MEMORIA ANUAL

2013 2015

CSN

CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL
UNIVERSIDAD DE CHILE

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo. Desde mediados del siglo XVI, ha ocurrido en promedio un terremoto de magnitud 8 o mayor cada docena de años.

El Centro Sismológico Nacional pasó de contar con menos de 20 funcionarios a inicios de 2013, a los cerca de 50 que posee actualmente.

Uno de los objetivos que tiene el CSN es aportar más información sobre la sismicidad en nuestro país. Es por ello que se busca complementar la información del hipocentro (localización) y magnitud con otros parámetros como el mecanismo focal.

CSN
CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL
UNIVERSIDAD DE CHILE

CONTENIDO

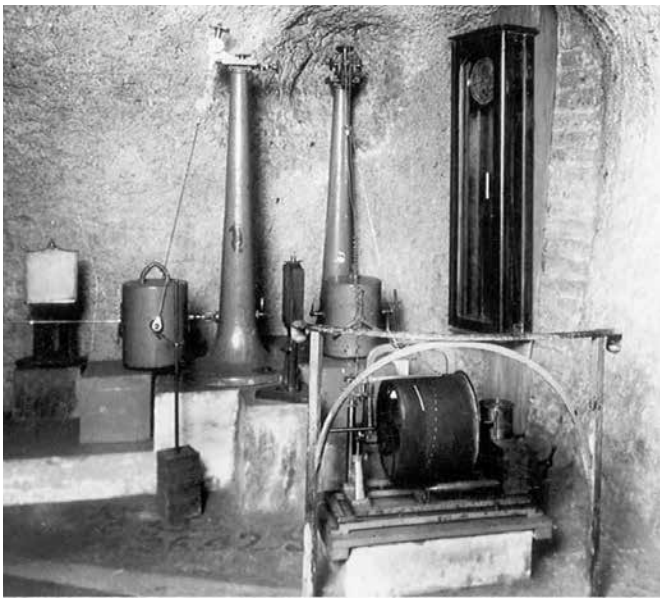
Presentación	4
Palabras del Director	8
Misión, Visión y Objetivo	9
Estructura Organizacional	11
Equipo	13
Red Sismológica Nacional	16
Área de Operaciones	20
Área de Innovación y Transferencia Tecnológica	36
Área de Geodesia	40
Área de Comunicaciones	46
Socios Estratégicos	52
Presupuesto 2013 - 2014 - 2015	54
Hechos Relevantes	58
Publicaciones	70

PRESENTACIÓN

RESEÑA HISTÓRICA

Como respuesta al terremoto de 1906, que destruyó parte de la ciudad de Valparaíso y de la zona central del país, el gobierno de Pedro Montt, a petición del entonces Rector de la Universidad de Chile, Valentín Letelier, fundó el Servicio Sismológico, el 1 de mayo de 1908. Ese año, en el cerro Santa Lucía de Santiago, su primer director, el sismólogo francés Ferdinand Montessus de Ballore, instaló la primera estación sismológica con registro del movimiento del suelo y de tiempo. Luego se instrumentaron lugares como Tacna, Copiapó, Osorno y Punta Arenas, a los que le siguieron otras 29 estaciones de menor complejidad.

En 1927 la institución pasó a depender de la Universidad de Chile, desarrollándose por varios años con un enfoque principalmente académico, utilizando el nombre de Servicio Sismológico Nacional (SSN).



La primera estación sismológica con registro de movimiento de suelo y de tiempo en el cerro Santa Lucía de Santiago.

Tras el sismo ocurrido el 21 de abril de 2007 en la Región de Aysén, las autoridades nacionales se vieron en la necesidad de contar, en forma urgente, con un plan de alerta y emergencia en caso de terremotos y tsunamis. Así, el Gobierno pactó un plan de mejoramiento con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, entidad que aloja al Departamento de Geofísica, unidad de la cual dependía el Servicio Sismológico Nacional, con el fin de contar con una mirada técnica y científica, con capacidades de diseño, implementación y operación de una red sismológica que cubriera el territorio nacional, promoviendo el buen funcionamiento del plan de monitoreo permanente de la sismicidad. A partir de entonces, al interior de la Universidad, comienza a gestarse la idea de un Centro Sismológico Nacional, continuador del SSN, con la misión de llevar a cabo la tarea encomendada con el más alto nivel científico y tecnológico.

El 27 de febrero de 2010 un terremoto magnitud 8.8, sacudió la zona sur y centro del país, este sismo ayudó a que el proyecto, que hasta el momento no había mostrado grandes avances, se acelerara.

NACIMIENTO DEL CSN

En 2013 la activación del Centro Sismológico Nacional (CSN) se hace realidad. El 28 de diciembre de 2012 se firma un Convenio de Colaboración entre la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, que entra en vigencia el 20 de marzo de 2013. Este convenio permite la iniciación de las actividades del CSN.

Este primer convenio contempla el fortalecimiento de la Red Sismológica Universitaria y el establecimiento de comunicaciones robustas e instalación de nuevas estaciones para su inclusión en la Red Sismológica Nacional, para lo que se entrega un presupuesto determinado en forma anual, que permite incorporar robustez a la red actual y mejorar la capacidad de respuesta (exactitud y rapidez) en situaciones de crisis sísmica.

Esto significó un vuelco en la misión del SSN, que tenía un diseño y vocación académica, que al convertirse en CSN pasó a ser una entidad clave en el sistema de alerta sísmica nacional. De esta manera, se planificó dar seguridad y eficiencia al sistema en su totalidad, desde los aspectos de adquisición y registro de señales sísmicas, pasando por la transmisión robusta de los datos registrados por las estaciones sismológicas instaladas en el país al Centro de Datos, hasta su recepción, análisis y proceso, para asegurar así una adecuada y oportuna operatividad en la determinación de parámetros focales básicos de eventos sísmicos que generen alarma pública.

En la actualidad, el CSN está trabajando para mejorar la cantidad, calidad y accesibilidad de la información sísmica nacional; esto a través del establecimiento de una red de observación de fenómenos sísmicos que permita la mejor caracterización de los eventos de magnitud importante (sismos sensibles por la población) en el territorio nacional. Lo anterior incluye una red de sensores distribuidos a lo largo del país, además de un centro de procesamiento de datos, como también los procedimientos y protocolos de comunicación durante las 24 horas, los siete días de la semana, con las entidades que requieren disponer de la información de manera oportuna.

El CSN es una entidad dependiente de la Universidad de Chile a través de su Facultad de Ciencias Físicas

2012

Se firma convenio de colaboración entre la Facultad de Ciencias y Matemáticas de la Universidad de Chile y la Oficina Nacional de Emergencia.

2013

Activación del Centro Sismológico Nacional (CSN) se hace realidad.

y Matemáticas, cuyos recipientes primarios de la información son el Gobierno, a través de la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública y otros organismos públicos y privados como el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (Achisina), la Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales (AICE), la Sociedad Chilena de Geotecnia (Sochige), la Academia y los usuarios en general.

PALABRAS DEL DIRECTOR

Sergio Barrientos.

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo. A partir del arribo de los españoles, cuando se inició el registro escrito en la región a mediados del siglo XVI, ha ocurrido en promedio un terremoto de magnitud 8 o mayor cada docena de años. En los últimos 100 años, más de diez eventos de magnitud 8 o superior han tenido lugar en esta parte del mundo. Tres eventos con M> 8 han ocurrido sólo en los últimos seis años. Los registros históricos de daños locales, los informes de tsunamis registrados en Japón asociados a sismos chilenos y los estudios paleo-sismológicos, han evidenciado que varios de estos terremotos han alcanzado magnitudes cercanas a 9 o superiores. Entre ellos se encuentra el caso de 1960, el terremoto más grande registrado en el mundo desde el inicio de la sismología instrumental. Tal actividad sísmica extrema en Chile es el resultado de la interacción entre las placas de Nazca, Antártica, Escocia y América del Sur. La mayor parte de la sismicidad significativa es el resultado directo de la interacción entre las placas de Nazca y de Sudamérica.

El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, tiene la tarea de impulsar y desarrollar los aspectos observacionales de terremotos en el país con el fin de entregar la mejor, más completa, depurada y oportuna información posible relacionada con la observación del proceso de terremotos.

Para ello, se requiere instalar, mantener y operar una red sismológica que cubra todo el territorio nacional, en lo posible, rodeando completamente aquellas zonas donde se generan los sismos. Lograr este desafío no es sencillo en un país como el nuestro, ya que éste posee una gran longitud y gran parte de la sismicidad se encuentra ubicada costa afuera. Sin embargo, el objetivo de continuar poniendo a disposición de la comunidad todos los datos recopilados por el CSN de la manera más rápida posible amerita este esfuerzo.

Esto es lo que ha impulsado nuestro trabajo en estos tres años y lo que nos seguirá motivando para dar lo mejor de nosotros con el fin de cumplir esta misión de la mejor forma posible.

Sergio Barrientos
Director Centro Sismológico Nacional
Diciembre 2015

El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, tiene la tarea de impulsar y desarrollar los aspectos observacionales de terremotos en el país con el fin de entregar la mejor, más completa, depurada y oportuna información posible.

MISIÓN

Caracterizar rápidamente los terremotos que ocurren en el país con el fin de entregar –a las autoridades y público en general- la más completa, precisa y oportuna información posible, además de proporcionarles una amplia base de datos sísmicos.

VISIÓN

Ser un centro sismológico pionero en el mundo que, mediante el mejoramiento continuo de la tecnología y desarrollo investigativo, detecte y analice oportunamente la actividad sísmica en Chile para así contribuir a la seguridad de la población, y al conocimiento y desarrollo global.

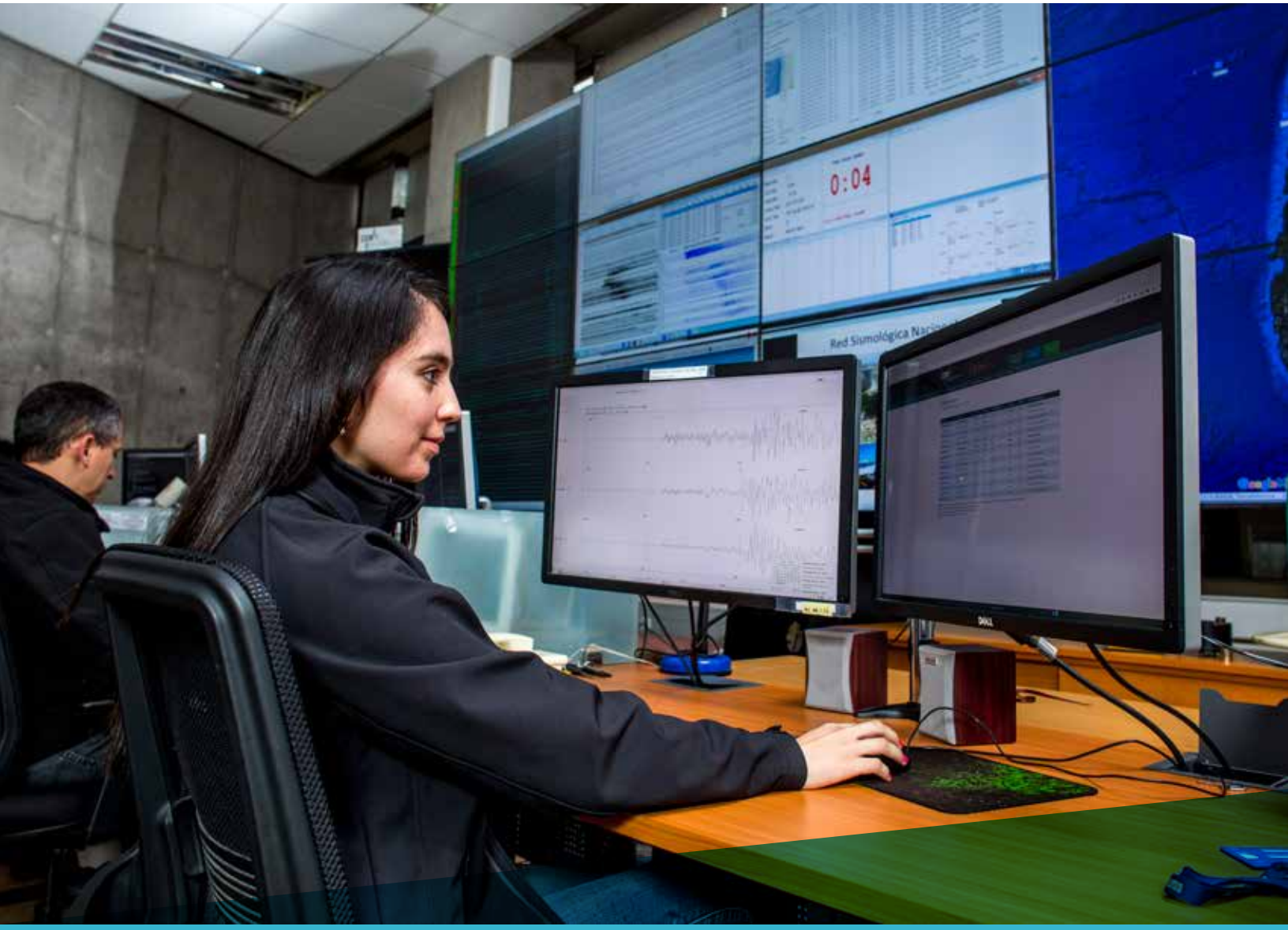
24/7

El CSN trabaja de forma permanente monitoreando los sismos.

OBJETIVO

Nuestro objetivo principal es proveer la más completa información sobre sismos que ocurren en el país, a través del establecimiento de una red de observación de fenómenos sísmicos que permita la mejor caracterización de los eventos sísmicos de magnitud significativa (percibidos por la población) en el territorio nacional. Esto incluye una red de sensores distribuidos a lo largo del país, con un apropiado sistema de comunicación de señales, además de un centro de procesamiento de datos así como también de procedimientos y protocolos de comunicación durante las 24 horas del día con las entidades que requieren de una información oportuna.

Con el fin de mejorar continuamente los procesos y productos se desarrollan nuevas metodologías para el monitoreo sísmico.



ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

(*) Consejo asesor inter-institucional:

(**) Consejo asesor académico:

Director del Departamento de Geofísica (DGF) U. de Chile

Dos académicos de la Sección Tierra Sólida del DGF

Director del Departamento de Ingeniería Civil (DIC) U. de Chile

Un académico de la División Estructura y Geotecnia del DIC

COMITÉ EVALUADOR INTERNACIONAL

El CSN además cuenta con un Comité Evaluador Internacional. Este comité surge de un acuerdo alcanzado en 2015 entre la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) y la Universidad de Chile. En éste se establece que un comité internacional evaluará las actividades del Centro Sismológico y afirma que este equipo revisor debe estar conformado por representantes de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA), del Centro Nacional de Información de Terremotos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (NEIC-USGS) y del Servicio Sismológico del Instituto Federal Suizo de Tecnología (SED-ETH).

A fines de octubre de 2015 este comité tuvo su primera reunión de evaluación, en Santiago de Chile, en las dependencias del CSN. En él participaron el Dr. Tomoaki Ozaki de la División de Observación de Tsunamis y Terremotos de la JMA, el Dr. Harley Benz, Director del NEIC-USGS, y el Dr. Florian Haslinger, Subdirector del SED-ETH.

Vista de los doctores Haslinger, Benz y Ozaki, al CSN, 26 – 30 de octubre de 2015.

Personal CSN en diciembre de 2015.

EQUIPO 2013-2015

El Centro Sismológico Nacional pasó de contar con menos de 20 funcionarios a inicios de 2013, a los cerca de 50 que posee actualmente.

Este crecimiento se sustenta en que el monitoreo sísmico desde 2013 a la fecha se realiza las 24 horas del día, los 365 días del año, labor realizada por un equipo de analistas que realizan turnos de 12 horas, que van rotando cada cuatro días. También en la contratación de más ingenieros de terreno, personal encargado de la instalación y mantenimiento de las estaciones sismológicas distribuidas a lo largo de todo el país. Se sumaron más especialistas en informática encargados de crear y mejorar softwares, y mantener las estaciones sismológicas comunicadas en forma robusta y en tiempo real con el centro de adquisición de datos y la sala de análisis. Asimismo se sumaron especialistas para las áreas de innovación, transferencia tecnológica y geodesia, así como personal administrativo.

Mario Pardo P.

Desde 2013 a la fecha, la dirección del CSN está a cargo de Sergio Barrientos, Magíster en Ciencias mención Geofísica de la Universidad de Chile y Doctor en Ciencias de la Tierra de la Universidad de California, Santa Cruz, Estados Unidos. Ha realizado investigaciones post-doctorales en el Instituto de Cooperación para la Investigación en Ciencias del Medioambiente (Universidad de Colorado) y Centro de Terremotos del Sur de California (USC). Por nueve años ocupó el cargo de jefe de sección sísmica del Sistema de Vigilancia Internacional de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBTO), ubicada en Viena, Austria.

Esta gestión es apoyada por Mario Pardo P., quien desde 2013 ocupa el cargo de Subdirector del CSN. Mario es Magíster en Ciencias mención Geofísica de la Universidad de Chile y Doctor en Sismología y Física del Interior de la Tierra, de la Universidad Nacional Autónoma de México, México. Se desempeña además como académico del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Universidad de Chile.

LISTA DE PERSONAL A DICIEMBRE DE 2015

Allendes Mamani, Nelson	Administración
Amenábar Moreno, Rodrigo Andres	Procesos
Aros Martínez, Marco Antonio	Operaciones - Terreno
Asencio Oporto, Paola Valentina	Operaciones - Análisis
Baez Soto, Juan Carlos	Geodesia
Barrientos Parra, Sergio Eduardo	Dirección
Becerra Alvarez, Carmen Gloria	Administración
Becerra Saavedra, Alex Mauricio	Operaciones - Terreno
Calderón Bobadilla, Marcela Paz	Operaciones - Terreno
Caro Caro, Catalina Soledad	Comunicaciones
Castro Abuyeres, Alejandro Andrés	Operaciones - Terreno
Cornejo Piña, Ricardo Sebastián	Operaciones - Tic's
Cornejo Piña, Víctor Manuel	Administración
Cortés Muñoz, Patricio Osvaldo	Operaciones - Tic's

El resto del personal de CSN se divide en las áreas de:

1) Operaciones, liderada por el M.Sc Sebastián Riquelme. Esta área reúne a los ingenieros de terreno; a los analistas de monitoreo sísmico, cuyo coordinador es Héctor Massone; y a los ingenieros informáticos, cuyo coordinador es Rodrigo Sánchez.

