UNIVERSIDAD DE CHILE

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y Desastres

PRS

*** Tema emergente: Gestión de Riesgo ***
Riesgo sísmico

RIESGO SÍSMICO EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

MARCO CONCEPTUAL PARA ABORDAR LA RESILIENCIA ANTE RIESGO SÍSMICO EN EL CONTEXTO DE LA SUBDUCCIÓN ANDINA 2

LA GESTIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DESDE UN ENFOQUE GLOBAL 2
SANTIAGO, UNA CIUDAD RESILIENTE ANTE RIESGO SÍSMICO? 3
PRESENTACIÓN DEL OBJETIVO Y DEL PLAN DE DESARROLLO DEL INFORME 4
EL CONTEXTO DE LA SUBDUCCIÓN ANDINA 5
CONTEXTO SISMO-TECTÓNICO DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO 7

ESTADO DEL ARTE DE LAS ESTIMACIONES DE RIESGO SÍSMICO EN LA RMS 13

PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO 13
RIESGO SÍSMICO EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO 14
ESCENARIOS FUTUROS EN CASO QUE NO SE TOMEN MEDIDAS 15
EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE INTERÉS PARA EL APRENDIZAJE EN RIESGO SÍSMICO 16

IMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LA RMS 18

LÍNEA BASE SOBRE INFORMACIÓN RELATIVA AL RIESGO SÍSMICO 18
RIESGO SÍSMICO EN LAS HERRAMIENTAS REGIONALES DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL 31
MAPA DE ACTORES EN LA PRODUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INFORMACIÓN RELEVANTE PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LA RMS 32

PRIORIZACIÓN DE LAS ACCIONES Y LOS GAPS MÁS RELEVANTES DETECTADOS EN LA RMS 34

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA REGIÓN EN RELACIÓN A LAS CUALIDADES DE SISTEMAS RESILIENTES 43

RECOMENDACIONES DE ACCIONES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO 45

BASE BIBLIOGRÁFICA 47

Marco conceptual para abordar la resiliencia ante riesgo sísmico en el contexto de la subducción andina

La gestión y reducción del riesgo de desastres desde un enfoque global

La reducción del riesgo de desastres y la resiliencia ante desastres deben ser parte integrante de las estrategias de desarrollo de los territorios, en la medida que afectan directamente el desarrollo de los territorios y las sociedades, a la vez que dependen directamente de factores sociales: vulnerabilidades sociales, estado de las construcciones, institucionalidad y gobernanza en torno a temáticas territoriales, etc.

Para el Programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile -CITRID- y el Programa de Riesgo Sísmico -PRS-, la gestión y reducción del riesgo de desastres deben abordarse desde un enfoque holístico, transversal, integrador, es decir que se contemplan todas las etapas del riesgo -mitigación, prevención, reacción, reconstrucción-, los diferentes factores naturales, físicos, antrópicos y sociales del riesgo -amenazas, exposición y vulnerabilidades-, las diferentes disciplinas que contribuyen al conocimiento del riesgo –ingenierías, sismología, antropología, geografía, sociología, derecho, etc.-, así como los diferentes sectores implicados en la gestión del riesgo -sector público, sector privado, sociedad civil-. Esto lleva a afirmar que en una política de gestión y reducción del riesgo de desastres, es necesario integrar la dimensión participativa de los diferentes sectores sociales.

En el contexto urbano latinoamericano, las problemáticas de la equidad territorial y de la segregación socioespacial son de particular relevancia a la hora de abordar cualquier estrategia territorial. Las diferencias de género son esenciales en las problemáticas de riesgo de desastres, incidiendo directamente tanto en la vulnerabilidad, como en la construcción de resiliencia de las comunidades. El enfoque de género es fundamental para fortalecer las capacidades locales en la GRD, y también en las estrategias de desarrollo que permitan mejorar las condiciones de la región para enfrentar las situaciones de desastres, y deberá integrarse en el diseño de las acciones de gestión regional del riesgo de desastres.

Finalmente, este informe aborda únicamente el riesgo sísmico de la Región Metropolitana de Santiago, y tiene como objetivo presentar el estado de la información relativa al riesgo sísmico en la Región y hacer un diagnóstico de las iniciativas existentes y aquellas que no existen y son necesarias para consolidar el carácter resiliente de Santiago. Para lograr un enfoque global que permita integrar las temáticas transversales establecidas en la *Estrategia de Resiliencia para Santiago*, es necesario implementar un estudio de diagnóstico multi-amenazas, que incluya las vulnerabilidades, llevado adelante por un equipo transdiciplinario, que escapa al alcance del presente informe.

Santiago, una ciudad resiliente ante riesgo sísmico?

Por su configuración territorial, el componente sísmico es una de las principales amenazas de origen natural del país y de la región Metropolitana. Las pérdidas anuales del país debido únicamente a los sismos se estiman entre el 1 y 2% del PIB[1]; el terremoto y tsunami del 27F de 2010 significaron según el gobierno pérdidas de US$ 30.000 millones, equivalentes a 18% del PIB nacional. Entre 1980 y 2011, Chile fue el país del G20 con más costos relacionados a atender emergencias de desastres socionaturales (OCDE, 2012), resultado de una política en materia de desastres esencialmente reactiva.

Incorporar una estrategia de reducción del riesgo de desastres, con un enfoque proactivo y considerando todas las fases del ciclo del riesgo, es por ende esencial en el marco de un desarrollo sustentable y resiliente del país y de Santiago. Siguiendo el marco conceptual establecido en la *Estrategia de Resiliencia para Santiago*, se entenderá por resiliencia de Santiago ante riesgo sísmico la capacidad de la ciudad para sobrevivir, adaptarse, prosperar, sin importar los fenómenos sísmicos que puedan experimentar.

Se establecen entonces 7 cualidades necesarias para que Santiago sea una ciudad resiliente:

- Reflexividad: capacidad de aprendizaje y uso de las experiencias pasadas en la elaboración de planes presentes y futuros.
- Creatividad: capacidad de concebir e implementar planes y proyectos originales para solucionar problemas identificados.
- Robustez: capacidad de un sistema de mantener sus condiciones esenciales de funcionamiento y desempeño a pesar de una perturbación.
- Redundancia: duplicación estratégica de estructuras o infraestructuras con el fin de garantizar la continuidad de las operaciones vitales del sistema.
- Flexibilidad: predisposición y habilidad de adoptar estrategias alternativas en respuesta a circunstancias cambiantes o crisis repentinas.
- Inclusión: participación y representación de variados puntos de vistas en la construcción de la visión conjunta de la situación y de las acciones a implementar.
- Integración: vinculación de sistemas e instituciones.

Siguiendo estos requerimientos, Santiago presenta varios elementos que hacen de la ciudad-región, un territorio resiliente en cierta medida, pero necesitaría consolidar otros factores para poder cumplir con la definición de Resiliencia. Por su exposición a diversas amenazas de origen natural, a lo que se suma diferentes amenazas de origen antrópico en particular relacionadas a los procesos de urbanización, la ciudad-región debe preocuparse por una disminución importante de sus vulnerabilidades, en vista de una disminución del riesgo de desastres.

[1] *Gestión de Riesgo de Desastres; World Bank Group; Social, Urban, Rural & Resilience; 2015.*

Presentación del objetivo y del plan de desarrollo del informe

Para llevar a cabo un diagnóstico de la gestión del riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago, objetivo del presente informe, se realizarán las siguientes etapas:

En un primer tiempo se presenta el marco conceptual para abordar la resiliencia ante riesgo sísmico en el caso específico de Chile, y más particularmente de la Región Metropolitana. La localización de Chile en un margen de subducción explica la importancia (en frecuencia e intensidad) que representa la amenaza sísmica, y se analizarán en esta sección las especificidades físico-ambientales que caracterizan la sismicidad de la región y que hacen necesario el desarrollo de conocimientos y metodologías propias (“*made in Chile”*).

Luego, se presentará un estado un estado del arte de los estudios de peligro y riesgo sísmico en la Región Metropolitana (y más generalmente a escala nacional), presentando factores subyacentes de riesgo que se pueden identificar en escenarios futuros posibles de evento sísmico en la Región, y presentando experiencias internacionales interesantes que podrían nutrir los diseños de estudios y políticas públicas chilenos.

La problemática de la *data* sobre riesgo de desastres, es decir estudios científicos verificados, datos físicos y sociales, protocolos de normalización e intercambio de información, es uno de los puntos estructurantes de debilidad del sistema nacional de gestión del riesgo. Es por ello que se propone ahondar sobre la implementación de la información para la gestión del riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago, revisando la información y fuentes de información existentes, la incorporación de la temática en las herramientas regionales de planificación territorial, y los actores nacionales y regionales que participan de la gestión de información.

En acuerdo con el marco conceptual formulado y con los antecedentes presentados en el presente informe, se establecerá una priorización de los gaps más importantes y una evaluación del desempeño de la región en relación a las cualidades de los sistemas resilientes. Se cerrará el informe con la presentación de recomendaciones a corto, mediano y largo plazo, y con una base bibliográfica que permite abordar la problemática de la gestión del riesgo sísmico en la RMS.

El contexto de la subducción andina

Con un promedio de un sismo de magnitud superior a 8 cada ~10 años, Chile es uno de los países más sísmicos de la Tierra (Madariaga, 1998). Su ubicación en el margen tectónico de subducción andina explica su constante actividad sísmica y volcánica. Efectivamente, al estar ubicado en el borde occidental de la placa continental Sudamericana, Chile se encuentra en una región de convergencia y de subducción a dos regímenes: 1- Zona Centro-Norte con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, y 2- Zona Sur con la presencia de dos puntos triples y la interacción de tres placas, la Sudamericana, la Antártica y la Scotia, representando una zona de deformación lenta (es decir con una significativamente menor tasa de actividad sísmica que el resto del país). Estas interacciones entre placas tectónicas, y en particular el hundimiento de la placa de Nazca bajo la placa continental Sudamericana en la zona Centro-Norte, con una velocidad de convergencia estimada entre 6 y 7 cm por año (Khazaradze & Klotz, 2003), causan no solo una intensa sismicidad en la zona costera con la ocurrencia de megaterremotos, sino que también actividad sísmica de profundidad intermedia muy destructivos, y sismicidad superficial cortical asociada a la deformación de la Cordillera de los Andes a través de procesos de deformación frágil (sismos) y dúctil (asísmicos).

Se pueden categorizar los terremotos de Chile en cuatro tipos que se diferencian por características propias de las fuentes sismogénicas -el tipo de mecanismo sismológico, la ubicación de la fuente sísmica y la magnitud de los sismos-, así como de su potencial impacto para las sociedades humanas:

Los **sismos de tipo Interplaca** (o Thrust) son generados en el contacto de las placas tectónicas Sudamericana y de Nazca. Se localizan en la costa, extendiéndose desde la fosa hasta unos 50 a 60 km de profundidad. Estos sismos dominan la sismología de la zona central: son los más grandes en magnitud, los más comunes, afectan grandes áreas y pueden causar tsunamis al desplazar verticalmente el fondo oceánico. Destacan en este tipo, los terremotos de Valparaíso de 1906 (Mw=8.2) y 1985 (Mw=8.0), el terremoto de Valdivia de 1960 (Mw=9.5), el terremoto del Maule de 2010 (Mw=8.8), el terremoto de Illapel de 2015 (Mw=8.4).

Los **sismos Intraplaca oceánicos de profundidad intermedia** son aquellos que ocurren al interior de la placa de Nazca, a profundidades comprendidas 50 y 200 km. Sus epicentros se sitúan en bajo el continente y pueden alcanzar magnitudes hasta de orden de 8, con un alto potencial destructivo y altas aceleraciones máximas reportadas (Astroza et al.., 2002 ; Ruiz & Saragoni, 2005). Destacan en este tipo, el terremoto de Chillán de 1939 (Mw=8.0), el terremoto de Punitaqui de 1997 (Mw=7.1) y Tarapacá de 2005 (Mw 7.8).

Los **sismos Corticales o Superficiales** son aquellos generados en fallas geológicas sísmicamente activas, en el interior de la placa continental Sudamericana, principalmente en los sectores precordilleranos y cordilleranos. Ubicados en

profundidades menores de 30 km, son sismos menos comunes que los terremotos de Interplaca o Intraplaca oceánicos y de menor magnitud, generalmente menor a 7 o 7.5. Tienen un efecto mucho más local pero que pueden ser muy destructivos en las cercanías del epicentro para magnitudes superiores a 6. Los sismos de Las Melosas en 1958 (Mw=6.9), de Chusmiza en 2001 (Mw=6.3) y el de Aysén en 2007 (Mw=6.2) corresponden a sismos corticales así como la sismicidad asociada a la Falla San Ramón en la Región Metropolitana de Santiago. Al presentar bajos períodos de recurrencia están poco representados en los catálogos sísmicos, lo cual hace difícil el uso de metodologías probabilísticas de estimación del peligro sísmico asociado a este tipo y por ende son a menudo excluidos de los estudios de estimación de peligro sísmico (Leyton et al., 2010).

Los **sismos de tipo Outer-Rise** son aquellos producidos por la flexión de la placa de Nazca previa a la subducción. Estos sismos, revelados por una actividad sísmica regular en el interior de la placa de Nazca al exterior de la fosa de Perú-Chile, son de magnitud moderada (generalmente de magnitudes inferiores a 8), a distancias mayores a 150 km de la costa, por lo que no produce daños significativos en el continente, salvo una posibilidad de ser tsunamigénicos. Un ejemplo de este tipo de sismos es el terremoto frente a la costa de Valparaíso de 2001 (Mw=6.7). (Madariaga, 1998).

