

## Resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales en Chile: experiencias de San Fernando y Los Ángeles

**Luis Eduardo González González<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1631-7075>

Correo electrónico: [gonzalezgleduardo@gmail.com](mailto:gonzalezgleduardo@gmail.com)

**Sergio Baeriswyl Rada<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1356-2515>

**Ana Zazo Moratalla<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-9448>

<sup>1</sup> Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

### Resumen

Entender los atributos de los subsistemas que componen a la ciudad y su potencial en el incremento de las capacidades de resiliencia es crucial para la planificación urbana en áreas expuestas a amenazas naturales. Específicamente, este artículo se focaliza en ciudades intermedias que periódicamente son afectadas por inundaciones fluviales en el valle central de Chile. Al respecto, las experiencias internacionales demuestran que fenómenos similares tienen una tasa de retorno conocida y los centros poblados planificados pueden tomar medidas para adaptar su sistema urbano y convivir con ellas en lugar de sólo resistirlas. Sin embargo, poco se sabe sobre las potenciales capacidades de los equipamientos críticos y su rol como motor de recuperación en escenarios de emergencia. Para demostrar aquello, este estudio examinó la relación entre los equipamientos críticos y el uso de los espacios abiertos de libre acceso en la ciudad, como atributos para incrementar las capacidades de resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales instaladas, mediante dos casos de estudio: San Fernando y Los Ángeles en Chile. Lo anterior, medido a través de un modelo de evaluación diseñado por los autores. Consecuentemente, los resultados obtenidos demuestran que la localización y cobertura de dichos elementos es fundamental para incrementar la resiliencia.

### Palabras clave

Equipamiento crítico, inundaciones fluviales, resiliencia.

## Urban flood resilience in Chile: San Fernando and Los Ángeles experiences

### Abstract

Understanding the attributes of the subsystems that make up the city and their potential in increasing resilience capacities is crucial for urban planning in areas exposed to natural hazards. Specifically, this article focuses on intermediate cities that are periodically affected by river floods in the central valley of Chile. In this regard, international experiences show that similar phenomena have a known rate of return and planned populated centres can take measures to adapt their urban system and live with them instead of just resisting them. However, little is known about the potential capabilities of critical equipment and its role as a recovery engine in emergency scenarios. To demonstrate this, this study examined the relationship between critical facilities and the use of open spaces with free access in the city, as attributes to increase urban resilience capacities against installed river floods, through two case studies: San Fernando and Los Angeles in Chile. The above, measured through an evaluation model designed by the authors. Consequently, the results obtained show that the location and coverage of these elements is essential to increase resilience.

### Keywords

Critical equipment, resilience, river floods.

### HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido:

02 de julio de 2020.

Aceptado:

18 de noviembre de 2020.

### CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

González, L.E., Baeriswyl, S., & Zazo, A. (2020). Resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales en Chile: experiencias de San Fernando y Los Ángeles. *Revista de Urbanismo*, 43, 131-150. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.57868>

## Introducción

De acuerdo con diferentes observatorios internacionales especializados en índices de riesgo frente a desastres socio-naturales (Dartmouth Flood Observatory, 2017), Chile es un país altamente vulnerable frente a las amenazas naturales a las que está expuesto su territorio, detonando periódicamente inundaciones urbanas, maremotos, erupciones volcánicas, entre otras, que han acentuado sus efectos en años recientes probablemente como resultado de las variaciones asociadas al Cambio Climático, afectando mayoritariamente a las áreas urbanas que actualmente concentran el 87,8% de la población nacional (INE, 2018), especialmente, en las denominadas ciudades intermedias y localidades menores. En este contexto, Chile es un país que cuenta con una larga tradición en normativa asociada a la calidad de sus construcciones (Lawner, 2010), introduciendo sistemáticamente desde 1931 precisiones a dichos cuerpos normativos tras la experimentación de un nuevo desastre socio-natural, principalmente, relacionados a terremotos (Imilan & González, 2017). Sin embargo, en materia de planificación urbana se ha avanzado muy poco en la incorporación de los desastres socio-naturales en las disposiciones fijadas por los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT), principalmente en aquellos de escala comunal (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014), desarrollándose aún en base a estudios de recurrencia tradicionalmente en intervalos de 5, 10, 25 y 50 años, ello por sobre análisis de múltiples criterios (Molinari, 2016; Schaefer, Thinh, & Greiving, 2020; Van Veelen, 2016). Por lo tanto, eventos recientes sugieren que estos han afectado de similar manera a ciudades que cuentan con un IPT y a aquellas que no, colocando en la palestra la discusión sobre la real efectividad de dichos instrumentos, siendo necesario pensar la planificación urbana desde un sentido amplio (Imilan & González, 2017) y aquello resulta vital en el caso de las inundaciones urbanas ya que estas representan el tercer peligro natural más dañino globalmente (Wilby & Keenan, 2012) corriendo Chile igual suerte; ya que las características geográficas del territorio y el poblamiento de las llanuras fluviales hacen al país vulnerable frente a este fenómeno (González, Baeriswyl, Zazo y Alvarado, 2019). Además, registros históricos demuestran que el

71% de las inundaciones han sido detonadas por eventos hidrometeorológicos extremos, específicamente, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos afectando con mayor intensidad a ciudades intermedias del Valle Central (Rojas, Mardones, Arumí y Aguayo, 2014). En resumen, se ha avanzado poco en planificación urbana nacional desde el ámbito normativo (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014), mientras las diversas aproximaciones conceptuales de resiliencia en el ámbito internacional han avanzado sustancialmente (Bush & Doyon, 2019); sin embargo, existe una brecha no cubierta y que este artículo busca responder a través de la pregunta ¿de qué manera la planificación de los equipamientos críticos y de los espacios abiertos de libre acceso desde un sentido amplio podrían incrementar las capacidades de adaptabilidad y resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales?. Al respecto, autores como Bush y Doyon (2019) y Liao (2012, 2014) sugieren que la respuesta a dicha pregunta se podría encontrar en la planificación urbana integrada mediante estrategias de redundancia de subsistemas, aspecto que se explora en el desarrollo de esta investigación y que resulta clave para abordar cabalmente tal interrogante. Consecuentemente, el objetivo es proporcionar antecedentes cuantificados sobre las potencialidades de los elementos antes indicados para que estos permitan incrementar la resiliencia.

En este contexto, las inundaciones por desborde de cauces acontecidas recientemente en áreas urbanas planificadas de ese Valle parecen evidenciar que los equipamientos críticos y espacios abiertos de libre acceso estratégicamente emplazados en la trama urbana tienen el potencial de funcionar como motor para incrementar las capacidades de resiliencia (González, Baeriswyl, Zazo y Alvarado, 2019), por sobre las características propias de las edificaciones que sólo les permiten resistir sus embates hasta un determinado límite (Liao, 2012). Lo anterior sugiere que los equipamientos críticos y los espacios abiertos de libre acceso se pueden utilizar para que las ciudades se adapten de mejor manera frente a las inundaciones que periódicamente las afectan (Van Veelen, 2016) a través de criterios de planificación urbana integrada y atributos, tales como, el emplazamiento de ellos y las áreas de cobertura territorial (Nassauer,

2009) cuando existe redundancia de estas. Aun cuando los criterios sobre riesgos naturales han estado siempre implícitos en la planificación urbana tradicional chilena (Baeriswyl, 2014), no existe información sistematizada que permita verificar tal hipótesis y tampoco hasta ahora se han aplicado herramientas para evaluarlo (González, Baeriswyl, Zazo & Alvarado, 2019). La investigación utiliza una metodología aplicada y con un enfoque cuantitativo, situada desde una base epistemológica empirista; adicionalmente, se emplea un modelo de evaluación diseñado por los autores que tiene el propósito de testear el papel de dichos equipamientos y sistemas basado en el proyecto de investigación europeo Flood-IMPAT+ del Politécnico di Milano<sup>1</sup> (Molinari, 2016), el cual cuenta con dos dimensiones de análisis: i) Territorial, y; ii) Comunitaria. Sin perjuicio de lo anterior, este artículo sólo profundizará en dos aspectos de la primera dimensión, a saber, redundancia de equipamientos críticos y redundancia de espacios abiertos en dos casos de estudio: San Fernando en la Región del L.G.B. O'Higgins y Los Ángeles en la Región del Bío-Bío, Chile.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten identificar al grupo de factores determinantes de la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales que mediante acciones de planificación urbana integrada y de redundancia permiten incrementar dichas capacidades para la construcción de ciudades con mayores capacidades adaptativas, lo cual se logró tras aplicar el modelo diseñado y una matriz de priorización denominada Analytical Hierarchy Process (AHP).

