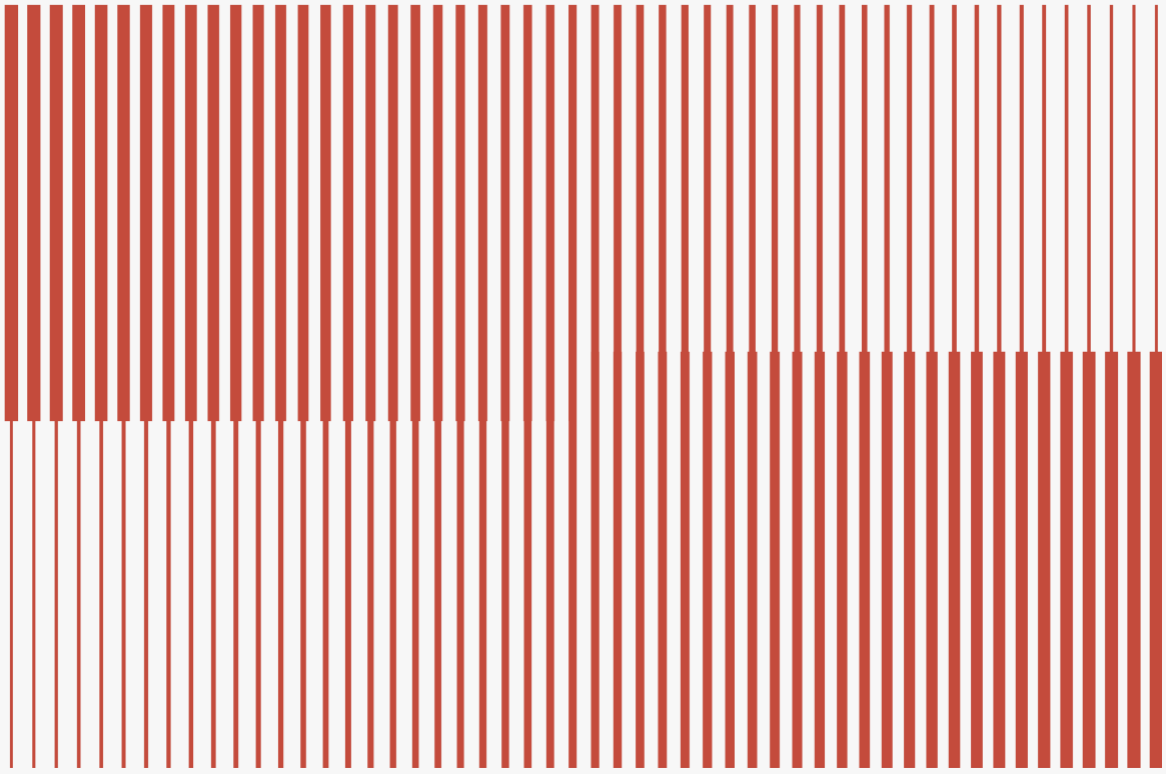
nest riesgo reflexividad resiliencia

(CR)² Center for Climate and Resilience Research



# RIESGO INTEGRADO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS
# CONURBACIÓN VALPARAÍSO - VIÑA DEL MAR

## EQUIPO

Catalina Amigo, Nicolás Álamos, Damaris Arrieta, Marco Billi, Manuel Contreras, Cristian Larraguibel, Ariel Muñoz, Pamela Smith, Anahí Urquiza, Manuel Vargas, José Tomás Videla, Patricio Winckler.

Septiembre, 2021.

nest riesgo reflexividad resiliencia

www.nest-r3.com

# RIESGO INTEGRADO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS CONURBACIÓN VALPARAÍSO - VIÑA DEL MAR

Documento de trabajo NEST Nº 2

DOI: 10.17605/OSF.IO/VUA4G

Citar este documento como: Amigo, C., Alamos, N., Arrieta, D., Billi, M., Contreras, M., Larragubel, C., Muñoz, A., Smith, P., Urquiza, A., Vargas, M., Videla, J. T., & Winckler, P. (2021). Riesgo integrado de Asentamientos Humanos. Conurbación Valparaíso—Viña del Mar. Documento de trabajo NEST`-r3 N°2, Santiago, Chile. https://www.doi.org/10.17605/OSF.IO/VUA4G

## AGRADECIMIENTOS

- Secretaria de Planificación, Ilustre Municipalidad de Viña del Mar
- Secretaria de Planificación, Ilustre Municipalidad de Valparaíso
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- Universidad de Valparaíso
- Centro de Acción Climática PUCV
- Programa de Resiliencia Climática para el Área Metropolitana de Valparaíso
- Línea de Ciudades Resilientes del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)$^2$

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile a través del proyecto ARClim y por el Centro del Clima y la Resiliencia (CR)$^2$ (ANID/FONDAP # 1511009).