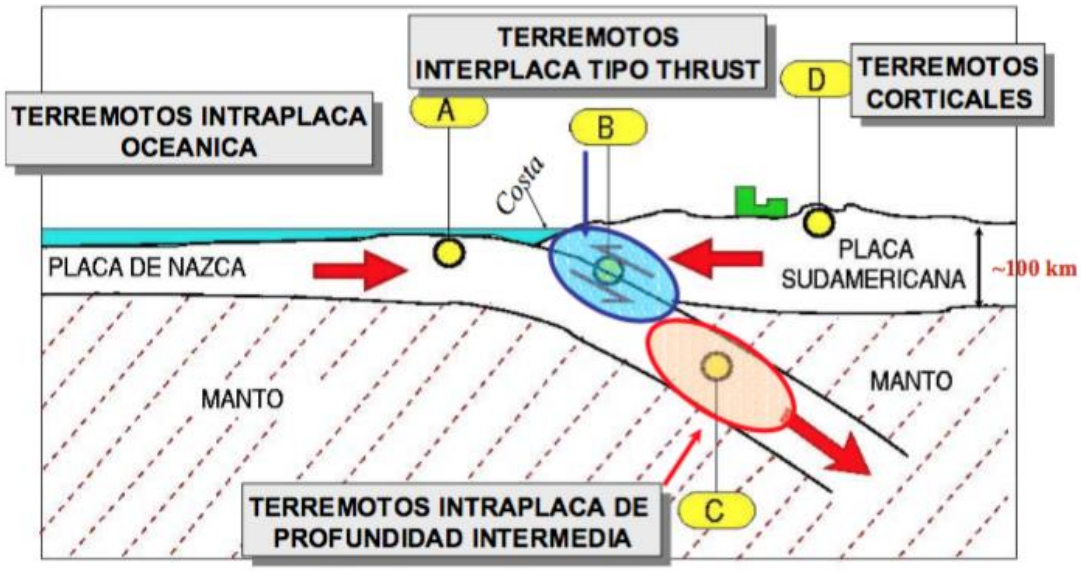

Figura 1 – Taxonomía de los terremotos chilenos (Campos et al., 2005)

Contexto sismo-tectónico de la Región Metropolitana de Santiago

Sismicidad y tectónica regional

De la sismicidad histórica en la zona central de Chile, sobresalen los siguientes eventos destructivos que afectaron la región (desde la Serena a Constitución):

- **17 de marzo de 1575:** terremoto que provoca pánico en la población y colapso de edificios en la ciudad de Santiago.
- **13 de mayo de 1647**: terremoto de gran intensidad, produce daños en Santiago (y más generalmente entre los 31º a 36º S). Fuentes históricas reportan extensos daños en edificios de Santiago tales como la Catedral, el Palacio Episcopal, el Colegio de los Jesuitas y los monasterios de Las Claras y de las Agustinas, y la torre de la iglesia San Francisco.
- **8 de julio de 1730**: terremoto tsunamigénico que provoca grandes daños en las ciudades de Santiago y Valparaíso, seguido por réplicas que duraron varios días. El área de daños reporteados se extiende desde La Serena a Chillán.
- **19 de noviembre de 1822:** terremoto de Valparaíso, seguido de otros 2 eventos de gran magnitud durante los días posteriores, causa grandes daños en Santiago (y se reportan extensos daños en Limache, Casablanca, Quillota, La Ligua e Illapel).
- **16 de agosto de 1906:** terremoto que afecta principalmente a Valparaíso y sus alrededores, extendiéndose el área afectada desde Quilimarí a Curicó. Santiago también se vio afectado. Luego de este terremoto, el presidente Pedro Montt y el rector de la Universidad de Chile crean el Servicio Sismológico Nacional em 1908 e se instala la primera estación de monitoreo sísmico en el cerro Santa Lucía en Santiago.
- **13 de septiembre de 1945:** terremoto de Illapel-Santiago.
- **4 de septiembre de 1958:** terremoto de Las Melosas correspondió a una fuente compleja superficial, asociada a fallas activas de la zona cordillerana, que resultó en una secuencia de tres sismos de magnitud 6.9, 6.7 y 6.8 respectivamente.
- **3 de marzo de 1985:** El terremoto de Valparaíso, de magnitud 7.8, con daños y colapsos de estructuras en Santiago. Los pueblos de Alhué y Melipilla fueron particularmente afectados. La Región se vió afectada en términos de abastecimiento de agua, daños a establecimientos educacionales y hospitales, corte de energía eléctrica.
- **28 de agosto de 2004:** Sismo superficial de Curicó, de magnitud 6.4.
- **27 de febrero de 2010:** Terremoto tsunamigénico del Maule (Mw 8.8), afectó desde la V a la VIII región. En la capital, este terremoto generó pánico, interrupción de servicios y actividades, daños y colapso de estructuras

Cabe destacar que los sismos de las Melosas (1958) y Curicó (2004) son eventos superficiales que ocurrieron en la zona central de Chile con profundidades inferiores a los 20 km. Con el sismo de Chusmiza (2001) en el Norte, son los únicos sismos de tipo superficial que cuentan con un buen registro de aceleraciones en Chile,

particularmente los dos más recientes. En los tres casos, los epicentros se encontraban alejados de grandes centros poblados, lo que junto a la característica observada que los sismos corticales de poca profundidad presentan una diminución rápida de la intensidad sísmica al alejarse de la fuente, explica el escaso daño observado. Este no es el caso de los terremotos superficiales de Northridge (EEUU, 1994), de Kobe (Japón, 1995) que causaron grandes colapsos estructurales y daños cuestionando los códigos de construcción de ambos países. Más recientemente, los sismos de Italia (L'Aquila, 2009 ; Zona central de Italia, 2016) también corresponden a sismos superficiales de alto poder destructivo.

La zona cordillerana de la Región Metropolitana de Santiago evidencia actividad sísmica superficial (Barrientos y Kausel, 1993; Barrientos y Vera, 1995; Sepúlveda et al., 2008; Perez et al., 2014). Desde una perspectiva tectónica, los sismos superficiales corticales son una expresión de la deformación frágil de la corteza terrestre debido a esfuerzos controlados por la subducción. Los sismos corticales no están incluidos en la zonificación sísmica del país y no están integrados en las normas sísmicas nacionales.

Tampoco se considera en dichas normas los sismos de profundidad intermedia que son de una importante agresividad, es decir a pesar de que rara vez alcanzan magnitudes superiores a 8, su nivel de destructividad ha sido históricamente alto en Chile (Chillán, 1939; Antofagasta, 1950; Punitaqui, 1997, Tarapacá, 2005).

Características geotécnicas identificadas en la región

En la zona central, el territorio está caracterizado por la existencia de 3 unidades morfoestructurales, paralelas entre sí, orientadas norte sur: la Cordillera Principal, la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa. Esta configuración se habría generado durante una fase de máxima compresión ocurrida durante el Oligoceno Superior-Plioceno Medio (Thiele, 1980). Antecedentes científicos a partir de los años 1990 proponen que la morfología regional, en particular de la cuenca de Santiago, está controlada por la actividad del sistema de fallas cordilleranas que se ha identificado en la región y asociado a la falla San Ramón.

La ciudad de Santiago está ubicada casi totalmente en una cuenca situada que corresponde a la Depresión Intermedia o Depresión Central, compuesta principalmente por sedimentos aluviales y, en menor proporción, por materiales asociados a actividad volcánica. La cuenca de Santiago está limitada al norte por el cordón El Manzano y al sur por los cerros de Angostura de Paine. De longitud Norte-Sur de 90 km y un ancho Este-Oeste de 40 km, aproximadamente (Karzulovic, 1958). Estudios gravimétricos permiten estimar la profundidad del basamento rocoso de la región y se ha evidenciado una geometría irregular (Araneda et al, 2000 ; Yañez, 2015). La falta de estudio y la limitación de la información existente hace difícil caracterizar la geometría completa del basamento (Pasten, 2007).

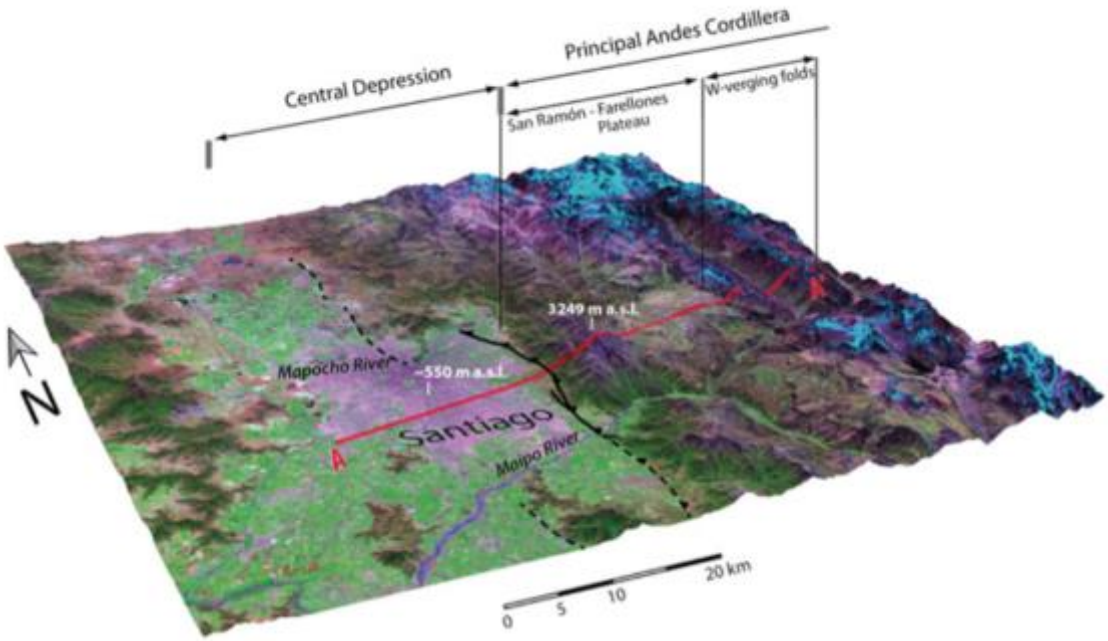

Figura 2 – Vista de la región Metropolitana de Santiago. Se representan las principales características geológicas en la región. La falla San Ramón identificada está trazada en linea negra continua. En linea discontinua se representa traza de la Falla San Ramón inferida.(Armijo et al., 2010)

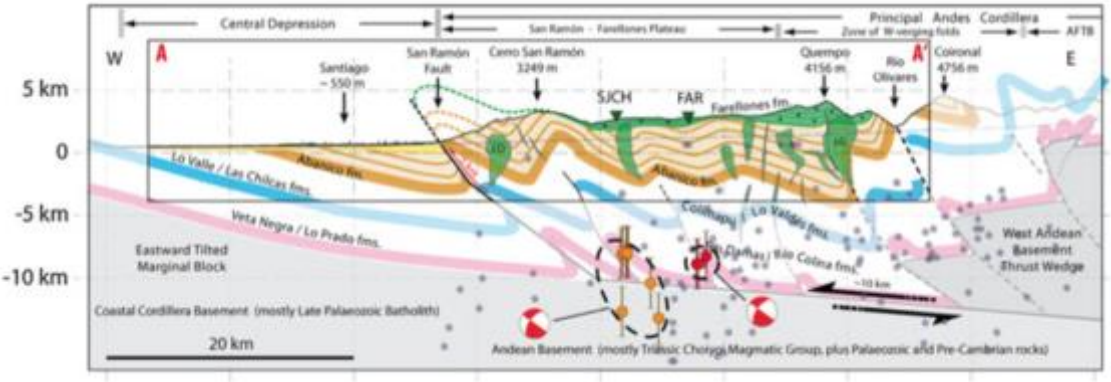

Figura 3 – Corte vertical A-A´ . Se representan las principales características geológicas en la zona oeste de la Cordillera de los Andes, en particular la estructura y sismicidad asociada a la Falla San Ramón. (Armijo et al., 2010)

Estudios geológicos, en particular estudios de campo gracias a excavación de pozos (el más profundo teniendo una profundidad de 430 m, en la comuna de Pudahuel ; Emparán, 1966) han permitido distinguir los principales depósitos de suelos de la cuenca de Santiago:

- **Gravas de Santiago**: Corresponden a extensos depósitos sedimentarios, que forman grandes abanicos aluviales, originados principalmente por la acción de los ríos Mapocho y Maipo. Estas gravas constituyen buenos suelos de

fundación (Valenzuela, 1978), poseen alta resistencia y rigidez (De la Hoz, 2006), y cuentan con velocidades de onda de corte que pueden alcanzar hasta 800 m/s (Ampuero y Van Sint Jan, 2004).

- **Depósitos finos del norte de Santiago**: Ubicados en el sector Noroeste de la cuenca, estos depósitos están constituidos principalmente por lentes de limos y arcillas de baja consistencia, ricos en arcillas expansivas de alta plasticidad y potencial de desarrollo de grietas de desecamiento
- **Depósitos de cenizas volcánicas pumicíticas:** Depósitos de cenizas volcánicas originadas por flujos piroclásticos que rellenaron la cuenca (Stern et al., 1984) y, posteriormente fueron erosionados y redepositados por actividad fluvial. Se encuentran principalmente en el borde occidental de la cuenca, en las comunas de Pudahuel, Maipú, Cerrillos y en las rinconadas de Lo Aguirre, Maipú y Padre Hurtado (Lagos, 2003 ; Pasten, 2007).
- **Depósitos de conos de deyección:** Depósitos compuestos por materiales arrastrados por flujos de agua en las quebradas, y que se acumulan en forma de cono por acción gravitacional en la salida de las quebradas que drenan la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes y la oriental de la Cordillera de la Costa.

El **basamento** de la cuenca de Santiago correspondería a rocas volcánicas de la Formación Abanico, de edad oligocena superior – miocena inferior (Charrier y Munizaga, 1979).

