



PROGRAMA  
RIESGO SÍSMICO



UNIVERSIDAD  
DE CHILE

# INFORME PROGRAMA RIESGO SÍSMICO 2022

---

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)

<http://prs.dgf.uchile.cl>

# Índice

INTRODUCCIÓN.....	5
I. LÍNEA DE TSUNAMIS .....	6
1. Peligro Tsunamigénico.....	7
1.1. Fuentes Estocásticas Cinemáticas y Evaluación de la Amenaza Tsunamigénica .....	7
2. Alerta Temprana .....	9
2.1. Propuesta para Evaluar Amenazas de Tsunami en un Sistema de Alerta Temprana, utilizando Modelamiento en Tiempo <i>Cuasi-real</i> .....	9
3. Modelamiento Analítico y Numérico .....	10
3.1. Reevaluación del terremoto de Chiloé/Melinka, 2016 .....	10
3.2. Estudios analíticos de tsunamis por deslizamientos de tierra submarinos.....	12
4. Observaciones y Proyecciones .....	14
5. Publicaciones del Período .....	14
II. LÍNEA PELIGRO SÍSMICO.....	15
1. Introducción.....	15
2. Metodología.....	16
2.1. Conjunto de datos básicos .....	16
2.2. Modelo de fuentes sísmicas.....	23
2.3. Selección de ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's).....	24
2.4. Cálculo de la amenaza sísmica .....	25
3. Consideraciones sobre la metodología y resultados previos.....	26
3.1. Catálogo del CSN.....	26
3.2. Gráficos de aceleración pico (PGA) vs distancia.....	27
4. Referencias .....	32
III. LÍNEA SISMOLOGÍA DE LA FUENTE .....	34
Norte de Chile: Terremotos dentro de la placa de Nazca .....	34
Centro Norte: Tipo de sismicidad que controla el contacto de placas y el Peligro Sísmico.....	35
1) Copiapó.....	35
2) La Serena - Coquimbo.....	39
Antártica .....	42
Publicaciones del Período .....	44

<b>IV. OBSERVACIÓN SATELITAL</b> .....	45
<b>1. Proyecto DORIS (Doppler Orbit y Radiolocalización Integrada por Satélite) en la Isla de Pascua</b> .....	45
1.1. Tareas realizadas .....	45
1.2. Participación en evento.....	45
<b>2. Observatorio G-Data Insar</b> .....	47
Tareas realizadas .....	47
Publicaciones del Período .....	48
<b>V. AMENAZA SÍSMICA EN ANTÁRTICA Y PATAGONIA</b> .....	49
<b>1. Mantenimiento y ampliación de la red sismológica chilena en Antártica</b> .....	49
Instalación IN45 - Base Antártica del Ejército (BAE).....	49
Mantención IN44 - Base naval Capitán Arturo Prat .....	52
Mantención IN43 - Base Antártica Profesor Julio Escudero.....	53
Observaciones y proyecciones .....	55
<b>2. Caracterización de la actividad sísmica y peligros geotectónicos del continente antártico</b> ..	56
<b>VI. ANÁLISIS ESPECTROS Y MECANISMOS FOCALES PARA ESTUDIOS DE SISMICIDAD CORTICAL SUPERFICIAL</b> .....	59
<b>Tema 1: Identificación y calibración de algoritmos para el análisis de señales a sismos de origen volcánicos</b> .....	59
<b>Tema 2: Análisis de terremotos por movimiento de partícula</b> .....	61
<b>VII. SISTEMAS COMPLEJOS Y AMENAZA SÍSMICA</b> .....	64
Nowcasting .....	64
Observaciones y futuros avances.....	66
<b>VIII. VINCULACIÓN CON EL MEDIO</b> .....	72
<b>1. Colaboración con instituciones públicas</b> .....	72
<b>2. Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data Aysén</b> .....	72
Estación sismológica Cerro Castillo .....	72
<b>3. PAR Explora y Ciencia Ciudadana</b> .....	76
<b>4. Comunidad de Especialistas América Latina</b> .....	78
Encuentro latinoamericano sobre terremotos y tsunamis .....	78
Curso FMNEAR .....	78
<b>5. Gestión Comunicacional y de Difusión</b> .....	79
Apoyo comunicacional Encuentro de Amenaza Sísmica y Tsunami .....	79
Página web y creación de contenido de divulgación científica .....	85

<b>Posicionamiento en prensa e instituciones</b> .....	89
<b>Redes Sociales</b> .....	91
<b>Estadísticas</b> .....	92
<b>IX. PATRIMONIO, VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO</b> .....	94
<b>Tareas realizadas</b> .....	94
<b>Observaciones y futuros avances</b> .....	95
<b>X. DOCENCIA</b> .....	96
<b>1. Curso de Formación General</b> .....	96
<b>2. Diplomado Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia</b> .....	96

## INTRODUCCIÓN

El Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile, durante 2022, llevó adelante un conjunto de líneas de trabajo que, tal como puede apreciarse en este Informe, apuntan al cumplimiento de su objetivo central que es la transferencia tecnológica y de conocimientos, desde la academia a la sociedad.

El PRS es una comunidad, integrada por investigadores especializados, estudiantes de pre y postgrado, postdocs y profesionales, que ha establecido vínculos de colaboración estrechos y permanentes con otras instituciones, tanto a nivel nacional como internacional. De hecho, una de las características del trabajo realizado durante 2022 es la ampliación de las fronteras de acción, especialmente con los países que comparten el contexto andino.

Se ha extendido, de esta manera, la contribución que realiza el Programa Riesgo Sísmico a fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas del país en temas tales como amenaza y modelamiento de tsunamis, uso de satélites, peligro sísmico, sismología de la fuente, sistemas complejos y amenaza sísmica, patrimonio y cultura sísmica, entre otros.

La conformación de una red de colaboración científica y técnica en la región será uno de los énfasis del trabajo futuro, con proyección en las áreas de la formación de capital humano experto, asesoría e investigación.

Por otra parte, a nivel nacional, el aporte del PRS cobra relevancia a partir de los desafíos y oportunidades que plantea la implementación de la Ley 21.364 de SENAPRED (nueva ONEMI). Es por ello que en 2022 se inició un trabajo, que seguirá en el periodo que viene, para potenciar el rol que las Universidades del Estado deben asumir para la construcción de resiliencia y capacidades locales, tal como lo establece la nueva institucionalidad.

Los vínculos que el Programa Riesgo Sísmico ha establecido con ministerios, servicios públicos y asociaciones de municipalidades serán clave para cumplir con este desafío.

Finalmente, y tal como puede apreciarse en este Informe 2022, el PRS ha continuado con el trabajo de los años anteriores, a través de iniciativas que buscan ampliar las capacidades de monitoreo y observación para entender, comprender, y proyectar los efectos, riesgos y amenazas sísmicas en el territorio. Estas acciones buscan abarcar puntos estratégicos del país, incluidas la isla Rapa Nui, hasta la Antártica.

# I. LÍNEA DE TSUNAMIS

**Investigador responsable:** Jaime Campos.

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

**Estudiante PhD:** Francisco Uribe.

**Estudiante MSc:** Matías Sifón

## Objetivos

El objetivo de esta línea de investigación es generar nuevo conocimiento en torno al fenómeno tsunami, en todas sus dimensiones. Es de particular interés, la relación natural que existe entre la fuente sísmica y la generación de tsunamis por medio de terremotos tsunamigénicos.

Específicamente, esta línea se enfoca en:

- 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. Peligro Tsunamigénico

#### 1.1. Fuentes Estocásticas Cinemáticas y Evaluación de la Amenaza Tsunamigénica (Estado de avance: 100% Completado y publicado)

La evaluación probabilística de un fenómeno requiere identificar las posibles fuentes de incertidumbre y la capacidad de generar muestras en un espacio de probabilidad plausible. Para esto, 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 como, por ejemplo, incluir la cinemática de la ruptura, variabilidad en el ángulo *rake*, entre otros.

La metodología desarrollada 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.

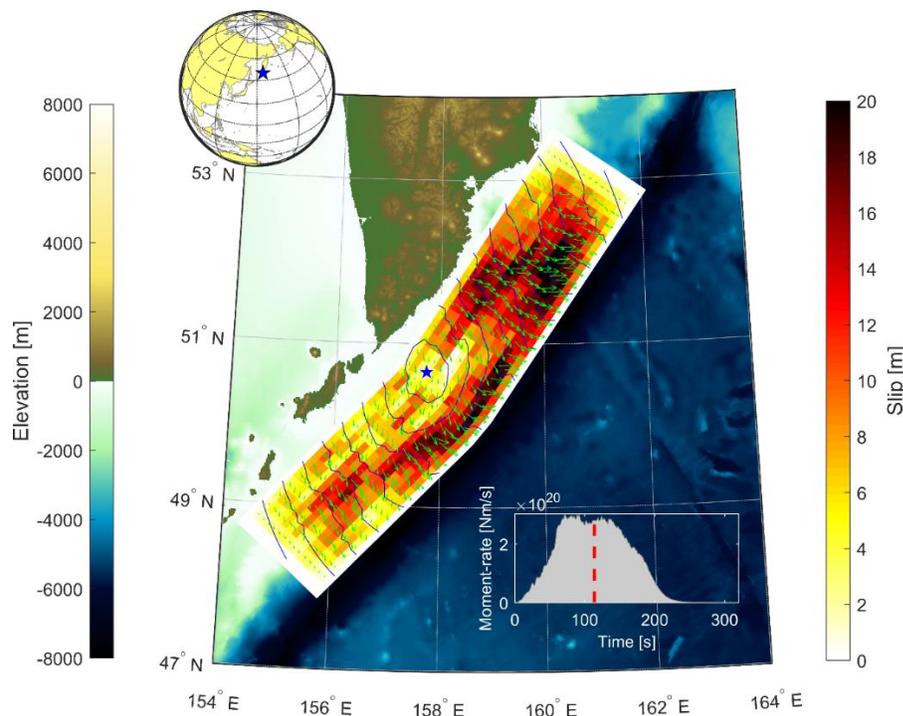


Figura 1: Realización de fuente estocástica con cinemática de la ruptura y dirección de deslizamiento (*rake*) en la zona de Kamchatka

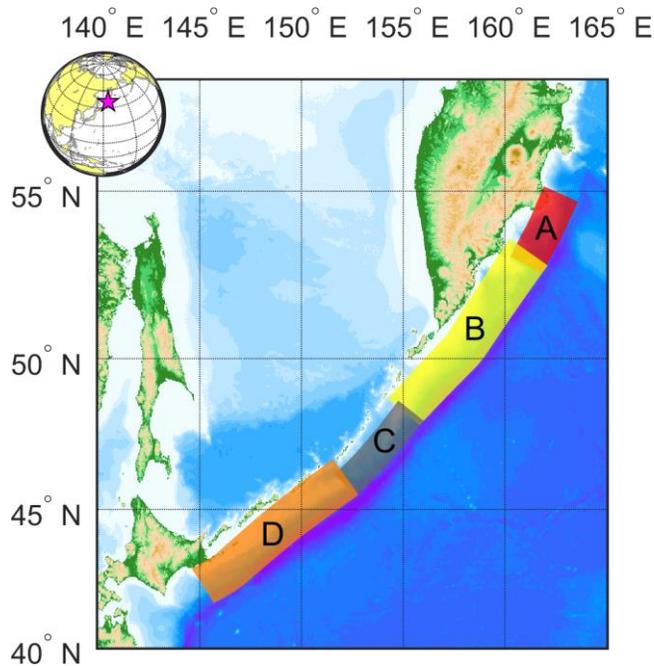


Figura 2: Segmentación de la zona de estudio, donde cada zona representa un área con potencial de generar un tsunami de magnitud importante

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 arrasado en el pasado por el gran terremoto y tsunami de Kamchatka. Así, las simulaciones requieren del uso de batimetría de alta resolución.

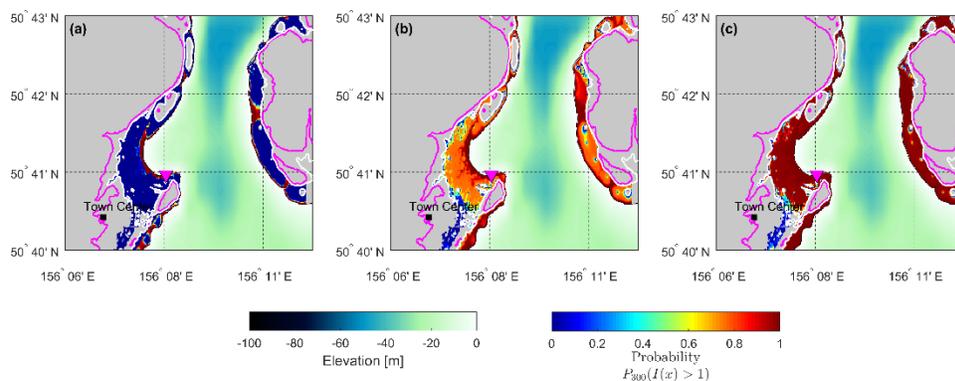


Figura 3: Mapa de probabilidad total de excedencia de inundación en 1 m, para un tiempo de exposición de 300 años y su incerteza.

Este estudio ha sido publicado en la revista "Nature", una de las más importantes y prestigiosas revistas científicas.

## 2. Alerta Temprana

### 2.1. Propuesta para Evaluar Amenazas de Tsunami en un Sistema de Alerta Temprana, utilizando Modelamiento en Tiempo *Cuasi-real* (Fase I: Tesis de Investigación: 100% Completado)

En Chile, los tsunamis representan una amenaza compleja, pues están vinculados a cortos tiempos de reacción, el cual es fuertemente dependiente de una oportuna determinación, identificación y comunicación de la información de la fuente (típicamente sísmica). La tesis de magister de Matías Sifón consiste en implementar y robustecer metodologías ya propuestas en el Programa Riesgo Sísmico. La metodología consiste en realizar una simulación de tsunami simplificada y muy rápida que permita entregar en un corto tiempo ( $\sim 1 - 2$  minutos) una evaluación de la amenaza de tsunami que sea de fácil lectura e interpretación para ser usada por tomadores de decisiones complementando los actuales sistemas.

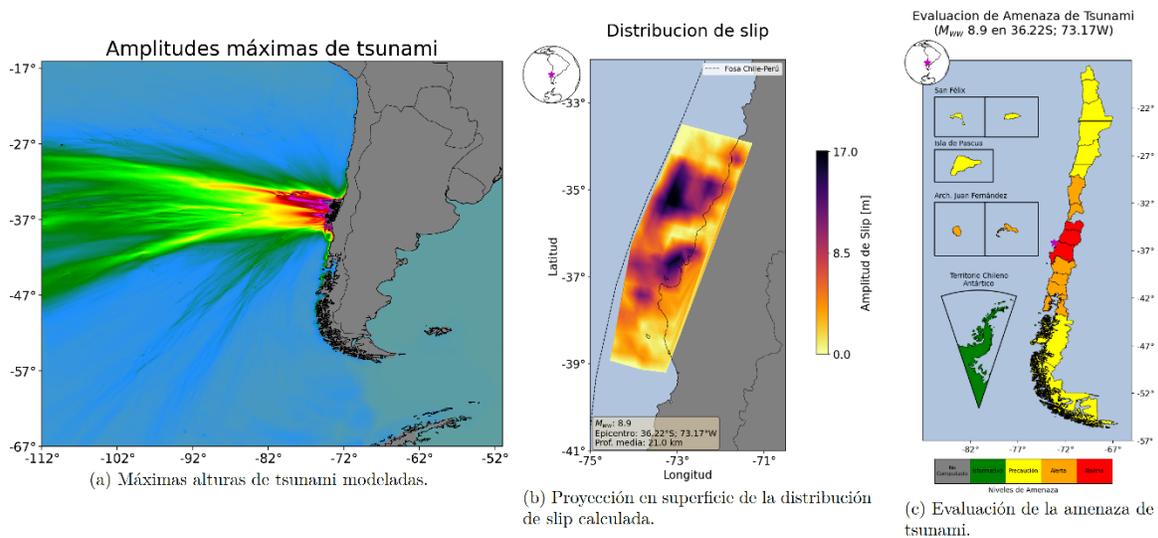


Figura 4: Evaluación de estados de alertas hipotética para el terremoto del Maule del 2010

Este trabajo se encuentra entregado en su fase académica y será presentado ante la comisión evaluadora. Es importante resaltar que este tipo de investigaciones son de una directa aplicación y permite fortalecer el vínculo y cooperación de instituciones estatales, como lo son en este caso, la Universidad de Chile y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

### 3. Modelamiento Analítico y Numérico

#### 3.1. Reevaluación del terremoto de Chiloé/Melinka, 2016

(Estado de Avance: 100% y publicado)

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.

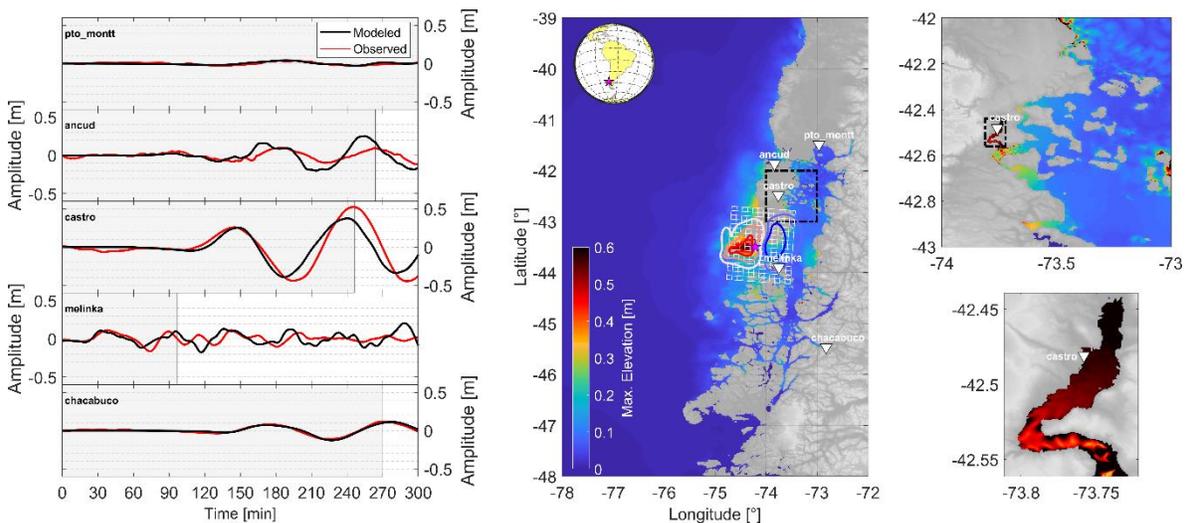


Figura 5: Resumen del proceso de ajuste de observaciones de mareógrafos, asociados al paso del tsunami instrumental generado por el terremoto de Melinka de 2016.

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.

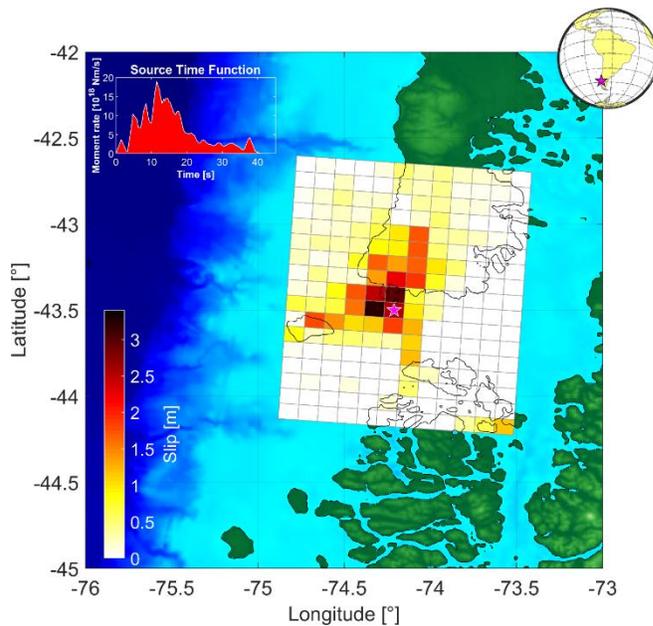


Figura 6: Resultado final de la inversión de la fuente sísmica a través del proceso de inversión conjunta.

Este estudio fue publicado en la revista de geofísica *“Geophysical Journal International”*, contribuyendo con la discusión científica al respecto de la reactivación de una importante zona sísmica del territorio nacional. Es relevante mencionar que el aporte diferenciador de incorporar los datos de tsunamis respecto a este terremoto permitió ampliar la cobertura de la resolución espacial.

Investigaciones de este tipo son un ejemplo de la importancia del trabajo multidisciplinario y colaborativo, ya que reunir distintos especialistas ha permitido la integración de datos de diferentes fuentes de información.

### 3.2. Estudios analíticos de tsunamis por deslizamientos de tierra submarinos

Los modelos analíticos permiten evaluar, sin costo computacional, aproximaciones de primer orden de un problema complejo que, usualmente, requiere de recursos numéricos. En Chile, otro tipo de tsunamis que son de interés, son aquellos generados por deslizamientos de tierra.

Este estudio presenta dos soluciones basadas en la ecuación de agua poco profunda, para los casos 1+1D y 2+1D.

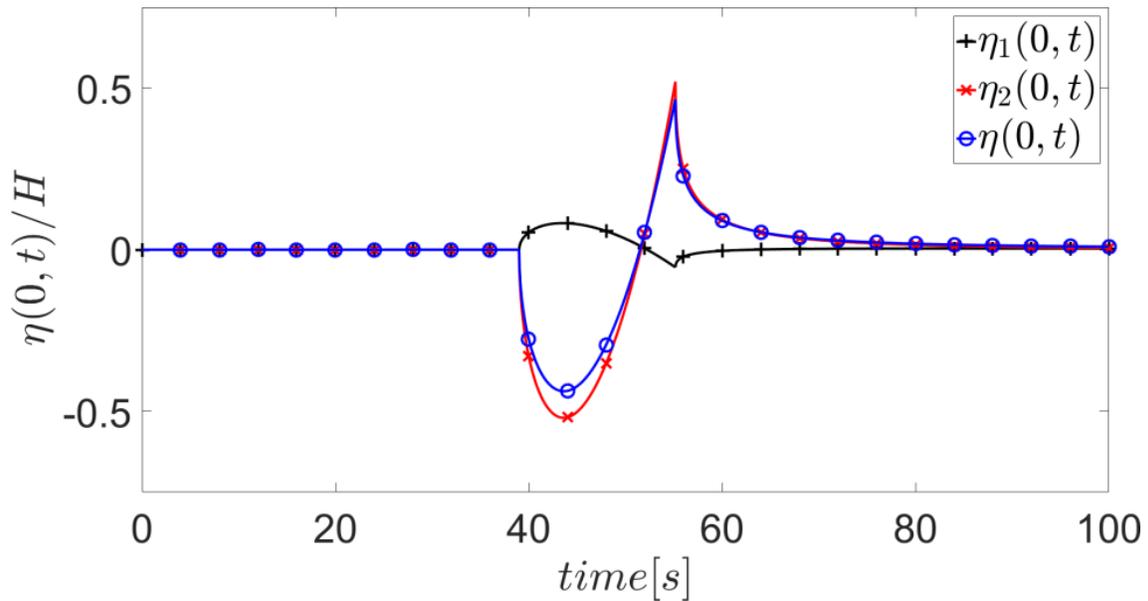


Figura 7: Comparativa sobre la contribución de los diferentes términos que componen la solución 1+1D.

Los resultados del modelo 1+1D muestran que es más importante considerar de manera adecuada las condiciones iniciales del problema en vez de modelar el deslizamiento de tierra con formas realistas. Basado en la solución analítica encontrada, el espesor del deslizamiento de tierra es el parámetro más sensible en la modelación de este fenómeno.

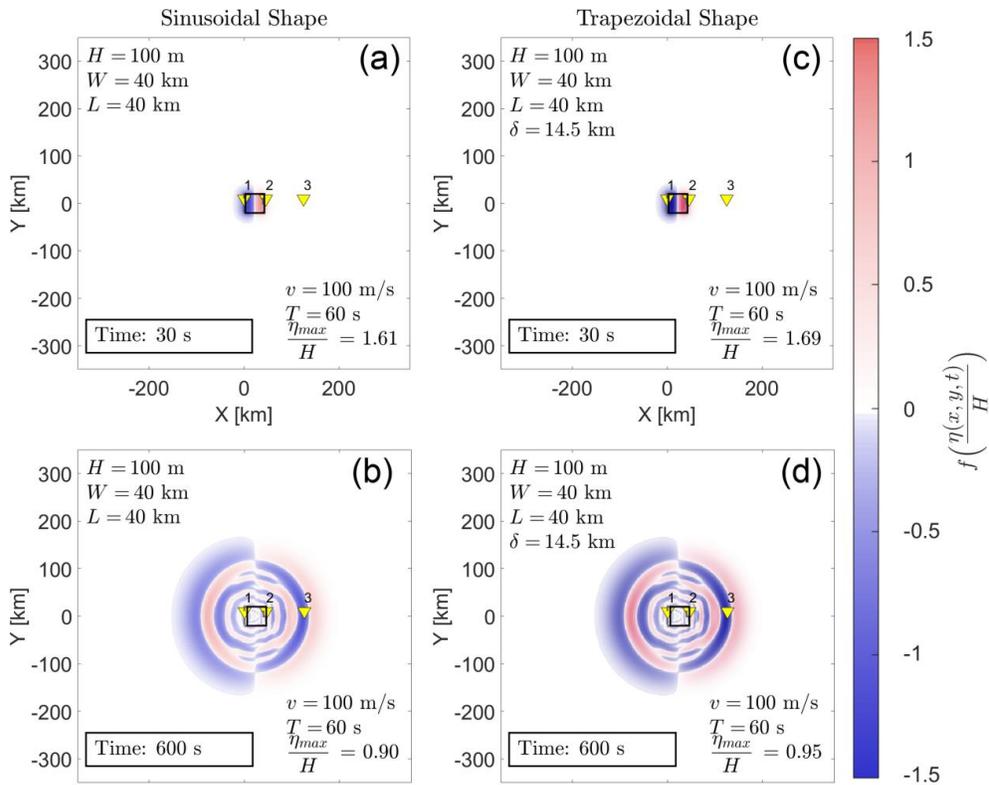


Figura 8: Capturas de la propagación del tsunami para un deslizamiento submarino teórico: a - b Forma sinusoidal; c-d Forma trapezoidal. Los triángulos invertidos de color amarillo corresponden a las estaciones virtuales.