# INDÍCE DE CONTENIDOS


ÍNDICE DE FIGURAS ..... 4
ÍNDICE DE TABLAS ..... 5
PRESENTACIÓN ..... 6
Sección I: Cadenas de impacto y mapas de riesgo ..... 7

1. Consideraciones metodológicas y de fuentes de Información ..... 7

2. Cadenas de impacto y resultados por amenaza ..... 9
   2.1 Cadena de impacto de calor extremo ..... 9
   2.2 Resultados mapas calor extremo ..... 17
   2.3 Cadena de impacto de inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas ..... 22
   2.4 Resultados mapas inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas ..... 28
   2.5 Cadena de impacto de inundaciones del borde costero por marejadas ..... 31
   2.6 Resultados mapas inundaciones del borde costero por marejadas ..... 34
   2.7 Cadena de impacto remoción en masa y deslizamientos ..... 38
   2.8 Resultados mapas remoción en masa y deslizamientos ..... 41
   2.8.4 Cadena de impacto incendios forestales ..... 43
   2.10 Resultados mapas incendios forestales ..... 46
Sección II: Riesgo integrado de asentamientos humanos ..... 50

1. Resiliencia urbana: la ciudad como sistema de sistemas ..... 50

2. Consideraciones metodológicas ..... 52

3. Resultados ..... 53
   Matriz de interacciones ..... 53
   Priorización de amenazas ..... 57
Conclusiones ..... 63

Disponibilidad de la información ..... 65
Referencias ..... 65

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cadena de impacto para amenaza de calor extremo ..... 11
Figura 2. Mapa de amenaza ante calor extremo ..... 18
Figura 3. Mapa de exposición ante calor extremo ..... 19
Figura 4. Mapa de sensibilidad ante calor extremo ..... 20
Figura 5. Mapa de riesgo ante calor extremo ..... 21
Figura 6. Cadena de impacto para amenaza de inundaciones ..... 23
Figura 7. Mapa de amenaza ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas ..... 29
Figura 8. Mapa de sensibilidad ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas ..... 30
Figura 9. Mapa de riesgo ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas ..... 31
Figura 10. Cadena de impacto para amenaza de marejadas ..... 32
Figura 11. Mapa de amenaza de inundaciones del borde costero por marejadas ..... 35
Figura 12. Mapa de sensibilidad de inundaciones del borde costero por marejadas ..... 36
Figura 13. Mapa de Riesgo de Inundaciones del borde costero por marejadas ..... 37
Figura 14. Cadena de impacto para amenaza de remoción en masa ..... 39
Figura 15. Mapa de amenaza de remoción en masa y deslizamientos ..... 42
Figura 16. Mapa de riesgo de remoción en masa y deslizamientos ..... 43
Figura 17. Cadena de impacto para amenaza de Incendios forestales ..... 44
Figura 18. Mapa de amenaza de incendios forestales ..... 48
Figura 19. Mapa de riesgo ante incendios forestales ..... 49
Figura 20. Leyenda para interpretación matriz de interacciones análisis de riesgo integrado ..... 54
Figura 21. Matriz de interacciones análisis de riesgo integrado ..... 55
Figura 22. Matriz de priorización de amenazas ..... 57
Figura 23. Matriz de reducción de vulnerabilidad ..... 58
Figura 24. Matriz de priorización medidas de resiliencia ..... 60
Figura 25. Matriz de Evaluación piloto ..... 62