Estudios y experiencias de terremotos pasados, en particular tras el sismo del 3 de marzo de 1985 y el trabajo del profesor Joaquín Monge de la Universidad de Chile, han demostrado la importancia de considerar el **efecto de sitio de la cuenca de Santiago**. Al estar parte de la Región Metropolitana de Santiago asentada sobre capas geológicas más blandas (aluviales, lacustres) o particulares (cenizas volcánicas), se presentan fenómenos de amplificación sísmica que varían de un sitio a otro, dependiendo de las propiedades geotécnicas de los depósitos de suelos y de la profundidad del basamento rocoso. (Astroza y Monge, 1989).

De este modo, la presencia de grandes depósitos geológicos de Pumicita distintas zonas de la región, principalmente en Pudahuel y Maipú, afectaría localmente la respuesta sísmica. La relación que existiría entre la presencia de estas cenizas de origen volcánico, de malas características mecánicas, y la amplificación de las ondas sísmicas que lleva a solicitaciones dinámicas mayores para las estructuras de estas zonas constituye un problema científico y tecnológico “abierto”, que necesita investigaciones más profundas.

Caracterización de la Falla San Ramón

Ubicada en el sector oriente de Santiago, en los pies del frente cordillerano, la falla San Ramón es una falla de mecanismo inverso que, en términos morfológicos, sobrepone las rocas del frente cordillerano a los sedimentos de la Depresión Central y

que corresponde a una falla geológica y sísmicamente activa (Rauld, 2002; Rauld et al., 2006; Armijo et al., 2010; Rauld 2011; Pérez et al., 2013).

Los estudios científicos que se han ido llevando a cado desde los años 1990 evidencian que la Falla San Ramón tiene un potencial de generar terremotos de tipo cortical, los cuales por su ubicación y características afectarían de manera importante la zona oriente de Santiago. Los diversos estudios se han esforzado en identificar la traza de la falla en superficie y sus principales características geológicas, su rol tectónico para la región, las tasas promedio de movimiento, los intervalos de recurrencia, el tiempo transcurrido desde el último terremoto con ruptura superficial asociado a esta falla. Estos trabajos no están completos y se requieren más estudios e información para determinar la amenaza sísmica que representa para la región una ruptura de la falla San Ramón (MINVU, 2011).

Los estudios científicos han establecido escenarios posibles sobre la ocurrencia de un evento sísmico importante en la falla San Ramón, con desplazamientos promedios de 1 a 4 m, y magnitudes Mw comprendidas entre 6.6 y 7.4 (Armijo et al., 2010; Perez et al., 2014). Un sismo de estas características sería extremadamente destructivo para la región.

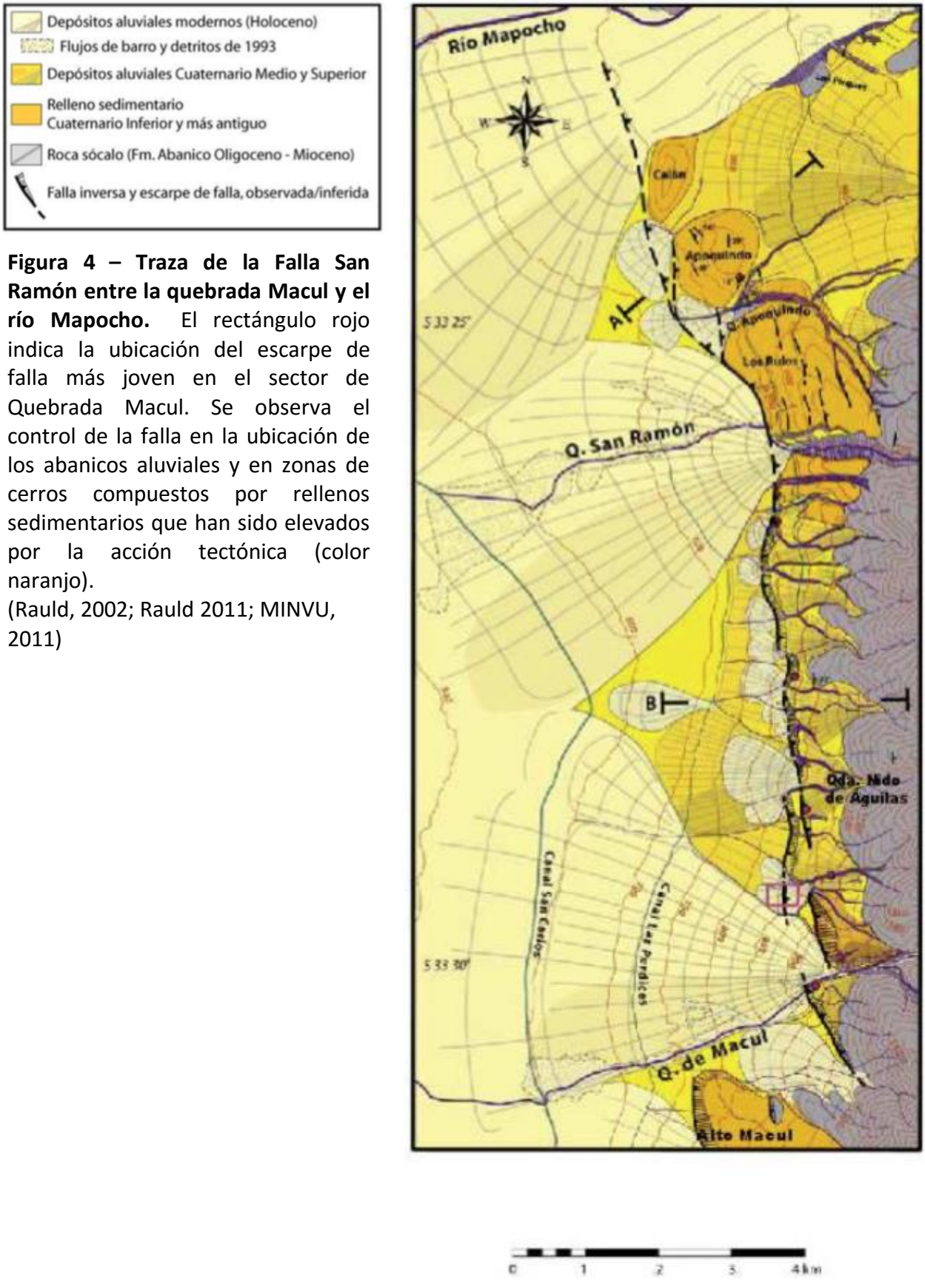

Figura 4 – Traza de la Falla San Ramón entre la quebrada Macul y el río Mapocho. El rectángulo rojo indica la ubicación del escarpe de falla más joven en el sector de Quebrada Macul. Se observa el control de la falla en la ubicación de los abanicos aluviales y en zonas de cerros compuestos por rellenos sedimentarios que han sido elevados por la acción tectónica (color naranjo).
(Rauld, 2002; Rauld 2011; MINVU, 2011)

Estado del arte de las estimaciones de riesgo sísmico en la RMS

Se presentará a continuación el estado del arte de las estimaciones de riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago. Cabe destacar que, a pesar de mostrar carencias, los estudios de peligro y riesgo sísmico en la RMS muestran mayores desarrollos, y en particular, hay en la región más información disponible que en otras regiones del país. Es por ello que creemos que la RMS podría ser una región líder a nivel nacional en caracterizar el riesgo sísmico desarrollando metodologías y tecnologías específicas a Chile, incorporar estos antecedentes en sus herramientas de ordenamiento territorial e implementar prácticas innovadoras, participativas, inclusivas, de gestión del riesgo sísmico (y del riesgo de desastres más generalmente).

Peligro sísmico en la Región Metropolitana de Santiago

El **peligro sísmico** se define como la probabilidad de alcanzar o exceder un parámetro representativo del movimiento del suelo durante un intervalo de tiempo dado. Este parámetro puede ser la aceleración horizontal, la intensidad, la pseudo-velocidad espectral, la pseudo-aceleración espectral, entre otros. El intervalo de tiempo de estudio corresponde a un lapso de vida útil para las estructuras civiles, clásicamente se considera 10, 50, 100 o 250 años.

Varios estudios de peligro sísmico han sido abordados en la Región Metropolitana y otras regiones del país, desde aproximaciones probabilísticas, determinísticas, manejos de escenarios, y han ido contribuyendo en el avance de la estimación sísmica:

- Susa (2004) propuso una estimación de probabilidad de ocurrencia de un "gran" terremoto (Ms ≥ 7) según las zonas de Chile, trabajando con sismos interplaca. Este estudio se basa en el tiempo transcurrido desde el último gran terremoto (Ms ≥ 7) que afectó Santiago, en este caso el terremoto de Valparaíso de 1985. Susa concluye en probabilidades entre 0 y 22% de ocurrencia de un sismo de magnitud superior a 7 entre 2004 y 2024. Este método no representa la amenaza sísmica asociada a la falla San Ramón, no trabaja a escala regional, y no incluye los efectos de amplificación de la señal sísmica. Como destacado anteriormente con la experiencia de sismos superficiales, éstos pueden ser altamente destructivos aún con magnitudes inferiores a 7.
- Entre 1992 y 1999, el proyecto Global Seismic Hazard Assessment Program (Giardini et al., 1999) desarrolló un mapa a escala del peligro sísmico considerado como la aceleración máxima horizontal dentro de un plazo de vida útil de 50 años, con un 10% de probabilidad de excedencia (periodo de retorno de 475 años). Para la Región Metropolitana se obtuvo una aceleración máxima horizontal de 3.7 m/s^2, equivalente a 0.38 g.
- Martin (1990), Silva (2008), Leyton et al. (2009) publicaron mapas de peligro sísmico en la región, considerando las diversas fuentes sísmicas. En estos trabajos se compararon resultados obtenidos con métodos probabilísticos y

determinísticos. Los métodos probabilísticos cuentan como principal limitación la falta de información específica a Chile de calidad (catálogos sísmicos en particular).

- Perez (2014) presentó estimaciones de peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón a través del análisis de la sismicidad local superficial y simulación de movimiento fuerte por escenarios de ruptura de la falla con un sismo de referencia de Mw=6.9.
- El Programa de Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile inició en 2016 un proyecto de simulaciones de terremotos en el sistema de falla San Ramón y simulación de los movimientos fuertes que éstos producen usando el método de Crempien y Archuleta (2015). De este modo se está avanzando hacia una nueva estimación del peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón.

Otros estudios geotécnicos, sismológicos e ingenieriles han complementado la información necesaria para estimación de peligro sísmico:

- Saragoni (2004) y Ruiz (2005) proponen las primeras **leyes de atenuación** que consideran datos exclusivamente relativos a sismos chilenos diferenciados por el tipo de subducción en interplaca e intraplaca de profundidad intermedia. Estos investigadores establecieron también que otras leyes de atenuación desarrolladas con datos de diferentes zonas de subducción en el mundo subestiman la respuesta sísmica en la zona de subducción chileno-argentina. Actualmente no se dispone de ley de atenuación para los terremotos corticales chilenos.
- Los terremotos de Valparaíso de 1906 y del 1985 pusieron en evidencia la influencia de la geología superficial en la señal sísmica, es decir el **efecto de sitio**, que a su vez genera diferencias en el impacto en daños estructurales en la Región Metropolitana, con diferencias entre 0.5 y 2 grados de intensidad en la escala MSK entre áreas cercanas de Santiago (Montessus de Ballore, 1916; Astroza y Monge, 19891; Menéndez, 1991 ; Lagos 2003). Efectivamente, los depósitos de suelo, y en particular las cuencas y los valles, han mostrado poseer una gran variabilidad de la amplificación de las ondas sísmicas entre su generación en la fuente y su propagación hasta la superficie del terreno. La respuesta sísmica observada en superficie depende de características geomecánicas de los diferentes estratos de suelos, de sus espesores y de la profundidad hasta la roca basal.

Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de Santiago

El **riesgo sísmico** se define como la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto igualen o excedan valores predeterminados, para una localización o área geográfica dada. Entra entonces en su estimación la amenaza sísmica, la exposición de personas, estructuras, bienes a esta amenaza, y la vulnerabilidad sísmica (en términos estructurales, económicos, sociales).

Efectivamente, el riesgo se define en torno a sus componentes principales: la amenaza (o peligro sísmico, definido anteriormente); la exposición (población, edificios, obras civiles, bienes, actividades económicas, servicios públicos, utilidades, infraestructura, expuesta en una área determinada); la vulnerabilidad (susceptibilidad o sensibilidad que posee el sistema ante una perturbación o evento adverso; puede ser social, económica, física, institucional, política, etc.).

Las principales etapas de un estudio de riesgo sísmico son entonces las siguientes:

- Identificación y caracterización de la amenaza sísmica (ver sección anterior);
- Identificación y caracterización de los niveles de exposición de la población, los bienes, las redes sociotécnicas;
- Identificación y caracterización de los niveles de vulnerabilidad socialdemográfica, socioeconómica, estructural;
- Identificación y caracterización de la resiliencia:
- Evaluación del riesgo sísmico.

En la Región Metropolitana de Santiago, no se han llevado a cabo estudios de riesgo sísmico que cumplan con estos pasos, considerando todas las fuentes de amenaza sísmica.

A nivel físico, para la incorporación de la vulnerabilidad en la estimación del riesgo sísmico se establecen modelos de exposición según las clases estructurales presentes en el territorio estudiado. Un primer estudio de cuantificación física de la vulnerabilidad de estructuras típicas en Chile publicado por Santa María et al. (2016) propone un método para la elaboración de un modelo nacional de exposición basado en información de censos e imágenes satelitales. El estudio define 18 categorías estructurales y establece tipologías, funciones de vulnerabilidad y costos de reparación para cada categoría. El estudio se limita a edificios residenciales e integra solo 4 tipos de estructuras (tres edificios de hormigón armado, una estructura de dos pisos de albañilería confinada) ; el método planteado podría aplicarse a otras estructuras comunes de Chile.

