



## ¿Urbanización fallada? La Falla San Ramón como nuevo escenario de riesgo sísmico y la sostenibilidad de Santiago, Chile

Misleading urbanization? The San Ramon fault as a new seismic risk scenario and the sustainability of Santiago, Chile

Gabriel Easton\*, Jorge Inzulza Contardo\*\*, Sonia Pérez Tello\*\*\*, Daniela Ejsmentewicz Cáceres\*\*\*\*, Catalina Jiménez Yáñez\*\*

Recibido: 25 de octubre de 2017

Aceptado: 09 de abril de 2018

### Resumen

Santiago de Chile, habitada por cerca de 7 millones de personas, se ubica a los pies del flanco occidental de la Cordillera Principal de los Andes, uno de los cordones montañosos más activos de nuestro planeta. La zona oriente de Santiago ha experimentado una expansión urbana sin precedentes en las últimas cuatro décadas, generando un aumento de la exposición de sus habitantes a riesgos socio-naturales de origen geológico, entre ellos la posibilidad de terremotos corticales asociados a la Falla San Ramón. El presente trabajo explora este nuevo escenario de amenaza sísmica, utilizando cartografía especializada a partir de cinco estados de avance claves para la ciudad, impulsados por políticas urbanas nacionales e instrumentos de planificación intercomunal desde 1960 hasta la actualidad. Los resultados muestran que esta urbanización acelerada ha alcanzado un 55% de la traza en superficie de la falla, lo cual no ha sido considerado en las regulaciones. Se concluye en la necesidad de avanzar en los vacíos normativos a través de la articulación de la amenaza sísmica natural con el medio urbano, como base para la reducción del riesgo de desastres y un desarrollo sostenible que considere además las inequidades de la urbe.

**Palabras clave:** crecimiento urbano, Falla San Ramón, planificación urbana, riesgo sísmico, Santiago de Chile, sostenibilidad urbana, urbanización fallada.

### Abstract

Santiago, capital city of Chile inhabited by ca. 7 million persons (INE, 2017), is located at the foot of the western flank of the main Andes Cordillera, which is one of the most active mountain chains worldwide. The eastern border of the city, located at the piedmont of the mountain front, experienced an accelerated urbanization in the last four decades with respect to the previous four centuries, with subsequent increased risk associated to geological hazards among of them the possibility for crustal earthquakes along the active San Ramon thrust fault system. Here, we explore this new seismic risk scenario by comparing first order urban mapping at different states of the horizontal expansion of the city, including the location of the geological structure, with urban policies developed since 1960. Our results show that -at present- urbanization reached 55% of the San Ramon fault trace, evidencing that this active geological structure has not been considered in urban regulations developed for the metropolitan region. We conclude the necessity to unravel normative and knowledge gaps to relate the natural geological hazard with the urban planning, as an opportunity to progress toward a sustainable development of the mega-city of Santiago.

**Keywords:** failed urbanization, San Ramón fault, seismic risk, urban planning, urban sprawl, urban sustainability.

\* Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Citrid, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Contacto: [geaston@ing.uchile.cl](mailto:geaston@ing.uchile.cl)

\*\* Departamento de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

\*\*\* Departamento de Psicología, Facultad de Ciencias Sociales, Citrid, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

\*\*\*\* Departamento de Enseñanza Clínica del Derecho, Facultad de Derecho, Citrid, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Este trabajo se realizó a partir del estudio "Riesgo y modificación PRMS Falla San Ramón", Seremi Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile (#640-27-LP10; 2011-2012; realizado por Territorio y Ciudad Consultores y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile), en el marco del "Monitoreo sísmico y potencial sismogénico de la Falla San Ramón", ONEMI, Ministerio del Interior, Gobierno de Chile (2016-2019), con apoyo del Programa para la Reducción de Riesgos de Desastres de la Universidad de Chile (Citrid). Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos de este trabajo.

Cómo citar: Easton, G., Inzulza Contardo, J., Pérez Tello, S., Ejsmentewicz Cáceres, D. & Jiménez Yáñez, C. (2018). ¿Urbanización fallada? La Falla San Ramón como nuevo escenario de riesgo sísmico y la sostenibilidad de Santiago, Chile. *Revista de Urbanismo*, 38, 1-20.

## Introducción

La ciudad de Santiago, capital de Chile habitada por cerca de 7 millones de personas (INE, 2017), se ubica en el llamado valle central, a los pies del flanco occidental de la Cordillera de los Andes, uno de los cordones montañosos más activos de nuestro planeta. El frente occidental de la cordillera andina se alza hasta los 3.249 m.s.n.m. en el cordón de Ramón (Riso Patrón, 1924)<sup>1</sup>, en contraposición al valle central que tiene una altitud promedio de 550 m.s.n.m., elevándose hasta los 800-1000 m.s.n.m. en el sector oriente de la ciudad (Figura 1). Esta última zona ha experimentado una expansión urbana junto con un aumento de la población en las últimas décadas, sin

precedentes fundación de la ciudad en 1541, aumentando la exposición de sus habitantes a riesgos socio-naturales de origen geológico, como los aluviones ocurridos en 1993 (Hauser, 1993, 2000; Sepúlveda, Rebolledo y Vargas, 2006), grandes deslizamientos (Antinao y Gosse, 2009), o la posibilidad de terremotos corticales, es decir, sismos de fuente cercana y ruptura en superficie, como los evidenciados en el registro geológico asociados a la Falla San Ramón (Vargas et al., 2014). Esto último configura un nuevo escenario de amenaza sísmica para la ciudad, antes no considerado y cuya necesidad de abordaje es cada vez más evidente (Figura 2).

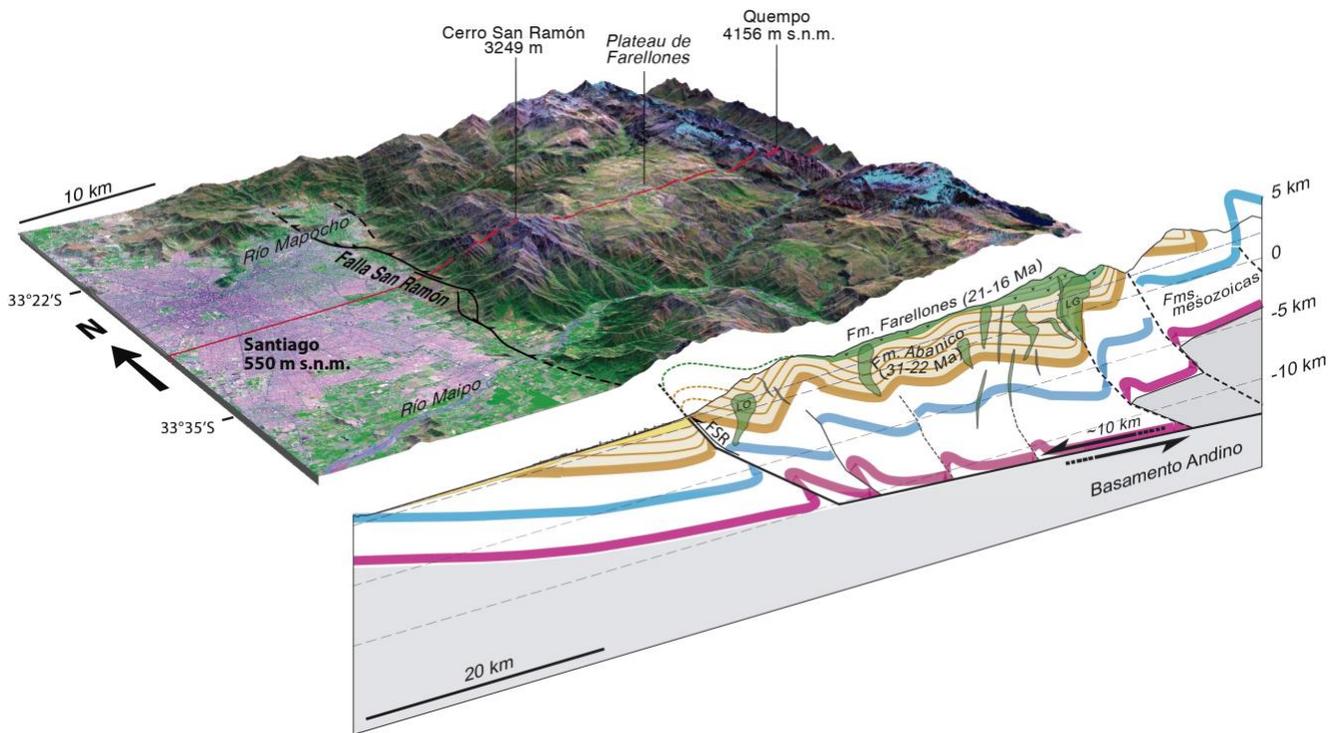


Figura 1. Relación entre el relieve del valle central de Santiago, el frente cordillerano, la ubicación y la estructura geológica a escala cortical de la Falla San Ramón.

Fuente: Elaboración propia a partir de Armijo et al. (2010).

<sup>1</sup> El nombre de este cordón montañoso, así como el de la quebrada homónima, tendrían su origen en el "apellido de don Alfonso García

Ramón, que gobernó interinamente a Chile entre los años 1600 a 1601", de acuerdo a Luis Riso Patrón (1924, p.751).



Figura 2. Piedemonte del frente cordillerano en el sector oriental de Santiago, mostrando una rápida urbanización en la zona. Imagen superior: vista hacia el este. Imagen inferior: vista hacia el noreste.

Fuente: Elaboración propia.

El presente trabajo entrega una visión sistémica del nuevo escenario de riesgo sísmico asociado a la posibilidad de un terremoto con ruptura superficial en la Falla San Ramón (en adelante FSR), a través de la vinculación del medio natural (la falla geológica), con el medio urbanizado (comunas del sector oriente situadas sobre la FSR), como base para un desarrollo sostenible de Santiago. Lo anterior, con el fin de incorporar los factores físicos de amenaza geológica en la planificación urbana y concepción cívica del desarrollo de los asentamientos humanos del sector.

El artículo se divide en cuatro partes. La primera introduce el marco teórico-contextual respecto al nuevo escenario de amenaza sísmica representado por la FSR, su relación con el crecimiento urbano de Santiago y las vulnerabilidades sociales que ahí se encuentran, mediante la óptica de las políticas nacionales y los instrumentos de planificación de escala metropolitana. Posteriormente, se aborda el enfoque metodológico para el cual se combinan cinco imágenes cartográficas claves de la expansión de la ciudad en 1960, 1985, 1994, 2003 y 2017, así como su incidencia en la falla, considerando también el

crecimiento de la población de las comunas del sector oriente a partir de los censos de 1960, 1982, 1992, 2002 y la proyección del año 2015. Como resultado de esta interrelación geomorfológica-urbana, se evidencian las desarticulaciones entre las normativas aplicadas hasta la actualidad y la nueva amenaza en estudio. Los resultados se discuten desde la perspectiva de la habitabilidad del territorio, el derecho y la complejidad que implica el aumento de la población expuesta a esta amenaza. Finalmente, se entregan conclusiones sobre la necesidad de avanzar en los vacíos normativos en relación con este nuevo escenario, en busca de cambiar una urbanización “fallada” por un desarrollo urbano sostenible de Santiago.