## Marco teórico

Actualmente, el mundo se enfrenta al reto de convivir con el Cambio Climático, proceso donde se ha planteado la resiliencia como un enfoque adaptativo para hacer frente a sus consecuencias. Según Haitsma (2016) el Cambio Climático se ha manifestado de numerosas maneras, tales como, el aumento de las temperaturas, aumento del nivel del mar y tormentas más cortas e intensas, entre otras. En ese sentido, expertos internacionales indican que, si no se le pone freno, el Cambio Climático

hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Específicamente, en términos hidrológicos el aumento del nivel del mar y de las tormentas costeras e interiores serán más frecuentes, incrementando significativamente el riesgo de inundación en áreas ribereñas (Irish Environment Heritage and Local Government, 2009). El Cambio Climático no es sólo una cuestión de impacto sobre las ciudades, sino que es un cúmulo de cambios ambientales que interactúan con sociedades humanas y los consiguientes riesgos que los asentamientos humanos deben enfrentar. Así, con el propósito de reducir el impacto de tales peligros y aumentar la seguridad de sus habitantes, las ciudades y sus comunidades deben ser más resilientes (International Strategy for Disaster Reduction, 2010), de lo contrario éstas vivirán bajo una amenaza continua y, por lo tanto, estarán más expuestas a dichos fenómenos. Al respecto, el 2015 estuvo marcado por tres importantes acuerdos internacionales sobre la materia: El Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres, la Agenda de Desarrollo Sustentable 2030 (Naciones Unidas, 2015a) y el Panel Internacional sobre Cambio Climático (Naciones Unidas, 2015b). Todos éstos concuerdan en la importancia y utilidad de recoger, analizar y sistematizar información sobre desastres socio-naturales ocurridos mundialmente, lo que es complementado mediante Hábitat III (lo discutido en Policy in Focus volumen 13, número 3 por Muggah) Hoy en día, diversos autores sostienen que los efectos más devastadores del Cambio Climático los deben enfrentar las ciudades, donde las pérdidas de vidas humanas y económicas, daños en equipamientos e infraestructura crítica y redes básicas son mayores (Wilby & Keenan, 2012). Así, mediante medidas debatidas y continuamente actualizadas es posible que las ciudades se adapten a los efectos del Cambio Climático incorporando acciones incrementales, transicionales y de transformación que forman parte de los *caminos hacia la resiliencia* (Chelleri, Waters, Olazabal, & Minucci, 2015), donde la planificación urbana integrada de ciudades y sus elementos constituyentes juegan un papel relevante

1 Lugar donde uno de los autores realizó una pasantía de investigación durante el 2017.

para que estas cuenten con capacidades adaptativas y de resiliencia instaladas (Molinari, 2016; Schaefer, Thinh & Greiving, 2020; Van Veelen, 2016).

### *El concepto de Resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales*

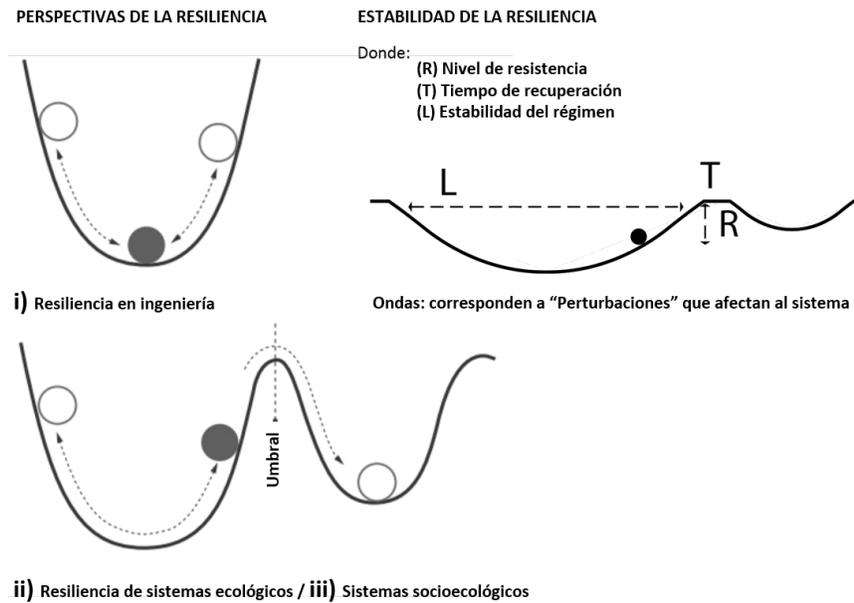
La resiliencia es probablemente uno de los conceptos más utilizados actualmente desde diversas perspectivas y ámbitos; no obstante, no es un concepto nuevo ya que su origen se remonta a la década de 1970, específicamente, Holling (1973) la describió como la habilidad de un sistema para mantenerse funcionando y sobreponerse frente a las perturbaciones que lo afecten. Sin embargo, habiendo pasado más de cuarenta años desde la aparición de aquel novel concepto, aun no existe consenso sobre la definición concreta de éste y menos aun sobre cómo medirlo (Schaefer, Thinh & Greiving, 2020; González, Baeriswyl, Zazo & Alvarado, 2019); donde las discusiones han sido principalmente teóricas y carentes de evidencia empírica sólida, conduciendo a un razonamiento circular y sesgado (lo discutido en Policy in Focus volumen 13, número 3 por Muggah). No obstante, lo anterior ha sido abordado desde múltiples perspectivas, a saber, ecológicas, desde la ingeniería y perspectivas socio-ecológicas. Esta última será revisada en profundidad ya que es la que incorpora Flood IMPAT+ desde su concepción. Actualmente, este concepto brinda la oportunidad de entender sistemas socio-ecológicos complejos y su relación con la gestión sustentable vinculada al Cambio Climático y la formulación de estrategias adaptativas (Pickett, Cadenasso, & McGrath, 2013).

**Resiliencia socio-ecológica.** En este artículo, la resiliencia será entendida desde este enfoque que de acuerdo con Meerow, Newell y Stults (2016), se define como

la habilidad de un sistema urbano y todo su sistema constituyente para mantener o rápidamente retornar a las funciones deseadas tras enfrentar una o más perturbaciones, adaptándose al cambio y transformando sistemas con limitaciones en sistemas con capacidades adaptativas (p.39).

Subsidiariamente, Liao (2012) propone el concepto “resiliencia frente a inundaciones fluviales”, sosteniendo que para incrementarla deben potenciarse medidas no estructurales a través de un manejo eficiente de los IPT y políticas públicas acertadas (Greiving, 2006). Así, estando de acuerdo con los autores antes señalados y los aportes realizados por González (2020) existen tres propiedades claves de la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales: i) redundancia de subsistemas; ii) tiempo de aprendizaje tras cada evento, y; iii) capacidad de respuesta localizada. Enfatizando cada uno de ellos en el factor tiempo de adaptación como elemento determinante (ver Figura 1), denominado caminos hacia la resiliencia (Chelleri, Waters, Olazabal, & Minucci, 2015). En específico, la redundancia de subsistemas, es decir, diversidad y flexibilidad da cuenta de la capacidad de respuesta funcional rápida y efectiva frente a las perturbaciones que afectan al sistema para que este no colapse (Liao, 2012). Pese a ello, existe poca literatura sobre dicha conexión y algunos autores (Allan, Bryant, & Wirsching, 2013) argumentan que las investigaciones sobre planificación urbana en escenarios de emergencias y la gestión del riesgo de desastres comúnmente se focalizan en ellos como un espacio de la ciudad que debe ser recuperado prontamente, en lugar de plantearse como espacios que contribuyen a la recuperación, constituyendo aquello un cambio de paradigma (González, Baeriswyl, Zazo & Alvarado, 2019). Sin embargo, excepciones notables a esta brecha se encuentran en Cai y Wang (2009), Wu (2012) y Van Veelen (2016), quienes han examinado el papel de dichos sistemas durante un evento en diversos aspectos, tales como, vías de evacuación, albergues y hospitales, configuración de áreas de seguridad, bomberos y policía y accesibilidad desde y hacia servicios de ayuda en escenarios de emergencia, concluyendo que aquellos constituyen el primer medio con el cual cuentan las personas para salvar su vida y proteger sus bienes, materia en la cual coinciden otros autores (Tumini, Villagra-Islas, & Herrmann, 2016). Diferenciando también a aquellos que van en ayuda de la población en escenarios de emergencia y aquellos que brindan ayuda desde su ubicación específica en la ciudad.

**Figura 1**  
Perspectivas de resiliencia y aproximaciones a su estabilidad



Fuente: Elaboración propia basada en Liao (2012).

**Acciones incrementales desde el enfoque de la resiliencia socio-ecológica.** Con objeto de ilustrar los planteamientos antes expuestos, un ejemplo notable de planificación urbana integrada y acciones incrementales adaptado al fenómeno de las inundaciones lo constituye la ciudad de Rotterdam en Los Países Bajos y las denominadas "water plazas", donde estas conforman un espacio flexible y de usos adaptables; primero, como área de inundación planificada, y; segundo, como espacio abierto a la comunidad, configurándose así intervenciones estratégicas en el territorio que permiten actuar en condiciones normales y en condiciones de emergencia de forma diferenciada, por lo tanto, estas son pequeñas acciones en el diseño urbano de la ciudad que les permite adaptarse de mejor manera a los fenómenos que deben enfrentar (Liao, 2012; Liao, 2014; Van Veelen, 2016). Por otra parte, la capacidad de respuesta localizada de los equipamientos críticos promueve el desarrollo de ciudades auto organizadas a través de roles y funciones incorporados en el comportamiento de las personas en escenarios de emergencia (Molinari, 2016). Finalmente, el tiempo de aprendizaje y ajuste tras cada inundación implica adquirir conocimiento específico luego de cada evento y aplicarlo en el siguiente evento o perturbación (Voss & Wagner, 2010). En este contexto, los IPT's tienen el potencial de planificar integradamente la forma

urbana colocando los énfasis en la resiliencia frente a inundaciones a través de la redundancia de subsistemas, y generando acciones apropiadas para mejorar las acciones de la gestión del riesgo de desastres: respuesta y recuperación.

*Resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales: Brechas y oportunidades a través de la redundancia de subsistemas*

Hasta mediados de la década de 1990 los desastres socio-naturales fueron abordados principalmente desde la perspectiva de la gestión de las emergencias (Sapountzaki et al., 2009), focalizándose en las acciones necesarias para superar los efectos inmediatos provocados por el desastre mediante acciones, tales como, re-establecer los servicios básicos de electricidad y agua potable, entrega de viviendas de emergencia y re-establecer la conectividad de las áreas urbanas y rurales afectadas, entre otras acciones. Sin embargo, a partir de la década del 2000 diversos organismos internacionales (The World Bank, Red Cross, Resilience Alliance, UNISDR, entre otros) han puesto en valor el papel de la planificación urbana en la evaluación del riesgo de desastres y la han relevado como la principal medida no estructural que se debe incorporar durante la etapa de prevención del

Ciclo del Desastre (Greiving, 2006), potenciando a ésta como la etapa más importante en la construcción de ciudades resilientes. Coincidiendo con Greiving (2006), para que esto ocurra es necesario que exista un enfoque de gobernanza territorial; ya que los IPT's son reflejo de los programas impulsados desde cada Estado. En este orden de ideas, diversas experiencias internacionales han demostrado que la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) ha sido abordada por medio de diferentes tipos de instrumentos que incluyen a los riesgos como un elemento central; no obstante, actuales visiones de Estado demuestran que existen dos tendencias occidentales: una seguida principalmente por países europeos, tales como Alemania, Los Países Bajos e Italia, que abordan separadamente a las amenazas y las vulnerabilidades, en concordancia con los principales lineamientos de la Directiva Europea de Inundaciones (The European Parliament and The Council of the European Union, 2007), buscando que dichos instrumentos puedan ayudar a reducir la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a peligros naturales. Mientras que, en países como Chile, los conceptos de riesgo y amenaza son incorporados conjuntamente en un único instrumento, mediante el cual se establece la zonificación del territorio y la determinación de los usos permitidos en cada zona. Lo anterior, es una brecha que históricamente el enfoque de planificación urbana utilizado en Chile no había cubierto; sin embargo, ello cambió hace 5 años ya que ahora son conceptos que se encuentran en pleno desarrollo por parte de la Comisión Nacional de Desarrollo Urbano mediante la planificación urbana integrada, entendida como un mecanismo que opera mediante un sistema de planificación, esto es, una articulación institucional de políticas, leyes, planes y programas que se ponen al servicio de una visión de ciudad y unos objetivos y metas para alcanzarla (Moris, Contrucci y Ortega, 2017; Vicuña et al., 2016).

En este contexto, el concepto de la redundancia brinda la oportunidad de pensar la ciudad a través de subsistemas urbanos que de acuerdo con Liao (2012) es la medida en que elementos de un determinado sistema son sustituibles, dando cuenta de una capacidad de respuesta funcional, operacional y de distribución de aquellos equipamientos

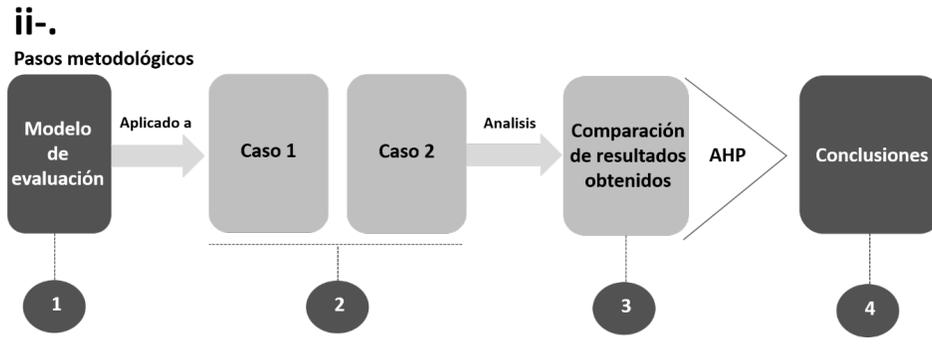
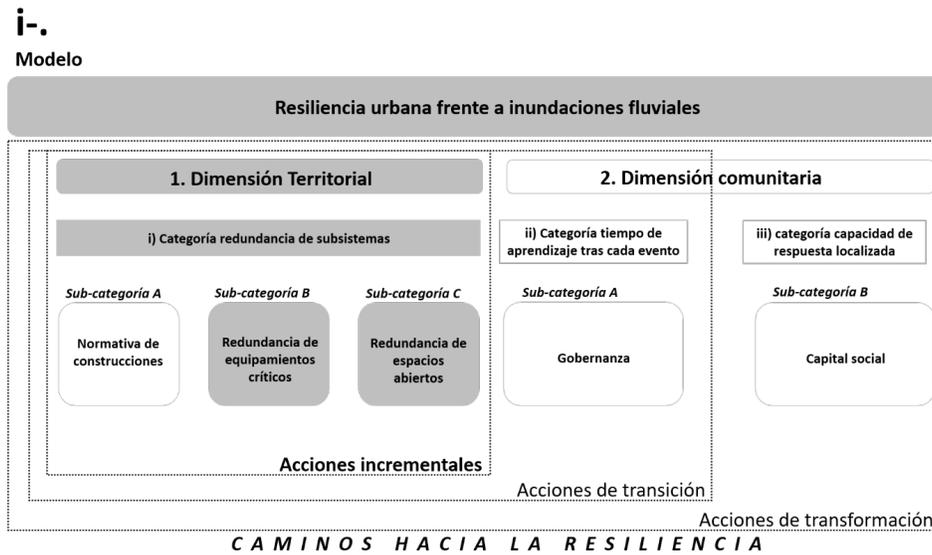
críticos para el funcionamiento continuo de la ciudad, con objeto que ésta no colapse y se mantenga funcionando luego de una perturbación. Para que esto ocurra, Liao (2012) sostiene que los subsistemas deben ser diversos y flexibles, tanto en, equipamientos críticos y en espacios abiertos de libre acceso; ya que son estos los que tienen la cualidad de ser lo más próximo a las comunidades cuando se enfrentan a desastres socio-naturales, por lo tanto, son el primer recurso para enfrentar al fenómeno (Allan, Bryant, & Wirsching, 2013), de allí su importancia y necesidad de planificarlos adecuadamente..

## Metodología

Mediante una metodología aplicada y con un enfoque cuantitativo se realizó un análisis comparado de dos casos de estudio, situada desde una base epistemológica empirista. Se utiliza como herramienta de investigación un modelo de evaluación diseñado por los autores basado en Flood-IMPAT+ del Politécnico di Milano (Molinari, 2016) y adaptado al contexto chileno para testear el papel que tienen los sistemas urbanos descritos en la construcción de resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales. Al respecto, es necesario precisar que el modelo de Molinari (2016) busca entender el fenómeno de las inundaciones urbanas a través de una serie de indicadores que abordan tanto a la dimensión territorial como a la dimensión comunitaria, desarrollando un inventario de estas y definiendo relaciones directas e indirectas para comprender el fenómeno y sus consecuencias sobre los territorios. En tanto que, la aportación metodológica que realiza este artículo es que a partir de Flood-IMPAT+ se cuantifican los indicadores propuestos en el modelo, se incorporan indicadores complementarios y se organizan los resultados a través de una matriz de relaciones directas e indirectas que sigue a la estructura de los *camino hacia la resiliencia* (ver Figura 2). Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos es posible definir niveles de acción, convirtiéndose en una herramienta de medición y no sólo de diagnóstico estratégico, de allí su contribución al conocimiento especializado.

El esquema metodológico (Figura 2) consiste en el análisis prospectivo de dos casos de estudio a través de 8

Figura 2  
i.-Modelo de evaluación, y; ii.- Pasos metodológicos



Fuente: Elaboración propia.

indicadores que forman parte de la *dimensión territorial*, categoría *redundancia de subsistemas* y específicamente en este artículo se exponen las subcategorías B y C, redundancia de equipamientos críticos y redundancia de espacios abiertos respectivamente, para llegar a identificar los factores determinantes incluidos en esta. Metodológicamente, el modelo es aplicado en dos casos de estudio, para luego realizar un análisis comparado de resultados obtenidos y, posteriormente, con el conocimiento incorporado se realiza la priorización de ellos a través de una matriz de multicriterio (AHP).