2) Innovación y Transferencia Tecnológica, liderada por el Dr. Felipe Leyton.

3) Geodesia, liderada por el Dr. Juan Carlos Báez.

4) Gestión de Procesos, liderada por el Ing. Rodrigo Amenábar.

5) Administración, liderada por el Contador Raúl Parra.

6) Difusión y Comunicaciones, liderada por la Periodista Catalina Caro.

Cuadra Oviedo, Magdalena Veronica	Operaciones - Terreno
Del Campo Rojas, Francisco Daniel	Innovación
Durbahn Quinteros, Marcela Alejandra	Operaciones - Análisis
Espinoza Infante, Carolina Andrea	Operaciones - Análisis
Espinoza González, Rodrigo Esteban	Operaciones - Análisis
Henríquez König, Carolina Andrea	Operaciones - Terreno
Hurtado Del Nido, Gonzalo	Operaciones - Terreno
Iglesias Leiva, Tarik Ibar	Operaciones - Análisis
Jeréz Morales, Germán Alejandro	Operaciones - Análisis
Leopold Munro, Alexander George	Operaciones - Terreno
Leyton Flores, Felipe Orlando	Innovación
Manríquez Reveco, Paula Marcela	Innovación
Massone Yáñez, Héctor Cristián	Operaciones - Análisis
Ortega Navarrete, Ismael Antonio	Operaciones - Terreno

Pardo Pedemonte, Mario Hernán	Dirección
Parra Navarrete, Raúl Alfredo	Administración
Quilaqueo Huencho, Miguel Angel	Operaciones - Tic's
Quiroz Valencia, Francisca Fernanda	Operaciones - Terreno
Riquelme Muñoz, Sebastián Rubén	Operaciones
Riquelme Zúñiga, Héctor Andrés	Operaciones - Análisis
Saldaño Henríquez, Esteban Claudio	Operaciones - Terreno
Sánchez Olavarría, Rodrigo Fernando	Operaciones - Tic's
Troncoso Vasquez, Cristian Fernando	Operaciones - Terreno
Urbina García, Ricardo Felipe Andrés	Operaciones - Análisis
Urbina Molinet, Eduardo Alfonso	Operaciones - Análisis
Valderas Bermejo, Maria Carolina	Operaciones - Terreno
Vergara Reveco, Ulises Patricio	Operaciones - Tic's

A quienes se suman siete personas a honorarios.

Personal CSN en diciembre de 2014.

RED SISMOLÓGICA NACIONAL

SISTEMA DE OBSERVACIÓN

Para cumplir su rol en el monitoreo de la actividad sísmica en Chile el CSN obtiene sus datos de la Red Sismológica Nacional (RSN), red consistente en un conjunto de estaciones sismológicas multi-paramétricas ubicadas en el territorio nacional, un sistema de telecomunicaciones para transmitir las señales hasta los servidores centrales y un centro de adquisición, archivo, análisis y distribución de datos e información sísmica.

La red actual incluye las estaciones del ex Servicio Sismológico Nacional de la Universidad de Chile y las nuevas estaciones provistas por la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública a las cuales se les está incorporando instrumentos GNSS.

Cada estación multiparamétrica se compone de sensores y sistemas de adquisición de movimiento del suelo en:

- Velocidad (sismógrafos de banda ancha)
- Aceleración (acelerógrafos)
- Posición (GNSS)

El CSN recibe además los datos provenientes de redes instaladas y mantenidas por entidades extranjeras e internacionales, cuyo financiamiento proviene de fondos de diversos proyectos de investigación.

Entre nuestros principales colaboradores se destacan:

GeoForschungsZentrum (GFZ) de Potsdam, Alemania, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), Incoporated Research Institutions for Seismology (IRIS), National Earthquake Information Center del Servicio Geológico de Estados Unidos de Norteamérica (NEIC/USGS), California Technological Institute (Caltech), Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Argentina (Inpres), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Universidad de Sao Paulo (USP), entre otros.

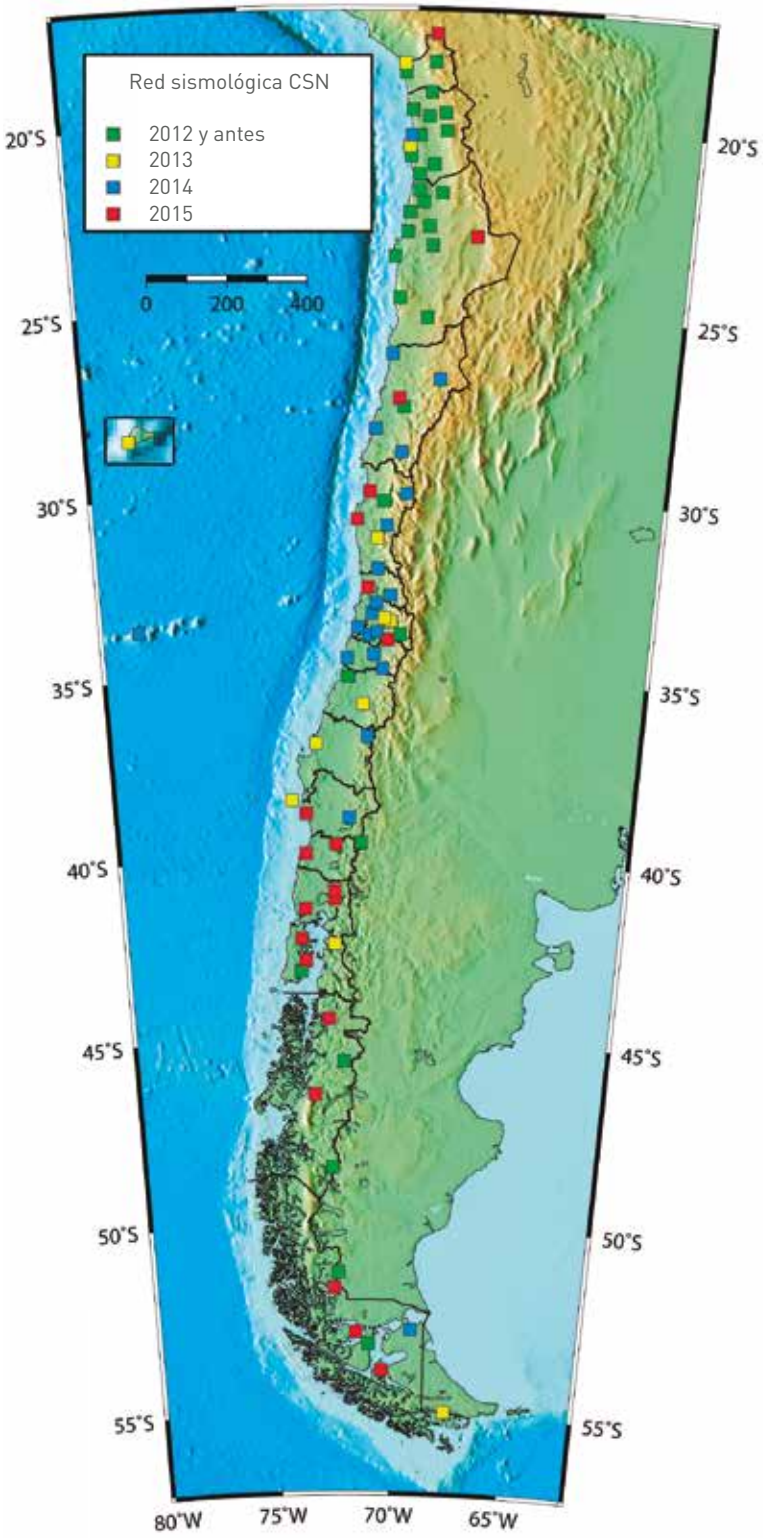
Actualmente la Red Sismológica Nacional está compuesta por alrededor de 100 estaciones multiparamétricas. Los datos emanados desde las estaciones sismológicas son transmitidos en tiempo real –a través de diversos sistemas de telecomunicaciones– al Centro de Datos donde éstos se reciben, analizan, almacenan y distribuyen a diferentes usuarios.

Adicionalmente, la Onemi se encuentra efectuando el traspaso de la Red Nacional de Acelerógrafos (RNA) al CSN, para su mantenimiento y operación. Este proceso de transferencia se inició a fines de 2015 y se espera que concluya en septiembre de 2016, cuando el CSN finalice la revisión de todo el instrumental instalado. Esta red, consistente en 297 acelerógrafos, fue proyectada y construida con fines ingenieriles con el objeto de caracterizar adecuadamente la respuesta de los diferentes tipos de suelos frente a las solicitaciones sísmicas. Esta información es de gran importancia para los ingenieros civiles pues permite diseñar y construir infraestructura preparada para resistir los movimientos del terreno.

LA RNA fue diseñada, tanto en la localización de los instrumentos como en las características de construcción e instalación de éstos, por un grupo de expertos nacionales convocados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo e implementada por Onemi.

Sismómetro

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL



Distribución espacial de estaciones de la Red Sismológica Nacional, compuesta por 103 estaciones multiparamétricas, que entregan datos en 6 componentes (banda ancha + acelerográfos) y posición (GNSS).

ÁREA DE OPERACIONES

El Área de Operaciones es liderada por Sebastián Riquelme M., Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de Chile y Magíster en Ciencias mención Geofísica de la misma Casa de Estudio.

Esta área es fundamental en el funcionamiento del Centro Sismológico ya que coordina las operaciones en terreno, es decir la instalación y mantenimiento de las estaciones sismológicas a través de las cuales se generan los datos.

También se encarga de coordinar las operaciones en relación con los sistemas de telecomunicaciones y tecnologías de la información, que se refiere a la forma en que se transmiten los datos recogidos por las estaciones sismológicas, su almacenamiento y distribución, labor apoyada por Rodrigo Sánchez O., Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile.

Sebastián Riquelme M.

Además, el área de operaciones coordina el análisis de los datos recogidos y los procesos para su interpretación y publicación, esta tarea es apoyada por por Héctor Massone Y., profesional formado en el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile como Analista de Registros Sísmicos, con más de 40 años de experiencia.

OPERACIONES - TERRENO

El área de terreno comenzó en 2013 con cuatro personas, actualmente –a diciembre de 2015- esta unidad está compuesta por 11 personas. De ellas nueve se dedican a instalar y mantener las estaciones sismológicas a través del territorio nacional, este equipo es responsable de hacer que la red permanezca operativa, entregando datos de la mejor calidad posible, también se encargan de que estos equipos queden conectados a sistemas que les provean energía y a los sistemas de transmisión de datos, ya sea vía internet, radio o comunicación satelital. Otras dos personas del equipo se dedican exclusivamente a mantener la metadata de las estaciones, a revisar la respuesta instrumental y verificar que respondan a los parámetros de calidad que el CSN se ha autoimpuesto.

Para la instalación de las estaciones, se adoptó el modelo de pozo que utiliza el consorcio sismológico norteamericano IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), pues ofrece una buena relación entre la calidad de la señal y los costos. Como referencia, una estación siguiendo el modelo de GSN (Global Seismographic Network) puede costar entre 50-100 millones de pesos en obra gruesa. Mientras que una estación siguiendo los parámetros de IRIS cuesta entre 10-12 millones de pesos, costo que incluye las obras civiles asociadas a las tecomunicaciones.

Parte del equipo de terreno del CSN.

La principal característica es que todas las estaciones son estandarizadas, es decir, iguales entre sí, lo que es esencial para mantener una red. El diseño utilizado es modular, por lo que es fácil de instalar y de transportar además de permitir diferentes configuraciones sin dar espacio a la improvisación. Además es robusto, se controla la temperatura y la humedad, han sido probadas en condiciones climáticas extremas, y cuentan con una fuente de alimentación autónoma y fiable.

Otra característica es que el tipo de suelo en que las estaciones son instaladas no es un factor relevante, ya que pueden ser emplazadas en roca o sedimento, indistintamente entregando buenos datos en ambos casos.

En la elección del sitio en que se instalan las estaciones se cumple con las siguientes etapas:

1) Búsqueda y visita de reconocimiento al lugar para examinar si cumple con las condiciones ne-

Secuencia de construcción de una estación sismológica. En las imágenes se observa el pozo, la instalación de la bóveda, la instalación del sismómetro y el acelerómetro, y el cierre de la bóveda.

La instalación continúa con la excavación de zanjas por donde se ubica el cableado para el sistema de comunicaciones y energía. Finalmente se instala la antena receptora del GNSS.

cesarias, como estar alejado de fuentes de ruido sísmico –carreteras, líneas de ferrocarril o ciudades-, análisis de las estrategias para proveer de energía y conectividad para el envío de los datos, además de acordar con el propietario el uso del sitio.

2) Obtención del permiso por escrito por parte de los propietarios para instalar la estación y acceder a ella.

3) Construcción, requiere cavar un pozo de más de un metro de diámetro y de dos a tres metros de profundidad, verter el hormigón para un radier, excavar zanjas para enterrar cables, así como erigir las estructuras para ubicar la antena GNSS. Esta tarea requiere un operador de retroexcavadora y un asistente obrero. Los detalles de construcción son importantes para obtener datos científicos en el largo plazo, que sean de buena calidad.

4) Instalación del sensor, de los sistemas de energía, adquisición y comunicación. Este paso implica una comprensión detallada de la instrumentación sísmica, de comunicaciones y de electrónica de potencia, requiere al menos una persona altamente capacitada en estos temas. La instalación finaliza con la comunicación de datos al sistema de pruebas del CSN.

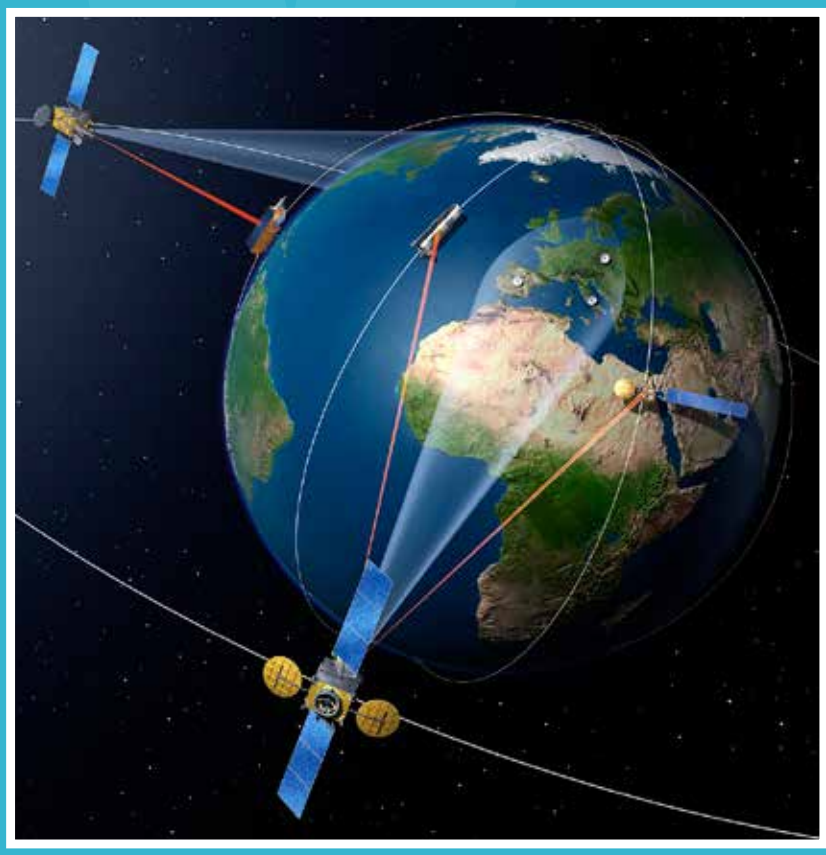
Rodrigo Sánchez O.

OPERACIONES-COMUNICACIONES

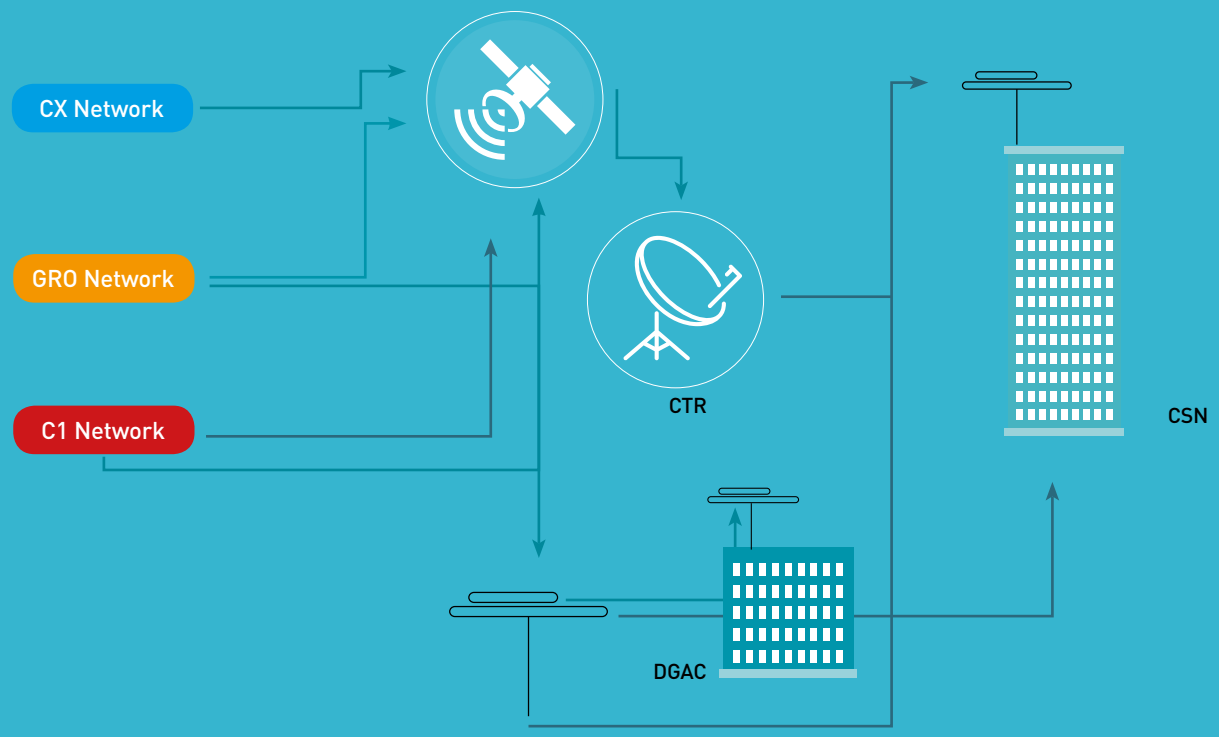
Los datos recogidos en las estaciones se transmiten en tiempo real hasta el Centro de Datos ubicado en Santiago. Para ello se utilizan variados medios de comunicación: radio, para la mayoría de las estaciones que se encuentran en los alrededores de Santiago; satelital para aquellas que se encuentran ubicadas en zonas más alejadas; la red de comunicaciones de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), para aquellas que se pueden conectar vía radio a las torres de control de los diferentes aeropuertos del país, y una combinación de radio e internet para las restantes.