Los modelos 2+1D realizados muestran que la forma del deslizamiento de tierra no es relevante, ya que el patrón de propagación y la generación de ondas son muy similares entre ambas formas propuestas. La configuración en planta de la forma del deslizamiento de tierra es un factor importante que considerar, y sumado al volumen de este, son parámetros esenciales para evaluar correctamente el riesgo generado por este tipo de tsunamis.

Este trabajo ha culminado y se encuentra bajo el proceso de revisión de una revista científica para ser publicado.

#### 4. Observaciones y Proyecciones

Las investigaciones realizadas constituyen una valiosa adición al capital humano en materia de tsunamis. Esto se refleja en el desarrollo de una nueva tesis de magister en un tema altamente sensible e importante para Chile, como es la alerta temprana de tsunamis. Al mismo tiempo, el PRS trabaja activamente en el desarrollo de conocimiento fundamental en estas materias, con el propósito de contribuir al entendimiento científico de este fenómeno.

A futuro, se sugiere continuar con la fase II de la propuesta metodológica de alerta temprana, la cual es implementarla en dependencias del SHOA y realizar un seguimiento conjunto del desempeño del software (fase de prueba). También, se plantea continuar con las investigaciones de carácter más teórico, ya que el PRS es la única entidad a nivel nacional que aborda la temática desde un punto de vista del desarrollo de la ciencia fundamental.

#### 5. Publicaciones del Período

De los estudios realizados en el año 2022, se desprenden publicaciones científicas en revistas indexadas:

- Bravo, F., Peyrat, S., Delgado, F., Fuentes, M., Derode, B., Perez, A., and Campos, J. (2022). *Fully joint inversion of the 2016 Mw 7.6 Chiloé earthquake*. *Geophysical Journal International*, 232(3), 2001-2016.
- Fuentes, M., and Riquelme, S. (2022). *Stochastic tsunami modeling induced by kinematic complex sources*. *Scientific Reports*, 12(16815), Nature.
- Uribe, F., Fuentes, M., and Campos, J. (2022). *Analytic and Semi-analytic models for underwater landslide tsunamis*. (Enviado para publicación)

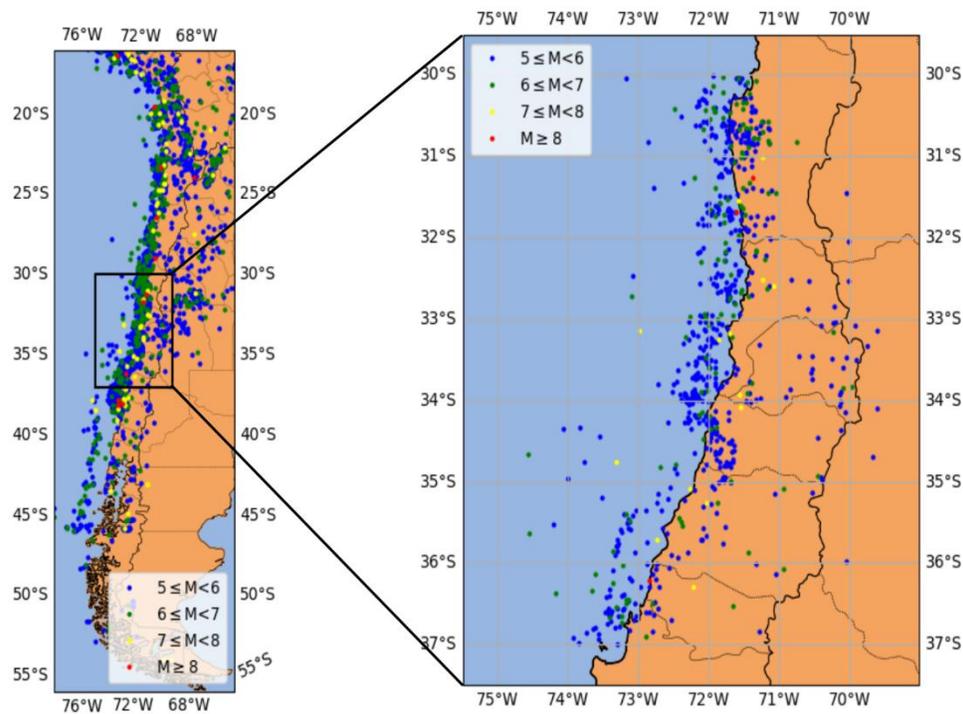
## II. LÍNEA PELIGRO SÍSMICO

**Investigadores responsables:** Raúl Madariaga y Jaime Campos

**Equipo investigador:** Mauro Navarrete

### 1. Introducción

En este informe se detalla la formulación de la metodología sobre la investigación de peligro sísmico en la zona central de Chile, además de algunos resultados preliminares obtenidos desde julio del 2022 hasta la fecha. La investigación se centra entre las latitudes 30°-37°S de Chile, es decir, entre las regiones de La Serena y Biobío. La zona además considera la parte más sur del segmento de flat-slab (o subducción plana) Pampeano (Ramos & Folguera, 2009) (Figura 1). La zona de estudio contempla las áreas más afectadas por el terremoto de Valparaíso de 1730 de magnitud estimada en 8.5-9  $M_S$  (Udías et al., 2012).



*Figura 9. Mapa geográfico de Chile mostrando la sismicidad en función de la magnitud. La zona de estudio se muestra a la derecha. Datos extraídos del catálogo del ISC-GEM.*

## **2. Metodología**

Para la elaboración de la metodología se está ocupando como referencia el Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia (Arcila et al., 2020). Éste contempla 4 etapas: 1) Conjunto de datos básicos, 2) Modelo de fuentes sísmicas, 3) Selección de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's), y 4) Cálculo de la amenaza sísmica. Puesto que en este trabajo aún no se ha debatido sobre ciertas etapas, algunas serán más discutidas que otras. A continuación, se detallan las etapas de la metodología.

### **2.1. Conjunto de datos básicos**

El modelo colombiano contempla 3 conjuntos de datos, estos son: catálogo sísmico integrado, base de datos de fallas activas y base de datos de movimientos fuertes. Nuestra investigación trabajará con el catálogo sísmico del ISC-GEM, las bases de datos de fallas activas de CHAF Pangaea y GEM, y la base de datos de movimientos fuertes del CSN.

#### **2.1.1. Catálogo sísmico del ISC-GEM**

A diferencia del modelo colombiano, que usa una diversidad de catálogos sísmicos para crear un catálogo sísmico integrado, nosotros usaremos el catálogo del ISC-GEM. Este catálogo es el resultado del trabajo conjunto entre el Centro Sismológico Internacional (ISC) y la fundación Global Earthquake Model (GEM). Para la construcción de este catálogo se usaron procesos estandarizados de relocalización y se recalcularon magnitudes tipo  $M_s$  y  $m_b$  para homogeneizar el catálogo con magnitudes tipo  $M_w$  mediante relaciones de conversión (Arcila et al., 2020). En este catálogo se encuentran sismos de magnitud 5.5 y superior, y eventos continentales de hasta magnitud 5.0 (International Seismological Centre, s.f.) (Figura 2).

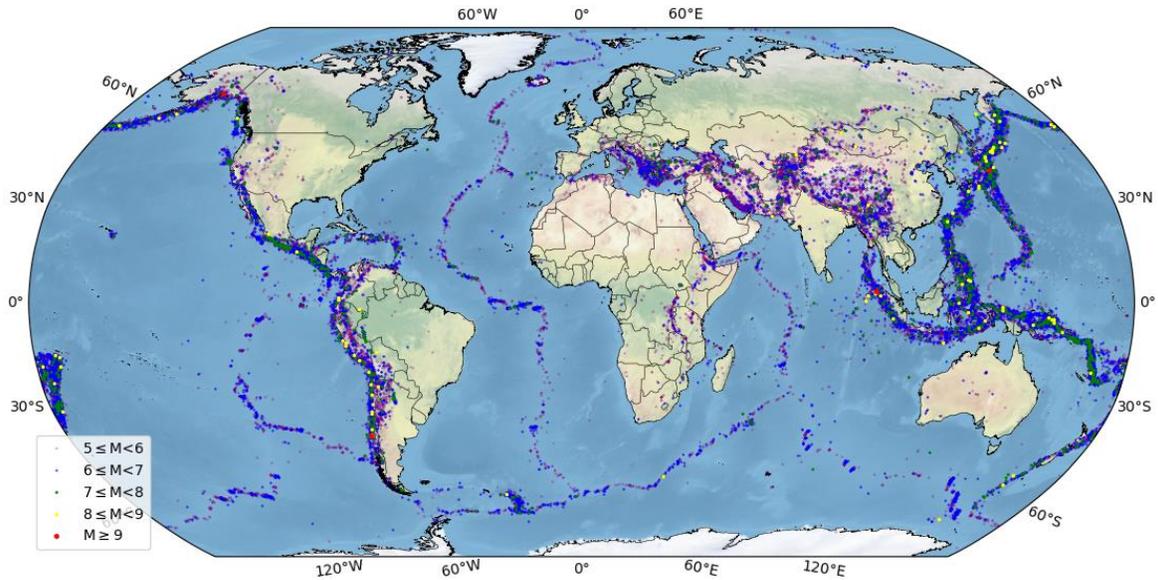


Figura 10. Mapa mundial mostrando la sismicidad en función de la magnitud. Datos extraídos del catálogo del ISC-GEM.

Característica	Descripción
Número de eventos	708
Período	1906 – 2018
Tipo de magnitud	Mw
Rango de magnitud	5.0 - 8.79
Rango de profundidad (km)	10.0 – 115.5

Tabla 1. Características generales del catálogo del ISC-GEM para los eventos ocurridos en la zona de estudio.

La Tabla 1 muestra las características generales para el conjunto de eventos de nuestra zona de estudio. Puesto que nosotros solamente usaremos el catálogo del ISC-GEM, no es necesario realizar las matrices de priorización ni calcular las relaciones de conversión de magnitud como se hizo en el modelo colombiano de amenaza sísmica.

### 2.1.1.1. Definición del modelo de probabilidad

Teniendo el catálogo sísmico, es necesario definir el modelo probabilístico a usar, puesto que se debe hacer una especificación de las fuentes sísmicas y de las distribuciones temporales y de magnitud de la sismicidad para cada una de ellas. La aproximación Cornell-McGuire que la ocurrencia sísmica en el tiempo es aleatoria y sigue el proceso Poissoniano, es decir, la ocurrencia sísmica en el tiempo es estadísticamente independiente (Kijko et al., 2020). En el modelo colombiano se asume la ocurrencia sísmica independiente, o sea que la tasa de ocurrencia de eventos es constante, por lo tanto, una distribución de probabilidad

de Poisson es usada (Arcila et al., 2020). Para usar esta aproximación, usualmente es usada la relación Gutenberg-Richter como modelo de recurrencia (Kijko et al., 2020):

$$\log_{10} N = a - bM$$

donde  $N$  es el número de sismos con magnitud mayor o igual a  $M$  y  $a$  y  $b$  son constantes a determinar.

En la zona de estudio, el valor de la constante  $b$ , conocido como  $b$ -value, se estima en 0.809, considerando solamente la tendencia lineal observada, es decir, entre los valores de magnitud 5.0 y ~8.11 (Figura 3).

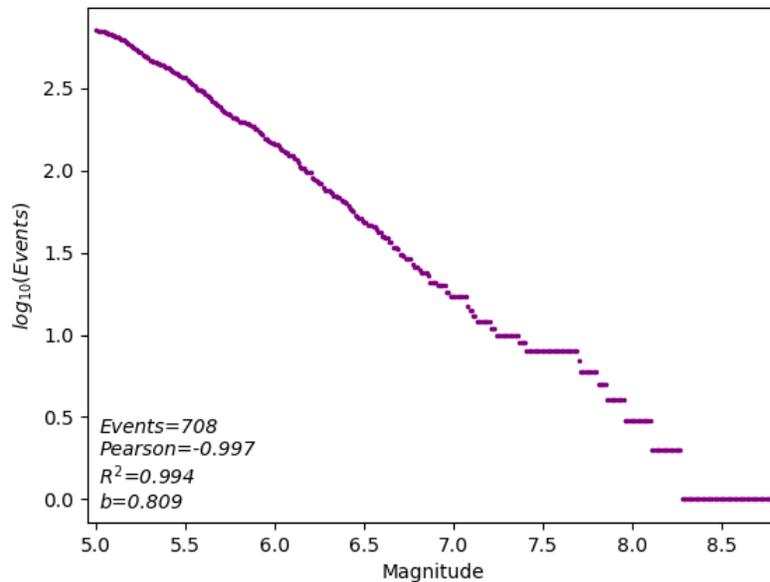
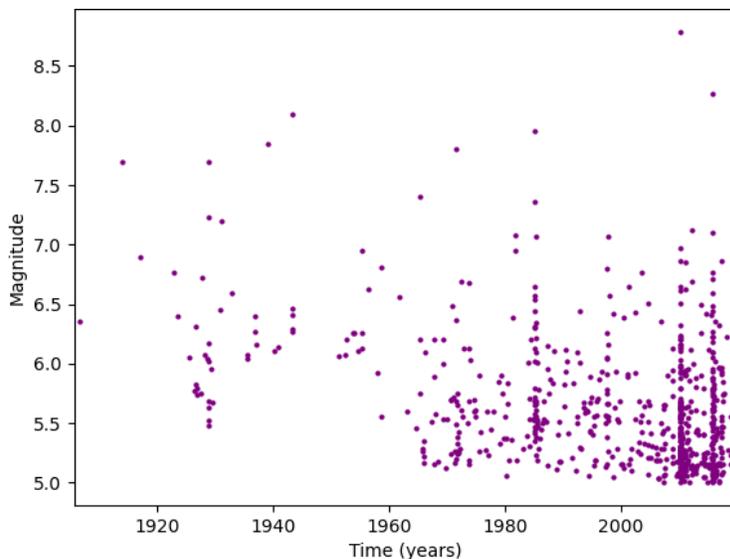


Figura 11. Ley de Gutenberg-Richter tomando todos los eventos sísmicos de la zona de estudio del catálogo del ISC-GEM.

Adicionalmente, es necesario hacer una remoción de eventos dependientes como precursores o premonitores, réplicas y enjambres. En el modelo de amenaza sísmica colombiano se utilizó la herramienta Hazard Modeller's Toolkit (HMTK) del motor de cálculo OpenQuake, la cual utiliza el algoritmo presentado en Gardner & Knopoff (1974). Según Arcila et al. (2020) destacan también los algoritmos desarrollados por Reasenberg (1985), Afteran (Musson, 1999), Zhuang et al. (2002) y Hainzl et al. (2006). La remoción de eventos consideró dos grupos de ambientes tectónicos diferentes: 1) de interplaca y corticales y, 2) intraplaca de profundidad intermedia. Este proceso de remoción de eventos fue hecho de esa manera, puesto que eventos de la zona de interplaca del Pacífico puede generar réplicas en la zona cortical.

### 2.1.1.2. Análisis de completitud del catálogo

Posteriormente es necesario realizar un análisis de completitud, el cual es posible realizarlo de diversas formas. El modelo colombiano utiliza el método de Stepp (1972), el cual se basa en identificar intervalos de tiempo en los que la información del catálogo se considere completa a partir de una magnitud determinada (magnitud de completitud). En nuestro caso, es posible que existan varios rangos de fechas en los que la magnitud de completitud varía. El catálogo del ISC-GEM en la zona de estudio sólo posee 3 eventos antes del año 1920. Entre los años 1920 y 1964 la red de monitoreo crece y más eventos son registrados, por ende, la magnitud de completitud decrece. Posterior al año 1964 la red sísmica crece considerablemente, bajando aún más la magnitud de completitud. Luego del año 2010 se nota el gran crecimiento de la red sísmica, teniendo una gran cantidad de registros para sismos mayores o iguales que 5 (Figura 4).



*Figura 12. Gráfico de magnitud de los eventos sísmicos en la zona de estudio del catálogo del ISC-GEM en función del tiempo. Notar la variación de la magnitud de completitud con el tiempo.*

### 2.1.2. Bases de datos de fallas activas

En esta investigación se pretende usar las bases de datos de fallas activas de CHAF Pangaea (Maldonado et al., 2021) y GEM (Styron & Pagani, 2020). La base de datos de fallas activas de CHAF Pangaea provee una serie de parámetros asociados a cada falla, tales como su nombre, su ubicación (latitud y longitud), el tipo de falla (inversa, normal, transcurrente u oblicua), rumbo, manteo, dirección de manteo, rake, entre muchos otros. Adicionalmente, presentan la actividad y los criterios de incorporación de fallas a la base de datos, es decir, los criterios usados para incorporar y clasificar una falla como probada, probable o posible

(Maldonado et al., 2021). En la Figura 5 se muestran 3 mapas con las fallas clasificadas según la magnitud sísmica máxima esperada para trazas de falla individuales.

La base de datos de fallas de la fundación GEM cuenta con un total de ~13500 fallas activas en todo el mundo. Ésta provee atributos que describen la geometría, cinemática, tasas de desplazamiento, referencias, entre otras (Styron & Pagarin, 2020). La base de datos de fallas para Sudamérica está cubierta por dos bases de datos: 1) Tectónica activa de Los Andes de Veloza et al. (2012) y, 2) Proyecto SARA (Alvarado et al., 2017) (Figura 6).

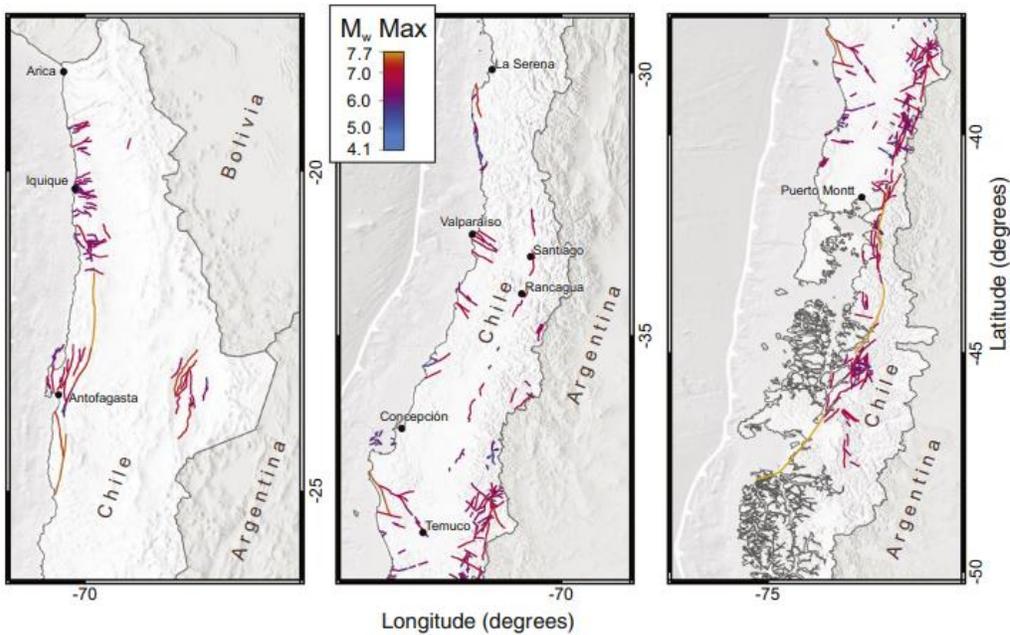


Figura 13. Mapas geográficos mostrando las fallas corticales mapeadas según el proyecto CHAF-Pangaea. La escala de colores muestra la magnitud sísmica máxima esperada para cada segmento de falla estimada usando relaciones empíricas (Maldonado et al., 2021).

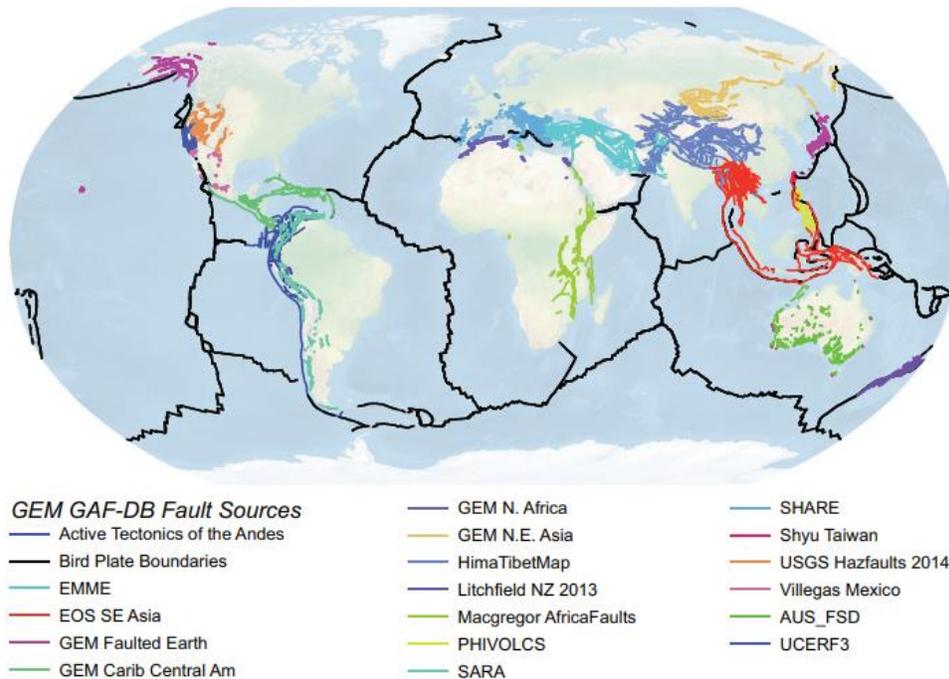


Figura 14. Mapa mundial mostrando las trazas de fallas mapeadas según la base de datos de GEM.

### 2.1.3. Base de datos de movimientos fuertes

La base de datos de movimientos fuertes que se usará corresponde a la que provee el CSN en su sitio web (CSN, s.f.). En este sitio se proveen los registros de aceleración del suelo de eventos significativos según el CSN, además de los parámetros hipocentrales (fecha, latitud, longitud, profundidad y magnitud). Los registros de aceleración son útiles para determinar los valores máximos de aceleración del suelo (Peak Ground Acceleration; PGA), así como también los de velocidad y desplazamiento (PGV y PGD). Adicionalmente, con ellos se puede estimar los valores de aceleración y velocidad pseudoespectral (PSA y PSV). Éstos últimos son relevantes en el cálculo del peligro sísmico, puesto que son considerados como más completos para describir los niveles de peligro (Das et al., 2006).

Para la confección de la base de datos, en primer lugar, se ha usado el programa *CURL*. Éste permite acceder a la web del CSN y extraer los parámetros hipocentrales, estaciones y el id de cada evento de la web. Posteriormente, usamos la librería *Request* de Python para acceder, mediante el id de cada evento, a la web del CSN y descargar el registro de acelerograma de cada estación. Para el cálculo de PGA se usó la librería *Eqsig* de Python, la cual permite leer señales y obtener diferentes parámetros sísmicos a partir de éstas.

### **2.1.3.1. Clasificación tectónica y base de datos de las estaciones**

Para la base de datos de movimientos fuertes se deben usar eventos con mecanismo focal determinado. El modelo colombiano utiliza como fuente de mecanismos focales el catálogo del GCMT. Posteriormente, agruparon los eventos sísmicos en cuatro regiones tectónicas independientes: 1) Corteza activa (cortical), 2) Zona de subducción (interplaca), 3) Zona de Benioff (intraplaca) y, 4) Zona del nido sísmico de Bucaramanga (intraplaca).

Posterior a la clasificación según región tectónica, ellos calcularon los valores de  $Z_1$  y  $Z_{2.5}$ , los cuales corresponden a las profundidades en donde se encuentran velocidades de onda cortante ( $V_s$ ) de 1 y 2.5 km/s, respectivamente (Arcila et al., 2020). Adicional a esos valores, se estimó el valor de  $V_{S_{30}}$  en cada estación, es decir, el valor promedio de la velocidad de onda cortante en los 30 metros más superficiales del suelo. En nuestro caso, el valor de  $V_{S_{30}}$  para muchas de las estaciones del CSN se encuentra en el sitio web de éste. Además, en ciertos casos se encuentra el gráfico HVRSR, correspondiente a las vibraciones naturales presentes en el suelo para las diferentes estaciones. Estos parámetros son útiles para identificar posibles efectos de sitio.

### **2.1.3.2. Procesamiento de acelerogramas**

El modelo colombiano, en la fase de procesamiento de registros de aceleración, usó una adaptación de la metodología desarrollada por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (Ancheta et al., 2013). Esta metodología se resume en un proceso iterativo en donde se corrige la línea de base de cada registro para luego filtrarlo en el dominio de la frecuencia (Arcila et al., 2020) (Figura 7).