*Modelo de evaluación y recolección de datos*

El modelo aborda en detalle a la categoría *redundancia de subsistemas* a través de 8 indicadores, que se desglosan en 2 subcategorías: *redundancia de equipamientos críticos*

mediante 6 indicadores y; *redundancia de espacios abiertos* mediante 2 indicadores. La ponderación de cada uno de ellos diferencia 5 niveles, donde: a mayor número (del 1 al 5), existirá mayor capacidad de resiliencia instalada en la ciudad frente a inundaciones fluviales. Para la ponderación se utiliza la Escala de Likert, a través de la siguiente nomenclatura: 5 (muy alta); 4 (alta); 3 (medio); 2 (bajo), y; 1 (nula). En la Tablas 01 y 02 se detalla la codificación de cada uno de los rangos señalados de manera pormenorizada. En particular, los rangos de la subcategoría *redundancia de equipamientos críticos* y de la *redundancia de espacios abiertos* se definió en base a: i) estándares internacionales establecidos en Informes de la Cruz Roja Internacional (2014) y recomendaciones definidas por Flood-IMPAT+ (Molinari, 2016) y; ii) en cuanto al área de cobertura de cada equipamiento crítico se utilizaron rangos máximos de

**Tabla 1**  
Indicadores categoría redundancia de subsistemas. Sub-categoría redundancia de equipamientos críticos.

N°	INDICADOR	CONDICIÓN	PUNTAJE
1	Población viviendo en área expuesta a una amenaza (PVAEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≤ 200 hab</li> <li>• hasta 400 hab</li> <li>• hasta 600hab</li> <li>• hasta 800hab</li> <li>• &gt; 800hab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
2	Equipamientos críticos emplazados en área expuesta a una amenaza (ECEAEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0</li> <li>• hasta 1</li> <li>• hasta 3</li> <li>• hasta 5</li> <li>• &gt; de 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
3	Edificios de Administración Pública emplazados en área expuesta a una amenaza (EAPEAEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0</li> <li>• hasta 1</li> <li>• hasta 3</li> <li>• hasta 5</li> <li>• &gt; 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
4	Cobertura de equipamientos críticos que van en ayuda de la población en escenarios de emergencia (CECVAP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura &gt; 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en solo una ribera del cauce desbordado</li> <li>• Existencia de 1 equipamiento afuera del área de cobertura</li> <li>• Ausencia de equipamiento de estas características en la ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
5	Cobertura de Equipamientos críticos que prestan ayuda de atención específica en escenarios de emergencia (CECPAAE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura &gt; 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en solo una ribera del cauce desbordado</li> <li>• Existencia de 1 equipamiento afuera del área de cobertura</li> <li>• Ausencia de equipamiento de estas características en la ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
6	Cobertura de Equipamientos críticos que prestan ayuda multipropósito en escenarios de emergencia (CECPAM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura &gt; 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en cada ribera del cauce desbordado</li> <li>• Cobertura de 1 equipamiento en solo una ribera del cauce desbordado</li> <li>• Existencia de 1 equipamiento afuera del área de cobertura</li> <li>• Ausencia de equipamiento de estas características en la ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2**  
Indicadores categoría redundancia de subsistemas. Sub-categoría redundancia de espacios abiertos.

N°	INDICADOR	CONDICIÓN	PUNTAJE
1	Redundancia rutas de evacuación (RRE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 3</li> <li>• hasta 3</li> <li>• hasta 2</li> <li>• hasta 1</li> <li>• 0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>
2	Redundancia áreas seguras (RAS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 3</li> <li>• hasta 3</li> <li>• hasta 2</li> <li>• hasta 1</li> <li>• 0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5</li> <li>• 4</li> <li>• 3</li> <li>• 2</li> <li>• 1</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

15 minutos de desplazamiento a pie hacia cada lado del área desbordada por el cauce hídrico, propendiendo a la búsqueda de la integración de la morfología urbana y sus equipamientos. Se utiliza ese rango de tiempo considerando una velocidad promedio de 5,3 km/h de recorrido en condiciones ideales de una topografía

que tiende a la horizontalidad, realizando un análisis de modelaciones a través de software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Finalmente, la metodología construida establece una serie de pasos lineales conducentes al procesamiento de

Tabla 3  
Criterios para la definición de los casos de estudio.

Criterio	Rancagua	San Fernando	Curicó	Talca	Linares	Chillán	Los Ángeles
<b>1. Rol político-administrativo</b>	Capital Regional	Capital Provincial	Capital Provincial	Capital Regional	Capital Provincial	Capital Regional	Capital Provincial
<b>2. Población CENSO 2017 N° de habitantes</b>	241.774	73.973	149.136	220.357	93.602	184.734	202.331
<b>3. PRC vigente entre 1984-1994</b>	Sí (1990)	Sí (1988)	Sí (1989)	Sí (1989)	Sí (1990)	Sí (1989)	Sí (1991)
<b>4. Cuerpo hídrico al interior del límite urbano vigente</b>	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
<b>5. Afectado por al menos una inundación</b>	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

los resultados obtenidos en cada uno de los 8 indicadores revisados que fue detallada en la Figura 2.

### Casos de estudio

El modelo será aplicado en dos casos de estudio: San Fernando y Los Ángeles los cuales fueron seleccionados a partir de los cinco criterios indicados en la Tabla 3, luego de un análisis entre ciudades intermedias del Valle Central de Chile de características similares. Al respecto, es necesario precisar que los datos que más adelante se presentan y analizan fueron obtenidos durante el año 2018; específicamente, para el primer caso entre los meses de enero y septiembre, en tanto que para el segundo caso entre los meses de mayo y noviembre.

**Caso 1: San Fernando.** Ubicada en la Región del L.G.B. O'Higgins y es capital de la Provincia de Colchagua. La ciudad ha sido afectada en reiteradas ocasiones por inundaciones fluviales por desborde de cauces, especialmente, asociadas a crecidas del río Tinguiririca (al sur) y del estero Antivero (al norte); además, dado que ésta cuenta con un largo historial asociado a la actividad agrícola, los canales de regadío juegan un papel relevante en la configuración de su trama urbana, acompañando el desarrollo de algunas de sus vialidades estructurantes, así como también, cruzando terrenos privados mayoritariamente en el área poniente (ver Figura 3).

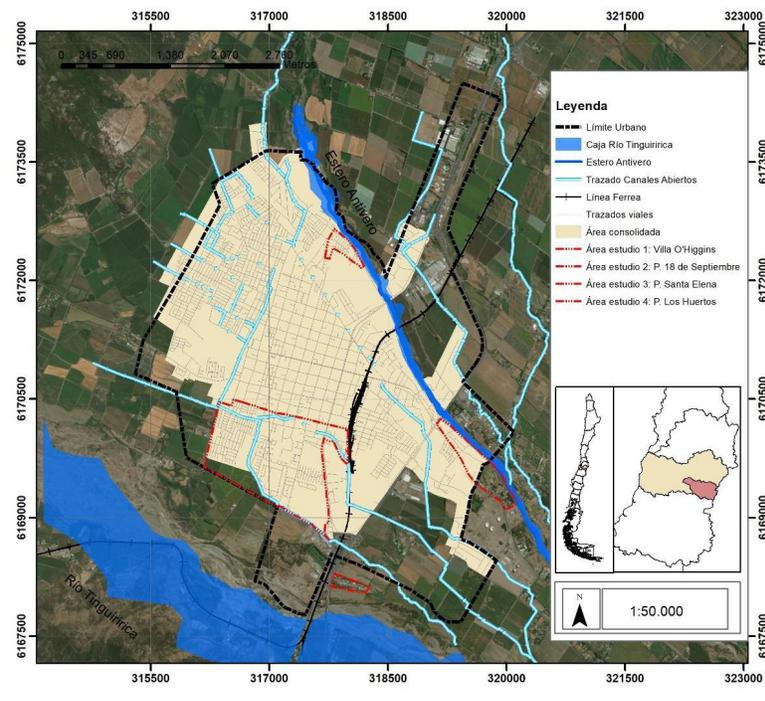
Con el paso del tiempo la ciudad ha enfrentado el desborde de sus cauces en diferentes sectores, dando origen a barrios que presentan un mayor grado de susceptibilidad

frente a dichas amenazas y, otros en que, si bien registran antecedentes de inundaciones, éstas responden a eventos extraordinarios con mayor tasa de recurrencia. Tal es el caso de las inundaciones por desborde de los años 1984, 1986 y 1987 en que aproximadamente el 80% de la actual área urbana fue cubierta por el agua. Al respecto, el crecimiento histórico de la ciudad demuestra que esta se ha expandido en forma de mosaico (Pérez Bustamante y Saavedra Meléndez, 2011); ya que su crecimiento no refleja una estructura lineal y secuencial de desarrollo, por el contrario, San Fernando es una ciudad que ha impulsado el desarrollo de sectores aislados al interior de su límite administrativo y que con el paso del tiempo y la llegada de la planificación urbana se han integrado paulatinamente.

**Caso 2: Los Ángeles.** Ubicada en la Región del Bío-Bío y es capital de la Provincia del mismo nombre. Los Ángeles ha sido afectado en reiteradas ocasiones por inundaciones, especialmente, asociadas a desbordes del Estero Quilque, el cual cruza a la ciudad en sentido oriente – poniente, pasando por el centro histórico y comercial de ésta (ver Figura 4).

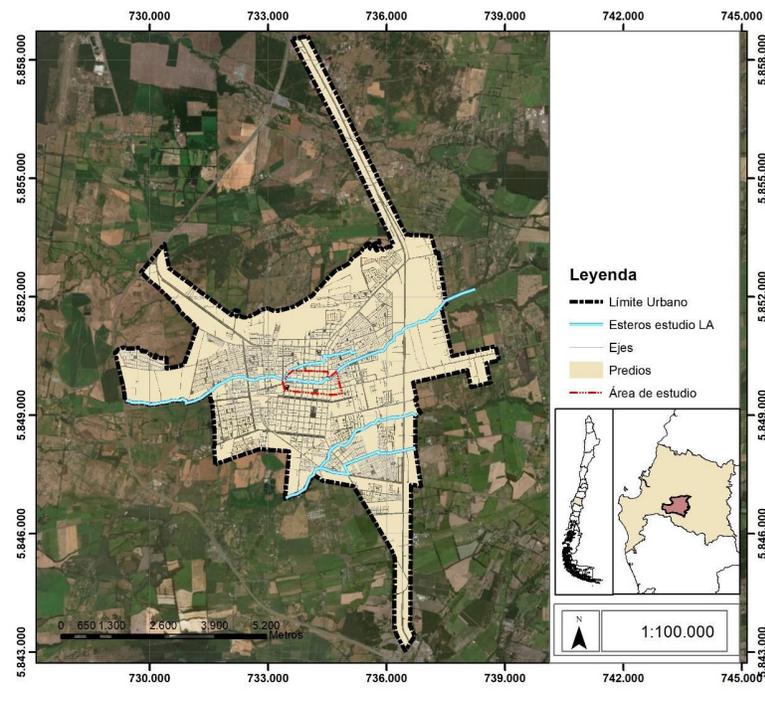
Históricamente la ciudad ha enfrentado el desborde del Estero Quilque mayoritariamente en el sector céntrico de ésta, donde domina la presencia de equipamientos de servicio, educación, salud y seguridad, por sobre el uso residencial. Por lo tanto, los eventos registrados en ella han afectado sistemáticamente la rutina de sus habitantes. Específicamente, el registro histórico de inundaciones en Los Ángeles indica que las principales inundaciones se produjeron los años 1949, 1991 y 2006.

