 2012) y Centro Sismológico Nacional (2012 al presente). El avance de este estudio muestra que la tasa de sismicidad de las diferentes zonas de Chile es muy dependiente de la cantidad de estaciones sismológicas que se utilizan para su detección. Este trabajo se encuentra en desarrollo y presenta un estado de avance del 50%. La Figura 9 muestra la sismicidad a lo largo de Chile y su evolución en el tiempo.



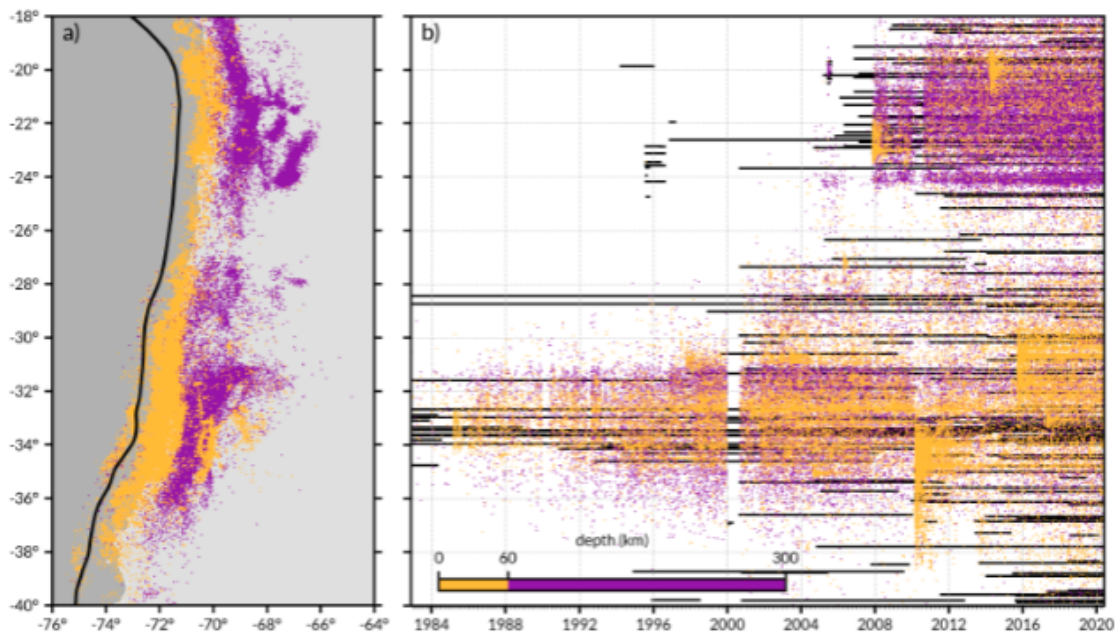


Figura 9. Sismicidad a lo largo de Chile y su evolución en el tiempo.

## 6. Observaciones y futuros avances

Durante el año 2022 esperamos continuar cuantificando la amenaza sísmica a lo largo del país. Para esto:

- 1) Estudiaremos y analizaremos la sismicidad que ocurre en la región de Coquimbo. Donde hemos desplegado estaciones sismológicas durante los últimos 2 años.
- 2) Desarrollaremos una tomografía de todo Chile lo que nos permitirá precisar como la tectónica se relaciona con los terremotos.
- 3) Retomaremos una línea en la cual durante el año 2021 trabajamos muy poco y que consiste en la generación de acelerogramas artificiales para grandes terremotos que podrían ocurrir en Chile.
- 4) Nos centraremos en entender la sismicidad lenta y rápida que ocurre en la región de Aysén, la mayoría asociada a la gran falla superficial de Liquiñe-Ofqui.
- 5) Re-estudiaremos las réplicas del terremoto del Maule 2010 con el fin de comprender el último mega-terremoto que ocurrió en Chile.

## II. LÍNEA TSUNAMI

**Investigador responsable:** Jaime Campos.

**Investigadores del equipo:** Mauricio Fuentes, Sebastián Riquelme (CSN), Rodrigo Sánchez (CSN), Miguel Medina.

**Estudiantes PhD:** Francisco Uribe.

### Objetivos

Esta línea de investigación tiene por objetivo general el estudio y comprensión del fenómeno tsunami 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 y aplicar 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 y en progreso

A continuación, se describen las actividades realizadas y su estado de avance.

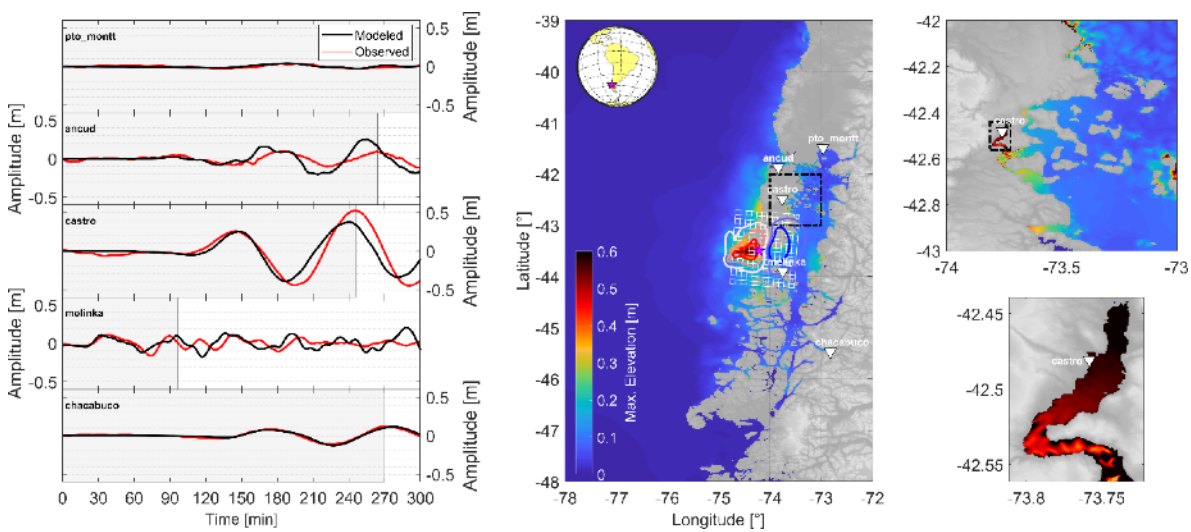
#### 1. Modelamiento analítico y numérico

##### 1.1 Reestudio del terremoto de Chiloé/Melinka, 2016

- Estado de Avance: 100%

El terremoto de Melinka ocurrió el 25 de diciembre del 2016. Este evento ha sido estudiado por múltiples investigadores alrededor del mundo, pues invoca una especial atención al respecto de una potencial reactivación de la zona de ruptura asociada al terremoto de Valdivia de 1960.

El objetivo es reexaminar la fuente sísmica. Para esto, es necesario realizar una inversión de la fuente, lo que implica la combinación de distintos tipos de datos para buscar un modelo que permita explicar todas las observaciones. Algunos de estos tipos de datos incluyen, datos de acelerógrafos, broad-band, cGPS, imágenes satelitales y mareógrafos. En particular, este estudio, se diferencia de otras pesquisas pues incluye por primera vez para este terremoto los registros mareográficos asociados al tsunami instrumental que se generó.



**Figura 1: Resumen del proceso de ajuste de observaciones de mareógrafos, asociados al paso del tsunami instrumental generado por el terremoto de Melinka de 2016.**

Debido a la complicada geometría de la zona, fue necesario incluir modelamiento numérico de alta resolución, lo que permitió simular el mareógrafo en el fiordo de castro. Los resultados no sugieren hipótesis anteriores en la que este terremoto hace parte de un ciclo sísmico superior y anterior al terremoto de Valdivia, de 1960.

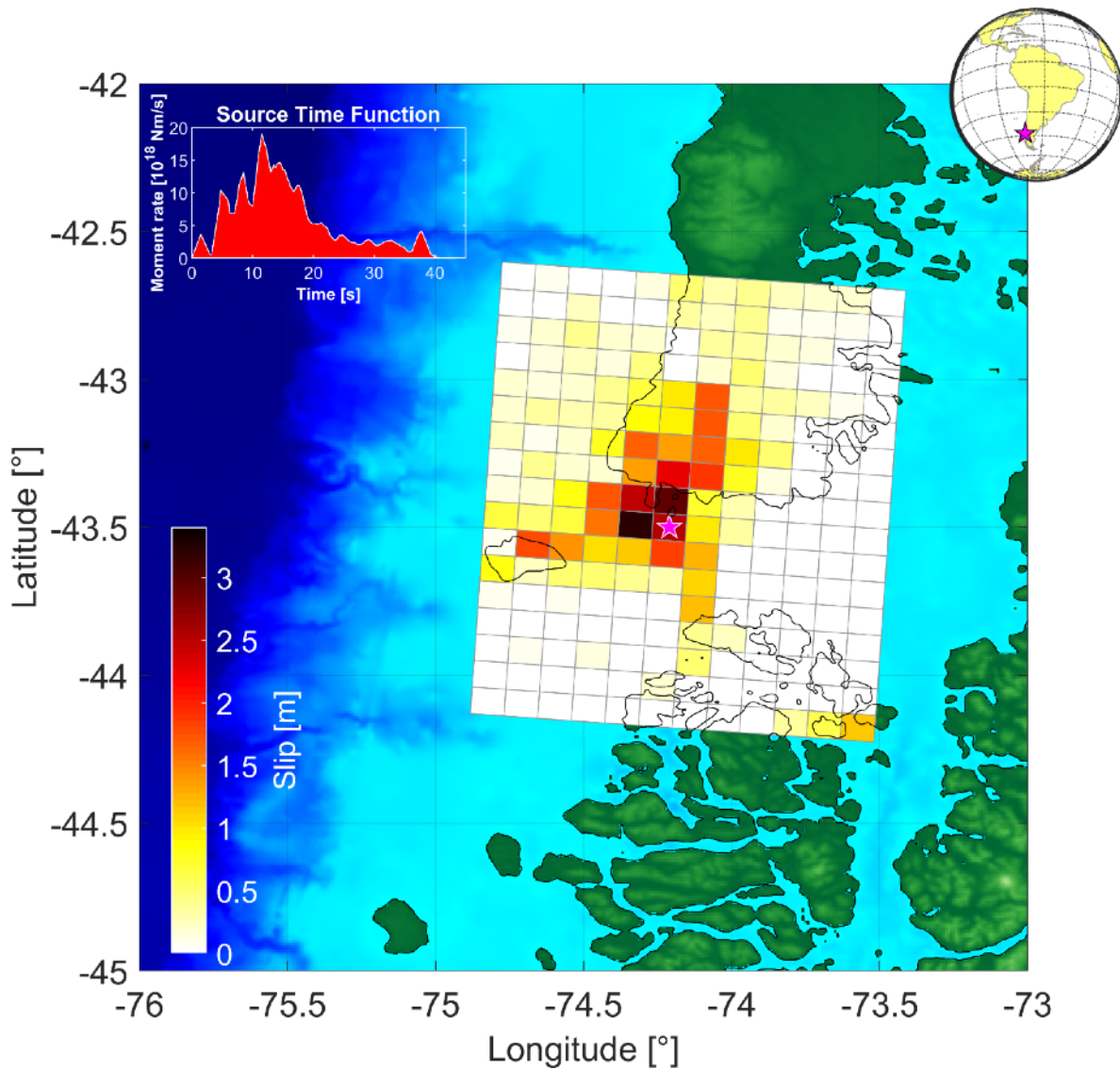


Figura 2: Resultado final de la inversión de la fuente sísmica a través del proceso de inversión conjunta.

## 1.2 Estudios analíticos de tsunamis por deslizamientos de tierra submarinos - Estado de Avance: 90 %

Se propone un modelo 2+1D para tsunamis generados por deslizamientos de tierra submarinos es tratado basados en la teoría potencial lineal. El deslizamiento de tierra submarino es modelado de la siguiente manera,

$$\xi(x, y, t) = A M_{[0,T]}(t) H\left[(x - vt)(L + vt - x)\right] H\left[\left(y + \frac{W}{2}\right)\left(\frac{W}{2} - y\right)\right]$$



Con:

$$M_{[0,T]}(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) H[t(T-t)]$$

La solución semi-analítica obtenida en este estudio es,

$$\hat{\eta}(k_x, k_y, t) = \zeta(k_x, k_y) \left\{ g_1(t^* = t - T) + g_1(t^* = t) \right. \\ \left. + i \frac{k_x v T}{\pi} [g_2(t^* = t - T) + g_2(t^* = t)] \right\}$$

Donde:

$$g_1(t^* = t - T) = \frac{H(t - T)}{2 \left[ \omega^2 - \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ e^{i k_x v T} \left[ -i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) \cos [\omega(t - T)] \right. \right. \\ \left. \left. + \omega \sin [\omega(t - T)] \right] + i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) e^{i [k_x v t + \frac{\pi}{T} (t - T)]} \right\} \\ + \frac{H(t - T)}{2 \left[ \omega^2 - \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ e^{i k_x v T} \left[ -i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) \cos [\omega(t - T)] \right. \right. \\ \left. \left. + \omega \sin [\omega(t - T)] \right] + i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) e^{i [k_x v t - \frac{\pi}{T} (t - T)]} \right\}$$

$$g_1(t^* = t) = \frac{H(t)}{2 \left[ \omega^2 - \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ -i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) \cos (\omega t) + \omega \sin (\omega t) \right. \\ \left. + i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) e^{i [k_x v + \frac{\pi}{T}] t} \right\} + \frac{H(t)}{2 \left[ \omega^2 - \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ \omega \sin (\omega t) \right. \\ \left. - i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) \cos (\omega t) + i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) e^{i [k_x v - \frac{\pi}{T}] t} \right\}$$

$$\begin{aligned}
g_2(t^* = t - T) &= \frac{H(t - T)}{2i \left[ \omega^2 - \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ e^{ik_x v T} \left[ -i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) \cos [\omega(t - T)] \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \omega \sin [\omega(t - T)] \right] + i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) e^{i[k_x v t + \frac{\pi}{T}(t - T)]} \right\} \\
&\quad - \frac{H(t - T)}{2i \left[ \omega^2 - \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ e^{ik_x v T} \left[ -i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) \cos [\omega(t - T)] \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \omega \sin [\omega(t - T)] \right] + i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) e^{i[k_x v t - \frac{\pi}{T}(t - T)]} \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_2(t^* = t) &= \frac{H(t)}{2i \left[ \omega^2 - \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ -i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) \cos (\omega t) + \omega \sin (\omega t) \right. \\
&\quad \left. + i \left( k_x v + \frac{\pi}{T} \right) e^{i[k_x v + \frac{\pi}{T}]t} \right\} - \frac{H(t)}{2i \left[ \omega^2 - \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right)^2 \right]} \left\{ \omega \sin (\omega t) \right. \\
&\quad \left. - i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) \cos (\omega t) + i \left( k_x v - \frac{\pi}{T} \right) e^{i[k_x v - \frac{\pi}{T}]t} \right\}
\end{aligned}$$

A continuación, se propone otro modelo 2+1D para tsunamis generados por deslizamientos de tierra submarinos, cuya ecuación gobernante también es la teoría potencial lineal. El deslizamiento de tierra submarino es modelado de la siguiente manera,

$$\xi(x, y, t) = A M_{[0, T]}(t) H \left[ \left( y + \frac{W}{2} \right) \left( \frac{W}{2} - y \right) \right] H[(x - vt)(L - x + vt)]$$

Donde:

$$M_{[0, T]}(t) = \frac{t}{\delta} H[t(\delta - t)] + H[(t - \delta)(T - \delta - t)] + \frac{T - t}{\delta} H[(T - t)(t - T + \delta)]$$

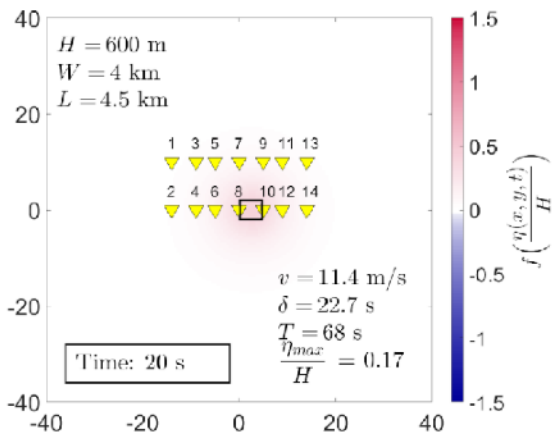
Para el segundo modelo propuesto la solución semi analítica encontrada es,

$$\hat{\eta}(k_x, k_y, t) = \frac{\zeta(k_x, k_y)}{\delta} \left\{ F(t) - F(t - \delta) + e^{ik_x v T} \left[ F(t - T) - F(t - T + \delta) \right] \right\}$$

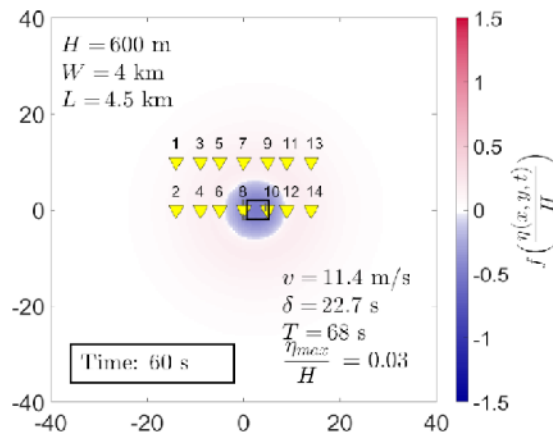
Con:

$$\begin{aligned}\frac{F(t) - F(t - \delta)}{\delta} &= \frac{e^{ik_x vt}}{\delta} \left\{ (1 + ik_x vt) \int_{t-\delta}^t \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \right. \\ &\quad - ik_x v \int_{t-\delta}^t \tau \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \\ &\quad \left. + ik_x v \delta \int_0^{t-\delta} \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \right\}\end{aligned}$$

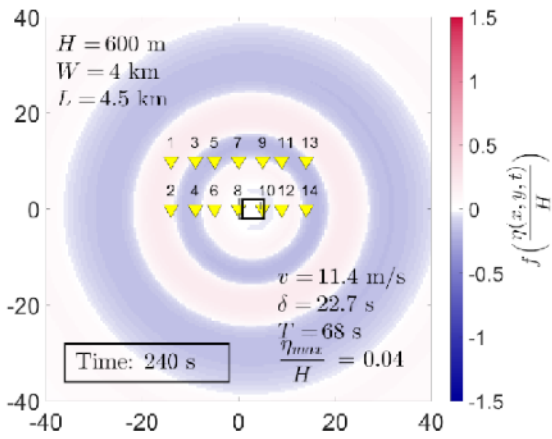
$$\begin{aligned}\frac{F(t - T) - F(t - T + \delta)}{\delta} &= \frac{e^{ik_x vt}}{\delta} \left\{ ik_x v \int_{t-T}^{t-T+\delta} \tau \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \right. \\ &\quad - [1 + ik_x v(t - T)] \int_{t-T}^{t-T+\delta} \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \\ &\quad \left. - ik_x v \delta \int_0^{t-T+\delta} \cos(\omega \tau) e^{-ik_x v \tau} d\tau \right\}\end{aligned}$$



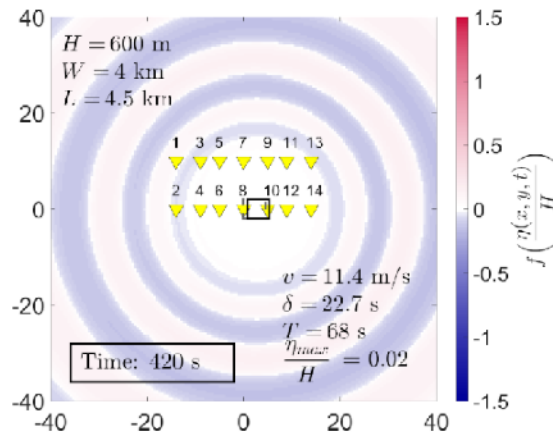
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 3: Capturas de la modelación 2+1D para un tsunami generado por un deslizamiento cuya fuente en el tiempo es sinusoidal para distintos instantes de tiempo. Los triángulos invertidos de color amarillo corresponden a las estaciones virtuales.**