Cabe señalar que es importante para la caracterización y evaluación del riesgo sísmico, integrar un enfoque participativo, que se implementa al considerar los diferentes sectores -público, privado y sociedad civil- en estos estudios.

Escenarios futuros en caso que no se tomen medidas

Al año 2014, se estima que la Región Metropolitana de Santiago concentra aproximadamente 40% de la población nacional con 7.228.581 habitantes (INE, 2014). El crecimiento de Santiago se traduce en proyecciones de más de 8 millones de habitantes en la Región para el año 2030 (GORE RMS, 2014).

A nivel económico y financiero, la Región representa un gran polo de concentración. La economía regional representa cerca del 44% del PIB de Chile,

mientras 41% del total de empresas del país se ubican en la RMS, al igual que el 72% de las grandes empresas del país y el 90% de las empresas multinacionales (GORE RMS, 2014). Esta fuerte concentración de personas, bienes y estructuras, junto con la exposición a un alto peligro sísmico, hace de vital importancia identificar y caracterizar la amenaza sísmica de la región y establecer estudios de estimación del riesgo sísmico que permitan prevenir, mitigar, transferir riesgo, y preparar un potencial impacto.

Los estudios actuales establecen la posibilidad de un evento de magnitud Mw comprendida entre 6.6 y 7.4, con desplazamientos promedios de 1 a 4 m (Armijo et al., 2010; Perez et al., 2014). Para no subestimar el riesgo sísmico en la región, ni alarmar irresponsablemente a la población, es necesario continuar con una caracterización de la amenaza sísmica, incorporar las vulnerabilidades físicas y sociales.

Para una estimación cuantitativa del riesgo, se propone seguir los pasos presentados en la sección anterior:

- Identificación y caracterización de la amenaza sísmica (ver sección anterior);
- Identificación y caracterización de los niveles de exposición de la población, los bienes, las redes sociotécnicas;
- Identificación y caracterización de los niveles de vulnerabilidad socialdemográfica, socioeconómica, estructural;
- Identificación y caracterización de la resiliencia:
- Evaluación del riesgo sísmico.

Experiencias internacionales de interés para el aprendizaje en riesgo sísmico

Con respecto a la regulación y normativas relativas al riesgo sísmico en la Región, y en particular debido a la falla San Ramón, una revisión de experiencias en otras regiones con similares características de peligro puede ser de gran interés para la Región.

Sin limitarse a éstas, destacan en particular las experiencias siguientes:

- El **Estado de California de los Estados Unidos** también está expuesto a fallas sísmicamente activas que han sido identificadas y caracterizadas por métodos modernos. Los aprendizajes de los 20 últimos años de estudios científicos en E.E.U.U., en particular en las Universidades de la costa del Pacífico y con soporte de la *National Science Fundation*, pueden ser un aporte para diseñar estudios específicos a Chile.
- **Japón** destaca por tener un sistema de gestión y reducción del riesgo organizado y eficaz, Universidades y centros de investigación a la vanguardia internacional en temáticas de importantes nacional, regional e internacional. En particular, en el centro de investigación, innovación y tecnología de Tsukuba, diseñada en la década de los años 1960 para el

desarrollo científico, se encuentran el *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* (IISEE) y el *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention* (NIED).

- **Perú** ha desarrollado para la ciudad-región de Lima estudios avanzados de estimación de amenaza sísmica a través de colaboraciones internacionales, en particular con el *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention* -NIED- de Japón.
- **Colombia** ha diseñado e implementado una institucionalidad de gestión y reducción del riesgo de desastres a la vanguardia internacional y en acuerdo con los lineamientos internacionales del Marco de Acción de Hyogo y de Sendai. Sobresalen en particular el énfasis hacia la gobernanza, los enfoques locales y participativos, y la consideración global del riesgo.
- Desde 1988, el Centro Nacional de Prevención de Desastres -CENAPRED- de **México** se consolida como un órgano institucional cuyo rol es crear, gestionar y promover políticas públicas para le prevención de desastres reducción de riesgos a través de la investigación, el desarrollo, aplicación y coordinación de tecnologías; así como impulsar la educación, la capacitación y la difusión de una cultura preventiva y de autoprotección para la población ante la posibilidad de un desastre. El CENAPRED nace luego del gran terremoto de México de 1985, como una iniciativa del Gobierno Federal, con el significativo apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México -UNAM- y del Gobierno de Japón.

Implementación de la información para la gestión del riesgo sísmico en la RMS

Luego del diagnóstico de los estudios de peligro y riesgo sísmico en la RMS, presentamos a continuación un análisis del desarrollo y la implementación de la información relevante para la gestión del riesgo sísmico en la RMS: línea base sobre información relativa al riesgo sísmico, riesgo sísmico en las herramientas de ordenamiento territorial y mapa de actores clave en la formulación y uso de información pertinente.

Línea base sobre información relativa al riesgo sísmico

Catálogo sísmico de referencia

Los principales catálogos existentes y usualmente usados para estimación de peligro sísmico son:

- **Catálogo SISRA (Sistema de Información Sísmica Regional de América)**

Contiene datos entre 1471 y 1981.Catálogo con magnitudes Richter (Ms) anterior al catálogo CMT de la Universidad de Harvard, de referencia en la actualidad para estimación de tamaño de los terremotos (Mw), en la elaboración de la ley Gutenberg-Richter.

- **Catálogo USGS/NEIC (PDE)**

Contiene datos a partir del año 1973 a la fecha. Este catálogo presenta el problema de errores sistemáticos en la localización hipocentral (en comparación con determinación con redes locales), debido al sesgo que introduce el uso de estaciones telesísmicas localizadas en su mayoría en el hemisferio norte.

- **Catálogo Global Centroid-Moment-Tensor (CMT)**

Contiene datos a partir del año 1976 a la fecha. Este catálogo es completo a escala global para terremotos de magnitud Mw>7.0. Este catálogo presenta la ventaja de incorporar además el momento sísmico y el mecanismo focal de los terremotos.[2]

- **Catálogo del CSN**

Contiene datos paramétricos (hipocentro y magnitud) para Chile que satisface criterios de completitud para magnitudes superior a 4 a partir de los años 1990. Se requiere un análisis exhaustivo de verificación y validación de la data del catálogo de sismos chilenos obtenidos con la red local para satisfacer el criterio de a- completitud, b-homogeneidad en la estimación de la magnitud, c-calidad de la localización.

[2] Algunos autores plantean completitud con magnitudes superiores a 6.6.

Monitoreo sísmico

A excepción de la estación sismológica de Peldehue (estación sismológica operada por el Depto. de Geofísica de la U. de Chile y localizada en terrenos del Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile), los sismógrafos de la red regional de monitoreo sísmico fueron obtenidos e instalados a comienzos de los años 1980 en el marco de un proyecto de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) con fondos de la Organización de Estados Americanos (OEA). Este proyecto fue desarrollado e implementado por el profesor Edgar Kausel del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile -Premio Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas 2006- con el fin de estudiar la sismicidad en torno al reactor nuclear de La Reina. Cada estación sismológica estaba conformada por los sensores sísmicos (sismómetros de periodo corto), sistema de comunicaciones y sistema de adquisición análogos. La estación de Peldehue, con instalaciones de infraestructura y tecnología más compleja por pertenecer a la red sismológica mundial WWSSN (World-Wide Standardized Seismographic Network, primera red sismológica mundial estandarizada), registraba señales sísmicas del movimiento del suelo en tres componentes y cubriendo adicionalmente períodos más largos (frecuencia natural 0.1 Hz).

Los datos sísmicos se registraban en un tambor con inscripción de tinta, lo que volvía lento el proceso de análisis para propósitos de monitoreo sísmico en tiempo real, alerta temprana y el uso científico y/o ingenieril de los datos. La mayoría de las estaciones solo registraban la componente vertical (Z) del movimiento del suelo y las señales sísmicas eran totalmente inutilizables cuando se producían eventos locales mayores (M>6.5) a causa del estrecho rango dinámico que la tecnología analógica de estos sismógrafos.

Además de la *Red de Estaciones Telemétricas*, existía también una red de acelerógrafos que contaba con aproximadamente 10 instrumentos, que por su diseño estaba destinada fundamentalmente a fines de ingeniería, sin conexión a una central de procesos y sin posibilidad de monitoreo en tiempo real. Entre 1999 y 2000, el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile lleva a cabo con el apoyo del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago un proyecto de mejoramiento de la red metropolitana de monitoreo sísmico (Proyecto BID 20173670-0) con un presupuesto de M$200. Fue adicionalmente complementado por proyectos científicos de la Universidad de Chile.

La modernización de la red contempló la instalación de nuevas estaciones de monitoreo, la inclusión de sensores sísmicos de 3 componentes (X,Y,Z) de banda ancha y gran rango dinámico y de sensores de aceleración de 3 componentes (X, Y, Z) para ser usados por la ingeniería y la sismología, también el paso de la tecnología analógica a digital, la modernización de los medios de comunicaciones usados (Internet, MODEM, Radio, VSAT), el aumento de la cobertura de la Red, el almacenamiento de los datos sísmicos en discos duros, el registro digital y visualización en monitores, el mejoramiento de los procesos de análisis de la información sísmica, y el incremento de la resolución del sistema de adquisición.

El estado actual de la red sismológica en la Región Metropolitana manejada por el Centro Sismológico Nacional está reflejada en la siguiente imagen:

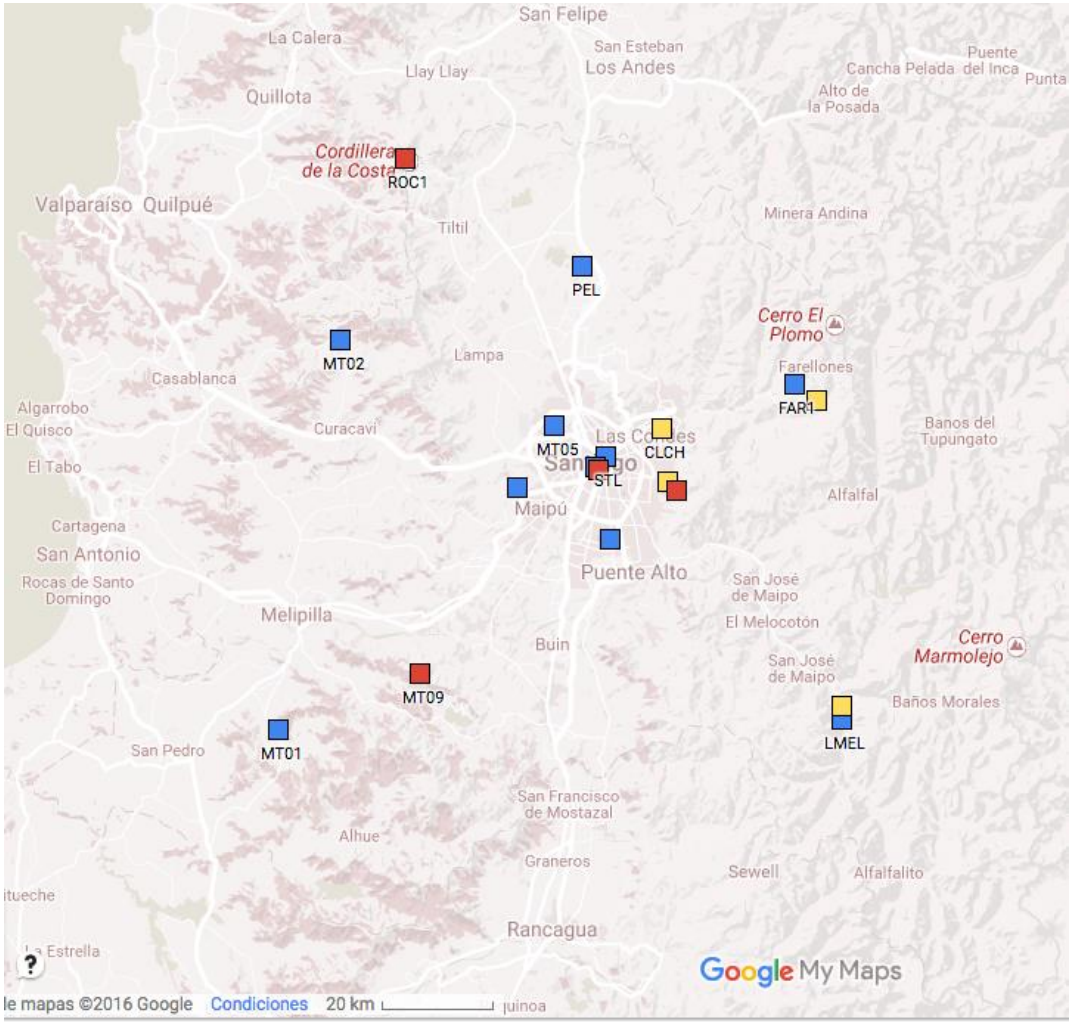

Figura 5 – Red sismológica del CSN en la Región Metropolitana de Santiago. En rojo, la red de estaciones GPS ; en amarillo, la red de sismómetros (registro de velocidad de partícula); en azul, la red de acelerómetros (registro aceleración de partícula).