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de información utilizadas para la construcción de las 5 cadenas de impacto .....8
Tabla 2. Indicadores del índice de amenaza de calor extremo .....10
Tabla 3. Indicadores del índice de sensibilidad de calor extremo .....14
Tabla 4. Indicadores de la dimensión de capacidad de respuesta de calor extremo .....15
Tabla 5. Niveles de riesgo en función de amenaza, exposición y vulnerabilidad .....17
Tabla 6. Indicadores del índice de amenaza de inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas .....22
Tabla 7. Indicadores del índice de sensibilidad de inundaciones .....25
Tabla 8. Indicadores del índice de capacidad de respuesta de inundaciones.....26
Tabla 9. Niveles de riesgo en función de amenaza, exposición y vulnerabilidad .....28
Tabla 10. Factores condicionantes para fenómenos de remoción en masa y deslizamientos.....40
Tabla 11. Factores de ignición para fenómenos de incendios .....45
Tabla 12. Factores de propagación para fenómenos de incendios.....46
Tabla 13. Muestra entrevistas semi-estructuradas a expertos/as. .....53

# PRESENTACIÓN

El presente documento tiene por objetivo mostrar los resultados del Piloto de Riesgo integrado de Asentamientos humanos, realizado en la Conurbación Valparaíso-Viña del Mar por el Equipo **Asentamientos Humanos** en el marco del proyecto **ARClim**. El objetivo del piloto **fue construir y validar una metodología para evaluar riesgos en asentamientos humanos frente a múltiples amenazas climáticas.**

Utilizando de base el marco teórico-metodológico descrito en el working package de asentamientos humanos del proyecto ARCLim (Urquiza et al., 2020) donde se expone una definición integral para abordar el concepto de *Riesgo,* se construyeron **5 cadenas de impactos** relevantes para la población con sus respectivos mapas de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo a escala subcomunal (manzana censal).

Las amenazas, impactos y riesgo trabajados fueron:

| Amenaza | Impacto intermedio | Riesgo |
|---|---|---|
| Olas de calor y días muy cálidos | Calor extremo: estrés térmico | Salud humana (morbilidad y mortalidad) |
| Aumento de precipitaciones intensas | Inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas | Deterioro de condiciones de vida y posibilidades de "accidentes" |
| Aumento en recurrencia y magnitud de marejadas | Inundaciones del borde costero por marejadas | |
| Aumento de precipitaciones intensas | Remociones en masa y deslizamientos | |
| Aumento de temperaturas | Incendios forestales | |

A lo anterior, se sumó la construcción de una **matriz de interacciones** entre amenazas e impactos, para avanzar en la comprensión de las interrelaciones existentes entre distintas amenazas climáticas y los impactos asociados a infraestructura crítica de servicios urbanos, impactos que se transforman a su vez en nuevas amenazas para la población. Esta matriz fue construida a partir de la revisión de literatura científica y gris, la realización de entrevistas a expertos/as y la realización de una serie de reuniones de validación con los equipos técnicos de ambos municipios y expertos/as académicos de Universidades regionales.

En la **primera sección** se presenta una revisión de cada amenaza en particular, caracterizando su respectiva cadena de impacto, los indicadores usados para el análisis de la amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta, las reglas de agregación y los correspondientes mapas asociados a cada categoría. En la **segunda sección** se abordan los detalles relacionados a la construcción de la matriz de interacciones y los resultados preliminares

obtenidos de este proceso. El informe finaliza con una breve **conclusión**, que describe los principales hallazgos del piloto, discutiendo las posibilidades y desafíos para su replicación en otras comunas del país y la relevancia de contar con información desagregada territorialmente a escala subcomunal, para la adecuada formulación y gestión de políticas para la reducción de riesgos por parte de entes administrativos con incidencia local como los municipios. Finalmente, se mencionan **brechas de información** que deben ser subsanadas a futuro para poder replicar y mejorar este tipo de análisis en otros territorios.

# SECCIÓN I: CADENAS DE IMPACTO Y MAPAS DE RIESGO

La Sección I aborda en primer lugar las consideraciones metodológicas y de fuentes de información utilizadas en este estudio. A continuación, se presenta con detalle la construcción de cada una de las cadenas de impacto y luego los mapas de resultados asociados a ellas. Las amenazas se presentan en el siguiente orden:

- Calor extremo
- Inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas
- Inundaciones del borde costero por marejadas
- Remoción en masa y deslizamientos
- Incendios forestales

## 1. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS Y DE FUENTES DE INFORMACIÓN

Para este trabajo se utilizaron distintas fuentes de información que trabajan con datos a nivel subcomunal, como encuestas de hogares, datos administrativos, imágenes satelitales e informes de proyectos desarrollados en la zona. En la tabla 1 se listan las fuentes de información utilizadas con la respectiva escala territorial de los datos.