**Figura 3**  
San Fernando y sus principales redes hídricas (en rojo barrios de estudio).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4**  
Los Ángeles y sus principales redes hídricas (en rojo polígono en estudio).



Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

La redundancia de los equipamientos críticos es aquella que permite a la ciudad funcionar de manera continua; ya que si alguno de ellos colapsa producto de una perturbación deberá existir otro equipamiento que podrá absorber tal función. Mediante el análisis de esta subcategoría se busca develar la manera en que la ciudad a través de las facultades indirectas de sus IPT's—ya que no están explícitamente normadas—podrían, o no, adaptarse frente a las perturbaciones ocasionadas por una inundación urbana por desborde de cauces. Para ello se revisarán los resultados obtenidos en los siguientes 6 indicadores en cada caso de estudio.

*Resultados Caso 1: Los resultados obtenidos en cada indicador son los siguientes.*

**PVAEA.** El puntaje tiende a 5; ya que existen manzanas censales donde es posible encontrar 4 de los 5 rangos de puntajes establecidos. Específicamente, realizando un análisis por sector se tienen los siguientes resultados. En la población 18 de septiembre mayoritariamente existen manzanas próximas al Estero Antivero, de  $\leq 200$  hab y un grupo de 3 manzanas del rango de hasta 800 hab. En la población Santa Elena dominan las manzanas en que existe una población  $\leq 200$  hab, así también, existe una manzana en que la población es de hasta 400 hab. En la población Villa O'Higgins existe mayor diversidad de rangos de población por manzana, debido a que en ella es posible observar de todos los rangos de población en la ribera norte del río Tinguiririca (ver Figura 5, letra a).

**ECEAEA.** El puntaje tiende a 1; ya que en el área de estudio se encuentran equipamientos críticos emplazados en áreas expuestas a las amenazas de las inundaciones. Es del caso precisar que los equipamientos allí emplazados corresponden a 4 iglesias, 1 centro de salud primaria y 1 establecimiento educacional. No obstante, los equipamientos de mayor relevancia durante la emergencia no se encuentran al interior de estos polígonos (ver Figura 5, letra b).

**EAPEAEA.** El puntaje tiende a 5; ya que el área de estudio se encuentra libre de edificios destinados a la administración pública; debido a que éstos mayoritariamente se encuentran en el centro de la ciudad, alejados de los polígonos donde se presentan las amenazas de inundación (ver Figura 5, letra c).

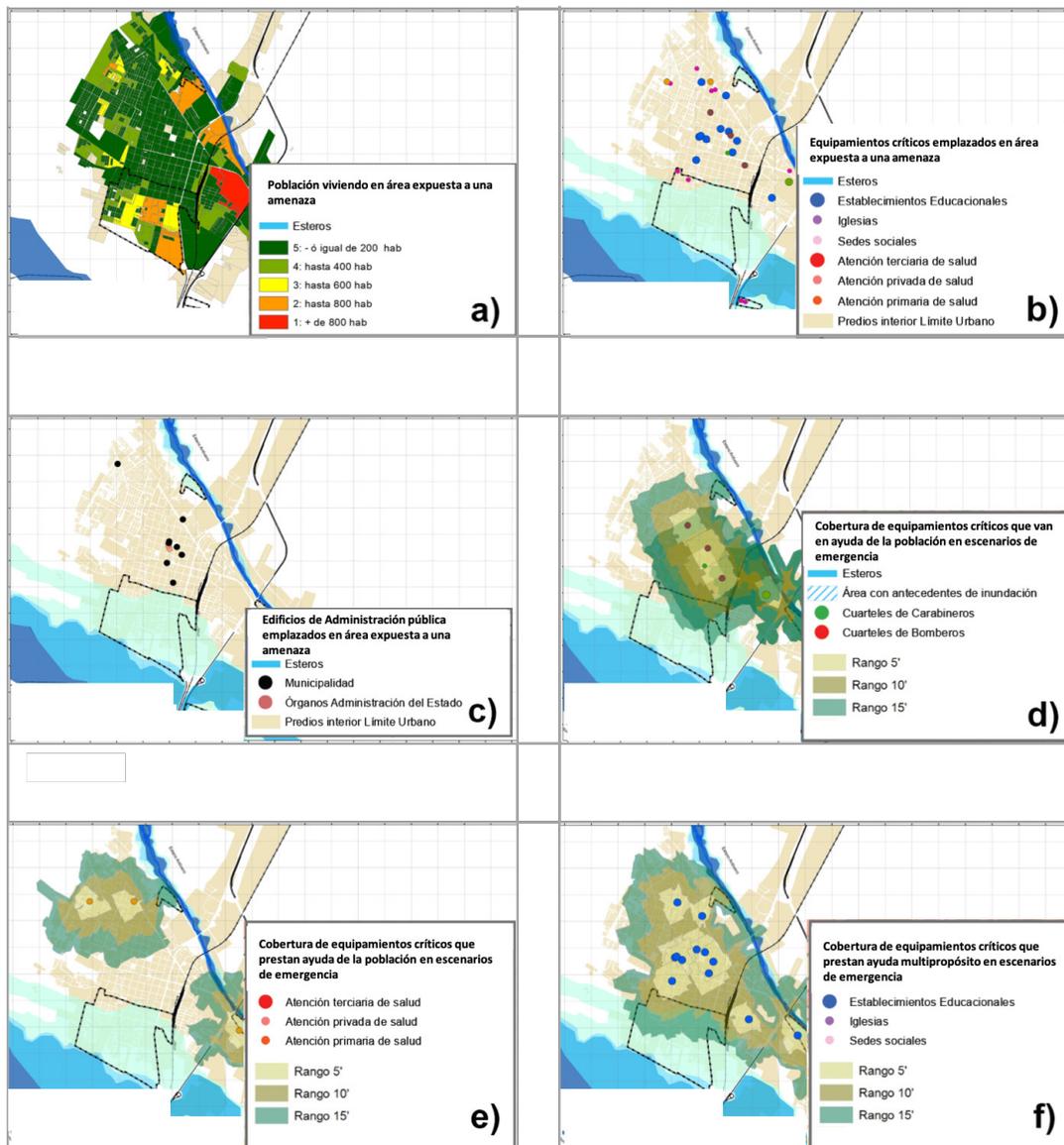
**CECVAP.** El puntaje tiende a 3; ya que el polígono de estudio se ubica en el área de cobertura de equipamientos que van en ayuda de la población en escenarios de emergencia. Específicamente, en el rango de 15 minutos caminando desde un cuartel de bomberos. Otro, en el rango de 15 minutos caminando desde el regimiento del Ejército de Chile existente en la ciudad. Sin embargo, en ninguno de los dos casos antes expuestos existe redundancia de equipamientos ya que ambos son servidos únicamente por un área de cobertura (ver Figura 5, letra d).

**CECPAAE.** El puntaje tiende a 3; ya que el polígono de estudio se ubica en el área de cobertura de equipamientos de atención primaria de salud. Específicamente, en un barrio parcialmente cubierta por el rango de 15 minutos. En un segundo barrio, se encuentra cubierta por un centro de atención primaria de salud en los rangos de 5, 10 y 15 minutos caminando, lo que convierte a este sector en un área de la ciudad cubierta por el servicio. Sin embargo, en ninguno existe redundancia de equipamientos ya que ambos son servidos únicamente por un área de cobertura (ver Figura 5, letra e).

**CECPAM.** El puntaje tiende a 3; ya que dos barrios de los cuatro analizados se encuentran en el área de cobertura de equipamientos educacionales. Estando parcialmente cubiertos por el rango de 15 minutos. En tanto que otro, se encuentre cubierto en los rangos de 5, 10 y 15 minutos caminando. Sin embargo, en ninguno de los casos antes expuestos existe redundancia de equipamientos ya que todos ellos son servidos únicamente por un área de cobertura (ver Figura 5, letra f).

Complementariamente, la redundancia de espacios abiertos es aquella primera vía de escape y seguridad que tienen las personas en escenarios de emergencia y corresponden principalmente a vías de evacuación, plazas

**Figura 5**  
Resultados de análisis Sub-categoría redundancia de equipamientos críticos en San Fernando.



Fuente: Elaboración propia.