Una vez que los datos llegan al Centro de Datos del CSN se procesan, analizan, distribuyen y archivan. Además nuestros datos se comparten con el USGS y IRIS en tiempo real.

Parte del equipo de sistemas y TIC's.



SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS



El Centro de Datos opera con tres servidores conectados entre sí creando ambientes virtuales donde se ejecutan los programas especializados de adquisición, procesamiento automático, análisis manual, distribución y almacenamiento de la información. Este diseño permite alta confiabilidad en su desempeño. Se proyectó un almacenamiento de alrededor de 7 GB por año.

En marzo de 2014 el CSN inauguró su nuevo centro de datos.

Héctor Massone Y.

OPERACIONES - ANÁLISIS

La interpretación de los datos recibidos desde las estaciones es realizada por la Oficina de Procesos y Análisis (OPA).

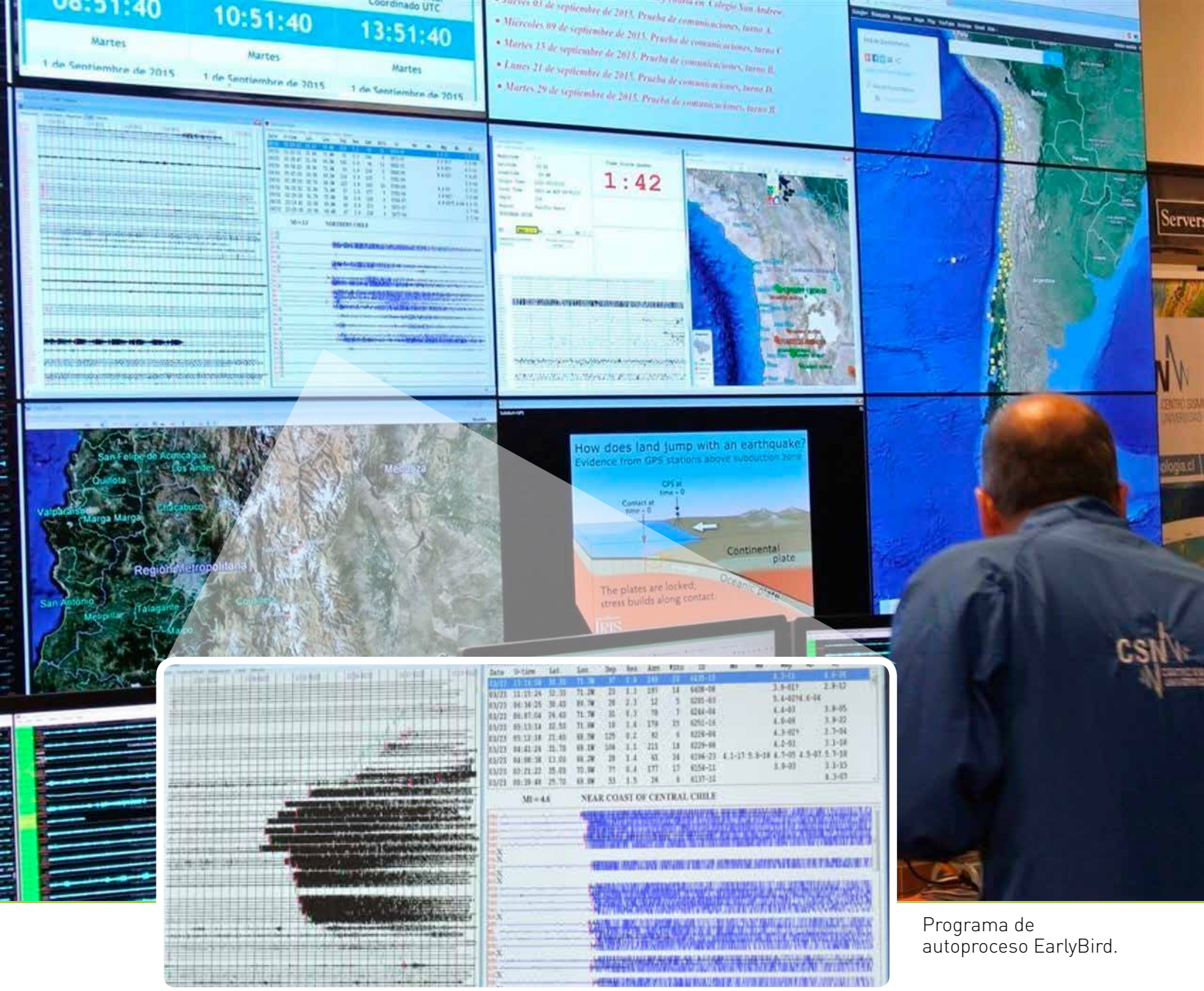
Los cambios en la modalidad de trabajo de esta área comenzaron en el segundo semestre de 2010, antes de que el Servicios Sismológico Nacional se transformara en el CSN. Ese año se firmó el primer convenio entre la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. De esta forma, la OPA se convirtió en la oficina encargada del proceso y análisis permanente de la actividad sísmica registrada en el territorio nacional, por lo que dicha unidad comenzó a operar bajo un régimen de turnos rotativos abarcando los 365 días del año. Las labores se desarrollan en períodos de 12 horas, uno en horario diurno de 09:00 a 21:00 horas y otro en horario nocturno de 21:00 a 09:00 horas.

Dichos turnos se repiten en un sistema de 4x4, es decir, cuatro días en turno diurno, cuatro días libres y cuatro en horario nocturno.

Esta modificación implicó la contratación de más personal. A los cuatro analistas de registros sísmicos existentes, se sumaron seis personas más. Este grupo conformó los cuatro turnos necesarios para el cumplimiento de la tarea comprometida. Cada turno quedó conformado por dos analistas de registros sísmicos.

En agosto de 2010 se dio inicio al proceso de turnos de la OPA y a la transmisión de informativos de aquellos sismos cuya magnitud fuese igual o superior a 3.5 o hayan sido reportados como percibidos por la población. Para estos fines, se implementó como sistema de alerta el programa de autoproceso EarlyBird de Earthworm (Versión 7.1 2007 West Coast Alaska Tsunami Warning Center). Este programa es configurado para detectar y localizar automáticamente la sismicidad producida en el territorio nacional.

Para el análisis y proceso manual de la sismicidad se utiliza el programa Seismic Analysis System (SEISAN, J. Havskov and P. Ottemöller, versión 8.1) y para la localización de hipocentros el programa incluido en SEISAN, Hypocenter (B. Lienert and J. Havskov, 1995, versión 7.0),



Programa de autoproceso EarlyBird.

para el uso de este programa se utilizan varios modelos de velocidades de capas planas que cubren distintas zonas del territorio nacional.

En 2013 se comienzan a explorar nuevas tecnologías en miras a una modernización de la OPA. Así al Área de Innovación y Transferencia Tecnológica del CSN inicia la exploración del software SeisComP3 (SC3). Este es uno de los programas de adquisición, procesamiento y análisis de datos sismológicos en tiempo real más utilizado en el mundo. Cuenta con procesamiento automático y manual, con amigables interfaces gráficas. Fue desarrollado en el GeoForschungsZentrum (GFZ), Alemania, entre los años 2006 y 2008, en el marco del proyecto GITEWS (German Indonesian Tsunami Early Warning System, Hanka et al., 2010). Actualmente es mantenido por la empresa Gempa GmbH. Es un programa de tipo modular que se ajusta a los formatos y convenciones internacionales cumpliendo con los más altos estándares a nivel mundial, permitiendo además la integración de nuevos desarrollos a través de la creación de módulos. En 2015 se realizaron algunos ajustes al sistema para adecuar su uso a la realidad nacional, se

Equipo de analistas de CSN.

inició la capacitación de los analistas en el uso de este software, que continúa en periodo de prueba, a la espera de que se desarrollen otras herramientas que permitan un adecuado traspaso entre un sistema y otro.

En 2013 se firmó un "Protocolo de Actuación Conjunta Onemi – CSN", este protocolo estipula las instrucciones generales sobre la coordinación para la entrega de información sísmica desde al CSN a Onemi. Este documento ya firmado sirve de base para describir los procedimientos que la OPA debe ejecutar en el desarrollo de sus actividades, tal como se describe a continuación:

Responsabilidades

El CSN entregará y publicará en su página web informes preliminares y finales, con las coordenadas geográficas, tiempo origen y magnitud, de toda la actividad sísmica registrada por la RSN cuya magnitud sea igual o superior a magnitud 4.0.

En el caso de que el Centro Nacional de Alerta Temprana (CAT) de Onemi reporte la ocurrencia de un evento percibido por la población, el CSN deberá remitir a Onemi y SHOA, los correspondientes informes preliminar y final en el menor tiempo posible, independiente de la magnitud del evento. Los tiempos serán de 5 y 20 minutos a partir del tiempo origen del sismo, para emitir los informes preliminar y final respectivamente. En caso de que exista un atraso, se emitirá un informe explicando las razones que imposibilitaron cumplir con estos tiempos.

Para aquellos eventos que no hayan sido registrados por la RSN, el CSN enviará al Centro de Alerta Temprana (CAT) de Onemi un correo electrónico indicando su inexistencia en los registros de la RSN.

Con las tareas ya delineadas y las señales de las distintas estaciones de la RSN siendo recibidas en tiempo real, los procedimientos se ejecutan de acuerdo con el siguiente protocolo:

Informe Preliminar y Final de Sismos.

• Se envía a Onemi y SHOA por correo electrónico, aproximadamente a los 5 minutos de ocurrido el sismo, la solución preliminar obtenida en forma automática y revisada por los analistas de turno.

• Simultáneamente se publica en la página Web la misma información con un impreso de agua de fondo indicando que es un informe preliminar.

• Inmediatamente después de publicada la información preliminar, los analistas de turno analizan los registros para producir una versión revisada de los parámetros hipocentrales y de la magnitud.

• El nuevo reporte generado se envía a Onemi y SHOA por correo electrónico, antes de los veinte minutos de originado el sismo, esta solución final reemplaza el primer informe publicado en la página web.

Además, tanto la oficina de la Onemi como del SHOA cuentan con pantallas espejo a las del CSN, que muestran en tiempo real el sistema de detección y procesamiento automático de los sismos, lo que les permite observar y obtener información en cuanto se detectan las primeras señales sísmicas.

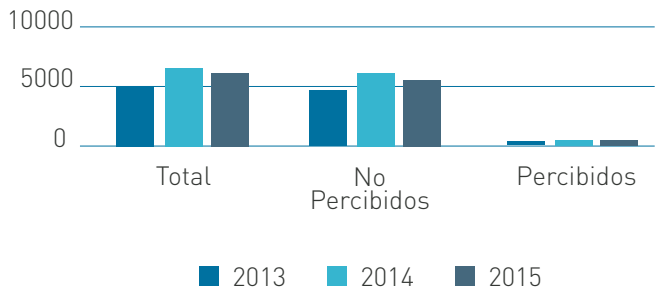
Durante el período transcurrido, las observaciones sísmicas del territorio nacional recopiladas arrojan más de cinco mil sismos con magnitud mayor o igual a 3.0 en 2013, incrementándose a más de seis mil por año en 2014 y 2015, períodos en los que ocurrieron dos terremotos con magnitud mayor a 8.

El CSN entregará y publicará en su página web informes preliminares y finales de toda la actividad sísmica registrada por la RSN cuya magnitud sea igual o superior a magnitud 3.0.

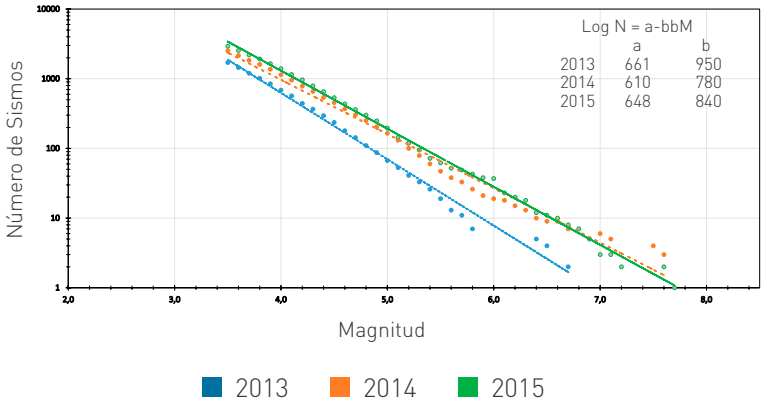
Año	Total	No Percibidos	Percibidos	M≤3.0-3.9	M≤4.0-4.9	M≤5.0-5.9	M≤6.0-6.9	M≤7.0-7.9	M≤8.0-8.9
2013	5150	4762	388	4464	617	62	5	0	0
2014	6756	6226	530	5617	951	148	13	5	1
2015	6357	5822	535	4963	1194	157	35	2	1

A continuación se anexan imágenes de los eventos registrados y procesados, año a año, tanto en proyecciones en planta como en cuatro perfiles perpendiculares al eje de la fosa Chile-Perú, que muestran la actividad sísmica en función de la profundidad. Los círculos de color rojo corresponden a la actividad reportada como percibida y los círculos de color amarillo a la actividad no percibida. Los cuatro perfiles incluyen datos proyectados: entre las latitudes 17° y 23°S, (origen de proyección: 20° S, 72° O, azimut de 91°), entre las latitudes 23° y 29°sur (origen de proyección: 26°S, 72°W, azimut de 91°), entre las latitudes 29° y 35°S (origen de proyección: 32°S, 74°W, azimut de 90°) y entre las latitudes 35° y 41°S (origen de proyección: 38°S, 76°W, azimut de 100°). Aunque se reconoce actividad sísmica ubicada más al sur de los 41°S, en particular porque corresponde en parte a la zona de ruptura asociada a los terremotos de mayo de 1960, ésta no es suficiente en cantidad para reflejar el contorno de la zona de subducción. De modo general, cada proyección se puede asociar a una zona tectónica donde la placa de Nazca penetra bajo la placa Sudamericana con diferente ángulo de inclinación. En cada proyección se aprecia la zona de contacto media dada por el modelo Slab 1.0 de Hayes, G. P., D. J. Wald, y R. L. Johnson (2012).