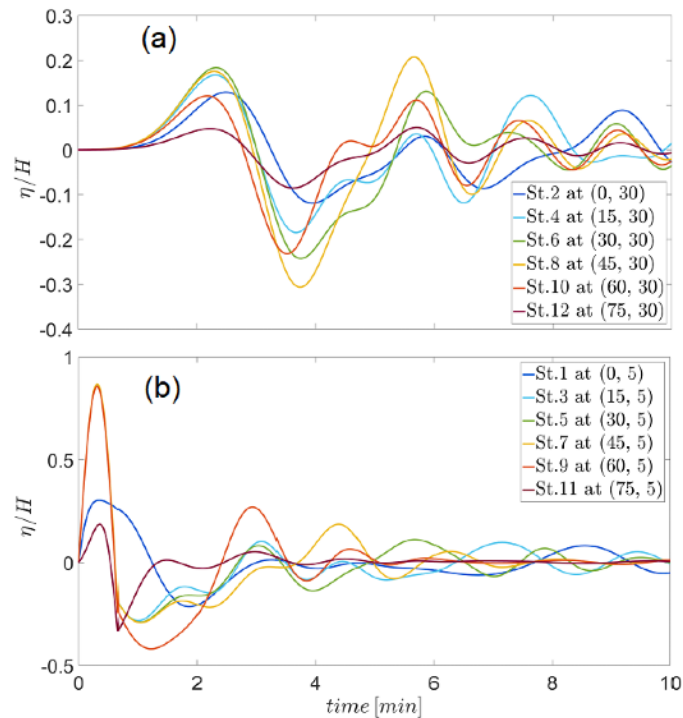


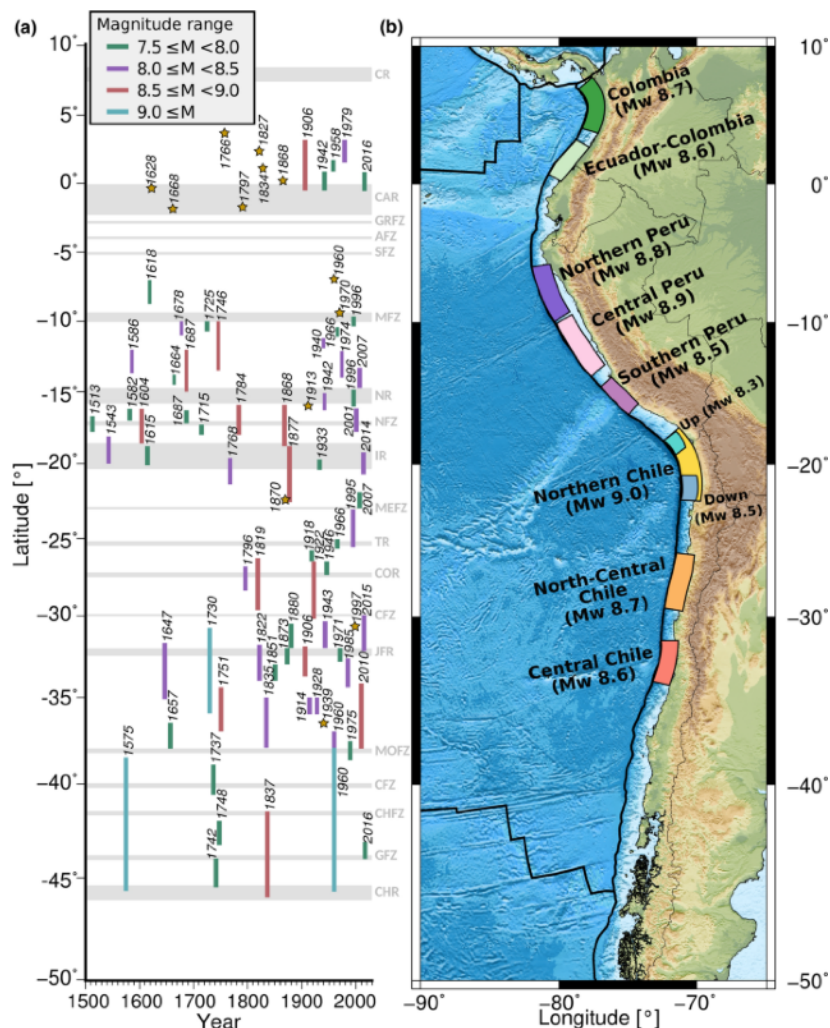
Figura 4: Serie de tiempo de la altura de la superficie libre. (a) Estaciones pares. (b) Estaciones impares.

Los modelos 2+1D realizados evidencian que es importante considerar una función suave para la modelación en el tiempo del deslizamiento de tierra, pues como se visto en estudios previos del PRS, la modelación en el tiempo a través de curvas discontinuas genera singularidades no físicas al inicio y fin del movimiento, asociado a la abrupta iniciación y frenado del movimiento (aceleraciones infinitas).

## 2. Peligro Tsunamigénico

### 2.1 Evaluación del potencial tsunamigénico en Sudamérica - Estado de Avance: 100%

El potencial tsunamigénico se encuentra presente, al menos, en todas las zonas de subducción del mundo. En particular, a nivel regional, el peligro de tsunamis en Sudamérica reviste una importancia mayor para Chile. La metodología para examinar dicho peligro en escala regional consiste en identificar las zonas de inactividad sísmica en un periodo de tiempo importante. Esta actividad se evalúa con base en la información registrada en catálogos sísmicos, lo que permite estimar las tasas de recurrencias.



**Figura 5: Zonas de estudio para Sudamérica. Cada zona alberga el potencial de ocurrencia de un terremoto característico.**

En cada una de estas zonas, se realizan 200 simulaciones numéricas de tsunamis, considerando la generación de fuentes sísmicas estocásticas. Como resultado, se obtienen curvas de probabilidad para ciertos niveles de excedencia predeterminados. Se observa que, a pesar de no ser una probabilidad alta, existen zonas en la cual la cota de seguridad de 30 m es excedida. Para evaluar con mayor detalle este problema, se requieren realizar estudios locales en las zonas de interés, puesto que se requieren de datos específicos, como las batimetrías de alta resolución.

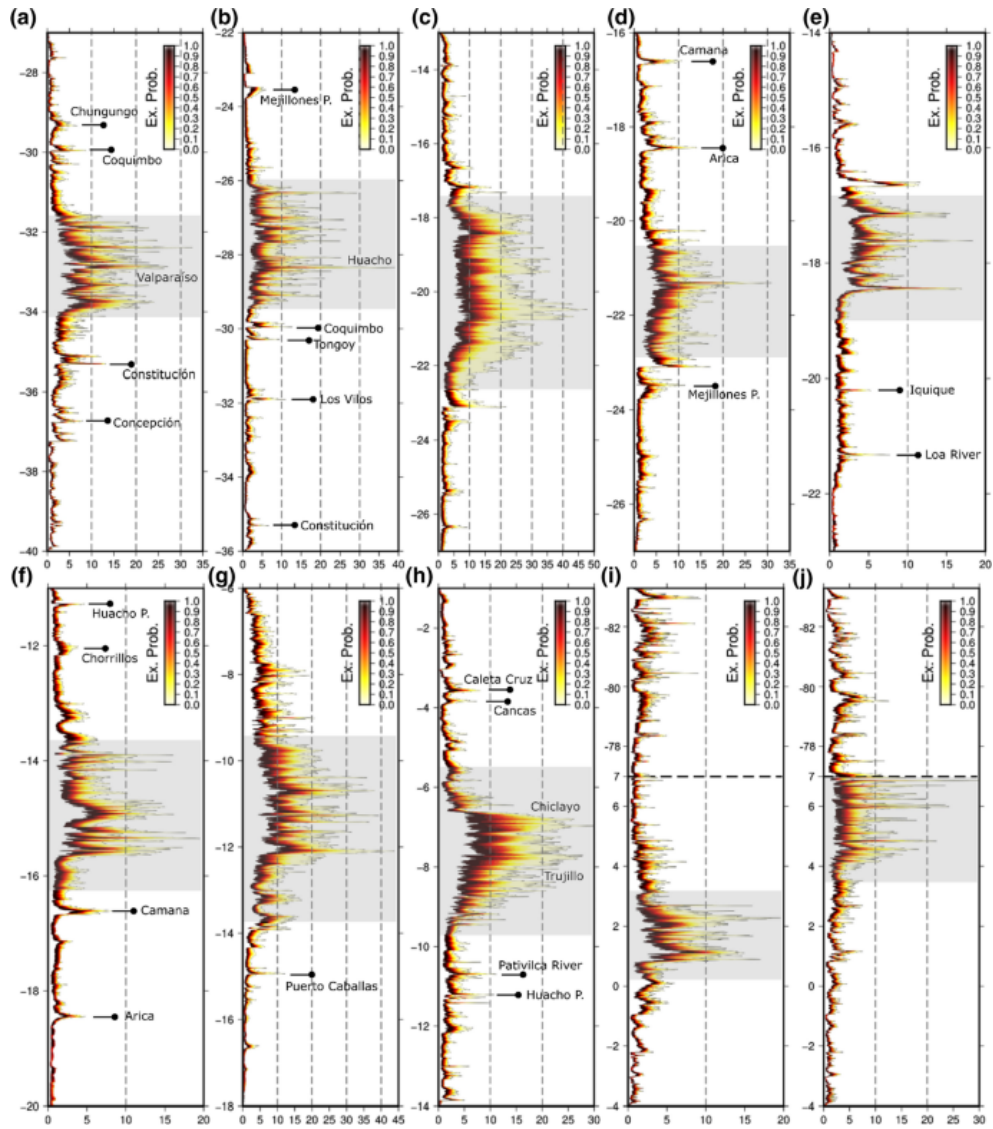
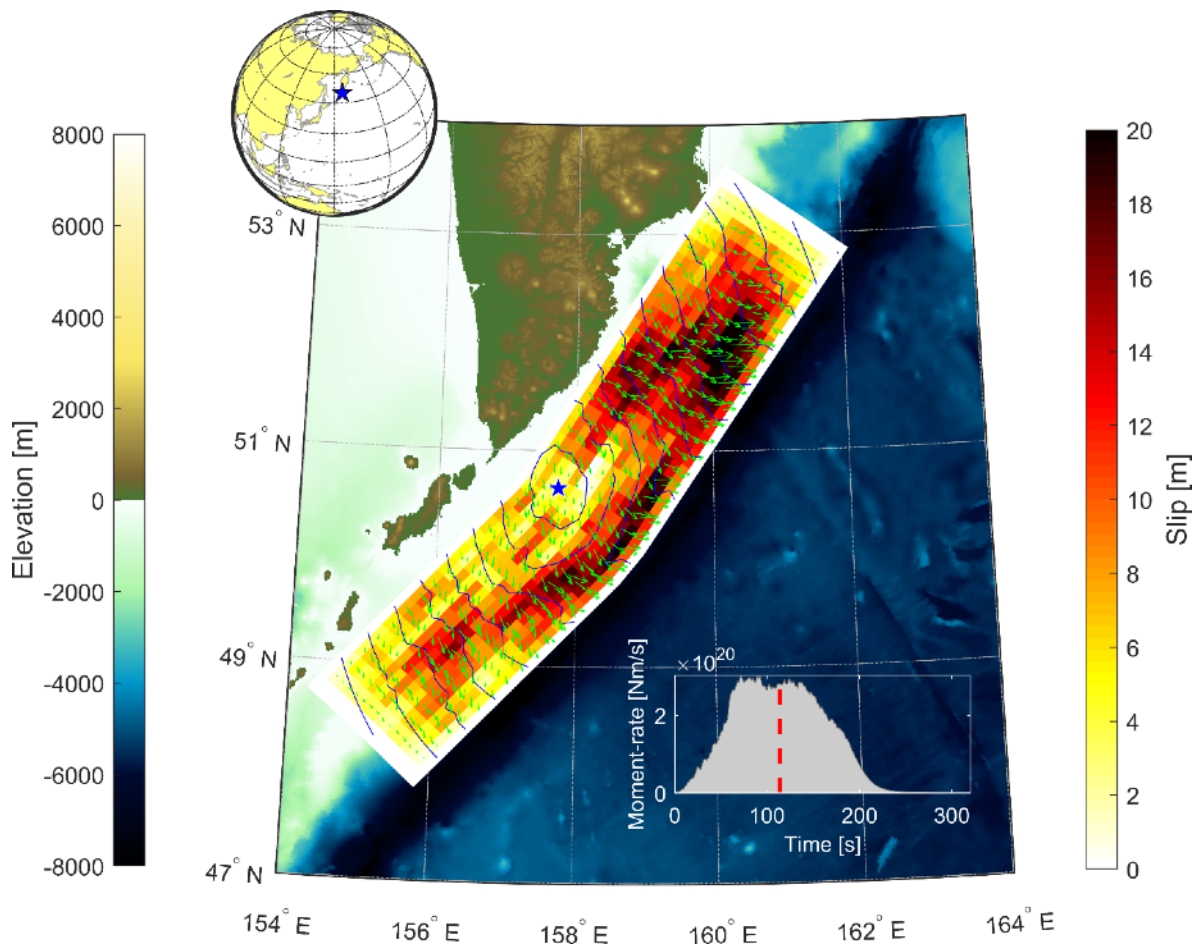


Figura 6: Probabilidades condicionales de excedencia. La escala de color indica la probabilidad de que el run-up sea excedido por un valor dado. Se observa que en algunas zonas el run-up podría exceder los 30 m.

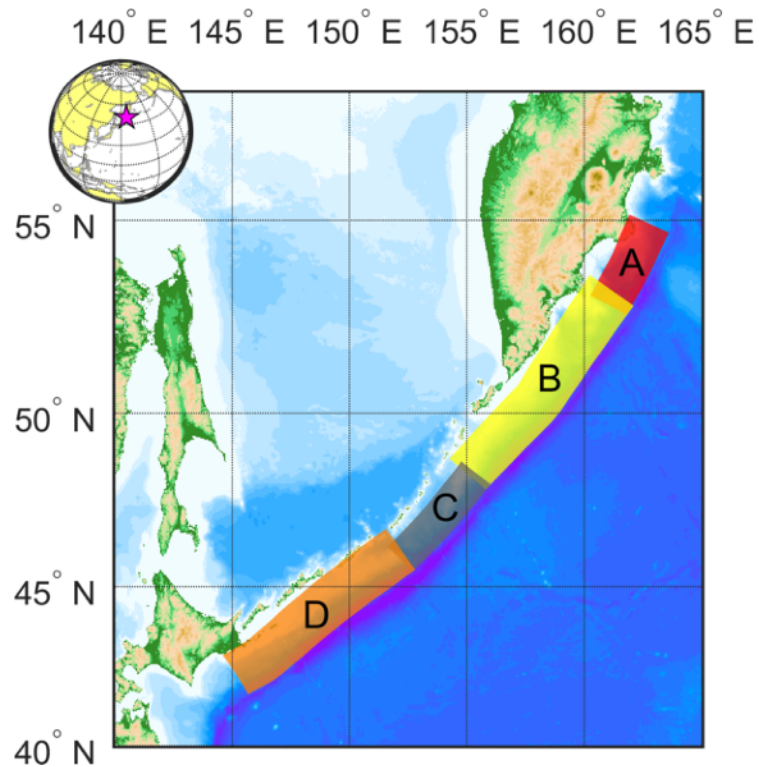
## 2.2 Fuentes Estocásticas Cinemáticas y evaluación del peligro por tsunamis - Estado de Avance: 90%

Las fuentes estocásticas son una de las herramientas más usadas para el estudio probabilístico de Tsunamis. Su diseño requiere la inclusión del conocimiento de las propiedades físicas de un terremoto. Para este fin, se han incorporado significativas mejoras a las actuales fuentes, por ejemplo, incluyendo la cinemática de la ruptura.

Esta herramienta se ha aplicado en la zona de subducción de Kurile-Kamchatka, para evaluar la capacidad de considerar las incertidumbres asociados a los distintos parámetros sísmicos.

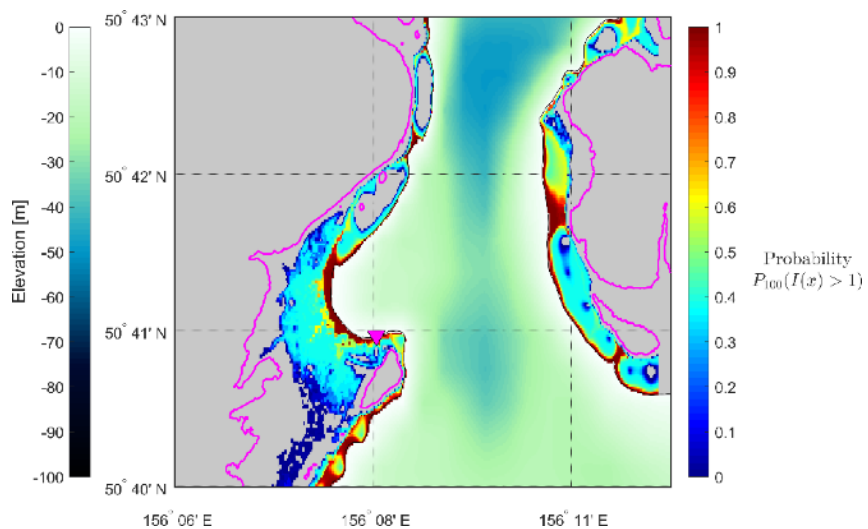


**Figura 7: Realización de fuente estocástica con cinemática de la ruptura y dirección de deslizamiento (rake) en la zona de Kamchatka.**



**Figura 8: Segmentación de la zona de estudio, donde cada zona representa un área con potencial de generar un tsunami de magnitud importante.**

En cada zona, se realizan 250 simulaciones de tsunamis, lo que permite estimar las probabilidades condicionales de excedencia. Para esta zona piloto, se ha tomado el pueblo de Severo-Kurilsk, que fue arrasada en el pasado por el gran terremoto y tsunami de Kamchatka. Así, las simulaciones requieren del uso de batimetría de alta resolución.



**Figura 9: Mapa de probabilidad total de excedencia de inundación en 1 m, para un tiempo de exposición de 100 años.**

### 3. Observaciones y futuros avances

Los estudios realizados han fortalecido el capital humano en materia de tsunami, dando como resultado tres nuevos magister en el área. Además, de esta línea, se han desprendido publicaciones científicas en revistas indexadas:

- Fuentes, M., Riquelme, S., and Toledo, P. (2021). *An approach on stochastic tsunami hazard assessment* (In preparation)
- Uribe, F., Fuentes, M., and Campos, J. (2021). *Analytic and Semi.analytic models for underwater landslide tsunamis*. (In preparation)
- Medina, M., Riquelme, S., Fuentes, M., and Campos, J. (2021). *Tsunami Modeling in the South American Subduction Zone Inferred from Seismic Coupling and Historical Seismicity*. Pure and applied Geoph. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02808-w>.
- Bravo, F., Peyrat, S., Delgado, F., Fuentes, M., Derode, B., Pérez, A., and Campos, J. (2021). *Interseismic recuperation of the giant 1960 Valdivia megathrust interplate zone evidenced by fully joint inversion of the 2016 Mw 7.6 Chiloé earthquake*. Geoph. Journal Int. (Under review).
- Riquelme, S., & Fuentes, M. (2021). Tsunami Efficiency Due to Very Slow Earthquakes. *Seismological Society of America*, 92(5), 2998-3006.

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

Para el próximo año, se planea realizar un estudio acabado del peligro de tsunami en el territorio antártico chileno. Esto es de vital importancia, pues casi la totalidad de las bases chilenas permanentes se encuentran en el borde costero y no se ha identificado con claridad la real amenaza que podría albergar esta zona remota extrema.



### III. LEYES ESCALAMIENTO GRANDES TERREMOTOS

Integrantes equipo investigador (PI, Co-PI, investigadores, ayudantes): Efraín Rivera y Raúl Madariaga

#### 1. Objetivo

Hemos estudiado el espectro de banda ancha de los mayores terremotos los últimos 25 años en Chile usando datos de aceleración y GPS de 1 Hz. Ambos tipos de datos coinciden y dan una visión nueva de los grandes terremotos chilenos. Usando estos datos resulta que el peak ground-displacement (PGD) escala con el momento sísmico a la potencia  $2/3$  hasta la magnitud  $M_w=9.0$ .

#### 2. Tareas realizadas

Estudiamos el espectro de banda ancha de los 8 terremotos más grandes que han afectado a Chile en los últimos 75 años usando registro de movimiento fuerte y datos GNSS de 1 Hz de tasa de muestreo. Con el fin de evitar problemas con la doble integración de los acelerogramas, calculamos la velocidad del suelo integrando los acelerogramas en el dominio de la frecuencia y los comparamos con registros GNSS diferenciados numéricamente.

Para calcular los espectros de velocidad del suelo usamos un algoritmo de “multitaper” con el fin estabilizar el cálculo del espectro en toda la banda de frecuencia disponible en los acelerogramas. Encontramos que los espectros de velocidad del suelo en estaciones cercanas a la fuente son completamente diferentes del espectro propuesto por Brune para el campo lejano. El espectro de velocidad del suelo de todos los grandes terremotos chilenos presenta una tendencia casi-horizontal a baja frecuencia que no existe en el espectro de Brune. A muy baja frecuencia el espectro de velocidad determinado a partir de registros GNSS y el nivel del espectro de velocidad a baja frecuencia convergen hacia el desplazamiento estático determinado con observaciones geodésicas.