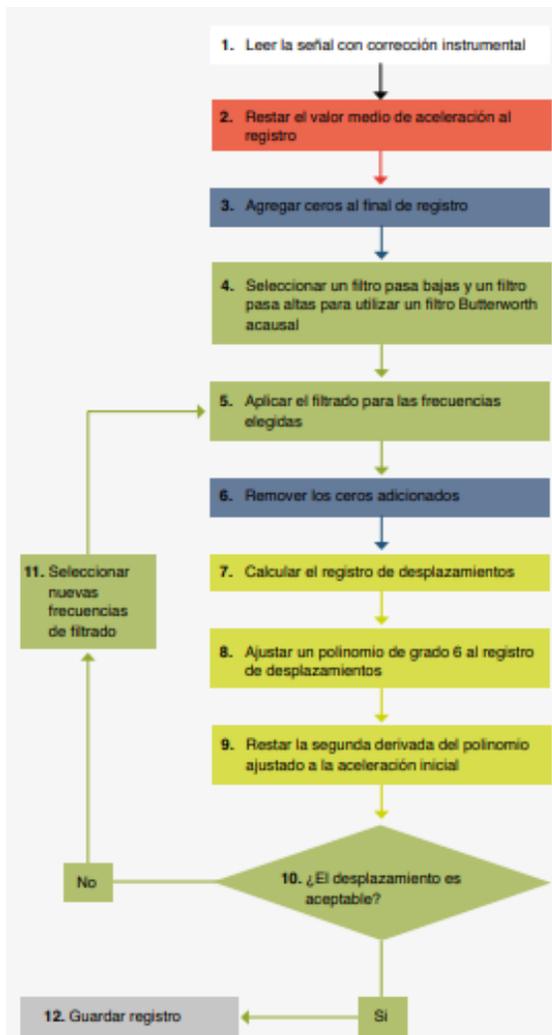


Figura 15. Resumen del procesamiento de acelerogramas usado en el modelo de amenaza sísmica colombiano.

## 2.2. Modelo de fuentes sísmicas

Un resumen de la metodología usada en el modelo colombiano se presenta en la Figura 8. Para el modelo de fuentes sísmicas, el modelo colombiano en primer lugar hace una clasificación de la sismicidad según su origen tectónico. Para ello consideran 4 ambientes: 1) Cortical, 2) Interplaca, 3) Zona de Benioff o de intraplaca y, 4) Zona de intraplaca del Nido de Bucaramanga. Para esta clasificación se deben considerar diferentes criterios, los cuales se basan principalmente en la ubicación de los límites de las diferentes capas (corteza, manto, slab) según la información geológica y geofísica existente.

Posteriormente, en el modelo colombiano se considera un árbol lógico para las fuentes sísmicas. Esto se hizo con el fin de armonizar y consolidar los resultados de los diferentes

enfoques y tipos de fuentes (Arcila et al., 2020), puesto que para las diferentes fuentes tectónicas se consideran diferentes modelos. Por ejemplo, para las fuentes superficiales se consideran dos alternativas: 1) Modelo de fuentes volumétricas tipo área (de sismicidad equiprobable) y, 2) Modelo compuesto por fallas activas y de sismicidad suavizada.

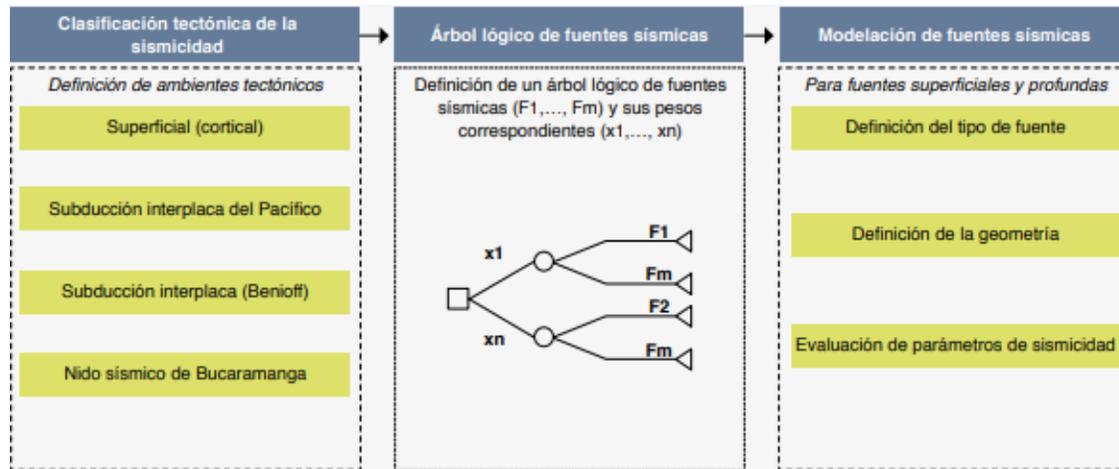


Figura 16. Esquema general de actividades de la modelación de fuentes sísmicas del modelo colombiano.

### 2.3. Selección de ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's)

Las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo permiten estimar la aceleración espectral esperada en un sitio determinado en función de la magnitud y la distancia entre la localización del evento y la zona de estudio. En el modelo colombiano se consideró una gran cantidad de ecuaciones de atenuación para evaluar su ajuste con los datos, y posteriormente hacer una elección final de las GMPEs que se usarán. Un resumen de su metodología se encuentra en la Figura 9.

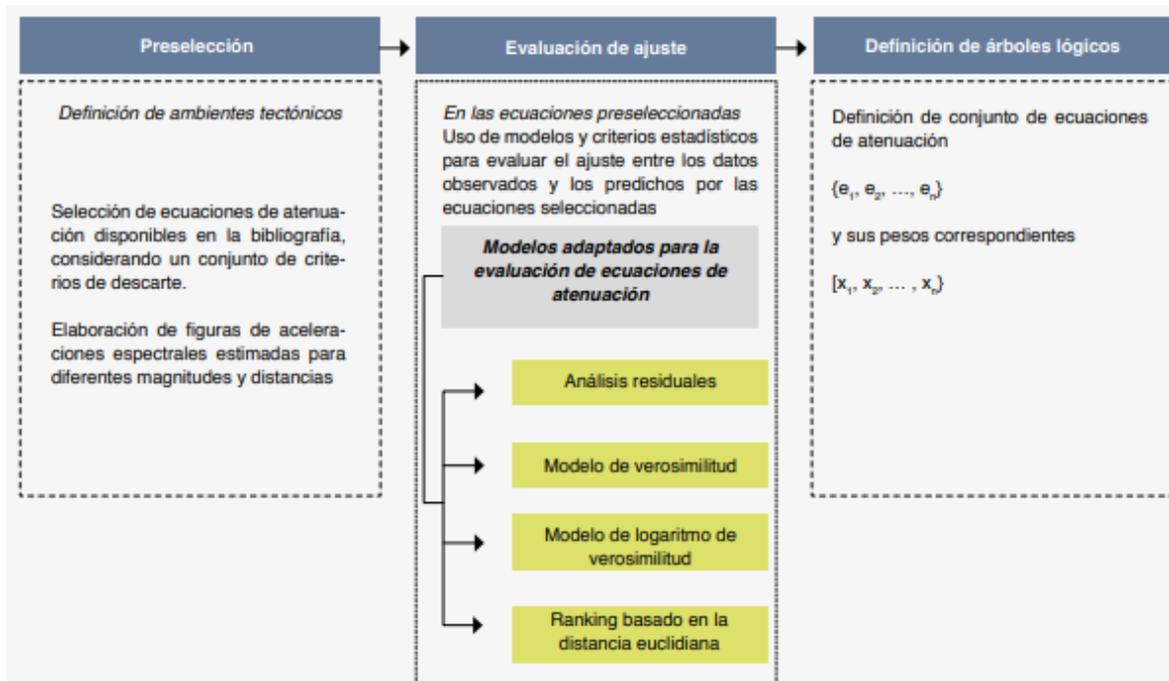


Figura 17. Procedimiento empleado en la selección de ecuaciones de atenuación para el modelo de amenaza sísmica colombiano.

## 2.4. Cálculo de la amenaza sísmica

Finalmente, en el modelo de amenaza sísmica colombiano se calcula el valor de amenaza, considerando un enfoque probabilista. En éste la amenaza se evalúa como la probabilidad con que un cierto valor de amenaza, definido por un parámetro del movimiento del terreno (como PGA), es excedido en determinado sitio (Arcila et al., 2020). Esta definición es expresada como:

$$H = P[x(s) \geq x_0; t]$$

donde  $H$  es la amenaza sísmica y viene representada por una función de probabilidad  $P$  del parámetro que indica la intensidad del movimiento del suelo  $x$  en un sitio determinado  $s$ , dado un umbral  $x_0$  del parámetro de intensidad en una ventana de tiempo  $t$  (Arcila et al., 2020). A partir del análisis de peligro sísmico, los resultados que se obtienen son: curvas de amenaza, espectros de amenaza uniforme y mapas de amenaza. Este análisis se resume en la Figura 10.

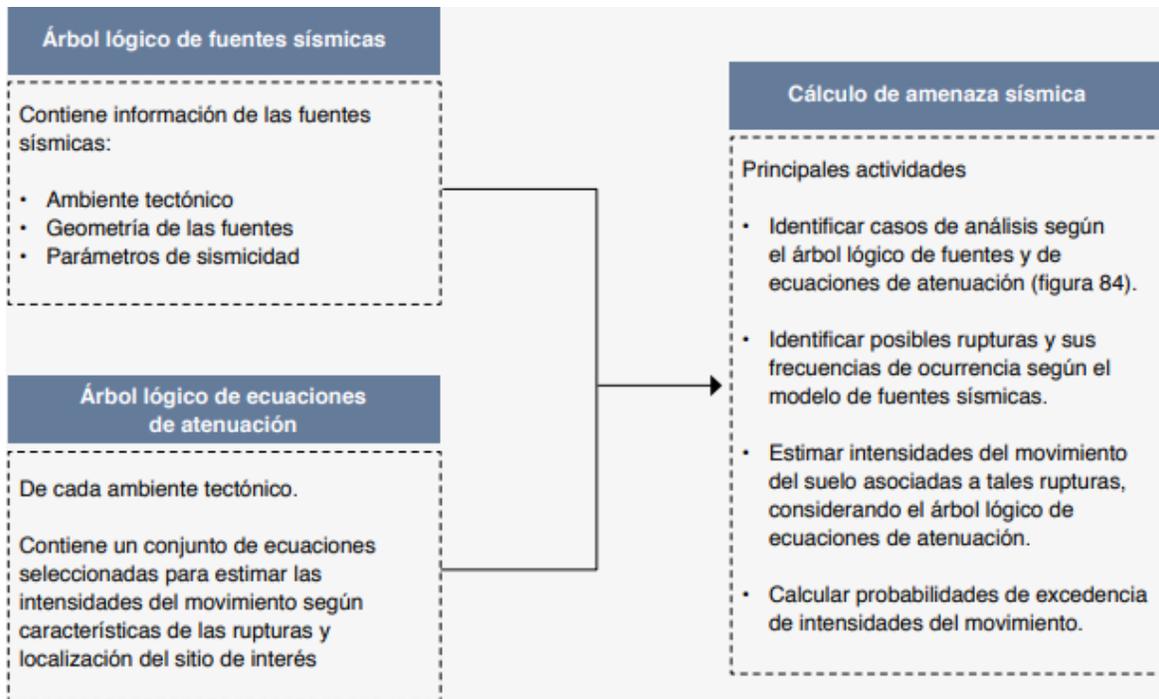


Figura 18. Componentes del cálculo del modelo de amenaza sísmica colombiano.

### 3. Consideraciones sobre la metodología y resultados previos

#### 3.1. Catálogo del CSN

Nuestra investigación cuenta con todos los datos descritos anteriormente. Existe una gran cantidad de catálogos sísmicos, de los cuales algunos fueron ocupados por el equipo que realizó el modelo colombiano de amenaza sísmica, por ejemplo: ISC, ISC-REV, EHB, GCMT, entre otros. Nosotros contamos con los datos de los demás catálogos, además del catálogo sísmico del CSN. Este catálogo cuenta con 3 magnitudes:  $M_I$ ,  $M_w$  y  $M_{ww}$ . La magnitud  $M_I$  se calcula mediante una desconvolución del registro y una convolución con un filtro Wood-Anderson. Posteriormente se leen las amplitudes máximas y se utiliza el método de Richter. Según el CSN,  $M_I$  es usada para eventos con magnitud  $M < 4.5$ .  $M_w$  es calculada mediante el método de Brune con espectros de onda P o S y se usa para eventos con magnitud en el rango  $4.5 < M < 5.5$ . Finalmente, la magnitud  $M_{ww}$  se calcula mediante una inversión de la fase W y es utilizada para eventos con  $M > 5.5$ . Nosotros realizamos tres comparaciones, en las cuales se consideran los eventos con magnitudes  $M_w$  del catálogo del ISC-GEM, y, por otro lado, los eventos sísmicos con magnitudes  $M_I$ ,  $M_w$  y  $M_{ww}$  del CSN, cada comparación por separado (Figura 11).

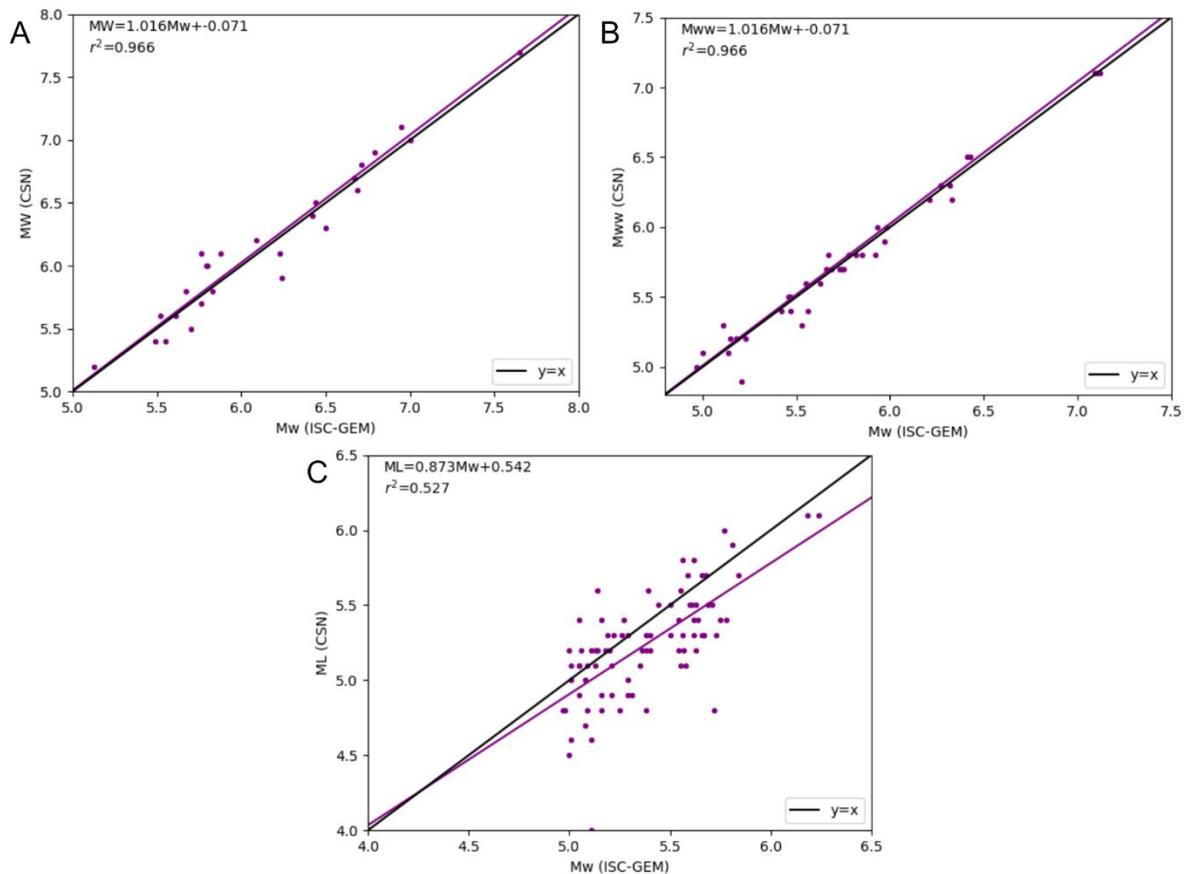


Figura 19. Gráficos de comparación entre magnitudes del CSN e ISC-GEM para eventos registrados en ambos catálogos.

### 3.2. Gráficos de aceleración pico (PGA) vs distancia

Tal y como se detalló en la sección 2.1.3., se descargaron varios registros de aceleración de eventos ocurridos en la zona central. A partir de estos registros, con una simple rutina de Python se calculó la PGA y se realizaron diferentes gráficos de PGA vs distancia. En específico, a modo de exploración, se obtuvieron los acelerogramas de eventos ocurridos en la zona de estudio, desde 2014 hasta la actualidad, de magnitud mayor o igual a 6, hasta 80 km de profundidad. Se descargaron un total de 43 eventos y se procesaron para obtener los gráficos mencionados. Adicionalmente, se obtuvieron los espectros de aceleración y los sismogramas a partir de una integración del acelerograma. Las siguientes figuras muestran los gráficos mencionados del terremoto 8.4 Mw ocurrido el 2015 en Illapel.

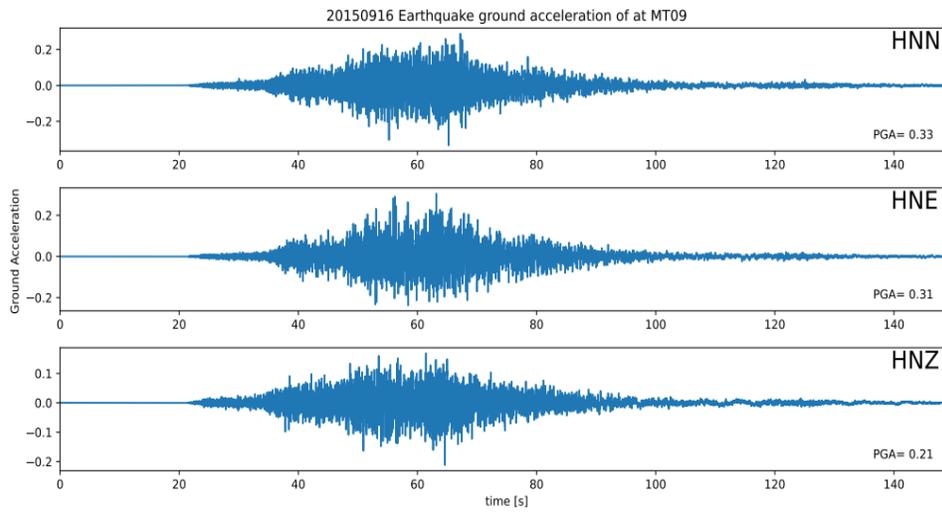


Figura 20. Acelerograma registrado por la estación MT09 del terremoto 8.4 Mw del 2015 en Illapel.

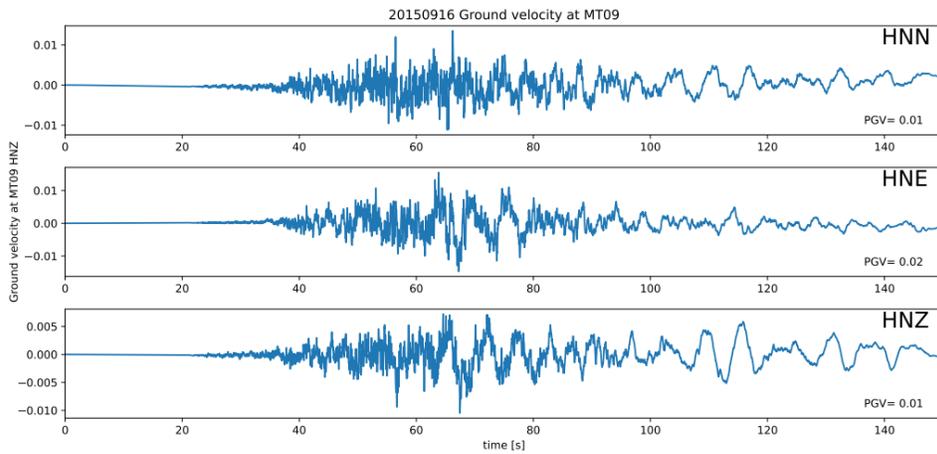


Figura 21. Sismograma registrado por la estación MT09 del terremoto 8.4 Mw del 2015 en Illapel obtenido a partir de la integración del acelerograma (Figura 12).

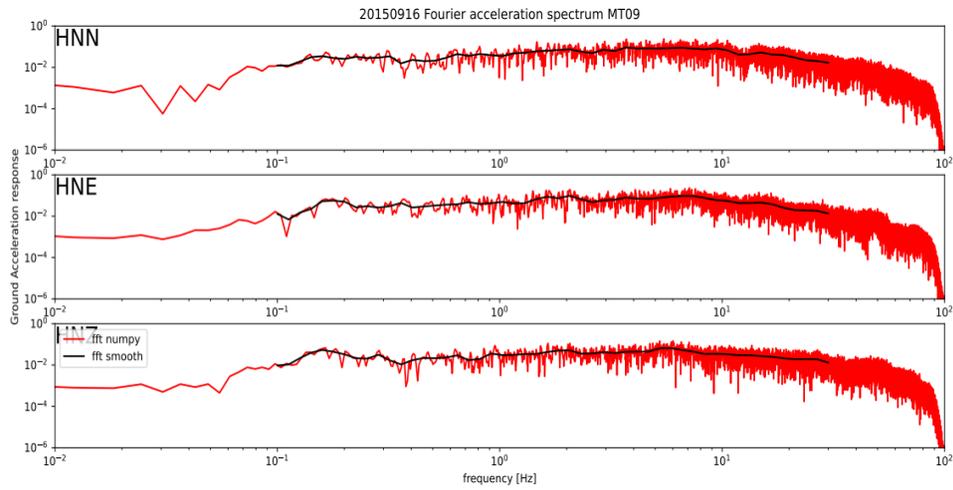


Figura 22. Espectro de aceleración para la estación MT09 del terremoto 8.4 Mw del 2015 en Illapel calculado a partir del acelerograma (Figura 12).



*Figura 23. Arriba: mapa geográfico mostrando el epicentro del terremoto 8.4 Mw del 2015 en Illapel y las estaciones que lo registraron. Abajo: gráfico de PGA horizontal y vertical vs distancia del terremoto 8.4 Mw del 2015 en Illapel.*

## 4. Referencias

Alvarado A, Audemard F, Benavente Escobar C, Santibanez Boric I, Cembrano Perasso J, Costa C, Delgado Madera GF, Garcí'a-Pelaez JA, Masquelin E, Minaya E, Lo'pez MC, Paolini M and Perez I, Grupo de Neotectónica de SEGEMAR and Styron R (2017) The South American risk assessment active fault database. Available at: <https://github.com/GEMScienceTools/SARAActive-Faults> (accessed 1 February 2020).

Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S., Donahue, J. L. (2013). "PEER NGA-West2 Database". USA

Arcila, M. García, J., Montejó, J., Eraso, J., Valcarcel, J., Mora, M., Viganò, D., Pagani, M. y Díaz, F. (2020). Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano y Fundación Global Earthquake Model. <https://doi.org/10.32685/9789585279469>

CSN (s.f.). Registro de eventos significativos, <http://evtdb.csn.uchile.cl/events>

Das, S., Gupta, I. D., & Gupta, V. K. (2006). A probabilistic seismic hazard analysis of Northeast India. *Earthquake Spectra*, 22(1), 1-27.

Gardner, J. K. y Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64 (5), 1363-1367.

Hainzl, S., Scherbaum, F. y Beauval, C. (2006). Estimating background activity based on interevent-time distribution. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (1), 313-320, <http://dx.doi.org/10.1785/0120050053>.

International Seismological Centre (s.f.), ISC-GEM Earthquake Catalogue, <http://www.isc.ac.uk/iscgem/index.php>

Kijko, A. (2019). Seismic hazard. *Encyclopedia of solid earth geophysics*, 1-14.

Maldonado, V., Contreras, M., & Melnick, D. (2021). A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1: 25,000 scale. *Scientific data*, 8(1), 1-13.

Musson, R. M. W. (1999). Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan Region. *Annali di Geofisica*, 42 (6), 1109-1124. <https://doi.org/10.4401/ag-3772>.

Ramos, V. A., & Folguera, A. (2009). Andean flat-slab subduction through time. *Geological Society, London, Special Publications*, 327(1), 31-54.

Reasenberg, P. (1985). Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 90 (B7), 5479- 5495.

Stepp, J. (1972). Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard. *Proceedings of the International Conference on Microzonation*, 2, 897-910.

Styron, R., & Pagani, M. (2020). The GEM global active faults database. *Earthquake Spectra*, 36(1\_suppl), 160-180.

Udías, A., Madariaga, R., Buforn, E., Muñoz, D., & Ros, M. (2012). The large Chilean historical earthquakes of 1647, 1657, 1730, and 1751 from contemporary documents. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(4), 1639-1653.

Veloza, G., Styron, R., Taylor, M., & Mora, A. (2012). Open-source archive of active faults for northwest South America. *Gsa Today*, 22(10), 4-10.

Zhuang, J., Ogata, Y. y Vere Jones, D. (2002). Stochastic declustering of space-time earthquake occurrences. *Journal of the American Statistical Association*, 97 (458), 369-380. <https://doi.org/10.1198/016214502760046925>.