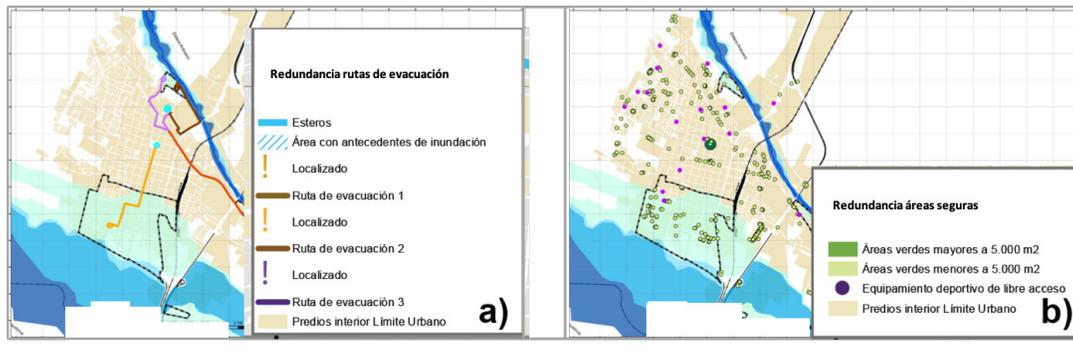
y parques que permiten la agrupación. En tanto que, a través de la redundancia de éstas se busca contribuir sistémicamente a la prestación de ayuda dado que, si uno de los elementos del sistema colapsa, podrá funcionar uno de los siguientes subsidiariamente.

**RRE.** El puntaje tiende a 3; en el área de estudio existen 2 rutas de evacuación hacia un área considerada históricamente segura ubicada en el gimnasio municipal. Desde otro de los barrios existe una única ruta de

evacuación. Sin embargo, en ninguno de los barrios analizados existe redundancia (ver Figura 6, letra a).

**RAS.** El puntaje tiende a 2; en el área de estudio existen reducidas posibilidades de contar con áreas abiertas seguras que cumplan con estándares internacionales, existiendo solo una. No obstante lo anterior, existen redes menores de áreas verdes que tienen el potencial de prestar tal función, sin embargo, carecen de un funcionamiento sistémico (ver Figura 6, letra b).

**Figura 6**  
Resultados de análisis Sub-categoría redundancia de espacios abiertos en San Fernando.



Fuente: Elaboración propia.

*Resultados Caso 2: Los resultados obtenidos en cada indicador son los siguientes.*

**PVAEA.** El puntaje tiende a 5; ya que en el área de estudio existen manzanas censales donde dominan ampliamente aquellas donde habitan  $\leq 200$  hab (ver Figura 7, letra a).

**ECEAEA.** El puntaje tiende a 1; ya que en el área de estudio se encuentran equipamientos críticos emplazados al interior de esta. Es del caso precisar que los equipamientos allí emplazados corresponden a 4 establecimientos educacionales y a 1 iglesia. Sin embargo, los equipamientos de mayor relevancia durante la emergencia no se encuentran al interior del polígono (ver Figura 7, letra b).

**EAPEAEA.** El puntaje tiende a 4; ya que en el área de estudio existe 1 edificio de administración pública correspondiente al edificio consistorial de la I. Municipalidad de Los Ángeles. En tanto que, otros edificios destinados de administración pública se encuentran alejados de amenazas (ver Figura 7, letra c).

**CECVAP.** El puntaje tiende a 3; ya que en el área de estudio solamente existe cobertura desde una de las riberas (sur) de un equipamiento de seguridad correspondiente a un cuartel de Carabineros y de un cuartel de Bomberos de Chile. En ambos casos, dicho equipamiento de seguridad se encuentra en el rango de 5, 10 y 15 minutos caminando (ver Figura 7, letra d).

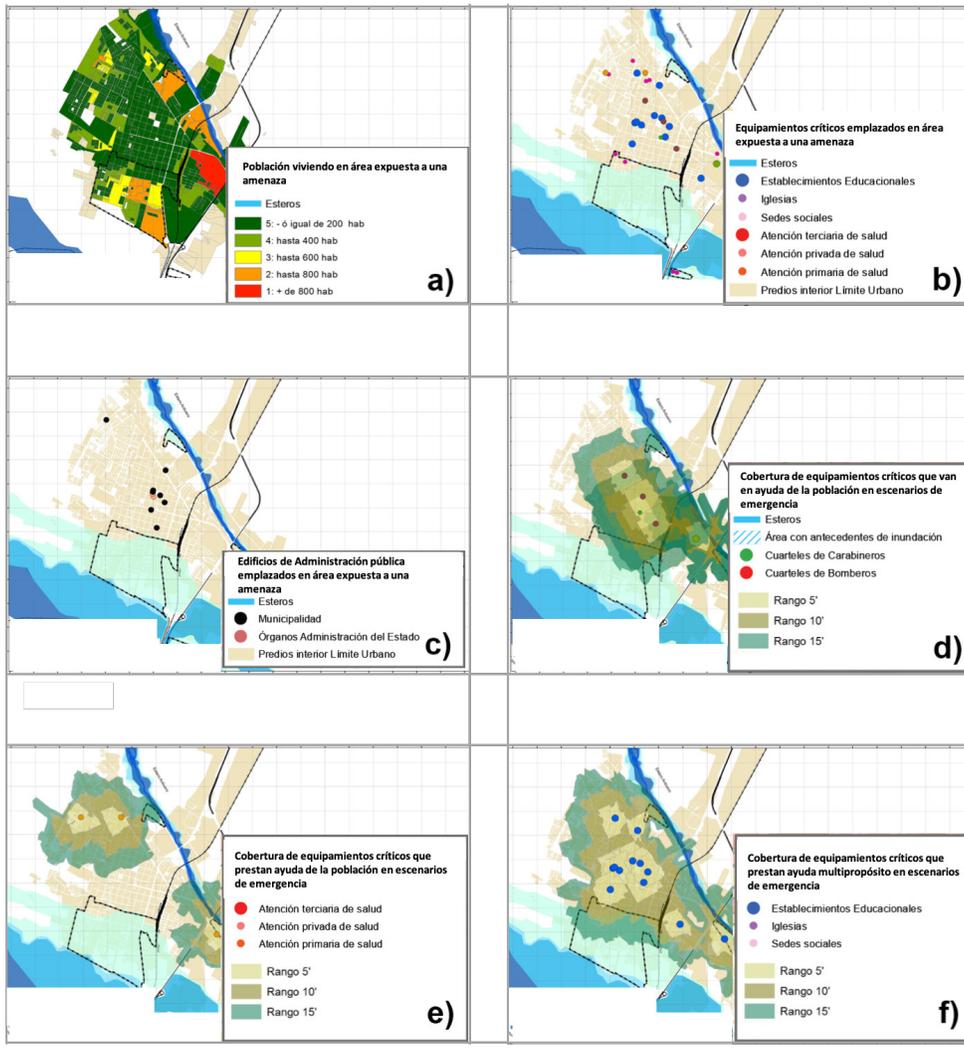
**CECPAAE.** El puntaje tiende a 5; ya que en el área de estudio existe cobertura ininterrumpida desde una de las riberas del Estero Quilque (sur), equipamientos de salud terciaria y primaria. En ambos casos, dicho equipamiento se encuentra en el rango de 5, 10 y 15 minutos caminando (ver Figura 7, letra e).

**CECPAM.** El puntaje tiende a 4; ya que en el área de estudio se encuentran equipamientos críticos en ambas riberas cubiertas por los rangos de 5, 10 y 15 minutos caminando desde un establecimiento educacional (ver Figura 7, letra f).

**RRE.** El puntaje tiende a 5; ya que en el área de estudio existen al menos 3 rutas de evacuación desde una de las riberas del Estero Quilque hacia las denominadas *áreas seguras* otorgadas por el sistema urbano. Existiendo tal condición únicamente hacia la ribera sur del cuerpo hídrico antes individualizado (ver Figura 8, letra a).

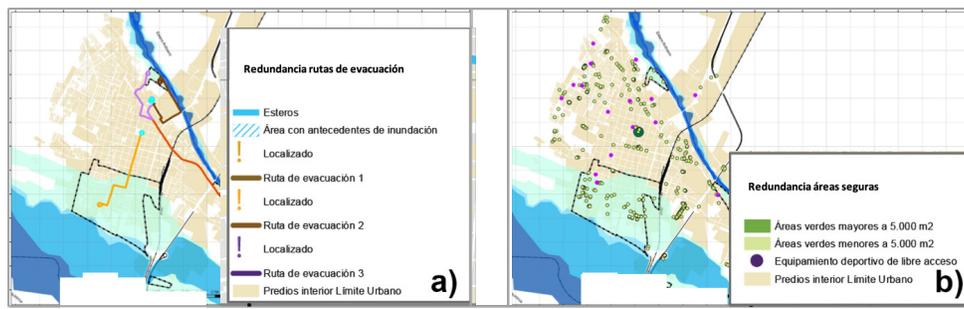
**RAS.** El puntaje tiende a 5; ya que en el área de estudio y en Los Ángeles existen reducidas posibilidades de contar con áreas abiertas seguras que cumplan con estándares internacionales, existiendo solo tres. No obstante lo anterior, existen redes menores de áreas verdes que tienen el potencial de prestar tal función, sin embargo, carecen de un funcionamiento sistémico ya que solo cubren la ribera sur del Estero Quilque, careciendo así de un enfoque sistémico de funcionamiento (ver Figura 8, letra b).

**Figura 7**  
Resultados de análisis Sub-categoría redundancia de equipamientos críticos en Los Ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 8**  
Resultados de análisis Sub-categoría redundancia de espacios abiertos en Los Ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

*Análisis comparado entre ambos casos de estudio.*

Habiendo ya desarrollado la exposición de los resultados de esta investigación en cada uno de los casos de estudio de manera separada. A continuación, en la Tabla 4 se realiza un análisis comparativo de las principales características según las subcategorías antes citadas.