Para terremotos de diferente magnitud observamos una transición entre espectros de velocidad planos a baja frecuencia hacia espectros con un máximo que coincide con la frecuencia esquina de Brune. Del estudio del terremoto de Iquique de 2014, encontramos que el espectro de velocidad del suelo cambia a una distancia mayor que 200 km de la fuente. Finalmente, verificamos que en Chile el máximo del desplazamiento del suelo (PGD), escala con el momento sísmico a la potencia  $2/3$ .

#### Estado de avance (%) *(explicar)*

100% para el estudio de los grandes terremotos. 50% para el estudio de sismos selectos como el de Valparaíso 2017.

### 3. Observaciones y futuros avances

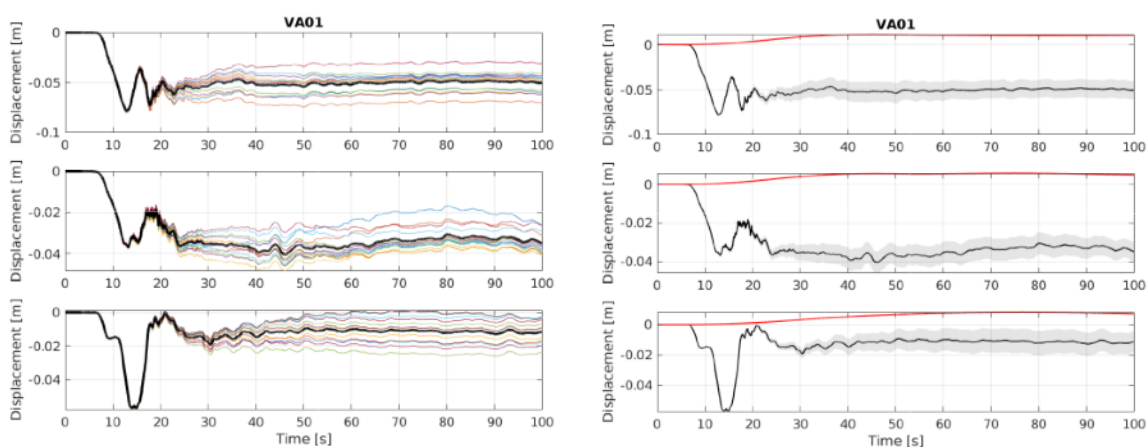
Disponemos actualmente de una excelente base de datos con numerosos terremotos registrados en la región de Santiago: Algunos ejemplos se muestran en las figuras que acompañan a esta breve reseña. En este momento estamos trabajando en la publicación del estudio de los acelerogramas del terremoto de Valparaíso de 2017. Varias figuras aparecen en las Imágenes siguientes.

#### Relación Peak Ground Displacement (PGD) con el Momento Sísmico

Utilizando los registros de aceleración para los terremotos interplaca de magnitud entre  $M6.5 - 7$  se complementó el trabajo de Rivera et al. (2021) en el cual se estudiaron los terremotos de gran magnitud ocurridos en Chile en los últimos 25 años.

Obtuvimos el registro de desplazamiento, a partir del método de doble integración propuesto por Boore (2001). Para tener una buena estimación de la línea de base en la doble integración, es necesario conocer el desplazamiento estático en el sitio. Normalmente, para eventos de gran magnitud que poseen un campo de desplazamiento importante, un instrumento GPS instalado en el mismo sitio es de gran utilidad. Para ajustar la línea de base, es necesario identificar los tiempos de inicio del sismo ( $t_1$ ) y el tiempo final ( $t_2$ ) que normalmente varía a fin de obtener un desplazamiento estático similar el obtenido por el GPS.

Sin embargo, para eventos de magnitud menor, el GPS no necesariamente tiene la suficiente resolución para estimar el desplazamiento estático. Entonces, debido a la incertidumbre que puede entregar la estimación del sismograma en desplazamiento por medio de la doble integración, se varió el parámetro  $t_2$  en una ventana de 30 s en intervalos de 2.5 s, con el fin de estimar un promedio del registro y una desviación estándar en cada punto del registro (Figura 1)



**Figura1. (Izquierda) Sismograma en desplazamiento a partir del método**

de doble integración con corrección de línea de base variando el parámetro de tiempo al final del sismo. En negro se muestra el registro promedio. (Derecha) Sismograma en desplazamiento promedio para la estación VA01 del evento de Valparaíso 2017. En sombra y en la línea roja se muestra la desviación estándar para cada punto del registro.

A partir de los PGD obtenidos para los registros calculados, estudiamos la relación entre el PGD y el momento sísmico. Se complementó el trabajo de Rivera et al. (2021) como muestra la Figura 2. Lo que se observa es que la tendencia reportada anteriormente por Rivera et al. (2021) en la cual el PGD es proporcional a  $M_0^{2/3}$ . Sin embargo, es necesario continuar estudiando los eventos interplaca de magnitud entre M6 – 6.5 para corroborar si esta tendencia cambia, como lo propone Singh et al. (2020) para los eventos interplaca de México, o esta tendencia es constante para los sismos de mediana y gran magnitud en Chile.

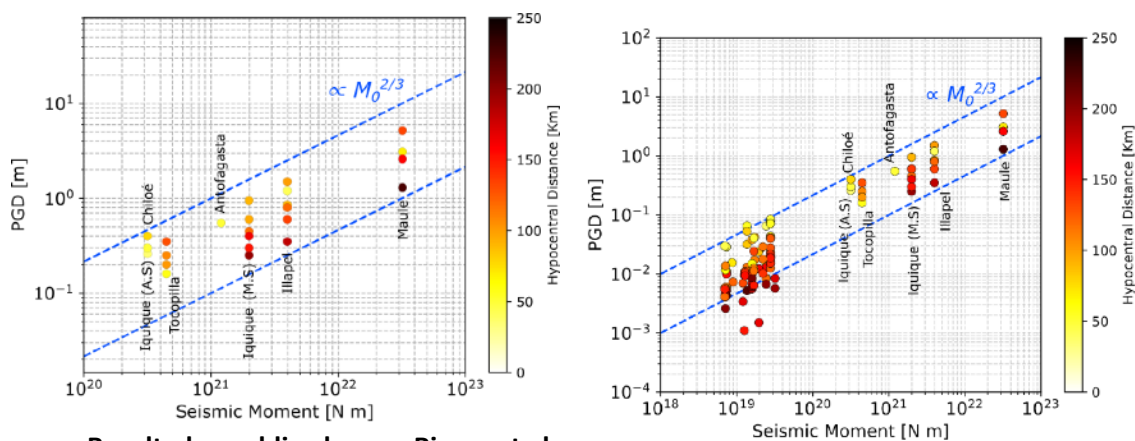


Figura 2. (Izquierda)

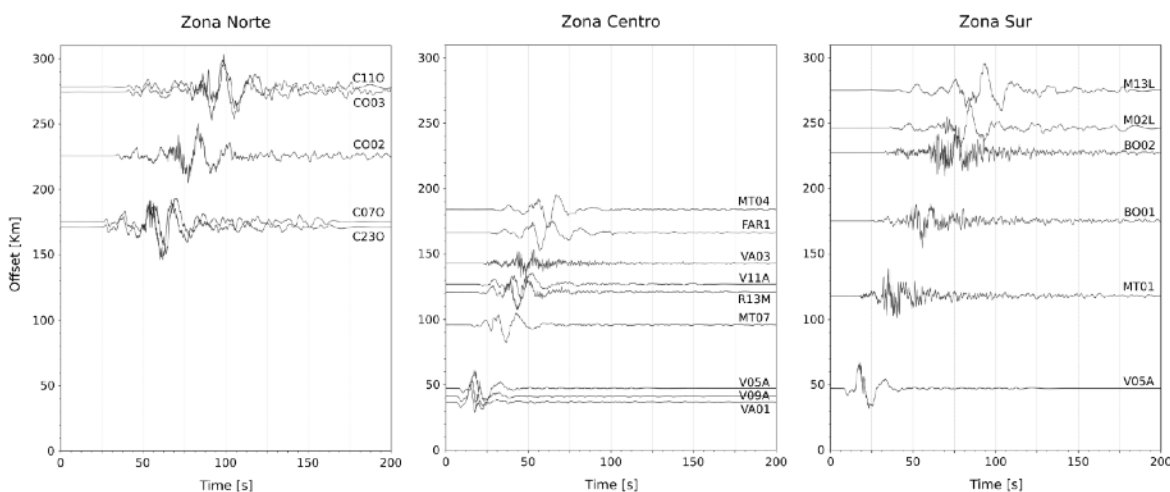
Resultados publicados por Rivera et al.

(2021)

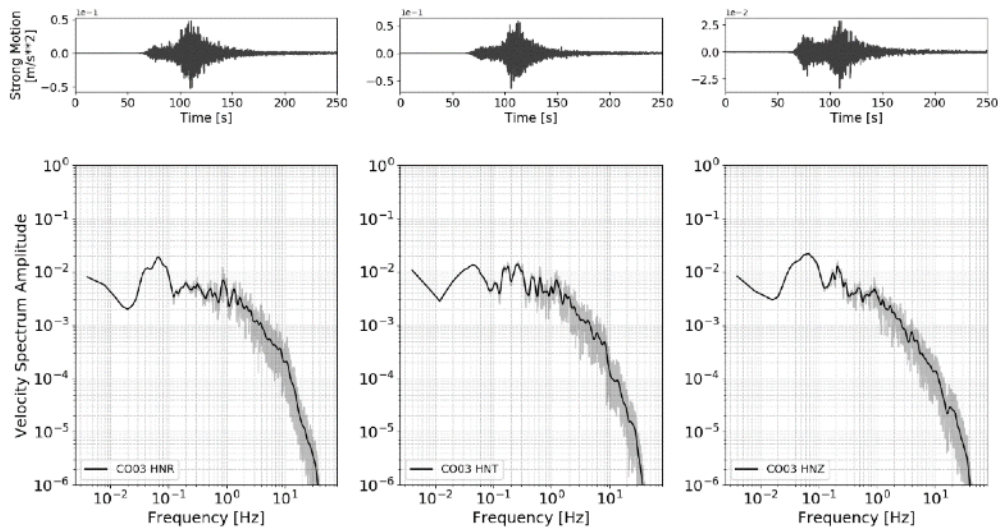
para los grandes terremotos interplaca ocurridos en Chile en los últimos 25 años. (Derecha)

Actualización de los resultados que incorpora los eventos de magnitud M6.5 – 7.

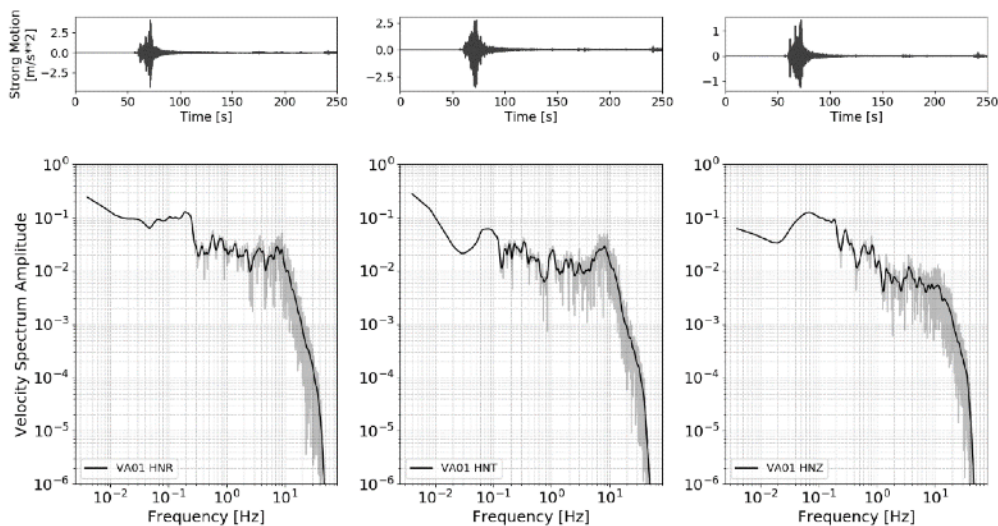
### Espectro de velocidad para el evento de Valparaíso 2017



**Figura 3. Registros de la componente radial en desplazamiento observados en distinto azimut para el evento de Valparaíso (2017). La variación de los registros en función de la distancia es clara así como la presencia de componentes de alta frecuencia en la onda S. La onda principal es una mezcla de ondas S con onda superficial de Rayleigh.**

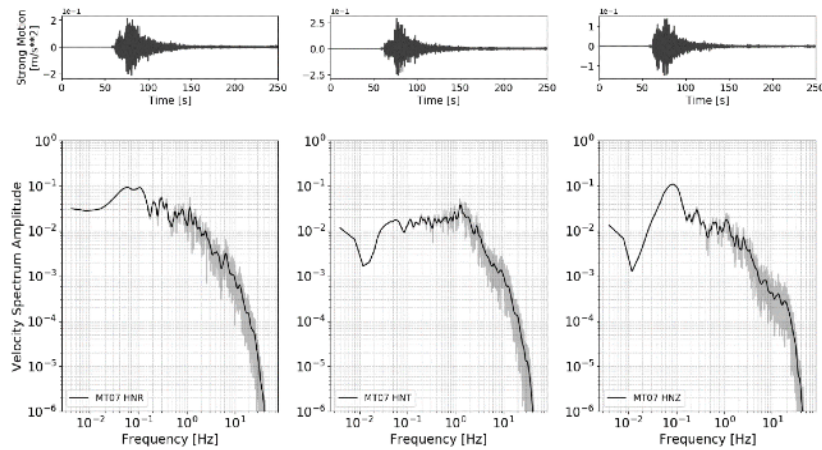


**Figura 4. Espectro de velocidad a partir del registro de aceleración del terremoto de Valparaíso de 2017 para la estación CO03 (275 Km de distancia hipocentral)**

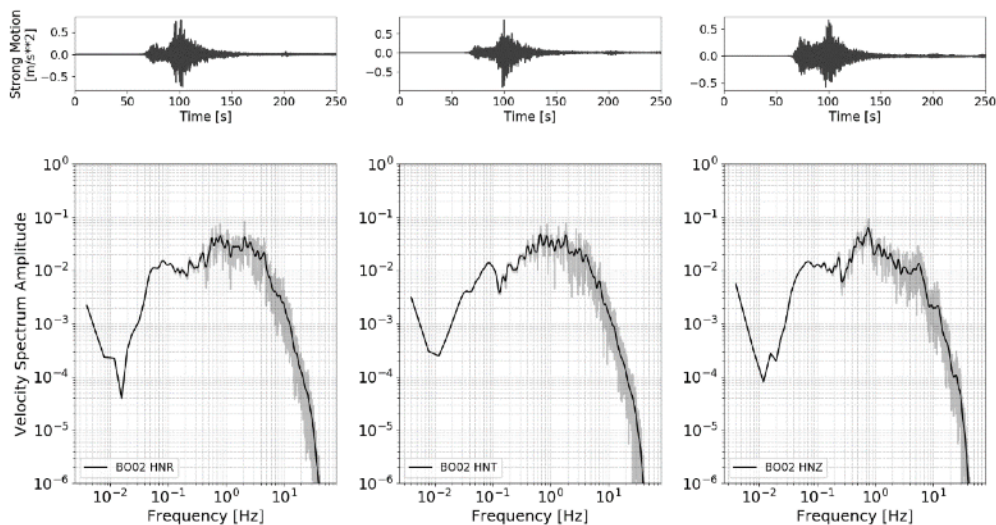


**Figura 5. Espectro de velocidad a partir del registro de aceleración para la estación VA01 del terremoto de Valparaíso de 2017 (46 Km de distancia hipocentral)**

La diferencia entre los espectros de la figura 4 y 5 son enormes. Los espectros en la estación más próxima al terremoto (VA01) y la más lejana (CO03) muy importantes. En CO03 se observa un espectro casi normal en cambio en VA01 el espectro de velocidad es casi plano entre 0.01 y 10 Herz en las componentes horizontales. El origen de estas diferencias está en curso y será objeto de una publicación que esperamos terminar en la brevedad posible.



**Figura 6. Espectro de velocidad a partir del registro de aceleración del terremoto de Valparaíso de 2017 para la estación MT07 (100 Km de distancia hipocentral). El efecto de la atenuación es evidente en esta figura para frecuencias superiores a 3 Hz en las componentes horizontales y 1 Hz en la vertical.**



**Figura 7. Espectro de velocidad a partir del registro de aceleración para la estación BO02 (230 Km de distancia hipocentral). Esta estación presenta un espectro de Brune normal con su peak en velocidad cerca de 0.6 Hz.**

**Artículos** (enviados y/o publicados durante 2021)

Efraín Rivera, Sergio Ruiz, Raúl Madariaga, Spectrum of strong-motion records for large magnitude Chilean earthquakes *Geophysical Journal International*, Volume 226, Issue 2, August 2021, Pages 1045–1057, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab128>



## IV. NODOS GDATA

**Integrantes equipo investigador: Jaime Campos, Edgardo Santibáñez, Sophie Peyrat, Patricio Toledo, Rodrigo Sánchez, Sandra Rojas**

### 1. Objetivo de los Observatorios

Mientras que en el hemisferio Norte la superficie continental representa más del 60%, en el hemisferio Sur es menos del 20%. Esta desigual situación afecta directamente a la capacidad de la ciencia en la captura de datos clave para reducir la incertidumbre de los modelos utilizados para el análisis de escenarios de geoamenazas y cambio climático.

El objetivo de los Observatorios Geofísicos Multiparámetros G-Data es generar conocimiento para entender, comprender, predecir y proyectar los efectos, riesgos y amenazas de los fenómenos naturales y cambios en el Sistema Tierra y contribuir a una gestión del territorio basada en evidencia, que permita mejorar la mitigación de los impactos de los desastres socio-naturales, del cambio climático y de la sequía, y lograr de esta manera mejorar la calidad de vida, dar sustentabilidad al desarrollo y aumentar creación de riqueza.

#### 1.1. Componentes del Programa de Observatorios

El Programa Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data consiste en Observatorios “Nodos” de instrumentos geofísicos “norma ISO” en cinco macro zonas, Nodo-Norte (Putre), Nodo-Centro (CAREN), Nodo-Sur (Aysén), Nodo-Antártica, y Nodo-Isla Rapa Nui, y en cada uno se contempla el desarrollo en fases, de los siguientes componentes:

- **Participación en G-Data**, red de observatorios geofísicos multiparamétricos descentralizada desde el extremo norte del país hasta la Antártica<sup>1</sup>.
- **Infraestructura física y digital** que asegure la captura continua y el procesamiento de la Data obtenida a través de las estaciones y observatorios multiparámetros.
- **Capacidad experta local** que asegure la Data y genere información, conocimiento y los productos de innovación regionales necesarios para la planificación, diseño, operación y gestión de la infraestructura crítica, para la gestión de desastres socionaturales y cambio climático, para la gestión del agua y para el desarrollo científico orientado y contextualizado en las macrozonas.
- **Generación de instrumentos de planificación** que incluyan como insumo datos integrados, modelos y productos basados en G-Data.
- **Plataforma integrada para la difusión**, accesibilidad y visualización de la Data.
- **Unidad tecnológica experta de inteligencia territorial** para la generación de conocimiento, sismológico, meteorológico y ambiental de apoyo a la toma de decisiones.

---

<sup>1</sup> Antártica, Aysén (Patagonia), CAREN (RM), Putre (altiplano), Islas Rapa Nui y de Juan Fernández

- **Soporte científico al quehacer de las redes existentes** de los organismos públicos de observación (CSN, DMC, Sernageomin, SHOA, , Onemi).
- **Investigación, desarrollo e innovación** que genere conocimientos y tecnologías para una mejor comprensión de los fenómenos geofísicos, las geo-amenazas y sus impactos.
- **Formación de profesionales e investigadores** en el ámbito de la observación del sistema tierra para la generación de conocimientos y la toma de decisiones basada en evidencia.
- **Servicios de valor agregado** basados en conocimiento e información para el apoyo a la gestión integral del territorio.
- **Difusión para la educación y el entendimiento público** de la geociencia y su impacto científico, tecnológico, económico, social y ambiental.

## 2. Iniciativas Estratégicas 1era Fase Nodo-Aysén

El desarrollo del programa Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data Aysén contempla en una primera fase (2021-2022) las siguientes iniciativas estratégicas:

- Instalación de una estación sismológica (PRS) y de una estación meteorológica (DMC) en Cerro Castillo.
- Conformación de un polo de investigación en sismología regional (peligro sismotectónico) y de tsunamis de fiordos en la Universidad de Aysén en colaboración con el Programa de Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile.
- Formación y capacitación en programas para el manejo de señales geofísicas (sísmicas y meteorológicas) que permita crear un mínimo "ecosistema" para realizar estudios locales en sismotectónica y peligro sísmico.
- Desarrollo de colaboración C&T y académica, nacional e internacional, con las instituciones que conforman la Red de Observatorios Geofísicos Multiparámetros G-Data, con IGN de Francia y otros actores.