### Antecedentes teórico- contextuales

#### Falla San Ramón (FSR): una nueva amenaza sísmica

La posibilidad de una falla geológica en el borde oriente del valle de Santiago, en tanto su naturaleza o estructura geológica, su carácter -activa o inactiva- así como su rol en la arquitectura andina, ha sido motivo de discusión científica durante todo el siglo XX y hasta los inicios del presente (Armijo et al., 2010; Farías et al., 2010a). En 1950, Brüggén mencionaba la posibilidad de una falla a los pies del cordón montañoso que constituye el abrupto relieve del frente cordillerano, señalando que “la falla del cerro San Ramón” constituye “el pie rectilíneo de la Cordillera de Los Andes que se puede seguir por 40 kilómetros” (Brüggén, 1950, p.69), y luego en 1969 se mencionaba también a la “Falla San Ramón” como una estructura geológica de naturaleza normal, es decir, con el bloque cortical del valle de Santiago bajando respecto del frente cordillerano, y “razonablemente inactiva” (Universidad de Chile, 1969, p. I)<sup>2</sup>. Thiele (1980) y luego de Sellés y Gana (2001) mencionan también la posibilidad de una falla normal en el piedemonte cordillerano, sin esclarecerse su carácter activo o inactivo. Así, no fue sino hasta inicios del presente siglo que a través de una investigación pluridisciplinaria<sup>3</sup>, se planteó a la FSR como una falla geológica potencialmente activa, es decir, capaz de acumular esfuerzos tectónicos y generar sus propios terremotos, e inversa, es decir, que monta el frente

cordillerano sobre el valle, aportando a la construcción del borde occidental de la Cordillera Principal de los Andes (Armijo et al., 2010; Rauld, 2002, 2011; Riesnier, Lacassin, Simoes, Armijo, Rauld y Vargas, 2016; Vargas et al., 2014).

La Falla San Ramón es una falla cortical, que se prolonga por lo menos desde unos 10–12 km de profundidad en la corteza hasta la superficie del territorio, extendiéndose por más de 30 km a lo largo de su traza, o ubicación en superficie, mejor conocida entre los ríos Mapocho y Maipo, como también hacia el norte y hacia el sur de estos (Armijo et al., 2010; Figura 1). Registros paleosismológicos han permitido observar directamente estratos del suelo de Santiago afectados por esta estructura geológica, demostrando que es una falla activa que representa dos tipos de amenaza para la ciudad; por una parte, la posibilidad de ruptura en superficie a lo largo de su traza, y por otra, la posibilidad de fuertes intensidades en sus inmediaciones (Vargas et al., 2014).

**Posibilidad de ruptura en superficie.** Evidencias geológicas han mostrado que la FSR es capaz de acumular esfuerzos tectónicos y producir —por sí misma— terremotos mayores, con dos episodios de gran magnitud (ca.  $M_w 7,2-7,5$ ) ocurridos en los últimos 17.000 años, y el último hace unos 8.000 años atrás (Vargas et al., 2014; Figura 3). De acuerdo con estos mismos antecedentes, en cada uno de estos terremotos la propagación de la ruptura a lo largo de la falla movió del orden de 4 a 5 m el bloque oriental de la corteza terrestre respecto del occidental, levantando de 2 a 3 m el bloque cordillerano por sobre el valle de Santiago, impactando así directamente la superficie (Figura 3).

A partir del estudio de los registros sísmicos de dos estaciones cordilleranas entre los años 2001 y 2011 se detectaron sismos de baja magnitud ( $M_w$  3-4), imperceptibles para las personas, pero compatibles con la estructura geológica de la FSR (Pérez, Ruiz, Vargas, Rauld, Rebolledo y Campos, 2014). Además, la detección de sismos menores a través del despliegue de una red de monitoreo temporal -durante un año- en el valle de Santiago, también ha sugerido la ocurrencia de sismicidad instrumental activa asociada a esta falla (Estay, Yáñez, Carretier, Lira y Maringue, 2016).

<sup>2</sup> En el informe técnico realizado con motivo de la construcción del Centro de Estudios Nucleares ubicado en el límite entre las comunas de Las Condes y La Reina, se menciona a la “Falla San Ramón” como tal, concluyendo además que “las fallas geológicas que pasan por o cerca de los terrenos del Centro se estiman razonablemente inactivas en caso de terremotos fuertes; sin embargo, es conveniente diseñar o calcular los

edificios en función de normas antisísmicas rigurosas” (Universidad de Chile, 1969, p. I).

<sup>3</sup> Núcleo Milenio en Sismotectónica y Peligro Sísmico (Mideplan, 2004-2007). Investigación realizada por geólogos y sismólogos chilenos y franceses de la Universidad de Chile y del *Institut de Physique du Globe de Paris* (IPGP).

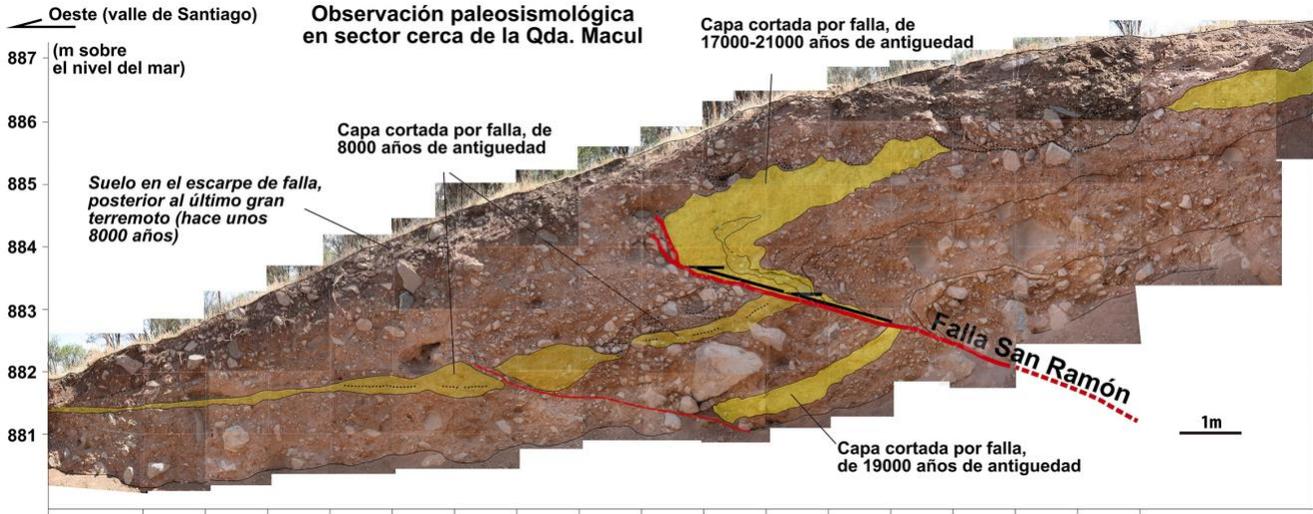


Figura 3. Fotomosaico de una trinchera o excavación realizada para estudios paleosismológicos en el sector oriente de Santiago, cerca de la quebrada de Macul, en donde se sitúa la Falla San Ramón. Se evidencia el escalón o escarpe de falla asociado a la ruptura en superficie de la FSR, así como la observación directa de capas geológicas de 17.000 y 8.000 años de antigüedad cortadas por la falla. La falla llega hasta la superficie del suelo, siendo cubierta solamente por derrumbes o sedimento removilizado en forma local.

Fuente: Modificada de Vargas et al. (2014)

**Posibilidad de altas intensidades.** El sismo de magnitud  $M_w 8,8$  del año 2010 ocurrido en el centro-sur de Chile (Farías et al., 2010; Vigny et al., 2011), generó intensidades en Santiago que, en términos de aceleraciones<sup>4</sup>, alcanzaron valores de 23-34%g, donde g es la aceleración de gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )<sup>5</sup>, y localmente hasta 56%g (Boroschek, Contreras, Kwak y Stewart, 2012; Figura 4).

Si bien no se han registrado espectros de aceleraciones asociados a sismos mayores en fallas corticales activas en Chile, sí se pueden mencionar ejemplos recientes con registros bien documentados en el mundo. Uno de los más dramáticos, por el impacto que generó en la ciudad japonesa de Kobe, fue el terremoto de magnitud  $M_w 6,9$  ocurrido en 1995 a lo largo de la Falla de Nojima, que causó aceleraciones superiores a 80%g, localmente más

de 100%g, y una ruptura en superficie que dislocó el suelo desde algunos decímetros en la vertical hasta algunos metros en la horizontal (Kanamori, 1995; Yamaguchi & Yamazaki, 2001), ocasionando gran daño en los edificios dispuestos directamente sobre esta falla geológica y más lamentablemente la pérdida de unas 6.000 personas. Simulaciones numéricas de espectros sintéticos - generados artificialmente- de aceleraciones asociadas a la potencial ocurrencia de un terremoto mayor en la FSR, han arrojado valores esperados en sus inmediaciones de 50%g para sismos de magnitud  $M_w 6,2-6,7$  (Estay et al., 2016), 70-80%g para sismos de magnitud  $M_w 6,9$  (Pérez et al., 2014), y por sobre 100%g en el caso de un sismo de magnitud  $M_w 7,2-7,5$  (Vargas et al., 2014), es decir, por lo menos dos a tres veces más fuerte que lo registrado en Santiago durante el terremoto del Maule en 2010.

<sup>4</sup> Movimiento que sufre el suelo ante sollicitudes por las ondas sísmicas.

<sup>5</sup> Durante un sismo, la sollicitud que experimentan los suelos ante movimientos por el paso de las ondas sísmicas puede ser expresada en términos de valores máximos (PGA: *Peak Ground Acceleration*) relativos a la aceleración de gravedad promedio medida en la Tierra,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,

que significa que la velocidad de un objeto se incrementa en 9,81 m/s por cada segundo (s) transcurrido. Dicho coloquialmente, para el caso de valores de PGA superiores al 100%g en la vertical, los objetos dispuestos sobre el suelo, no empotrados en él, podrían despegarse y comenzar a saltar durante un terremoto.