### III. LÍNEA SISMOLOGÍA DE LA FUENTE

**Investigador Principal:** Sergio Ruiz

**Investigador Senior:** Raúl Madariaga

**Investigadores Asociados:** Bertrand Potin, Francisco Pasten

**Objetivo General:** Cuantificar la amenaza sísmica a lo largo de Chile.

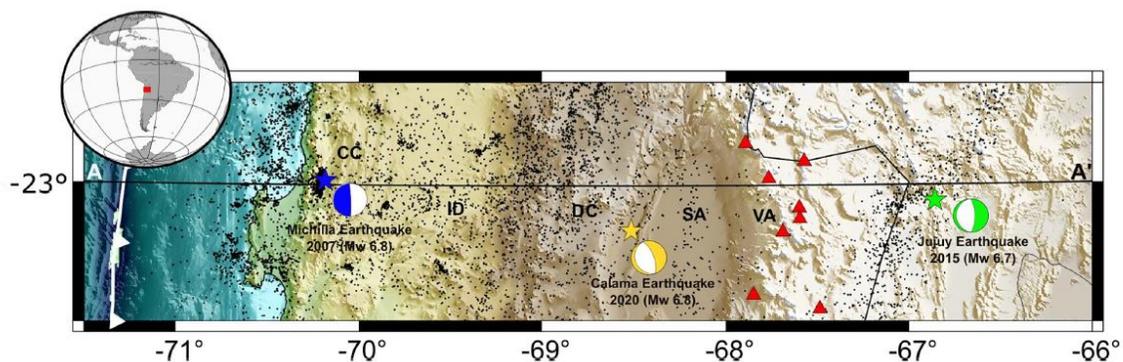
**Objetivo Específico:** Análisis del peligro sísmico de las zonas Centro Norte y Norte de Chile

**Tareas realizadas:**

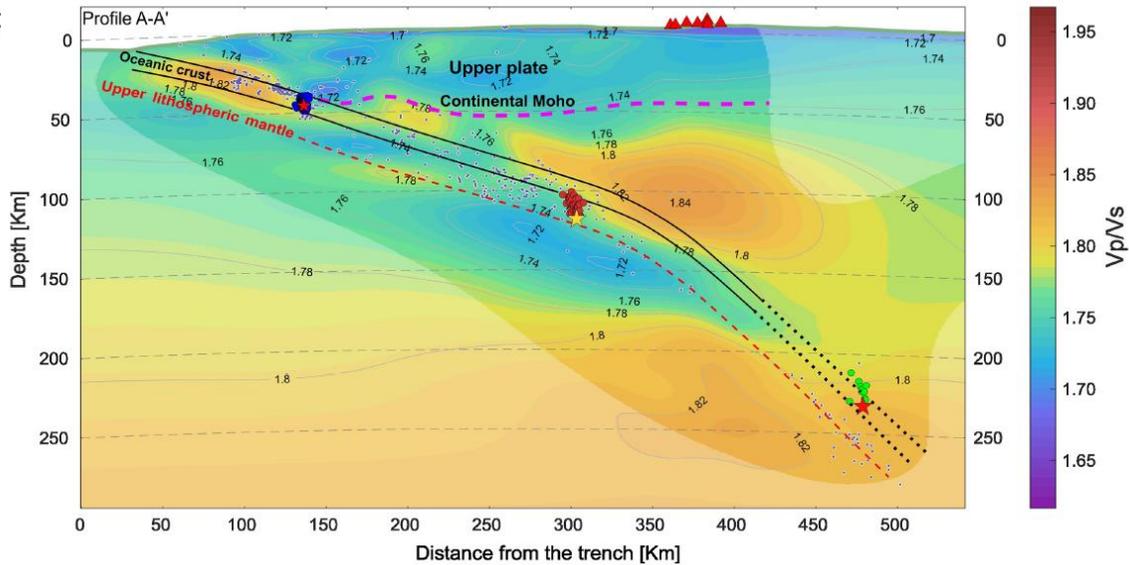
- Instalación de una red temporal, localización de sismicidad y creación de un catálogo sísmico usando inteligencia artificial en la zona Centro Norte y Norte de Chile. Implicancias para el peligro sísmico. (Avance 70 %).
- Identificación y caracterización del peligro sísmico asociado a terremotos dentro de la placa de Nazca en la zona costera de la cuarta región de Chile. Implicancias para el peligro sísmico. (Avance 50%).

#### Norte de Chile: Terremotos dentro de la placa de Nazca

El año 2020 ocurrió en el Norte de Chile un terremoto profundo dentro de la placa de Nazca de magnitud Mw 6.9 (Calama), este evento ocurrió en la misma latitud que previos eventos ocurridos en el año 2007 (Michilla, Mw 6.7) y 2015 (Jujuy, Mw 6.9), Figura 1. Todos estos eventos ocurrieron dentro de la placa de Nazca y tuvieron similares mecanismos focales. Para entender el proceso que genera estos terremotos se desarrolló una tomografía de la región (Figura 2), además de una inversión dinámica. De esta forma se pudo cuantificar los parámetros dinámicos que controlan su proceso de ruptura, ver detalles en Herrera et al., 2023.



**Figura 1.** Ubicación y mecanismos focales de los eventos ocurridos en el Norte de Chile



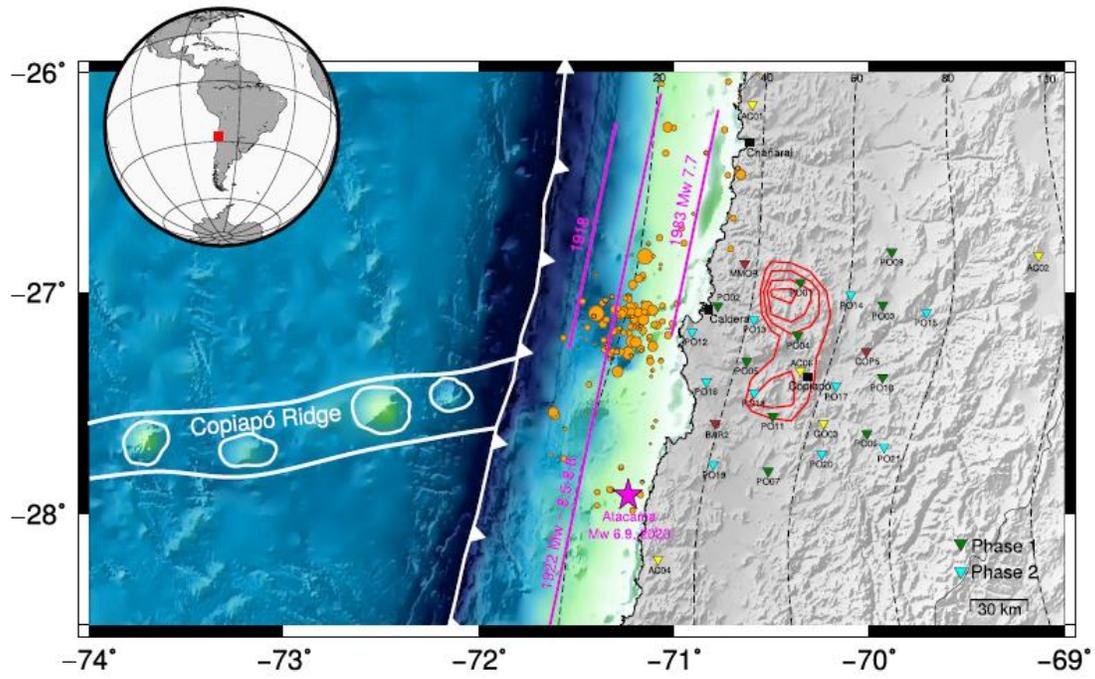
**Figura 2.** Perfil mostrando la ubicación de los eventos estudiados dentro de la placa de Nazca. Los colores se asocian a la variación de velocidades  $V_p$  y  $V_s$  del medio.

## Centro Norte: Tipo de sismicidad que controla el contacto de placas y el Peligro Sísmico

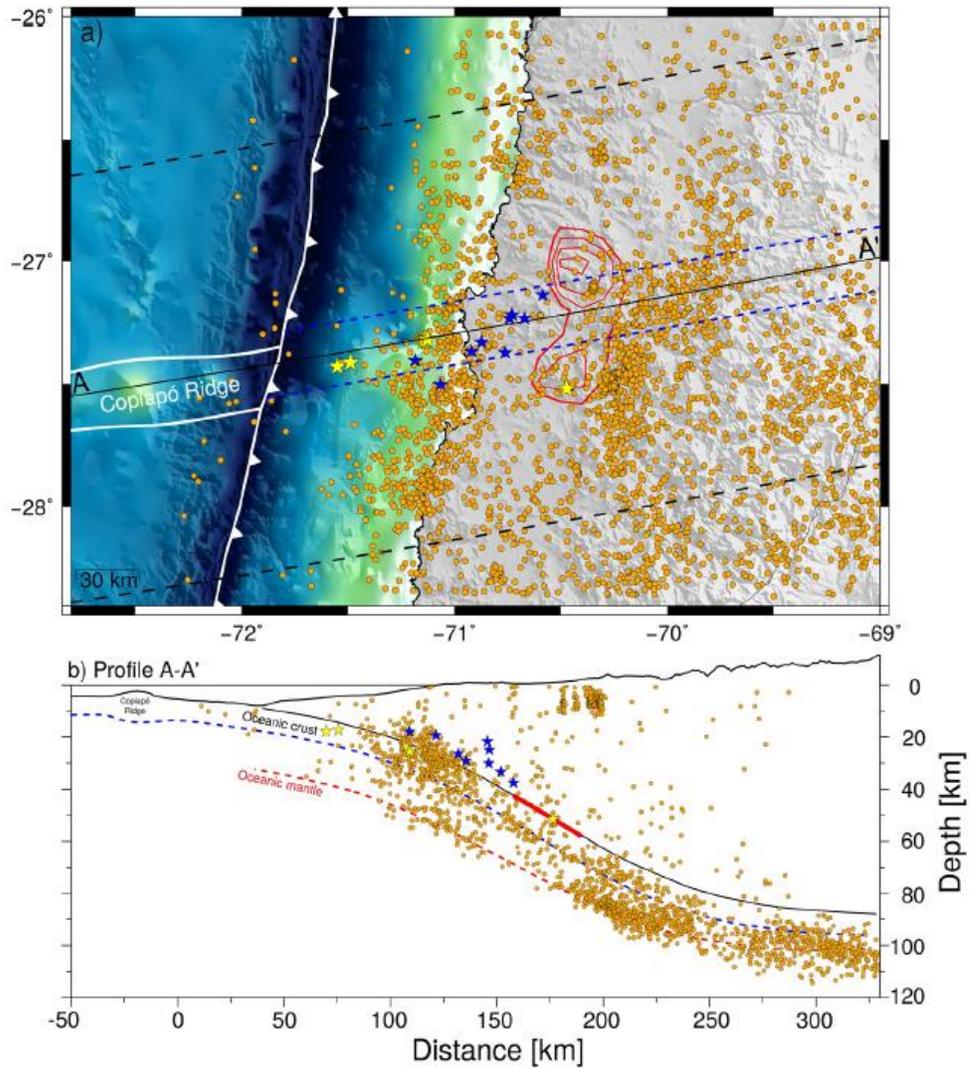
### 1) Copiapó

En esta zona terminamos una parte importante del trabajo que se comenzó un par de años antes con la instalación de estaciones sismológicas, para luego realizar un catalogo sísmico usando Inteligencia Artificial, una tomografía y buscar señales sísmicas lentas y rápidas (ver trabajo de Pasten-Araya, 2022). La zona de estudio se ubica alrededor de Copiapo, Figura 3.

Se pudo detectar cientos de eventos "rápidos" o normales y algunos terremotos lentos denominados "Tremors No Volcanicos" (NVT) y también terremotos repetidos que son otro tipo de eventos lentos. Estos sismos son mostrados en las Figuras 4 y 5. Para entender la causa que genera está variedad de eventos sísmicos realizamos una tomografía de ondas P y S, Figura 6. Finalmente proponemos que la variación de la razón de velocidades  $V_p/V_s$  en algunas zonas podría favorecer la presencia de eventos lentos, Figura 7.

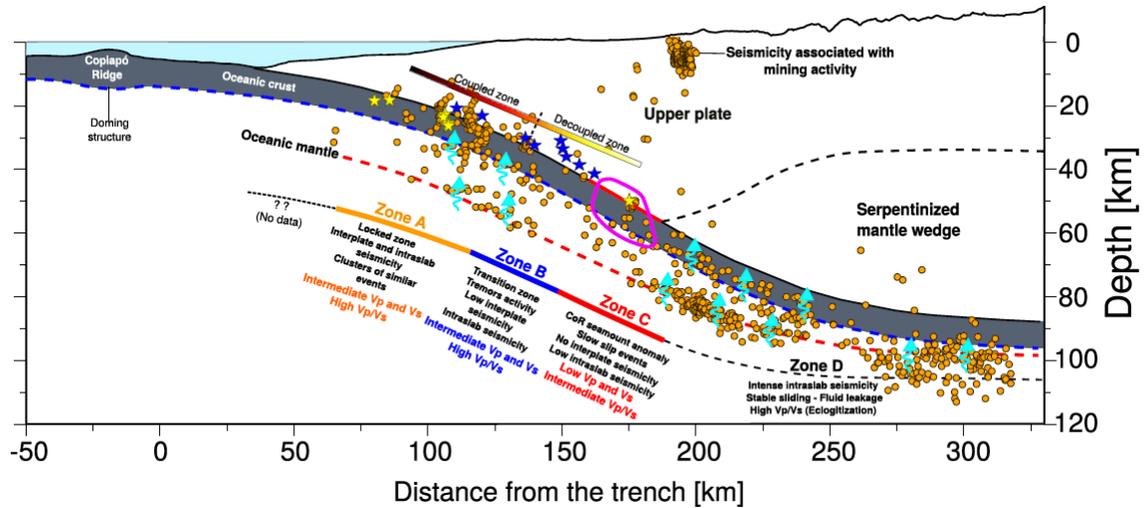


**Figura 3.** Zona de estudio e indicación de estaciones instaladas.



**Figura 4.** Sismicidad de la zona de estudio. Círculos corresponden a la sismicidad detectada, estrellas corresponden a sismos lentos, en particular sismos azules corresponden a NVT. La figura superior muestra la sismicidad en planta y la figura inferior es un perfil realizado en la línea AA'.

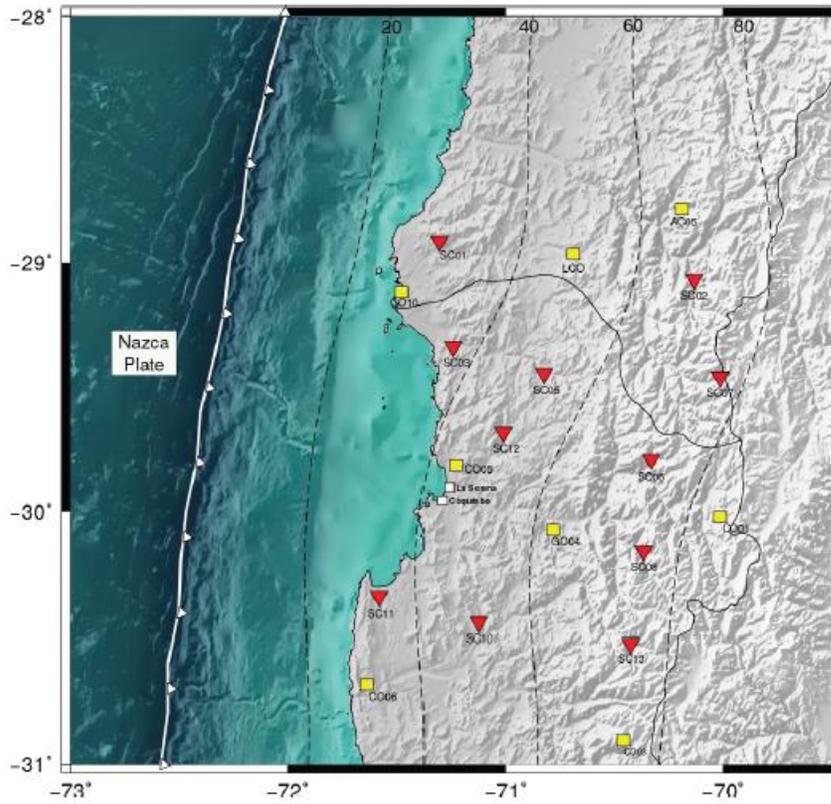




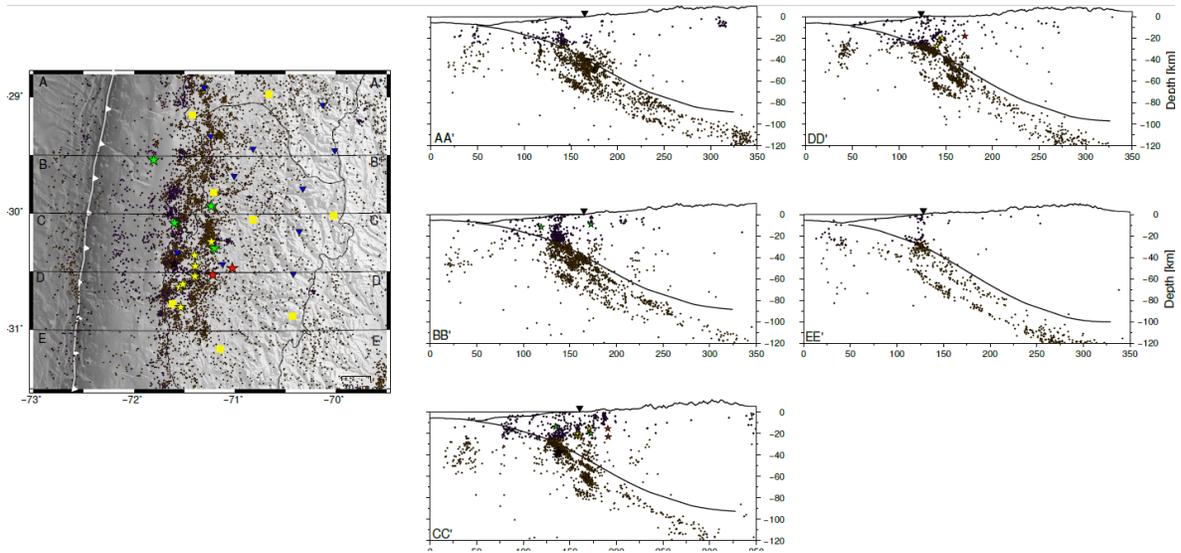
**Figura 7.** Final representación de la ubicación de los terremotos lentos y rápidos y su relación con la razón de velocidades de onda P y S del medio.

## 2) La Serena - Coquimbo

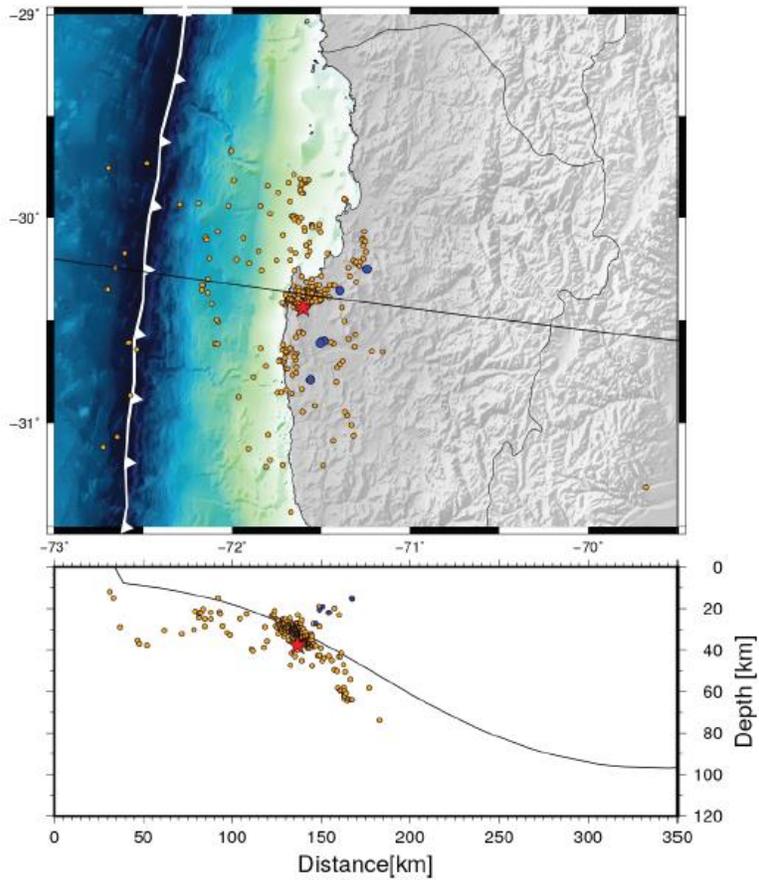
Para entender el peligro sísmico de la zona de La Serena y Coquimbo se desplegaron en forma temporal estaciones sismológicas que complementan las instaladas en forma permanente por el Centro Sismológico Nacional (CSN), Figura 8. Posteriormente se desarrolló un catálogo sísmico usando técnicas de Inteligencia Artificial (Figura 9) y luego se realizó un análisis preliminar de la sismicidad dentro de la placa de Nazca (Figura 10).



**Figura 8.** Estaciones desplegadas (triángulos invertidos de color rojo) para completar la distribución de estaciones del Centro Sismológico Nacional (CSN) (cuadrados amarillos).



**Figura 9.** Sismicidad en la zona de La Serena-Coquimbo



**Figura 10.** Análisis preliminar de la sismicidad que ocurre dentro de la placa de Nazca.

## Antártica

Finalmente se realizó un estudio de la sismicidad de deformación observación en estaciones GNSS en la zona del estrecho de Bransfield en Antártica (Figura 11). En este trabajo se asocia la sismicidad y deformación a un proceso sismo-volcánico que aceleró a fines de 2020 (Figura 12). Más detalles en Poli et al. (2022)

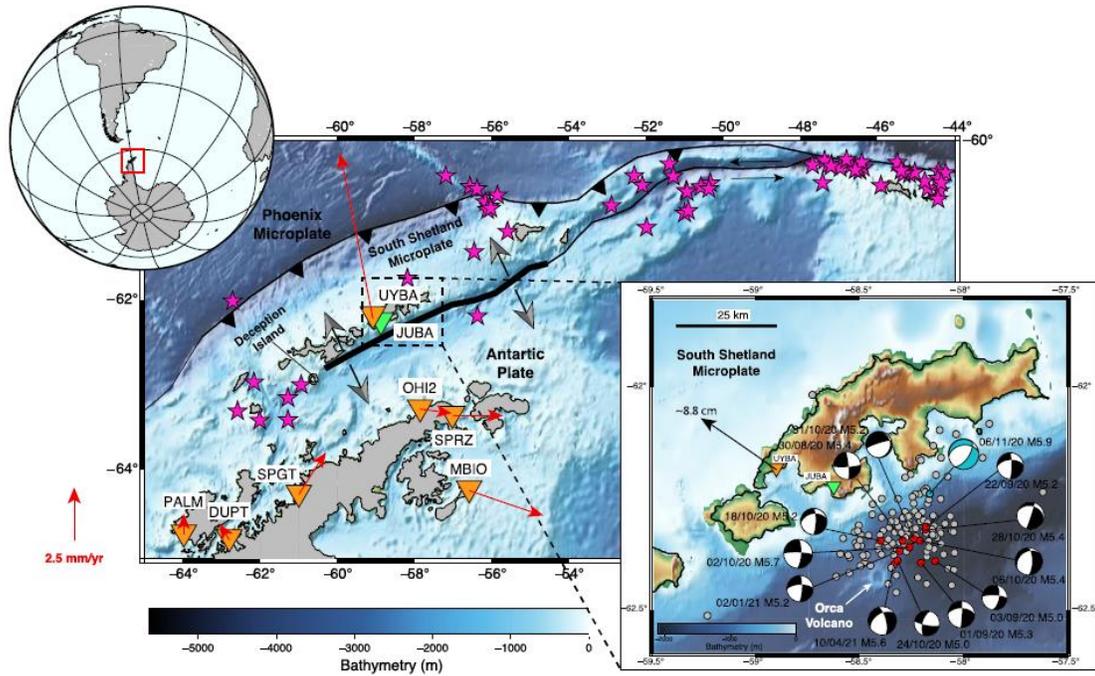
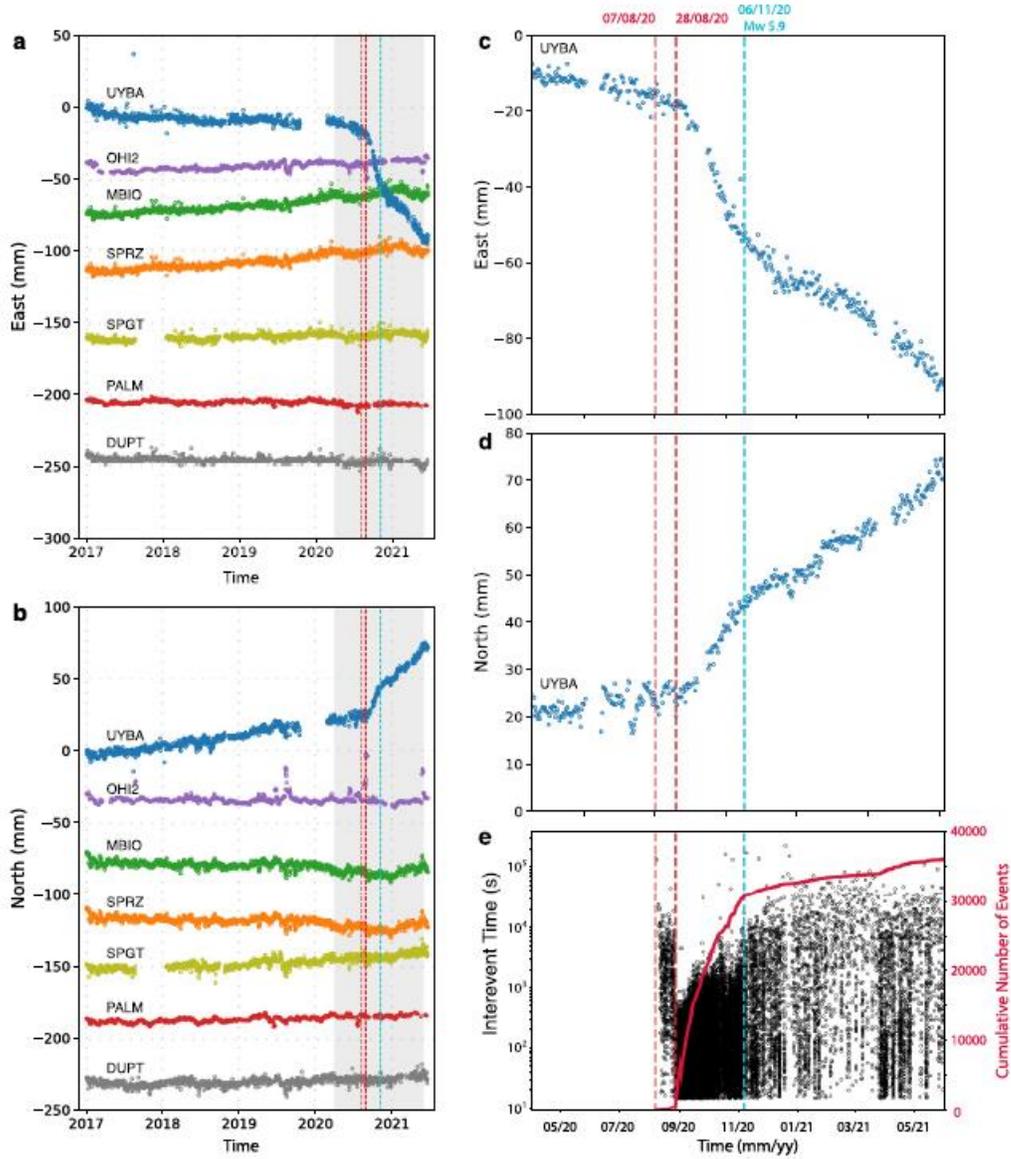


Figura 11. Zona de estudio en Antártica.