### 2.1. Misión de Instalación y Lanzamiento del Programa Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data Aysén.

#### Objetivo General de la Misión

Dar inicio al Programa Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data Aysén.

#### Objetivos Específicos de la Misión

- Avanzar en el respaldo institucional a través del involucramiento de las autoridades de la Universidad de Aysén y de entidades pertinentes de la Región.
- Instalar, conectar y poner en operación una estación sismológica del PRS en Cerro Castillo.
- Inspeccionar y evaluar la factibilidad de instalar una estación meteorológica de la DMC en Cerro Castillo.
- Levantar condiciones de comunicaciones y energía para definir aspectos de la operación.

- Realizar un evento en la Universidad de Aysén de lanzamiento y presentación del Programa G-DATA Nodo Aysén, con participación de autoridades y entidades pertinentes y abierto a la comunidad.
- Concordar la elaboración de un MOU entre la Universidad de Aysén, Universidad de Chile y la Dirección Meteorológica de Chile, DMC.
- Elaborar plan y “hoja de ruta” entre el equipo de la Universidad de Aysén y el de la Universidad de Chile-DMC.

## 2.2. Misión: Visita-Instalación G-Data Aysén

En el contexto antes descrito, del 29 de noviembre al 2 de diciembre de 2021, se realizó una visita a la región de Aysén, en la que se cumplió el siguiente programa:

<http://www.dgf.uchile.cl/noticias/182274/se-inicia-instalacion-de-un-observatorio-geofisico-en-aysen>

### Lunes 29 de noviembre

- **14:15hrs** Salida Santiago-Balmaceda llegando a las 16:32hrs.
- **19:00 a 21:00** cena de camaradería, equipo UAysén, PRS, DMC y rectora UAysén.

### Martes 30 de noviembre

#### Actividad de Terreno

- **08:30 a 19:00**  
Traslado a Cerro Castillo  
  
Trabajo de Terreno en Cerro Castillo
  - Instalación de estación sismológica en Cerro Castillo.
  - Exploración para evaluación de instalación de estación meteorológica en Cerro Castillo.
- Regreso a Coyhaique

### Miércoles 1 de diciembre

#### Actividad de Lanzamiento.

- **09:30 a 12:15** Reunión/Evento de Presentación y Lanzamiento del Programa de Observatorio Multiparámetros Nodo G-Data Aysén.
- **15:00 a 17:00** Reunión-discusión UAysén + UCH +DMC para elaborar un plan de trabajo conjunto para el primer año y una “hoja de ruta” para los tres primeros años.

### Jueves 2 de diciembre

- **11:50hrs** Presentación en el aeropuerto y Regreso de Balmaceda a Santiago llegando a las 16:10hrs

### 2.3. Propuesta Inicial de Plan de Acción

En el marco de la actividad antes descrita, se confeccionó una primera versión de Plan de Acción, que actualmente está en construcción y que contiene los siguientes puntos principales:

- Definición objetivos y lineamientos del programa
- Instituciones y responsables institucionales.
- Infraestructura, equipamiento y logística operacional.
- Gestión de datos
- Aspectos formales, acuerdos, autorizaciones.
- Disponibilidad de personal de I+D.
- Formación y capacitación.
- Investigación, desarrollo y transferencia.
- Relaciones institucionales y proyección nacional/internacional
- Vinculación con el medio, divulgación y comunicaciones.

En la elaboración de esta primera versión del Plan de Acción participaron directivos, investigadores y profesionales de las siguientes instituciones:

- Universidad de Aysén
- Universidad de Chile PRS-UChile
- Dirección Meteorológica de Chile DMC
- Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia CIEP

Específicamente las siguientes personas:

- |                      |        |
|----------------------|--------|
| - Gerard Olivar      | UAysén |
| - Giovanni Daneri    | CIEP   |
| - Luis Gómez         | CIEP   |
| - Claudio Herranz    | CIEP   |
| - Ricardo Alcaful    | DMC    |
| - Jaime Campos       | PRS    |
| - Sandra Rojas       | PRS    |
| - Edgardo Santibáñez | PRS    |
| - Patricio Toledo    | PRS    |

#### i. Definición objetivos y lineamientos del programa

Para la definición participativa de los objetivos y lineamientos del programa se acordó:

- La distribución del documento base para revisión y consideración.
- La elaboración de un documento consensuado.

En el alcance de los lineamientos del programa se consideró particularmente incluir:

- La Proyección (nacional e internacional) y desarrollo estratégico: observatorio hemisferio Sur y comunidad experta en RRD (colaboración Sur-Sur)

- Actividades de capacitación y formación.

## **ii. Instituciones y responsables institucionales**

### **ii.1. Instituciones.**

Las instituciones participantes en este programa y plan de acción son las siguientes:

- Universidad de Aysén
- Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Programa de Riesgo Sísmico,
- Dirección Meteorológica de Chile
- Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia.

### **ii.2. Responsables institucionales.**

Los directivos y ejecutivos responsables institucionales de la conducción, gestión y ejecución del programa y plan de acción son los siguientes:

#### **(i) Directivos**

- Universidad de Chile: Jaime Campos (Director PRS)
- Dirección Meteorológica de Chile: Ricardo Alcañaz (Subdirección Pronóstico)
- Universidad de Aysén: Gerard Olivar (Director Académico e Investigación)
- Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia CIEP: Giovanni Danieri (Director).

#### **(ii) Ejecutivos.**

- Programa de Riesgo Sísmico Universidad de Chile: Patricio Toledo/ Edgardo Santibáñez.
- Dirección Meteorológica de Chile. Nominación Pendiente.
- Universidad de Aysén. Nominación Pendiente.
- Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia CIEP. Nominación Pendiente.

## **iii. Infraestructura, equipamiento y logística operacional**

Para efectos del desarrollo de la infraestructura, equipamiento y logística operacional que requiere el programa se acordó:

- Dar a conocer planificación de nueva infraestructura y equipamiento.
- Realizar el levantamiento de la infraestructura disponible en la Región de Aysén, considerando al menos las siguientes instituciones:
  - CIEP
  - INIA
  - CONAF
  - SERNAGEOMIN
  - MOP/DGA y otros
  - Otros
- Planificar, Coordinar y Difundir la instalación de nueva infraestructura y equipamiento en Cerro Castillo.

- Estación sismológica de Cerro Castillo PRS
- Estación meteorológica Cerro Castillo DMC
- Instalación de pulviómetros CIEP
- Sistemas de monitores de visualización de datos CIEP
- Nuevas estaciones meteorológicas.
- Desarrollar la mantención y calibración de instrumentos.
- Considerar el necesario apoyo técnico colaborativo.

#### **iv. Gestión de los datos**

En cuanto a la gestión de los datos se contemplan dos fases:

- Fase I: Discusión y acuerdo sobre tipos de datos a capturar en la región, instrumentos, QA/QC, formatos, almacenamiento, etc.
- Fase II: Acceso a los datos, visibilidad y pertinencia para comprensión del territorio.

Aspectos claves para un buen desempeño son:

- El aseguramiento de la calidad de los datos.
- Resolver los aspectos de transmisión, almacenamiento de respaldo y procesamiento de los datos.
- La determinación del tipo de bases de datos nacionales e internacionales.
- La validación de los datos para su utilización en ciencia, modelamiento de procesos, etc

#### **v. Aspectos formales, acuerdos, autorizaciones.**

En cuanto a aspectos formales, acuerdos y autorizaciones se requiere:

- Elaborar una minuta de acuerdos UAYSEN+UCH+DMC+CIEP para la operación inicial (1 a 3 años).
- Definir una agenda/plan de trabajo con responsables (regionales).
- Elaborar y suscribir un acuerdo de intenciones formal MOU
- Desarrollar un acuerdo de colaboración.
- Obtener los permisos necesarios para la instalación de estación meteorológica de Cerro Castillo (Municipalidad+U Aysén).

#### **vi. Disponibilidad de personal de I+D.**

El desarrollo del programa requiere del compromiso activo de investigadores de las instituciones participantes.

- Se constata que falta “masa crítica” en la región. El CIEP propone un modelo de consorcio que ya ha presentado al Gore.
- Es necesario identificar al personal de I+D de cada institución que participaría.
- Prever y planificar la formulación, postulación y ejecución de Proyectos ANID, FIC-R, etc. para incorporar capital humano avanzado.

Además se requiere:

- Personal experto/especialista en instalación e infraestructura.
- Ingenieros



- Profesionales de Transferencia tecnológica.

### **vii. Formación y capacitación.**

La formación y capacitación son claves para el desarrollo del programa. El plan debiese incluir:

- Capacitación de estudiantes
- Formación de postgrado
- Formación y capacitación continua de personal del Estado de la Región en materias pertinentes (nueva Onemi).

Se propone:

- La disposición del Diplomado Internacional en RRD del PRS (UCH) para la co-construcción de una oferta de formación continua para la región
- La formación y Asistencia Técnica para planes de cambio climático regionales y municipales, en desarrollo por CIEP.

### **viii. Investigación, desarrollo y transferencia**

Para la gestión de las actividades de investigación, desarrollo y transferencia tecnológica se propone las iniciativas siguientes:

- Realizar un Taller/seminario de presentación de investigaciones de participantes.
- Identificar y definir posibles líneas de investigación y desarrollo
- Generación, postulación y ejecución de nuevos proyectos: ANID, FIC, Corfo, FNDR, otros.
- Desarrollo de proyectos consorciados para reunir “masa crítica”.
- Transferencia de resultados de la investigación.

Un ámbito transversal que se declara como importante de incluir es el procesamiento de datos (incluyendo Big Data, ML, etc).

### **ix. Vinculación y relaciones institucionales**

En cuanto a la vinculación externa y las relaciones institucionales se propone las siguientes iniciativas:

- Levantamiento de requerimientos de información de los actores regionales (gobierno, empresas, instituciones, otros).
- Relaciones y vínculos con GORE, Municipios, Senadores, Diputados. No descuidar tema político.
- Vinculación con Sernageomin, con INIA (estaciones meteorológicas) y con Armada de Chile (SHOA, estaciones meteorológicas).
- Considerar el Nodo Ciencia Austral: CIEP+UAYSÉN+UMAG+INACH.
- Vinculación con Municipios, GORE, comunidades, otros.

### **x. Divulgación y comunicaciones**

**Ambitos temáticos.** En cuanto a contenidos y ámbitos temáticos de divulgación y comunicaciones se plantean los siguientes:

- Construcción de resiliencia al cambio climático en las comunidades.
- Involucramiento de la comunidad para la investigación e información.
- Ciencia ciudadana. Como ejemplo se da el caso de Magallanes.
- Generación de datos, información y conocimiento con origen/sello regional.

**Actividades** Las principales actividades propuestas para el 2022 son las siguientes:

- Definición de una estrategia comunicacional del Programa.
- Definición de responsables de comunicaciones institucionales.
- Realización de talleres, al menos uno por semestre.
- Realización de divulgación y comunicaciones con despliegue de información para diversos actores: gobierno regional, otras instituciones pertinentes, actores públicos y privados.

### 3. Parque C&T De Laguna Carén

Durante 2021 se colaboró con el Proyecto de Parque C&T de Laguna Carén, en el desarrollo de dos iniciativas que fueron invitadas a ser alojadas en el Edificio Vínculo. Estas fueron:

- **PROYECTO 1: G-DATA OBSERVATORIO GEOFÍSICO DEL HEMISFERIO SUR** (G-DATA SOUTHERN HEMISPHERE GEOPHYSICS OBSERVATORY), este correspondería al Nodo Central de la Red de Observatorios Multiparámetros GDATA.
- **PROYECTO 2: EXPOSICION PERMANENTE “COMPRESIÓN CIUDADANA DE LOS FENOMENOS GEOFISICOS Y LOS DESASTRES NATURALES”**. Este proyecto se presenta en detalle en el CAPÍTULO X. DIFUSIÓN Y VALORACIÓN CIUDADANA.

#### **PROYECTO 1: G-DATA OBSERVATORIO GEOFÍSICO DEL HEMISFERIO SUR (G-DATA SOUTHERN HEMISPHERE GEOPHYSICS OBSERVATORY)**

Chile tiene una posición geográfica excepcional para la instalación de observatorios del Sistema Tierra desde el Hemisferio Sur, que es una zona del planeta mucho menos sensorizada y estudiada que el Hemisferio Norte<sup>2</sup>. Es por ello que, el Programa de Riesgo Sísmico PRS, ha venido impulsando el desarrollo de G-Data, una red de observatorios hemisféricos, cuyo nodo “central” estará emplazado en CAREN, realizando mediciones comparativas con respecto a “observatorios” desplegados en Antártica, Aysén (Patagonia), CAREN (RM), Putre (altiplano), Islas Rapa Nui y de Juan Fernández.

G-DATA es un Programa de Observación del Sistema Tierra cuya Visión es el contar con capacidades y competencias habilitantes en las naciones del Hemisferio Sur para la generación de datos, información y conocimiento científico y tecnológico en el ámbito de las Ciencias de la Tierra y del Espacio que aporten a la comprensión del funcionamiento del Sistema Tierra a nivel global.

---

<sup>2</sup> Más del 70% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua y la mayoría de las regiones continentales se concentran en el hemisferio Norte.

Su Misión es contribuir a reducir la incertidumbre que caracteriza a los procesos naturales asociados a geoamenazas a nivel global y regional en el contexto del hemisferio Sur, a través de la captura de datos geofísicos en macro-zonas representativas desde la región ecuatorial al Polo Sur, así como también, promover la investigación y formación de expertos que apoyen las políticas y gestión pública asociadas a las estrategias de Reducción de Riesgos de Desastres Socionaturales de los países basadas en evidencia científica.

G-DATA es también un programa de Cooperación Sur-Sur (CSS) basado en relaciones directas y horizontales entre países que enfrentan problemas comunes relacionados a geoamenazas y que tienen como propósito superar, a partir de esfuerzos conjuntos, los desafíos científico-tecnológicos para la RRD. Es así que, G-Data ha levantado el interés y colaboración de otras instituciones geofísicas latinoamericanas (a la fecha Costa Rica, Perú)<sup>3</sup>.

G-DATA busca también superar la brecha determinada por las condiciones geográficas en el hemisferio Sur que limitan la instalación de observatorios geofísicos. Esto tiene un directo impacto en la capacidad de generar conocimiento, comprender, modelar y anticipar procesos geodinámicos que constituyen geoamenazas (climáticas, atmosféricas, geomagnética, radiación electromagnética, tectónicas, magmáticas, oceánicas, etc.) en el planeta.

## **Objetivo General**

Desarrollar y fortalecer una red de observatorios geofísicos multiparamétricos orientado a obtener datos y generar conocimiento para entender, comprender, predecir y proyectar los efectos, riesgos y amenazas de los fenómenos naturales y cambios en el Sistema Tierra y contribuir a una gestión del territorio basada en evidencia, que permita mejorar la mitigación de los impactos de los desastres socio-naturales, del cambio climático y la sequía, y lograr de esta manera mejorar la calidad de vida, dar sustentabilidad al desarrollo y aumentar creación de riqueza.

## **Objetivos Específicos del Proyecto**

1. Desarrollar una red de observatorios geofísicos multiparamétricos descentralizada desde el extremo norte del país hasta la Antártica<sup>4</sup>, **estableciendo un nodo central en Carén** e instalando nuevas estaciones y/o mejorando estaciones existentes para una optimización de los recursos instrumentales.
2. Desarrollo de la infraestructura física y digital que asegure la captura continua y el procesamiento de la Data obtenida a través de las estaciones y observatorios multiparámetros.
3. Creación una unidad experta que asegure la Data y genere los productos de innovación necesarios para la planificación, diseño, operación y gestión de la infraestructura crítica, para la

---

<sup>3</sup> Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica; Instituto Geofísico del Perú.

<sup>4</sup> Antártica, Aysén (Patagonia), CAREN (RM), Putre (altiplano), Islas Rapa Nui y de Juan Fernández

gestión de desastres siconaturales y cambio climático, para la gestión del agua y para el desarrollo científico.

4. Generar instrumentos de planificación que incluyan como insumo datos integrados, modelos y productos basados en G-Data.
5. Desarrollar una plataforma integrada para la difusión, accesibilidad y visualización de la Data.
6. Crear y desarrollar unidades tecnológicas expertas de inteligencia territorial<sup>5</sup>, para la generación de conocimiento, sismológico, meteorológico y ambiental de apoyo a la toma de decisiones.
7. Dar soporte científico al quehacer de las redes existentes de los organismos públicos de observación (CSN, Sernageomin, SHOA, DMCh, Onemi).
8. Desarrollar proyectos de investigación y desarrollo e innovación que generen conocimientos y tecnologías para una mejor comprensión de los fenómenos geofísicos, las geo-amenazas y sus impactos.
9. Formar profesionales e investigadores en el ámbito de la observación del sistema tierra para la generación de conocimientos y la toma de decisiones basada en evidencia.
10. Desarrollar servicios de valor agregado basados en conocimiento e información para el apoyo a la gestión integral del territorio.
11. Difundir el quehacer de los observatorios para la educación y el entendimiento público de la geociencia y su impacto científico, tecnológico, económico, social y ambiental.

### **Ejes Estratégicos**

- Asegurar que las observaciones del Sistema Tierra y los modelos resultantes sean abiertos, detectables, accesibles, documentados, interoperables, citables, reproducibles, curados para su preservación de largo plazo y reutilizables no sólo por quien los origina, sino que también por la comunidad científica entera, la industria privada, tomadores de decisión, educadores, estudiantes y colaboradores internacionales.
- Aprovechar el uso de HPC (High Performance Computation) y Public Cloud (Nube Pública) para el manejo de grandes volúmenes de datos y brindar capacidades de análisis y visualización a los datos, en lugar de simplemente ofrecer capacidades de descargas y servicios de ordenamiento los datos (MetaData).
- Buscar formas de tratar los datos geo-espaciales como un todo unificado, en lugar de tratarlos como un conjunto de datos aislados y con sistemas de acceso individuales que requieran de un esfuerzo personalizado para su utilización, considerando la diversidad de tipos de datos y la necesidad de trabajos interdisciplinarios para abordar la complejidad de las cambiantes condiciones del Sistema Tierra (geológicas, atmosféricas, oceánicas, físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas de nuestro planeta).

---

<sup>5</sup> Que aseguren la adquisición, almacenamiento, transmisión, procesamiento, análisis, modelamiento y despliegue de la información.

## V. ANTÁRTICA

### **Integrantes del Equipo investigador:**

Jaime Campos, Edgardo Santibáñez, Rodrigo Sánchez, Sophie Peyrat, Patricio Toledo, Nicolás Vera, Adriana Pérez

### **Investigador Principal:**

Patricio A. Toledo

### **Objetivo principal**

Comprender el aumento de la tasa de deformación observada y la anómala actividad sísmica ocurrida en la Antártica que se manifestó como una crisis sísmica que comienza en agosto de 2020 y continúa hasta 2021.

### **Tareas realizadas**

- Instalación de instrumentación de Intervención Febrero 2021 (ECA57)
- Tesis de magíster
- Postulación Proyecto Tsunami (con Mauricio Fuentes y Sebastián Riquelme) participación en Conferencia AGU 2021, Workshop KOPRI-INACH 2021.

### **1. Instalación de instrumentación de intervención Febrero 2021 (ECA57)**

A mediados de 2020, una crisis sísmica se hizo sentir en las Bases Permanentes que opera el Instituto Antártico de Chile (INACH), esta actividad es poco frecuente, por lo que el PRS propuso a los actores relevantes a nivel nacional (Servicio Nacional de Geología y Centro Sismológico Nacional CSN) una campaña de intervención para instalar instrumentos y auscultar la situación. La campaña se realizó en los meses de enero y febrero de 2021, en el contexto de la Expedición Antártica 57 (ECA57) organizada por INACH con la participación de científicos del PRS y el CSN. *(Ver ANEXO 1. Bitácora)*

Se contempló la visita a cuatro bases chilenas localizadas en el territorio antártico. Tres de esas bases se hallan en las Islas Shetland del Sur: la Base Escudero, operada por INACH, la Base Frei y Aeródromo Teniente Marsch, operados por la Fuerza Aérea de Chile (FACH) y la Base Prat, operada por la Armada de Chile. Una última base se encuentra en el continente mismo: Base O'Higgins operada por el Ejército de Chile.