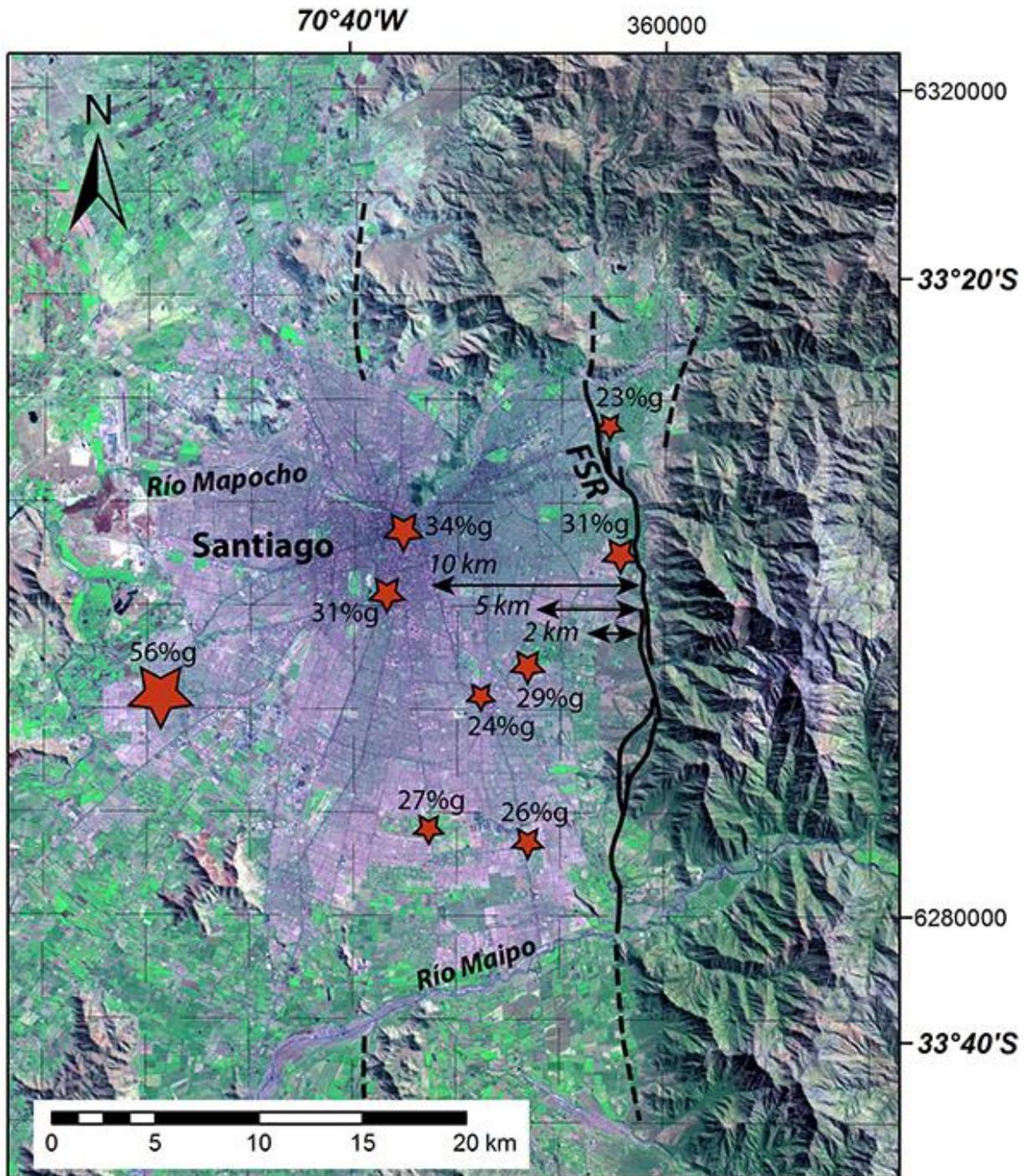


Figura 4. Imagen satelital Landsat 7e intensidades, expresadas en términos de aceleraciones máximas del suelo, Peak Ground Acceleration (PGA), registradas en el valle central de Santiago durante el terremoto del Maule de magnitud Mw 8,8 en 2010. Si bien un terremoto en la FSR afectaría fuertemente a todo el valle de Santiago, se muestran las distancias a partir de esta estructura en donde, hacia ambos lados, y de acuerdo a los resultados de las simulaciones disponibles hasta ahora, sería posible esperar aceleraciones altas, en todos los casos superiores a las del terremoto de 2010 en la ciudad.

Fuente: Elaboración de los autores a partir de los registros de PGA en Santiago reportados por Borosheck et al. (2012), y los rangos de PGA esperados a partir de un sismo mayor en la FSR (Estay et al., 2016; Pérez et al., 2014; Vargas et al., 2014).

## Planificación urbana y territorio habitable de Santiago

Si bien los avances científicos muestran cada vez con mayor contundencia la importancia que representa la FSR como una nueva amenaza para Santiago, esta realidad no se condice con la expansión de la ciudad en las últimas décadas, exponiendo crecientemente a la población a una situación de riesgo. Lo anterior cuestiona las prácticas que han regulado su desarrollo, razón por la cual se hace necesaria una revisión de la política urbana nacional y de los instrumentos de planificación territorial que han normado a Santiago, principalmente desde los años sesenta.

**Ciudad compacta versus ciudad extendida.** En los albores del siglo XX, Santiago mostró un cambio en su impronta de "aldea a ciudad", principalmente coronado en la celebración del centenario (1910), con obras promovidas por el Intendente Benjamín Vicuña Mackenna (Cáceres, 2006). Desde esa década la ciudad creció exponencialmente (10.312 habitantes al año), registrando una población de 507.796 habitantes en el año 1930. El Plano Oficial de Urbanización de la Comuna de Santiago de Karl Brunner (Pavéz, 1992, 1996), plasmó esta visión de ciudad, requiriéndose una considerable asignación de suelo a la vivienda (Domínguez, 2000). Sin embargo, dicha cifra la hacía aparecer aún como una ciudad de rango intermedio, e incluso similar a como es la comuna de Santiago en la actualidad, con 358.332 habitantes según INE, 2012. Posteriormente, durante la segunda mitad del siglo XX la ciudad sufre una metamorfosis mayor, normada por lo que será uno de los planes reguladores más paradigmáticos de la historia urbana de Chile: el Plan Regulador Intercomunal de Santiago (PRIS), impulsado con la creación de la Corporación de Vivienda (CORVI) en 1953, y aprobado siete años más tarde<sup>6</sup>.

Este nuevo intento de planificación territorial instauró el nivel urbano-regional, incorporando toda la experiencia y el progreso de la ciencia en la nueva legislación urbana (Cáceres, 2006). Entre sus competencias, el PRIS de 1960 propuso una legislación territorial para regular la expansión horizontal de la ciudad, a través de una franja suburbana con usos metropolitanos como la agricultura, los bosques, las reservas naturales y las "*grandes áreas verdes*" para las actividades de ocio (Gámez, 2003). Además, el PRIS abordó los problemas de transporte que Santiago comenzaba a experimentar debido al aumento de sus habitantes (1.907.378 personas).

Se puede señalar que es aquí donde se inicia la paradoja de una ciudad compacta versus ciudad extendida. Si bien el PRIS de 1960 ya involucraba "una incipiente noción de espacios abiertos, como recurso

especial de uso del suelo a escala metropolitana" (Gámez, 2003: 4), así como las ideas de "área suburbana" y "áreas verdes intercomunales", no se hizo una referencia explícita a los posibles riesgos de los faldeos cordilleranos, y menos aún, algún tipo de restricción sobre la aglomerada edificación que se emplaza actualmente sobre la FSM.

**El riesgo en la Política Nacional de Desarrollo Urbano.** En una esfera mayor a la planificación territorial, las primeras dos Políticas Nacionales de Desarrollo Urbano (PNDU) – en 1979 y en 1985 – marcan un punto de partida como una visión singular del territorio asociadas a la economía imperante en ese entonces, con un fuerte impulso a la mayor inversión en el suelo urbano y la significativa expansión de la actividad inmobiliaria. Mientras la PNDU de 1979 instauró que el suelo no era un recurso escaso, entregando amplias atribuciones al sector privado para invertir (MINVU, 1979, 1981), la PNDU de 1985 rectificó su accionar declarando la escasez del suelo, y responsabilizando al Estado en el control de la inversión, planificación y crecimiento de áreas urbanas (Becerril-Padua, 2000; MINVU 1985). Sin embargo, ambas PNDU han mostrado similares tendencias en la práctica, favoreciendo la acción del libre mercado por sobre la planificación. Autores como Sabatini y Arenas (2000), De Mattos, (1999) y Daher (1991, 1989), han proporcionado investigaciones que analizan las aplicaciones concretas de las dos PNDU y sus impactos en el territorio urbano de Santiago en particular, como una vitrina irrefutable de especulación del suelo y extensión desmedida de su territorio urbanizado.

Se puede inferir entonces que la especulación del suelo urbano impulsada por el libre mercado desde los '80s redundó en una expansión acelerada, sin precedentes, de la ciudad. En la actualidad, Santiago se ha convertido en un objeto de deseo (Carrión, 2005), ya no sólo desde su centro histórico, sino también incluyendo al piedemonte andino como uno de los commodities naturales que ofrece vistas desde la altura a sus residentes más osados, emplazados principalmente en viviendas de tipo condominio cerrado como tipología imperante en las últimas décadas (Hidalgo, 2004), y con marcas de elitización y gentrificación contemporánea (Inzulza, 2016; Figura 2).

Si a ello le sumamos la derogación de la segunda versión de la PNDU (1985) en el año 2000, el escenario se complejiza al constatar que la expansión de la ciudad ha alcanzado las cotas por donde se sitúa la FSR (Figura 1). Solo recientemente, en el año 2013, se instaura una tercera versión de la PNDU que rige hasta la fecha,

<sup>6</sup> Diario Oficial de fecha 27.12.1960.

sumando otra instancia de desregulación, o más bien de regulación con especulación, al considerar sus premisas fundamentales el “equilibrio ambiental”, el cual contiene a su vez objetivos específicos como:

Considerar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de las intervenciones en el territorio (...) Identificar y considerar los riesgos naturales y antrópicos (...) Fomentar el uso sustentable del suelo en ciudades y áreas de expansión (MINVU, 2014, p.47).

Sin embargo, tal como veremos en el análisis de la relación entre la expansión de Santiago y la FSR, estos preceptos parecen haber corrido por distintos carriles al de la sostenibilidad urbana, como también respecto de una planificación que integre el diseño cívico (Inzulza y Moran, 2017).

**La desigualdad como factor de vulnerabilidad social e incremento del riesgo.** La sostenibilidad urbana depende también de las capacidades con que cuenten los habitantes que están directamente expuestos a la amenaza para prevenir, responder y recuperarse ante su activación. Tales capacidades se ven limitadas cuando la vulnerabilidad social presenta características que amplifican el riesgo (Vargas, 2002; Cardona, 1996; Maskrey, 1993), siendo una de ellas la pobreza por ingresos económicos (Cutter, Boruff & Shirley, 2003). En el caso de las comunas del sector oriente de Santiago asentadas sobre la FSR, a partir del análisis de los resultados de la encuesta CASEN (2015), se constata una desigualdad de ingresos económicos similar a la evidenciada por décadas en el país. Aun cuando la mayoría de estas comunas han mostrado una disminución significativa del porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos entre el 2011 y 2015, Puente Alto cuenta aún con un 8% de su población en esa situación, en contraste con un 0,6% en Las Condes, lo que equivale a 66.332 versus 1.599 personas respectivamente que se encuentran en hogares cuyos ingresos económicos mensuales no alcanzan siquiera a satisfacer las

necesidades básicas alimentarias y no alimentarias por persona equivalente<sup>7</sup>.

La carencia de ingresos vuelve aún más vulnerable socialmente a quienes están expuestos a la amenaza, es decir, los hace más susceptibles a ser impactados por el riesgo de desastres, al restringir el control de los recursos necesarios para hacerle frente. En este sentido, la vulnerabilidad social se entiende como una situación en donde las personas no disponen de bienes (tangibles e intangibles) que permitan superar una crisis o contrarrestar sus efectos en el bienestar y la calidad de vida (Katzman, 1999), provocando un sentimiento de inseguridad (Moser, 1998). La globalidad de la vulnerabilidad social radica precisamente en la amplia variedad de aspectos, no solo económicos sino también sociales, físicos y educativos –entre otros- (Wilches-Chaux, 1993), que interactúan amplificando el riesgo.

Para el caso de la FSR, tal complejidad se aprecia en las carencias -no sólo económicas- que viven habitantes de las distintas comunas por las que atraviesa, redundando en que no todos pueden reducir el riesgo de desastres en las mismas condiciones, particularmente en cuanto a la seguridad social<sup>8</sup>. Es precisamente en esta última -seguridad social- y en la educación donde se aprecia un mayor problema<sup>9</sup>, mostrando inequidades en las capacidades de sus habitantes para reconstruir sus proyectos de vida ante un eventual desencadenamiento de la amenaza.

A lo anterior se suman otros factores como la habitabilidad, con condiciones de hacinamiento, precariedad o mal estado de las viviendas en cerca del 20% de los hogares de tres de las comunas<sup>10</sup>, y la vulnerabilidad social por problemas de contaminación medioambiental, carencia de equipamiento básico o demora en el transporte, situaciones que afectan al 17,1% de los hogares en Puente Alto.