**Figura 12.** Deformación observada en las estaciones GNSS y su relación con la sismicidad observada.

## Publicaciones del Período

Herrera, C., Pastén-Araya, F., Cabrera, L., Potin, B., Rivera, E., Ruiz, S., Madariaga, R., Contreras-Reyes, E.(2023). Rupture properties of the 2020 Mw 6.8 Calama (northern Chile) intraslab earthquake. Comparison with similar intraslab events in the region. *Geophysical Journal International*

Pasten-Araya, F. B. Potin, K. Azúa, M. Sáez, F. Aden-Antoniów, S. Ruiz, L. Cabrera, J.-P. Ampuero, L. Rivera and Z. Duputel, 2022. Along-dip segmentation of the slip behavior and rheology of the Copiapó ridge subducted in north-central Chile. *Geophysical Research Letters*, v. 49, pp. e2021GL095471

Poli, P., Cabrera, L., Flores, M., Baez, JC., Ammirati, JB., Vasquez, J. and Ruiz, S.. Volcanic origin of a long-lived swarm in the Central Bransfield Basin, Antarctica.(2022) *Geophysical Research Letters* doi:10.1029/2021GL095447

## IV. OBSERVACIÓN SATELITAL

### 1. Proyecto DORIS (Doppler Orbit y Radiolocalización Integrada por Satélite) en la Isla de Pascua

**Investigador responsable:** Jaime Campos.

**Investigadores del equipo:** Edgardo Santibáñez, Juliette Marin, Rodrigo Sánchez (CSN).

Esta es una iniciativa de colaboración con el *Centro Nacional de Estudios Espaciales-CENES* y el *Instituto de Información Geográfica y Forestal- IGN de Francia*.

El proyecto contempla la instalación y mantenimiento operacional de una Estación orbitográfica DORIS en Hanga Roa, el acceso a los datos y la colaboración científica. La Dirección Meteorológica de Chile (DMC), dará acceso al espacio físico para la instalación de DORIS en el Aeropuerto Mataverí de Isla de Pascua, en el marco del acuerdo de colaboración con la FCFM de la Universidad de Chile, a través del PRS.

#### 1.1. Tareas realizadas

- Coordinación y ejecución con la contraparte francesa de la búsqueda, selección y contratación por parte de IGN de una empresa para la construcción de la base de concreto.
- Coordinación de la empresa contratista seleccionada EnviroEarth con la DMC de Rapa Nui para la construcción de la base de concreto y la instalación de los equipos y la antena de DORIS.

#### 1.2. Participación en evento

En el marco de la colaboración científica con IDS (International Doris Service), para la instalación de una estación del sistema DORIS en Rapa Nui, representantes del PRS participaron en el workshop "*Continued, enhanced ocean altimetry and climate monitoring from space Conference*", que se realizó entre el 31 de octubre y el 4 de noviembre de 2022, en Venecia, Italia.

En el evento, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Exploración y conocimiento del desempeño de la constelación de altimetría satelital a través de la reunión del Equipo Científico de Topografía de la Superficie del Océano. Potencialidades de DORIS y la Tecnología Satelital para el quehacer del PRS y la proyección de su colaboración científico-tecnológica con ING-CNES y la DMC.

-

- Reflexión sobre las necesidades de los usuarios para los sistemas futuros.
- Conocimiento de los desarrollos actuales y el estado de los resultados científicos que utilizan datos DORIS, discusión y coordinación de futuras actividades.
- Establecimiento de contactos y vínculos de colaboración en investigación y formación de especialistas, con las siguientes posibilidades:
  - Movilidad docente: Apoyo en docencia DGF con profesores desde Francia
  - Cursos internacionales desde FCFM, tipo FMNEAR hacia países del contexto andino por ejemplo GINS, aprovechando la Red PRS.
  - Participación en de profesores franceses en los Diplomados.
  - Desarrollo de Tesis en Co-tutela.
  - Capacitación en GINS (formación de una antena en FCFM en orbitografía)
  - Capacitación en análisis y explotación científica de datos reducidos del programa satelital GRACE.
  - Movilidad de profesor francés en orbitografía.
  - Posibles nuevas líneas de investigación. Requiere profundizar vínculos.

## 2. Observatorio G-Data Insar

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

**Estudiante tesista:** Gabriela Herrera

### Objetivo

Determinar qué procesos producen la deformación de la corteza terrestre mediante observaciones satelitales y modelos numéricos y analíticos

### Tareas realizadas

- Dos memorias de pregrado de Geología
- Tres publicaciones científicas
- Participación en Diplomado Nuevos antecedentes sobre amenazas naturales 2022
- Presentación en FIDAE Abril 2022
- Presentación en NISAR Science Community Workshop, Pasadena, CA, USA, Agosto 2022
- FONDECYT de Iniciación en su primer año
- Instalación de dos estaciones de GNSS en Tierra del Fuego

**Estado de avance (%):** una tesis doctoral (10%), dos tesis de MSc (20 y 60%)

**Instituciones con las que se trabajó / colaboró:** Carnegie Institution for Science, University of Nevada Reno, Rice University, University of Leeds, Cornell Univeristy,



Estación de GNSS en Tierra del Fuego

### Publicaciones del Período

Bravo, F., Peyrat, S., Delgado, F., Fuentes, M., Derode, B., Pérez, A., Campos, J. Fully joint inversion of the 2016 Mw 7.6 Chiloé earthquake. *Geophysical Journal International*, ggac411. doi:10.1093/gji/ggac411.

Winslow, H., Ruprecht, P., Gonnermann, H., Phelps, P., Muñoz-Saez, C., Delgado, F., Pritchard, M., Amigo, A., Insights for crystal mush storage utilizing mafic enclaves from the 2011-12 Cordón Caulle eruption. *Scientific Reports*, 12, doi:10.1038/s41598-022-13305-y.

Delgado, F., Contreras-Arratia, R., Samsonov, S. Magma buoyancy drives rhyolitic eruptions: a tale from the VEI 5 2008-2009 Chaitén eruption from seismological and geodetic data. *Earth and Planetary Science Letters*, 590, 117564. doi:10.1016/j.epsl.2022.117564.

## V. AMENAZA SÍSMICA EN ANTÁRTICA Y PATAGONIA

**Investigador Principal:** Patricio Toledo

**Investigador Senior:** Jaime Campos

**Equipo investigador:** Nicolás Vera, Jaime Campos, Patricio Toledo, Rodrigo Sánchez, Sebastián Riquelme, Adriana Pérez, Sophie Peyrat.

**Objetivo General:** Caracterizar la amenaza sísmica en territorio antártico chileno y Patagonia.

**Objetivo Específico:** Instalación, mantención y explotación científica de los datos en conjunto con el CSN de observatorios multiparámetros (instrumentos sismológicos, geodésicos, entre otros)

**Otras instituciones asociadas clave:** INACH, SHOA, DMC-DGAC, OGS (Italia)

### 1. Mantenimiento y ampliación de la red sismológica chilena en Antártica

Mediante la iniciativa del Programa Riesgo Sísmico (PRS) y el Centro Sismológico Nacional (CSN), con el apoyo logístico prestado por el Instituto Antártico Chileno (INACH) a través del programa de Expedición Científica Antártica (ECA), se realiza mantenimiento y ampliación de la red sismológica chilena en Antártica.

De esta manera, se busca mejorar el monitoreo sismológico en tiempo real en la zona del Estrecho de Bransfield, Antártica, iniciado con la instalación de 2 estaciones sismológicas en febrero del 2021 en respuesta a la inusual actividad sísmica ubicada frente a la Bahía Fildes con un evento principal de Mw 6.0 en noviembre del 2020. Con este fin, entre el 27 de enero y el 17 de febrero del 2023, Esteban Saldaño (CSN) y Nicolás Vera (CSN) visitan la Base Bernardo O'Higgins, Base Arturo Prat y Base Eduardo Frei Montalva administradas por las fuerzas armadas chilenas.

#### Instalación IN45 - Base Antártica del Ejército (BAE)

La Base Bernardo O'Higgins, administrada por el Ejército de Chile, se ubica próxima al extremo norte de la península Antártica. La instalación de esta tercera estación antártica permite cubrir el margen sureste del Estrecho de Bransfield como no lo hacían las 2 estaciones previas ubicadas en las islas de South Shetland.

En primer lugar, se evaluaron los posibles sitios para la instalación de la estación de intervención. En el exterior de la base había un solo lugar con suelo de concreto y techo de cobertura, ubicándose en una pared en el límite con el refugio alemán, la cual se descartó por su exposición al viento y a la nieve en invierno. En el interior de la base la mayoría del

edificio se encuentra sobre piso flotante, a excepción del piso inferior donde se realiza el tratamiento de aguas. Finalmente se seleccionó el cuarto de tratamiento de las aguas grises, detrás de la antigua planta de tratamiento de aguas fuera de uso, por ser un sector resguardado de las inundaciones que allí ocurren y de muy poco tránsito del personal de la base, evitando así estorbar con las labores de la base. La antena GPS se instaló pegada al techo al costado del edificio antiguo de la base.

La estación IN45 se instaló con los siguientes elementos:

Caja blanca de tapa azul	Batería 100Ah
	Controlador de carga 12 V
	Cargador de batería 3 fases
Caja Pelican	Digitalizador Quanterra330
	DataLogger Marmot
	Switch industrial
Sensores	Acelerómetro Episensor FBA ES-T
	Velocímetro Trillium Compact
Antena GPS	



*Imagen 1. Estación sismológica y sus componentes. Caja Pelican (flecha blanca), caja blanca/azul (flecha amarilla), Salida de corriente (flecha marrón), salida al GPS (flecha purpura), acelerómetro (flecha verde) y velocímetro (flecha roja).*



*Imagen 2. Antena GPS instalada en el techo de la Base Antigua, sujeta a la lata con abrazaderas y con salida desde el cuarto de tratamiento de agua junto con tuberías de aguas servidas.*

La estación quedó registrando datos fuera de línea, esto debido a que la base no contaba con una IP pública disponible y esta información no se informó de forma correcta, ni oportuna. Se comenzó la gestión de esta IP pública con el prestador del servicio de conexión satelital colombiano, la cual provee a la base con 4 mb de bajada y 2 mb de subida. Este servicio se licita de forma anual como en todas las bases antárticas, lo cual puede generar futuros problemas con el envío de los datos, actualmente la compañía WOM está haciendo instalaciones para prestar el servicio en un futuro.

El comandante de la base nos informó de algunos aspectos desfavorables de la instalación. La lata de la techumbre donde se instaló la antena será remodelada prontamente, por lo que se generó un documento instructivo para que el personal de la base pueda desanclar la antena y volver a acoplarla una vez terminada la restauración, esto puede generar una pérdida de registro mientras dure esta labor. Adicionalmente, la BAE solicitará la extracción de la antigua planta de tratamiento que lleva varios años en desuso, aunque se espera que

esta labor no ocurra pronto, se dejó un documento instructivo para que el personal de la BAE desconecte y guarde la estación sismológica si esto ocurre.

En futuro, se espera la generación de la IP pública para la transmisión en línea de los datos sismológicos, cuando esto ocurra hay que instruir al personal de la base para ingresar la IP al equipo. Adicionalmente, se sugiere comenzar las gestiones para la instalación de una estación permanente debido a la poca capacidad de la base para recibir una estación de intervención con el cuidado y condiciones que requiere.

### **Mantención IN44 - Base naval Capitán Arturo Prat**

La Base Arturo Prat, administrada por la Armada de Chile, se ubica en Bahía Chile, Isla Greenwich, Antártica. La estación instalada en este sitio cubre la zona suroeste de la zona de mayor actividad sísmica frente a la bahía Fildes, a una distancia aproximada de 65 km de esta.

La estación fue instalada en febrero del 2021 en la bodega de la base, en un sector de poco tránsito. Cuenta con un velocímetro y acelerómetro, registrando mediante un mini PC, desde entonces ha enviado datos en línea. Sin embargo, la estación dejó de almacenar datos internamente el 18 de octubre del 2022.

El velocímetro instalado el 2021 tenía las cuentas más altas de lo normal, se presume que esto ocurrió debido a que el conector no era el adecuado para el sensor. El velocímetro fue cambiado por uno en mejor estado y los instrumentos fueron calibrados e instalados nuevamente.



*Imagen 3. Reinstalación de la estación IN44. Dentro de la caja Pelican se encuentran los dispositivos para la carga, digitalización y almacenamiento de los datos, mientras que*

*dentro de las cajas blancas están los instrumentos que luego fueron sellados con espuma expansiva. Para más detalles de los equipos al interior, revisar informe previo de la estación.*

### **Mantención IN43 - Base Antártica Profesor Julio Escudero**

La Base Escudero, al igual que la Base Presidente Eduardo Frei Montalva, se ubica a orilla de la playa sur de Bahía Fildes, Isla King George, Antártica. Se encuentra aproximadamente 20 km al oeste del área de mayor actividad sísmica reciente en el Estrecho de Bransfield Central.

Esta estación fue instalada en febrero del 2021 únicamente con un acelerómetro, el cual dejó de registrar y transmitir datos durante el invierno del 2021. Este corte se debió al cambio de proveedor del servicio de conexión, quedando obsoletos los puertos a los que estaba conectado el equipo, lo cual se arregló actualizando los puertos y la IP asignada a la estación.

La única intervención realizada a la estación fue la inclusión del velocímetro que se había retirado de la estación IN44, el cual se instaló en un hoyo realizado en el suelo junto al acelerómetro que se instaló previamente sobre el suelo. Según el diagnóstico realizado, el cable conectado al velocímetro no es el adecuado y se debe cambiar en una futura campaña.

La base Escudero es desalojada durante la temporada de invierno y su abastecimiento eléctrico se mantiene desde la Base Frei. Por este motivo, sumado a las pérdidas de conectividad sufridas, se sugiere reinstalarlo bajo el cuidado de la Base Frei o la DGAC, usando su conectividad para el envío de los datos.



*Imagen 4. Complementación de la estación IN43. Dentro de la caja Pelican se encuentran los dispositivos para la carga, digitalización y almacenamiento de los datos. Por otro lado, el acelerómetro se encuentra dentro de la caja blanca, intacto desde su instalación el 2021, mientras que el velocímetro recién incorporado se encuentra bajo la tapa blanca. Para más detalles de los equipos al interior, revisar informe previo de la estación.*

Adicionalmente, se aprovecha el paso por la Base Frei para revisar el GPS del CSN, instalado detrás del anexo refugio de la Base Frei, cuyos dispositivos de almacenamiento y transmisión se ubicaron dentro del comedor del anexo refugio. Inspeccionando el problema, se identificó que los cables de fibra óptica que transmitían la información del GPS al equipo se encontraban cortados al entrar al interior del comedor, lo que explica que ya no se transmitieran datos. Esto sucedió debido a remodelaciones que se hicieron al interior del comedor y a la inexistencia de un documento de colaboración que identificara los equipos, en ese momento ubicados dentro de una caja Pelican, por lo que se tuvo que retirar cortando los cables y guardando la caja con los equipos. Dichos equipos no se pudieron instalar nuevamente en esta campaña al no tener las herramientas necesarias para generar el conector de la fibra óptica. Se sugiere formalizar un convenio de colaboración con la Fuerza Aérea Chilena (FACH) y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) para el mantenimiento de la estación y posteriormente la reinstalación de los equipos en un panel empotrado a la pared que no estorbe en el quehacer de la base.

## Observaciones y proyecciones

Una dificultad mayor en la instalación de los sensores, en las 3 estaciones, fue conseguir una orientación adecuada de estos, debido a que se instalaron en el interior, cercano a muchas estructuras de hierro. Se procedió midiendo en el exterior con la brújula del smartphone y luego llevando el smartphone al lugar para orientarlo al norte magnético. Se debe corregir por la declinación magnética en los metadatos de la estación, para orientar los instrumentos al norte geográfico.

Otra dificultad propia de la zona es la transmisión de datos, pues las bases antárticas cuentan con un ancho de banda limitado a 2 gb de subida, con proveedores del servicio que pueden cambiar cada año. Por este motivo se sugiere utilizar una conexión satelital propia para las estaciones, con empresas de vanguardia como Starlink.

Con la instalación de la tercera estación durante la segunda campaña de este proyecto, esta red se convierte en la primera red sismológica de monitoreo en tiempo real que puede triangular en torno al Estrecho de Bransfield y así mantener el resguardo de la población ante las amenazas sismotectónicas presentes, considerando la alta exposición a estas amenazas con asentamientos ubicados en terrenos planos a pocos metros sobre el nivel del mar.

Para futuras campañas se debería considerar la instalación de estaciones permanentes, es decir, con los mismos estándares que ocupa el CSN en el resto de Chile, para así asegurar una mejor calidad de los datos y resguardo de los instrumentos. En cuanto a la alimentación eléctrica, hay que prestar atención a otros proyectos que están utilizando paneles solares en Antártica para medir durante todo el año, tal como la Red Latitudinal de Estaciones Multiparamétricas de Antártica, liderado por INACH. La factibilidad de ocupar paneles solares, permitiría monitorear en tiempo real otros sectores de interés, tales como Isla Elefante e Isla Decepción.

## **2. Caracterización de la actividad sísmica y peligros geotectónicos del continente antártico**

### **Objetivo (s) de la Línea de Investigación**

Estudiar y caracterizar la actividad sísmica y los peligros geotectónicos del continente antártico, especialmente en la zona donde se encuentran las bases antárticas chilenas, conocido como Estrecho de Bransfield.

### **Tareas realizadas**

Desarrollar una metodología para la localización de sismos en una zona de baja cobertura instrumental.

Aplicar el método desarrollado para localizar la secuencia sísmica iniciada en agosto del 2020 en estrecho de Bransfield, Antártica.

Comparar los resultados obtenidos con otros métodos de localización y estudios previos.

**Estado de avance (%):** 90%

### **Instituciones con las que se trabajó / colaboró**

Korean Polar Research Institute (KOPRI)

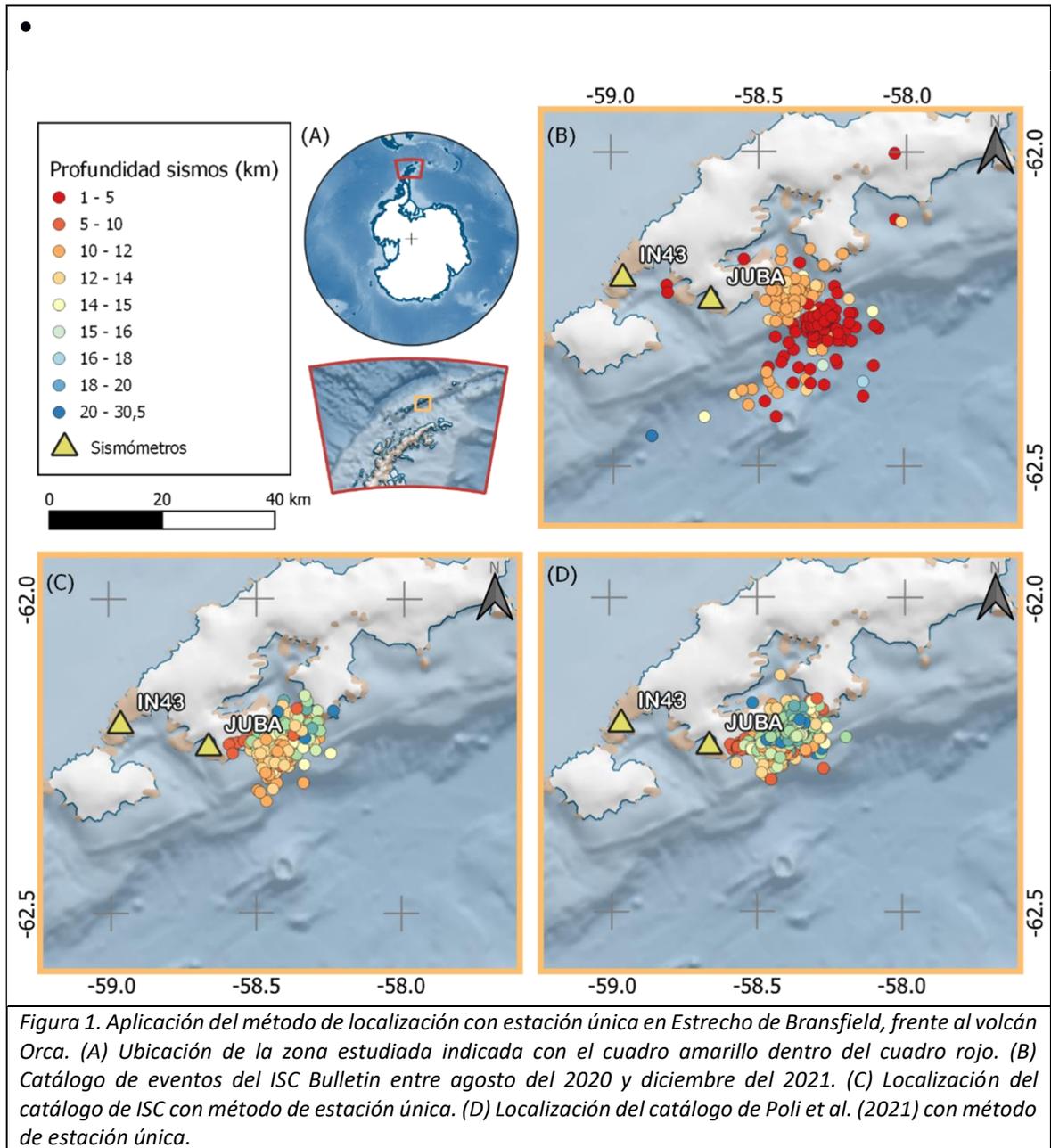
### **Observaciones y futuros avances**

Las metodologías desarrolladas y utilizadas aún tienen margen de mejora para su aplicación, en las que se podría continuar el trabajo. Por otra parte, quedan incógnitas por resolver en cuanto a la tectónica y su influencia sobre la sismicidad registrada en Estrecho de Bransfield, Antártica.