### V.1.1 Instalación Base Escudero



**Figura 1.**

#### V.1.1.1 Ubicación

La Base Profesor Julio Escudero (Figura 1) está a cargo del Instituto Antártico, se encuentra en la Isla Rey Jorge, como se ilustra en la Figura 2. La propuesta inicial de instalación era el uso de las instalaciones de laboratorio de radiación cósmica sin embargo, consideramos que este sitio está muy expuesto al viento. Se decidió usar el zócalo de la Base, por protección al viento, proximidad a la internet y energía. La estación sismológica IN43 quedó ubicada en la latitud 62,2015S longitud 58,9625W.

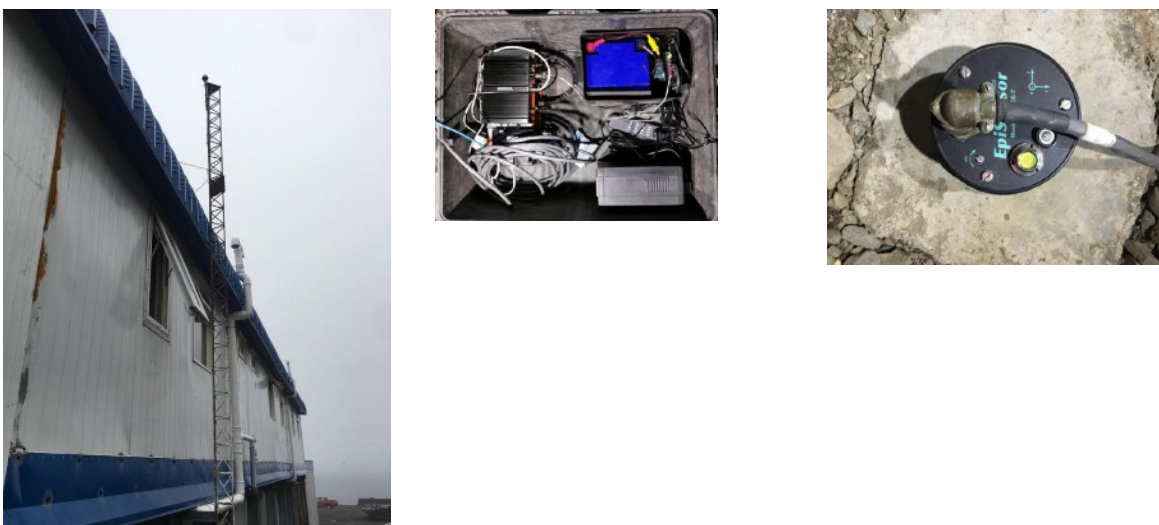




**Figura 2.**

#### V.1.1.2 Elementos instalados

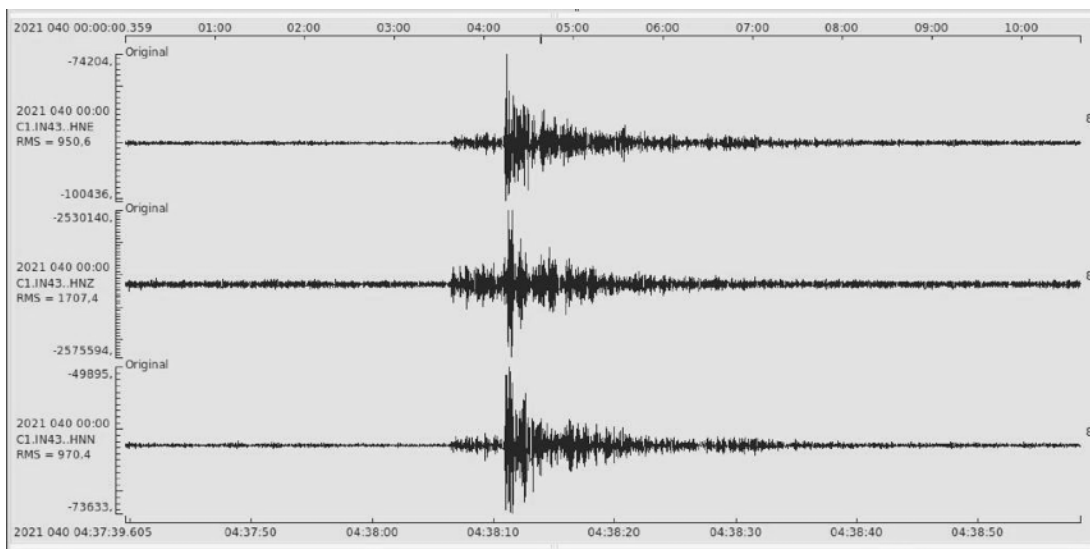
Se dispone de un acelerómetro, un GPS para determinación de tiempo, digitalizador, computador y sistema de respaldo de energía que se muestra en la Figura 3. Todo conectado a la red eléctrica y al sistema de comunicación satelital de la base.



**Figura 3.**

### V.1.1.3 Funcionalidad

Con el sistema de registro actualmente en línea la estación se encuentra 100% operativa, sin embargo la transmisión de datos ha sido intermitente. Los 3 canales de registro se muestran en la Figura 4 donde se ilustra un evento sísmico registrado durante la instalación de los equipos.



**Figura 4.**

### V.1.2 Instalación Base Arturo Prat



**Figura 5.**

#### V.1.2.1 Ubicación

La Base Arturo Prat (Figura 5) está a cargo de la Armada de Chile, se encuentra en la Isla Greenwich, como se ilustra en la Figura 6. La propuesta inicial de instalación era el uso de una caseta exterior, sin embargo, consideramos que este sitio está muy expuesto al viento y la nieve. Se decidió usar el pañol de la Base, por protección a la nieve, viento, proximidad a la internet y energía. La estación sísmológica IN44 quedó ubicada a una latitud 62,4789S longitud 59,5534W.



**Figura 6.**

#### V.1.2.2 Elementos instalados

Se dispone de un acelerómetro más un sismómetro de banda ancha, un GPS para determinación de tiempo, digitalizador, computador y sistema de respaldo de energía. Todo conectado a la red eléctrica y al sistema de comunicación satelital de la base (Figura 7).



Figura 7.

### V.1.2.3 Funcionalidad

Con el sistema de registro actualmente en línea la estación no se encuentra 100% operativa debido a un problema en dos canales de la banda ancha. El canal restante y el acelerómetro se encuentran sin problemas, tal como puede verse en la Figura 8, donde la componente norte de los instrumentos se compara en velocidad para un evento registrado durante la instalación.

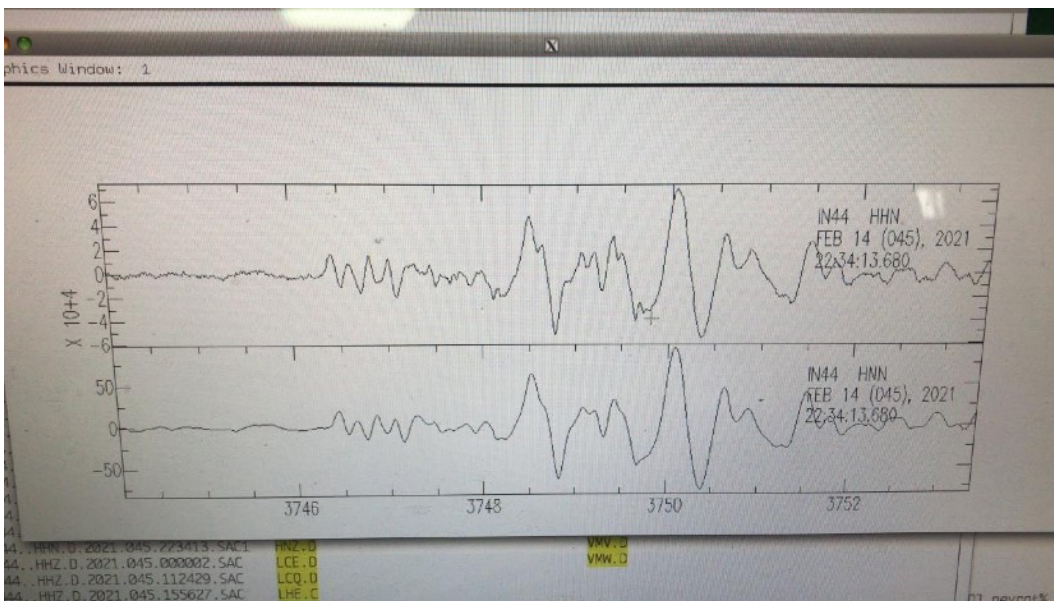


Figura 8.

### V.1.3 Base Frei - Aeródromo Teniente Marsh



**Figura 9.**

#### V.1.3.1. Ubicación

El Aeródromo Teniente Marsh está a cargo de FACH y de la Dirección de Aeronáutica Civil, se encuentra en la Isla Rey Jorge (Figura 10). La propuesta inicial de instalación era el cambio del receptor y la mejora de las comunicaciones (ver Figura 9). No se hicieron cambios a la infraestructura exterior y se hicieron mejoras a la instalación interior. La estación de geodesia/sismología está ubicada en latitud 62,19S y longitud 58,98W.





**Figura 10.**

#### V.1.3.2 Elementos instalados

Este sitio cuenta con un GPS anterior, se cambió el receptor y se mejoró la instalación interior, quedando todo en una caja de intervención (Figura 11)





**Figura 11.**

#### V.1.3.3 Funcionalidad

El sensor envía datos correctamente, mediante un archivo diario.

#### V.1.4. Base O'Higgins



**Figura 12.**

#### V.1.4.1 Ubicación

La Base O'Higgins (Figura 12) está a cargo del Ejército, se encuentra en el Islote Isabel Riquelme en la península antártica, como se ilustra en la Figura 13.



**Figura 13.**

#### V.1.4.2 Elementos instalados

No fue posible hacer esta instalación por falla en el sistema de registro.

#### V.1.4.3 Funcionalidad

Actualmente no hay.

## 2. Tesis de magíster

#### V.2.1 Objetivos

Proponer un modelo sismotectónico de la península antártica, a la luz de los modelos cinemáticos de placas propuestos en la zona.

### V.2.2 Objetivos específicos

- Compilar la sismicidad histórica y mecanismos focales para la zona de la península antártica y placas adyacentes, como también el catálogo de polos de Euler de las placas presentes.
- Analizar la temporalidad, geometría y energía sísmica asociada a la sismicidad ocurrida desde agosto del 2020 en el Estrecho de Bransfield, estudiando la intercausalidad de los eventos.
- Determinar el tensor de momento sísmico de los eventos ocurridos durante la secuencia sísmica iniciada en agosto del 2020
- Estimar, discutir y analizar el régimen regional de esfuerzos deducido a partir de mecanismos focales disponibles y estudiados en este trabajo.
- Confrontar las medidas de la tasa de deformación observada, con el campo de deformación predicho a partir de los modelos de placas propuestos para la región.
- Determinar la estabilidad del punto triple ubicado entre las placas de Scotia, Antártica y Phoenix.

### V.2.3 Resultados preliminares

Se ha conseguido la inversión del tensor de momento sísmico de 21 eventos (Figura 1), 17 de ellos ubicados en la zona aledaña al volcán Orca, presentando tanto mecanismos normales como de rumbo. Los otros 4 mecanismos se encuentran en la zona NE del Estrecho de Bransfield, un evento con mecanismo mixto entre normal y de rumbo, y otros tres de mecanismos normales, incluidos el sismo principal (figura 1). La componente Doble Cupla (DC) de los eventos procesados varía entre un 9% a un 94%, indicando la existencia de eventos puro DC y puro CLVD. La distribución espacial de la sismicidad muestra dos clusters, el primero es subcircular a 25 km al NE del volcán Orca y el segundo es alargado axial al ridge entre los 55°O y 56°O. El primero ocurre en 2 etapas, entre el 29 de agosto del 2020 y el 6 de noviembre del 2020 cuando ocurre un sismo de Mww 6, carente de réplicas. Posteriormente, la sismicidad en esta zona se reactiva el 14 de febrero del 2021 de manera difusa hasta mayo del 2021. El segundo cluster está intercalado, se inicia el 23 de enero del 2021 con el evento principal de magnitud Mww 6.9, seguido de réplicas hasta el 13 de febrero del 2021 cesando su actividad. El catálogo muestra magnitudes entre 4.5 y 6.9, estando completo entre las magnitudes 5 y 5.5.

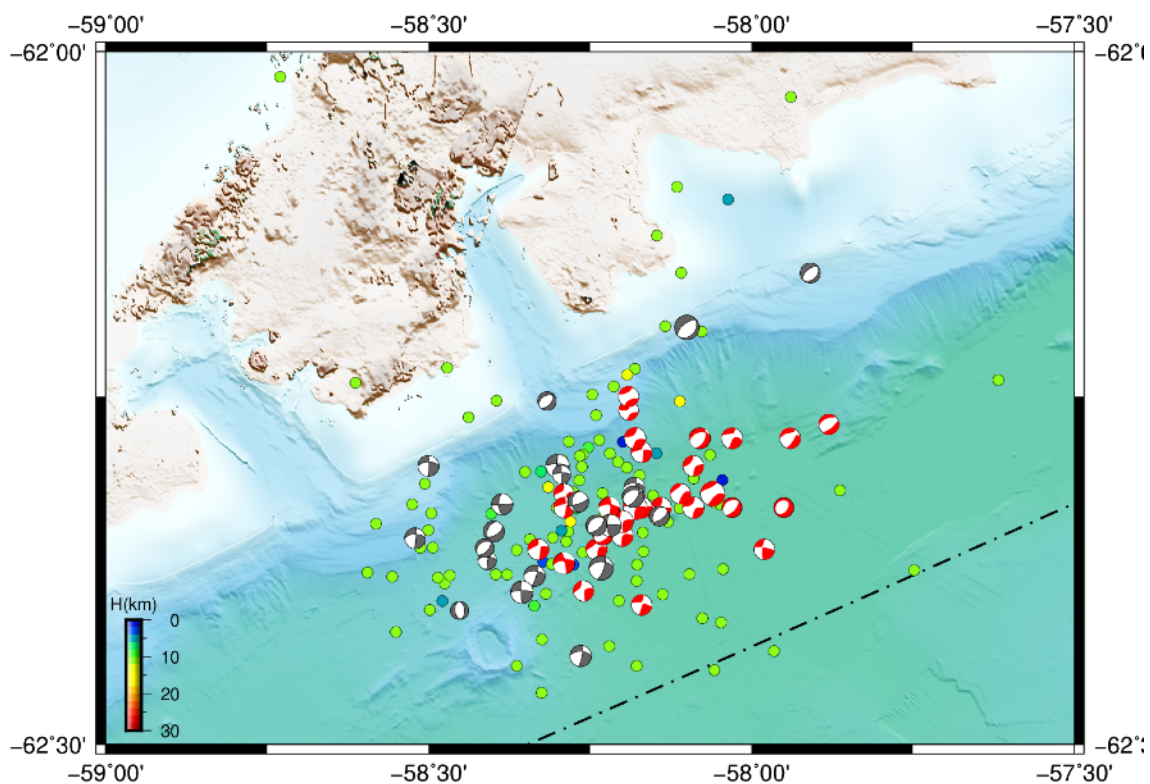


Figura 1

### 3. Congresos, proyectos y publicaciones

AGU 2021

Title: The 2020-2021 Bransfield Strait seismic sequence: Spatial and temporal relationship with Orca volcano and kinematic micro tectonic implications

Authors: Nicolás Vera-Cortés, Patricio Antonio Toledo, Sophie Peyrat, Adriana Pérez & Jaime Campos

Workshop KOPRI-INACH 2021

Title: Towards a latitudinal seismological network in the Antarctic Peninsula.

Authors: Toledo, P; Vera, N.; Peyrat, S.; Fuentes, M.; Sánchez, R.; Riquelme, S.; Bravo, F.; Pérez, A.; Delgado, F.; Huneus, N.; Santibáñez, E.; Campos, J.



INACH-KOPRI Workshop



Concurso XXVIII Concurso Nacional de Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica Antártica 2021

Title: Tsunami hazard around Bransfield Strait and South Shetland Islands, Antarctica.

Fundamental issues and numerical modeling

Author: Fuentes, M; , Riquelme, S.; Toledo, P.; Campos, J.

#### 4. Observaciones y futuros avances

Como mencionamos anteriormente, para hacer frente al requerimiento de INACH en la situación de urgencia, y en extremo delicada por la actividad sísmica inusual en zonas cercanas a las Bases Chilenas en Territorio Antártico, y por las eventuales connotaciones de seguridad nacional que implicaba la solicitud de este ente público, el PRS con la venia de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, coordinó y organizó una misión de terreno con la finalidad de desplegar en las Bases chilenas una serie de equipos de monitoreo sísmico para tener información científica cierta y de primera fuente, motivo por el cual, se vio en la necesidad de reorganizar gastos que originalmente estaban orientados a operaciones, hacia la adquisición de materiales e implementos necesarios e indispensables para re acondicionar y recuperar equipos sísmicos, con capacidad de operar adecuadamente en la Antártida, y proceder instalarlos inmediatamente.

Más allá del contexto de emergencia, imperativos legales como la probidad, la transparencia, la eficiencia, la eficacia y por sobre todo, la colaboración y no duplicidad de acciones, guiaron en todo momento nuestro accionar, y por lo mismo, queremos destacar que, la reorganización de los gastos realizada fue en coherencia con los objetivos académicos originalmente establecidos y tuvo un efecto positivo para el PRS y para el país, pues, por un lado, dimos una respuesta más que satisfactoria al requerimiento urgente por parte de INACH, y por otro lado, gracias a la esta intervención del PRS, Chile reforzó sus capacidades de observación y monitoreo en el Continente Antártico, quedando a la vanguardia de las naciones que cuentan con capacidades de monitoreo sísmico en la zona.

Las gestiones antes descritas nos dejaron grandes desafíos por delante, motivo por el cual, el PRS con cargo a su presupuesto de operaciones, realizó nuevamente una serie de adquisiciones de materiales e implementos a fin robustecer las capacidades de los equipos de monitoreo

actualmente operativos en las bases chilenas en la Antártida, los que, de no mediar contratiempos en la logística, será instalados durante el próximo verano del año 2022 (fase II).

El Programa Riesgo Sísmico espera continuar con el desafío de densificar con instrumentos geofísicos, incluyendo tecnologías satelitales, que permitan generar información clave para el desarrollo e identificación de geoamenazas en el territorio austral del país que conforman la Patagonia y la Antártica. De esta manera, dispone su capacidad científica y tecnológica al servicio de un esfuerzo en colaboración con INACH.

Esta iniciativa es parte del fortalecimiento y reactivación del funcionamiento en red de los observatorios existentes de la Universidad de Chile, que constituirá un sistema observacional del Hemisferio Sur con alcance global (G-DATA). Éste aportará datos clave, validados y calibrados por la ciencia, para enriquecer la reflexión y comprensión del funcionamiento del Sistema Tierra, y así reducir la incertidumbre asociada a los procesos naturales que ocurren en el planeta”.



## VI. OBSERVACIÓN SATELITAL

### 1. Proyecto DORIS

**Integrantes equipo investigador: Jaime Campos, Juliette Marin Ríos.**

#### **Objetivo**

Impulsar la I+D+i y la investigación científica chilena a partir de datos satelitales producidos por la tecnología DORIS (Doppler Orbit y Radiolocalización Integrada por Satélite).

DORIS fue diseñado y desarrollado por el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia, en colaboración con el Instituto Nacional de la información Geográfica y Forestal (IGN) de Francia. Se trata de un sistema de radio ascendente cuyos principales objetivos son la determinación precisa de la órbita de los satélites de baja altitud, y el posicionamiento exacto de las estaciones terrestres. DORIS es un sistema líder para la determinación precisa de la órbita, esencial para las aplicaciones de altimetría por satélite que van desde la oceanografía al estudio del clima, a través de modelos, sino también un jugador clave en el estudio de la geodesia y la geofísica. DORIS contribuye a las actividades de observación de la Tierra y el estudio de la deformación y movimiento del planeta al hacer disponible gratuitamente todos los datos.

La colaboración se destina a promover la investigación científica con datos del Sistema DORIS con el apoyo del Servicio Internacional DORIS (IDS) en las siguientes áreas:

- Orbitografía y Determinación de órbitas para satélites científicos
- Geodesia y Geofísica
- Monitoreo de deformaciones de la Tierra sólida
- Monitoreo de la deformación cortical en los puntos de mareógrafos
- Monitoreo de variaciones en la hidrósfera (nivel del mar casquetes de hielo, etc.)
- Contribución al Marco de Referencia Terrestre (ITRF)

#### **Tareas realizadas**

Formulación y coordinación de un proyecto que permita instalar una antena DORIS y asegurar una formación de experta/os en Chile sobre el uso de datos satelitales producidos por la red DORIS. Coordinación entre la DMC (Chile), el CNES (Francia) y el IGN (Francia).

Enero 2021: Firma del convenio FCFM – DMC.

Noviembre 2021: Firma del convenio FCFM – CNES – IGN.

Noviembre 2021: Formación de un grupo liderado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y abierto a todas las personas interesadas sobre uso de datos DORIS.