Tales problemas estructurales, atendibles por políticas de desarrollo local, se vuelven más complejos cuando, además, las personas no gozan en su vida cotidiana de los soportes sociales necesarios para la

<sup>7</sup> Esto según datos del Ministerio de Desarrollo Social, a través de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional -CASEN 2015. Las comunas de Vitacura y Lo Barnechea no presentan mediciones para este año. La metodología de medición de la pobreza se actualiza en Chile desde el 2013, considerando ahora no sólo un valor único para la línea de la pobreza, sino distintos valores de ingreso mínimo según el número de personas que componen el hogar. Para conocer la “línea de pobreza por persona equivalente” referirse a <http://www.ministeriodesarroll osocial.gob.cl/>.

<sup>8</sup> El análisis se basa en la medida de pobreza multidimensional realizado por el Ministerio de Desarrollo Social con datos de la Encuesta CASEN del

2015, considerando solo las comunas con alto nivel de representatividad: Las Condes, La Florida, Puente Alto y Peñalolén.

<sup>9</sup> La encuesta CASEN indica que cerca del 31% de sus hogares tienen uno de sus integrantes de 15 años o más ocupado laboralmente y sin cotizar en el sistema previsional. A su vez, cerca del 28% de sus hogares, exceptuando Las Condes (4%), tienen al menos un integrante mayor de 18 años que ha alcanzado menos años de escolaridad que los establecidos por ley, de acuerdo con su edad. Sobresale aquí la comuna de Peñalolén (32,7%) que enfrenta problemas también en la tasa de asistencia y rezago escolar (retraso de 2 años o más).

<sup>10</sup> Para las comunas en que se dispone de datos CASEN (La Florida, Puente Alto y Peñalolén), a excepción de Las Condes, con un 3,5%.

circulación de información, bienes o servicios. Estos soportes son indispensables para generar las experiencias de organización requeridas por una planificación consciente del riesgo que se enfrenta. En las tres comunas más vulnerables del sector, una de las dimensiones más deprimidas de desarrollo es precisamente la insuficiencia de redes sociales, con una escasa participación de los hogares en organizaciones y un considerable 7,5% que declaran no contar con ninguna persona que pueda apoyar en caso de necesitarlo.

Este cuadro social, junto a la mencionada preponderancia del libre mercado por sobre la regulación y la planificación del desarrollo urbano del Gran Santiago, se conjuga con la amenaza geológica –natural– que representa la potencial activación de la FSR, configurando un preocupante y creciente escenario de riesgo para la ciudad.

### Metodología

La investigación entrega un enfoque mixto, en el cual se combina el conocimiento geológico disponible de la FSR, principalmente en cuanto a su traza, definida en función de la ubicación de sus escarpes morfológicos (Armijo et al., 2010; Seremi MINVU, 2012; Vargas et al., 2014), con la cartografía de la expansión urbana de Santiago realizada en este trabajo a partir del estudio de imágenes satelitales junto con la regulación vigente en cada periodo.

Se consideraron los planes reguladores metropolitanos de 1960, 1979, 1994 y 2013, en superposición con imágenes satelitales específicas para cada caso estudiado (1960, 1985, 1994, 2003 y 2017), a partir de las cuales se cartografió la extensión de la ciudad como una mancha urbana, incluyendo la ubicación de la traza de la FSR. El análisis se complementó con la interpretación de los planes reguladores comunales de las áreas afectadas directamente, en cuanto a su densidad y vialidad principal, junto con la elaboración de gráficos estadísticos en base a información demográfica de las comunas del sector oriente de la ciudad.

Las imágenes satelitales utilizadas para la cartografía de la mancha urbana fueron obtenidas a partir de *Google Earth*, mientras que los límites de las regulaciones urbanas fueron obtenidos a partir de diversas fuentes de acuerdo con lo siguiente:

- Crecimiento Urbano de 1960, escala 1/200.000, en base a PRIS 1960.
- Crecimiento Urbano de 1985, escala 1/200.000, en base a PNDU 1979 e imagen satelital de 1985.

- Crecimiento Urbano de 1994, escala 1/200.000, en base a PRMS 1994 e imagen satelital de 1994.
- Crecimiento Urbano de 2003, escala 1/200.000, en base a PRMS 1994 e imagen satelital de 2003.
- Crecimiento Urbano de 2017, escala 1/200.000, en base a PRMS-100 e imagen satelital de 2017.

En el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) se explicita el concepto de áreas urbanizadas (Artículo 2.1.1.), así como el de densidad de un área urbanizada (Artículo 4.3.). En este trabajo se busca relacionar los conceptos anteriores a partir de la definición cualitativa de urbanización, entendida como la red vial yuxtapuesta a los límites de las manzanas urbanas. Lo anterior, a partir de la interpretación de las imágenes satelitales analizadas, junto con los planos reguladores y la subdivisión predial a escala comunal. Esta última información fue complementada a partir de los resultados plasmados en el informe del estudio de la Seremi MINVU (2012).

El análisis de la relación entre la traza de la FSR y la urbanización en el tiempo de las comunas del sector oriente de Santiago entre los ríos Mapocho y Maipo, se realizó a escala 1/50.000 a partir de los antecedentes aportados por el estudio de la Seremi MINVU (2012) y del Ministerio de Bienes Nacionales (IDE).

La evolución histórica de la población del sector oriente de Santiago considera los antecedentes disponibles a partir de la población censada y las tasas de crecimiento promedio anual entre 1950-2002 (Memoria Chilena, s.f.), junto con reportes comunales disponibles en la Biblioteca del Congreso Nacional (2015).

Finalmente, la información disponible en cuanto a la relación entre la traza de la FSR y la urbanización de las comunas del sector oriente de Santiago, se compara con antecedentes relativos a la vulnerabilidad social extraídos de la encuesta CASEN (2015), con el fin de esbozar las diferencias en la situación de riesgo en la cual se encuentran actualmente estas comunas ante la potencial activación de la amenaza.

## Resultados

El desarrollo sostenible de Santiago requiere urgentemente reconsiderar la relación entre la dinámica natural propia de la Cordillera de los Andes y el ambiente urbano construido, de un modo diferente a lo puramente semántico o exclusivamente paisajístico. El riesgo que representa la Falla San Ramón para la ciudad llegó para instalarse, puesto su activación es un hecho futuro inevitable que es necesario considerar en la planificación y el desarrollo urbano, con la consiguiente necesidad de una revisión del modo como los asentamientos humanos se relacionan con ella.

La presente sección entrega un análisis de la relación entre la ubicación en superficie (traza) de la FSR y el desarrollo urbano del sector oriente de Santiago en las últimas décadas, situado en cinco momentos cartográficos claves de su crecimiento: 1960, 1985, 1994, 2003 y 2017 (Figuras 5 y 6). A lo anterior se añade un análisis del porcentaje de urbanización de la traza de la falla, puesto en la perspectiva de las regulaciones vigentes en cada momento analizado, junto con la evolución del crecimiento de la población en las comunas del sector oriente de la ciudad (Figura 7).

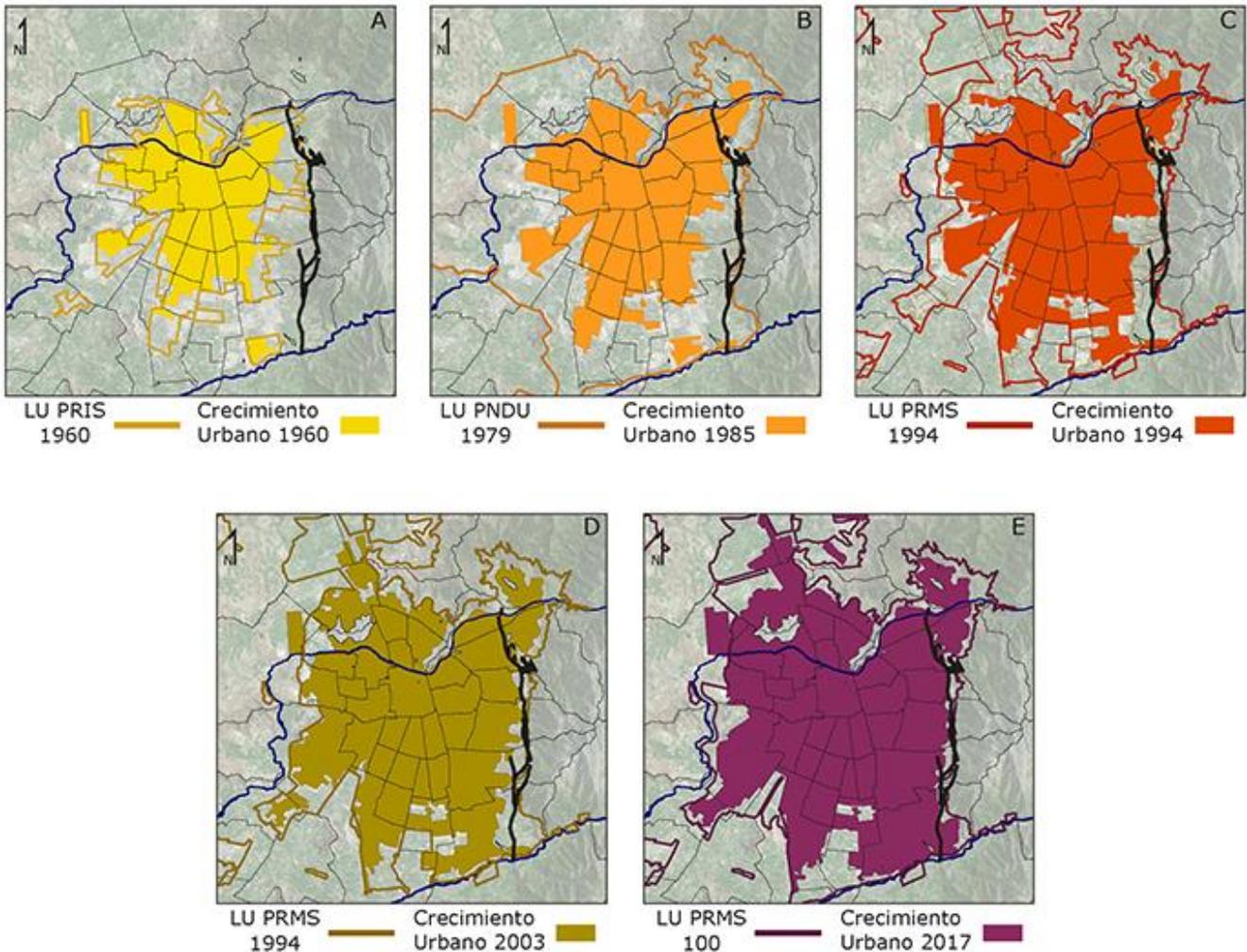


Figura 5. Evolución de la expansión horizontal visualizada como mancha urbana de Santiago, según los marcos normativos vigentes desde 1960 hasta 2017, en relación con la ubicación de la Falla San Ramón en el sector oriente de Santiago, a escala 1/200.000. Fuente: Elaboración propia en base a PRIS1960 (MOP, 1960), PNDU1979 (MINVU, 1979; 1981; 1985), PRMS1994 (Seremi MINVU, 1994), PRM-100 (Seremi MINVU, 2013), e imágenes satelitales analizadas (tomadas de Google Earth).