	Codigo	Responsable	RED	Latitud	Longuitud	Altura	Digitalizador	BB	Acel.
1	ROC1	INTERNET	C	-32.976305	-71.0149	2186	Q330	Trillium 40	Episensor
2	PEL	INTERNET	G	-33.143667	-70.6853	690	Q330HR	STS-1	Episensor
3	MT02	CTR-DIR	C1	-33.259044	-71.137572	323	Q330	Trillium 120p	CMG-5T
4	FAR1	INTERNET	C	-33.327667	-70.2907	2770	Q330	Trillium 40	Episensor
5	MT05	RADIO	C1	-33.3919	-70.7381	765	Q330	Trillium 120	CMG-5T
6	CLCH	INTERNET	C	-33.396167	-70.5368	865	Earth Data	STS-2	---
7	STL	INTERNET	C1	-33.44049	-70.6428	616	Q330	Trillium 120	CMG-5T
8	DG01	INTRANET	C1	-33.45629	-70.66243	609	Q330	Trillium 120	Episensor
9	DG06	RADIO	C1	-33.4785	-70.5273	825	Q330	Trillium Compact	---
10	ME03	RADIO	C1	-33.49367	-70.5102	1087	Q330	Trillium 120	Episensor
11	LMEL	CTR-DIR	C	-33.8475	-70.2035	1510	Q330	STS-2	Episensor
12	MT01	CTR-DIR	C1	-33.86413	-71.2509	310	Q330	Trillium 120p	CMG-5T
13	MT09	RADIO	C1	-33.77622	-70.98867	1371	Q330	Triillium 120	CMG-5T
14	MT07	RADIO	C1	-33.77622	-70.98867	1371	Q330	Trillium 120	CMG-5T

Tabla 1 – Red de sismómetros del CSN

	nombre	Responsable	RED	Latitud	Longuitud	Altura	Digitalizador	BB	Acel.
1	ROC1	INTERNET	C	-32.976305	-71.0149	2186.0	Q330	Trillium 40	Episensor
2	PEL	INTERNET	G	-33.143667	-70.6853	690.0	Q330HR	STS-1	Episensor
3	MT02	CTR-DIR	C1	-33.259044	-71.137572	323.0	Q330	Trillium 120p	CMG-5T
4	FAR1	INTERNET	C	-33.327667	-70.2907	2770.0	Q330	Trillium 40	Episensor
5	MT05	RADIO	C1	-33.3919	-70.7381	765.0	Q330	Trillium 120	CMG-5T
6	STL	INTERNET	C1	-33.44049	-70.6428	616.0	Q330	Trillium 120	CMG-5T
7	DG01	INTRANET	C1	-33.45629	-70.66243	609.0	Q330	Trillium 120	Episensor
8	RCDM	RADIO	C	-33.4892	-70.8064	465.0	Earth Data	---	Episensor FBA
9	ME03	RADIO	C1	-33.49367	-70.5102	1087.0	Q330	Trillium 120	Episensor
10	ANTU	INTERNET	C	-33.569167	-70.6335	640.0	Earth Data	---	Episensor
11	LMEL	CTR-DIR	C	-33.8475	-70.2035	1510.0	Q330	STS-2	Episensor
12	MT01	CTR-DIR	C1	-33.86413	-71.2509	310.0	Q330	Trillium 120p	CMG-5T
13	MT07		C1	-32.976	-71.0156	2234.0	Q330	Trillium 120	CMG-5T
14	MT09	RADIO	C1	-33.77622	-70.98867	1371.0	Q330	Trillium 120	CMG-5T
15	RCDM	RADIO	C	-33.4892	-70.8064	465.0	Earth Data		FBA ES-T

Tabla 2 – Red de acelerómetros del CSN

	nombre	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud	Instalación	Institución
1	TLGT	Talagante	-70.988787	-33.776334	1344	2014/11/22	CSN
2	UAIB	Universidad Adolfo Ibañez	-70.50976704	-33.49324203	1077.5	2015/06/18	CSN
3	ROB1	Cerro El Roble	-71.01587161	-32.97585051	2209	2016/01/13	CSN
4	DGF1	Geofísica	-70.6561728	-33.4618048	581	2002/11/05	CSN
5	LMEL	Las Melosas	-70.203902	-33.826097	1910	2012/04/12	CALTECH
6	ROBL	Cerro El Roble	-71.015073	-32.976465	2228	2008/10/28	CSN
7	VNEV	Valle Nevado	-70.248888	-33.353333	3119	2003/01/08	DGF

Tabla 3 – Red de estaciones GPS del CSN

Además de los instrumentos del Centro Sismológico Nacional, existen en la región otros instrumentos instalados por proyectos académicos de investigación. Estos instrumentos no fueron incluidos en este estado actual ya que la información generada no es pública.

En 2016, se formalizó un proyecto entre el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (CSN) y la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), desarrollado por el profesor Gabriel Vargas del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, con el fin de obtener mayor información sobre la sismicidad en la zona del Piedemonte andino y de caracterizar la amenaza sísmica asociada a la falla de San Ramón, se adquirirán e instalarán cuatro estaciones multiparamétricas, una de ellas en un pozo profundo, a las que se suman tres estaciones adicionales puestas a disposición por la Comisión Chilena de Energía Nuclear y cinco por parte de la Universidad de Chile. Además, se realizarán campañas con estaciones geodésicas semipermanentes. En el marco de este proyecto, se establecerá una mesa de trabajo con la Intendencia Metropolitana, el Ministerio de Vivienda, Municipalidades, científicos e ingenieros.

Caracterización geofísica de la cuenca de Santiago

La cuenca de Santiago no ha sido completamente caracterizada desde las geociencias[3] y no existe hoy un modelo geofísico científicamente validado de ésta. Se está avanzando desde la Academia en la construcción de modelos geofísicos de la cuenca, insumo necesario para estudios pertinentes sobre el comportamiento sísmico de la cuenca, la hidromorfología de la cuenca, la amenaza de volcanismo, estimaciones de remociones en masa, etc. (Yañez, 2015 ; Leiva, 2016).

Las necesidades diagnosticadas en esta área son:

- Estudios de caracterización de la napa freática en la región

[3] *Existen datos de diferente naturaleza física que se han capturado en estudios geofísicos en la RM y en especial en la cuenca de Santiago: Algunos estudios de nivel freático se encuentran disponibles en ciertas instituciones del estado, academias y sector privado; Estudios de respuesta sísmica (H/V, SASW, etc) han sido realizado fundamentalmente en el ámbito académico; Estudios Geotécnicos y sondajes se encuentran disponibles también en el ámbito académico; Estudios MT y otros métodos electromagnéticos y resistivos se han realizado en ciertas zonas de la RM, pero en lo fundamental no se han integrado y se encuentran en el ámbito académico.*

- Densificación de medidas geofísicas en la RMS
- Base de datos pública de información geotectónica en la región

Infraestructura crítica

La infraestructura crítica corresponde a toda aquella respecto de la cual el Gobierno y la sociedad dependen para funcionar. Son esenciales para las capacidades de resiliencia ante desastre y corresponden a los principales foco de esfuerzos de restauración una vez ocurrido el evento.

Los componentes de la infraestructura que pueden ser parte de la infraestructura crítica (ISDR, 2010):

- Transporte (por carretera, aéreo, marítimo, pista, ríos)
- Comunicación (teléfono, Internet, radio)
- Energía (minas y extracción, refinerías, generación, transporte, transmisión)
- Agua (tratamiento y distribución)
- Saneamiento
- Comercio (Finanzas, banca, puertos)
- Gobierno
- Educación
- Salud (clínicas, hospitales) y la salud pública
- Agricultura y alimentación

Dicho lo anterior, y siguiendo el informe denominado “Infraestructura Crítica para el Desarrollo. Bases para un Chile Sostenible 2016-2025” de la Cámara Chilena de la Construcción, es posible agrupar la infraestructura crítica en tres ejes estratégicos de estudio:

a) infraestructura basal (agua, energía y telecomunicaciones),
b) infraestructura de apoyo logístico (vialidad interurbana, aeropuertos, uertos y ferrocarriles) y,
c) infraestructura de uso social (vialidad urbana, espacios públicos, educación, hospitales y cárceles)

Este análisis no integra la componente de riesgo sísmico en los sistemas estudiados pero podría ser un primer paso hacia la evaluación del estado de las infraestructuras críticas ante sismo.

Evidentemente, no toda la estructura e infraestructura de la Región necesitan estar funcionando en caso de contingencia sísmica ; los requerimientos de desempeños de esta infraestructura es dependiente de la amenaza y es por ello necesario conducir estudios de relevamiento de la información relativa a infraestructura críticas en la Región para los distintos peligros detectados. Cabe destacar que para realizar un catastro completo de la infraestructura crítica en la Región se deberá recurrir a diversos actores de los sectores públicos, privados y asociativos.

Las necesidades diagnosticadas en esta área son:

- Catastro de la infraestructura crítica a nivel regional y con alcance nacional
- Evaluación estructural de la infraestructura crítica en la RMS
- Estudio de efectos en cadena y propagación de riesgos
- Análisis de los sistemas y procesos críticos

Mapas de peligro y riesgo sísmico

Entre la información existente, además de los antecedentes científicos presentados anteriormente, cabe destacar que el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) dispone de información que puede contribuir al estudio de la amenaza sísmica regional y ha publicado dos mapas en esta problemática. El mapa de Fallas Geológicas y peligro volcánico de la región Metropolitana de Santiago (SERNAGEOMIN, 2004) se basa en información geológica de la institución y en memorias de títulos para presentar los trazados de fallas en la región. No incluye los últimos antecedentes relativos a la Falla San Ramón ni estimación de peligro validados por publicaciones científicas. El mapa de Respuesta sísmica de la región Metropolitana de Santiago (SERNAGEOMIN, 2004) determina de manera cualitativa la respuesta sísmica de Santiago a partir de las observaciones de los daños ocasionados por el terremoto de Valparaíso de 1985. No incluye microzonificación sísmica, efecto de sitio ni la amenaza asociada a la Falla San Ramón.

Las necesidades diagnosticadas en esta temática son:

- Mapa de peligro sísmico a partir de estudios disponibles (mapa de orden 0)
- Estudios de determinación de peligro sísmico en la falla San Ramón por manejo de escenarios (método determinístico)
- Completar catálogos sísmicos regionales para estudios probabilistas de estimación de peligro sísmico
- Estudios para determinación de fórmulas de atenuación regionales
- Microzonificación de la Región Metropolitana de Santiago
- Estudios de mapeo de las fallas geológicamente activas en la RMS
- Mapa de la infraestructura crítica de la región
- Catastro estructural con tipologías estructurales definidas
- Curvas de vulnerabilidad de las clases estructurales existentes en la RMS
- Mapa de indicadores de vulnerabilidad en la región

Normas técnicas relativas a la construcción sísmica

En Chile, el Instituto Nacional de Normalización (INN) -fundación de Derecho Privado, sin fines de lucro- es el organismo técnico encargado de fomentar, coordinar y avalar las normas técnicas chilenas (NCh), entre éstas, aquellas obligatorias en el marco de la construcción sismo resistente.

Las principales bases técnicas del diseño sísmico en Chile son:

- Norma NCh 433. Of. 96. de Diseño Sísmico de Edificios

Esta norma fija disposiciones sobre diseño estructural, modelos de análisis, diseño de fundaciones, diseño de elementos segundarios. Se divide el territorio nacional en tres zonas sísmicas y se propone una zonificación sísmica propia por comunas en la Región Metropolitana de Santiago. Considera 4 tipos de suelos de fundación y 4 categorías de edificios según sus usos.

Luego del terremoto del Maule de 2010, se llevó a cabo una revisión de esta norma que terminó en la incorporación de nuevos espectros de diseño sísmico (a partir de registros del 27F-2010) y un mejoramiento de la clasificación del suelo. Sin embargo, no se modificó la macrozonificación de referencia.

- Norma NCh 2369 de Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales

Esta norma fue diseña en vista de otorgar mayor seguridad a las instalaciones industriales con respecto a la norma NCh 433, y busca evitar el colapso de las estructuras y además de mantener la continuidad de operación de la industria nacional.

El artículo 4.1.6 de esta norma técnica señala que se deben para la ubicación de la instalación industrial se deben considerar otros fenómenos tales como el efecto de sitio, los riesgos de maremotos, el potencial desplazamiento por fallas y/o deslizamiento de tierras, la licuefacción.

Define la dimensión Crítica de las obras (obras peligrosas, vitales o esenciales).

- Norma NCh 2745 de Análisis y Diseño Sísmico de Edificios con Aislación Sísmica

Norma publicada en 2003 para el diseño de edificios que cuentan con aislación sísmica como sistema de reducción de vibraciones.

- Norma NCh 3. Of. 1961 de Escala de intensidad de los fenómenos sísmicos

Esta norma establece la escala de grados para estimar la intensidad de los fenómenos sísmicos.

Marco normativo sobre ordenamiento territorial y/o riesgo sísmico

- **Constitución Política de Chile de 1980.**
  - **Artículo 1°, inciso 4°:**
    - *Es deber del Estado resguardar la seguridad nacional, dar protección a la población y a la familia, propender al fortalecimiento de ésta, promover la integración armónica de todos los sectores de la Nación y asegurar el derecho de las*

personas a participar con igualdad de oportunidades en la vida nacional.

- **Artículo 32: Atribuciones del Presidente de la República.**

  - *N° 5: Declarar los estados de excepción constitucional en los casos y formas que se señalan en esta Constitución;*

  - *N° 17: Disponer de las fuerzas de aire, mar y tierra, organizarlas y distribuirlas de acuerdo con las necesidades de la seguridad nacional;*

  - N° 20: 2% Constitucional en caso de necesidades impostergables derivadas de calamidades públicas, de agresión exterior, de conmoción interna, de grave daño o peligro para la seguridad nacional

- **Ley 16.282 Fija Disposiciones para casos de Sismos o Catástrofes, Establece Normas para la Reconstrucción de la zona afectada por el sismo de 28 de Marzo de 1965 y Modifica la Ley N° 16.250**

  Esta ley, dictada en 1965, fue la primera normativa de rango legal específica del país, concebida para hacer frente a situaciones de sismos o catástrofes que provoquen daños de consideración en las personas y/o sus bienes.

  Su operación radicaba en la conducción de las acciones por parte del Presidente de la República, facultándolo para dictar decretos supremos fundados señalando las localidades o sectores geográficos que hayan sido afectadas, así como la potestad de reorganizar servicios públicos y/o de disponer de recursos excepcionales.