| Fuente de Información | Descripción | Unidad de Análisis |
|---|---|---|
| Censo 2017 | Se utilizó información de la base a nivel de manzana censal, así como del microdato de las bases de personas y vivienda que se encuentran a escala de zona censal. | Manzana y zona censal |
| Instituto Nacional de Estadísticas (INE) | Se utilizó Información levantada por el Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano (SIEDU) respecto a accesibilidad a la salud | Manzana censal |
| Ministerio de Vivienda y Urbanismo | Se utilizó información levantada en el catastro Nacional de Campamentos del 2018. | Área georreferenciada |
| Producto Landcover del laboratorio de Geomática de la universidad de Chile | Se utilizó información acerca del tipo de uso de suelo en formato raster para todo el país | Grilla de 30 x 30 metros |
| Fondecyt iniciación 11180990: Construcción social del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en ciudades chilenas | Se utilizó información de la temperatura de emisión superficial en formato raster | Grilla de 200 x 200 metros |
| CR2MET | Se utilizó información de diversas variables climáticas asociadas a temperatura | Grilla de 5 x 5 kilómetros |
| Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" | Se utilizó información relativa a la exposición, vulnerabilidad y Amenazas ante distintos riesgos climáticos para el Área Metropolitana de Valparaíso | Zona Censal |
| Proyecto "Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile" | Se utilizó información relativa a la exposición y amenazas ante marejadas en el área de interés. (Ministerio de Medio Ambiente, 2019) | Información georreferenciada |
| Plan Maestro de Aguas Lluvias de Viña del Mar y Valparaíso | Se utilizó información de cuencas, colectores y áreas de inundación | Área georreferenciada |

*Tabla 1. Fuentes de información utilizadas para la construcción de las 5 cadenas de impacto*

Respecto a la unidad de análisis para la zonificación territorial se decidió trabajar a nivel de **manzana censal**, decisión que fue validada en el trabajo con expertos/as técnicos y académicos de ambas comunas. Esta escala corresponde a la menor unidad con mayor cantidad de información disponible, la cual permite observar de forma espacializada en la ciudad las áreas efectivamente amenazadas por estos eventos de catástrofe, como incendios forestales e inundaciones, evitando la presencia de "falsos positivos", es decir, unidades que se pueden mostrar riesgosas pese a contar con una pequeña proporción del territorio amenazado, sin posibilidad de distinguir específicamente qué parte de la unidad de análisis se encuentra en riesgo. En el caso de aquellas fuentes de información que no disponían de datos a escala subcomunal, se imputó el mismo dato para todas las manzanas que componen dicha unidad territorial.

En una próxima etapa se considera relevante contar con mapas que muestren información agregada en diferentes escalas a nivel subcomunal, de tal forma que pueda ser útil a la mayor cantidad de agentes territoriales posibles. En este sentido adquiere relevancia la **unidad vecinal,**

escala utilizada por el ministerio de Desarrollo Social (MIDESO) que contempla aglutinar barrios con características similares y que, a diferencia de las unidades censales, tiene una escasa variabilidad en el tiempo facilitando la comparación intertemporal del riesgo en el territorio. El mayor desafío para utilizar esta unidad es que las variables provenientes del CENSO no se encuentran disponibles a esta escala y tampoco se pueden imputar correctamente debido a que la unidad vecinal no está contenida en las unidades utilizadas en el CENSO ni viceversa. Esto demanda un importante desafío de coordinación intra-Estado, entre MIDESO e INE, para producir información que pueda ser interpretada de forma conjunta por su relevancia en el análisis del riesgo territorial.

Además, es pertinente mencionar la escala de **zona censal,** unidad que, a pesar de disponer de información de todas las fuentes de datos mencionadas, no se utilizó ya que adolece de las características relevantes de las unidades anteriores, es decir, la capacidad de micro zonificar el riesgo en unidades suficientemente pequeñas y la pertinencia territorial y temporal de las unidades vecinales.

El horizonte temporal de este trabajo corresponde al riesgo existente en el presente mediante la consolidación de la información detallada en la Tabla 1, producida entre los años 2012 y 2019. En este caso no se modeló el riesgo futuro debido a la incertidumbre asociada a la espacialización de las amenazas futuras a escala subcomunal.