### **Estado de avance (%)**

Convenios institucionales: 90%

Protocolos cuadripartitos de acción: 100%

Autorización de emisión: 50%

Instalación de baliza DORIS: 10%

Formación de un grupo de trabajo DORIS: 50%

### **Observaciones y futuros avances**

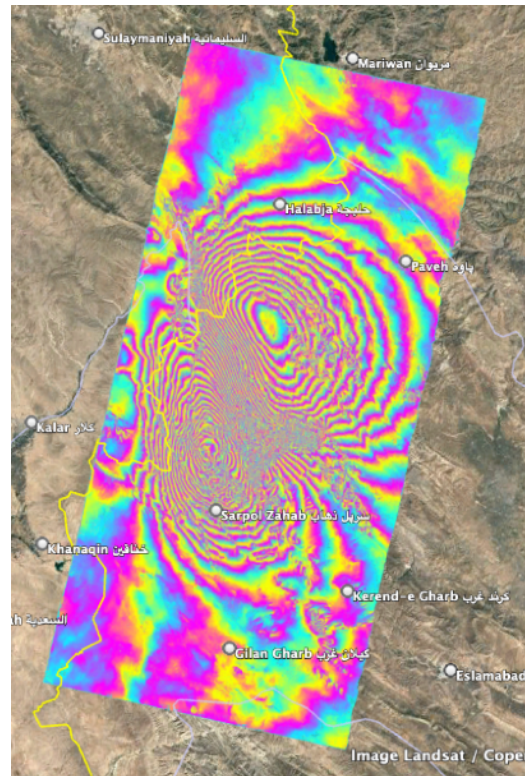
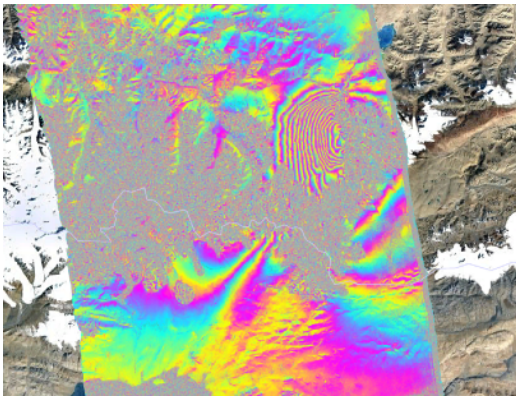
En 2022, se prevé finalizar la instalación de la baliza DORIS en Hanga Roa (Rapa Nui) y la consolidación del grupo de trabajo con datos DORIS.

Adicionalmente, se buscará garantizar la formación de un(os) estudiantes de pre y postgrado para avanzar en la formación de experticia científica y técnica en uso de datos DORIS.

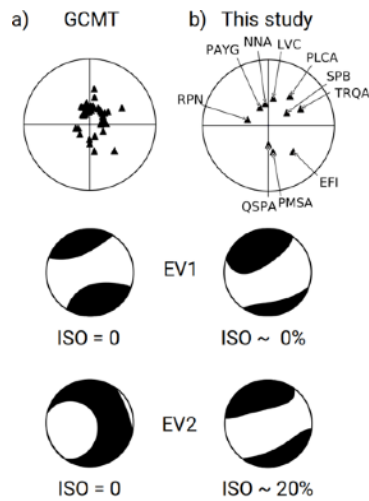
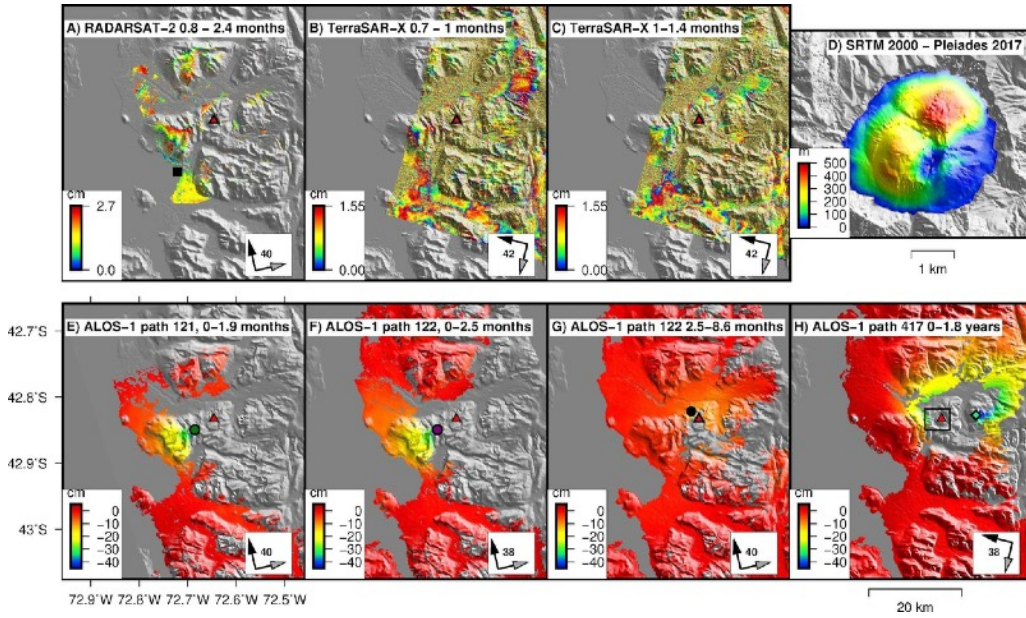
## 2. Proyecto INSAR

**Integrantes equipo investigador: Jaime Campos, Francisco Delgado.**

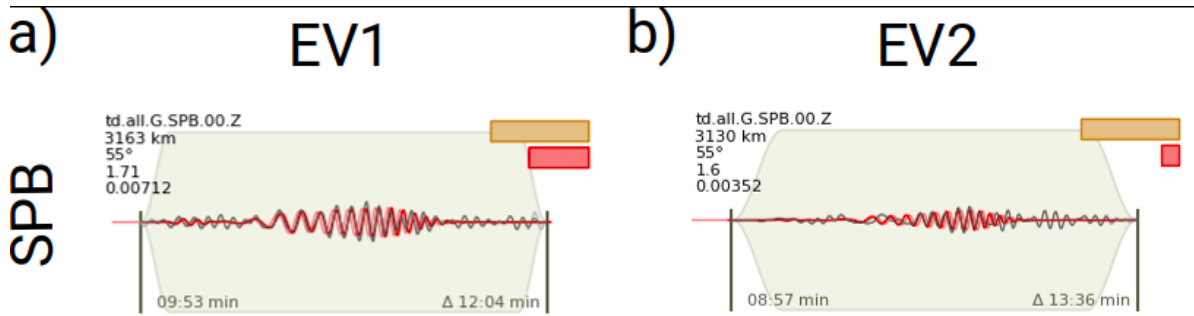
- Artículo Chiloé inversión conjunta
- Diplomado Desastres Naturales
- GL5023 Interferometría de Radar para Geociencias: Volcanes, Fallas y Acuíferos (idéntico para GF y GL)
- FONDECYT de iniciación Falla de Magallanes:
  - Strain intersísmico y terremotos lentos: InSAR y GNSS
  - Velocidad de deslizamiento Holocena: imágenes Pléiades y terreno (colaboración Yann Klinger IPGP)



- Artículo erupción Chaitén 2008-2009, EPSL:
  - InSAR y DEMs Pléiades
  - Inversiones telesísmicas



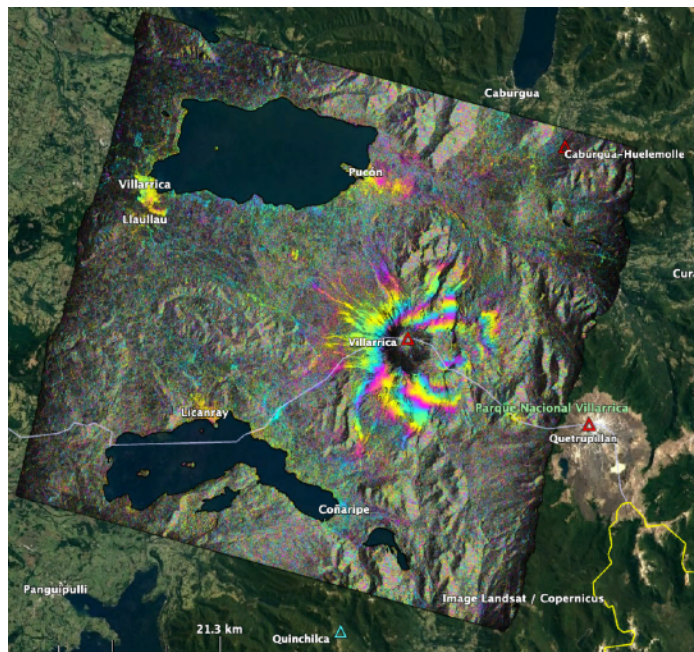
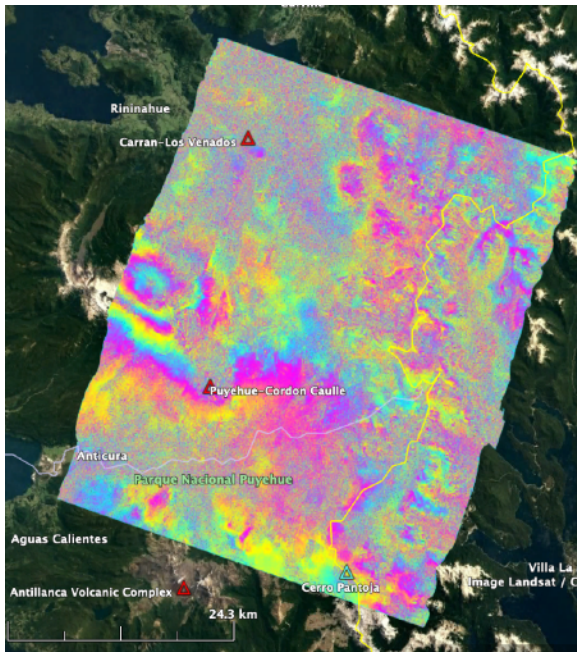




## Memorias InSAR

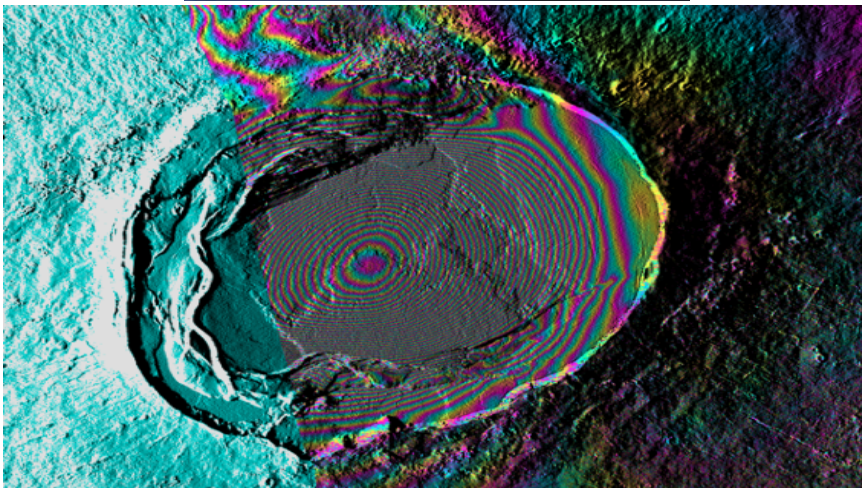
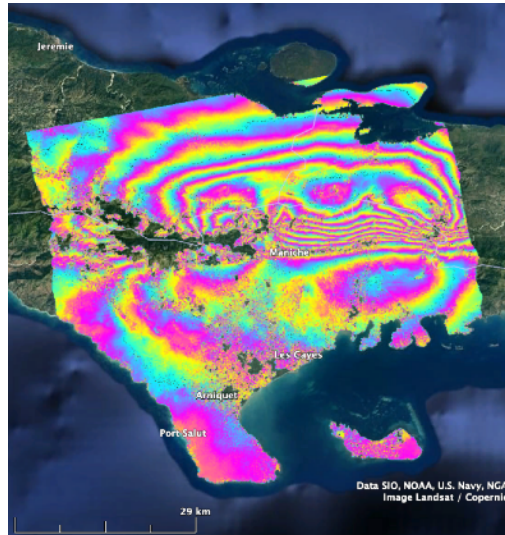
### 2 memorias Geología

- Sofía Parra: volcán Cordon Caulle, deformación posteruptiva 2014-2021 InSAR Sentinel-1.
- Milton Quinteros: volcán Villarrica, erupción 2015, dinámica lago de lava, deformación posteruptiva Mayo 2015 InSAR



## Observaciones y futuros avances

- Terremoto de Haití
  - Datos ALOS-2 SM3 (cortesía de JAXA)
  - Inversión InSAR y telesísmica
- Erupciones Sierra Negra 2005 y 2018
  - Colaboración Carnegie Institution for Science
  - 5 y 8.5 metros de subsidencia
  - Pléiades, TanDEM-X, Sentinel-1, COSMO-SkyMed, ALOS-2, ENVISAT
  - Compresibilidad de magma, trapdoor faulting e influencia en el estilo eruptivo, colapso incipiente y fallido de una caldera



## VII.SISTEMAS COMPLEJOS

### **Integrantes del Equipo investigador**

Jaime Campos, Raúl Madariaga, Cristián Siegel, Patricio Toledo

### **Investigador Principal**

Patricio A. Toledo

### **Objetivo Principal**

Aplicar técnicas de sismología estadística y análisis dimensional al estudio del punto de equilibrio crítico en donde se desenvuelven los terremotos y fenómenos accesorios. De esta forma será posible mejorar la estimación de algunos argumentos de la función de amenaza, que es vital para estimar el riesgo sísmico al que una zona se encuentra sometido.

### **Tareas realizadas**

- Tesis de magíster Cristián Siegel
- Participación congreso Academia de Ciencias de Rusia
- Working papers: Renormalized Earthquake Hazard Under Small Finite-Strain Steady Moment-Release Conditions at Southern Andes from 2015 to 2017, Long-term locally homogeneous dissipation process for earthquakes between 2007-2014 at northern Chile, Earthquake hazard and taxonomy under incomplete similarity conditions in northern Chile

### **1. Tesis**

#### ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA RECURRENCIA SÍSMICA EN EL NORTE DE CHILE

En esta tesis se busca encontrar leyes estadísticas para la ocurrencia de sismos que tomen en consideración la taxonomía de los terremotos, es decir, la diferencia fundamental en los efectos observados (daño a estructuras, aceleraciones, movimiento fuerte) que tienen los terremotos según la ubicación en el contexto de subducción (Figura 1)



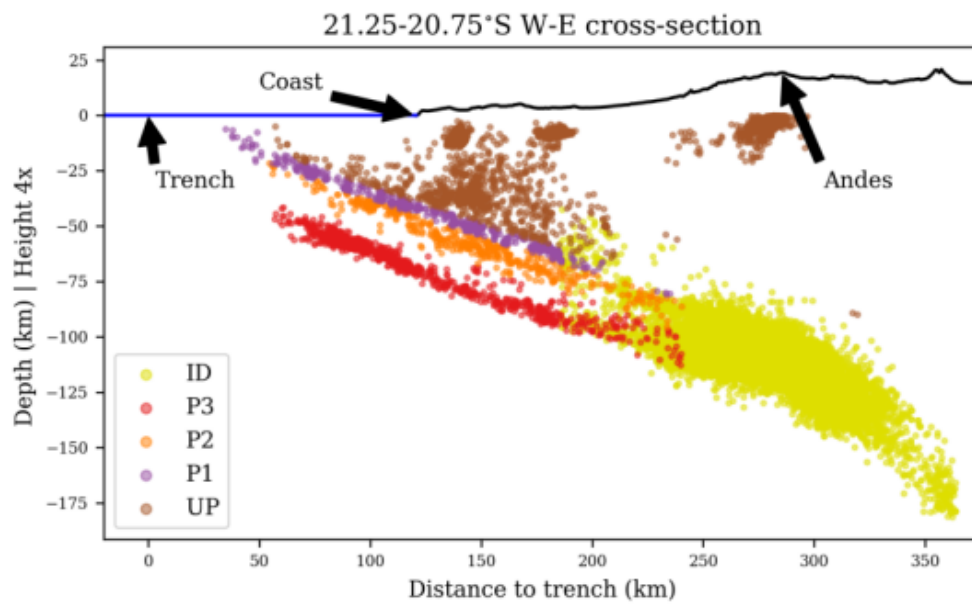


Figura 1.

## 2. Congresos

II All-Russian Scientific Conference with International Participation: Modern Methods of Seismic Hazard and Earthquake Prediction, Moscow, Russian Federation, 29-30 September 2021.


Title: Scaling of Seismic Hazard for the Northern Chile Earthquake Taxonomy.

Authors: Siegel, C. E. , Toledo, P., Madariaga, R., y Campos, J.M.

**II All-Russian Scientific Conference with International Participation**

**September 29-30 2021**

**Modern methods of seismic hazard assessment and earthquake prediction**



**Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics RAS**

### 3. Working papers

VIII.3.1 Renormalized Earthquake Hazard Under Small Finite-Strain Steady Moment-Release Conditions at Southern Andes from 2015 to 2017

Autores: Toledo, Siegel, Madariaga, Campos

En este trabajo se busca relacionar la deformación inferida a partir de la energía liberada para el evento  $k$ -ésimo de una secuencia de terremotos  $U_k$  por medio de un "acoplamiento" que puede ser determinado para diferentes escalas de trabajo:

$$U_k = \phi(\kappa, w_k, \ell, \Delta\sigma),$$

Tal como se observa en la Figura 2, una vez calibrado este acoplamiento, se puede obtener una serie de tiempo desestacionalizada (que no depende de velocidad de convergencia) que sugiere un ciclo similar al observado por los geodestas y que ha sido comúnmente usado como una aproximación al momento de ocurrencia de un terremoto.

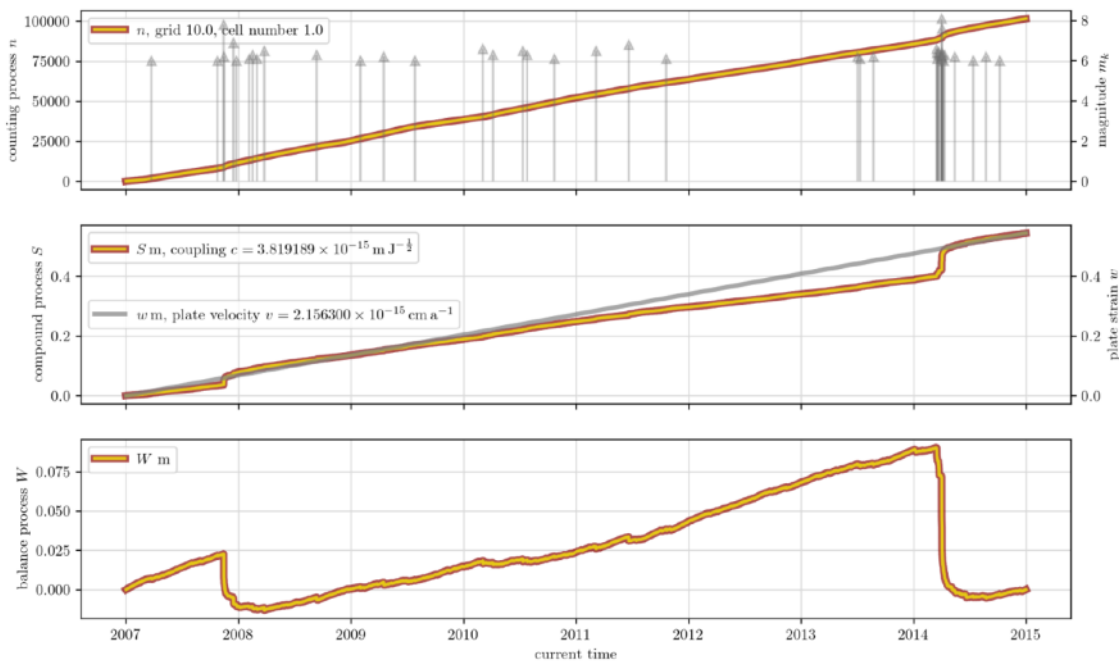


Figura 2.