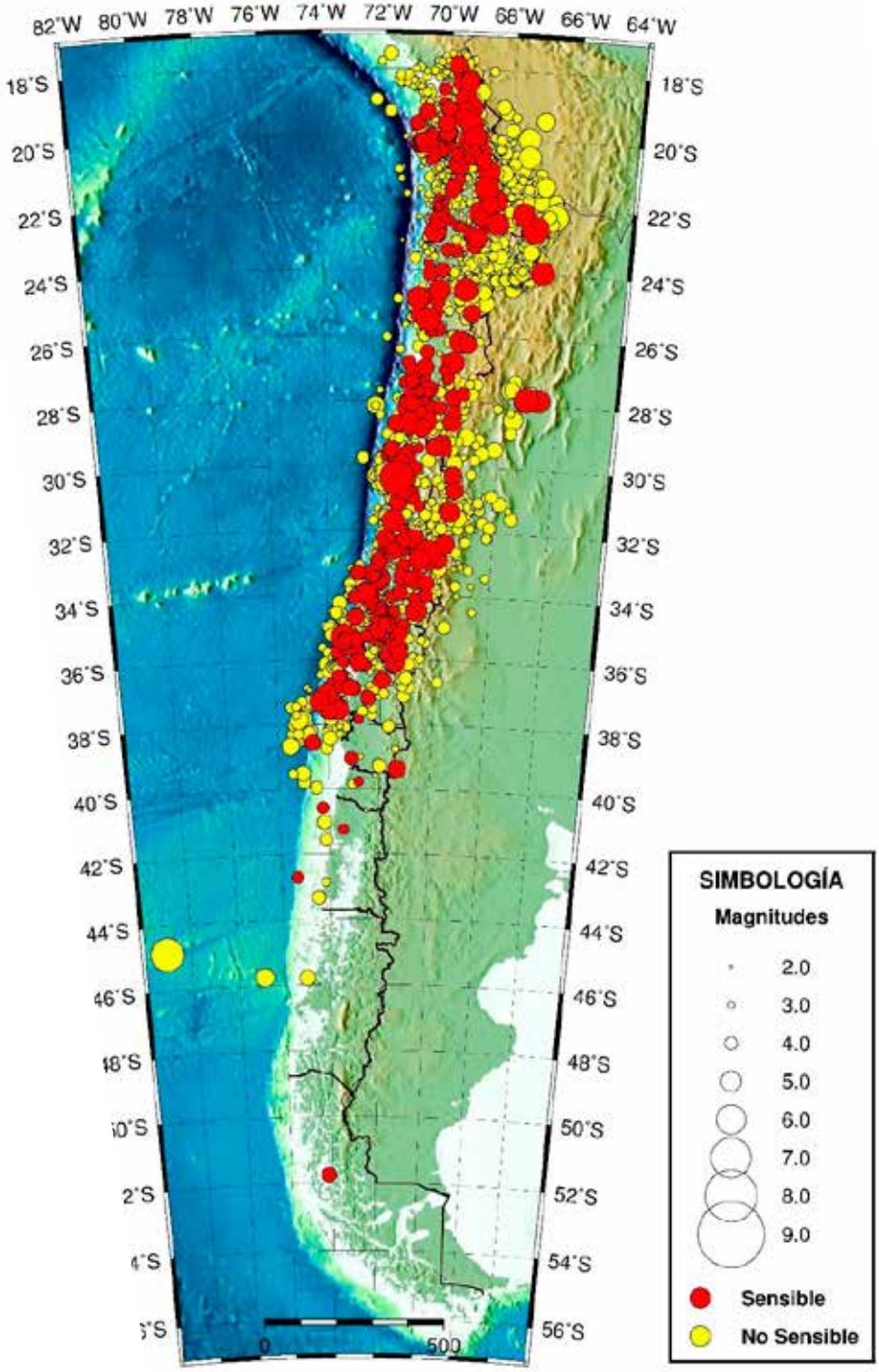
Nº de Sismos por Año



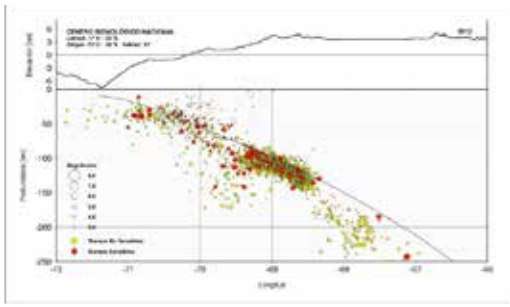
Magnitudes de Sismos por Año

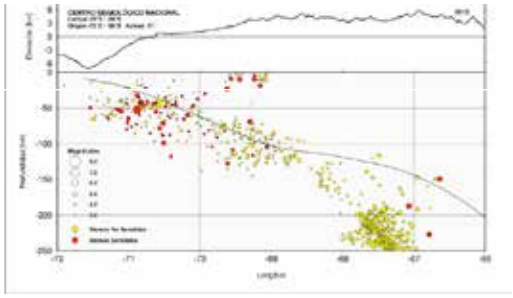


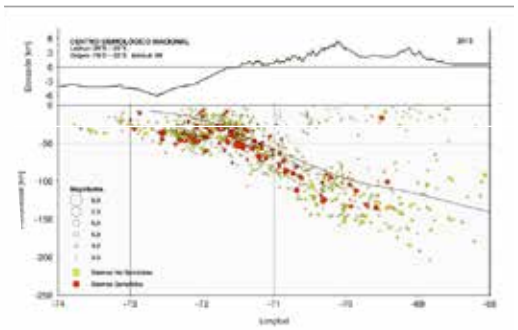
Sismicidad de Chile 2013

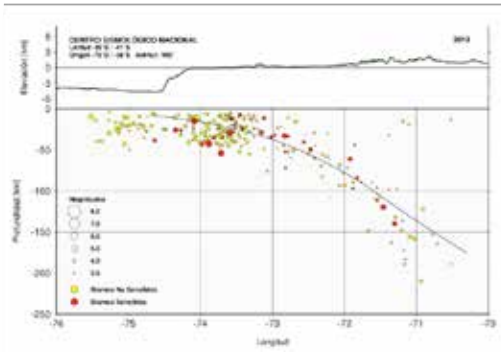


Perfiles Sísmicos a lo largo de Chile

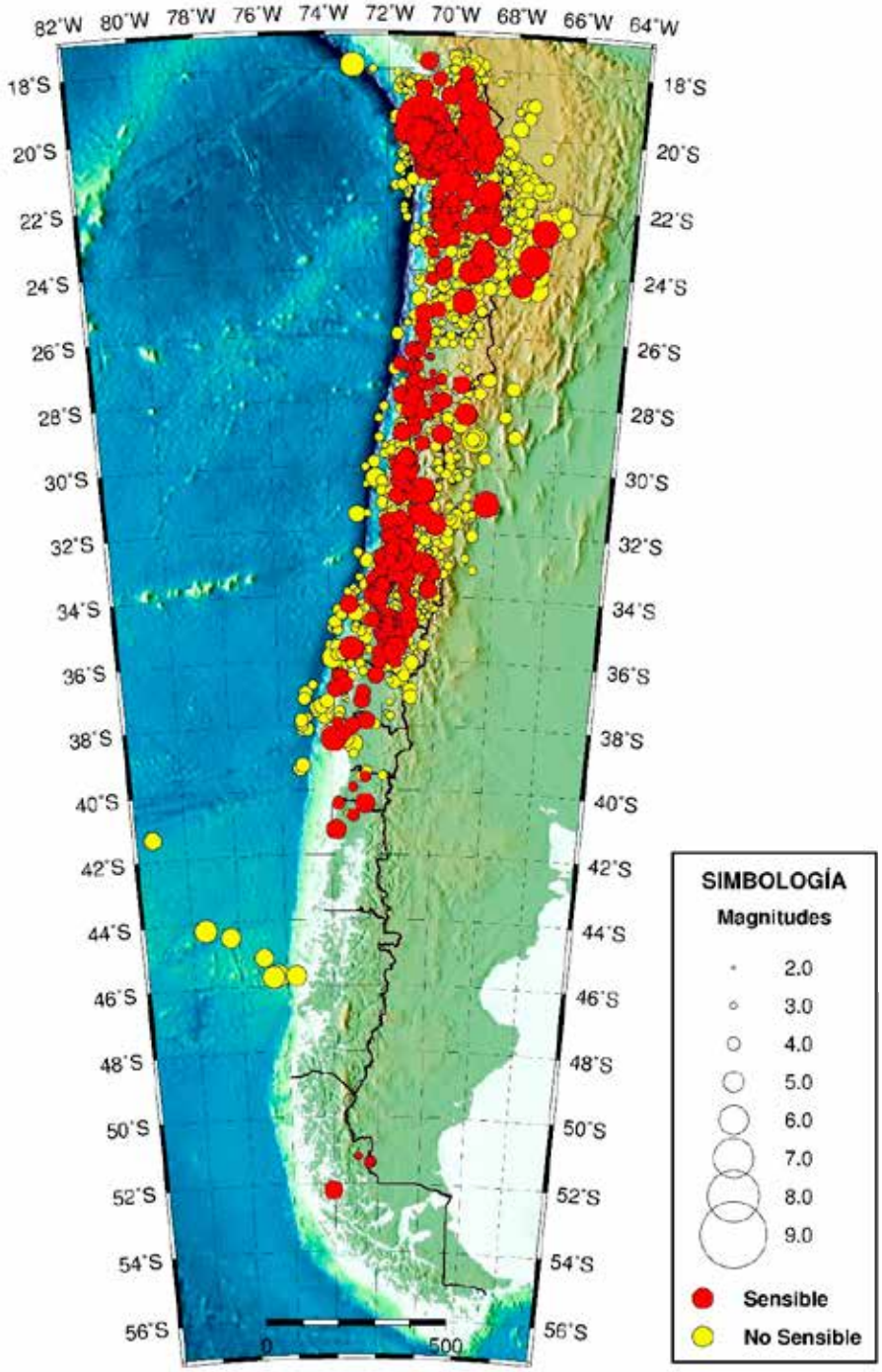




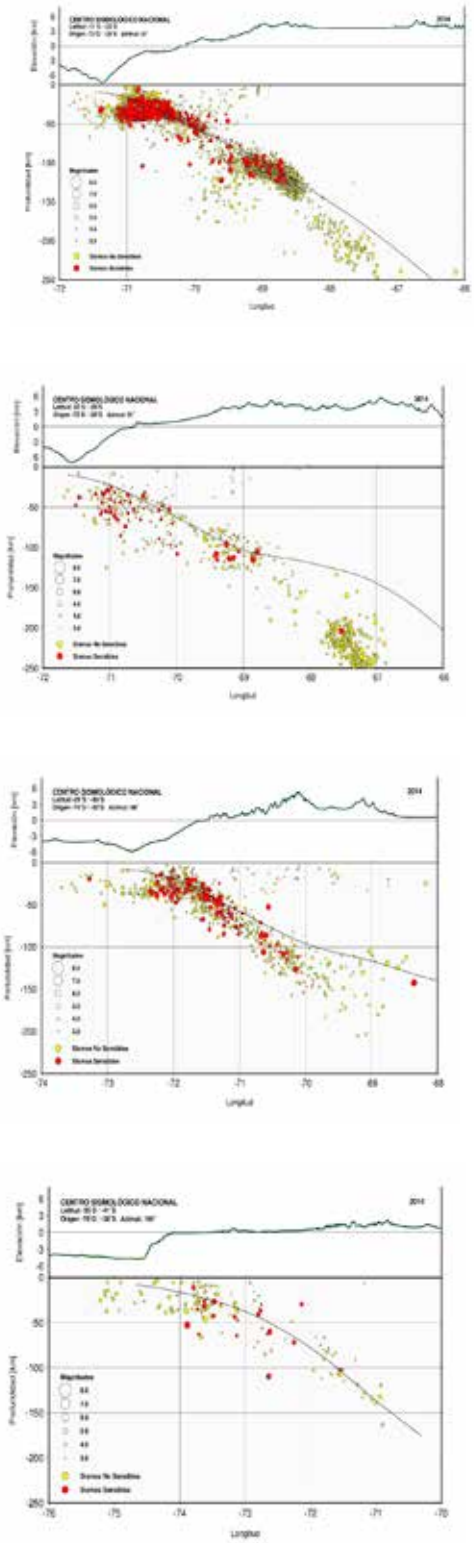




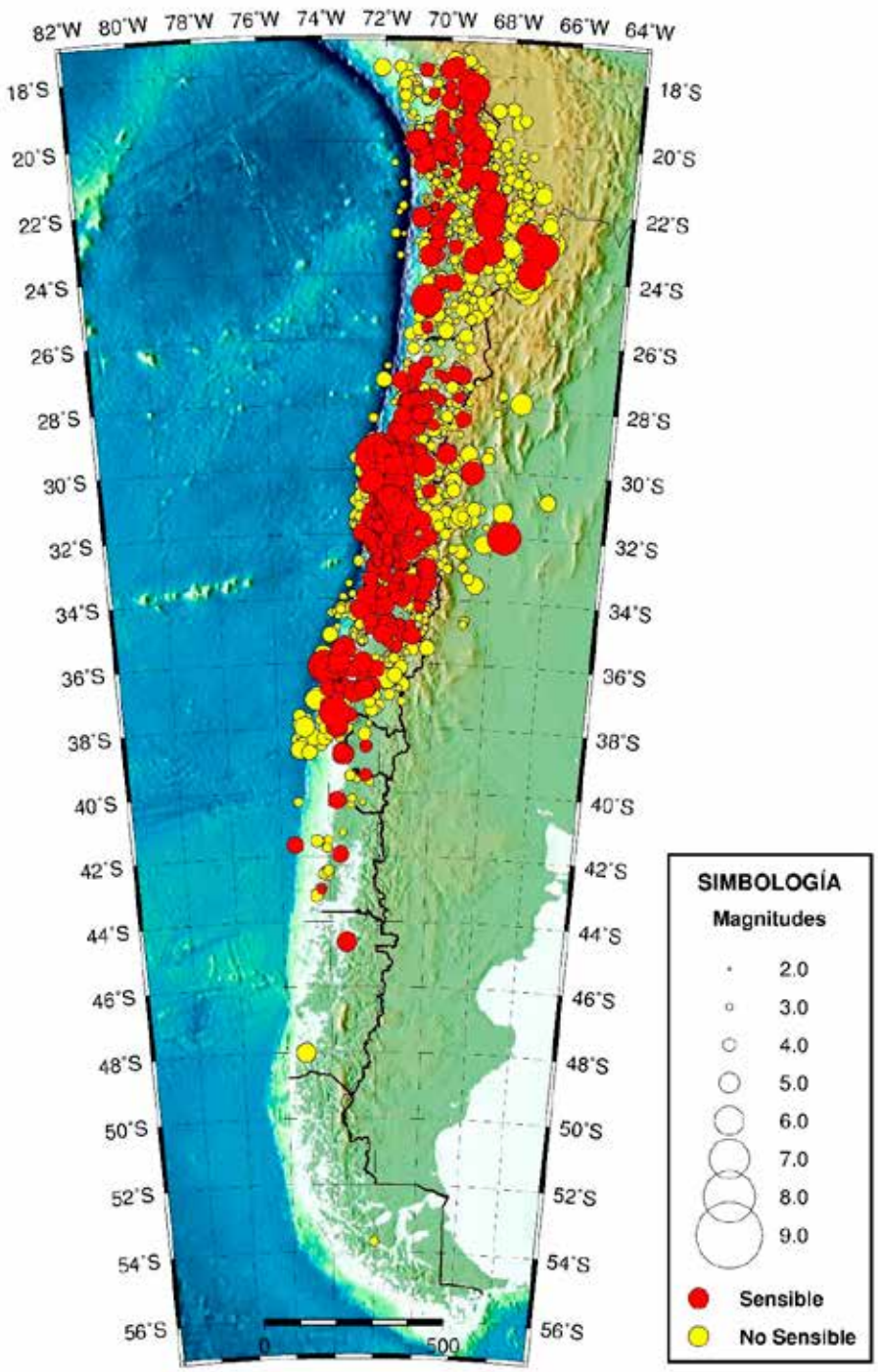
Sismicidad de Chile 2014



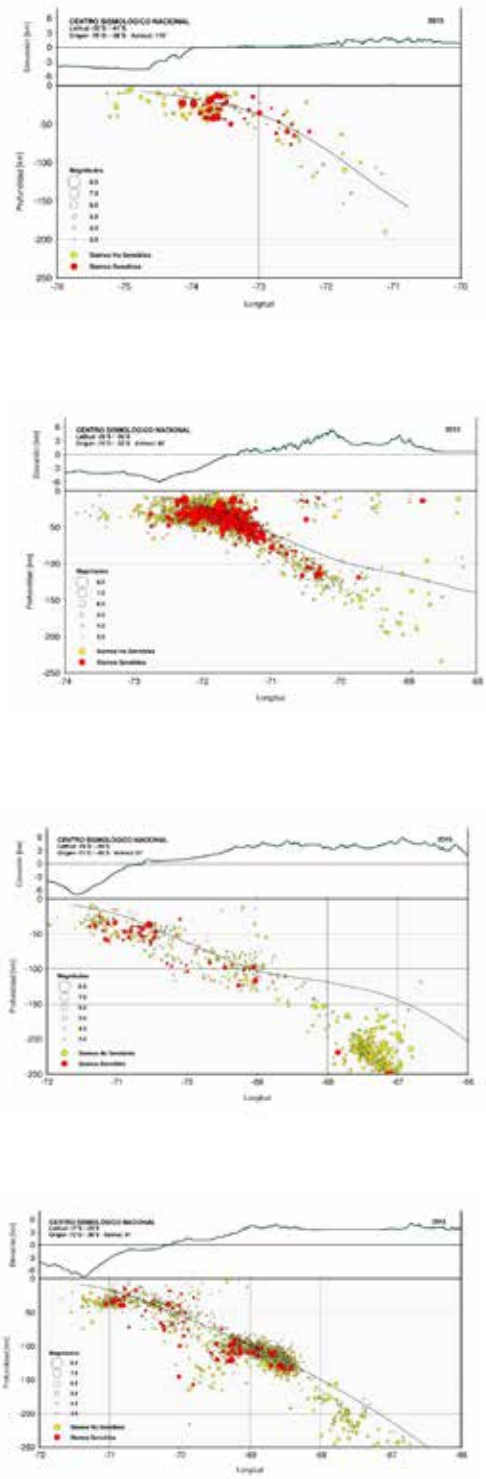
Perfiles Sísmicos a lo largo de Chile



Sismicidad de Chile 2015



Perfiles Sísmicos a lo largo de Chile



GRANDES SISMOS

En estos tres años se produjeron dos grandes terremotos en el territorio nacional. Uno de ellos el 1 de abril de 2014 a las 20:46 hrs., magnitud 8.2 Mw, con coordenadas hipocentrales -19.5 Latitud, -70.9 Longitud y 38.9 km de profundidad (73 km al oeste de Pisagua). Se trató de un sismo de subducción, generado por una falla inversa interplaca, en el contacto de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, generando un maremoto. Este sismo fue percibido fuertemente en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y también en el sur de Perú y parte de Bolivia. Generó una ruptura del orden de 200 kilómetros y desplazamientos máximos de 6 a 8 metros.

Una de las principales características de este evento fue la gran actividad precursora que ocurrió en la zona epicentral, destacándose un sismo de magnitud 6.7, ocurrido el 16 de marzo (15 días antes). También hubo actividad sísmica en la zona en los años anteriores, específicamente durante enero de 2014 y julio - agosto de 2013.