### **Publicaciones del período:**

- Presentación de poster en Latin American and Caribbean Seimological Comission (LACSC) IV Assembly
- Presentación oral en I Congreso de Amenaza Sísmica organizado por GIASIS

- Imágenes



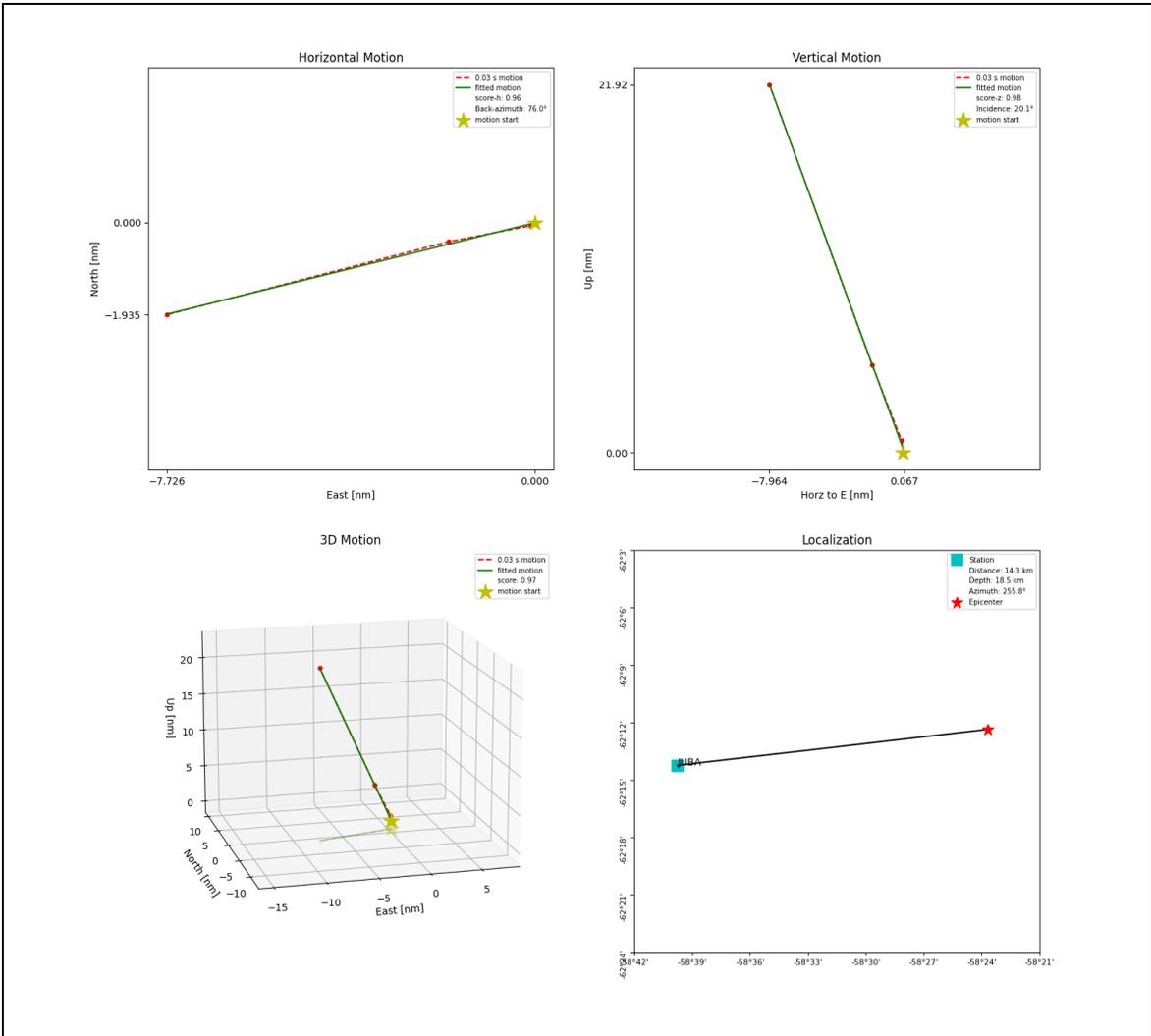


Figura 2. Procedimiento del método de estación única. (A) Ajuste del movimiento de partícula horizontal a una recta. (B) Ajuste del movimiento de partícula vertical a una recta. (C) Visualización del movimiento 3D. (D) Localización a partir del back-azimut e inclinación calculado.

## VI. ANÁLISIS ESPECTROS Y MECANISMOS FOCALES PARA ESTUDIOS DE SISMICIDAD CORTICAL SUPERFICIAL

**Investigador responsable:** Jaime Campos

**Equipo de investigadores:** Patricio Toledo, Adriana Pérez, Francisca Guiñez Rivas, Diego Saldía Godoy

### Tema 1: Identificación y calibración de algoritmos para el análisis de señales a sismos de origen volcánicos

#### Objetivos:

- Estudio de microsismos mediante el análisis de las trazas de eventos sismo-volcánicos asociados a la erupción del 2011 en el complejo volcánico Cordón Caulle.
- Desarrollar una aplicación que permita determinar de forma manual el movimiento de partícula de la primera llegada de la onda P utilizando lenguaje python.

#### Tareas realizadas

En un principio, el trabajo estuvo dirigido en el análisis de las trazas de ondas sísmicas en los periodos previos, durante, y después de la erupción ocurrida en el complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle entre el 4 de junio de 2011 y agosto del 2012. Estos datos mostraron errores sistemáticos instrumentales, teniendo en todas las componentes de todas las estaciones, y durante todos los días, tiempos con falta de datos, lo que en la práctica hace imposible el trabajo con los mismos para los fines científicos que se esperaban en un principio.

Debido a lo anterior, y orientado tanto hacia lo que podría ser una tesis, como al trabajo que estuvo realizando en paralelo Francisca Guiñez, se desarrolló la herramienta de análisis de trazas sísmicas para, a través de la primera llegada de la onda P de un sismo en una estación cercana al mismo, ser capaz de saber con precisión desde dicha estación la dirección en que se encuentra el hipocentro, lo que, considerando la diferencia de tiempos de llegada de las ondas S y P, además entrega la capacidad de determinar el hipocentro de un sismo a través de una única estación.

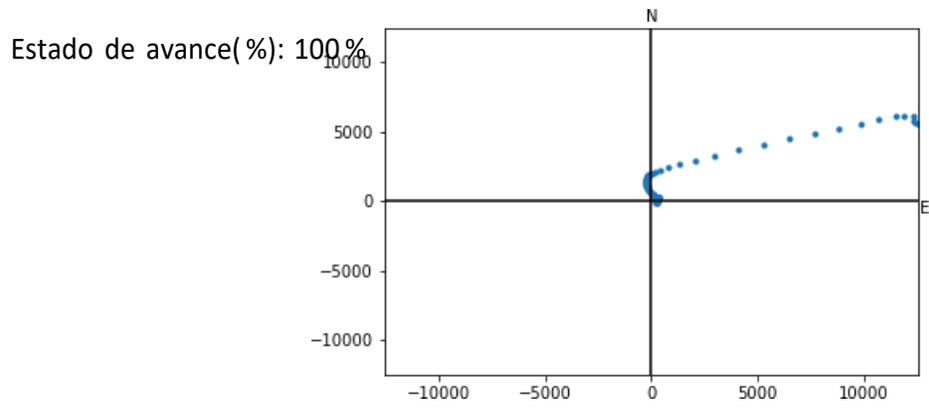


Figura 1: Movimiento de partícula en el plano N-E, azimut =  $65.5^\circ$

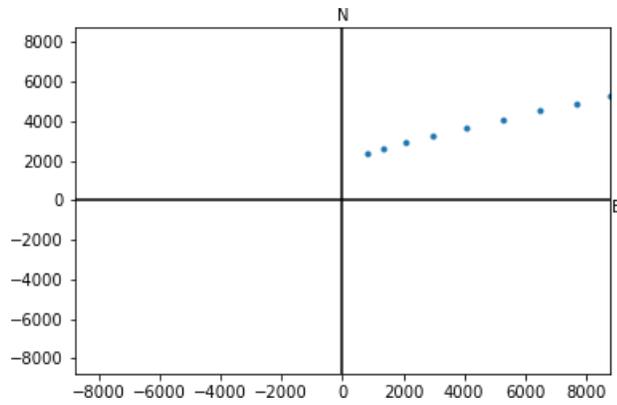


Figura 2: Movimiento de partícula en el plano N-E corregido, azimut =  $70.2^\circ$

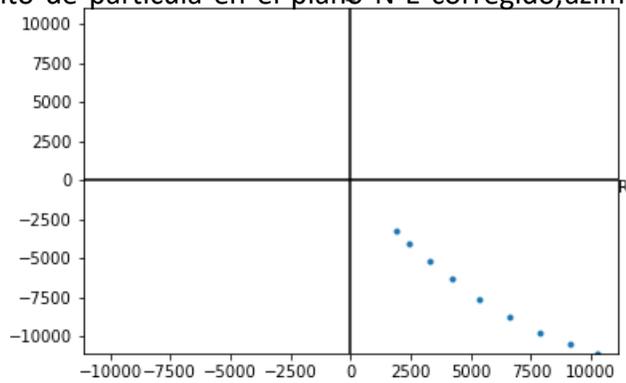


Figura 3: Movimiento en el plano Radial-Vertical,  $i = 133$

## Tema 2: Análisis de terremotos por movimiento de partícula

### Objetivos:

- Analizar las señales sísmicas registradas en campo cercano (formas de ondas a < 100km) asociadas a sismicidad generada por una crisis volcánica (caso de erupción del 2011 en el complejo volcánico Cordón Caulle).
- Desarrollar una aplicación (programación en PYTHON) que permita identificar y describir la orientación preferencial de la energía sísmica registrada a cortas distancias del foco a través del análisis del movimiento de partícula de ondas conocidas como primeras llegadas (onda P).
- Calcular el ángulo *back azimuth* de la estación al foco sísmico (dirección del rayo) y del ángulo de emergencia de la onda P estimada en la estación sismológica.

### Tareas realizadas

En un principio el trabajo estuvo dirigido en el análisis de las trazas de ondas sísmicas en las tres fases de la crisis sismo-volcánica (periodos previos, durante, y después) de la erupción ocurrida en el complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle entre el 4 de junio de 2011 y agosto del 2012. Estos datos mostraron contener errores sistemáticos de tipo electrónico de comunicación y/o instrumentales, observado en todas las componentes y en todas las estaciones sismológicas, durante todos los días registrados. Estos problemas frecuentemente consistían en ventanas temporales con falta de datos, lo que en la práctica hacía casi imposible el análisis y/o la explotación científica de los mismos para obtener la información buscada.

Debido a lo anterior, se re-orientó el trabajo hacia el análisis de las señales sísmicas que realizaba en paralelo Francisca Guiñez sobre sismicidad ocurrida en el territorio antártico chileno. En esta nueva etapa del trabajo se desarrolló la herramienta de análisis de trazas sísmicas para, a través de la primera llegada de la onda P de un sismo en una estación cercana al mismo, ser capaz de saber con precisión la dirección en que se encuentra el hipocentro, lo que, considerando la diferencia de tiempos de llegada de

las ondas S y P, permitiera determinar de manera rápida la zona hipocentral de un sismo a través de una única estación.

Estado de avance: Se implementó un programa en lenguaje PYTHON que permite acceder automáticamente a las señales sísmicas de un evento, procesar las tres componentes (Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste), corregir por filtros y amplificación digital, visualizar las primeras muestras de las series temporales para determinar los ángulos de back azimuth y emergencia en la estación.

Porcentaje logrado: 100%

### Observaciones y futuros avances

Se contempla acoplar esta aplicación al programa BISTROP, desarrollado por el equipo de sismólogos del Dipartimento di Scienze e Tecnologie de la Università degli Studi del Sannio, Benevento, Italia, en el marco de una colaboración científica y tecnológica que permitirá profundizar el desarrollo conjunto de una herramienta de análisis de terremotos en campo cercano y de sismicidad volcánica.

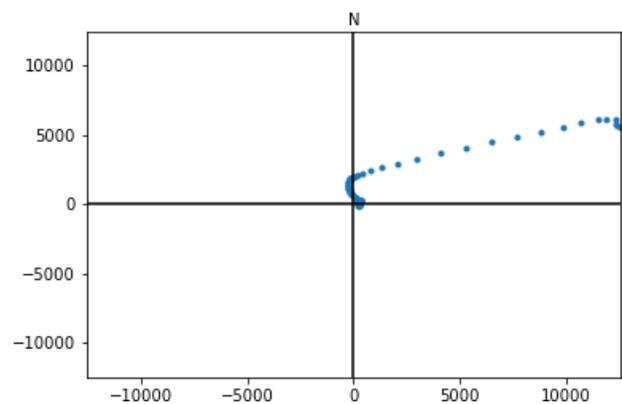


Figura 1: Visualización del movimiento de partícula de onda P en el plano N-E, azimut =  $65.5^{\circ}$

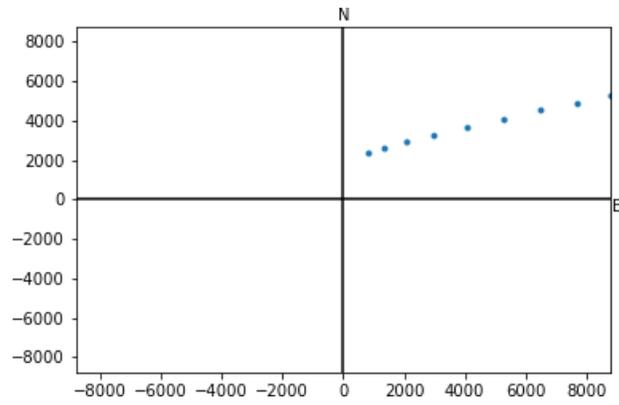


Figura 2: Visualización del movimiento de partícula de la onda Pen en el plano N-E corregido, azimut =  $70.2^{\circ}$

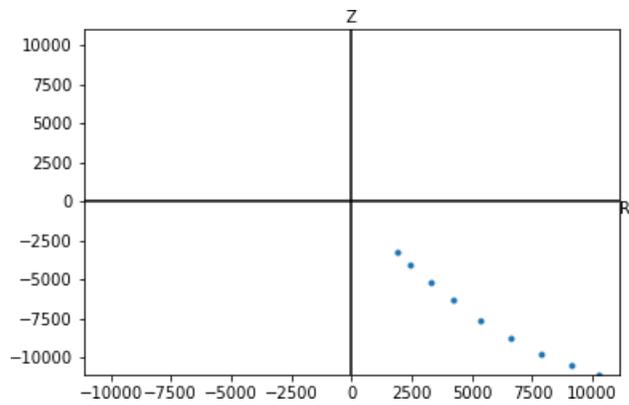


Figura 3: Movimiento en el plano Radial-Vertical,  $i = 133$

## VII. SISTEMAS COMPLEJOS Y AMENAZA SÍSMICA

**Integrantes equipo investigador:** Cristian Siegel, Patricio Toledo, Jaime Campos.

### Nowcasting

#### Objetivo de la Línea de Investigación

Elaborar una metodología de estimación del peligro sísmico en Chile incorporando los nuevos enfoques estadísticos para cuantificar la recurrencia sísmica mediante correlaciones espaciales entre eventos y su dependencia con el contexto tectónico de la subducción

#### Tareas realizadas

Modelación de función de escala para la distribución de tiempos de espera entre terremotos que ocurren en Chile, según el contexto tectónico, utilizando mixtura de distribuciones de Weibull

Mapeo de magnitud máxima esperada con probabilidad de al menos 10% en los próximos 50 años, para sismos de interfaz y sismos de profundidad intermedia, para las regiones desde Arica y Parinacota hasta la región de Los Lagos

Adaptación del método Nowcasting (Rundle et al, 2022) al contexto de subducción andina

#### Estado de avance

La función de escala para la distribución de los tiempos de espera entre sismos es la función que, para una determinada escala objetivo, compuesta por el tamaño de un área donde se cuentan los sismos y una magnitud de excedencia o magnitud mínima de los sismos a contar, entrega la probabilidad de que un sismo ocurra en una determinada ventana de tiempo transcurrido desde la ocurrencia del último sismo en esa área y que haya superado la magnitud de excedencia. Esta definición deja en evidencia la gran relevancia que tiene para la estimación del peligro sísmico. Construyendo sobre trabajos anteriores desarrollados por el grupo en el PRS, que se encuentran en proceso de revisión (\*), se ha buscado una función estadística que logre modelar esta función en catálogos de sismicidad en el norte de Chile.

Para esto se requiere conocer los coeficientes de escala que modelan la productividad de eventos según la magnitud (b-value de Gutenberg-Richter) y la correlación espacial de los eventos sísmicos (dimensión fractal de correlación), para lo cual se utiliza la librería STEQCA desarrollada por el grupo especialmente para estos propósitos. Después de probar con otros modelos estadísticos (Weibull, Gamma, distribuciones estables de Levy) se convergió a un modelo que entrega una buena flexibilidad, pero también excelente ajuste paramétrico, sin sacrificar la rapidez y facilidad de cálculo.

El modelo corresponde a una mixtura de distribuciones de Weibull, distribución ampliamente usada en estudios de confiabilidad. Para ajustar la distribución se implementó una rutina computacional en el lenguaje de programación de Python, con el módulo reliability (Reid, 2022). Se obtuvieron coeficientes de escala, de forma, parámetros de ajuste bayesianos y de criterio de Akaike, en distribuciones empíricas de sismicidad correspondiente a catálogos de corto (7 años) y mediano plazo (43 años) del Norte de Chile. La Figura C1 muestra el ajuste que se logra con esta función para clusters de sismicidad del norte de Chile del catálogo IPOC (Sippl et al, 2018). Se tiene pruebas de conceptos listas (la función objetivo ha sido determinada) y además se ha obtenido con éxito una prueba del algoritmo en un ambiente de control, por lo cual se considera un estado de avance del 70 %.

Construyendo sobre conocimientos generados anteriormente por el grupo, y ampliando la librería computacional STEQCA, se ha desarrollado un algoritmo que estima la magnitud máxima con una probabilidad de 10% en una ventana de tiempo de 50 años. Para esto se utilizan coeficientes de escala que modelan la productividad de eventos según la magnitud (b-value de Gutenberg-Richter) y la correlación espacial de los eventos sísmicos (dimensión fractal de correlación).

A diferencia de estimaciones anteriores de magnitud máxima, que consideran segmentos fijos del margen continental chileno, el algoritmo desarrollado toma como input subdivisiones político-territoriales de Chile, por lo cual la estimación de la magnitud máxima depende del tamaño de dichas subdivisiones. La Figura C2 muestra los resultados de la aplicación del algoritmo para cada una de las regiones del territorio nacional, utilizando el catálogo sísmico del USGS (1974-2017) y separando por fuentes de interfaz de subducción o de profundidad intermedia. Se debe hacer notar que los resultados acá mostrados son preliminares y de uso exclusivamente académico. En esta tarea se tiene un avance del 90%.

Aprovechando el reciente establecimiento de una red de colaboración en materias de resiliencia sísmica entre la Universidad de Chile y el consorcio de Universidades de California, se comenzó con la aplicación del método Nowcasting (Rundle et al, 2022) para determinar el nivel presente de amenaza sísmica en territorios del país. Nowcasting es una metodología que primero fue utilizada en meteorología y luego en economía y otras

disciplinas. Nowcasting lidia con la imposibilidad de contar en el tiempo presente con cantidades relevantes de un sistema que den cuenta de su evolución dinámica. Por ejemplo, en economía se hace nowcasting de indicadores económicos cuyos valores se obtienen con meses de retraso, a partir de variables indicatrices o “proxies”. En el caso de la sismicidad se quiere cuantificar el nivel de preparación que tiene una determinada zona sismogénica para gatillar un terremoto grande. Para esto, se utiliza un filtro basado en un proceso de granulación gruesa (para hacer uso de las correlaciones espaciales entre eventos sísmicos) y una media móvil exponenciada que penaliza datos de sismicidad más alejados en el tiempo, cuyos parámetros se determinan con métodos de Machine Learning supervisado, utilizando medidas derivadas de la teoría de la información para la cuantificación de su habilidad de nowcasting. El algoritmo se ha probado en un entorno de control (California) con resultados positivos (habilidad efectiva de nowcasting) y ahora se encuentra en estado de optimización de los parámetros del filtro en el entorno objetivo de subducción chilena (resultados preliminares en Figura C3), por lo que se considera un 33% de avance.

#### **Instituciones con las que se trabajó / colaboró**

- University of California’s Disaster Resilience Network (UC DRN)
- University of California, Davies

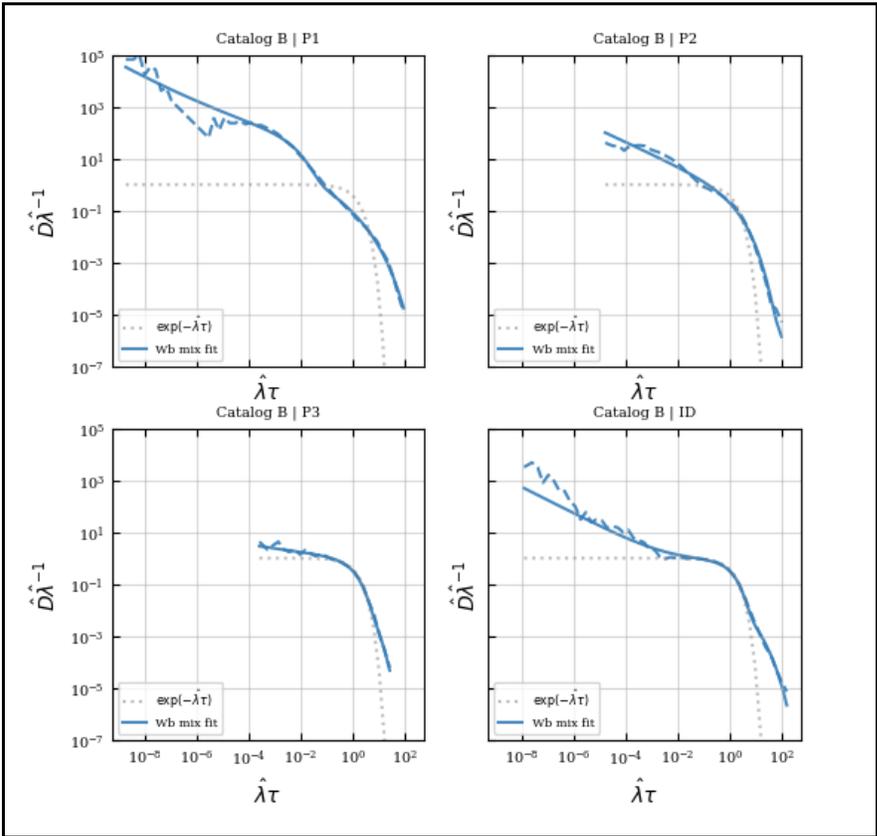
#### **Observaciones y futuros avances**

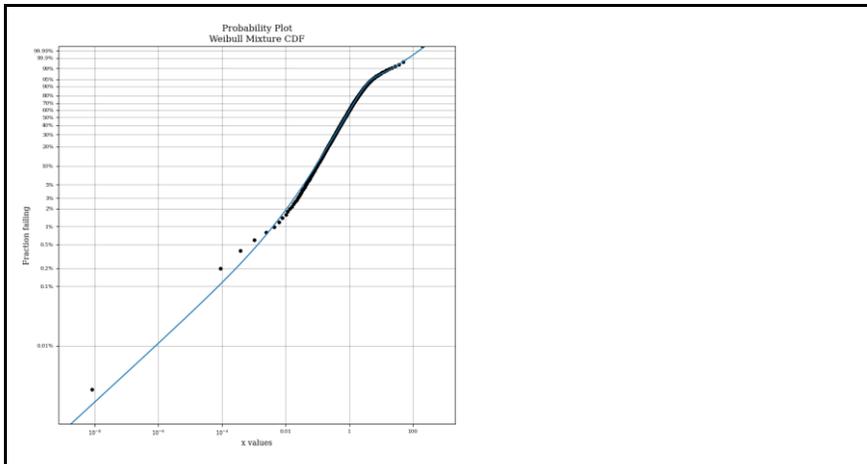
Miembros de la línea de investigación mantienen una colaboración activa gestionada por CITRID (Programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile) y UCDRN (University of California’s Disaster Resilience Network) para desarrollar investigación conjunta. En particular, se está colaborando con el académico profesor distinguido John Rundle (University of California, Davies) en la implementación al ambiente de subducción chileno del método nowcasting, descrito previamente. Se espera realizar una publicación conjunta al respecto y desarrollar actividades para fortalecer el vínculo establecido.

Redes internas FCFM: a partir de contactos realizados en 2022 se planea expandir la red colaborativa del PRS con académicos e investigadores dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, con prospectos de colaboración en el departamento de Ingeniería Mecánica, IDIEM y Departamento de Física. Se ha comenzado con una invitación a discusión con el profesor Fernando Lund (Departamento de Física), sobre modelos de la mecánica estadística que generan características transferibles al análisis de la sismicidad. Se han obtenido resultados de modelos 2D y se establece contacto para colaborar con investigadores del área de Ciencias de la Investigación para simular modelos 3D.