### VIII.3.2 Long-term locally homogeneous dissipation process for earthquakes between 2007-2014 at northern Chile

Autores: Toledo, Siegel, Madariaga, Campos

En este trabajo se busca encontrar el origen de las distintas leyes de escalamiento propuestas para las tasas de sismicidad. En la fórmula siguiente se propone una ley generalizada:

$$\frac{\left(\frac{n}{\ell^{-2}\tau^{-1}}\right)}{\left(\frac{T}{\tau}\right)^{\alpha} \left(\frac{M}{\Delta\sigma\ell^3}\right)^{\beta} \left(\frac{H}{\ell}\right)^{\gamma}} = \Phi^* \left( \frac{\left(\frac{Q}{\Delta\sigma\ell^3\tau^{-1}}\right)}{\left(\frac{T}{\tau}\right)^{\alpha_Q} \left(\frac{M}{\Delta\sigma\ell^3}\right)^{\beta_Q} \left(\frac{H}{\ell}\right)^{\gamma_Q}} \right),$$

que permite relacionar el número de dimensiones espaciales donde es observada la sismicidad, el coeficiente  $p$  de Omori, el parámetro  $b$  de Gutenberg-Richter y la dimensión fractal  $d$  por medio de un análisis de escala. Las leyes observadas (Figura 3) tienen un gran espectro de validez y pueden ser usadas en estudios de amenaza.

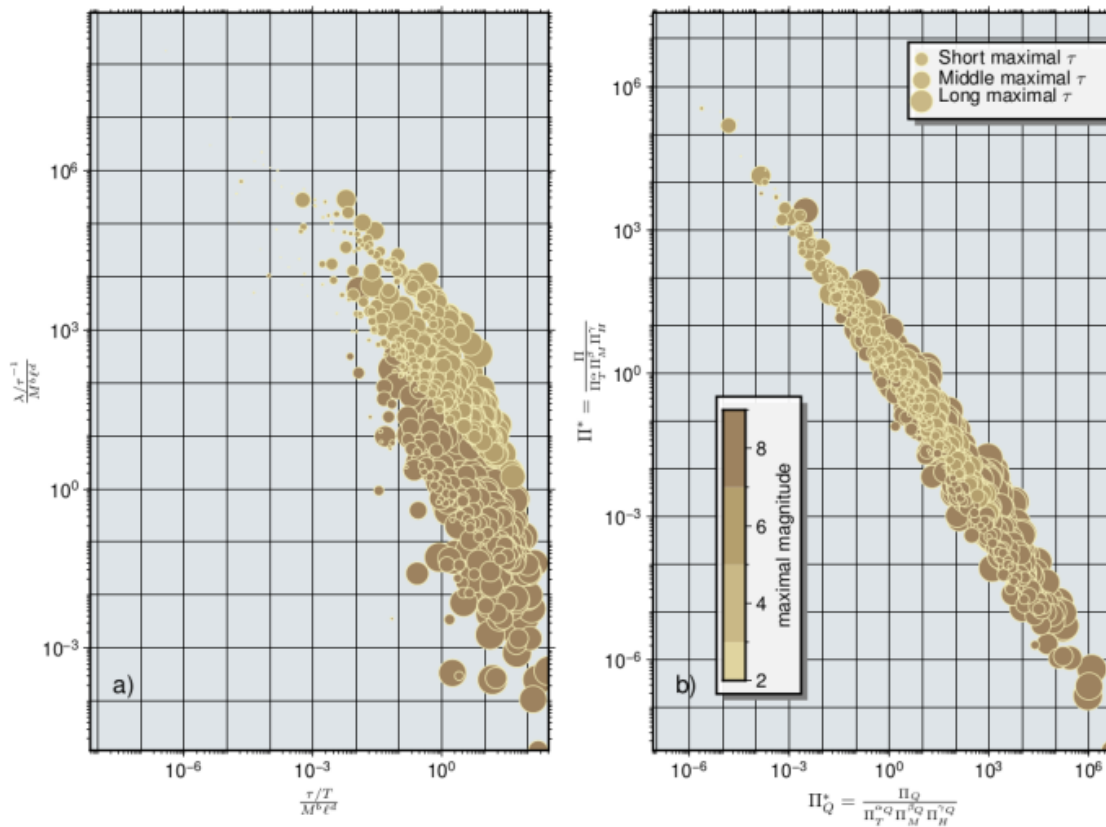


Figura 3.

### VIII.3.3. Earthquake hazard and taxonomy under incomplete similarity conditions in northern Chile

Autores: Siegel, Toledo, Madariaga, Campos

En este trabajo, se resumen los principales logros de la tesis de Crisitán Siegel. Las leyes de escala propuestas en:

$$\frac{\lambda/T_0^{-1}}{(M_0/M_c)^\beta (L/L_0)^\gamma} = \Phi \left( \frac{T/T_0}{(M_0/M_c)^{\beta_T} (L/L_0)^{\gamma_T}} \right),$$

son aplicadas al norte de Chile, y es posible observar las diferencias en la probabilidad de ocurrencia para los eventos dependiendo del tipo de sismicidad (Figura 4). Es de esperar que estas curvas empíricas sean ocupadas a futuro en estimaciones de amenaza.

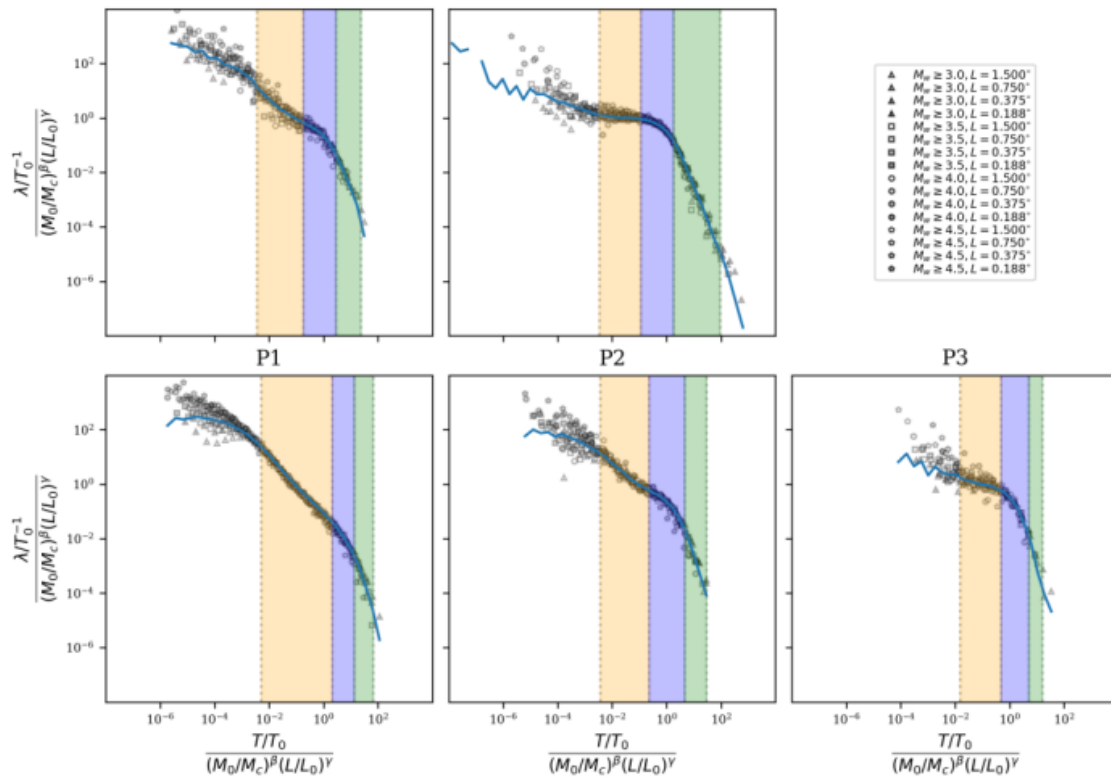


Figura 4

## VIII. PATRIMONIO

**Integrantes equipo investigador: Jaime Campos, Daniela Díaz, Juliette Marin Ríos, Sandra Rojas Barlaro**

**Estudiantes: Guillermo González (DIC), Marcela Guimpert (DIC)**

### **Objetivo**

La línea de investigación Patrimonio y riesgo sísmico 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. En 2021, el objetivo principal fue finalizar trabajos de títulos en curso.

### **1. Tareas realizadas**

Coordinación de un proyecto franco-chileno (Universidad de Chile y École Polytechnique) para la conmemoración del centenario del fallecimiento de Montessus de Ballore, con énfasis en sus aportes científicos y técnicos para la construcción de la sismología y la reducción del riesgo sísmico.

Defensa de Trabajo de Título en Ingeniería Civil (DIC) de Guillermo González sobre “Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica Del Patrimonio Cultural Chileno: Estudio De Iglesias Patrimoniales De Valparaíso”. Prof. co-guía: Juliette Marin. Fecha de defensa: 13/01/2021. Nota de examen de título: 6,5.

Defensa de Trabajo de Título en Ingeniería Civil (DIC) de Marcela Guimper sobre “Evaluación de Riesgo Sísmico en cinco iglesias patrimoniales de la Quebrada de Tarapacá”. Prof. co-guía: Juliette Marin. Fecha de defensa: 04/10/2021. Nota de examen de título: 6,3.

En octubre 2021, participación en Universidad de Chile Podcast. <https://tantaku.cl/universidad-de-chile-podcast-25/>

Reformulación de la estrategia de la Línea de Patrimonio para avanzar en la concreción de huellas materiales en espacios de Santiago, en continuidad con la Ruta de los saberes.

### **Estado de avance (%)**

Trabajos de títulos de estudiantes del DIC: 100%

Publicaciones: 80%

Reformulación estrategia de la línea de Patrimonio: 100%

Vinculación pública e internacional: 100%

## **2. Observaciones y futuros avances**

Para 2022, se prevé enfocarse en profundizar el aporte sobre patrimonio y riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago, en continuidad con los avances de la Ruta de los saberes.

Se continuarán las vinculaciones con instituciones públicas (Municipalidad, GORE, CMN, Onemi) y los proyectos internacionales (Francia).

### **Publicaciones del período**

<https://www.uchile.cl/noticias/180452/u-de-chile-podcast-memoria-y-educacion-en-gestion-del-riesgo-sismico>



## **IX. FORMACIÓN**

**Integrantes equipo: Jaime Campos, Julián Cortés Oggero , Juliette Marin Ríos, Matias Plass y Sandra Rojas.**

### **1. Curso de Formación General**

Durante el primer semestre de 2021 se llevó adelante este curso, dirigido a estudiantes de pregrado de diversas carreras y facultades de la Universidad de Chile. Su título fue “Contexto Andino, Riesgos siconaturales y fenómenos extremos”. Se realizó durante el primer semestre y contó con la participación de 33 estudiantes.

En el segundo semestre, el PRS en trabajo conjunto con la Red de Pobreza Energética y la iniciativa transdisciplinaria EneAS (Energía, Agua y Sustentabilidad) ambas de la Universidad de Chile, anima el curso sobre pobreza energética, aportando la visión desde las geociencias y los riesgos y desastres siconaturales dentro de la temática del curso.

Dichas colaboraciones han derivado en varias cotutelas de tesis tanto de pregrado como de posgrado entre miembros del PRS y los distintos centros y programas inter y trans disciplinarios de la Universidad de Chile.

Las proyecciones al respecto son extender las iniciativas de formación del PRS a otras universidades del Estado, a través del Programa de Movilidad Nacional Estudiantil del Consorcio de Universidades del Estado de Chile (CUECH)

### **2. Diplomado Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia**

En este informe se presenta el reporte de la cuarta versión del “Diploma de Postítulo en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres”, que se gestiona a través de la unidad de Postgrado desde la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, con la colaboración de la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AGCID.

Su objetivo es entregar a cuadros profesionales 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.

Fundamentalmente está orientado a profesionales pertenecientes a instituciones públicas y/o organizaciones sociales, públicas o privadas, responsables de implementar políticas públicas en RRD en el marco de un proceso de innovación sostenible y de diálogo Sur-Sur.

En la versión 2021, realizada on line debido a la pandemia COVID-19, participaron 29 estudiantes provenientes de Perú, Ecuador, Honduras, Costa Rica, Haití, México, República Dominicana,

Colombia, Panamá, Paraguay y Brasil, así como de instituciones públicas chilenas (ONEMI, Fuerza Aérea y Dirección Meteorológica de Chile).

Al igual que en las versiones anteriores, el Diploma contempla 5 módulos de contenidos y un taller participativo con análisis de casos para potenciar el intercambio de experiencias, saberes y procesos de aprendizajes y formación continua con un enfoque orientado al aporte científico-tecnológico en las estrategias de RRD en el contexto andino.

Los 5 módulos son:

Módulo 1: Avances conceptuales y normativas sobre riesgo de desastres

Módulo 2: Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales

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

Módulo 4: Vanguardia tecnológica para la resiliencia

Módulo 5: Mitigación de desastres y preparación

### **3. Curso de capacitación MOP**

Se inició el 29 de noviembre de 2021 y estuvo dirigido a 120 funcionarios a nivel nacional.

### **4. Tesis**

- Gonzalo Melej (en colaboración con Red de Pobreza Energética)
- Josefina Carrasco (en colaboración con la carrera de sociología de la Universidad de Chile)

### **5. Debate Constituyente:**

- Comisión Universidad de Chile Constituyente
- PROMA Uchile
- ENEAS Uchile
- Fundación Chile Sustentable
- Red de Pobreza Energética

#### **4. Observaciones y futuros avances**

- Curso de Formación General:
- Contexto Andino, Riesgos socionaturales y fenómenos extremos (primer semestre)
- Gobernanza de los bienes comunes (EneAS + PRS)
- Diplomado Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia
- Cursos de capacitación MOP
- Tesistas
- Fortalecimiento de colaboración Id

## X. DIFUSIÓN Y VALORACIÓN CIUDADANA

**Integrantes del equipo: Sebastián Barría, Paula Fredes, Juliette Marin, Julián Cortés, Jaime Campos, Sandra Rojas**

### **Objetivo**

Desarrollar acciones de difusión y valoración de las ciencias de la tierra, dirigidas a públicos diversos, visibilizando el quehacer del PRS en sus distintas líneas y aportando a la transferencia tecnológica y de conocimientos, desde la academia a la sociedad.

**Estado de avance:** 90 %

### **Tareas realizadas**

#### **1. Proyecto Asociativo Regional Explora 2019-2022**

- 2019: conjunto de actividades que permiten, directa e indirectamente, visibilizar PRS.
- Apalancamiento de \$212.500.000 (250.000.000 original pero rebajado por COVID)
- 2021: 8 iniciativas dirigidas a público escolar y otros públicos (22 comunas de la zona sur poniente Región Metropolitana).
- Pendientes enero 2022: Campamento y CIAB.

#### **2. Proyecto “Comprensión Ciudadana de los Fenómenos Geofísicos y los Desastres”.**

##### **Objetivo General**

Desarrollar e instalar una exposición permanente y dinámica, en Parque C&T de Laguna Carén, orientada a la comprensión ciudadana de los fenómenos geofísicos, de los desastres y de la mitigación de sus efectos a través de la observación y generación de conocimientos para gestión territorial basada en ciencia.

##### **Objetivos Específicos.**

1. Habilitar el espacio físico de la exposición, estableciendo la locación de espacios permanentes y espacios variables.
2. Definir, diseñar, construir e instalar los módulos de la exposición, generando actividades asociadas, relatos pertinentes y rutas temáticas.

3. Elaborar programas de visitas guiadas por expertos orientadas a públicos específicos (empresas, servicios públicos, hospitales y clínicas, etc).
4. Desarrollar y ejecutar una estrategia comunicacional para difundir la exposición. Disponer de una exposición virtual. Elaborar merchandising.
5. Elaborar publicaciones orientadas a la comprensión ciudadana de los fenómenos geofísicos, los desastres naturales, su observación y la gestión territorial para la mitigación de sus efectos.
6. Desarrollar programas y proyectos de difusión para estudiantes (tipo Explora). Desarrollar visitas guiadas para estudiantes.
7. Elaborar programas periódicos para los espacios variables de la exposición.

### 3. Diseño y Comunicación Visual

a) Mantención y actualización sitio web:

- **Mantención cuatrimestral.** Se actualiza la plataforma Wordpress, sus respectivos plugins y se añaden, eventualmente, nuevas noticias y contenidos al sitio.
- **Noticias subidas y/o actividades publicadas:**
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/inach-informa-sobre-sismo-ocurrido-en-territorio-chileno-antartico-y-anuncia-la-instalacion-de-instrumental-junto-a-onemi-shoa-y-el-programa-riesgo-sismico/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/edgar-kausel-gracias-y-buen-viaje/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/terremoto-en-nueva-zelanda-simulacion-del-tsunami-entrega-informacion-detallada-del-evento/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/expedicion-cientifica-estudiara-actividad-sismica-en-la-antartica/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/a-82-anos-de-la-catastrofe-de-chillan-el-devastador-terremoto-que-marco-un-hito-en-la-ingenieria-sismica/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/curso-de-formacion-general-contexto-andino-riesgos-socionaturales-y-fenomenos-extremos-controversias-y-nuevos-paradigmas/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/ampliando-las-capacidades-de-observacion-cientifica-en-la-antartica/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/geologo-patricio-toledo-sobre-expedicion-a-la-antartica-sin-datos-nos-quedamos-ciegos/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/el-aporte-de-la-sismologia-a-las-politicas-de-salud-durante-la-pandemia/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/como-se-producen-los-sismos-en-la-antartica/>
  - <https://prs.dgf.uchile.cl/podrian-tener-algo-en-comun-el-terremoto-del-cristo-de-mayo-y-la-falla-de-san-ramon/>

- <https://prs.dgf.uchile.cl/prs-en-nuevo-capitulo-de-universidad-de-chile-podcast/>
- <https://prs.dgf.uchile.cl/investigacion-revela-nuevos-antecedentes-sobre-tsunamis-en-chile/>
- <https://prs.dgf.uchile.cl/prs-se-suma-a-las-celebraciones-de-los-80-anos-del-teatro-nacional-chileno/>

#### **Nuevos contenidos:**

- Subsección “Material audiovisual” bajo “Difusión y valoración ciudadana”: repositorio del contenido audiovisual generado por el PRS: <https://prs.dgf.uchile.cl/difusion-y-valoracion-ciudadana/material-audiovisual/>

- Elaboración de gráficas y contenido audiovisual
  - **Podcast 1: ¿Podrían tener algo en común el terremoto del Cristo de Mayo y la Falla de San Ramón? 15 de junio, 2021.**

<https://anchor.fm/programariesgosismico/episodes/Podran-tener-algo-en-comn-el-terremoto-del-Cristo-de-Mayo-y-la-Falla-de-San-Ramn-e12r1lb>

<https://open.spotify.com/episode/35X0cBQo6sWYiUiL47r8gi>

<https://www.youtube.com/watch?v=WY4inW9BNjY>



- - **Podcast 2: La bitácora de Marie Graham que describió el terremoto de Valparaíso de 1822**
    - **Cápsula Sísmica #01 - Investigación revela nuevos antecedentes sobre tsunamis en Chile**
- <https://anchor.fm/programariesgosismico/episodes/Cpsula-Ssmica-01---Investigacin-revela-nuevos-antecedentes-sobre-tsunamis-en-Chile-e16o0es>

<https://open.spotify.com/episode/7pn02sBMPUqGijTvcgIkT3>

<https://www.youtube.com/watch?v=2zTaxMCtUp4>



### - Gráficas y efemérides:

**EFEMÉRIDE:**  
**A 82 años del TERREMOTO de CHILLÁN**

24 de enero, 1939 Magnitud 7,8 Mw +60 km profundidad 24 mil muertes (según recuento de víctimas por terremoto)

**TRAS EL TERREMOTO**

- Se crea CORFO y la Corporación de Reconstrucción y Asiento (CORAS) bajo el gobierno de Pedro Aguirre Carda.
- Se incorporan nuevos datos de diseño sísmico en la Ordenanza General de Construcciones.
- Se incorpora a la construcción antisísmica el método de "taboñerías confinadas".
- Bajo la influencia del ministro de Subvenciones Sociales, se crean los Servicios de Solididad de Emergencia.

Más info en: @prsismico

**EFEMÉRIDE:**  
**Terremoto de Santiago, 1647**

"En medio del devastador panorama y ante la necesidad de contar con una figura adscrita frente a la cual la ciudadanía pudiera regar por el perdón de sus pecados, el obispo de Santiago, Gaspar de Villarroel, sacó esa misma noche al Cristo en romería entre la iglesia y la Plaza de Armas".

Luciano Ojeda, Sociólogo, Fundador de Cultura Mapocho.

**EFEMÉRIDE:**  
**Registro del primer sismograma.**

Corresponde a un sismo ocurrido en Japón el 17 de abril de 1890, registrado casualmente en Potsdam, Alemania, por el astrónomo Ernst von Reber-Paschwitz.

**EFEMÉRIDE:**  
**Terremoto de La Serena, 1604.**

En los albores de la época colonial chilena, ocurrió en La Serena un fuerte sismo que conmovió a toda la ciudad. El terremoto del 17 de junio de 1604 destruyó varios edificios, entre ellos, la antigua Parroquia La Matriz-El Sagrario, engida en 1549.