Finalmente, cabe mencionar que los indicadores de sensibilidad y capacidad de respuesta fueron agregados utilizando la metodología de agregación *fuzzy logic,* descrita en Urquiza et al (2020). Esto permitió generar un Índice de Riesgo a partir de reglas de agregación, que son diferentes para la cadena de calor extremo respecto de las otras cuatro cadenas. Esto debido a que el riesgo observado está específicamente relacionado a la salud en el primer caso, mientras que en las otras amenazas el riesgo se asocia al deterioro de las condiciones de vida y posibilidades de "accidentes" asociados a estos eventos de catástrofe. Mayor información respecto de los indicadores descritos en cada una de las cadenas de impacto se encuentra disponible en las correspondientes fichas de indicadores subidas en la página web del proyecto.

# 2. CADENAS DE IMPACTO Y RESULTADOS POR AMENAZA

## 2.1 CADENA DE IMPACTO DE CALOR EXTREMO

En Urquiza et al. (2020) se indica el impacto que tendrá el cambio climático en el aumento de los fenómenos de calor extremo, así como su impacto sobre la mortalidad y morbilidad humana. Para el caso de este piloto se considera la amenaza de calor extremo, compuesta tanto por la presencia de olas de calor como de aumento de los días cálidos (sobre 25°C y 30°C).

Tal como se muestra en la Figura 1, la cadena de impacto es muy similar a la presentada en la subsección de olas de calor de Urquiza et al. (2020). El calor extremo tiene un efecto sobre el estrés térmico que se refleja en un impacto sobre la morbilidad y mortalidad de la población. Las principales diferencias para el caso del piloto consideran que no se pudo contar con información de prevalencia de enfermedades y de los empleos sensibles espacializada territorialmente para

el área en estudio. Por otro lado, se consideran la proporción de viviendas precarias y con materialidad precaria, como proxy de una mala aislación térmica, y la temperatura superficial como indicador de las islas de calor. A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto, distinguiendo cada una de las dimensiones.

### *2.1.1 Amenaza*

El índice de amenaza se compone de los indicadores expuestos en la tabla 2.

| Indicador | Descripción |
|---|---|
| Días cálidos | Número promedio de días en un año con temperaturas máximas > 30° |
| Días de verano | Número promedio de días en un año con temperaturas máximas > 25° |
| Olas de calor | Número promedio de ocurrencias en un año de 3 días consecutivos con temperatura superiores al percentil 90 del periodo de referencia para el mes de ocurrencia |

*Tabla 2. Indicadores del índice de amenaza de calor extremo*

Estos indicadores fueron seleccionados para capturar distintas dimensiones posibles del calor en el área estudiada. Por un lado, para ver el impacto de eventos más extremos se utilizan los indicadores de olas de calor y días cálidos. Debido a que en este sector costero las temperaturas no son tan altas como en el interior, se utiliza además un indicador de días sobre 25°C, con el cual se busca identificar aquellos territorios que poseen más días con estas temperaturas, que pese a no ser perjudiciales para la salud pueden ser molestas en viviendas con deficiente aislación térmica y/o en personas que realizan extensa actividad laboral o recreacional al aire libre.

Los datos fueron generados a partir de simulaciones climáticas por el WP de Proyecciones climáticas de ARClim para el periodo de referencia de 1980-2010 correspondiente al riesgo presente (Meteodata, et al., 2020).