- **Decreto Ley N° 369 de 22 de marzo de 1974:** creó la Oficina Nacional de Emergencia, como una repartición pública encargado de planificar, coordinar y ejecutar las actividades pertinentes en casos de emergencias

- **DFL N° 458 de 1976: Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC)**

  Este texto corresponde a la base del derecho urbanístico y de construcción chileno, junto con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

  Es el cuerpo legal que contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares en las

acciones de planificación urbana, urbanización y las construcciones, que se desarrollen en todo el territorio de la nación.

La LGUC determina que las Dirección de Obras Municipales son los organismos encargados de aplicar y fiscalizar que se cumplan todas las normas legales y reglamentarias sobre urbanismo y construcciones en su respectiva comuna.

- **D.S. N° 155 de 1977 Ministerio del Interior:** primer *"Plan Nacional de Emergencia"*. Este instrumento legal, entregó la coordinación de las actividades de prevención y de reacción en situaciones de calamidades públicas al corresponde al Ministerio del Interior.

- **Decreto N° 104 de 1977, Fija El Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado Del Titulo I De La Ley 16.282**

- **Decreto Ley 3.519 de 1980, Aprueba Convenio Multinacional para la Prosecución de las Actividades del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS)**

- **Ley Orgánica Constitucional de los Estados de Excepción N° 18.415 de 1995.**

- **Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)**
  La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones corresponde al cuerpo reglamentario de la Ley General de Urbanismo y Construcciones y junto a ella son la base del derecho urbanístico chileno. Contiene las disposiciones reglamentarias de la ley, regula los procedimientos administrativos, el proceso de la planificación urbana, la urbanización de los terrenos, la construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en la urbanización y la construcción.

La OGUC define al ***"Estudio de riesgos"*** como un *"documento técnico elaborado por uno o más profesionales especialistas, cuyo objetivo es definir peligros reales o potenciales para el emplazamiento de asentamientos humanos"*.

Asimismo, esta Ordenanza introduce la Planificación Urbana Intercomunal que regula el desarrollo físico de áreas pertenecientes a diversas comunas y que se integran en una unidad urbana. En estas zonas se deberá definir las áreas de riesgo de nivel intercomunal. Mediante estudios de mayor detalle, los planes reguladores comunales podrán precisar o disminuir dichas áreas de riesgo y zonas no edificables.

Finalmente, la OGUC define el Plan Regulador Comunal, delegando dicha responsabilidad a los Municipios, los que deben realizar un diagnóstico territorial de su comuna e incluirlos en un "Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental".

La OGUC al definir las "áreas de riesgo", señala que ellas se entienden como: aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos. Las "áreas de riesgo" se determinarán en base a las siguientes características:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

- **Decreto Supremo N° 156 de 2002: Plan Nacional de Protección Civil.**

Conceptualiza la Protección Civil como la protección a las personas, sus bienes y el ambiente, lo que se lleva a cabo a través de la gestión del riesgo

- **Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU)**

El 4 de Marzo de 2014 fue publicada la Política Nacional de Desarrollo Urbano con el objetivo de orientar las prácticas de políticas públicas en una perspectiva de construcción de ciudades más equitativas y justas, más integradas socialmente, más democráticas y participativas.
Para velar por la implementación de la Política Urbana, en el mismo Decreto que la aprueba, se instruye la creación de un Consejo Asesor de la Presidenta de la República, denominado Consejo Nacional de Desarrollo Urbano. Se trata de un órgano consultivo y asesor que de forma permanente formula propuestas de reformas y verifica el avance en la implementación y el cumplimiento de la PNDU. Está compuesto por distintos sectores del Estado con competencias directas en materia de desarrollo urbano (MINVU, MOP, MTT, Asociación Chilena de Municipalidades, …), de sectores de la industria (Cámara Chilena de la Construcción,), del mundo académico (U. Chile, P.U.C., …) y de organismos de la sociedad civil (Colegio de Arquitectos, Colegio de Ingenieros, ONG Ciudad Viva, etc.).
La PNDU plantea en sus objetivos (MINVU, 2014):

"Objetivo 3.2. Identificar y considerar los riesgos naturales y antrópicos
3.2.1. Fomentar la investigación y estudio sobre los riesgos naturales y antrópicos asociados al uso del territorio para asentamientos humanos, incorporando dicha información a los Instrumentos de Planificación Territorial.
3.2.2. Integrar el concepto de reducción de riesgo de desastres en los Instrumentos de Planificación Territorial de las diferentes escalas.
3.2.3. Complementar las disposiciones sobre riesgos naturales incorporadas en los Instrumentos de Planificación Territorial con planes de monitoreo, de gestión de emergencias, de información y capacitación ciudadana. Asegurar que se construyan y señalen adecuadamente las vías de evacuación y las áreas de seguridad.
3.2.4. Establecer reglas objetivas para el emplazamiento de construcciones en áreas de riesgo, bajo requisitos de estudios específicos, de medidas de prevención o la ejecución de obras de resguardo o mitigación.
3.2.5. Fomentar en todas las escalas la gestión y prevención de riesgos por pasivos ambientales."

- **Estrategia Regional de Desarrollo (ERD)**

La Estrategia Regional de Desarrollo 2012-2021 es el principal instrumento de planificación en la Región Metropolitana de Santiago, orientando las acciones e instrumentos de financiamiento gubernamental, especialmente con el Fondo Nacional de Desarrollo Regional. No se trata de una estrategia normativa, sino indicativa.
Los objetivos de la ERD proponen (GORE-RMS, 2012):

- Asegurar un equilibrio en la localización de infraestructura peligrosa y/o molesta en la región (obj. 3.4) ;
- Promover un uso responsable y seguro del territorio, en relación con riesgos potenciales por amenazas naturales y antrópicas en la región (obj. 3.5).

- **Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS)**

El PRMS propone identificar los tipos de zona por los que pasa la falla San Ramón tomando un radio de acción, según tipos de zonas (habitacional; Infraestructura Metropolitana; Equipamiento; Áreas de Valor Natural; Áreas de Riesgo; Áreas de Interés Silvoagropecuario). Las disposiciones del Plan Metropolitano se deben cumplir obligatoriamente en los instrumentos de planificación local de estas comunas.

Entre 2011 y 2012, el MINVU encargó varios estudios de riesgo con vista a una modificación PRMS para tomar en consideración los nuevos antecedentes científicos relativos a la Falla San Ramón (Secretaría Regional Ministerial de Planificación y Coordinación de la Región Metropolitana de Santiago, 2011; Secretaría Regional Ministerial de Planificación y Coordinación de la Región Metropolitana de Santiago, 2012).

- **Planes Reguladores Comunales (PRC)**

La Orgánica Constitucional de Municipalidades (art. 6º de la Ley Nº 18.695) señala que la gestión municipal contará con los siguientes instrumentos:

a. El plan comunal de desarrollo y sus programas,
b. Plan regulador comunal, y
c. Presupuesto municipal anual.

En este marco, los PRC materializan a nivel comunal los instrumentos de planificación elaborados como proyectos por la Dirección de Obras Municipales (DOM), estableciendo en particular normas adecuadas sobre condiciones de higiene y seguridad en los edificios y espacios urbanos; y de comodidad en la relación funcional entre las diferentes zonas del territorio y sus usos (residencial, equipamiento, actividades productivas, infraestructura, espacio público, áreas verdes, áreas de riesgo, áreas de proyección).

- **Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO)**

El artículo 7º de la Ley Nº 18.695 indica que el Plan de Desarrollo Comunal es el instrumento rector en la planificación y gestión municipal, el cual, debe contemplar todas aquellas acciones orientadas a satisfacer las necesidades de la comunidad local y a promover su avance social, económico y cultural.

Su vigencia mínima será de cuatro años, sin que necesariamente deba coincidir con el período de desempeño de las autoridades municipales electas por la ciudadanía. Su ejecución deberá someterse a evaluación periódica, dando lugar a los ajustes y modificaciones que correspondan

Entre sus principios orientadores destacan la participación democrática, la coherencia interna y externa del instrumento de planificación, la flexibilidad del Plan para adaptarse a un entorno cambiante y a los riesgos del territorio, su enfoque estratégico del desarrollo y, a la vez, su condición de instrumento operativo para guiar las decisiones de las autoridades comunales.

- **Manuales guías e instructivos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo**

Entre 2011 y 2013, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, (SUBDERE) publicó una serie de manuales guías para el ordenamiento territorial, en acuerdo con los lineamientos del Marco de Acción de Hyogo 2005 – 2015, con el fin de orientar la elaboración de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT).
En la guía para el "Análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial" (SUBDERE, 2011), se proponen elementos de base para una metodología de estimación de amenaza sísmica, y establece las siguientes etapas :

i) Análisis histórico y bibliográfico
ii) Catálogo sísmico y un análisis de éste
iii) Definición del sismo de control
iv) Determinación de la magnitud y ubicación del epicentro del sismo de control
v) Caracterización sísmica del suelo local
vi) Estudio de las condiciones geológicas del lugar.

- **Ley N° 20.444, Fondo Nacional De Reconstrucción**

La Ley 20.444 del 28 de mayo de 2010, que crea el Fondo nacional de la reconstrucción y establece mecanismos de incentivo tributario a las donaciones efectuadas en caso de catástrofes, creó el Fondo Nacional de la Reconstrucción, que está formado por las donaciones y otros aportes que efectúe el sector privado, para financiar la construcción, reconstrucción, reposición, remodelación, restauración o rehabilitación de infraestructura, instalaciones, patrimonio histórico arquitectónico de zonas patrimoniales o zonas típicas , obras y equipamiento afectados por terremotos, maremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, aluviones u otras catástrofes que puedan ocurrir en el territorio nacional, y estableció mecanismos de incentivo tributario a tales donaciones o aportes.

- **Boletín 7550-06 que crea el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias**

Proyecto de Ley que crea una nueva institucionalidad en riesgos y emergencias, que remplaza a la actual ONEMI. Actualmente en discusión en el Senado.

Riesgo sísmico en las herramientas regionales de planificación territorial

Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS)

El proyecto de Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS) se inició en 1996 con el objeto de apoyar la función de ordenamiento territorial que la ley Nº19.175 otorga a los Gobiernos Regionales, de garantizar el desarrollo social, cultural y económico de la región, promoviendo un desarrollo territorial equitativo, armónico y sustentable; esto a través de una reflexión estratégica sobre el ordenamiento territorial, o sea, construyendo Política Pública.

El Lineamiento Estratégico D del OTAS se define como “Reducir los niveles de riesgos asociados a la localización de las actividades humanas” y el Objetivo Específico D1 detalla que se busca “Condicionar los usos en áreas de riesgos naturales e implementar obras para el resguardo de la población”.

Entre los años 1996 y 2005, un proyecto de elaboración de propuesta de OTAS fue ejecutado en conjunto con la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile, con el apoyo y asesoría de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Este trabajo incorporó un análisis del conjunto del territorio que originó el Marco Orientador para el Ordenamiento Territorial (MOT). El MOT, como propuesta de territorialización de la Estrategia de Desarrollo Regional (EDR), fue el resultado de la Planificación Ecológica Regional (1996), de los Planes Sectoriales (2003), y del Diagnóstico Territorial Integrado (2004).

A pesar de haber abordado la amenaza sísmica en sus estudios, el documento final del OTAS no integra el riesgo sísmico y se limita a considerar los riesgos asociados a las inundaciones, remociones en masa y la localización de infraestructura de manejo de residuos sólidos domiciliarios (GORE RMS, 2005).

Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT)

El Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) es definido como el método que posibilita la especialización de los objetivos económicos, sociales, culturales y ecológicos de la sociedad, todos los cuales están contenidos en las Estrategias de Desarrollo Regional (EDR).

La propuesta del PROT de la Región Metropolitana de Santiago establece como Objetivo Ambiental N°3: "*Controlar la urbanización sobre áreas propensas a riesgos potenciales por amenazas naturales mediante la identificación de las áreas amenazadas localizadas al interior o cercanas a las áreas urbanas o periurbanas. En este caso trata de las unidades: asentamientos cordilleranos, piedemonte y pre cordillera del área metropolitana de Santiago, cuenca de Chicureo, subcuenca Colina-Lampa, río Mapocho y cordón Manquehue-San Cristóbal - cerro Renca, área metropolitana de Santiago, Lo Aguirre-Rinconada, subcuenca Maipo Sur, río Mapocho sur occidental, borde occidental norte (Curacaví-Tiltil), borde occidental sur (Alhué).*" (GORE RMS, 2014).

A pesar de reconocer la importancia del tema de amenazas naturales al incluirlo en sus Objetivos Ambientales, la elaboración del PROT considera únicamente en su análisis los riesgos asociados a las remociones en masa, los incendios forestales y las inundaciones, quedando entonces fuera del estudio la amenaza sísmica y volcánica (GORE RMS, 2013).

Mapa de actores en la producción e implementación de información relevante para la gestión del riesgo sísmico en la RMS

Actores académicos

Programa de Riesgo Sísmico (PRS-AIN[4]) – FCFM, U. Chile
Departamento de Geofísica – FCFM, U. Chile
Departamento de Ingeniería Civil – FCFM, U. Chile
Departamento de Geología – FCFM, U. Chile
Centro Sismológico Nacional – FCFM, U. Chile
Núcleo de Geofísica Aplicada – FCFM, U. Chile
Departamento de Geografía – FAU, U. Chile
Programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile, CITRID
Centro de Investigación para la Gestión Integrada de los Desastres Naturales, CIGIDEN de la PUC.