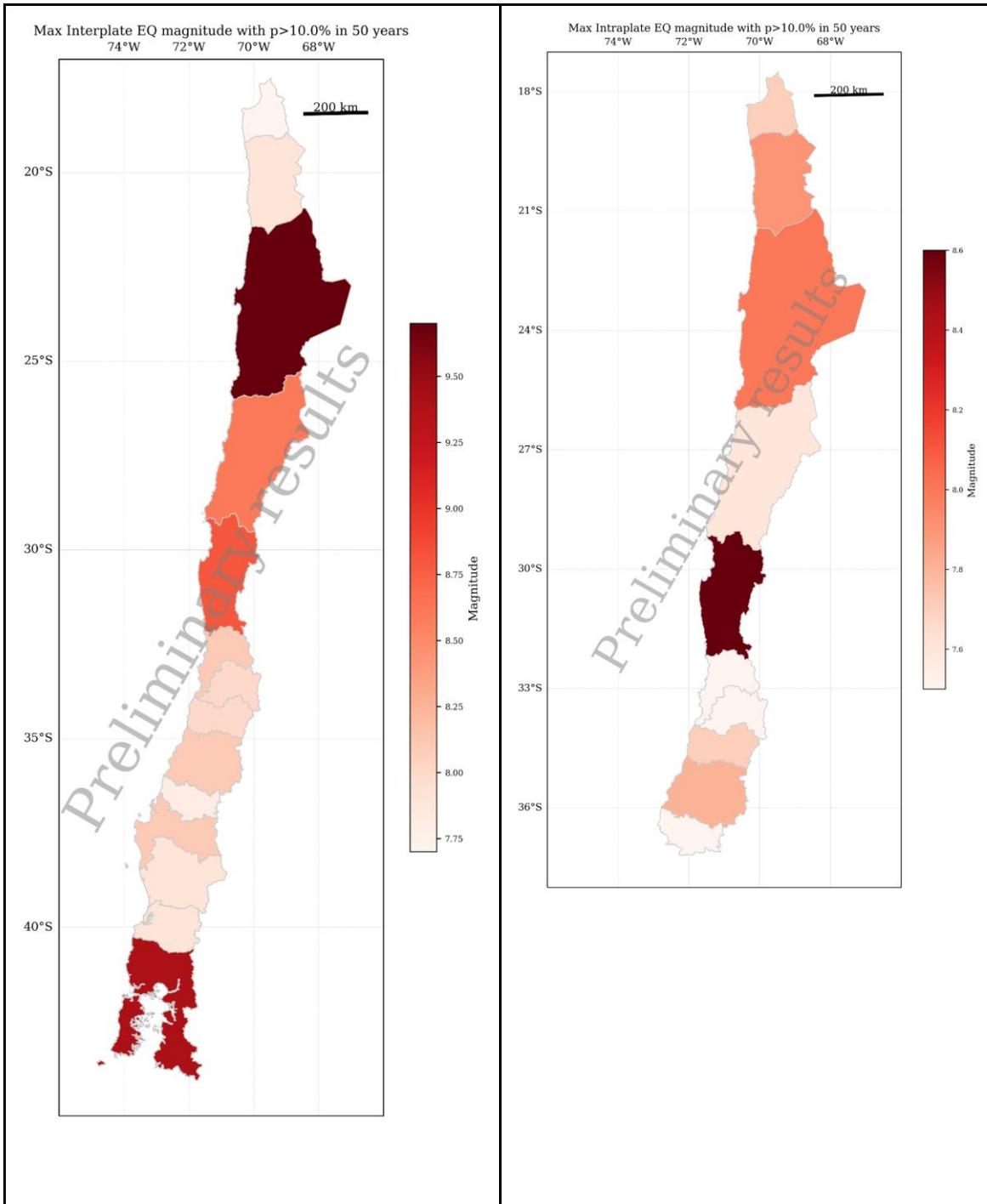
En 2023 se realizarán esfuerzos por avanzar en la transferencia de los conocimientos generados a instituciones del área de gestión de amenaza y alerta por desastres socio-naturales. Durante el mes de enero se participa en una capacitación organizada por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile y dictada por el centro Know-Hub, cuyo objetivo es: “Desarrollar capacidades avanzadas a investigadores [...] que tengan propuestas con algún grado de validación proclives a la innovación y emprendimiento, para transformar el paradigma del ecosistema universitario hacia el desarrollo de tecnologías con potencial comercial y social, ampliando la capacidad y talento regional, con proyección global”. Se espera avanzar en la elaboración de herramientas de tecnologías de la información para el asesoramiento en materia de amenaza sísmica, cuantificable según la escala de Technology Readiness Level.

**Imágenes**

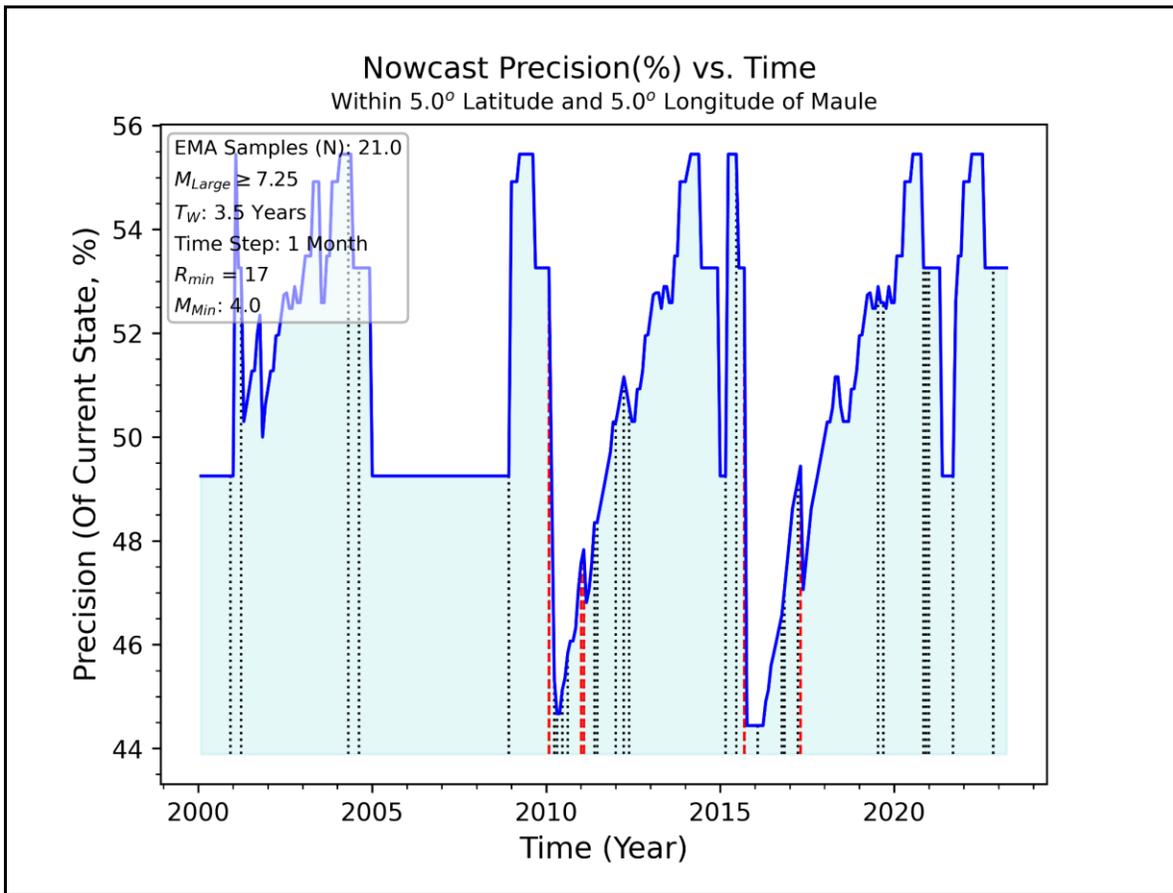




**Figura C1:** (Arriba) Ajuste de función de escala de mixtura de distribuciones de Weibull a la función de escala de la distribución de tiempos de espera entre eventos sísmicos, para clusters de sismicidad del catálogo IPOC (2007-2015) (Sippl et al, 2018) P1: interfaz de subducción, P2: Plano superior, P3: Plano inferior, ID: profundidad intermedia. (Abajo) Gráfico de probabilidad versus tiempo de espera ponderado por la tasa sísmica por escala espacial, asociado al ajuste estadístico, para sismos de profundidad intermedia.



**Figura C2:** Magnitud máxima esperada con una probabilidad de al menos 10% en los próximos 50 años, para sismos de interfaz entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana (izquierda) y para sismos de profundidad intermedia (derecha).



**Figura C3:** Precisión del algoritmo Nowcasting versus el tiempo, para zona centrada en terremoto del Maule de 2010. Resultado preliminar, reproducido con rutinas bajo licencia MIT por John Rundle.

### Publicaciones del período

Siegel, C. E., Toledo, P., Madariaga, R., & Campos, J. M. (2022). Scaling of waiting time distribution in northern Chile. *Authorea Preprints*.

### Referencias

Rundle, J. B., Yazbeck, J., Donnellan, A., Fox, G., Ludwig, L. G., Heflin, M., & Crutchfield, J. (2022). Optimizing earthquake nowcasting with machine learning: the role of strain hardening in the earthquake cycle. *Earth and Space Science*, 9(11), e2022EA002343.

Reid, M. (2022). Reliability – a Python library for reliability engineering (Version 0.8.2) [Computer software]. Zenodo.

Sippl, C., Schurr, B., Asch, G., & Kummerow, J. (2018). Seismicity Structure of the Northern Chile Forearc From >100,000 Double-Difference Relocated Hypocenters. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(5), 4063-4087.

## VIII. VINCULACIÓN CON EL MEDIO

### 1. Colaboración con instituciones públicas

Durante 2022 se mantuvieron relaciones de trabajo con instituciones públicas, como el MOP, SHOA, MINREL, Asociaciones de Municipalidades, INACH y AGCID, entre otras, que se tradujeron en iniciativas en las áreas de formación, asesoría a través de estudios y participación en seminarios y encuentros.

Las actividades desarrolladas están descritas en los capítulos anteriores de este informe.

### 2. Observatorio Geofísico Multiparámetros G-Data Aysén

El objetivo del Programa G-Data del PRS es concebir, instalar y operar observatorios geofísicos multiparámetros en lugares clave del territorio nacional, para la adquisición y procesamiento de Data y la generación de información y conocimiento que permitan entender, comprender, predecir y proyectar los efectos, riesgos y amenazas de los fenómenos naturales y cambios en el Sistema Tierra, para una mejor gestión, inteligencia y respuesta de las instituciones públicas, privadas y sociales y la comunidad en general, frente a terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones y otros desastres.

Con este objetivo se realizaron visitas de trabajo en las que se realizaron coordinaciones con actores de la Universidad y representantes de instituciones aliadas clave.

#### Estación sismológica Cerro Castillo

En el marco del proyecto que apunta a la instalación de un observatorio geofísico multiparámetros G-Data en Aysén, el PRS mantiene en funcionamiento una estación sismológica, instalada en Cerro Castillo, en dependencias de la Universidad de Aysén. El objetivo con ella es realizar estudios de sismicidad asociada a sismos superficiales en la zona de Coyhaique.

A continuación, algunas imágenes del proceso de mantenimiento:

Respaldo de información, desde la Raspberry pi:



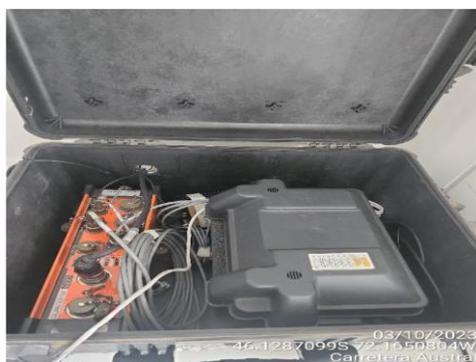
	Nombre	Fecha de modificación	Tipo
2022			
C1			
IN07			
2023			
C1			
IN07			
ACE.T	ACE.T	10-03-2023 16:53	Carpeta de archivos
BHZ.D	BHZ.D	10-03-2023 16:53	Carpeta de archivos
HHE.D	HHE.D	10-03-2023 16:53	Carpeta de archivos
HHN.D	HHN.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
HHZ.D	HHZ.D	10-03-2023 16:51	Carpeta de archivos
LCE.D	LCE.D	10-03-2023 16:54	Carpeta de archivos
LCQ.D	LCQ.D	10-03-2023 16:53	Carpeta de archivos
LHZ.D	LHZ.D	10-03-2023 16:54	Carpeta de archivos
LOG.L	LOG.L	10-03-2023 16:53	Carpeta de archivos
OCF.O	OCF.O	10-03-2023 16:51	Carpeta de archivos
VCO.D	VCO.D	10-03-2023 16:54	Carpeta de archivos
VEA.D	VEA.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VEC.D	VEC.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VEP.D	VEP.D	10-03-2023 16:54	Carpeta de archivos
VFP.D	VFP.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VKI.D	VKI.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VMU.D	VMU.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VMV.D	VMV.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos
VMW.D	VMW.D	10-03-2023 16:52	Carpeta de archivos

	Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
2022				
2023				
C1				
IN07				
ACE.T				
BHZ.D	C1.IN07..BHZ.D.2023	10-03-2023 16:53	Archivo WinRAR	4.440 KB
HHE.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.002	10-03-2023 16:53	Archivo 002	4.542 KB
HHN.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.003	10-03-2023 16:53	Archivo 003	4.383 KB
HHZ.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.004	10-03-2023 16:53	Archivo 004	4.253 KB
LCE.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.005	10-03-2023 16:53	Archivo 005	4.300 KB
LCQ.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.006	10-03-2023 16:53	Archivo 006	4.413 KB
LHZ.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.007	10-03-2023 16:53	Archivo 007	4.243 KB
LOG.L	C1.IN07..BHZ.D.2023.008	10-03-2023 16:53	Archivo 008	4.172 KB
OCF.O	C1.IN07..BHZ.D.2023.009	10-03-2023 16:53	Archivo 009	4.199 KB
VCO.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.010	10-03-2023 16:53	Archivo 010	4.097 KB
VEA.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.011	10-03-2023 16:53	Archivo 011	4.122 KB
VEC.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.012	10-03-2023 16:53	Archivo 012	4.133 KB
VEP.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.013	10-03-2023 16:53	Archivo 013	4.351 KB
VFP.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.014	10-03-2023 16:53	Archivo 014	4.180 KB
VKI.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.015	10-03-2023 16:53	Archivo 015	3.951 KB
VMU.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.017	10-03-2023 16:53	Archivo 017	1.343 KB
VMV.D	C1.IN07..BHZ.D.2023.027	10-03-2023 16:53	Archivo 027	1.423 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.028	10-03-2023 16:53	Archivo 028	4.215 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.029	10-03-2023 16:53	Archivo 029	4.236 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.030	10-03-2023 16:53	Archivo 030	4.397 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.031	10-03-2023 16:53	Archivo 031	4.115 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.032	10-03-2023 16:53	Archivo 032	4.141 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.033	10-03-2023 16:53	Archivo 033	4.194 KB
	C1.IN07..BHZ.D.2023.034	10-03-2023 16:53	Archivo 034	4.170 KB

Medición de voltaje en la Batería:



Estado actual de la Estación:



Exterior, antena GPS:



### 3. PAR Explora y Ciencia Ciudadana

El Proyecto Asociativo Regional (PAR) Explora RM Sur Poniente 2019-2022 tuvo el objetivo de fomentar la creación de una cultura científica y colaborativa en 22 comunas de la zona sur poniente de la Región Metropolitana, vinculando el mundo científico y las comunidades locales, generando un espacio común de reflexión, encuentro y diálogo, sobre problemáticas de interés de los distintos actores. Durante 4 años se intervino en las comunas de Alhué, Buin, Calera de Tango, Cerrillos, Cerro Navia, Curacaví, El Bosque, El Monte, Estación Central, Isla de Maipo, Lo Espejo, lo Prado, Maipú, María Pinto, Melipilla, Padre Hurtado, Paine, Peñaflo, Quinta Normal, San Bernardo, San Pedro y Talagante.

Para cumplir con su objetivo, el PAR desarrolló 8 iniciativas dirigidas a comunidades educacionales (Programa de Indagación en Primeras Edades (educ. parvularia), Investigación e Innovación Escolar (educ. básica y media), Congreso Regional de Investigación, Laboratorio de Podcast Científicos y Campamento Docente) y enfocadas en público general (Ciencia Abierta, Festival de las Ciencias y Ciencia Ciudadana).

En la realización de las actividades durante 2022, se contó con la colaboración de una red de investigadoras/es de alrededor de 52 instituciones de ciencia y tecnología, además de organizaciones culturales y territoriales.

La cobertura alcanzada en 2022 fue la siguiente:

Docentes (desde educ. Parvularia a ed. Media)	209
Estudiantes (desde educ. Parvularia a ed. Media)	1.448
Investigadore/as científicos	263
Público General (actividades masivas)	4.203

Uno de los principales contenidos abordados fue el de la sustentabilidad y la ciencia ciudadana, a través de innumerables actividades.

Ver: <https://www.explora.cl/rmsurponiente/>



Ciencia Ciudadana en Parque El Trapiche, Peñaflo



Congreso Regional de Investigación e Innovación Escolar, FCFM.



Festival de las Ciencias



Laboratorio de Podcast Científicos



Festival de las Estrellas



Campamento Docente



Programa de Indagación en Primeras Edades

## 4. Comunidad de Especialistas América Latina

### Encuentro latinoamericano sobre terremotos y tsunamis

<https://www.uchile.cl/noticias/192557/chile-sera-sede-de-reunion-latinoamericana-sobre-terremotos-y-tsunamis>

<https://prs.dgf.uchile.cl/con-la-presencia-de-autoridades-de-gobierno-e-instituciones-publicas-se-realizo-el-1er-encuentro-latinoamericano-de-amenaza-sismica-y-tsunami/>

El miércoles 30 de noviembre de 2022, el PRS organizó el 1er Encuentro Latinoamericano Amenaza Sísmica y Tsunami, en dependencias de la FCFM (Salón Gorbea). El objetivo fue reunir, en formato presencial y on line, a científicos y profesionales de Sudamérica, el Caribe y México para reflexionar sobre la importancia de la cooperación y coordinación regional para el intercambio de datos, conocimientos y experiencias, para reducir riesgos y desastres como terremotos y tsunamis, desde México hasta la Antártica.

El encuentro fue inaugurado por el subsecretario del Ministerio del Interior Eduardo Vega, el Vicerrector de Investigación y Desarrollo, Enrique Aliste y el Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Francisco Martínez, ambos de la Universidad de Chile.

El encuentro contó con intervenciones de instituciones como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México y el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Así también, con las exposiciones de instituciones chilenas como el Programa Riesgo Sísmico (PRS), la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), el Centro Sismológico Nacional (CSN) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

Participaron 117 personas (36 presenciales y 81 on line).

El resultado de la reflexión y las exposiciones se traducirá en un reporte que permitirá dar continuidad a este trabajo.

### Curso FMNEAR

Los días 1 y 2 de diciembre de 2022, en el marco del Encuentro Latinoamericano, se realizó el curso “Determinación de mecanismos focales a distancia local-regional con método FMNEAR”, herramienta informática para abordar el modelamiento de formas de onda de sismicidad a nivel local y regional.

El programa de formación fue dictado por Bertrand Delouis, profesor de la Universidad de Niza (Francia), y Jaime Campos, académico de la Universidad de Chile. El curso, en el que participaron 37 personas, fue una experiencia de colaboración en el área de la formación de expertos en la región, compartiendo conocimientos y metodologías para un mejor desempeño en los respectivos países.

Ambas iniciativas, Encuentro y Curso, irán conformando una comunidad de especialistas, vinculados a las instituciones públicas y universidades de diversos países, que mantendrán un vínculo de cooperación en áreas de formación académica, investigación y colaboración científica. Lo anterior, teniendo como norte las singularidades de los territorios que están unidos por el contexto andino.

## 5. Gestión Comunicacional y de Difusión

### Apoyo comunicacional Encuentro de Amenaza Sísmica y Tsunami

En el marco de la realización del Primer Encuentro de Amenaza Sísmica y Tsunami, celebrado el pasado 30 de noviembre y 1 y 2 de diciembre, se realizaron distintas acciones comunicacionales:

a) Elaboración de material de difusión previo / Construcción identidad gráfica

TÍTULO	FECHA	LINK	IMAGEN
Nota oficial	04/11/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/chile-sera-sede-de-importante-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunamis/">https://prs.dgf.uchile.cl/chile-sera-sede-de-importante-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunamis/</a>	
Afiches promocionales (en distintos tamaños)	26/10/22	<a href="https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1zzNNYKwzrMBjbApobC1Kzz5y8VvIgoem">https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1zzNNYKwzrMBjbApobC1Kzz5y8VvIgoem</a>	

Plantillas PPT	26/10/22	<a href="https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1OKY4D_v3E7TgHuu8JneYOhf7XK_IsI5i">https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1OKY4D_v3E7TgHuu8JneYOhf7XK_IsI5i</a>	
Dossier y Programa del Encuentro	26/10/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/wp-content/uploads/2022/10/dossier-oficial-encuentro-2022-final2-prs.pdf">https://prs.dgf.uchile.cl/wp-content/uploads/2022/10/dossier-oficial-encuentro-2022-final2-prs.pdf</a>	
Video Promocional	28/11/22	<a href="https://web.facebook.com/PRSismico/videos/5591173347646111">https://web.facebook.com/PRSismico/videos/5591173347646111</a>	
Videos para proyectar en sala y en zoom	28/11/22	<a href="https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1SvNW2XZmjUgcwKh6-nWrBz8XWgTVM829">https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1SvNW2XZmjUgcwKh6-nWrBz8XWgTVM829</a>	

## b) Gestión de prensa y aparición en portales institucionales

Medio / Portal	Fecha	Link / Evidencia
TxPlus Radio - Programa "Nuestro Planeta"	21/11/22	<a href="https://soundcloud.com/txsplus/nuestro-planeta-con-marcelo-lagos-y-sandra-rojas-21-de-noviembre-del-2022?in=txsplus%2Fsets%2Fnuestro-planeta&amp;fbclid=IwAR3Bzh_A4OBT5MzCqeb6uUMYfJlu2_QWfnW0gStVla5OoYjaiaGoh1hgoc">https://soundcloud.com/txsplus/nuestro-planeta-con-marcelo-lagos-y-sandra-rojas-21-de-noviembre-del-2022?in=txsplus%2Fsets%2Fnuestro-planeta&amp;fbclid=IwAR3Bzh_A4OBT5MzCqeb6uUMYfJlu2_QWfnW0gStVla5OoYjaiaGoh1hgoc</a>
Web Universidad de Chile	14/11/22	<a href="https://uchile.cl/noticias/192557/chile-sera-sede-de-reunion-latinoamericana-sobre-terremotos-y-tsunamis">https://uchile.cl/noticias/192557/chile-sera-sede-de-reunion-latinoamericana-sobre-terremotos-y-tsunamis</a>
Radio Biobío	15/12/22	<a href="https://cooperativapodcast.cl/hoy-en-el-mundo?ts=20221215174508">https://cooperativapodcast.cl/hoy-en-el-mundo?ts=20221215174508</a>
Novaciencia	16/11/22	<a href="https://novaciencia.es/primer-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami-en-chile/">https://novaciencia.es/primer-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami-en-chile/</a>
Crónica Digital	16/11/22	<a href="https://www.cronicadigital.cl/2022/11/16/chile-sera-sede-de-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos/">https://www.cronicadigital.cl/2022/11/16/chile-sera-sede-de-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos/</a>
Prensa Latina (Cuba)	16/11/22	<a href="https://www.prensa-latina.cu/2022/11/15/chile-sera-sede-de-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos">https://www.prensa-latina.cu/2022/11/15/chile-sera-sede-de-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos</a>
Instituto para la Resiliencia a los Desastres	04/11/22	<a href="https://itrend.cl/events/primer-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami/">https://itrend.cl/events/primer-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami/</a>
Tele 13 Radio	16/11/22	<a href="https://tele13radio.cl/podcast/nativos/dr-aliste-por-1er-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami">https://tele13radio.cl/podcast/nativos/dr-aliste-por-1er-encuentro-latinoamericano-amenaza-sismica-y-tsunami</a>
El Mostrador	16/11/22	<a href="https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/11/16/primer-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunamis/">https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/11/16/primer-encuentro-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunamis/</a>



Citrid - Programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile

16/11/22

14:21

85%

Instagram

citrid.uchile



Like, Comment, Share, Save icons

Le gusta a psalucci2 y 14 personas más  
citrid.uchile Les invitamos este 30 de noviembre, a las 9:00 horas al "Primer Encuentro Latinoameri... más  
Hace 3 horas • Ver traducción

<p>Centro Sismológico Nacional</p>	<p>Distintas fechas</p>	  <p>1er ENCUENTRO LATINOAMERICANO AMENAZA SISMICA y TSUNAMI 30 NOV 2022</p> <p>CURSO INTERNACIONAL DETERMINACIÓN DE MECANISMOS FOCALES A DISTANCIA LOCAL-REGIONAL CON MÉTODO FMNEAR 1-2 DIC 2022</p> <p>DESAFÍOS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES EN AMÉRICA LATINA</p> <p>INFORMACIÓN DISPONIBLE EN: PRS.DGF.UCHILE.CL</p> <p>VID, fcfm, PRS RIESGO SISMICO, CITRID, SHOA, CSN, agcidChile</p> <p>sismos_csn • Seguir</p> <p>sismos_csn Mario Pardo, subdirector del Centro Sismológico Nacional será parte del 1er Encuentro Latinoamericano Amenaza Sísmica y Tsunami, a realizarse los próximos 30 de noviembre, 1 y 2 de diciembre.</p> <p>El propósito de esta cumbre es avanzar en la reflexión y la reducción de riesgos y desastres, con foco en la ocurrencia de terremotos y tsunamis, desde México hasta la Antártica.</p> <p>Inscripciones en prs.dgf.uchile.cl</p> <p>18 sem</p> <p>Les gusta a prsismico y 21 personas más</p> <p>NOVIEMBRE 16, 2022</p> <p>sismos_csn • Seguir</p> <p>Campus Beauchef, Universidad De Chile</p> <p>sismos_csn El subdirector del CSN, Mario Pardo, participa del 1er Encuentro de Amenaza Sísmica y Tsunami, organizado por @prsismico y @vid.uchile. Esta actividad busca convertirse en un espacio de análisis y colaboración para la reducción de riesgos frente a sismos y tsunamis.</p> <p>16 sem</p>
<p>Departamento de Geofísica</p>	<p>05/12/22</p>	<p><a href="http://www.dgf.uchile.cl/noticias/200027/1er-encuentro-latinoamericano-de-amenaza-sismica-y-tsunami">http://www.dgf.uchile.cl/noticias/200027/1er-encuentro-latinoamericano-de-amenaza-sismica-y-tsunami</a></p>

c) Transmisión en vivo del encuentro por redes del PRS y otras instituciones aliadas

Canal	LINK
Redes PRS	<p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=DYuEAAN1nak">https://www.youtube.com/watch?v=DYuEAAN1nak</a></p> <p><a href="https://web.facebook.com/PRSismico/videos/2347211992121487">https://web.facebook.com/PRSismico/videos/2347211992121487</a></p>
VID UChile	<p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=Ko720RYkFzI">https://www.youtube.com/watch?v=Ko720RYkFzI</a></p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=-MQVLQhJvyg">https://www.youtube.com/watch?v=-MQVLQhJvyg</a></p>
UChile	<p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=MyDYPKV92rI">https://www.youtube.com/watch?v=MyDYPKV92rI</a></p>

d) Cobertura fotográfica durante el evento



\* Cobertura digital en todos los momentos del evento en el [Facebook](#), [Instagram](#), [Twitter](#) y [LinkedIn](#) del Programa Riesgo Sísmico.

e) Cobertura / Generación material gráfico post evento

Recurso	Link	Imagen
Elaboración nota posterior	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/con-la-presencia-de-autoridades-de-gobierno-e-instituciones-publicas-se-">https://prs.dgf.uchile.cl/con-la-presencia-de-autoridades-de-gobierno-e-instituciones-publicas-se-</a>	

	<p><a href="https://www.uchile.cl/noticias/193379/u-de-chile-inicia-conclave-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunami/">realizo-el-1er-encuentro-latinoamericano-de-amenaza-sismica-y-tsunami/</a></p> <p><a href="https://www.uchile.cl/noticias/193379/u-de-chile-inicia-conclave-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunami/">https://www.uchile.cl/noticias/193379/u-de-chile-inicia-conclave-latinoamericano-sobre-terremotos-y-tsunami/</a></p>	
Video resumen de las jornadas	<p><a href="https://www.instagram.com/p/CmKz7g2MSec/">https://www.instagram.com/p/CmKz7g2MSec/</a></p>	
Certificados de participación	<p><a href="https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1OZM1t1WWmVF6WLX6kG6zK5F97U86yihZ">https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1OZM1t1WWmVF6WLX6kG6zK5F97U86yihZ</a></p>	

## Página web y creación de contenido de divulgación científica

### a) MANTENCIÓN Y ACTUALIZACIÓN SITIO WEB:

#### Cambios en secciones:

- Agregado acceso directo al Encuentro Latinoamericano de Amenaza Sísmica y Tsunami
- Modificada la sección FMNEAR y agregada la sección Fase W bajo “Observatorio G-Data”.
- Agregada la sección del “1ER ENCUENTRO LATINOAMERICANO AMENAZA SÍSMICA Y TSUNAMI + CURSO FMNEAR” bajo “Difusión y valoración ciudadana”.
- Leves modificaciones visuales (Aumento en el ancho del sitio web, disminución de la altura del bloque del título en secciones, etc.)