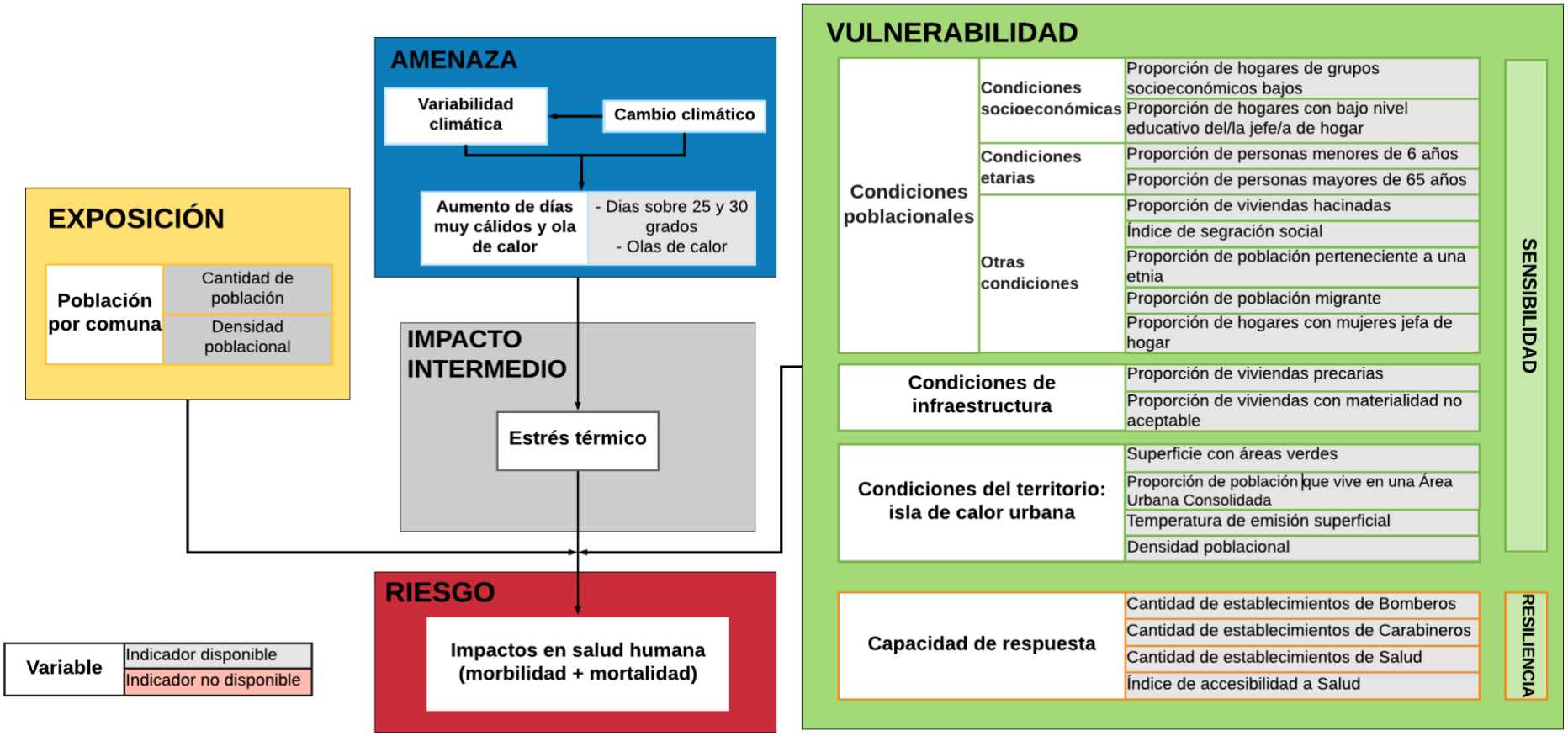



*Figura 1. Cadena de impacto para amenaza de calor extremo*

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una manzana censal presenta una **amenaza alta** cuando registra una frecuencia relativamente elevada de días cálidos o bien, cuando tiene una alta presencia de días sobre 25°C y de olas de calor.

- Una manzana censal tiene una **amenaza baja** cuando la frecuencia de las 3 variables descritas es relativamente baja.

- En los otros casos, la comuna presenta una **amenaza mediana.**

### *2.1.2 Exposición*

En el caso de la Exposición se consideraron los mismos indicadores para todas las cadenas de impacto. En Urquiza et al. (2020) se considera que mientras mayor es la población presente en la unidad territorial, mayor es la exposición debido al potencial efecto de la amenaza sobre una mayor cantidad de individuos. En el caso de este piloto se decidió considerar además la densidad poblacional (Hab/Ha), para evitar la subestimación de la exposición de manzanas con áreas muy pequeñas, pero con una alta densidad de población.

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una manzana censal presenta una **exposición alta** cuando registra una cantidad de población y densidad poblacional relativamente alta respecto al resto de las unidades.

- Una manzana censal tiene una **exposición baja** cuando ambos indicadores son relativamente bajos.

- En los otros casos, donde una de las variables es alta y la otra es baja, se considera que la manzana censal presenta una **amenaza mediana.**

### *2.1.3 Sensibilidad*

En la subsección de Olas de calor del WP de asentamientos humanos de ARClim (Urquiza et al., 2020) se detallan las principales variables identificadas en la literatura que inciden sobre la sensibilidad de la población ante el calor extremo. A partir de la información relevante y disponible se construyó un índice de sensibilidad compuesto por 14 indicadores agrupados en 5 subdimensiones.