Actores del sector público

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, GORE-RMS
Municipalidades de la RMS
Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN
Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, ONEMI

[4] *AIN: Actividad de Interés Nacional*

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, SUBDERE
Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN
Instituto Nacional de Estadísticas, INE
Ministerio de Salud
Ministerio de Obras Públicas
Ministerio de Vivienda y Urbanismo
Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
Ministerio de Energía
Ministerio del Medio Ambiente
Superintendencia de Valores y Seguros de Chile

Actores del sector privado y/o asociativo

Instituto Nacional de Normalización, INN
Colegio de Ingenieros de Chile
Colegio de Geólogos de Chile
Colegio de Geógrafos de Chile
Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, ACHISINA
Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales
Sociedad Chilena de Ingeniería Geotécnica
Cámara Chilena de la Construcción
Movimiento Por La Precordillera Santiago Falla

Priorización de las acciones y los gaps más relevantes detectados en la RMS

Presentamos a continuación una tabla recapitulativa de las acciones relativas a la gestión del riesgo sísmico existentes o necesarias en el marco de los sistemas resilientes.

Para ello, se identifican las categorías siguientes de acciones:

- Los **Proyectos** corresponden a las acciones que incluyen elementos físicos (edificios, infraestructuras, espacios públicos, redes, etc.), es decir las medidas estructurales de reducción de riesgo;
- Las **Iniciativas** corresponden a los planes, iniciativas sociales, estrategias, programas, prácticas, leyes, es decir las medidas no estructurales de reducción de riesgo;
- Los **Gaps** corresponden a carencias, faltas o ausencias de acciones detectadas como necesarias o útiles en la construcción y consolidación de la resiliencia en la RMS.

Las principales acciones detectadas en la RMS, son:

	Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Relación con otros TEs	Comentarios
1	Mapa de orden 0 de peligro sísmico	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Podría ser ejecutado por el Programa de Riesgo Sísmico de la U. Chile (PRS) y CITRID para el GORE.
2	Incluir la amenaza sísmica en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial	Gap	Alta	Corto	5. Desarrollo y Competitividad	Responsabilidad del GORE, actualmente ausente. El PRS/CITRID tienen la experticia para ejecutarlo.
3	Catálogo sísmico de referencia que contemple todas las fuentes sismogénicas que inciden en la amenaza sísmica en la RM	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Podría ser liderado por el PRS. Estudio para disponer de un catálogo sísmico de referencia, es fundamental para cualquier estudio de riesgo sísmico.

4	Protocolos regionales ante emergencia sísmica	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Revisar y formular protocolos en caso de emergencia sísmica de las instancias regionales con las instancias municipales. Responsabilidad GORE-Municipalidades-ONEMI
5	Zonas de seguridad ante emergencia sísmica	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Delimitación, señalética y difusión de la información sobre zonas de seguridad. Trabajo GORE-Municipalidades-ONEMI. Apoyo U. Chile.
6	Catastro de infraestructura crítica	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Podría ser liderado por el PRS y CITRID para el GORE.
7	Mapa de las fallas geológicamente y sísmicamente activas en la RMS	Gap	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Sobre la base del mapa existente del Sernageomin, se debe avanzar hacia un mapa de las fallas activas de la región, necesario para cualquier planificación territorial. Podría ser un trabajo conjunto U.Chile-Sernageomin.
8	Estudios de vulnerabilidad de las redes e infraestructuras críticas en la RMS	Gap	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Podría ser liderado por el PRS y CITRID para el GORE.
9	Estudio de desastres inducidos por sismos (inundaciones, remociones en masa, incendios)	Gap	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Podría ser liderado por el PRS y CITRID para el GORE.

10	Revisión de la zonificación sísmica de la RMS	Gap	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Se debe construir un proyecto de investigación que permita construir una microzonificación sísmica en la región. Experticia está en el PRS.
11	Programas de divulgación de la información y conocimiento sobre riesgo sísmico	Gap	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Mayor vínculo GORE, Municipalidades, Universidades, y Escuelas para la difusión del conocimiento hacia la ciudadanía.
12	Comité científico para el riesgo sísmico	Gap	Media	Corto	4. Gestión de Riesgo	Perenizar la relación con los referentes científicos sobre riesgo sísmico a nivel nacional y regional. Expertos en el área en el PRS, CITRID.
13	Plataforma abierta de datos públicos relativos a riesgo sísmico	Gap	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Disponer para los diferentes actores una plataforma online de información pertinente. Podría ser coordinado por el GORE u ONEMI.
14	Capacitación de los funcionarios regionales y municipales	Gap	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Garantizar formaciones continuas para funcionarios regionales y municipales a cargo de temas de gestión del riesgo. Liderado por el GORE y Municipalidades.
15	Manuales para gestión de riesgo sísmico específicos para la RMS	Gap	Media	Mediano	4. Gestión de Riesgo	A partir de los manuales generales de la SUBDERE, proponer una bajada específica a la región. Liderado por el GORE.

16	Instancias de participación de las comunidades para la innovación en la gestión del riesgo	Gap	Media	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Existen antecedentes por ej. el concurso Aulab del Laboratorio de Gobierno. Se podría desarrollar nuevas instancias para potenciar un enfoque "bottom-up" lideradas para el GORE.
17	Workshop interregional	Gap	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Compartir lecciones aprendidas y desarrollar nuevas prácticas con las otras regiones de Chile. Organizado por el GORE junto a la academia.
18	Workshop internacional	Gap	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Compartir lecciones aprendidas y desarrollar nuevas prácticas con otras ciudades del mundo. Organizado por el GORE junto a la academia.
19	Actualizar las mallas curriculares sobre ciencias de la Tierra	Gap	Baja	Largo	3. Medio Ambiente	La Región puede ser motor de un voluntad de actualización de los contenidos curriculares en la educación de los niños y jóvenes en temáticas de sismicidad. Responsabilidad Ministerio Educación.
20	Plan Regional de Ordenamiento Territorial	Plan	Alta	Corto	5. Desarrollo y Competitividad	El GORE RMS está en la última etapa de validación de su PROT.
21	Plataforma de datos sísmicos	Plan	Alta	Corto	5. Desarrollo y Competitividad	El PRS (U. Chile) está desarrollando una plataforma de visualización de información sísmica para gran público y para público especializado.

22	Comités de Operaciones de Emergencia	Plan	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Existen a nivel regional y comunal. Solo tienen una dimensión de emergencia. Habría que pensar en comités regional y locales desde un enfoque proactivo de gestión del riesgo. Responsabilidad ONEMI, GORE y Municipalidades.
23	Estudio de la amenaza sísmica relativa a la Falla San Ramón	Plan	Alta	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Estudios que están siendo llevados por la U. Chile (PRS, G. Vargas) necesitan apoyo de la región para continuar y para implementar los resultados.
24	Planes Reguladores Comunales	Plan	Alta	Mediano	5. Desarrollo y Competitividad	Los planes existen a nivel comunal. Se deben dar indicaciones sobre como considerar el riesgo sísmico y llevar a cabo una revisión. Municipalidades y GORE.
25	Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres	Plan	Alta	Largo	4. Gestión de Riesgo	Coordinada por ONEMI, convoca diferentes sectores
26	Modelo geofísico de la cuenca de Stgo	Plan	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Proyecto que se inició en el Programa de Riesgo Sísmico y el Núcleo de Geofísica Aplicada (U. Chile) y necesita continuidad.
27	Mapa "Fallas Geológicas y peligro volcánico de la región Metropolitana de Santiago" (SERNAGEOMIN,	Plan	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Deben ser actualizados y completados ya que no representan la información actualmente disponible. Responsabilidad del Sernageomin, apoyo

	2004)					disponible en la U. Chile.
28	Mapa "Peligro geológico de remociones en masa e inundación en la cuenca de Santiago" (SERNAGEOMIN, 2003)	Plan	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Deben ser actualizados y completados ya que no representan la información actualmente disponible, y considerar amenazas inducidas por sismo. Responsabilidad del Sernageomin, apoyo disponible en la U. Chile.
29	Mapa "Respuesta sísmica de la región Metropolitana de Santiago " (SERNAGEOMIN, 2004)	Plan	Media	Mediano	3. Medio Ambiente	Deben ser actualizados y completados ya que no representan la información actualmente disponible. No corresponde a una microzonificación sísmica de la RMS.Responsabilidad del Sernageomin, apoyo disponible en la U. Chile.
30	Norma NCh 433. Of. 96. de Diseño Sísmico de Edificios	Plan	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Es necesario revisar las normas y considerar todas las fuentes de terremotos. Actores: INN, UChile, PUC, Achisina, CChC, Colegio de Ingenieros.
31	Norma NCh 2369 de Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales	Plan	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Es necesario revisar las normas y considerar todas las fuentes de terremotos. Actores: INN, UChile, PUC, Achisina, CChC, Colegio de Ingenieros.

32	Norma NCh 2745 de Análisis y Diseño Sísmico de Edificios con Aislación Sísmica	Plan	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Es necesario revisar las normas y considerar todas las fuentes de terremotos. Actores: INN, UChile, PUC, Achisina, CChC, Colegio de Ingenieros.
33	Uso de redes sociales para monitoreo sísmico y diagnóstico de intensidades	Plan	Baja	Mediano	5. Desarrollo y Competitividad	Investigación liderada por B. Poblete (U. Chile).
34	Estudio de vulnerabilidad estructural ante sismo	Plan	Baja	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Continuar estudios de caracterización estructural y modelos de exposición. Estudios en la U. Chile y PUC.
35	Programa "Chile Preparado" de la ONEMI	Plan	Baja	Largo	4. Gestión de Riesgo	Programa de preparación de la ONEMI con alcance nacional y regional.
36	Visor "Chile Preparado" de la ONEMI	Plan	Baja	Largo	4. Gestión de Riesgo	No hay información sísmica, la información de los otros riesgos debe ser actualizada y validada científicamente, no hay información de vulnerabilidad ni de preparación/prevención /mitigación.
37	"Plan de seguridad escolar" de ONEMI	Plan	Baja	Largo	4. Gestión de Riesgo	Instrumento de ONEMI articulador de los variados programas de seguridad destinados a la comunidad educativa.
38	Uso de la red de celulares con acelerógrafos para monitoreo sísmico	Plan	Baja	Largo	5. Desarrollo y Competitividad	Plan en estudio en el CSN.

39	Norma NCh 3. Of. 1961 de Escala de intensidad de los fenómenos sísmicos	Plan	Baja	Largo	4. Gestión de Riesgo	No se diagnostica necesario una revisión.
40	Programa "Preparación Inclusiva" de ONEMI	Plan	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Campaña de ONEMI.
41	Programa "Mujeres proactivas durante la emergencia"	Plan	Media	Largo	4. Gestión de Riesgo	Campaña de ONEMI y del Servicio Nacional de la Mujer.
42	Monitoreo sismicidad en zona cordillerana	Proyecto	Media	Corto	3. Medio Ambiente	Proyecto de la U. Chile, el CSN y ONEMI.
43	ExpoSismo	Proyecto	Media	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Proyecto de divulgación científica para público general y especialmente niños del Programa de Riesgo Sísmico con el programa Explora.
44	Museo de la sismología y la prevención del riesgo sísmico	Proyecto	Media	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Proyecto del Programa de Riesgo Sísmico de museo en el cerro Santa Lucía para contribuir a la cultura de prevención. Posibilidad de acción del GORE y Municipalidad de Stgo.
45	Viviendas sociales con disipadores sísmico	Plan	Baja	Mediano	5. Desarrollo y Competitividad	Investigación del prof. Ricardo Tapia (U. Chile) en conjunto con el MINVU.
46	Prototipos de viviendas de emergencia	Proyecto	Baja	Mediano	4. Gestión de Riesgo	Proyecto proveniente del Fondef de Viviendas de Emergencias, liderado por R. M. Garay y R. Tapia (U. Chile).

47	Quiero mi barrio	Plan	Baja	Largo	4. Gestión de Riesgo	Programa de Recuperación de Barrios “Quiero Mi Barrio” del MINVU con enfoque comunitario, reducción de vulnerabilidad física y social.

Evaluación del desempeño de la región en relación a las cualidades de sistemas resilientes

En continuidad con el análisis de diagnóstico de la resiliencia ante riesgo sísmico en la RMS, proponemos a continuación una revisión del desempeño de la región para cada una de las cualidades de sistemas resilientes descritas en el marco conceptual del presente informe:

Cualidad	Desempeño de la región
Reflexividad	- La región ha iniciado, apoyado y sido gestor de proyectos y estudios para la planificación y ordenamiento territorial que incluyan el riesgo sísmico. A pesar de ello, la última herramienta de planificación regional no incluye la amenaza sísmica. - La región dispone de una gran concentración de instituciones académicas e investigación de alto nivel y vanguardia científica que contribuyen a la reflexión y análisis en esta materia.
Creatividad	- Gracias a la fuerte penetración tecnológica en la región, existen capacidades e iniciativas que buscan potenciar el uso original de tecnologías para la reducción del riesgo de desastres. - Existen proyectos académicos para potenciar el uso de redes sociales para localización de eventos sísmicos y diagnósticos rápidos de daños para la gestión de la emergencia. - El CSN inició un proyecto para usar acelerómetros de los celulares de la red chilena como red de monitoreo sísmico alternativo. - El laboratorio de Gobierno lanzó un concurso Aulab en 2015 de propuestas innovadoras en la temática de los riesgos de desastres con proyectos de estudiantes, que favorece la creatividad y la participación de los estudiantes.
Robustez	- No se dispone de estudios completos de los sistemas de infraestructuras y estructuras ante amenaza sísmica que permitan garantizar la robustez de los sistemas regionales en caso de emergencia sísmica.
Redundancia	- No se dispone de estudios completos de los sistemas de infraestructuras y estructuras ante amenaza sísmica que permitan garantizar la redundancia de los sistemas regionales en caso de emergencia sísmica.
Flexibilidad	- Ante la ausencia de protocolos claros para la gestión del riesgo de desastres y de la emergencia, si esta cualidad no se complementa debidamente con la cualidad de Reflexividad puede confundirse con Improvisación y Desorganización. El análisis de la gestión de los desastres en Chile revela la tendencia a la Reacción y a la Improvisación con consecuencias negativas ; esto se observa en general en todo el territorio nacional y en prácticamente todos los niveles de organización de los actores del sistema de reducción de riesgos.