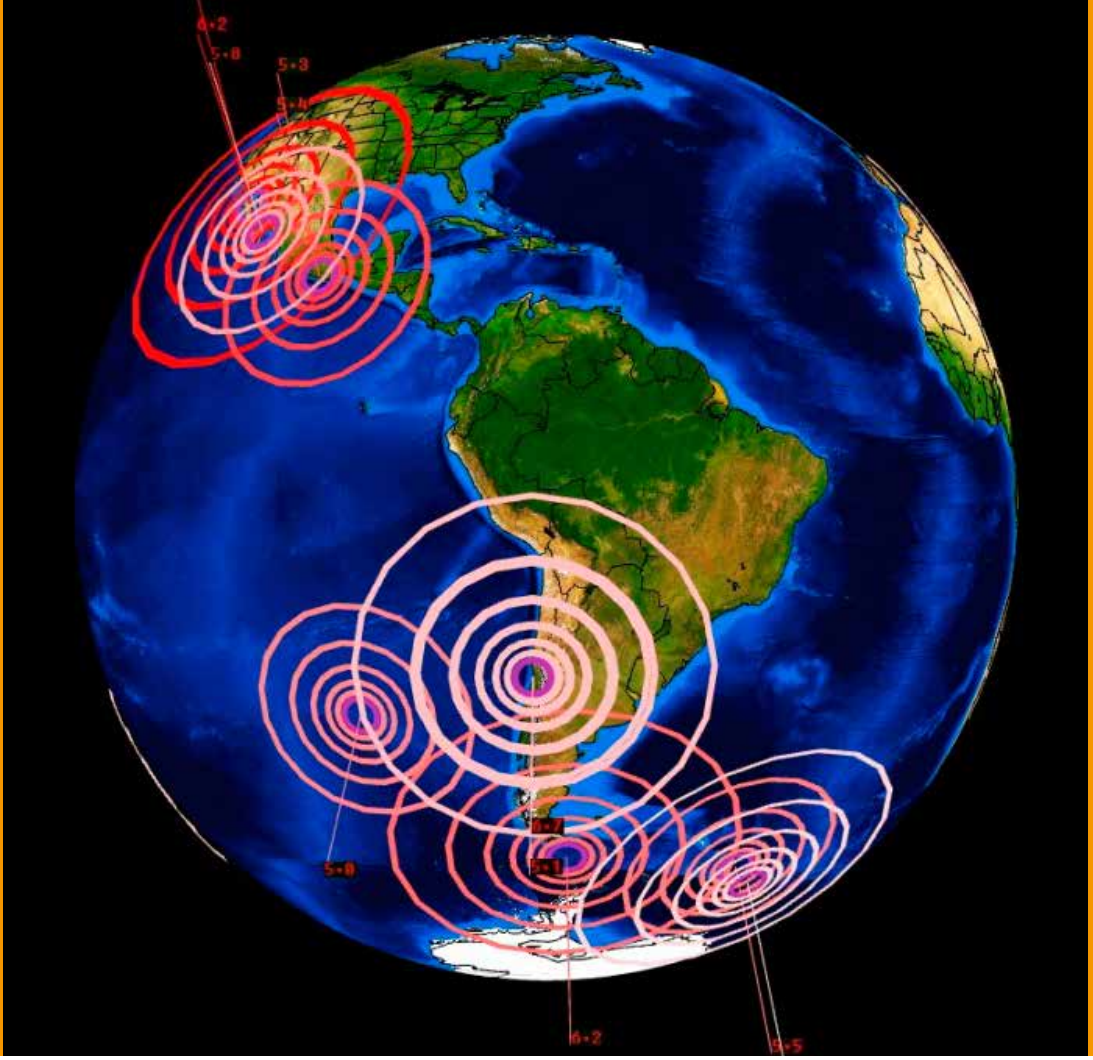
Si bien se esperaba la ocurrencia de un terremoto en el norte, dada la prexistencia de una zona que fue categorizada como una "brecha sísmica" de más de 600 km de extensión (desde la costa frente a Ilo, sur de Perú, hasta Tocopilla) este evento sorprendió ya que no fue el gran sismo esperado, pues no toda la región acoplada se activó en esta ocasión, sino sólo una tercera parte.

Al 31 de diciembre de 2015, 106 días tras el terremoto de Illapel, se contabilizaban 2.446 réplicas con magnitud superior a 2.5.

La réplica principal tuvo una magnitud 7.6, y se produjo dos días después, inmediatamente al sur de la zona de ruptura asociada al terremoto. Las respectivas réplicas que genera un terremoto de gran magnitud como este 8.2 hicieron aumentar de forma importante la sismicidad en la zona norte de Chile durante el año 2014.

El otro terremoto significativo ocurrió el 16 de septiembre de 2015 a las 19:54, hrs., magnitud 8.4 (Mw), frente a las costas de la Región de Coquimbo, a 37 km al sur-oeste de la localidad de Canela Baja, con coordenadas hipocentrales -31.6 Latitud, - 71.7 Longitud y a una profundidad de 23 km.

Este terremoto es el mayor registrado desde el 27 de febrero de 2010 y el tercero mayor desde el 22 de mayo de 1960, superando en tamaño a aquel ocurrido frente a las costas de Pisagua-Iquique el 1 de abril de 2014. Generó una ruptura del orden de 250 kilómetros y desplazamientos máximos del orden de 8 metros.



A diferencia del terremoto de 2014, este sismo no mostró actividad precursora inmediata en la zona epicentral.

La geometría de la falla que origina este sismo y su ubicación son consistentes con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Este terremoto se enmarca en una zona donde han ocurrido sismos de este mismo tipo con anterioridad, como el terremoto del 6 de abril de 1943.

Las réplicas de este terremoto 8.4 hicieron aumentar de forma importante la sismicidad en la zona centro norte del país durante el año 2015. Al 31 de diciembre de 2015, (106 días tras el terremoto) se contabilizaban 2.446 réplicas con magnitud superior a 2.5.

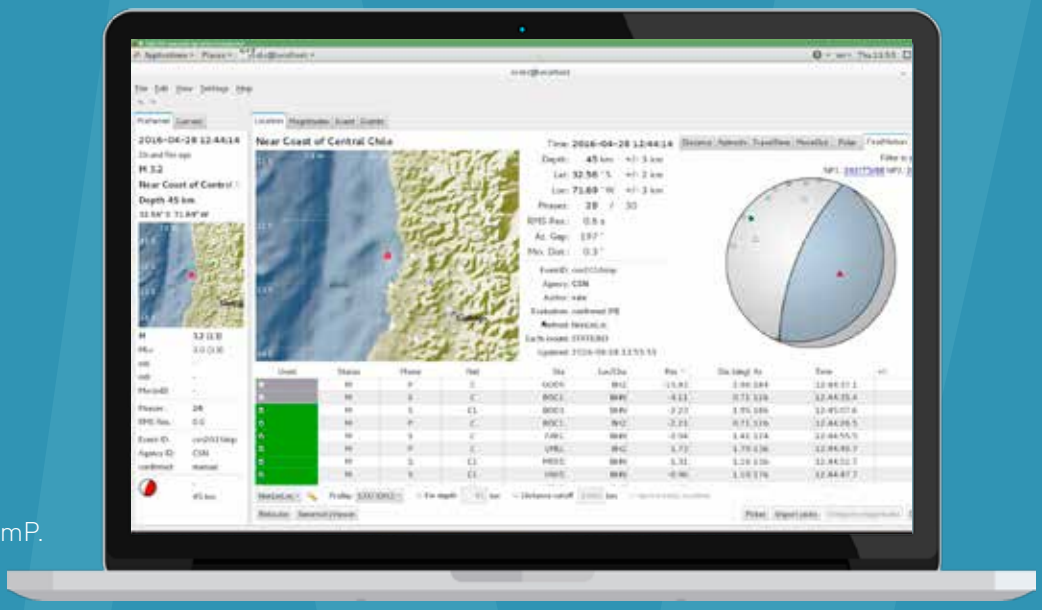
Respuesta del CSN

Los terremotos de Iquique e Illapel fueron localizados en los primeros 4 minutos posteriores al tiempo de origen del evento. La magnitud final de ambos fue calculada utilizando el método de la W-phase. Este es el método más confiable en el caso de grandes terremotos (M >8), ya que entrega parámetros de fuente sísmica de forma rápida, permitiendo estimar el potencial tsunamigénico de un gran terremoto. Una de sus características principales es que puede usar datos de estaciones de campo regional aunque estén saturadas, y aun así logra estimar rápidamente la magnitud y el modo de ruptura (mecanismo focal).

Felipe Leyton F.

ÁREA DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

El Área de Innovación y Transferencia Tecnológica es liderada por Felipe Leyton F., Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, Magíster en Geofísica de la misma Casa de Estudios y Doctor en Sismología de la Saint Louis University, EE.UU. Esta Área se formó en 2013 y es la encargada de desarrollar y conocer las nuevas tecnologías que se utilizan en el monitoreo sísmico alrededor del mundo y crear o adaptar nuevas plataformas tecnológicas para el desarrollo esta función a nivel nacional.



Programa SeisComP.

Entre los proyectos en los que ha trabajado esta área se encuentran:

• Desarrollo e implementación de software para el cálculo rápido de magnitud momento (Mw) con espectros de desplazamiento.

Dentro del CSN es necesario contar con herramientas rápidas y confiables que estimen la magnitud de los sismos. Una de ellas es el uso de espectros de desplazamiento, lo que permite estimar la deformación producida por el sismo a muy bajas frecuencias. Esta metodología posibilita estimar la magnitud momento, que es una de las más robustas y confiables que existen. Este método ha sido implementado de manera especial dentro de los procedimientos que se desarrollan en la Oficina de Procesos y Análisis.

• Desarrollo de metodología y software para la estimación de mecanismos focales de sismos de magnitud moderada.

Uno de los objetivos que tiene el CSN es aportar más información sobre la sismicidad en nuestro país. Es por ello que se busca complementar la información del hipocentro (localización) y magnitud con otros parámetros como el mecanismo focal. Esta información permite estimar los ejes principales de tensión, entre otros parámetros.

• Implementación y calibración de software de manejo de señales sísmicas (SeisComP).

En nuestro afán por mejorar el monitoreo de la sismicidad en nuestro país, se busca incorporar nuevas tecnologías que faciliten este trabajo.

SeiscomP es un software de última generación que permite el análisis de los registros en tiempo real y, entre otras características, hace el trabajo de registros en campo lejano una de sus fortalezas.

• Desarrollo e implementación de herramientas computacionales para caracterizar la fuente de grandes terremotos, a partir de datos de desplazamiento (GNSS –Sistema Satelital de Navegación Global). Ellos se pueden dividir en 3 grandes líneas:

1. Estimación ultra-rápida (< 0.05 s) de la magnitud y el largo de la zona de ruptura a partir de los primeros datos (de una o pocas estaciones).

2. Estimación rápida (1-5 s) de la distribución espacial, deslizamiento cosísmico mediante diferentes métodos de inversión, tales como bayesiana, mínimos cuadrados amortiguado y/o suavizado, gradiente, etc. Además, se han desarrollado una serie de herramientas que permiten realizar el control de calidad, tales como test del tablero de ajedrez, matrices de resolución, etc.

3. Mejor plano de falla: es una inversión más lenta y requiere de mayores datos para su desarrollo.

• Desarrollo de integración de datos de aceleración en tiempo real usando datos de GNSS.

Una de las principales características de los datos provenientes de acelerómetros es que no se saturan frente a movimientos fuertes, es decir, su forma se mantiene fidedigna con respecto al movimiento real del suelo. Por otro lado, presentan la desventaja que para poder obtener registros en desplazamiento, es necesario realizar una integración que suele requerir la intervención de un operador capacitado, no permitiendo su uso en tiempo real. Es por ello que en el CSN hemos desarrollado esta herramienta que realiza una integración de los datos de aceleración en tiempo real, haciendo uso de información de la posición proveniente de instrumentos de GNSS.

• Desarrollo de actividades de capacitación para la unidad de análisis.

Dado que el quehacer del CSN y, en especial de la Oficina de Operaciones y Análisis, es tan específico, hemos desarrollado una serie de capacitaciones buscando complementar la experiencia práctica de los analistas con una base científica de los procesos que se desarrollan. En estas capacitaciones se han tocado los fundamentos teóricos de los métodos comúnmente empleados dentro de la OPA. Esperamos seguir desarrollando estas actividades al menos 2 veces al año.

Dentro de un proyecto de colaboración con el Laboratorio Sismológico de la Universidad de California en Berkeley, hemos implementado un prototipo de software de alerta temprana en Chile.

• Implementación de software de alerta temprana.

Dentro de un proyecto de colaboración con el Laboratorio Sismológico de la Universidad de California en Berkeley, hemos implementado un prototipo de software de alerta temprana en Chile. Este tipo de metodologías busca dar aviso a la comunidad sobre la posible llegada de un movimiento fuerte producto de un gran terremoto con algunos segundos de antelación. Esperamos seguir trabajando en este prototipo para determinar la factibilidad de establecer un sistema como éste a nivel regional.

• Implementación de software de estimación rápida de intensidades producto de grandes terremotos.

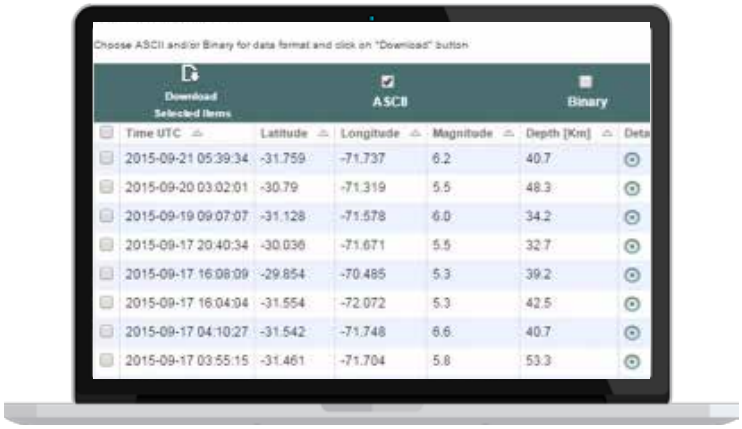
Ocurrido un gran terremoto, es importante conocer aquellas localidades en que éste tuvo un mayor impacto, ocasionando mayores daños. Una manera posible de determinar esto es a través de métodos

Equipo de Innovación y Transferencia Tecnológica.

que nos permitan estimar el nivel de movimiento que el sismo produjo en cada una de las localidades afectadas. Mediante una serie de datos y relaciones observadas para otros eventos, se puede generar información sobre sitios que podrían haber sido más impactados por el terremoto, permitiendo la organización de ayuda rápida dirigida a dichos sectores. Estas estimaciones pueden ser visualizadas a través de ShakeMaps.

ShakeMap: Sismo 5.4, Reg. Coquimbo

Plataforma de Registro de Movimiento Fuerte



• Desarrollo e implementación de base de datos de registros de movimiento fuerte.

Junto con caracterizar la sismicidad de nuestro país, es importante conocer la manera en que los terremotos afectan a las estructuras. Para ello se hace imprescindible contar con registros del movimiento del suelo durante grandes sismo. Es por eso que preparamos una base de datos con registros de aceleración de eventos sísmicos sobre magnitud 5.0 registrados por el CSN. Esta base de datos está disponible en el sitio web: **http://evtdb.csn.uchile.cl/**

ÁREA DE GEODESIA

El Área Geodesia es liderada por Juan Carlos Báez S., Ingeniero de Ejecución en Geomensura de la Universidad de Concepción y Doctor en Ciencia Geodésica de la Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil y del Deutsches Geodatisches ForschungsInstitut, Alemania. Esta Área se formó en 2014 y, al igual que la definición clásica de su disciplina, es la encargada de observar y representar la superficie de la Tierra.

La observación continua de la forma y dimensiones de la Tierra, nos permite derivar las variaciones en sus diferentes componentes, lo cual podemos asociar indirectamente con el ciclo sísmico.

Juan Carlos Báez S.

Para observar la superficie de la Tierra y sus cambios, desde la década del 60 se han desarrollado varias técnicas de posicionamiento por medio de satélites artificiales, entre ellos tenemos actualmente el sistema norteamericano "Global Positioning System" (GPS), y el sistema ruso "Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema" (GLONASS), entre otros sistemas en desarrollo. Estos sistemas constituyen un estándar denominado "Global Navigation Satellite System" (GNSS), que es el utilizado por el CSN.

Desde inicios de los 90, se comenzó a utilizar GPS como una red global de estaciones, para determinar la deriva de los continentes. Estos instrumentos son capaces de medir la posición de un lugar varias veces por segundo con una alta precisión. El desarrollo de nuevas formas de procesar y corregir los efectos atmosféricos en las observaciones, permitió aumentar la precisión de los resultados a algunos milímetros. Con este desarrollo los investigadores comenzaron a utilizar GNSS para determinar la deformación causada por el ciclo sísmico.

Con ellos es posible calcular desplazamientos del terreno en una amplia escala temporal y espacial, obteniendo registros de desplazamientos permanentes y de movimiento producido por el paso de ondas sísmicas provenientes de grandes terremotos. Por ejemplo, en Chile, el efecto de la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, se puede derivar de las observaciones GNSS, permitiendo conocer la respuesta de la corteza en el ciclo sísmico, esto es: deformación causada por un sismo (co-sísmico), deformación post-terremoto (post-sísmico) y, la deformación entre terremotos (inter-sísmico).

Una de las ventajas del uso de estos instrumentos es que se obtiene directamente el desplazamiento. Además, a diferencia de los sismómetros, los instrumentos de posicionamiento satelital no poseen nivel de saturación.

Redes GNSS en Chile

En Chile, la primera estación continua GPS, fue instalada en la década del 80, en la antigua estación Peldehue de la NASA, actualmente Swedish Space Corporation (SSC_Chile).

Posteriormente, en los años 90`, investigadores norteamericanos instalaron una red de estaciones para observar la deriva de los continentes y la cinemática de la zona de subducción, proyecto denominado "Central Andes GNSS Project", incluyendo las estaciones Iquique (IQQE), Copiapó (COPO), Antuco (ANTC), Coyhaique (COYQ), Punta Arenas (PARC). En tanto, el Centro de Estudios de La Tierra de Alemania (GFZ), instaló estaciones en Antofagasta (ANTO) y Puerto Montt (PMO1). Todas estas estaciones fueron posteriormente incluidas en la red del servicio GPS internacional global para geodinámica (IGS), datos que han estado disponibles para el uso de toda la comunidad científica y técnica desde entonces.

A fines de la década del 90 e inicios del 2000, se inició la instalación de estaciones de varias instituciones internacionales, tales como Ecole Normale Supérioure (ENS), California Institute of Technology (CALTECH) y GFZ. Junto a esto, algunos organismos nacionales iniciaron la instalación de estaciones relacionadas con proyectos de investigación, como el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (DGF), el Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM), además de los departamentos de Geodesia y de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción (UDEC).

En 2012 Onemi adquirió 130 receptores GNSS para conformar parte de la red sismológica de Chile, equipos que fueron facilitados al CSN para su instalación, operación y mantención. De esta forma, el CSN inició su red de estaciones GNSS.

Durante 2013 se inició la instalación de las estaciones GNSS del CSN, utilizando parte de estos instrumentos para reemplazar algunas de las estaciones ya existentes, instaladas por los proyectos antes mencionados (ENS, DGF y UDEC). En esa primera etapa fueron instalados 31 receptores.

Durante el 2016 se tiene programado finalizar la instalación de la red de instrumentos GNSS, con prioridad en la densificación del número de estaciones en la costa entre Arica y Pichilemu, a lo que se suma la zona austral de Chile. Se instalaran 39 nuevas.

El 2014 se continuó con la instalación de estaciones, principalmente en nuevos sitios y además se persistió con el remplazo de instrumentos para dar continuidad a la observación iniciada por los proyectos ENS, DGF y UDEC. Ese año se incorporaron a la red 37 instrumentos de navegación satelital.

En 2015 se continuó la instalación de estaciones GNSS, dando prioridad a sitios nuevos que incluyan la observación conjunta de aceleración y sismicidad (banda ancha). En este período se instalaron 21 nuevas estaciones de posicionamiento satelital.