Del análisis comparativo entre los dos casos de estudio se obtiene que diferencias significativas no existen; ya que los puntajes tienen similitudes. Sin perjuicio de lo anterior, se advierte un leve mejor desempeño en el caso de Los Ángeles, lo cual se encuentra dado por el diseño del patrón urbano de la ciudad, de un tejido mayoritariamente concéntrico, permitiendo así el mejor cometido de áreas de cobertura en el polígono analizado por sobre la dispersión en forma de mosaico propia de San Fernando.

**Aplicación de matriz Analytic Hierarchy Process (AHP).** En este apartado, se desarrolla un análisis multicriterio AHP el cual tiene como punto de partida todo el conocimiento adquirido e incorporado en los acápite anteriores obtenidos mediante un trabajo empírico llevado a cabo en los casos de estudio de San Fernando

y Los Ángeles. Complementariamente, en el entendido de que el modelo de evaluación construido se enfoca en la planificación urbana desde un sentido amplio, es decir, no solo se concentra en los aspectos normativos; ya que se analiza mediante múltiples criterios. Precisamente por este motivo se aplica el Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1988) con el objetivo de establecer una escala de comparación entre criterios para luego evaluar y ordenar prioritariamente a los indicadores que permiten entender el fenómeno complejo que es la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales. La síntesis expositiva de lo anterior se puede ver en la Tabla 5.

La escala de priorización dada por AHP diferencia entre indicadores de carácter determinantes, deseables y no determinantes pero deseables. En dicha escala desarrollada en gabinete, resultan ser determinantes los indicadores población viviendo en área expuesta a una amenaza, equipamientos críticos emplazados en área expuesta a una amenaza y rutas de evacuación. Al respecto, los dos primeros que forman parte de la subcategoría redundancia de equipamientos críticos, los cuales no se encuentran explícitamente normados por los IPT's, pero existen normas en los instrumentos vigentes que con leves ajustes pueden incorporar a

Tabla 4  
Comparativo de resultados obtenido.

Sub-categoría	Tipo de acción según metodología	Caso 1: San Fernando		Caso 2: Los Ángeles	
		Resultado obtenido	Fundamentación del resultado	Resultado obtenido	Fundamentación del resultado
<b>B - Redundancia de equipamientos críticos</b>	Incremental	Obtienen un desempeño bajo	Elementos del sistema urbano de carácter crítico tienen una cobertura parcial	Obtienen un desempeño medio	Corresponden a elementos del sistema urbano de carácter crítico que tienen una cobertura parcial sobre las áreas expuestas a una amenaza
<b>C - Redundancia de espacios abiertos</b>	Incremental	Obtienen un desempeño medio	Elementos de la ciudad que a través de la morfología urbana prestan los primeros elementos de ayuda	Obtienen un desempeño medio	Corresponden a elementos de la ciudad que a través de la morfología urbana prestan los primeros elementos que ayudan a la población a proteger sus vidas en escenarios de emergencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5  
Priorización de indicadores.

Sub-categoría	Indicadores de carácter determinantes	Indicadores de carácter deseables	Indicadores de carácter no determinantes pero deseables
<b>B - Redundancia de equipamientos críticos</b>	Población viviendo en área expuesta a una amenaza	Edificios de administración pública emplazados en área expuesta a una amenaza	Cobertura de equipamientos que prestan ayuda de atención específica en escenarios de emergencia
	Equipamientos críticos emplazados en área expuesta a una amenaza	Cobertura de equipamientos críticos que van en ayuda de la población en escenarios de emergencia	Cobertura de equipamientos que prestan ayuda multipropósito en escenarios de emergencia
<b>C - Redundancia de espacios abiertos</b>	Rutas de evacuación	Áreas seguras	---

Fuente: Elaboración propia.

la perspectiva de resiliencia en su concepción. Igual situación ocurre con los indicadores que forman parte de la subcategoría redundancia de espacios abiertos; ya que sólo requieren de cambios de enfoque para ser aplicados a los instrumentos existentes.

## Discusiones

Luego de aplicar el modelo de evaluación en los casos de estudio y en función de los resultados obtenidos se logró determinar una serie de tres indicadores que los autores sostienen fundadamente son las claves para potenciar la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales. Dichos indicadores son los siguientes: i) *Población viviendo en área expuesta a una amenaza*; ii) *Equipamiento crítico emplazado en área expuesta a una amenaza*, y; iii) *Redundancia Rutas de Evacuación*. Luego de que estos han sido analizados en sus potencialidades se ha concluido que con esta serie de propiedades es posible responder adaptativamente a mejoras de los sistemas urbanos. Ello en atención a las siguientes ideas.

En primer lugar, el punto de partida de este artículo es el concepto de resiliencia urbana en el marco del Cambio Climático, por lo tanto, indagar sobre las acciones necesarias para que las ciudades se adapten de mejor manera al fenómeno de las inundaciones urbanas por desborde de cauces es probablemente más efectivo que analizar a las causas raíz que aumentan dicho riesgo y, por lo tanto, la investigación se focalizó en identificar a los factores que permitan hacerlo de manera más eficiente, permitiendo mayores beneficios para el propio sistema. Mientras que develar si esta perspectiva de resiliencia es más exitosa que una aproximación de carácter tradicional iría más allá de su propósito. De esta manera, un principio general de los sistemas resilientes es una alta superposición de funciones complementarias (Liao, 2012; Molinari, 2016; Van Veelen, 2016) para el funcionamiento de las ciudades, o también denominada “redundancia”, permitiendo mayores posibilidades de respuestas disponibles para reaccionar frente a un disturbio, lo cual brinda mayor estabilidad interna al sistema, lo que en ambos casos de estudio fue analizado en relación a las áreas de cobertura de los equipamientos críticos, tanto de aquellos que prestan ayuda en escenarios de emergencia, como aquellos que van en ayuda de la población en dichas situaciones, existiendo leves diferencias de resultados entre ambos casos, igual situación ocurre con la ubicación de dichos equipamientos. Entendiendo los mecanismos que guían a la resiliencia, es posible incrementarla y ampliar las posibilidades de que las comunidades afectadas enfrenten al riesgo de inundación, lo cual puede ser en si una estrategia, pero que desde el enfoque aquí propuesto se manifiesta en la ocupación de los espacios abiertos de la ciudad. Ejemplo de ello es la forma de ocupación y encaje de las áreas verdes en la ciudad de Los Ángeles, donde su distribución y tamaño les permite funcionar sistémicamente, es decir, si una colapsa, otra puede asumir la función y además insertarse adecuadamente en la trama urbana. A diferencia de espacios segregados y de una trama urbana discontinua que caracteriza al caso de San Fernando mediante su estructura de mosaico. En este orden de ideas, el contar con “micro” centros en cada una de las orillas del cuerpo hídrico también diversifica e incrementa las posibilidades de la ciudad de recuperarse en un tiempo más reducido que aquellas ciudades que concentran

todos sus equipamientos y servicios en una zona única de la ciudad; ya que, en esos casos, el colapso de uno de ellos detona el colapso del sistema en su conjunto.

En segundo lugar, considerando a cada uno de los aspectos antes expuestos y en el entendido de que la pregunta que guía el desarrollo del artículo es ¿de qué manera la planificación de los equipamientos críticos y de los espacios abiertos de libre acceso desde un sentido amplio podrían incrementar las capacidades de adaptabilidad y resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales? es preciso señalar que los factores identificados no son únicos de las ciudades analizadas, sino que son replicables a otras ciudades intermedias del Valle Central de Chile, ya que a través de los casos expuestos se identificó un sistema de indicadores y relaciones que permitieran planificar la ciudad desde el enfoque de resiliencia, para lo cual se va más allá de lo normado por los IPT's. En tercer lugar, considerando los resultados obtenidos, se advierte que los actuales IPT's son perfectibles, o bien, podrían ser complementados por otro tipo de instrumentos; debido a que los existentes de acuerdo con el marco institucional y normativo no cuentan con las capacidades para incorporar a los factores determinantes de la resiliencia develados en esta investigación de forma vinculante y mientras no existan las facultades para hacerlo, la incorporación de los mencionados factores solo permanecerá en el ámbito de lo recomendado, pero no de lo obligatorio. De esta forma, el principal aprendizaje de este artículo es que la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales debe ser un concepto institucionalizado con herramientas propias que permita cubrir eficientemente la brecha detectada.

Finalmente, con el propósito de incrementar las capacidades de resiliencia de los sistemas urbanos, es posible utilizar los criterios establecidos por el set de ocho indicadores analizados, y si bien, cada uno de ellos tiene diferentes pesos escalares según lo definido por AHP, todos ellos son relevantes y el emplearlos contribuirá a la adaptabilidad de las ciudades frente a las inundaciones por desbordes de cauces.

## Conclusiones

Actualmente, existe una brecha entre los limitados avances en normativa urbana específica existentes en Chile y los permanentes avances conceptuales que ha experimentado la resiliencia urbana internacionalmente; dado que rápidamente el concepto se ha propagado entre la comunidad científica como sustento teórico de diversas aproximaciones al Cambio Climático y criterios de sustentabilidad. No obstante aquello, frecuentemente cuando se aborda el concepto de resiliencia urbana se hace desde un enfoque estratégico para estimular la sustentabilidad en importantes centros urbanos del planeta, convirtiéndolo en un concepto ampliamente utilizado pero aún difuso, volátil y escasamente cuantificado.