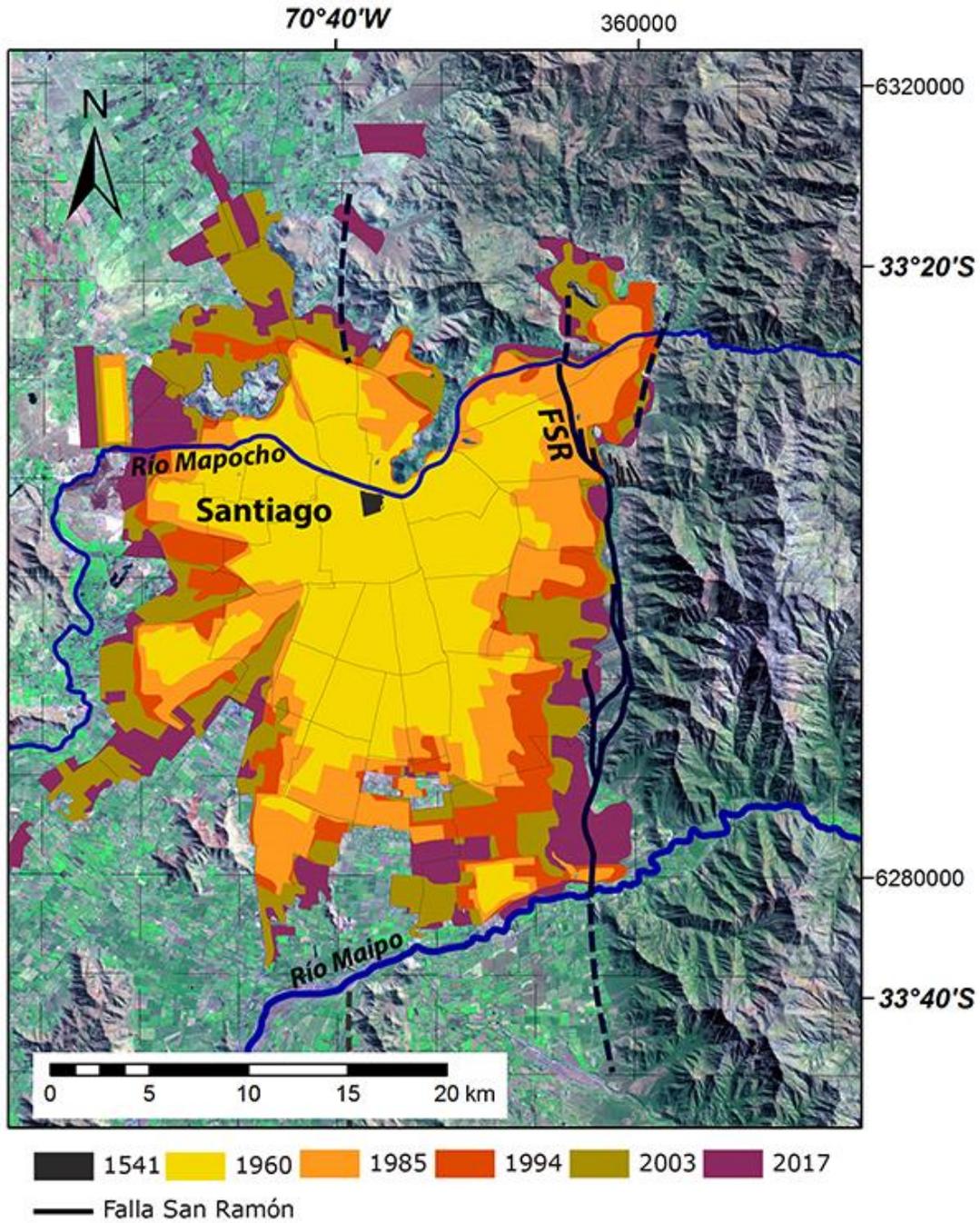
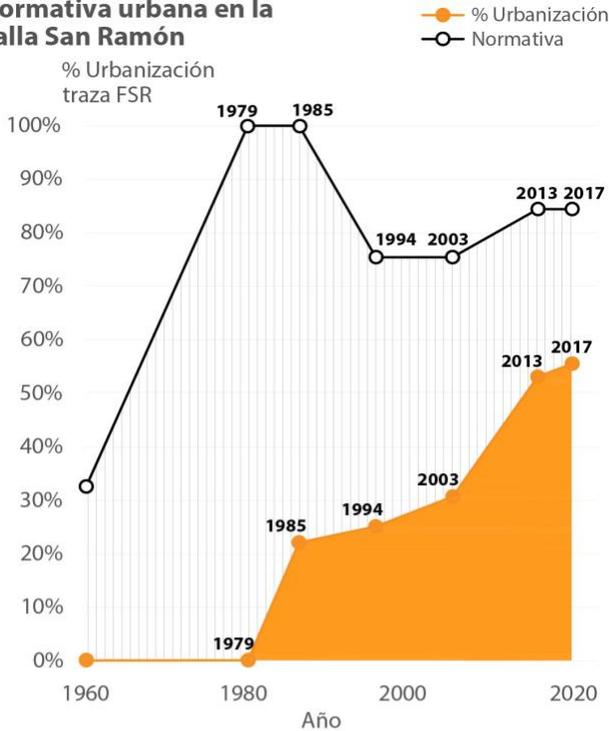


Figura 6: Expansión de Santiago a partir de la superposición de las manchas urbanas de 1541, 1960, 1985, 1994, 2003 y 2017, en relación con la ubicación en superficie (traza) de la FSR y el relieve de la Región Metropolitana.

Fuente: Elaboración propia a partir de la superposición de las manchas urbanas mostradas en la Figura 4, realizadas en base a imágenes satelitales.

### Porcentaje de urbanización y Normativa urbana en la Falla San Ramón



### Población sector oriente de Santiago

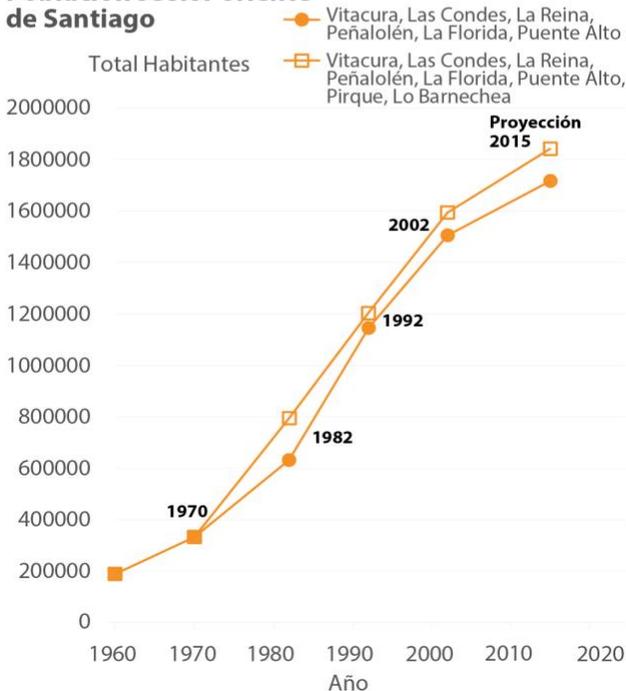


Figura 7. Evolución del porcentaje de urbanización sobre la traza de la Falla San Ramón (respecto de un largo total de ca. 30 km), en relación con la máxima urbanización posible de acuerdo a la normativa urbana vigente en cada periodo analizado (imagen superior), y crecimiento de la población total en las comunas del sector oriente de Santiago (imagen inferior).

Fuente: Elaboración propia en base a estados de crecimiento urbanos realizadas a partir de imágenes satelitales, PRIS y PRMS respectivos (imagen superior), y a partir de los antecedentes recopilados en los censos y tasas de crecimiento medio anual según ciudades de 1950-2002, y Reportes Comunales de la BCN.

### Plan Regulador Intercomunal de Santiago (PRIS), 1960

Dentro de la primera imagen que relaciona Santiago con la FSR (Figura 5a), podemos observar que la ciudad se ubicaba a una distancia razonable de esta falla, cuya traza estaba libre de urbanización, aun cuando el límite propuesto por el PRIS de 1960 alcanzaba a posarse sobre la misma y consideraba un porcentaje urbanizable de hasta un 30% de su traza en el sector nororiente del valle central (Figura 7).

Este plan, que fuera formulado por los arquitectos Honold, Correa y Martínez, generó una propuesta de ordenamiento territorial por expansión horizontal, con la implementación de una zona o faja suburbana, encerrada por dos límites territoriales, urbano y suburbano. Además, esta faja territorial de usos agrícolas, forestales o de reservas naturales (cauces de ríos, quebradas, etc.) configuraba un sistema de áreas verdes o cinturón verde entre zonas urbanas y rurales, que estaba en boga en la urbanística internacional en los años sesenta.

De alguna forma, se puede entender que este primer intento de plan-ciudad, que buscaba la fusión con el territorio mayor, acuñó un cierto control de la expansión urbana así como una relación con la conurbación de otros centros vecinos como San Bernardo, Puente Alto, Maipú y Quilicura. Asimismo, existe acuerdo en que el PRIS buscó reservar el recurso suelo para promover la recreación, la cultura y el paisaje de la comunidad del Gran Santiago. Sin embargo, según Gurovich (2000) la "propuesta radial concéntrica" aplicada en este instrumento, que proveyó una forma urbana de ciudad del tipo "intramuros" parisino, mostraba un problema ya observado en la actualidad: el de resolver las considerables divisiones sociales en Santiago, así como introducir mecanismos de gestión eficaces que permitieran proyectos de inversión pública y/o privada a escala metropolitana.

En 1979 se introdujo una modificación que alteró el concepto de límite urbano propuesto originalmente, resultando en una importante expansión de la ciudad. Esta situación cambia la órbita de acción del instrumento PRIS en vigencia hasta entonces. Lo anterior fue agudizado con la presencia de asentamientos irregulares que comenzaron a desarrollarse en el borde de la franja suburbana durante las tres décadas siguientes (1960-1990), haciendo eco de la PNDU de 1979 que había

detonado la liberación del suelo urbano al definirlo como un recurso no escaso.

Por otro lado, la propuesta paralela de un Plan Micro-regional para la cuenca de Santiago (1964), incorporaba la noción de la regulación del paisaje natural en la periferia amenazada por la expansión urbana, mediante categorías de uso del suelo que hacen referencia a los recursos agrícolas y naturales, las que sólo tendrán un valor indicativo puesto que no llegó a tener el status legal con que fue aprobado el Plan Intercomunal de Santiago (Gurovich, 2000).

De esta forma, es posible entender que intentos específicos en planificación se llevaron a cabo sin lograr resultados fructíferos para “integrar al Gran Santiago en un sistema de entidades urbanas, existentes y proyectadas, a partir de la aplicación del principio de desconcentración centralizada” (Gurovich, 2000). De hecho, los resultados de un estudio realizado en 1991 establecieron que no se alcanzó el mínimo de “estándares de áreas verdes” por habitante propuesto por el PRIS (Gámez, 2003).

Como resultado, es posible observar a un Santiago ya desarrollándose en propiedad en el sector nororiente del valle central, adentrándose en la serranías precordilleranas cercanas al río Mapocho, y disponiéndose sobre la traza de la FSR (Figura 5b), de modo tal que su porcentaje de urbanización cambió rápidamente desde cercano a nulo en 1979 a ca. 22% en 1985, con una regulación que permitía hasta un 100% de urbanización (Figura 7). La incipiente urbanización sobre la traza de la falla cerca de Las Vizcachas, en la comuna de Puente Alto, en la ribera norte del río Maipo, también contribuyó al incremento de la exposición directa de la ciudad ante esta amenaza geológica (Figura 6).