Durante el 2016 se tiene programado finalizar la instalación de la red de instrumentos GNSS, con prioridad en la densificación del número de esta-

El mapa muestra la distribución de estaciones GNSS.

ciones en la costa entre Arica y Pichilemu, a lo que se suma la zona austral de Chile. Se instalarán 39 nuevas estaciones.

De esta forma, el total de la red estará constituida por 128 estaciones. Pues dos fueron vandalizadas.

Desarrollo de aplicaciones geodésicas en CSN:

Durante el 2014 el CSN generó un protocolo de proceso y análisis de las observaciones GNSS, en dos escalas de tiempo: tiempo real de 1 Hz. y resultados diarios.

Los resultados diarios son usados para observar procesos que ocurren en tiempos más largos, como años o décadas. En este sentido se calcula la posición diaria de cada una de las estaciones, se ajusta en forma global considerando que el sistema de referencia no cambia, solo se mueven las estaciones. Esto se repite para los 365 días del año y se construyen series de tiempo. En la figura 1 se muestra la serie de tiempo de la estación Rocas de Santo Domingo (RCSD), donde se observa el salto co-sísmico del terremoto del Maule 2010.

Analizando el conjunto de las series de tiempo de todas las estaciones de la red, podemos generar un mapa que muestre la cinemática del territorio nacional. En la figura 2 se muestra el inter-sísmico (figura con vectores azules) de la zona norte de Chile y el co-sísmico del terremoto del Maule 2010 (figura con vectores rojos).

La orientación y amplitud de los vectores de velocidad inter-sísmica nos permite recuperar el grado de acoplamiento que existe en una zona determinada, lo cual se realiza mediante un proceso de segmentación. En la figura 3 se muestra resultados para la zona de Valdivia. Figura de Moreno et al 2011, http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2011.03.025

Figura Nº 1

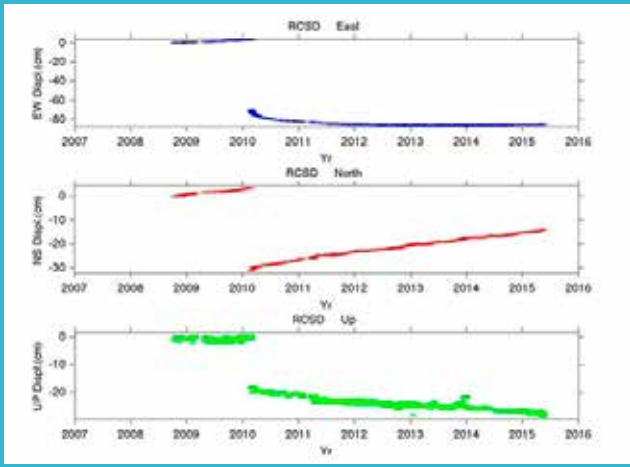


Figura Nº 3

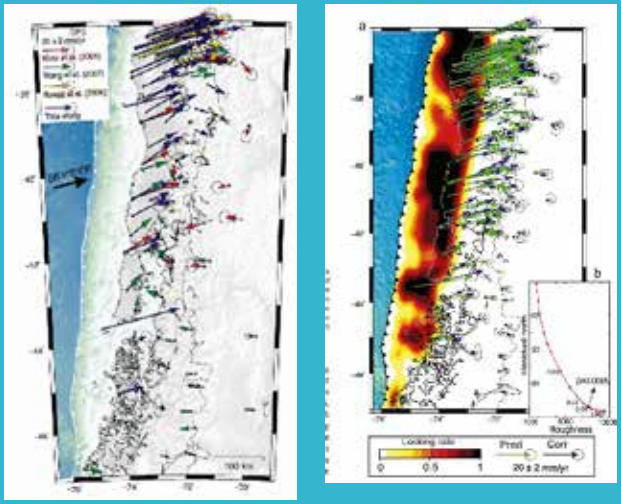


Figura Nº 2

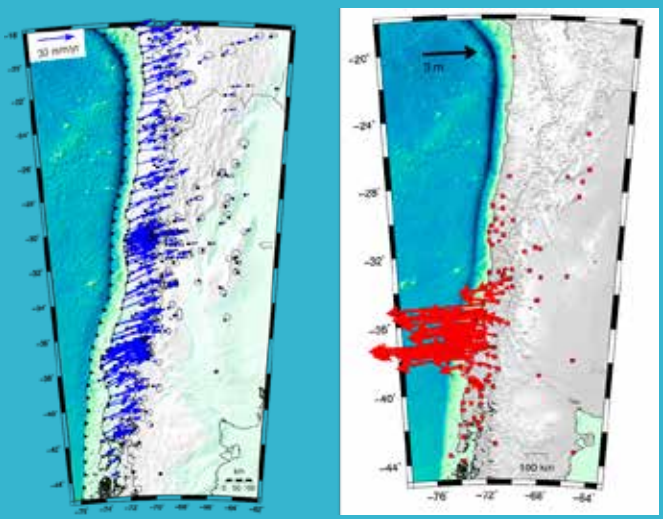
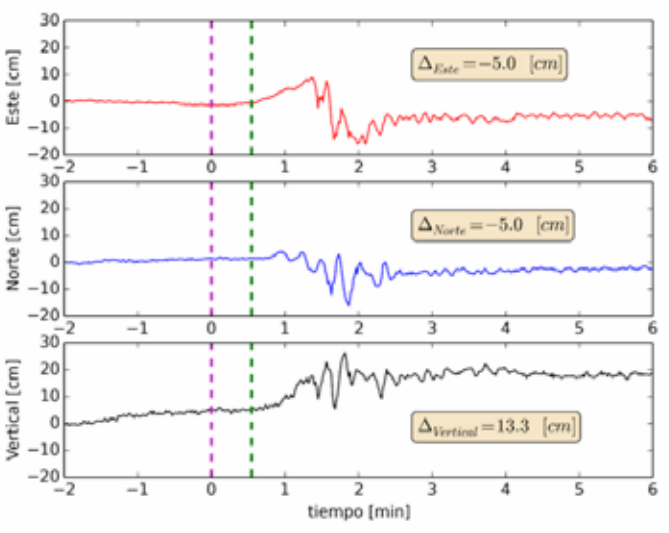


Figura Nº 4



Los resultados de tiempo real son obtenidos para recuperar rápidamente los efectos co-sísmicos de un terremoto. A su vez, éstos son usados para una estimación rápida de la magnitud del sismo, la geometría y distribución del desplazamiento en la falla, elemento determinante en la cuantificación del potencial tsunamigénico del sismo. En la figura 4 se muestra el resultado de la estación GNSS Salamanca, para el terremoto de Illapel 2015, los movimientos se han separado en tres componentes norte-sur, este-oeste y vertical.

La línea segmentada morada corresponde al momento de inicio del sismo de Illapel (tiempo 0), mientras que la línea segmentada verde, corresponde a la hora de llegada de la primera onda sísmica en la estación.

En las figuras siguientes se muestran los resultados de una inversión realizada por Francisco del Campo, geofísico de Innovación del CSN, a partir de desplazamientos co-sísmicos (GNSS) del terremoto de Illapel 2015. La figura 5 muestra el deslizamiento estático sobre el contacto entre la placa de Nazca y la Sudamericana, así como los epicentros de las primeras réplicas.

Mientras que la figura 6 grafica el desplazamiento vertical en superficie debido al terremoto, predicho por el modelo. Es importante mencionar que al incorporar datos disponibles ulteriormente, el resultado cambió, manteniendo la magnitud y sus características esenciales.

Figura Nº 5

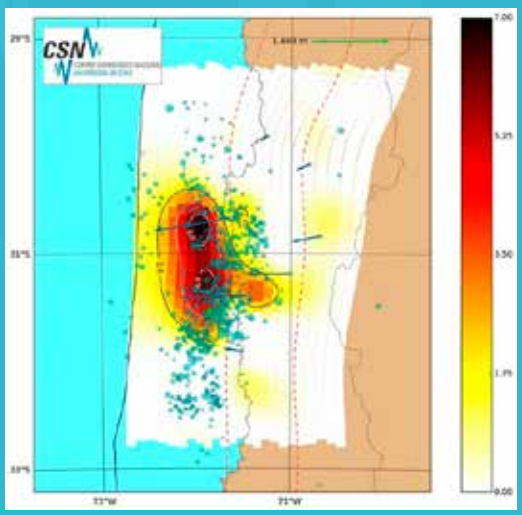
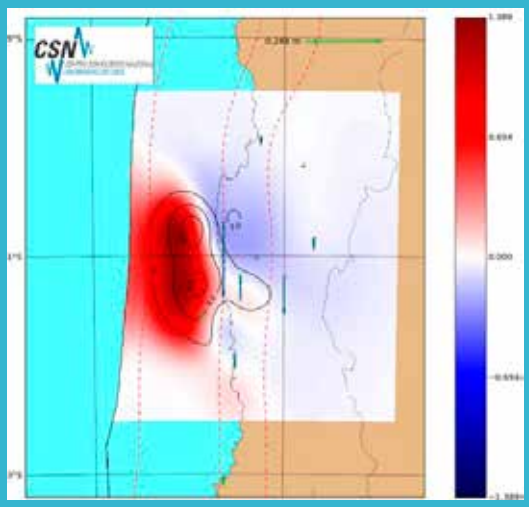


Figura Nº6



Catalina Caro C.

ÁREA DE COMUNICACIONES

El Área de Comunicaciones y Difusión es liderada por Catalina Caro C., Periodista de la Universidad de Chile. Esta Área se formó en 2013 y es la encargada de mostrar a la comunidad el trabajo realizado por el CSN y facilitar el que las personas conozcan mejor el fenómeno sísmico y adquieran conocimiento respecto a este tipo de eventos tan comunes en nuestro país.

Para ello esta área genera material de difusión tanto escrito como visual, el que es dado a conocer a través de la página web y las redes sociales del CSN, formato a través del cual también se da respuesta a las preguntas de la gente. También gestiona la relación con los medios de comunicación, coordina las visitas de diversos grupos a la Oficina de Procesos y Análisis del Centro y las charlas que dan los profesionales del CSN para colegios, municipalidades, universidades y diversas instituciones.

Sitio web www.csn.uchile.cl

Desde 2013 a la fecha esta área habilitó un nuevo sitio web para el Centro, www.csn.uchile.cl, a través del cual se explica el rol del CSN, se da cuenta de su quehacer, del equipamiento y la forma de trabajo, se describen los avances en diversos proyectos, los acuerdos y coordinaciones con otras instituciones, y además se difunde información sísmica, con contenido científico-técnico dirigido a especialistas por medio de informes y otro de carácter más didáctico dirigido al público general.

Esta nueva plataforma nace como un complemento al tradicional sitio www.sismologia.cl, ya que este último cumple la función de entregar la información sobre los eventos sísmicos acontecidos en el país, recibiendo millones de visitas por segundo tras la ocurrencia de terremotos de modo que su función ha sido optimizada para evitar eventuales caídas, de esta forma el contenido y las noticias son publicados en la nueva web CSN.

Durante 2015 en la web CSN se publicaron 31 artículos, 25 corresponden a noticias y 6 a reportes de carácter científico técnico. Este contenido también fue compartido en las redes sociales del Centro.

El CSN tiene una cuenta oficial de Facebook, cuya dirección es: www.facebook.com/CSN.UChile. Esta página al 31 de diciembre de 2015 contaba con 23.295 seguidores o me gusta.

En Twitter el CSN tiene dos cuentas, una de contenido, cuyo nombre es @sismos_UCHILE, que a diciembre de 2015 tenía 3.455 seguidores; y otra a través de la cual se reportan automáticamente los informes de sismos, denominada @sismoguc, con más de 450 mil seguidores a la misma fecha.

El Área de Comunicaciones también ha preparado material informativo en formato impreso, como trípticos, para ser distribuido físicamente a las personas interesadas en conocer más sobre el CSN y sobre el fenómeno sísmico.

La relación con los medios de comunicación es otra actividad de alta importancia para el CSN, pues la prensa es un importante colaborador para dar a conocer el quehacer del Centro y llevar la información de forma masiva a las personas.

Grupo de estudiantes visita a el CSN.

Durante el segundo semestre de 2015 se realizó una búsqueda y registro sistemático de las noticias relacionadas al quehacer del CSN publicadas en medios de comunicación nacionales.

N° de apariciones por mes en 2015	
Junio	14
Julio	67
Agosto	97
Septiembre	192
Octubre	108
Noviembre	105
Diciembre	63
Total	**647**

Durante el segundo semestre de 2015 se realizó una búsqueda y registro sistemático de las noticias relacionadas al quehacer del CSN publicadas en medios de comunicación nacionales. Este registro arrojó que, desde el 1 de junio al 31 de diciembre de 2015, se publicaron 647 noticias relacionadas a la actividad sísmica. El 97% de estos artículos de prensa mencionaba a la institución y utilizaba como fuente los datos provistos por el CSN, llegando así a un promedio de 3,5 menciones diarias. Sin embargo, la distribución mensual de estas noticias no fue homogénea, ya que en el transcurso de dicho semestre, específicamente el 16 de septiembre, ocurrió un terremoto magnitud 8.4 en la costa frente a la localidad de Illapel, Región de Coquimbo, elevando el número de apariciones en prensa durante la segunda quincena de ese mes y los dos meses siguientes.

Apariciones en prensa del CSN

T13
SERGIO BARRIENTOS
CENTRO SISMOLOGÍA NACIONAL U. DE CHILE
Revisa la edición completa de T13 Noche de este 14 de julio

CSN
CENTRO SISMOLÓGICO NACI
UNIVERSIDAD DE CHILE
SERGIO BARRIENTOS
DIRECTOR DE SISMOLOGÍA
14:31 EL TIEMPO SANTIAGO
CHILLÁN

ESTUDIO
DIR. SISMOLOGÍA
24
TEMBLOR 6.8
MARIO PARDO
SISMÓLOGO CENTRO SISMOLÓGICO U. DE CHILE

la red
Programas
Teleseries
Series
Infantil
Van a disfrutar este especial de navidad
11:11
#YOQUIEROMAÑANEROS
CSN IDENTIFICA ZONAS DONDE
UN TERREMOTO ES ALTAMENTE PROBABLE

SOCIOS ESTRATÉGICOS ONEMI Y SHOA

Capacitación conjunta 2014.

Desde la conformación del Centro Sismológico Nacional que existe un trabajo coordinado entre el CSN, la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Es esta coordinación la que propició el establecimiento de protocolos de actuación conjunta frente a eventos sísmicos, a lo que se suman las permanentes jornadas de capacitación en las que el personal de las tres instituciones se reúne con el objetivo de conocer el funcionamiento de sus contrapartes, y así fortalecer las gestiones conjuntas en los ámbitos de prevención, alerta y respuesta ante el riesgo sísmico y de tsunami.

Además el CSN es parte de diversas iniciativas de coordinación entre distintas instituciones relacionadas con el monitoreo de riesgos naturales y la protección civil, como el Comité Científico Técnico de Onemi, organismo asesor de naturaleza multisectorial, que aborda de manera integral amenazas de diverso origen, vulnerabilidades, indicadores de resiliencia y riesgo. Este Comité cuenta con cinco miembros permanentes: el Centro Sismológico Nacional, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, (SHOA), el Servicio Nacional de Geología y Minería, Sernageomin, la Dirección Meteorológica de Chile y el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción.

A esto se suma la participación del Centro en la Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres, instancia coordinada por Onemi, que busca consolidad un Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre. En esta plataforma el CSN está presente en dos de las cinco mesas de trabajo: Fortalecimiento de los sistemas de monitoreo y alerta temprana, y; Reducción de los factores subyacentes del riesgo.

Capacitación conjunta Onemi, SHOA y CSN, junio 2015.

Participación de CSN en Comité Científico Técnico de Onemi.

PRESUPUESTO

Equipo de Administración y Adquisiciones.

La puesta en marcha del Centro Sismológico Nacional el año 2013 responde a un cambio en la fuente de financiamiento, y en los montos recibidos por la Universidad. El Servicio Sismológico Nacional, como organismo con un enfoque principalmente académico recibía su financiamiento a través del Ministerio de Educación; al transformarse en CSN y convertirse en una entidad de monitoreo colaboradora del sistema de emergencias, su presupuesto pasó a depender de la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Las nuevas obligaciones trajeron consigo un importante aumento en los montos entregados, los que fueron destinados a la operación, mantención y fortalecimiento de la Red Sismológica Nacional (RSN).

El primer convenio entre Onemi y el CSN, firmado el 28 de diciembre de 2012, estableció que ambas instituciones entienden que las actividades y responsabilidades que se establecen sólo podrán cumplirse en la medida que exista una disponibilidad oportuna de recursos. Por tanto, no es tarea de la Universidad disponer o procurar los recursos para la existencia y operatividad de la RSN.

De este modo, se estableció que los recursos que Onemi transferiría a la Universidad financiarían:

- El fortalecimiento del sistema de monitoreo sísmico de la Universidad.
- La mantención y operación de la RSN.
- Los costos necesarios para completar el programa de instalación, conexión e incorporación al sistema de los equipos que componen la RSN, correspondientes a parte del equipamiento adquirido en años anteriores.
- Los gastos de recapitalización necesarios para mantener la RSN funcionando de forma tal que permita cumplir con sus fines.

Asimismo, Onemi proveería a la Universidad el financiamiento adecuado para los gastos de inversión, comunicación, instalación, incorporación al sistema, y uso de infraestructura durante los años 2014 y siguientes, para completar y operar la RSN, a condición de contar con la disponibilidad presupuestaria para ello.

Inversión

De esta forma, para el año 2013 se entregó al CSN $1.687 millones, para el fortalecimiento y mantención de los equipos de monitoreo sísmico que ya poseía la Universidad de Chile, así como también para mantener su operación. A eso se sumó la entrega de $420 millones para el robustecimiento de las comunicaciones.

Presupuesto Anual CSN

Año	Operaciones y nuevas estaciones	Comunicaciones	Total
	X 1000 $	X 1000 $	X 1000 $
2013	1.687.000	420.000	2.107.000
2014	2.184.169	1.680.000	3.864.169
Adenda 2014	641.000		641.000
2015	2.249.694		2.249.694

Raúl Parra N.

En tanto, el año 2014 se transfirió al CSN la suma de $2.184 millones para el fortalecimiento y operación del sistema de monitoreo sísmico existente, y $1.680 millones adicionales, para robustecimiento de las comunicaciones e instalación de nuevas estaciones a la RSN.