Cualidad	Desempeño de la región
Inclusión	- La región dispone de mecanismos para la participación ciudadana en la planificación regional que permite esta inclusión. - Un freno en el desarrollo de esta cualidad es la falta de una plataforma información pública fácilmente accesible, sobre los diferentes ámbitos del ordenamiento territorial, disponible para las comunidades (por ejemplo: mapas GIS de información geológica, etc.).
Integración	- La región dispone de mecanismos para la participación ciudadana en la planificación regional que permite esta integración. - Sin embargo, se constata que la información relativa al riesgo sísmico está fragmentada y es poco compartida entre instituciones públicas lo que limita la integración sectorial e institucional.

Recomendaciones de acciones a corto, mediano y largo plazo

En base a lo que se está haciendo en la región y a los *gaps* reconocidos en las secciones anteriores, se proponen a continuación recomendaciones a corto, mediano y largo plazo que facilitarían una gestión de riesgo efectiva en la región, y así, mejorarían la capacidad de resiliencia de ésta.

A corto plazo:

- Construir el mapa de "Orden Cero" de la amenaza sísmica en la región con la información disponible.
- Integrar información del proyecto OTAS relativa a los desastres socionaturales en el marco de la elaboración del PROT.

A mediano plazo:

- Establecer un relación formal entre el GORE-RMS y las instituciones académicas de relevancia en el área del riesgo sísmico para disponer de un Comité Científico en esta área.
- Construir una plataforma de información pública relativa al riesgo sísmico ; promocionar el uso de esta plataforma a nivel comunal.
- Diseñar una formación continua en conjunto con las Universidades relevantes en esta temática para funcionarios regionales y municipales que trabajen sobre temáticas relacionadas al riesgo de desastres.
- Construir un mapa de microzonificación sísmica que sirva de referencia para el PROT y los PRC.
- Construir un mapa de exposición y un mapa de riesgo sísmico a escala regional que sirva de referencia para el PROT y los PRC.
- Analizar y actualizar los protocolos regionales ante sismo.
- Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura crítica regional y diseñar planes y proyectos de mejoras.

A largo plazo:

- Avanzar en la identificación de la Falla San Ramón y caracterización de amenaza sísmica asociada a través de colaboraciones a largo plazo con instituciones académicas.
- Iniciar una revisión de las mallas curriculares en vista de integrar una perspectiva regional del riesgo sísmico.

- Promover la emergencia de soluciones innovadoras a problemas detectados en los análisis anteriores a través de la participación de las comunidades (comunidades locales, estudiantes, etc.).
- Promover la prevención sísmica a través de planes de diálogos intergeneracionales et interculturales.
- Promover la divulgación del conocimiento científico hacia la ciudadanía.
- Compartir las experiencias y lecciones aprendidas con otras regiones de Chile y otras ciudades del mundo a través de seminarios y proyectos conjuntos.

Base bibliográfica

Alvarado, P., Barrientos, S., Saez, M., y Beck, S. (2009). Source study and tectonic implications of the historic 1958 Las Melosas crustal earthquake, Chile, compared to earthquake damage. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 175(1-2), 26-36.

Alvarez, M., Fischer, T., De la Llera, J. C., y Ridell, R. (2002). Un modelo integrado para el analisis del riesgo sísmico en edificios. *VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*.

Anderson, J. (2015). The Composite Source Model for Broadband Simulations of Strong Ground Motions. *Seismological Research Letters*, 86(1), 68-74

Araneda, M., Avendaño, M., y Merlo, C. (2000). Modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago, Etapa III Final. *IX Congreso Geológico Chileno*, 2, 404-408.

Araya, P. (2007). Catálogo actualizado de intensidades sísmicas para Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Armijo, R., Rauld R., Thiele R., Vargas G., Campos J., Lacassin R., y Kaussel E. (2010) The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile). *Tectonics*, 29 (2), 1-34.

Astroza, M., Monge, J., y Varela, J. (1989). Zonificación sísmica de la Región Metropolitana. *5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, (1), 493-503.

Astroza, M., Moya, A., y Sanhueza, S. (2002). Estudio comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán de 1939 y de Talca de 1928. *Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, 8.

Astroza, M., Sandoval, M., Kausel, E. (2005). Estudio comparativo de los efectos de los sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia. *Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, 9.

Barrientos, S., Vera, E., Alvarado, P., y Monfret, T. (2004). Crustal seismicity in central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 759–768.

Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo-Vélez, L., Crowley, H. (2006) Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. ISET Journal Earthquake Technology, 43(3), 75–104.

Cámara Chilena de la Construcción. (2016). *Infraestructura crítica para el desarrollo, Bases para un Chile sostenible 2016-2025*.

Campos, J., Ruiz, S., Ruiz, J., Perez, A., Saragoni, R., Kausel, E., Thiele, R. y Sepulveda, S. (2005). Terremotos Corticales de Las Melosas 1958, Chusmiza 2001 y Curicó 2004: Un análisis comparativo con los terremotos de Northridge 1994 y Kobe 1995. Nuevos antecedentes para el peligro sísmico en Chile. *IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*.

Castaños, H., y Lomnitz, C. (2002). PSHA: is it science? *Engineering Geology*, 66 (3-4), 315–317.

Crempien, J., y Archuleta, R. (2015). UCSB Method for Simulation of Broadband Ground Motion from Kinematic Earthquake Sources. Seismological Research Letters, 86(1), 61-67.

Díaz, D., Maksymowicz, A., Vargas, G., Vera, E., Contreras-Reyes, E., Rebolledo, S. (2014). Exploring the shallow structure of the San Ramón thrust fault in Santiago, Chile (~33.5°S), using active seismic and electric methods. Solid Earth, 5, 837-849.

Fernández, J.C. (2003). *Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago*. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental Nº1, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Giardini, D. (1999). The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) - 1992/1999. *Annals of Geophysics*, 42 (6), 957-974.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2015). *Proceso de formulación del Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la Región Metropolitana de Santiago*. Informe.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2014). *Etapa 3 del PROT: Propuesta del PROT RMS*. Informe.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2011). *Diagnóstico de Riesgos Naturales en la Región Metropolitana de Santiago*. Informe.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2012). *Estrategia Regional de Desarrollo*.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, Universidad de Chile y Agencia Técnica Alemana. (2005). *Informe Final del Proyecto Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS) de la Región Metropolitana de Santiago*. Informe.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Edáfica. (2013). *Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la Región Metropolitana de Santiago*. Informe.

Goulet, C., Abrahamson, N., Somerville, P., y Wooddell, K. (2015). The SCEC Broadband Platform Validation Exercise: Methodology for Code Validation in the Context of Seismic-Hazard Analyses. *Seismological Research Letters*, 86(1), 17-26.

Graves, R., y Pitarka, A. (2015) Refinements to the Graves and Pitarka (2010) Broadband Ground-Motion Simulation Method. *Seismological Research Letters*. 86(1), 75-80.

Greve, F. (1948). Determinacion del coeficiente de seguridad antisísmico para diferentes zonas de Chile, Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matematicas, Universidad de Chile.

International Strategy for Disaster Reduction. (2010). *Guidance Note on Recovery, Infrastructure*.

Khazaradze, G., y Klotz, J. (2003). Short- and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the south central Andes. Journal of Geophysical Research, (108).

Leiva, M., Maksymowicz, A., Contreras, S. (2016). 3D gravity model of Santiago basin (central Chile) and implications on basement anomalies. *29th Annual Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*.

Leyton, F., Ruiz, S., y Sepúlveda, S. (2009). Preliminary re-evaluation of probabilistic seismic hazard assessment in Chile: from Arica to Taito Peninsula. *Advances in Geosciences*, 22, 147–153.

Leyton, F., Ruiz, S., y Sepúlveda, S. (2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean Geology*, 37(2), 455–472.

Lomnitz, C. (1969). An earthquake risk map of Chile. *4th World Conference on Earthquake Engineering*.

Madariaga, (1998). Sismicidad de Chile. *Física de la Tierra*, (10), 221-258.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). *Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones*.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *Hacia una Nueva Política Urbana para Chile*. Vol. 4. Política Nacional de Desarrollo Urbano.

Nuñez, I., Boroschek, R., Comte, D., y Contreras, V. (2015). Nuevo peligro para Chile. *XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA*.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2012). *Disaster risk assessment and risk financing*. A G20/OECD methodological framework.

Ormeño A. (2007). Geomorfología dinámica del río Maipo en la zona cordillerana de Chile central e implicancias neotectónicas. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención Geología, Universidad de Chile.

Pastén, C. (2007). Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Geotécnica, Universidad de Chile.

Pastén, C., Saéz, M., Ruiz, S., Leyton, F., Salomón, J. y Poli, P. (2016). Deep Characterization of the Santiago Basin using HVSR and Cross-Correlation of Ambient Seismic Noise. *Engineering Geology*, 201, 57-66.

Pérez, A., Leyton, F., Campos, J., y Barrientos, S. (2009). Determinación de un modelo de estructura de velocidad 1D para sismos corticales en Chile Central entre los 32.5S-34.5S y los 69.5W-71.5W. *Actas XII Congreso Geológico Chileno*.

Pérez, A., Leyton, F., Rauld, R., Campos, J., Barrientos, S., Vargas, G., y Thiele R. (2010). Peligro sísmico en la Región Metropolitana: Nuevas perspectivas en un contexto tectónico andino: caso Santiago de Chile. *X Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica ACHISINA*.

Pérez, A., Ruiz, J., Vargas, G., Rauld, R., Rebolledo, S., y Campos, J. (2014). Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city, Chile. *Natural Hazards*, 71(1), 243-274.

Pérez, N. (2016). Peligro sísmico asociado a fallas corticales : caso de estudio Falla San Ramón (33.2°-33.7° S). Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontifica Universidad Católica de Chile.

Rauld, R. (2002). Análisis morfoestructural del frente cordillerano: Santiago oriente entre el río Mapocho y Quebrada de Macul. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Rauld, R. (2011). Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile central (33°S), Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias mención Geología, Universidad de Chile.

Rauld, R., Vargas, G., Armijo, R., Ormeño, A., Valderas, C., y Campos, J. (2006). Cuantificación de escarpes de falla y deformación reciente en el frente cordillerano de Santiago. *Actas XI Congreso Geológico Chileno*, 1, 447-450.

Romanoff, F. (1999). Estudio del Peligro Sísmico en la Región Metropolitana, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Ruiz, S., y Saragoni, G. (2005). Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y los efectos del suelo. *Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, 9.

Santa María, H., Hube, M., Rivera, F., Yepes-Estrada, C., Valcárcel, J. (2016). Development of national and local exposure models of residential structures in Chile. *Natural Hazards*.

Saragoni, G., Astroza, M., y Ruiz, S. (2004). Comparative study of subduction earthquake ground motion of north, central and south America. *Proceedings of the thirteenth World Conference on Earthquake Engineering*, 104.

Sepúlveda, S., Astroza, M., Kausel, E., Campos, J., Casas, E., Rebolledo, S., y Verdugo, R. (2008). New findings on the 1958 Las Melosas earthquake sequence, central Chile: implications for seismic hazard related to shallow crustal earthquakes in subduction zones. *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (3), 432-455.

Secretaría Regional Ministerial de Planificación y Coordinación de la Región Metropolitana de Santiago. (2011). *Los Planes de Desarrollo Comunal (Pladecos), Región Metropolitana de Santiago.* Informe.

Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo de la Región Metropolitana de Santiago. (2012). *Estudio sobre Riesgo y adecuación del Plan Regulador Comunal de San José de Maipo.* Informe.

Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo de la Región Metropolitana de Santiago. (2012). *Estudio riesgo y modificación PRMS Falla San Ramón*. Informe.

Sepúlveda, S., Astroza, M., Kausel, E., Campos, J., Casas, E., Rebolledo, S., and Verdugo, R., *New Findings on the 1958 Las Melosas Earthquake Sequence, Central Chile: Implications for Seismic Hazard Related to Shallow Crustal Earthquakes in Subduction Zones*, Journal of Earthquake Engineering, 12:432–455, 2008.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2003). *Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago*. Mapa.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2004). *Peligro volcánico y fallas en la Región Metropolitana de Santiago*. Mapa.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2004). *Respuesta sísmica de la Región Metropolitana de Santiago*. Mapa.

Silva, N. (2008). Caracterización y determinación del Peligro Sísmico en la Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mención Estructuras-Construcción, Universidad de Chile.

Silva, N. (2011). Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales y evaluación preliminar del riesgo sísmico en la Región Metropolitana. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención Geofísica, Universidad de Chile.

Soto, C. (2004). Comparación de la amplificación de las ondas sísmicas con las intensidades en las Pumicitas de la cuenca de Santiago para eventos locales de magnitud moderada. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2011). *Guía de Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial.* Guía.

Thiele, R., Cubillos, E. (1980). Hoja Santiago: carta geológica de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Tricart, J., y M. Michel. (1963). Informe sobre la geomorfología de la cuenca de Santiago y sus relaciones con el agua subterránea. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Vargas, G., y Rebolledo, S (2015). La Falla San Ramón y el peligro sísmico de Santiago: Nuevos antecedentes morfoestratigráficos e implicancias normativas. *Congreso Geológico Chileno,* 14, 879-881.

Vargas, G., Klinger, Y., Rockwell, T.K., Forman, S.L., Rebolledo, S., Baize, S., Lacassin, R., y Armijo, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, 42(12), 1083-1086.

Wells, D., y Coppersmith, K. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

Yáñez, G., Muñoz, M., Flores-Aqueveque, V., y Bosch, A. (2015). Gravity derived depth to basement in Santiago Basin, Chile: implications for its geological evolution, hydrogeology, low enthalpy geothermal, soil characterization and geo-hazards. *Andean Geology*, 42 (2), 147-172.