Es por ello, y considerando la ausencia de certezas relacionadas con la resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales, esta investigación indagó y cuantificó las capacidades de los subsistemas urbanos, específicamente, la redundancia de equipamientos críticos y de espacios abiertos de libre acceso para incrementar las capacidades de adaptabilidad y resiliencia en las ciudades intermedias del Valle Central de Chile. En este sentido, los resultados obtenidos y expuestos detalladamente permiten sostener que un principio general de los sistemas resilientes es una alta superposición de funciones complementarias, lo que mediante la redundancia de subsistemas le otorga mayor estabilidad interna a la ciudad para enfrentar a los eventos y perturbaciones que la afectan. Lo anterior basado en los siguientes argumentos.

En primer lugar, los criterios de localización de los equipamientos críticos que atienden y que van en ayuda de la población que se encuentra en áreas expuestas a las amenazas aquí indicadas; ya que su ubicación en la trama urbana le permite encajar en sistemas que se encuentran en rangos de tiempo que pueden ser atendidos subsidiariamente por otro equipamiento crítico. En segundo lugar, los rangos de cobertura, especialmente de las rutas de evacuación que bajo la lógica de la planificación urbana integrada contribuyen a incrementar las capacidades de resiliencia ya que forman parte del motor sistémico durante la emergencia

y durante el proceso de recuperación, y en tercer lugar, mediante la planificación de barrios inter-escalares, es decir, ampliamente relacionados con el funcionamiento de sistemas complementarios que funcionan de manera independiente pero que se nutren de los barrios cercanos mediante acciones de funcionamiento recíproco que les permite la adaptabilidad.

Finalmente, es necesario detenerse en analizar el desempeño del modelo de evaluación diseñado por los autores y que se basa en Flood-IMPAT+ (2016). Al respecto es pertinente establecer que el modelo resultó sumamente efectivo en virtud de los objetivos trazados; ya que permitió develar con claridad el desempeño en el territorio de una serie de indicadores, cuantificando atributos propios de la resiliencia y que investigaciones en tonos similares no habían logrado determinar, es por ello que es posible sostener que si bien este modelo fue diseñado para medir las capacidades de resiliencia frente a inundaciones fluviales en ciudades intermedias del Valle Central de Chile, este es perfectamente replicable a otras ciudades o zonas del país, donde únicamente deben ajustarse los rangos definidos para cada indicador en función de las realidades propias de cada una de las macro zonas climáticas existentes en Chile, donde claramente los rangos definidos para cada indicador deberían ser diferentes para ciudades de los extremos norte y sur, así también diferenciando variables entre ciudades mediterráneas y ciudades costeras. Por otra parte, este es un modelo de evaluación que en su construcción puede ser exportado a otros países, dado que la configuración general de este no requiere de variaciones, si no que sería necesario incorporar ajustes a los rangos definidos para cada indicador que se ha construido en base a datos situados en el área que se investiga. <sup>43</sup>

## Referencias bibliográficas

Allan, P., Bryant, M., & Wirsching, C. (2013). The influence of urban morphology on the resilience of cities following an earthquake. *Journal of Urban Design*, 18(2), 242-262. <https://doi.org/10.1080/13574809.2013.772881>

Baeriswyl, S. (2014). Resiliencia urbana; aprender a habitar con las amenazas de la naturaleza. La experiencia del terremoto y tsunami de 2010 en las costas del Bío-Bío. *Revista Margenes Espacio Arte Sociedad*, 11(15), 7-16.

Bush, J., & Doyon, A. (2019). Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute? *Cities*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102483>

Cai, K., & Wang, J. (2009). Urban design based on public safety -discussion on safety-based urban design. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 12(4), 219-227. <https://doi.org/10.1108/SC-07-2013-0015>

Chelleri, L., Waters, J., Olazabal, M., & Minucci, G. (2015). Resilience trade-offs: Addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience. *Environment and Urbanization*, 27(1), 181-198. <https://doi.org/10.1177/0956247814550780>

Dartmouth Flood Observatory. (2017). <http://floodobservatory.colorado.edu/>

González, L. E. (2020). *Resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales: Factores determinantes en la planificación de ciudades intermedias del valle central de Chile-experiencias entre 1984 y 2017* (Tesis Doctorado en Arquitectura y Urbanismo). Universidad del Bío-Bío, Concepción. Chile.

González, L. E., Baeriswyl, S., Zazo, A. y Alvarado, S. (2019). Modelo de evaluación de resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales: Papel potencial de los planes reguladores comunales en Chile. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. Barcelona - Santiago de Chile.

Greiving, S. (2006). Dealing with Natural Hazards in Germany's Planning Practice. En M. Fleischauer, S. Greiving, & S. Wanczura, *Natural Hazards and Spatial Planning in Europe*, pp. 55-76. Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur.

- Haitsma, R. (2016). *Flood Resilience in Delta Cities: An explorative research on monitoring flood resilience in delta cities*. Wageningen: Wageningen University.
- Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Imilan, W., & González, L. E. (2017). Attempts at Neoliberal Urban Planning in Postearthquake Chile: Master Plans for Reconstruction. *Latin American Perspectives*, 44(4), 10-23. <https://doi.org/10.1177/0094582X16658265>
- INE. (2018). *Síntesis de resultados CENSO 2017*. Santiago.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The physical basis*. Bern.
- International Strategy for Disaster Reduction. (2010). *United Nations International Strategy for Disaster Reduction Summary Annual Report and Financial Statement*. Devon.
- Irish Environment Heritage and Local Government. (2009). *The Planning System and Flood Risk Management*. Dublin: The Stationery Office of Dublin.
- Lawner, M. (2010). *Los arquitectos de terremoto en terremoto. Terremoto 8.8*. Discurso realizado en el Colegio de Arquitectos de Chile, Santiago.
- Liao, K. (2012). A Theory on Urban Resilience to Floods - A Basis for Alternative Planning Practices. *Ecology and Society*, 17(4). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05231-170448>
- Liao, K. (2014). From flood control to flood adaptation: a case study on the Lower Green River Valley and the City of Kent in King County, Washington. *Nat Hazards*, 71, 723-750. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0923-4>
- Meerow, S., Newell, J., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). *Política Nacional de Desarrollo Urbano. Política Nacional de Desarrollo Urbano*. Santiago.
- Molinari, D. (2016). *Flood-IMPAT+: an integrated Meso & Micro scale procedure to assess territorial flood risk*. Milano.
- Moris, R., Contrucci, P. y Ortega, A. (2017). El riesgo en la actualización post-desastre de instrumentos de planificación territorial comunales en Chile 2010-2014. *Revista Reder*, 1(1), 85-100.
- Muggah, R. (2016). What makes our cities fragile? *Policy in Focus*, 13(3), 13-15.
- Naciones Unidas. (2015a). *Acuerdo Sobre Cambio Climático*.
- Naciones Unidas. (2015b). 69/283. *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Sendai.
- Nassauer, J. (2009). Landscape as medium and method for synthesis in urban ecological design. *Landscape and Urban Planning*, 106(3), 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.014>
- Pérez Bustamante, L. y Saavedra Meléndez, M. (2011). San Fernando en el siglo XX: de la ciudad concentrada al mosaico urbano. *Revista de Urbanismo*, (24), 119-136. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2011.15499>
- Pickett, S., Cadenasso, M., & McGrath, B. (2013). Resilience in ecology and urban design: Linking theory and practice for sustainable cities. En S. Pickett, M. Cadenasso, & B. McGrath, *Resilience in ecology and urban design: Linking theory and practice for sustainable cities* (pp. 7-28). Dordrecht: Springer.
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L. y Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista Norte Grande*, (57), 177-192. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>

- Saaty, T. L. (1988). *What is the Analytic Hierarchy Process?* Paper presented at the Mathematical Models for Decision Support, Berlin, Heidelberg.
- Sapountzaki, K., Dandoulaki, M., Wassenhoven, L., Melissourgou, Y., Galderisi, A., Parker, D., Menoni, S. (2009). *ENSURE: Enhancing resilience of communities and territories facing natural and natech hazards*. Proyecto de investigación europeo desarrollado en el Politecnico di Milano.
- Schaefer, M., Thinh, N., & Greiving, S. (2020). How Can Climate Resilience Be Measured and Visualized? Assessing a Vague Concept Using GIS-Based Fuzzy Logic. *Sustainability*, 12(2), 635. <https://doi.org/10.3390/su12020635>
- The European Parliament and The Council of the European Union. (23 October 2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. *Official Journal of the European Union*, 288, 27–34. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>
- Tumini, I., Villagra-Islas, P., & Herrmann, G. (2016). Evaluating reconstruction effects on urban resilience: a comparison between two Chilean tsunami-prone cities. *Natural Hazards*, 85(3), 1363–1392. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2630-4>
- Van Veelen, P. (2016). *Adaptive planning for resilient coastal waterfronts: Linking flood risk reduction with urban development in Rotterdam and New York City*. Delft: A+BE | Architecture and the Built Environment.
- Vicuña, M., Rodríguez, C., Figueroa, O., Arizaga, X., Frigolett, L., Martínez, K. y Hurtubia, R. (2016). *Planificación Urbana Integrada: Investigación de Modelos y Buenas Prácticas*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Voss, M., & Wagner, K. (2010). Learning from (small) disasters. *Natural Hazards*, 55(3), 657–669. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9498-5>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 348–378. <https://doi.org/10.1177/0309133312438908>
- Wu, Y. (2012). Urban spatial system planning of disaster prevention and refuge. *Advanced Materials Research*, 450–451, 1061–1064. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.450-451.1061>