#### **Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), 1994**

Luego de casi una década de haber entrado en vigencia la segunda versión de la PNDU de 1985, un nuevo instrumento es lanzado en el año 1994: el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). Particularmente, este nuevo plan recoge lo concerniente a zonas de riesgo, de modo tal que en uno de sus artículos (2.1.17), la OGUC señala que “En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos”, siendo de responsabilidad del Estado, a través del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (Artículo 2.1.17 del Decreto 47 que fija el nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y

Construcciones), la permanente revisión, actualización y aplicación del PRMS.

Sin desmerecer sus atribuciones y reconociendo los aspectos normativos en materia de riesgo, la realidad territorial no experimentó un panorama distinto respecto al crecimiento de la zona urbana sobre la FSR, en particular, y cada vez más sobre el piedemonte andino, en general. Así, es posible observar cómo la urbanización en las comunas del sector nororiente de Santiago, tales como Lo Barnechea, Vitacura y Las Condes, sumado al sector de Puente Alto ya mencionado, alcanzaban en conjunto ca. 25% y 31% en los años 1994 y 2003, respectivamente (Figura 5c), con la posibilidad de un máximo territorio urbanizable de hasta ca. 75% del largo total de la traza de esta falla, de acuerdo al PRMS (Figura 7).

#### **El PRMS en el siglo presente, 2003 y 2017**

De cara al presente siglo, es posible observar un sector oriente de Santiago cuya urbanización ocupaba ca. 31% de la traza de la FRS en el año 2003 (Figura 5d), con un rápido incremento hasta ca. 53% en el año 2013, alcanzando hasta ca. 55% en el presente año 2017 (Figura 5e). Considerando las regulaciones vigentes en cada caso, el rápido incremento que ha experimentado la urbanización directamente sobre la traza de la FSR durante el presente siglo, ha redundado en un estrechamiento de la brecha urbanizable-urbanizado desde ca. 45% en 2003 a ca. 29% en 2017 (Figura 7).

Como panorama general es posible visualizar la expansión acelerada de la ciudad desde los años ochenta hacia el borde oriente del valle central, en particular, en contraposición a sus casi 500 años de historia (Figura 6).

La situación actual de la relación entre la traza de la FSR y la urbanización sobre la misma a lo largo de las comunas del sector oriente de Santiago, entre los ríos Mapocho y Maipo (Figura 8), evidencia no sólo que existe aún un porcentaje importante de su recorrido sin urbanizar (ca. 45%), sino también diferencias en la densidad del área urbanizada sobre ella, lo cual da cuenta de oportunidades para la prevención desde lo normativo, como también de diferencias en cuanto a la exposición de sus habitantes y por ende al riesgo.

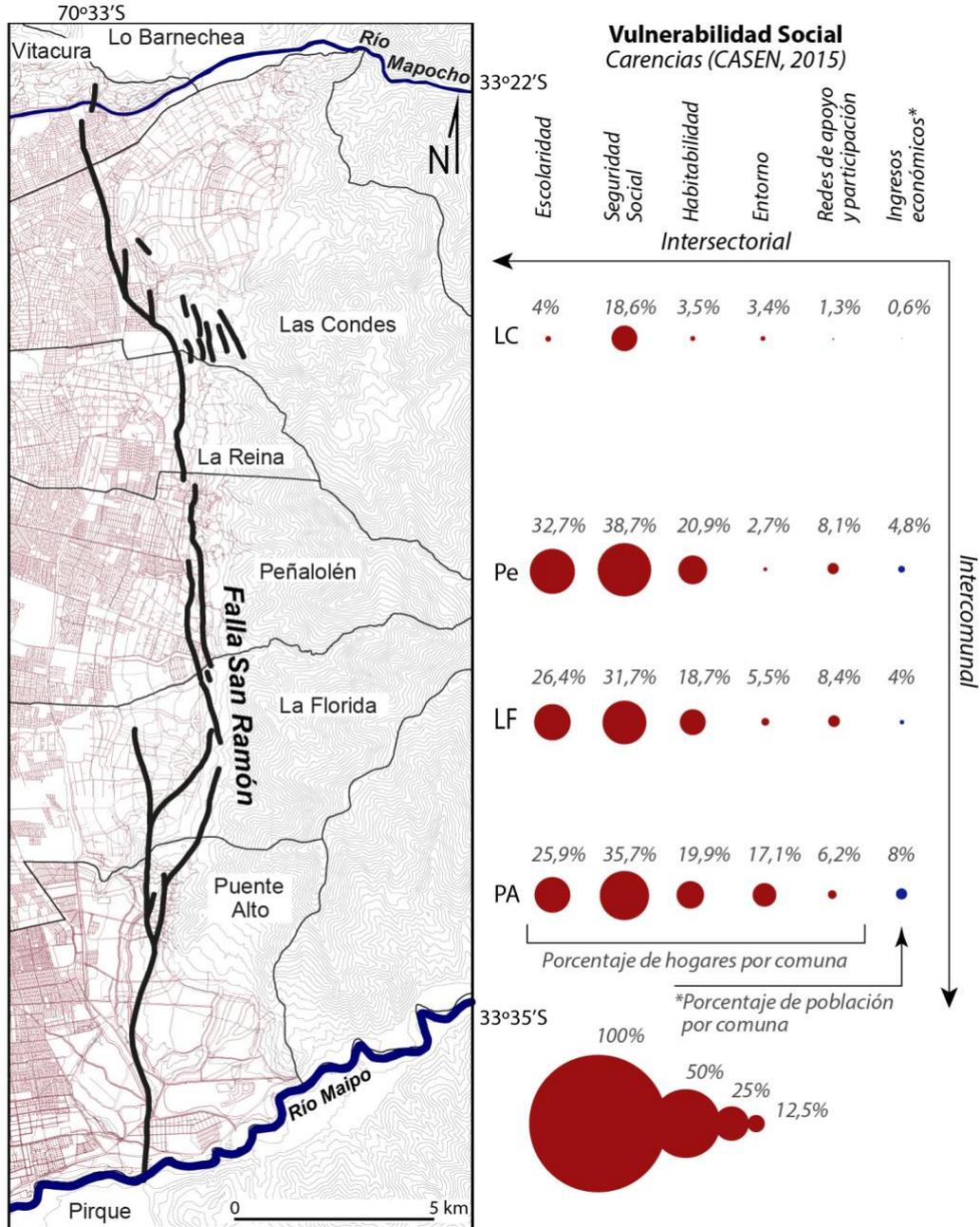


Figura 8. Detalle de la ubicación en superficie (traza) de la FSR (líneas negras gruesas) y la urbanización del sector oriente de Santiago evidenciada a partir de la yuxtaposición de la red vial a los límites de las manzanas urbanas (líneas rojas), escala 1/50.000. Curvas de nivel (en gris), cada 50 m. Se indican las cotas de 600, 700 y 800 m. s.n.m. Se muestran además antecedentes escogidos a priori relativos a la vulnerabilidad social de las comunas de Las Condes (LC), Peñalolén (Pe), La Florida (LF) y Puente Alto (PA), para representar las diferencias en cuanto a su situación de riesgo en relación con la potencial activación de la amenaza sísmica que constituye esta falla.

Fuente: Elaboración propia en base a Seremi MINVU (2012), antecedentes del Ministerio de Bienes Nacionales, y resultados de la encuesta CASEN 2015 (Ministerio de Desarrollo Social, 2015).

### Discusión: urbanización fallada

El análisis anterior evidencia cómo la progresiva disposición de la ciudad de Santiago sobre la FSR, así como sobre el piedemonte andino en general, ha incrementado el riesgo al cual están expuestos sus habitantes, cuestionando su condición de “clase mundial” en materia de desarrollo urbano.

En este sentido, similarmente al emblemático plan maestro de Brunner en 1934, la aplicación práctica del PRIS de 1960 fue diferente de su proposición teórica, logrando sólo un resultado parcial en el área metropolitana. Las críticas a la segregación social, la falta de identidad local, los nuevos nichos de pobreza, el desarrollo urbano desequilibrado, el territorio urbano ocupado y la infraestructura disponible, constituían preocupaciones a nivel oficial en las discusiones sobre el futuro de Santiago al final de la década.

Cambios conceptualmente importantes en los aspectos normativos referidos a la relación entre la ciudad y su entorno, en la práctica sobre el uso del suelo en la Región Metropolitana, se produjeron entre la vigencia del PRIS de 1960 y la promulgación de la PNDU de 1979. Mientras el primero visualizaba a una ciudad compacta, prudentemente relacionada con el piedemonte andino, la aplicación de las normativas desde 1979 hasta la actualidad, ha redundado en su rápida extensión hacia los faldeos cordilleranos.

Si bien los PRMS desde 1994 han incorporado a las amenazas naturales como un factor potencialmente restrictivo desde lo normativo, su aplicación en la práctica ha resultado no solo limitada, sino también insuficiente para visualizar un crecimiento sostenible de la ciudad. Esto también se debe a la diferencia entre el rápido avance de la urbanización, principalmente condicionada por la demanda de suelo y el libre mercado inmobiliario, respecto del avance –más lento– del conocimiento necesario para generar los cambios y las restricciones normativas, incluyendo la revisión y promulgación de adaptaciones o nuevas regulaciones. Lo anterior se manifiesta de modo evidente en el caso de la nueva amenaza que constituye la constatación de la Falla San Ramón como una estructura de naturaleza inversa y activa, conocimiento generado solamente a partir de los inicios del presente siglo.

Así, es posible desprender que la expansión acelerada de la ciudad desde los años ochenta hasta la actualidad ha

sido el resultado de casi seis décadas de una legislación que ha favorecido su extensión horizontal, junto con la aplicación de normativas que en la práctica han favorecido el éxito económico de los intereses del libre mercado inmobiliario por sobre la posibilidad de una planificación urbana sostenible, exponiendo en forma creciente a la población a la amenaza de un sismo mayor en la FSR, en particular, y a riesgos geológicos del piedemonte andino, en general, definiendo lo que se denomina en este trabajo como una “urbanización fallada”.

### Casi seis décadas de una “legislación en extensión”

En lo concerniente a los aspectos jurídicos, es interesante comparar las leyes sobre ocupación del suelo que han estado vigentes desde años sesenta hasta la fecha. Desde 1953 en Chile estuvo vigente la Ley General de Construcciones y Urbanización<sup>11</sup>, que fue derogada en 1976 por la actual Ley General de Urbanismo y Construcciones<sup>12</sup>. Al respecto, ambas normas concibieron una visión diferente sobre los objetivos de la planificación del territorio: mientras para la ley de 1956 el planeamiento tenía por objeto “dar a la población las máximas condiciones de higiene, de seguridad, de bienestar y estética, y obtener un aprovechamiento racional de los recursos de la comunidad” (Ministerio de Hacienda, 1953)<sup>13</sup>, la actual ley entiende que la planificación urbana es un “proceso que se efectúa para orientar y regular el desarrollo de los centros urbanos en función de una política nacional, regional y comunal de desarrollo socio-económico” (MINVU, 1976)<sup>14</sup>.

Así, hasta 1976 los objetivos de la planificación estaban establecidos por ley, mientras que actualmente la norma delega la definición de objetivos a políticas sin mayores orientaciones ni mención a la necesidad de un uso racional de los recursos (en este caso, el recurso suelo).

Sobre sus similitudes, ambas leyes atribuyen principalmente a las municipalidades la obligación de aplicar las normas de urbanismo<sup>15</sup>, establecen la obligatoriedad de ajustar las construcciones y el desarrollo urbano a los planes reguladores<sup>16</sup>, así como la prohibición de construir fuera de los límites urbanos<sup>17</sup>. En lo concerniente a las amenazas geológicas, actualmente la ley establece que las construcciones en áreas de riesgo deben ajustarse a los lineamientos de la Ordenanza

<sup>11</sup> Decreto Fuerza de Ley 224 de 1953.