## Actualización de noticias:

TÍTULO	FECHA	LINK
En junio parte nueva edición del postítulo en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres	14/04/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/en-junio-parte-nueva-edicion-del-postitulo-en-gestion-ingenieria-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/">https://prs.dgf.uchile.cl/en-junio-parte-nueva-edicion-del-postitulo-en-gestion-ingenieria-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/</a>
Día Nacional de la Memoria y Educación sobre Desastres Socio Naturales	14/06/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/dia-nacional-de-la-memoria-y-educacion-sobre-desastres-socio-naturales/">https://prs.dgf.uchile.cl/dia-nacional-de-la-memoria-y-educacion-sobre-desastres-socio-naturales/</a>
Parque Carén abre sus puertas con muestra “Chile telúrico” y “El Viaje de Darwin”	20/06/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/parque-caren-abre-sus-puertas-con-muestra-chile-telurico-y-el-viaje-de-darwin/">https://prs.dgf.uchile.cl/parque-caren-abre-sus-puertas-con-muestra-chile-telurico-y-el-viaje-de-darwin/</a>
Universidad de Aysén y Programa Riesgo Sísmico lideran encuentro de cooperación para la prevención y respuesta ante desastres	15/07/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/universidad-de-aysen-y-programa-riesgo-sismico-de-la-universidad-de-chile-lideran-encuentro-de-cooperacion-para-la-prevencion-y-respuesta-ante-desastres/">https://prs.dgf.uchile.cl/universidad-de-aysen-y-programa-riesgo-sismico-de-la-universidad-de-chile-lideran-encuentro-de-cooperacion-para-la-prevencion-y-respuesta-ante-desastres/</a>
Personas adultas mayores de Cerrillos interactúan con contenidos de divulgación científica del PRS	11/10/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/personas-adultas-mayores-de-cerrillos-interactuan-con-contenidos-de-divulgacion-cientifica-del-prs/">https://prs.dgf.uchile.cl/personas-adultas-mayores-de-cerrillos-interactuan-con-contenidos-de-divulgacion-cientifica-del-prs/</a>
31 profesionales de Latinoamérica y El Caribe se formaron en diplomado PRS sobre gestión y ciencias para la resiliencia a los desastres	26/10/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/31-profesionales-de-latinoamerica-y-el-caribe-se-formaron-en-diplomado-prs-sobre-gestion-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/">https://prs.dgf.uchile.cl/31-profesionales-de-latinoamerica-y-el-caribe-se-formaron-en-diplomado-prs-sobre-gestion-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/</a>
Programa Riesgo Sísmico presenta nueva metodología para el modelamiento de tsunamis	11/11/22	<a href="https://prs.dgf.uchile.cl/programa-riesgo-sismico-presenta-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/">https://prs.dgf.uchile.cl/programa-riesgo-sismico-presenta-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/</a>

## b) CREACIÓN DE CONTENIDO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

### Gráficas y efemérides

TÍTULO	FECHA	LINK	IMAGEN
Terremoto de Santiago	13/05/22	<a href="https://www.instagram.com/p/CdgZfdKOJer/">https://www.instagram.com/p/CdgZfdKOJer/</a>	

Acerca del Riesgo Sísmico	18/05/22	<a href="https://www.instagram.com/p/CdtFwU-OyLf/">https://www.instagram.com/p/CdtFwU-OyLf/</a>	
Terremoto de Valdivia	22/05/22	<a href="https://www.instagram.com/p/Cd3TXdEuoFr/">https://www.instagram.com/p/Cd3TXdEuoFr/</a>	
Día Nacional de la Memoria y Educación ante Desastres	14/05/22	<a href="https://www.instagram.com/p/Cey6PL3OSDH/">https://www.instagram.com/p/Cey6PL3OSDH/</a>	
Terremoto de la Serena (republicación)	17/06/22	<a href="https://www.instagram.com/p/Ce6UcNuouH/">https://www.instagram.com/p/Ce6UcNuouH/</a>	
Parque Carén abre sus puertas	20/06/22	<a href="https://www.instagram.com/p/CfCUPEIud94/">https://www.instagram.com/p/CfCUPEIud94/</a>	
Terremoto de Valparaíso	08/07/22	<a href="https://www.instagram.com/p/CfwxN6UOq60/">https://www.instagram.com/p/CfwxN6UOq60/</a>	
Terremoto de Arica	13/08/22	<a href="https://www.instagram.com/p/ChM9u0iOeRi/">https://www.instagram.com/p/ChM9u0iOeRi/</a>	

Terremoto Valparaíso y Hermanos Clark	16/08/22	<a href="https://www.instagram.com/p/ChVNw7Olqa1/">https://www.instagram.com/p/ChVNw7Olqa1/</a>	
PRS en Cerrillos	12/10/22	<a href="https://www.instagram.com/p/Cjn_vcCONeS/">https://www.instagram.com/p/Cjn_vcCONeS/</a>	
Publicación en Revista Nature	12/11/22	<a href="https://www.instagram.com/p/Ck3OB67u2CR/">https://www.instagram.com/p/Ck3OB67u2CR/</a>	
En Memoria de Edgard Kausel	13/01/23	<a href="https://www.instagram.com/p/CnXCBCZOipK/">https://www.instagram.com/p/CnXCBCZOipK/</a>	
Terremoto Antártica	23/01/23	<a href="https://www.instagram.com/p/Cnw1zPyOXKT/">https://www.instagram.com/p/Cnw1zPyOXKT/</a>	
Terremoto de Chillán	24/01/23	<a href="https://www.instagram.com/p/Cnzol2ROHL-/">https://www.instagram.com/p/Cnzol2ROHL-/</a>	
Aniversario 100 muerte Montessus de Ballore	31/01/23	<a href="https://www.instagram.com/p/CoFXCIZuJeG/">https://www.instagram.com/p/CoFXCIZuJeG/</a>	

## Podcast

TÍTULO	FECHA	ESTADO
La importancia de la memoria sísmica para la construcción de la identidad de un país	Marzo 2023	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=qJPtnhHIGDU">https://www.youtube.com/watch?v=qJPtnhHIGDU</a>

## Posicionamiento en prensa e instituciones

En el transcurso de 2022, el Programa Riesgo Sísmico pudo dar a conocer a través de distintos canales sus investigaciones y actividades. Al 1er Encuentro de Amenaza Sísmica y Tsunami, se sumaron algunos hitos como la inauguración de la muestra “Chile telúrico”, visitas a la Universidad de Aysén y la publicación de investigadores PRS en la Revista Nature, que concitaron gran interés a nivel comunicacional.

Estas acciones tuvieron cobertura en medios de comunicación digitales, escritos y radiales. Asimismo, fueron replicadas por portales de instituciones aliadas, que fueron clave para la estrategia de posicionamiento del Programa.

A continuación, se detallan las apariciones:

TÍTULO	FECHA	LINK
Con exposiciones sobre Darwin y los terremotos, Parque Carén dio el vamos a su segunda etapa de implementación	17/06/22	<a href="https://www.uchile.cl/noticias/187467/parque-caren-dio-el-vamos-a-su-segunda-etapa-de-implementacion">https://www.uchile.cl/noticias/187467/parque-caren-dio-el-vamos-a-su-segunda-etapa-de-implementacion</a>
Parque Laguna Carén: El futuro en construcción	25/06/22	<a href="https://www.explora.cl/rmsurponiente/cerronavia_caren/">https://www.explora.cl/rmsurponiente/cerronavia_caren/</a>
Presidente del Museo de Historia Natural de París visita Centro de Interpretación del Parque Carén	23/01/23	<a href="https://www.uchile.cl/noticias/202489/presidente-del-museo-de-historia-natural-de-paris-visita-parque-caren">https://www.uchile.cl/noticias/202489/presidente-del-museo-de-historia-natural-de-paris-visita-parque-caren</a>
Universidad de Aysén y Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile lideran encuentro de cooperación para la prevención y respuesta ante desastres	15/07/23	<a href="https://ingenieria.uchile.cl/noticias/188263/uaysen-y-prs-lideran-encuentro-sobre-la-prevencion-ante-desastres#:~:text=En%20el%20marco%20de%20esta,desarrollar%20colaboraci%C3%B3n%20nacional%20e%20internacional.">https://ingenieria.uchile.cl/noticias/188263/uaysen-y-prs-lideran-encuentro-sobre-la-prevencion-ante-desastres#:~:text=En%20el%20marco%20de%20esta,desarrollar%20colaboraci%C3%B3n%20nacional%20e%20internacional.</a>
Encuentro PRS y Universidad de Aysén	05/07/23	<a href="https://www.facebook.com/udeaysen/photos/a.1751219735127250/3073986169517260/?type=3">https://www.facebook.com/udeaysen/photos/a.1751219735127250/3073986169517260/?type=3</a>

31 profesionales de Latinoamérica y El Caribe se formaron en gestión y ciencias para la resiliencia a los desastres	21/10/23	<a href="https://www.sistemaspublicos.cl/2022/10/21/31-profesionales-de-latinoamerica-y-el-caribe-se-formaron-en-gestion-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/">https://www.sistemaspublicos.cl/2022/10/21/31-profesionales-de-latinoamerica-y-el-caribe-se-formaron-en-gestion-y-ciencias-para-la-resiliencia-a-los-desastres/</a>
Investigadores chilenos crean nuevo método para detectar tsunamis: podría replicarse globalmente	22/11/23	<a href="https://www.biobiochile.cl/noticias/ciencia-y-tecnologia/ciencia/2022/11/22/investigadores-chilenos-crean-nuevo-metodo-para-detectar-tsunamis-podria-replicarse-globalmente.shtml">https://www.biobiochile.cl/noticias/ciencia-y-tecnologia/ciencia/2022/11/22/investigadores-chilenos-crean-nuevo-metodo-para-detectar-tsunamis-podria-replicarse-globalmente.shtml</a>
Chilenos crean método para detectar tsunamis que se podría replicar a nivel mundial	22/11/23	<a href="https://www.13.cl/smart13/articulos/chilenos-crean-metodo-para-detectar-tsunamis-que-se-podria-replicar-a-nivel">https://www.13.cl/smart13/articulos/chilenos-crean-metodo-para-detectar-tsunamis-que-se-podria-replicar-a-nivel</a>
Científicos chilenos publican en Nature un nuevo método para predecir tsunamis	10/11/22	<a href="https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/cientificos-chilenos-publican-en-nature-un-nuevo-metodo-para-predecir-tsunamis/S5YOE3KS3FFC3GFD5SMUQB2KW4/">https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/cientificos-chilenos-publican-en-nature-un-nuevo-metodo-para-predecir-tsunamis/S5YOE3KS3FFC3GFD5SMUQB2KW4/</a>
Chilenos crean novedoso método para predecir tsunamis	23/11/22	<a href="https://www.futuro360.com/desafiotierra/chilenos-tsunami-metodo-prediccion_20221123/">https://www.futuro360.com/desafiotierra/chilenos-tsunami-metodo-prediccion_20221123/</a>
Investigadores U. de Chile desarrollan nueva metodología para el modelamiento de tsunamis	11/11/22	<a href="https://www.uchile.cl/noticias/192463/desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis">https://www.uchile.cl/noticias/192463/desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis</a>
Investigadores U. de Chile desarrollan nueva metodología para el modelamiento de tsunamis	17/11/22	<a href="https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/11/17/investigadores-u-de-chile-desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/">https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/11/17/investigadores-u-de-chile-desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/</a>
Investigadores chilenos desarrollan un nuevo modelo de predicción de tsunamis	21/11/22	<a href="https://www.swissinfo.ch/spa/chile-tsunamis_investigadores-chilenos-desarrollan-un-nuevo-modelo-de-predicci%C3%B3n-de-tsunamis/48075626">https://www.swissinfo.ch/spa/chile-tsunamis_investigadores-chilenos-desarrollan-un-nuevo-modelo-de-predicci%C3%B3n-de-tsunamis/48075626</a>
Científicos chilenos publican en Nature un nuevo método para predecir tsunamis	10/11/12	<a href="https://www.msn.com/es-cl/noticias/ciencia/cient%C3%ADficos-chilenos-publican-en-nature-un-nuevo-m%C3%A9todo-para-predecir-tsunamis/ar-AA13XJ02">https://www.msn.com/es-cl/noticias/ciencia/cient%C3%ADficos-chilenos-publican-en-nature-un-nuevo-m%C3%A9todo-para-predecir-tsunamis/ar-AA13XJ02</a>
Investigadores chilenos desarrollan nueva metodología para el modelamiento de tsunamis	22/11/22	<a href="https://codexverde.cl/investigadores-chilenos-desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/">https://codexverde.cl/investigadores-chilenos-desarrollan-nueva-metodologia-para-el-modelamiento-de-tsunamis/</a>
Científicos crean nueva metodología para evaluar de manera más realista la amenaza de tsunamis	21/11/22	<a href="https://www.t13.cl/noticia/nacional/cientificos-crean-nueva-metodologia-modelamiento-tsunamis">https://www.t13.cl/noticia/nacional/cientificos-crean-nueva-metodologia-modelamiento-tsunamis</a>

## Redes Sociales

En este apartado, podemos observar que la cantidad de seguidores/contactos en las redes sociales del PRS ha ido en alza, lo que consolida a estas plataformas en importantes aliadas en la estrategia comunicacional del programa.

### a) ACTUALIZACIÓN PERMANENTE DE LAS PLATAFORMAS EXISTENTES

**Facebook** (<https://www.facebook.com/PRSismico/>)

**(282 seguidores.** Año 2021: 208)

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 rrss.

**Twitter**

(<https://twitter.com/PRSismico/>)

**(857 seguidores.** Año 2021: 668) Una de las redes sociales con más actividad. Interacción con instituciones científicas e investigadores de Chile y el extranjero. Publicaciones con más actividad: efemérides, infografías y estudio PRS publicado en Nature).

**Linkedin**

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

**(435 contactos.** Año 2021: 302) Red social con más crecimiento durante este periodo. 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.

**Podcast PRS** (<https://open.spotify.com/show/7pSq1hOCwGKmFjdPIFrLGo> )

Durante 2022 la producción de contenido en formato podcast disminuyó en comparación al año 2021. Sin embargo, se encuentra en elaboración un producto sonoro sobre la memoria sísmica y su importancia en el marco del reciente Día Nacional de la Memoria y Educación sobre Desastres Socio Naturales. Este recurso, proyectado para publicarse en marzo de 2023, contará con la participación de la investigadora PRS Juliette Marín.

### b) CREACIÓN DE NUEVAS PLATAFORMAS

**Instagram**

(<https://www.instagram.com/prsismico/>)

**(190 seguidores)** Plataforma preferentemente visual, utilizada principalmente por un público joven - adulto joven. Gran parte de los seguidores y seguidoras forman parte de la comunidad científica o se encuentran realizando estudios de pre y postgrado en áreas relacionadas a la sismología, geofísica, geología, ingenierías, etc.

**Linktr.ee** (<https://linktr.ee/prsismico>)

Esta herramienta permite reunir en un solo link todos los sitios donde el Programa Riesgo Sísmico tiene presencia en Internet. Es de gran utilidad en la difusión vía redes sociales.

**Tiktok** ([tiktok.com/@prsismico](https://tiktok.com/@prsismico))

Plataforma recientemente creada. Su fin es llegar a un público más joven y tener un espacio de difusión y almacenamiento de recursos audiovisuales en formato viral. Al mismo tiempo, es una apuesta para desarrollar más contenido de divulgación científica sobre sismología.

## Estadísticas

### a) SITIO WEB

Período 1 enero de 2022 al 31 de enero 2023.



Ingresaron 10 mil usuarios únicos, lo que implica un aumento considerable en comparación con el año anterior (6,2 mil usuarios en 2021 en periodo similar).

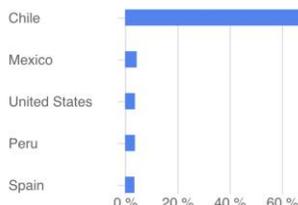
La cantidad total de visitas fue de 13 mil. (7,9 mil en 2021).

La duración media de las visitas fue de 0:59 minutos (leve baja en comparación al 2021, con 1:04 minutos).

Sesiones por país



Las visitas se dividen en tres partes...



... desde Chile con más de un 60%. El resto de países se divide (alrededor del 5%), siendo el segundo lugar México, el cuarto Estados Unidos y quinto España.

Sesiones por dispositivo

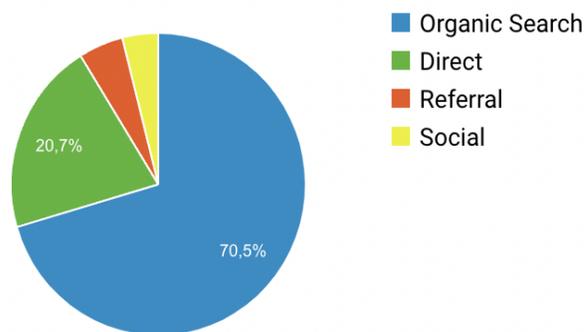


Por otra parte, más de la mitad de las visitas se hacen desde dispositivos móviles, dejando a los computadores en segundo lugar por primera vez (en 2021 los computadores sumaban un 53.3% de las visitas).

Página ?	Vistas de una página ? ↓	Número de vistas de página únicas ?	Promedio de tiempo en la página ?	Entradas ?	Porcentaje de rebote ?	Porcentaje de salidas ?
	<b>18.565</b> % del total: 100,00 % (18.565)	<b>15.947</b> % del total: 100,00 % (15.947)	<b>00:02:09</b> Media de la vista: 00:02:09 (0,00 %)	<b>12.734</b> % del total: 100,00 % (12.734)	<b>78,95 %</b> Media de la vista: 78,95 % (0,00 %)	<b>68,59 %</b> Media de la vista: 68,59 % (0,00 %)
1. /linea-de-tiempo/	<b>3.172</b> (17,09 %)	2.886 (18,10 %)	00:05:21	2.855 (22,42 %)	88,86 %	87,17 %
2. /	<b>2.680</b> (14,44 %)	1.893 (11,87 %)	00:01:00	1.675 (13,15 %)	36,30 %	44,78 %
3. /observatorio-g-data/insar/	<b>1.332</b> (7,17 %)	1.190 (7,46 %)	00:03:41	1.117 (8,77 %)	86,48 %	80,71 %
4. /la-figura-del-cristo-de-mayo-y-el-terremoto-de-santiago-en-1647/	<b>1.203</b> (6,48 %)	1.094 (6,86 %)	00:04:53	1.071 (8,41 %)	88,61 %	86,95 %
5. /difusion-valoracion-ciudadana/encuentro-latinoamericano/	<b>1.138</b> (6,13 %)	953 (5,98 %)	00:03:53	828 (6,50 %)	81,76 %	76,80 %
6. /personas-adultas-mayores-de-cerrillos-interactuan-con-contenidos-de-divulgacion-cientifica-del-prs/	<b>1.081</b> (5,82 %)	1.022 (6,41 %)	00:01:54	1.014 (7,96 %)	94,87 %	93,80 %
7. /portada/que-es-el-prs/	<b>664</b> (3,58 %)	596 (3,74 %)	00:02:12	434 (3,41 %)	85,94 %	74,25 %
8. /lineas-de-investigacion/peligro-sismico/	<b>355</b> (1,91 %)	304 (1,91 %)	00:01:36	117 (0,92 %)	70,09 %	44,79 %
9. /a-82-anos-de-la-catastrofe-de-chillan-el-destacador-terremoto-que-marco-un-hito-en-la-ingenieria-sismica/	<b>327</b> (1,76 %)	306 (1,92 %)	00:05:36	295 (2,32 %)	91,53 %	88,69 %
10. /lineas-de-investigacion/tsunamis/	<b>318</b> (1,71 %)	268 (1,68 %)	00:01:12	93 (0,73 %)	60,22 %	42,45 %

En tercer, cuarto, quinto y sexto lugar, se encuentran, con una cantidad de visitas similar, la sección InSAR (bajo Observatorio G-Data), el artículo del Cristo de Mayo, la sección del Encuentro Latinoamericano (bajo difusión y valoración ciudadana) y el artículo sobre el evento para adultos mayores en Cerrillos.

Canales principales



Búsqueda orgánica (azul): visitas desde buscador web.  
 Directo (verde): accesos directos desde URL.  
 Referido (rojo): accesos desde links hacia el PRS.  
 Social (amarillo): visitas desde RRSS.  
 En comparación con el periodo anterior, existe una mayor llegada al sitio desde buscadores (49,1% en 2021 vs 70,5% en 2022), relegando los referidos y links desde redes sociales a posiciones minoritarias. La llegada directa se mantiene similar bajando solo 3 puntos porcentuales.

## IX. PATRIMONIO, VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO

**Equipo investigador:** Jaime Campos, Daniela Díaz, Juliette Marin Ríos, Sandra Rojas.

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, y generar acciones de recuperación del patrimonio (físico o inmaterial) vinculado a los terremotos.

### Tareas realizadas

En años anteriores, se han conducido adelante estudios a escala territorial de iglesias patrimoniales en adobe en Valparaíso y Tarapacá, formado a estudiantes de ingeniería civil con trabajos dirigidos o memorias de título, desarrollando intercambios y colaboraciones con universidades e instituciones públicas chilenas e internacionales, generado o participado en actividades de divulgación científica.

En este sentido, en 2022, el Ministerio de Obras Públicas hizo el lanzamiento oficial del inventario patrimonio cultural inmueble de Chile por el MOP que se benefició de la colaboración internacional Chile-Italia impulsada y coordinada por la línea Patrimonio del Programa Riesgo Sísmico (2018-2019).

En 2022, en acuerdo con la 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, se aportó principalmente en la realización de la [muestra “Chile telúrico” para la inauguración del parque Carén](#) (junio 2022), participando en la confección de textos, imágenes y edición, y apoyando en la coordinación científica de la muestra.

El PRS participó en representación de la Universidad de Chile en la Jornada Virtual “Perspectiva Territorial para la Gestión de Riesgos y Emergencias del Patrimonio Cultural” por invitación del Centro Nacional de Conservación y Restauración (octubre 2022).

Los aprendizajes y aportes de la línea de Patrimonio se expusieron en el “Seismic Resilience Workshop” organizado por la Universidad de Chile y University of California Disaster Resilience Network (UC DRN) (octubre 2022).

La línea participo en el podcast del PRS aportando sobre memoria sísmica (septiembre 2022).

- **Estado de avance (%)**

Objetivos anuales según la estrategia de la línea de Patrimonio: 100%

Vinculación pública e internacional: 100%

### **Observaciones y futuros avances**

Para 2023, se prevé enfocarse en profundizar el aporte sobre patrimonio y riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago con el fin de generar una propuesta con una materialidad espacial de la ruta de los saberes.

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

## X. DOCENCIA

### 1. Curso de Formación General

Durante el primer semestre de 2022 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 sicionaturales y fenómenos extremos

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

En este informe se presenta el reporte de la quinta 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 sicionaturales 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 2022, realizada on line, participaron 31 estudiantes provenientes de Perú, Bolivia, Ecuador, Honduras, Costa Rica, Guatemala, México, República Dominicana y Colombia, así como de instituciones públicas chilenas, como la Municipalidad de Providencia y la 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