Tras el terremoto de Iquique en 2014 se decidió entregar una adenda de $641 millones, con el objetivo de completar de forma más rápida el proceso de instalación de los equipos para la RSN.

El 2015, el CSN recibió $1.739.495.669 para continuar sus operaciones.

En términos generales, el presupuesto del CSN se distribuye de la siguiente forma: aproximadamente un 50% se destina a las remuneraciones del personal, un 31% cubre los gastos de operaciones; y el 19 % restante se destina a capacitación, adquisición de software, difusión y administración.

Uno de los ítems que requiere mayor inversión es el de telecomunicaciones, el que contempla conectar y mantener comunicadas en tiempo real las estaciones sismológicas de forma permanente, abarcando un 25% del presupuesto total entregado en los últimos 3 años. Esto da cuenta de lo complejo y costoso que resulta mantener comunicadas estas estaciones vía satélite antes, durante y después de la ocurrencia de un evento de gran magnitud.

A modo de ejemplo, el costo total de una estación sismológica multiparamétrica (sensores banda ancha y aceleración con sistemas de adquisición digital, instrumento geodésico, sistemas de comunicación y energía) es de aproximadamente 67 millones de pesos, un 85% corresponde a equipamiento y un 15% a obras civiles. A esto debe sumarse el costo recurrente de mantener la comunicación en tiempo real.

Hasta ahora el CSN ha logrado robustecer la RSN y mantener sus operaciones de buena forma con el presupuesto asignado, sin embargo, es de esperarse que este presupuesto aumente, por un plazo determinado, con el fin de ejecutar el proceso de robustecimiento de la infraestructura general, consistente en edificios que permitan una operación alternativa en distintos lugares del país, debidamente equipados, con sus respectivos respaldos de energía y comunicaciones, para lograr una operación redundante.

Rodrigo Amenábar M.

Administración

El área que tiene a cargo realizar la administración de los recursos humanos, además de, tramitar los gastos, licitaciones y rendiciones que conlleva la correcta operación del CSN, gestionando los pagos, la adquisición de equipos, bienes y servicios, conforme a las reglamentaciones a las cuales están sujetas las compras en las instituciones públicas, es el Área de Administración, que es liderada por Raúl Parra N., Contador Auditor de la Universidad de Santiago de Chile.

Gestión de Procesos

El CSN también cuenta con un Área de Gestión de Procesos, encargada de establecer procedimientos y velar por que éstos se lleven a cabo cumpliendo los protocolos establecidos con el fin de asegurar la calidad en todas las área del CSN, con especial énfasis en las operaciones y la administración. Esta área es liderada por Rodrigo Amenábar, Ingeniero Civil Industrial y licenciado en Ciencias mención Geofísica, de la Universidad de Chile. La tarea primordial de esta área es preparar al CSN para obtener la certificación en los próximos 3 años.

HECHOS RELEVANTES

Febrero de 2014

Integrantes del CSN viajan a EE.UU. para visitar el USGS, IRIS y el PSNS

Sebastián Riquelme, jefe de Operaciones, y Rodrigo Sánchez, jefe de Sistemas e Informática del Centro Sismológico Nacional, viajaron a Estados Unidos para visitar durante diez días el Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), el Pacific Northwest Seismic Network (PSNS) y el National Earthquake Information Center del Servicio Geológico de ese país (USGS). El objetivo de la visita fue conocer los centros de datos que mantienen aquellas instituciones e incorporar ese conocimiento y tecnología al centro de datos del CSN en Santiago, además de intercambiar opiniones respecto de las operaciones y el personal en terreno.

El nuevo centro de datos del CSN utilizará un equipamiento y sistema nunca antes desarrollado en Chile, lo que permite contar con una calidad similar a la de los grandes centros sismológicos mundiales, esto permitirá generar una reciprocidad con el IRIS y el PSNS, traspasando información útil tanto para Chile como para las redes globales en relación al monitoreo de la actividad sísmica.

Marzo de 2014

CSN pone en funcionamiento moderno centro de datos

El Centro Sismológico Nacional puso en operación un moderno Centro de Datos, se trata de un nuevo espacio físico que fue pensado y remodelado especialmente para la ubicación de los servidores que alojan los datos sismológicos recogidos por la red nacional de monitoreo sísmico. El espacio cuenta con sistemas de seguridad en el ingreso, que utiliza clave y huella digital, y con tres potentes equipos de aire acondicionado, además de un sistema contra incendios que extrae el oxígeno del lugar para extinguir las llamas sin necesidad de usar agua, lo que evita el riesgo de mojar los computadores. Todo el cableado quedó bajo el piso para mayor orden y seguridad y se cuenta con un generador que responderá y mantendrá el sistema en operación en caso de que se corte el suministro eléctrico.

Julio de 2014
Miembros del CSN asisten a workshop de perfeccionamiento en Colombia

Entre el 26 y el 31 de julio 2014 miembros del Centro Sismológico Nacional, participaron en un workshop realizado en la ciudad de Bogotá, Colombia, enfocado al manejo de datos y metadata en redes sismológicas, con el objetivo de incorporar al CSN las mejores prácticas internacionales en el manejo de redes de monitoreo, fomentar el intercambio de experiencias con otros países que poseen redes de similares características, y estrechar relaciones con instituciones que están en la frontera del conocimiento tanto en el monitoreo como en el análisis de la actividad sísmica a nivel global.

La organización de la actividad estuvo a cargo del Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) Data Services (DS), en cooperación con la International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interiors (IASPEI) y el International Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN). Allí se entrenó a los participantes en una gran variedad de áreas incluyendo; instrumental sismológico, métodos y protocolos para la transmisión recepción de información, selección de sitios de monitoreo, desarrollo de metadata, acceso a estaciones internacionales acopiadas en IRIS, monitoreo continuo de la calidad de los datos sismológicos, adquisición y análisis de datos en tiempo real, etc.

Agosto de 2014
Vicepresidente Peñailillo visitó Centro Sismológico Nacional

El Vicepresidente de la República, Rodrigo Peñailillo, junto al director nacional de la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior, Ricardo Toro, visitaron las dependencias del Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile. En la ocasión, ambas autoridades gubernamentales fueron recibidas por el rector de esta casa de estudios, Ennio Vivaldi, y el director del CSN, Sergio Barrientos.
La autoridad explicó que "la historia que tienen los profesionales que aquí trabajan, desde principios de 1900, da cuenta de la importancia que tiene para el país el trabajo que hace la Universidad de Chile en esta materia. A qué hemos venido, no sólo a ver lo que se ha hecho en estos últimos años, sino también cómo seguimos trabajando. El esfuerzo del Gobierno va a estar en seguir apoyando con los recursos, seguir apoyando directamente y a través de la Onemi y el SHOA. Felicitarlos y decirles que cuenten con el apoyo del Gobierno, en este trabajo que es un orgullo para el país".

Octubre 2014

CSN Visita destacados centros sismológicos de Japón para explorar posibles colaboraciones

A raíz de los vínculos generados a partir del UTokyo Forum, realizado en Chile en 2013, en el que participaron profesionales del Centro Sismológico Nacional a través de presentaciones y reuniones en el marco del desarrollo de la Red Densa Oceánica para Terremotos y Tsunamis (DONET, por sus siglas en inglés), un programa de vigilancia de terremotos y tsunamis. Integrantes del CSN tuvieron la oportunidad de visitar las dependencias de la Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología Marina y Terrestre (Jamstec, por sus siglas en inglés), reuniéndose con Shuichi Kodaira, Director del R&D Center for Earthquake and Tsunami (CEAT), con el fin de conocer más acerca del proyecto DONET, sus alcances y la posibilidad de realizar un trabajo en conjunto. Al mismo tiempo, se realizaron visitas a la Agencia Meteorológica de Japón (JMA, por sus siglas en inglés), al Instituto Nacional de Investigación de Ciencias de la Tierra y Prevención de Desastres (NIED, por sus siglas en inglés), al Instituto de Estudios Geográficos (GSI, por sus siglas en inglés) y a la Nippon Electric Company (NEC).

Noviembre 2014

Delegación oficial China visita el CSN para intercambiar experiencias en materia sísmica

El Centro Sismológico Nacional recibió la visita de una delegación de la Administración China de Terremotos (CEA, por sus siglas en inglés), con el fin de conocer el trabajo que desarrolla el organismo chileno, principalmente respecto a la tecnología y avances, así como las estaciones sismológicas instaladas a lo largo del territorio. La Administración China de Terremotos (CEA), tiene la misión de elaborar y aplicar una estrategia de desarrollo, principios y políticas, leyes y reglamentos concernientes a reducir y prevenir los desastres producidos por los terremotos, buscando establecer altos estándares sísmicos. En esa búsqueda, el Director del CSN, Sergio Barrientos, ofreció una charla para dar a conocer la situación sísmica de Chile y los avances que se han ido gestando desde la creación del Centro hasta hoy. Al mismo tiempo, los visitantes recorrieron la Sala de Análisis, en donde se les hizo una exposición acerca del sistema de monitoreo y comunicaciones.

Noviembre de 2014

CSN expone sobre la Red Sismológica en el VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

La actividad, organizada por la Sociedad Chilena de Geotecnia (Sochige) junto a la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y dirigida a ingenieros civiles, especialistas en geotecnia, ingeniería estructural, mecánica de suelos, mecánica de rocas y disciplinas afines, contó con la presencia de más de 250 asistentes, cerca de 30 empresas y connotados expositores nacionales e internacionales. Entre ellos destacó la participación del Dr. Felipe Leyton, jefe del Área de Innovación y Transferencia Tecnológica del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, quien dictó la charla "Red Sismológica Nacional", en la que dio cuenta de los avances y desafíos de la red a lo largo de todo el país.

Diciembre de 2014

CSN colabora en instalación de sismógrafos marinos en el norte de Chile

El lunes 8 de diciembre comenzó el fondeo de 15 sismógrafos submarinos frente a las costas de Chile entre Arica y Tocopilla, en el marco de un proyecto de colaboración entre la Universidad de Kiel, Alemania, y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Estas instituciones contaron con la colaboración del Centro Sismológico Nacional, entidad que realizó las gestiones para obtener el apoyo de la Armada de Chile que facilitó el buque OPV "Toro" para cumplir la tarea de trasladar los equipos, el personal técnico y apoyar las maniobras de fondeo de los estos instrumentos, para, durante casi un año, recopilar datos que ayudarán a entender mejor la actividad post-sísmica en la zona de ruptura del terremoto del 1 de abril de 2014.

Enero de 2015

CSN y Sernageomin unen investigación y monitoreo de sismos tectónicos y volcánicos

El Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile y el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) firmaron un convenio de colaboración que propicia "el intercambio de datos, experiencias, servicios especializados, infraestructura e información de mutuo interés" entre las redes de monitoreo sísmico de ambos organismos técnicos. Lo anterior, con la finalidad de avanzar en integrar la investigación geocientífica de los fenómenos sismológicos de la corteza terrestre, originados por la actividad de placas tectónicas, fallas geológicas y volcanes activos en Chile.

Febrero 2015

CSN recibe equipo Sismo-Geodésico que permitiría importantes avances en la alerta temprana de terremotos

Durante una semana, el equipo de Trimble conformado por Michael Jackson, Gerente de Mercado (USA), Antonio Sánchez, Gerente de Soporte (USA) y, Matthias Moessmer, desarrollador I+D Trimble (Alemania), junto a Juan Carlos Báez, Jefe de la Unidad de Geodesia del Centro Sismológico Nacional, estuvieron reunidos con el propósito de instalar un nuevo instrumento sismo-geodésico que significaría un importante avance para la Alerta Temprana de Terremotos. El equipo, que observa dos parámetros en forma simultánea (desplazamiento y aceleración, medidos mediante GPS y acelerógrafo), fue presentado en 2014 durante un Congreso en Turquía, y con la instalación de este primer equipo en el norte de nuestro país, Chile es el primer lugar en donde se realizaron las pruebas de efectividad.

Actualmente, el CSN cuenta con estaciones multi-paramétricas, compuestas por: acelerómetro, GPS y banda ancha, las que miden los tres componentes en forma separada: aceleración, velocidad y desplazamiento. Juan Carlos Báez resalta que "éste es un equipo que tiene dos cosas juntas lo que permitirían realizar predicciones a través de la observación de tendencias". Así, en el largo plazo, se busca poder acortar los tiempos de respuesta frente a grandes terremotos, conociendo los desplazamientos y la aceleración de forma inmediata (dos segundos), sin la necesidad de esperar por un análisis manual que, actualmente, toma alrededor de 2 minutos.

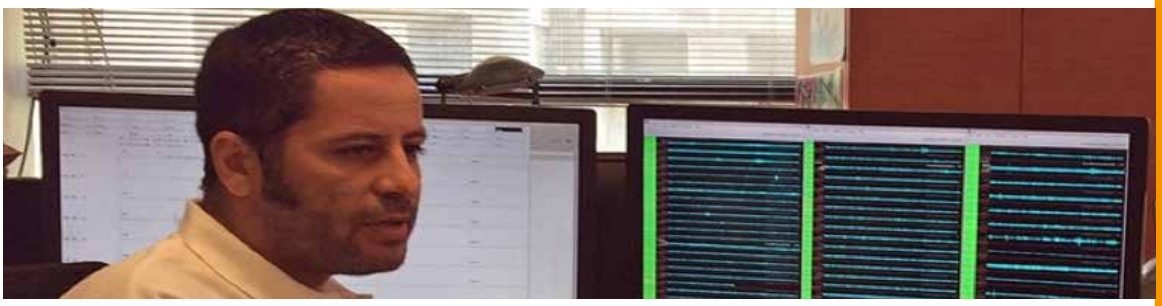
Mayo 2015

IRIS en conjunto con el CSN realizan workshop internacional sobre sismología

Desde el lunes 25 hasta el sábado 30 de mayo, alrededor de un centenar de personas que trabajan en la operación de redes sísmicas a través de todo el continente americano, se reunieron en Santiago de Chile, a intercambiar experiencias y buscar oportunidades de colaboración, en el Workshop on National Geophysical Networks in Latin America: Best practices, challenges, and opportunities for collaboration (Taller sobre Redes Geofísicas Nacionales en América Latina: Mejores prácticas, desafíos y oportunidades para la colaboración). La actividad fue organizada desde Estados Unidos por IRIS (Consorcio de Instituciones de Investigación en Sismología), y apoyada por USGS (Servicio Geológico de EE.UU.), la NSF (Fun-dación Nacional para la Ciencia), y Unavco (University Navstar Consortium). Como contraparte en nuestro país participó en la realización del evento el Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile.

Junio de 2015

Miembro del CSN viaja a EE.UU. a conocer sistema de Alerta Temprana de UC Berkeley



Entre el 4 y 12 de junio, Felipe Leyton, jefe de Innovación y Transferencia Tecnológica del Centro Sismológico Nacional, realizó una pasantía en la University of California Berkeley con el objetivo de conocer y analizar el desempeño del sistema computacional que esta universidad estadounidense desarrolló para la alerta temprana de terremotos usando sensores sísmicos. Esta visita se enmarca dentro de un proyecto financiado por Conicyt otorgado de manera conjunta al Laboratorio Sismológico de la Universidad de Berkeley (BSL) y al Centro Sismológico Nacional de la U. de Chile, con el propósito de explorar el posible desarrollo de las capacidades de alerta temprana en Chile siguiendo el modelo que ha perfeccionado la primera institución.

Junio de 2015

CSN recibe en sus dependencias a integrantes de Onemi y SHOA en capacitación conjunta

Entre el 23 y el 25 de junio, la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y el Centro Sismológico Nacional (CSN) de la U. de Chile se unieron en la realización de un plan de capacitación conjunta, cuya finalidad fue mejorar las capacidades de los funcionarios de estas instituciones frente al riesgo sísmico y de tsunami. En la pasantía participaron 40 personas, que trabajan en alguno de estos organismos, quienes tuvieron la oportunidad de, a través de presentaciones y charlas, entender el funcionamiento de las tres instituciones, profundizar su conocimiento sobre los eventos sísmicos y de tsunamis -por qué y cómo se generan-, además de conocer las dependencias de sus socios estratégicos a la hora de enfrentar uno de estos fenómenos y de entregar información al respecto a la ciudadanía.

Julio de 2015

Representantes del CSN participan en comisión Chile-Argentina para colaborar en emergencias

Los días 7 y 8 de julio se realizó en Santiago la Comisión Mixta binacional que reunió a representantes de diversas instituciones que cumplen funciones de protección civil y monitoreo de riesgos de origen natural, entre otras, con el fin de que se avance en materia de cooperación mutua para facilitar la ayuda humanitaria en caso de catástrofe sin que necesariamente se decrete Estado de Excepción. Miembros del Centro Sismológico Nacional participaron en la segunda reunión de la Co-Mixta Chile-Argentina, organizada por el Ministerio de Relaciones Exteriores de nuestro país con el objetivo de mejorar los protocolos de cooperación en materia de catástrofes.

El Director del CSN, Sergio Barrientos, participó del encuentro como parte de la Subcomisión de Control Fronterizo, la que se encarga de facilitar el ingreso y egreso de equipos materiales, personas, e incluso animales con funciones humanitarias en caso de emergencias o desastres. También participó en las reuniones Juan Carlos Báez, Jefe de Geodesia del CSN, quien hizo parte de la Subcomisión de Revisión del Reglamento.