<sup>12</sup> Decreto Fuerza de Ley 458 de 1976.

<sup>13</sup> Artículo 91, sobre el planeamiento comunal.

<sup>14</sup> Artículo 27.

<sup>15</sup> El señalado artículo 91 del Decreto Fuerza de Ley 224 de 1953 se refiere al planeamiento comunal.

<sup>16</sup> El mencionado artículo 27 remite las directrices de la planificación territorial al desarrollo de una política cuyos lineamientos generales no están definidos por ley, a diferencia de la normativa anteriormente vigente desde el año 1953.

<sup>17</sup> Artículo 103 de la ley de 1953 y artículo 55 de la actual.

General de Urbanismo y Construcciones<sup>18</sup>, sobre resistencia estructural y seguridad, considerando expresamente los peligros de sismo, deslizamiento de tierra y remoción en masa<sup>19</sup>.

A su vez, la actual Ordenanza permite definir áreas de riesgo tanto en la planificación urbana intercomunal como en la comunal<sup>20</sup> mencionando expresamente la existencia de fallas geológicas, como una característica de riesgo<sup>21</sup>. Finalmente, la actual normativa permite establecer áreas no edificables, debido a la naturaleza o ubicación de la zona<sup>22</sup>.

De lo anterior se desprende que es posible, bajo la legislación y la actual Ordenanza del PRMS, avanzar hacia la delimitación de zonas de riesgo asociadas a la amenaza de la FSR. De hecho, se consideran como “áreas de riesgo de origen natural”<sup>23</sup>, a:

las que presentan fallas geográficas y/o inestabilidad a los sismos; las volcánicas; las de inadecuada constitución del terreno para la fundación de estructuras; las de deslizamientos de materiales o sedimentos; las de inundación por aluvión o avenidas; las de avalanchas de nieve, derrumbes y corrientes de barro, las de concentración de aguas provenientes de las precipitaciones y las áreas afectadas por otros riesgos naturales potenciales de tipo geológico, geomorfológico, hidrológico y climático.

Haciendo la salvedad del error conceptual de llamar a las fallas geográficas en lugar de geológicas, esta ordenanza faculta legalmente al Estado para generar los cambios necesarios con el fin de reducir el riesgo asociado

no solo a fallas geológicas activas, sino también a otros procesos naturales que constituyan una amenaza para los asentamientos urbanos y humanos en general.

### El caso de la norma específica para fallas activas de California

La aplicación de una legislación específica relacionada con la posibilidad de ruptura en superficie asociada a fallas activas en el mundo data de los años setenta, siendo el Estado de California, uno de sus precursores (Seremi MINVU, 2012). Luego del destructivo terremoto de 1971 en San Fernando, generado a lo largo de un sistema de fallas activas muy similares a la FSR, y sobre la base de los avances en el conocimiento geológico del área, California dictó la Ley Alquist-Priolo de Zonificación de Fallas Activas (AP) (Alquist Priolo Earthquake Zonification Zoning (AP) Act), como un mecanismo para reducir las pérdidas asociadas a rupturas superficiales, salvaguardar la seguridad pública y prohibir asentamientos humanos sobre la traza de fallas geológicas activas que representan una amenaza para la infraestructura y la población<sup>24</sup>, así como para asegurar que la información sobre el riesgo esté disponible y sea comunicada oportunamente a la población<sup>25</sup>.

Lo anterior da cuenta de por lo menos tres aspectos destacables en cuanto a la reducción del riesgo de desastres:

- La legislación prioriza la seguridad de la población, los asentamientos humanos y su desarrollo sostenible, por sobre cualquier otra consideración, fomentando la

<sup>18</sup> Decreto 47 de 1992 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

<sup>19</sup> Artículo 105 letra f del Decreto 47 de 1992 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

<sup>20</sup> Artículos 2.1.7 letra h y 2.1.10 letra c del Decreto 47 de 1992 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

<sup>21</sup> Artículo 2.1.17, parte final número 3.

<sup>22</sup> Artículo 2.1.17. Sobre este artículo, es importante tener presente que, a la fecha, se encuentra pendiente ante la Contraloría General de la República la aprobación de una modificación que busca aumentar el listado de amenazas naturales.

<sup>23</sup> Artículo 8.2.1 del PMRS.

<sup>24</sup> La ley AP fue dictada en 1972, como un resultado directo del terremoto de 1971, el cual causó extensas rupturas en la superficie del suelo a lo largo de las fallas que se activaron en esa ocasión, causando daño a numerosas casas, edificios comerciales y otras estructuras. Su principal propósito es prevenir, en el sentido de evitar, la construcción de edificios de asentamientos humanos sobre la traza de fallas activas. Normativas complementarias dictadas posteriormente han considerado además los efectos indirectos tales como la posibilidad de licuefacción y deslizamientos asociados a los sismos. La ley AP requiere que el Geólogo del Estado establezca los mapas de zonificación a lo largo de la traza de fallas activas, los cuales son distribuidos a las ciudades y condados para

su uso en la planificación, controlando las construcciones. Antes que un proyecto sea permitido, se requiere una investigación geológica para demostrar que los edificios o construcciones propuestas no serán realizadas sobre fallas activas. La evaluación y el informe deben ser preparados por un licenciado en Geología, de modo tal que, si una falla activa es encontrada, no se puede construir una infraestructura para asentamiento humano y el proyecto debe ser reubicado lejos de la zona de falla, generalmente 50 pies, es decir, unos 15,24 m. Al 13 de julio de 2017, el Estado de California ha liberado cuatro versiones de mapas de zonas de fallas activas -potencialmente generadoras de terremotos- denotando una constante revisión, actualización y comunicación de la información disponible a la ciudadanía en relación a este tema (<http://www.conservation.ca.gov/cgs/rghm/ap>).

<sup>25</sup> De acuerdo con la ley AP, el hecho que una propiedad se encuentre en una zona de falla activa potencialmente generadora de terremotos (Earthquake Fault Zone), debe ser comunicado por el agente de bienes raíces, y en caso de que no haya un agente involucrado en la transacción, el vendedor debe hacerlo directamente al potencial comprador. Además, a partir de junio de 1998, la Ley de Divulgación de Riesgos Naturales (Natural Hazards Disclosure Act), requiere que los vendedores provean a los potenciales compradores uno o más mapas con la ubicación de la propiedad respecto de áreas de riesgo, incluida las zonas de fallas activas.

toma de decisiones sustentadas en el conocimiento científico.

- Se asume que, si bien puede que aún no se disponga de todo el conocimiento relativo a una(s) falla(s) geológica(s) potencialmente generadora(s) de terremotos —de hecho, asumir que se puedan tener certezas absolutas en estas materias sería erróneo—, la sola posibilidad que una de estas estructuras pase por un futuro asentamiento humano, obliga a generar el conocimiento necesario para realizar una evaluación precisa de su ubicación (traza), naturaleza (estructura geológica) y carácter (activa o inactiva), y en caso dado retirar el proyecto.
- Además, se asegura a los ciudadanos la disponibilidad de información transparente y pertinente para tomar decisiones que redundan en mejores condiciones —informadas— al momento de adquirir un bien raíz.

De este modo, se asume que la duda asociada a la falta de conocimiento, en lugar de inmovilizar, es capaz de gatillar nuevas investigaciones que permiten sustentar evaluaciones más precisas, tomar decisiones informadas, y mejorar las condiciones —de reducción del riesgo— de la sociedad, aspectos necesarios de avanzar en el caso de la FSR. Sin embargo, la existencia de esta normativa en California no ha impedido el crecimiento de la población expuesta a la amenaza (Farber, Chen, Verchick & Grow Sun, 2010). Por esto, si bien la experiencia legislativa californiana es interesante, sería también relevante considerar la realidad local ante la eventual y necesaria elaboración de una norma específica para el caso chileno.

### **Vulnerabilidad social y riesgo: la deuda de la desigualdad**

Finalmente, es importante señalar que, dada la desigualdad que se manifiesta en las comunas asentadas sobre la FSR, la particular situación de vulnerabilidad social obliga a un análisis más detallado respecto de los factores que podrían impedir una adecuada reducción del riesgo. La composición social —tanto en términos de ingresos económicos como de otras dimensiones de la calidad de vida— es de tal diversidad entre estas comunas (Figura 8), como también en algunos casos al interior de cada una de ellas, que la planificación urbana no aportará al desarrollo sostenible si no aborda equilibradamente las capacidades de resiliencia.

Ello implica considerar las condiciones de vulnerabilidad social que enfrentan los habitantes en dos aspectos: a nivel intersectorial, es decir, atender a las necesidades de educación, salud, habitabilidad, seguridad y redes sociales de manera integral; y a nivel intercomunal, es decir, diseñando estrategias

colaborativas frente a problemas comunes para evitar reproducir desigualdades basadas en las diferentes capacidades de gestión local actualmente presentes.

A este fin, la planificación urbana requiere integrar datos más precisos sobre la pobreza multidimensional en todas las comunas y sobre la distribución intracomunal de las capacidades resilientes que estén ya en desarrollo en los distintos sectores y unidades vecinales, a modo de establecer un diagnóstico específico de la segmentada realidad social que se esconde tras los planes reguladores generales para la ciudad.

### **Conclusiones**

En las últimas décadas, desde la promulgación de la Política Nacional de Desarrollo Urbano de 1979, la cual introdujo un cambio conceptual mayor señalando al suelo urbano como un recurso no escaso, la ciudad de Santiago ha experimentado una expansión hacia el borde oriente del valle central, sin precedentes en sus casi 500 años de historia previa, asentándose cada vez más sobre el piedemonte andino, y exponiendo en forma creciente a su población ante amenazas de procesos naturales de origen geológico, entre las cuales se encuentra la potencial ocurrencia de un sismo mayor en la FSR.

Si bien se conocía la FSR desde inicios del siglo pasado, siendo nombrada como tal ya en los años cincuenta y sesenta, la constatación de su estructura cortical, su naturaleza inversa, es decir, que a escala geológica ha montado sistemáticamente el frente cordillerano sobre el valle de Santiago, y activa, o sea capaz de generar sus propios terremotos, sólo se ha descubierto en el presente siglo. De este modo, esta falla constituye una nueva amenaza real para la ciudad, en el sentido que tiene la demostrada capacidad de generar sismos que, si bien pueden ser de menor magnitud que los producidos en el contacto de subducción de las placas tectónicas de Nazca bajo Sudamérica, su intensidad puede ser localmente mucho mayor, con la posibilidad además de generar una ruptura de varios metros en la superficie del suelo a lo largo de la misma.

Como resultado de marcos regulatorios que desde 1979 en adelante en la práctica han favorecido el relativo éxito del libre mercado por sobre la planificación urbana sostenible de la ciudad, la urbanización directa sobre la Falla San Ramón alcanza en la actualidad ca. 55% de su largo total medido entre los ríos Mapocho por el norte y Maipo por el sur, mientras que la brecha entre lo urbanizable (ca. 84% de su traza, de acuerdo con las restricciones actualmente vigentes) y lo urbanizado, ha disminuido rápidamente desde aproximadamente un

100% en 1979, 78% en 1985, 50% en 1994, 45% en 2003 y 29% en 2017.