**EFEMÉRIDE:**  
**Terremoto de Arica, 13 de agosto de 1868**

A las 16:45 horas, un sismo de desplazamiento horizontal y ondulación de magnitud 8,8 sacudió a ciudad de Arica que, por entonces, era de tamaño pequeño. El movimiento provocó daños en la quechua, Atacama y Tacna.

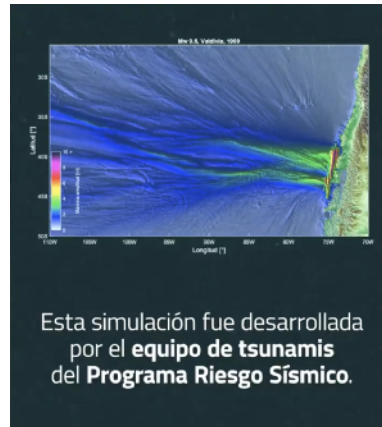
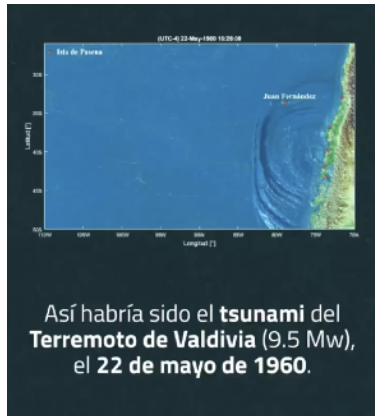
El terremoto tuvo su epicentro en el mar, generando un tsunami que afectó las costas de Moquegua y Iquique.

**EFEMÉRIDE:**  
**Terremoto de Valdivia, 10 de noviembre de 1922**

Durante mediados del siglo XIX y principios del XX, el Norte Chico fue asolado por numerosos sismos. Uno de los más destructivos fue el sismo del terremoto y posterior tsunami que ocurrió en 1922 en la zona de Valdivia que provocó graves daños en las puentes de Chañu, Caldera y Busco, así como en Huelmo y Copapo. En esta última urbe, el sismo magnitud 8,5 (Mw) dejó cuatro mil casas en el suelo, 70 muertos y por lo menos 300 heridos.

- Video efeméride terremoto de Valdivia 1960: creado a partir de la simulación creada por el equipo de tsunamis del PRS, este video subtulado explica brevemente las características del terremoto y posterior tsunami que azotó Rapa Nui: <https://twitter.com/PRSismico/status/1396113475252985856>





#### 4. Estadísticas sitio web

Período 1 enero al 15 de noviembre 2021.



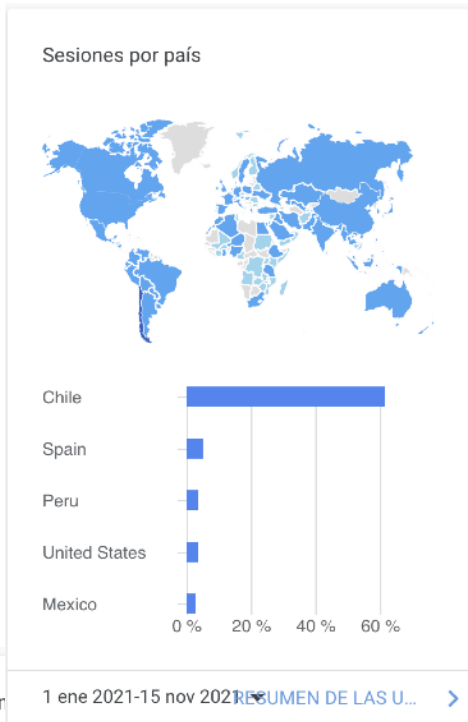
5.9 mil usuarios únicos.

7.4 mil visitas

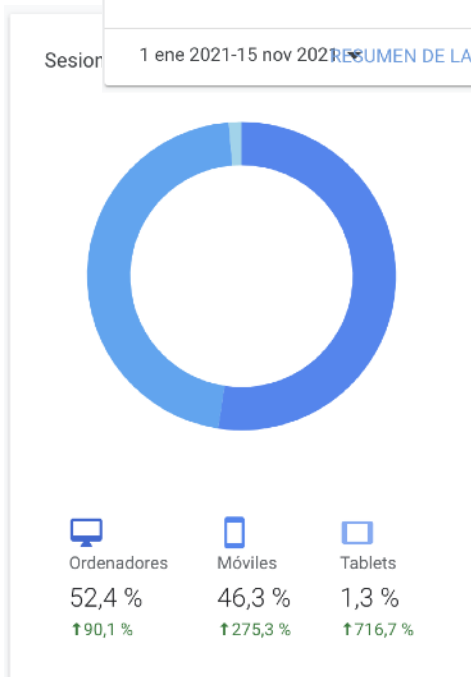
66,51 Porcentaje rebote (gente que entra y se va)

1:02 minutos: promedio tiempo de la visita.

Se gana en cantidad de usuarios en comparación con el año pasado (1,4 mil usuarios y 2,6 mil visitas en período may a dic de 2020) pero hay



61,5% Visitas desde Chile.  
El resto y en menor

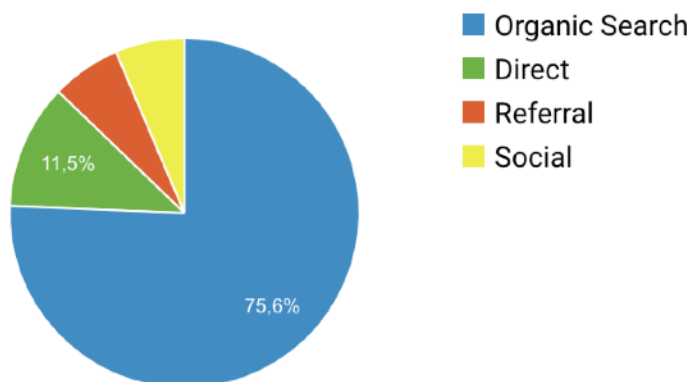


Casi la mitad de las visitas se hacen desde dispositivos móviles, subiendo notablemente en comparación con el año pasado (el uso de dispositivos sumaba 33% en el período mayo-dic 2020)

| <input type="checkbox"/> | Página ?   | Vistas de una página ? ↓                       | Número de páginas vistas únicas ?            | Promedio de tiempo en la página ?                      | Entradas ?                                   |
|--------------------------|--|--|--|--|--|
|                          |  | 12.656<br>% del total:<br>100,00 %<br>(12.656) | 9.798<br>% del total:<br>100,00 %<br>(9.798) | 00:01:28<br>Media de la<br>vista: 00:01:28<br>(0,00 %) | 7.415<br>% del total:<br>100,00 %<br>(7.415) |
| <input type="checkbox"/> | 1. /   | 3.897 (30,79 %)                                | 2.248 (22,94 %)                              | 00:00:37   | 2.072 (27,94 %)                              |
| <input type="checkbox"/> | 2. /investigacion-revela-nuevos-antecedentes-sobre-tsunamis-en-chile/  | 1.759 (13,90 %)                                | 1.555 (15,87 %)                              | 00:02:51   | 1.426 (19,23 %)                              |
| <input type="checkbox"/> | 3. /linea-de-tiempo/   | 662 (5,23 %)                                   | 591 (6,03 %)                                 | 00:04:39   | 568 (7,66 %)                                 |
| <input type="checkbox"/> | 4. /terremoto-en-nueva-zelanda-simulacion-del-tsunami-entrega-informacion-detallada-del-evento/                | 587 (4,64 %)                                   | 530 (5,41 %)                                 | 00:03:12   | 472 (6,37 %)                                 |
| <input type="checkbox"/> | 5. /observatorio-g-data/insar/   | 437 (3,45 %)                                   | 400 (4,08 %)                                 | 00:03:20   | 361 (4,87 %)                                 |
| <input type="checkbox"/> | 6. /a-82-anos-de-la-catastrofe-de-chililan-el-devastador-terremoto-que-marco-un-hito-en-la-ingenieria-sismica/ | 310 (2,45 %)                                   | 265 (2,70 %)                                 | 00:02:24   | 244 (3,29 %)                                 |
| <input type="checkbox"/> | 7. /lineas-de-investigacion/tsunamis/  | 285 (2,25 %)                                   | 231 (2,36 %)                                 | 00:01:21   | 84 (1,13 %)                                  |
| <input type="checkbox"/> | 8. /portada/que-es-el-prs/   | 243 (1,92 %)                                   | 213 (2,17 %)                                 | 00:01:32   | 81 (1,09 %)                                  |
| <input type="checkbox"/> | 9. /la-figura-del-cristo-de-mayo-y-el-terremoto-de-santiago-en-1647/   | 228 (1,80 %)                                   | 203 (2,07 %)                                 | 00:04:17   | 187 (2,52 %)                                 |
| <input type="checkbox"/> | 10. /edgar-kausel-gracias-y-buen-viaje/  | 212 (1,68 %)                                   | 178 (1,82 %)                                 | 00:02:46   | 170 (2,29 %)                                 |

Gran cantidad de visitas en el artículo “Investigación revela nuevos antecedentes sobre tsunamis en Chile”

### Canales principales



Búsqueda orgánica (azul): usuarios llegan a partir de un buscador.

Directo (verde): ingresan a la web directamente desde la URL.

Referido (rojo): Hacen clic en una web que linkea al PRS.

Social

## 5. Posicionamiento en prensa

- Expedición científica estudiará actividad sísmica en la Antártica (enero y marzo 2021)
- Cristo Mayo (mayo 2021)
- Ruido sísmico y pandemia (julio 2021)
- Tsunami y terremoto Nueva Zelanda
- Escenarios Tsunami \*\*\*\*\* (Seminario M. Iquique + Asoc. Municipios Ciudades Puerto)

## 6. Redes Sociales

### Facebook

- <https://www.facebook.com/PRSismico/>
- **199 seguidores.** Publicaciones semanales. Red social con participación mayoritaria de la comunidad FCFM Uchile. Noticias de más interés: apariciones en prensa de investigaciones PRS, notas propias web PRS, productos de divulgación científica propios. Estos últimos tienen una presencia mensual en rrs.

### Twitter

<https://twitter.com/PRSismico>

**656 seguidores (241 en 2019)** Red social con más actividad. Interacción con instituciones científicas e investigadores de Chile y el extranjero. Publicaciones con más actividad: efemérides, infografías, videos virales.

### Linkedin

<https://www.linkedin.com/in/prsismico/>

**285 contactos.** Red social con más crecimiento y alcance. La comunidad virtual coincide con el público objetivo. Amplia interacción con investigadores/as del campo de la geofísica y las ingenierías. Mejor red social para la presentación de investigaciones y resultados de éstas.

### Reporte podcast

En junio de 2021 se crea el podcast del PRS, actualmente disponible en [Spotify](#) y replicado en Youtube, a través de animación con texto. El objetivo de esta nueva plataforma fue difundir la cultura y actualidad sísmica a través de un formato sonoro, dirigido a un público adulto joven,

más habituado a estos soportes. Los contenidos se dividen en dos propuestas temáticas: actualidad sísmica, con breves cápsulas con noticias de la sismología y crónicas sísmicas, narraciones sonoras a partir de sucesos que marcaron la historia de la sismología.

PRS Podcast también se ha difundido a través de la página <https://tantaku.cl/>, repositorio virtual de las creaciones sonoras, audiovisuales y multimedia nacidas al alero de la Universidad de Chile. Este espacio también dedicó su episodio 25 a la labor que realiza actualmente el PRS: [https://www.speaker.com/user/13310337/riesgo-sismico-v1?utm\\_medium=widget&utm\\_source=user%3A13310337&utm\\_term=episode\\_title](https://www.speaker.com/user/13310337/riesgo-sismico-v1?utm_medium=widget&utm_source=user%3A13310337&utm_term=episode_title)

## ANEXO 1: Bitácora Misión Antártica PRS-CSN (ECA 57 INACH)

Misión de instalación de estaciones sismológicas en Antártica – Día a día

PRS-CSN (ECA 57 INACH)

---

**21/01/2021-04/02/2021**

- Cuarentena a Punta Arenas

---

**5/02/2021**

- Traslado en Avión de Punta Arenas a Isla Rey Jorge.

- Traslado del Aeródromo Teniente Marsh a la Base Escudero.

---

**6/02/2021**

- Visita del lugar sugirió por el INACH : Laboratorio de Radiaciones cósmicas.

Mucho viento, topografía muy marcada, sin Internet, probablemente a mas de 200 m de la base -> difícil de tirar un cable de fibra óptica.



- Visitas de otro sitio en la base: Laboratorio USACH (sobre pilares); barraca FACH/centro de ski (sin electricidad), barraca inoculada (sobre pilares).



Finalmente se decidió por el **zócalo** del módulo 1 de la Base (concreto, protegido del viento, con acceso a la electricidad y Internet con únicamente cables a tirar).

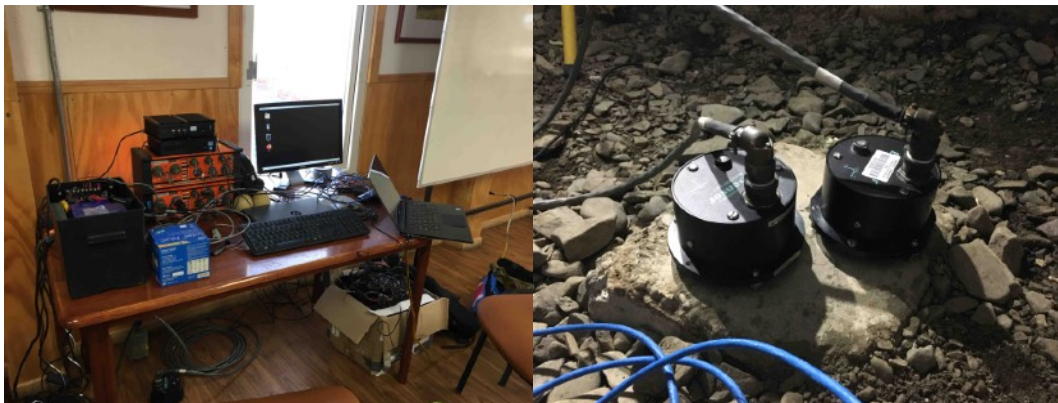


Pruebas de los instrumentos – Soldadura cable definitivo de antena GPS con las medidas exactas.

---

**07/02/2021**

Pruebas de los instrumentos – Pruebas Seiscomp.





08/02/2021

Preparación de la estación de la base escudero IN43.

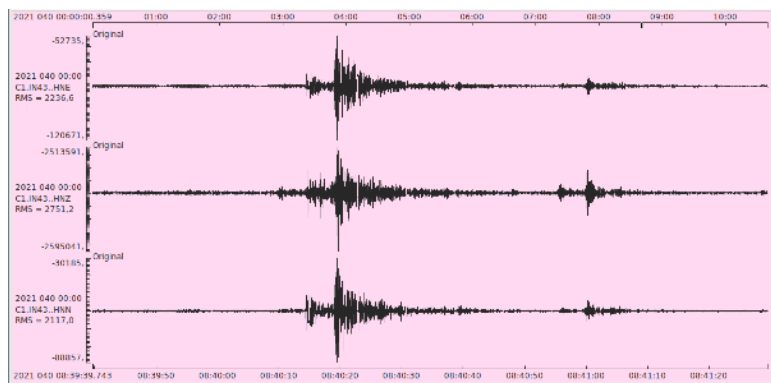
Instalación cables electricidad y Internet con la ayuda del equipo de l'INACH.

09/02/2021

Instalación del pilar de la antena GPS con la ayuda del equipo de l'INACH.



Instalación IN43 con el episensor #4447 (Isolated supply cambiado a 12V, y 2g cambiado a 1g). Prueba de 2 acelerómetros episensor durante la noche (#4447 cambiado a 2 g, #5196, 2 g).



Primeros registros de sismos.

**10/02/2021**

Resultados de la prueba, #5196 con nivel de ruido mejor que #4447.

Instalación definitiva de la estación IN43:

Estación IN43 - Network C1 – Base Escudero

Latitude= -62.2014967

Longitud=-58.9625100

Q330 #4698 ; S/N electrónico 010000144DE5988C

Episensor # 5196

GPS #080100248

Minibox #DF000000617

Seiscomp 2.6

Canales: HNE, HNN, HNZ (100 Hz), BNZ (40 Hz)

IP local Q330 : 192.168.49.111

IP publico Q330 : 190.7.65.117

IP local Minibox : 192.168.49.110

IP publico Minibox : 190.7.65.116

17h18: Corte de luz de 55 mn, el Q330 funciona con batería, el minibox tiene 15 mn de autonomía con el VPN, se necesita encender manualmente.



---

**11/02/2021**

Traslado a la Base Prat con el Buque Lautaro

Visita del sitio sugerido por la Armada.



---

**12/02/2021**

Instalación de la estación en el sitio (bodega de la base).

Cable de electricidad instalado por el sargento de la Armada.

Cable de red instalado.

Falta la antena GPS.



---

**13/02/2021**

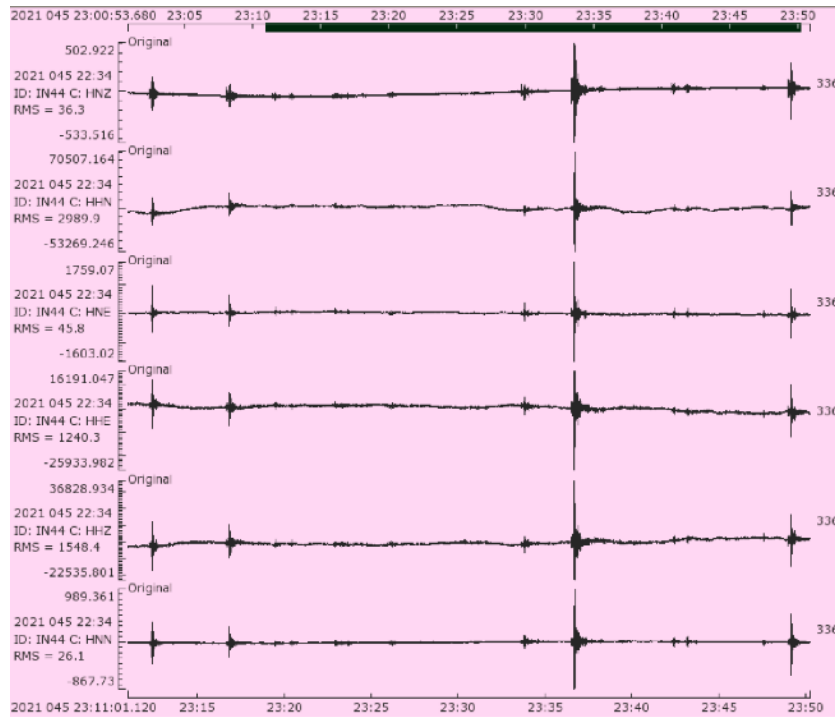
Soldadura del cable de la antena GPS, instalación de los tubos de protección afuera.

Pruebas de diferentes opciones de "levelling" del acelerometro, la mejor opción es manualmente, además se necesito usar niveles adicionales que únicamente las burbujas de los episensores.



14/02/2021

Dia 45: crisis sísmica



15/02/2021

Intentos de nivelación del Trillium, comparación de los componentes del BB et SM



HHN = HNN (low pass 5Hz integrado).

No sabemos que pasa con los componentes East y Up -> a estudiar

Pruebas cables y episensor.

---

**16/02/2021**

Instalación definitiva de la estación IN43 :

Estación IN44 – Network C1 – Base Prat

Lat= -62.4789283

Lon=-59.6634483

Q330 #4678, S/N electro 010000144D646E4A

Episensor #4976

Trillium #001232

Antena GPS #317110918

Minibox DF000000616

Seiscomp 2.6

Canales:           Acelero HNE, HNN, HNZ (100 Hz), BNZ (20 Hz)

                      Broad band HHE, HHN, HHZ (100Hz), BHE, BHN, BHZ (40Hz)

IP Q330 190.208.18.252

IP Minibox 190.208.18.251

Problema de transmisión, se veo en Quickview (CSN) pero no existe en los mseed.

Instalación SeisGram en un computador de la Armada para visualizar los datos.



---

17/02/2021

Traslado a Base O'Higgins en el buque Lautaro.



---

18/02/2021



Visita de la base O'Higgins para futura instalación y retorno a Base escudero.



---

**20/02/2021**

Base Escudero, cuarentena en casa 5.

Visita IN43, zero levelling manual.

---

**23/02/2021**

Visita Base Frei con la DGAC para la manutención de la antena GSNN del CSN.

Antena trueca. Cambio de receptor.



---

**22/02/2021**

Empaque de los materiales para la caja de retorno.



---

**23/02/2021**

Recuperación de los datos de IN43.

---

**25/02/2021**

Recuperación de los datos de IN43.

---

**26/02/2021**

Vuelo a Punta Arenas.