Julio de 2015

CSN inaugura el proyecto audiovisual de la Casa de Bello: Legados para Chile

La Universidad de Chile lanzó un proyecto audiovisual para mostrar algunas de sus principales unidades con el fin de dar a conocer la contribución que diariamente hacen al país. El primer capítulo de esta serie fue dedicado al Centro Sismológico Nacional, entidad encargada de instalar, mantener y operar la Red Sismológica Nacional, que monitorea y entrega información en tiempo real de la actividad sísmica en nuestro país. En el clip se relata la historia del Centro sus funciones y la relevancia del CSN para Chile, el país más sísmico del mundo. El video está publicado en https://youtu.be/U-JtZB9wVKs

Julio de 2015

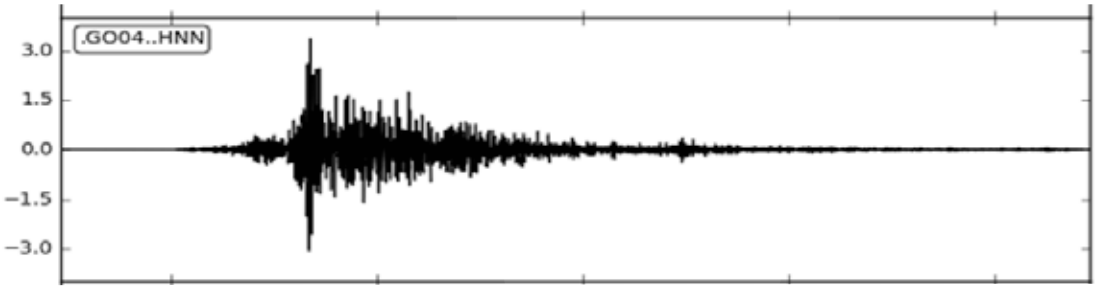
Operadores de los sistemas de alerta de tsunamis visitan el CSN

Un grupo de 30 estudiantes del Diplomado Internacional de Tsunamis dictado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) recorrió las instalaciones del Centro Sismológico Nacional y conoció cómo opera la red sismológica. "Este diplomado está dirigido a las personas que toman las decisiones para dar las alertas de tsunami, son los responsables y operadores de los sistemas de alerta de tsunamis de Colombia, Ecuador, Perú y Chile, en el caso de nuestro país son funcionarios del SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile) y su equivalente en los otros países", indica Marco Cisternas, académico de la Escuela de Ciencias del Mar de la PUCV, quien dirige el Diplomado Internacional de Tsunamis. El miércoles 12 de agosto el grupo visitó las instalaciones del CSN y tuvo la oportunidad de conocer cómo opera la red sismológica nacional.

Septiembre 2015
3° sesión del Comité Científico Técnico de Onemi incluyó presentación y recorrido por el CSN

El 1 de septiembre, en las dependencias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, donde se encuentra ubicado el Centro Sismológico Nacional, se llevó a cabo la tercera sesión del Comité Científico Técnico, organismo asesor de Onemi. La reunión incluyó una presentación de Sebastián Riquelme, Jefe de Operaciones del CSN, en la que profundizó en temas relacionados con la Red Sismológica Nacional, su crecimiento y modernización, además de una visita guiada a la Sala de Análisis del CSN donde se detectan y procesan los eventos sísmicos en tiempo real. La actividad también contempló la presentación del trabajo investigativo en ciencias de la tierra del Departamento de Geofísica (DGF) de la U. de Chile y sobre salud mental en emergencias por parte del Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (Cigiden). El encuentro contó con la participación de miembros del SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile), la Dirección Meteorológica de Chile, Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería), el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, el Ministerio de Medio Ambiente, el CSN, más dos miembros invitados: Cigiden y el DGF.

Septiembre 2015
CSN lanza nueva herramienta para conocer los registros de Movimiento Fuerte



El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile abre un nuevo sitio web en el que pone a disposición de toda la comunidad los acelerogramas de los sismos ocurridos en el país en los últimos cuatro años; entre ellos destacan los registros del reciente terremoto de Illapel y sus réplicas de mayor intensidad.

Esta plataforma contiene la mayor cantidad de registros en campo cercano del terremoto de Illapel y sus réplicas importantes, además de una base de datos desde 2010 a la fecha, descargable. Esta información es especialmente relevante y útil para la comunidad ingenieril involucrada en la definición de las normas de construcción sismo-resistentes. La dirección de la web de registro de movimiento fuerte es: **http://evtdb.csn.uchile.cl/**

Octubre 2015

Experto de UC Berkeley visita el CSN para colaborar en implementación de nuevo software

Ivan Henson, quien forma parte del equipo que está trabajando en el proyecto de Alerta Temprana del Laboratorio Sismológico de la Universidad de California en Berkeley, EEUU, vino a apoyar al Centro Sismológico Nacional en la puesta en marcha experimental del sistema ElarmS en tiempo real en Chile. Su visita se realizó entre el lunes 5 y el viernes 9 de octubre de este 2015, periodo en el que se logró cumplir con el objetivo de realizar la configuración del software. El sistema de alerta temprana ElarmS tiene la ventaja de procesar de forma muy rápida las primeras ondas sísmicas, por lo que se espera que su implementación experimental en el CSN a mediano plazo logre reducir aún más los tiempos de procesamiento y entrega de la información de los eventos sísmicos.

Noviembre 2015

USGS y CSN comienzan instalación de smartphones en proyecto de Alerta Temprana de Sismos

Dispositivos comunes de consumo, como los teléfonos inteligentes contienen versiones de bajo costo de los sensores utilizados en la detección de sismos, como GPS y acelerómetros. Estos aparatos, si bien son menos precisos que los instrumentos científicos, están presentes alrededor del mundo y de forma masiva en muchos lugares. Esa masividad será lo que en un futuro próximo podría permitir desarrollar un sistema de alerta temprana de sismos, que le permitiría a las personas enterarse de que viene un terremoto algunos segundos antes que llegue la sacudida lo que da la oportunidad de desplazarse a un lugar seguro. La primera parte de este proyecto conjunto se realizará a través de pruebas con una red sismológica de baja complejidad y costo, compuesta por 200 teléfonos celulares instalados en Chile. Bejamin Brooks y Thom Ericksen del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), visitaron nuestro país para, junto a Juan Carlos Báez y Rodrigo Sánchez del Centro Sismológico Nacional, para instalar los primeros 9 smartphones; 2 de ellos fueron puestos en Santiago (RM), otros en Valparaíso (V Reg.), Los Vilos, Salamanca, Combarbalá, Canela baja (IV Reg.), Rocas de Santo Domingo (V Reg.) y Navidad (VI Reg.).

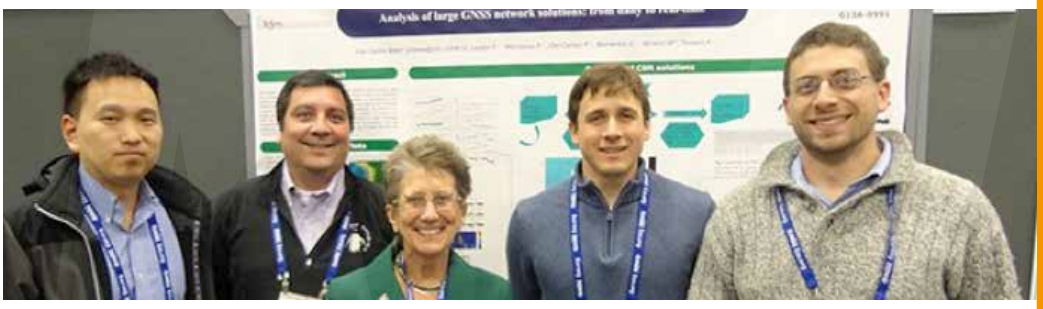
Diciembre 2015
CSN participa en workshop sobre alerta temprana de sismos realizado en EE.UU.

Felipe Leyton, jefe de Innovación y Transferencia Tecnológica del Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile, asistió al taller realizado en la Universidad de California Berkeley, EE.UU., donde presentó los avances que ha tenido el CSN con la puesta en marcha experimental del sistema ElarmS. La actividad reunió a investigadores de diversas instituciones de EEUU, quienes se congregaron para analizar los diversos softwares que se están probando actualmente con el fin de poder entregar alertas tempranas de sismos en contextos de subducción de placas, como ocurre en el caso chileno. Allí Felipe Leyton presentó "los resultados que hemos tenido hasta ahora con el método de alerta temprana ElarmS, desarrollado en Berkeley y que estamos probando para el caso chileno, por lo que mostré algunos de los cambios que hemos hecho para mejorar el desempeño de este software y los resultados que dio al probarlo con señales sísmicas de eventos pasados como el terremoto de Iquique 2014", explicó el jefe de Innovación y Transferencia Tecnológica del CSN.

Diciembre 2015
CSN participa en Feria de Protección Civil

Con una feria ciudadana instalada en la Plaza de la Constitución, y que contó con la presencia del Ministro del Interior, Jorge Burgos, la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) presentó este lunes 14 de diciembre la campaña "Plan Familia Preparada", que a través de recomendaciones simples busca fomentar el autocuidado y la cultura preventiva en los hogares de todas las chilenas y chilenos. En la feria participaron con stand organismos del Sistema Nacional de Protección Civil, tales como el Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile, Carabineros, Bomberos, Ministerio de Salud, CSN, PDI, CONAF, Sernageomin, Fuerzas Armadas, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), Dirección Meteorológica de Chile, Radioaficionados, y la Red de Ayuda Humanitaria, quienes explicaron su aporte a la seguridad del país tanto en tareas de prevención, educación, respuesta y recuperación ante catástrofes, y la forma en que se coordinan con Onemi.

Diciembre 2015
Integrantes del CSN participan en encuentro de geofísica más importante del mundo



Se trata del encuentro de otoño de la American Geophysical Union (AGU), que cada año reúne a alrededor de 24 mil personas de todo el orbe interesadas en las ciencias de la Tierra, y que este año contó con la presencia de cinco integrantes del Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile, que participaron en presentaciones y exhibiendo sus pósters científicos.

La actividad realizada en la ciudad de San Francisco, Estados Unidos, entre el 14 y el 18 de diciembre, fue evaluada de forma positiva por Sergio Barrientos, director del CSN, quien participó del encuentro en una presentación sobre el terremoto de Illapel, que fue uno de los grandes temas del evento. Los otros integrantes del CSN que participaron del encuentro son: Sebastián Riquelme, jefe de Operaciones, Juan Carlos Báez, jefe de geodesia, Paula Manríquez, geofísica del Área de Innovación y Transferencia Tecnológica y Rodrigo Sánchez, jefe de Sistemas e Informática.

Diciembre 2015
CSN inicia proyecto Efemérides Sísmicas: recordando terremotos pasados

En el sitio web www.csn.uchile.cl se comenzó a publicar una serie de relatos sobre los terremotos que han afectado a nuestro país en el pasado, dando cuenta de las características del sismo y los daños que ocasionó. La serie comenzó recordando el terremoto magnitud 8.5 ocurrido el 10 de noviembre de 1922, que sacudió a las localidades de Vallenar y Huasco, Región de Atacama. Le siguió el relato del temblor magnitud 8.3 que el 24 de enero de 1939 sorprendió a los habitantes de la ciudad de Chillán, Región del Bío Bío, y sus alrededores. La serie de efemérides sísmicas continuará con una publicación mensual en la web del CSN.

PUBLICACIONES

Listado de publicaciones científicas en las que participaron miembros del CSN.

2013

• Katsumata, A., H. Ueno, S. Aoki, Y. Yoshida and S. Barrientos (2013) Rapid magnitude determination from peak amplitudes at local stations, accepted for publication in Earth, Planets and Space.

• Leyton, F., S. Ruiz, S.A. Sepúlveda, J.P. Contreras, S. Rebolledo, M. Astroza (2013) Microtremors' HVSR and its correlation with surface geology and damage observed after the 2010 Maule earthquake (Mw 8.8) at Talca and Curicó, Central Chile, Engineering Geology, doi: 10.1016/j.enggeo.2013.04.009

• Montalva, G.A., and F. Leyton (2013) Discussion of "Shear-Wave Velocity-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential" by R. Kayen, R. E. S. Moss, E. M. Thompson, R. B. Seed, K. O. Cetin, A. Der Kiureghian, Y. Tanaka7, and K. Tokimatsu. Vol. 139, No. 3, March 1, 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000743, aceptado.

• S. Ruiz, R. Grandin, V. Dionicio, C. Satriano, A. Fuenzalida, C. Vigny, E. Kiraly, C. Meyer, Baez JC, Sebastian Riquelme, R. Madariaga, J. Campos (2013) The Constitución earthquake of 25 March 2012: A large aftershock of the Maule earthquake near the bottom of the seismogenic zone

2014

• S. Barrientos (2014) Informe acerca del Terremoto del 1 de abril de 2014, de magnitud 8.2., http://www.sismologia.cl

•Hayes, G.H., M. W. Herman, W. D. Barnhart, K. P. Furlong, S. Riquelme, H. M. Benz, E. Bergman, S. Barrientos, P. S. Earle and S. Samsonov. (2014) Continuing Megathrust Earthquake Potential in northern Chile after the 2014 Iquique Earthquake Sequence, Nature 512, 295-298.

•Schurr, B., G. Asch, S. Hainzl, J. Bedford, A. Hoechner, M. Palo, R. Wang, M. Moreno, M. Bartsch, Y. Zhang, O. Oncken, F. Tilmann, T. Dahm, P. Victor, S. Barrientos, J-P Vilotte. (2014) Gradual unlocking of a plate boundary controlled the April 2014 Northern Chile megathrust earthquake. Nature 512, 299-302.

• Ruiz, S., M. Metois, A. Fuenzalida, J. Ruiz, F. Leyton, R. Grandin, C. Vigny, R. Madariaga, J. Campos (2014) Intense foreshocks and a slow slip event preceded the 2014 Iquique Mw 8.1 earthquake. Science, Vol 345, 1165, doi: 10.1126/science.1256074

• Humire, F., E. Sáez, F. Leyton, and G. Yañez (2014) Combining active and passive multi-channel analysis of surface waves to improve reliability of VS,30 estimation using standard equipment, Bull Earthquake Eng, doi 10.1007/s10518-014-9662-5.

• J. A. Ruiz, M. Fuentes, S. Riquelme, J. Campos, A. Cisternas (2014) Numerical simulation of tsunami runup in northern Chile based on non-uniform k 22 slip distributions.

• Lange,D.; Bedford, J. R.; Moreno, M. ; Tilmann, F.; Baez, J. C.; Bevis, M. and Krüger, F. (2014) Comparison of postseismic afterslip models with aftershock seismicity for three subduction-zone earthquakes: Nias 2005, Maule 2010 and Tohoku 2011. Geophysical Journal International DOI/URL: http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggu292

• Yue, H.; Lay, T.; Rivera, L.; An, Ch.; Vigny, C.; Tong, X.; Báez, J.C. (2014) Localized fault slip to the trench in the 2010 Maule, Chile Mw = 8.8 earthquake from joint inversion of high-rate GPS, teleseismic body waves, InSAR, campaign GPS, and tsunami observations. Geophysical Research Letters DOI/URL: http://dx.doi.org/10.1002/2014JB011340

• D. Lange, J. R. Bedford, M. Moreno, F. Tilmann, J. C. Baez, M. Bevis and F. Krüger (2014) Comparison of postseismic afterslip models with aftershock seismicity for three subduction-zone earthquakes: Nias 2005, Maule 2010 and Tohoku 2011. DOI: 10.1093/GJI/GGU292.

2015

• Barrientos, S. (2015) Informe Técnico Terremoto de Illapel 16 de septiembre de 2015, http://www.csn.uchile.cl

• D. Melgar, R. M. Allen , S. Riquelme , J. Geng, F. Bravo, J.C. Baez , H. Parra, S. Barrientos, P. Fang, Y. Bock, M.Bevis, D. J. Caccamise, C. Vigny, M. Moreno, and R. Smalley Jr. (2015) Local tsunami warnings: Perspectives from recent large events, Geophys. Res. Lett. http://dx.doi.org/10.1002/2015GL067100

• S. Riquelme, F.Bravo, D. Melgar, R.Benavente, J.Geng, S.Barrientos and J. Campos. (2015) W-phase source inversion using high-rate regional GPS data for large earthquakes, submitted to Geophys. Res. Lett.

• Becerra, A., L., Podestá, R. Monetta, E. Sáez, F. Leyton, G. Yañez (2015) Seismic microzoning of Arica and Iquique, Chile, Natural Hazards, doi 10.1007/s11069-015-1863-y

• William D. Barnhart, Jessica R. Murray, Richard W. Briggs, Francisco Gomez, Charles P.J. Miles, Jerry Svarc, Sebastian Riquelme, Bryan J. Stressler (2015) Early Afterslip of the 2015 Illapel, Chile Earthquake: Evidence for Frictional Heterogeneity and Permanent Coastal. Uplift.

• Benoit Derode, Sebastián Riquelme, Jaime Campos and Bertrand Delouis (2015) Energy-partitioning of intermediate-depth earthquakes: Overview of the Northern Chilean seismic cloud and implications on the dynamic of rupture. Geophys. Res. Lett.

• M. Fuentes, S.Riquelme, M. Medina, D.Melgar, G.Hayes, G.Vargas (2015) A study of the 2015 Mw 8.3 Illapel Earthquake and tsunami. Numerical and Analytic approaches. et al. PAGEOPH

• D. Melgar, W. Fan, S. Riquelme, J. Geng, C. Liang, M. Fuentes, G. Vargas, R. M. Allen, P. M. Shearer, E. J. Fielding. (2015) Slip segmentation and slow rupture to the trench during the 2015, Mw8.3 Illapel, Chile earthquake

• Riquelme, S., Fuentes, M., Hayes, G. P., & Campos, J. (2015) A rapid estimation of near- field tsunami runup. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120(9), 6487-6500.

• D. Melgar, B. W. Crowell, J. Geng, R. M. Allen, Y. Bock, S. Riquelme, E. M. Hill, M. Protti, A. Ganas (2015) Earthquake magnitude calculation without saturation from the scaling of peak ground displacement: GPS PGD Scaling

• Fuentes, M. A., Ruiz, J. A., & Riquelme, S. (2015) The runup on a multilinear sloping beach model. Geophysical Journal International, 201(2), 915-928.

• P. A. Toledo, S. Riquelme, J. A. Campos (2015) Earthquake source parameters which display first digit phenomenon

• Gómez, D.D.; Smalley, R.; Langston, C.A.; Piñon, D.A.; Cimbaro, S.R.; Bevis, M.; Kendrick, E.; Barón, J.; Báez, J.C.; Parra, H. (2015) Co-Seismic deformation of the 2010 Maule, Chile earthquake: validating a least square collocation interpolation. Geoacta DOI/URL: http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/geoacta/article/view/5861

• Tilmann, F; Zhang, Y; Moreno, M; Saul, J; Eckelmann, F; Palo, M; Deng, Z; Babeyko, A ; Chen, K ; Báez, J. C.; Schurr, B; Wang, R; and Dahm, T; The 2015 Illapel earthquake, central Chile: a type case for a characteristic earthquake?, 2015, Geophysical Research Letters, http://dx.doi.org/10.1002/2015GL066963