A partir del análisis de las regulaciones actualmente vigentes, sin embargo, se constata que es posible avanzar hacia cambios normativos que potencialmente incluyan restricciones de edificación directa sobre la falla, y posibiliten la disponibilidad de información transparente y pertinente a la ciudadanía. Lo anterior, junto con la adecuada profundización tanto del conocimiento geológico de esta estructura, de las unidades que atraviesa en su recorrido a lo largo del piedemonte del frente cordillerano de Santiago, como de la evaluación precisa de las variables urbanas en infraestructura, población y vulnerabilidad social de las comunas que

recorre, podría redundar en decisiones de política pública que cambien el enfoque desde una urbanización “fallada”, denominada así en este trabajo, hacia una sostenible.

El estado en el que se encuentra la vulnerabilidad social de varias comunas por las que atraviesa la FSR, evidencia, en efecto, diferencias en las posibilidades de adaptación que la sociedad pueda tener ante la activación de esta amenaza. Las pobres condiciones de habitabilidad, la inseguridad social, la baja certificación educativa y la desintegración de las redes de apoyo, son también amenazas a la sostenibilidad del desarrollo, pues un importante porcentaje de personas no podrán decidir dignamente cómo vivir en los lugares de riesgo 

## Referencias

- Antinao, J.L. & Gosse, J. (2009). Large rockslides in the Southern Central Andes of Chile (32-34.5°S): Tectonic control and significance for Quaternary landscape evolution. *Geomorphology*, 104, 117-133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.008>
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R. & Kausel, E. (2010). The West Andean Thrust, the San Ramon Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, 29, TC2007, 1-34. <https://doi.org/10.1029/2008TC002427>
- Becerril-Padua, M. (2000). Policentrismo en las Ciudades Latinoamericanas. El Caso de Santiago de Chile. *Theomai*, (1). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12400108>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015. Reportes Estadísticos Comunales 2015.
- Boroschek, R., Contreras, V., Kwak, D.Y. & Stewart, J.P. (2012). Strong Ground Motion Attributes of the 2010 M<sub>w</sub> 8.8 Maule, Chile, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 28(S1), S19-S38. <https://doi.org/10.1193/1.4000045>
- Brüggen, J. (1950). *Fundamentos de la geología de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. & Shirley, W.L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-26. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Cáceres, G. (2006). Santiago 450 años y hacia el siglo XXI. En Municipalidad de Santiago. *Santiago, Plaza capital*. Santiago de Chile: Ilustre Municipalidad de Santiago.
- Cardona, O. (1996). Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. En María Fernández (Comp.), *Ciudades en Riesgo* (pp. 54-74). Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina. [http://www.desenredando.org/public/libros/1996/ceer/CER\\_cap04-MAYPD\\_ene-7-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/1996/ceer/CER_cap04-MAYPD_ene-7-2003.pdf)
- Carrión, F. (2005). El Centro Histórico como Proyecto y Objeto de Deseo. *Eure* 31(93), 89-100. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612005009300006>
- Daher, A. (1989). Privatización de la planificación. *Revista Universitaria* 27, 54-58.
- Daher, A. (1991). Neoliberalismo Urbano en Chile. *Estudios Públicos*, 43, 281-299. <https://www.cepchil.e.cl/neoliberalismo-urbano-en-chile/cep/2016-03-03/184631.html>.
- De Mattos, C. (1999). Santiago de Chile, Globalización y Expansión Metropolitana: Lo Que Existía Sigue Existiendo. *Eure* 25(76), 29-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71611999007600002>
- Domínguez, M. (2000). Parque Cousiño y Parque O'Higgins: Imagen Pasada, Presente y Futura de un Espacio Verde en la Metrópoli de Santiago. *Revista de Urbanismo* 3. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2000.11774>
- Estay, N., Yáñez, G., Carretier, S., Lira, E. & Maringue, J. (2016). Seismic hazard in low slip rate crustal faults, estimating the characteristic event and the most hazardous zone: study case San Ramón Fault, in southern Andes. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 16, 2511-2528. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2511-2016>
- Farber, D.A., Chen, J., Verchick, R.R.M. & Grow Sun, L. (2010). *Disaster Law and Policy*. Wolters Kluwer.

- Farías, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., ...& Fock, A. (2010a). Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean mountain building. *Tectonics*, 29, (3). <http://dx.doi.org/10.1029/2009TC002480>
- Farías, M., Vargas, G., Tassara, A., Carretier, S., Baize, S., Melnick, D., & Bataille, K. (2010b). Land-Level Changes Produced by the M-w 8.8 2010 Chilean Earthquake. *Science*, 329(5994), 916–916. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1192094>
- Gámez, V. (2003). La valoración del patrimonio de recursos en el cinturón verde (PRIS 1960) hasta la aprobación del nuevo Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS 1994). DT N3, Centro de Estudios CEAUP, Universidad Central de Chile. Recuperado de [http://fidonline.uccentral.cl/pdf/transformacion\\_pais\\_aje\\_dt7.pdf](http://fidonline.uccentral.cl/pdf/transformacion_pais_aje_dt7.pdf)
- Gurovich, A. (2000). Conflictos y Negociaciones. La Planificación Urbana en el Desarrollo del Gran Santiago. *Revista de Urbanismo*, 2. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2000.12304>.
- Hauser, A. (1993). *Remociones en masa en Chile*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería [Sernageomin].
- Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería [Sernageomin].
- Hidalgo, R. (2004). De los Pequeños Condominios a la Ciudad Vallada: Las Urbanizaciones Cerradas y la Nueva Geografía Social en Santiago de Chile (1990-2000). *Eure*, 30(91), 29-52. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612004009100003>
- Instituto Nacional de Estadísticas, INE.(2012). Censo de Población y Vivienda 2012.
- Inzulza Contardo, J. y Moran, P. (2017). Towards an analytical framework based on the principles of Civic Design. The case of post-earthquake Talca, Chile 2010–2016. *Cities*, 72, 356–368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2017.09.012>
- Inzulza Contardo, J. (2016). Contemporary Latin American gentrification? Young urban professionals (YUPs) discovering historic neighbourhoods. *Urban Geography*, 37(8), 1195–1214. <http://dx.doi.org/10.1080/02723638.2016.1147754>
- Kanamori, H. (1995). The Kobe (Hyogo-ken Nanbu), Japan, earthquake of January 16, 1995. *Seismological Research Letters*, 66, 6-10. <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.66.2.6>.
- Kaztman, R. (1999). *Activos y estructuras de oportunidades. Estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad social en el Uruguay*. Montevideo: Oficina del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/Oficina de CEPAL en Montevideo.
- Maskrey, A. (1993). Los Desastres No Son Naturales. Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile, IDE (Sin fecha). Ministerio de Bienes Nacionales. Recuperado de <http://www.ide.cl/download/capas.html>
- Memoria Chilena. (Sin fecha). Chile: Población censada y tasas de crecimiento anual, según ciudades 1950-2002. Recuperado de <http://www.memoriachilena.cl/archivos2/pdfs/MC0018840.PDF>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2015). Encuesta CASEN 2015. Recuperada de [www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/observatorio/casen/](http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/observatorio/casen/)
- Ministerio de Hacienda. (1953). *Artículo 91 del Decreto Fuerza de Ley No 224 que Fija el Texto de la Ley General de Construcciones y Urbanización*. Santiago: Ministerio de Hacienda.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1976). *Artículo 27 del Decreto Fuerza de Ley 458 que aprueba la Nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones*. Santiago: MINVU.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1979). *Política Nacional de Desarrollo Urbano*. Santiago: MINVU.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1981). *Conceptos Básicos para la Formulación de la Política Nacional de Desarrollo Urbano 1979*. Santiago: MINVU.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1985). *Política Nacional de Desarrollo Urbano*. Santiago: MINVU.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1992). *Artículo 2.1.17 del Decreto No 47 que fija el nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones*. Santiago: MINVU.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). *Hacia una nueva Política Urbana para Chile. Política Nacional de Desarrollo Urbano*. Santiago: MINVU. Recuperado de <http://cndu.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/L4-Politica-Nacional-Urbana.pdf>
- Moser, C. (1998). The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development*, 1 (26), 1–19.

- Pavéz, M. (1996). El Archivo Karl Brunner en F.A.U. de la Universidad de Chile - Antología. *Revista De Arquitectura*, 8, 38.
- Pavéz, M. (1992). Precursores de la Enseñanza del Urbanismo. Periodo 1928-1953. *Revista De Arquitectura*, 3, 2-11.
- Pérez, A., Ruiz, J.A., Vargas, G., Rauld, R., Rebolledo, S. & Campos, J. (2014). Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramon Fault at the eastern border of Santiago city, Chile. *Natural Hazards*, 71, 243-274.
- Pérez-Tello, S. (2014). La pobreza en emergencia: nuevas dimensiones en situaciones de crisis. En J. Boltvnik (Ed.), *Multidimensionalidad de la pobreza: alcances para su definición y evaluación en América Latina y el Caribe* (pp. 457-484). Buenos Aires: CLACSO.
- Rauld, R. (2002). *Análisis morfoestructural del frente cordillerano: Santiago oriente entre el río Mapocho y Quebrada de Macul* (memoria para optar a título de geólogo). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Rauld, R. (2011). *Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33ºS)* (Tesis de Doctorado en Ciencias, Mención Geología). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Riesner, M., Lacassin, R., Simoes, M., Armijo, R., Rauld, R. & Vargas, G. (2017). Kinematics of the active West Andean fold-and-thrust belt (central Chile): Structure and long-term shortening rate. *Tectonics*, 36, 287-303, <http://dx.doi.org/10.1002/2016TC004269>.
- Riso Patrón, L. (1924). *Diccionario Jeográfico de Chile*. Santiago. Imprenta Universitaria.
- Sabatini, F. y Arenas, A. (2000). Entre el Estado y el Mercado: Resonancias Geográficas y Sustentabilidad Social en Santiago de Chile. *Eure*, 26(79), 95-113. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-7161200007900006>
- Sellés, D. y Gana, P. (2001). Geología del Area Talagante–San Francisco de Mostazal: regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O’Higgins. *Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica*, 74.
- Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo. (1994). *Plan Reguladro Metropolitano de Santiago, aprobado por resolución No20 del Gobierno Regional Metropolitano*. Santiago: SEREMI MINVU.
- Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo [SEREMI MINVU] (2012). Estudio Riesgo y Modificación PRMS Falla San Ramón (ID N°640-27-LP10), Informe Etapa 3. Santiago: Autor.
- Sepulveda, S.A.; Rebolledo, S.; Vargas, G. (2006). Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. *Quaternary International*, 158, 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.031>
- Thiele, R. (1980). *Geología de la hoja Santiago, Región Metropolitana, Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000*. Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Universidad de Chile, Departamento de Obras Civiles (1969). Informe Geotécnico Terrenos Centro de Estudios Nucleares en La Reina –Provincia de Santiago.
- Vargas, J. (2002). *Políticas Públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y siconaturales*. Santiago: Cepal.
- Vargas, G., Klinger, Y., Rockwell, T.K., Forman, S.L., Rebolledo, S., Baize, S., ...& Armijo, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, 42(12)1083-1086. <https://doi.org/10.1130/G35741.1>
- Vigny, C., Socquet, A., Peyrat, S., Ruegg, J.-C., Métois, M., Madariaga, R., ... & Kendrick, E. (2011). The 2010 M<sub>w</sub> 8.8 Maule Megathrust Earthquake of Central Chile, Monitored by GPS. *Science*, 332, 1417-1421. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1204132>
- Wilches-Chaux, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. En Maskrey, A. (Ed.), *Los desastres no son naturales* (pp. 11–44). Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina. <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Yamaguchi, N. & Yamazaki, F. (2001). Estimation of strong motion distribution in the 1995 Kobe earthquake based on building damage data. *Earthquake engineering and structural dynamics*, 30, 787-801. <https://doi.org/10.1002/eqe.33>