En el caso de las islas de calor urbana se considera la presencia de esta cuando una manzana censal cuenta con una alta temperatura de emisión superficial relativa o cuenta con una alta

proporción del territorio en una Área Urbana Consolidada, con una alta densidad poblacional y una baja proporción de suelo con cobertura vegetal tipo bosque, humedal y matorral. En el resto de las subdimensiones se considera una sensibilidad alta cuando al menos uno de los indicadores tiene una condición alta relativa a las manzanas del área de estudio.

| Sub-dimensión | Indicador | Fuente de datos |
|---|---|---|
| Condiciones de sensibilidad poblacional: socioeconómica | Proporción de hogares de grupos socioeconómicos bajos | Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" |
| | Proporción de hogares con bajo nivel educativo del/la jefe/a de hogar | CENSO 2017 |
| Condiciones de sensibilidad poblacional: etaria | Proporción de personas mayores de 65 años | CENSO 2017 |
| | Proporción de personas menores de 6 años | CENSO 2017 |
| Otras condiciones de sensibilidad poblacional | Proporción de viviendas hacinadas | CENSO 2017 |
| | Índice de segregación social | Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" |
| | Proporción de población perteneciente a una etnia | CENSO 2017 |
| | Proporción población migrante (< 2 años de permanencia en el país). | CENSO 2017 |
| | Proporción de hogares con mujeres jefas de hogar | CENSO 2017 |
| Condiciones de sensibilidad de Infraestructura | Proporción de viviendas precarias | CENSO 2017 |
| | Proporción de viviendas con materialidad no aceptable | CENSO 2017 |
| Condiciones de sensibilidad territorial (Isla de calor urbana) | Proporción población que vive en una Área Urbana Consolidada | Manzanas CENSO 2017 y Área Urbana Consolidada |
| | Densidad poblacional | Densidad urbana por manzanas de Áreas Urbanas Consolidadas CENSO 2017 |
| | Superficie con áreas verdes[1] | Producto land cover Chile 2014 (archivo raster) |
| | Temperatura de emisión superficial diurna en los meses de verano. promedio periodo 2008-2018 | Fondecyt iniciacion 11180990 |

*Tabla 3. Indicadores del índice de sensibilidad de calor extremo*

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores se consideraron las siguientes reglas:

- Una manzana censal tiene **sensibilidad alta** cuando:
  - **Presenta** una isla de calor urbana y, adicionalmente, cumple con condición de sensibilidad poblacional socioeconómica y de

[1] Se considera como cobertura vegetacional relevante, la presencia de humedales, bosques y matorrales.

infraestructura alta o con las condiciones de sensibilidad poblacional etaria y demográfica
- cumple con **todas** las condiciones de sensibilidad poblacional

❖ Una manzana censal tiene **sensibilidad media** cuando:

- **Presenta** una isla de calor urbana pero no cumple con **ninguna** condición de sensibilidad poblacional
- Cumple con condición de sensibilidad poblacional socioeconómica y de infraestructura alta y con al menos una de las condiciones de sensibilidad poblacional etaria o demográfica

❖ Una manzana censal tiene **sensibilidad baja** cuando:

- **No presenta** una isla de calor y adicionalmente no cumple con las condiciones de sensibilidad poblacional etaria y demográfica
- **No presenta** una isla de calor y adicionalmente no cumple con las condiciones de sensibilidad poblacional socioeconómica, de infraestructura y alguna de las otras 2 subdimensiones de sensibilidad poblacional

### *2.1.4 Resiliencia*

Para resiliencia, se considera solo la capacidad de respuesta en relación a la presencia de servicios de urgencia, debido a la imposibilidad de contar con información de capacidad adaptativa u otros indicadores de capacidad de respuesta desagregados territorialmente para el área de estudio. El índice de capacidad de respuesta se compone de los siguientes indicadores.

| Indicador | Descripción | Fuente |
|---|---|---|
| **Presencia de establecimientos de Salud** | Presencia de establecimientos de salud públicos en la zona censal a la que pertenece la manzana | Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" |
| **Presencia de Bomberos** | Presencia de cuarteles de bomberos en la zona censal a la que pertenece la manzana | |
| **Presencia de Carabineros** | Presencia de cuarteles de carabineros en la zona censal a la que pertenece la manzana | |
| **Accesibilidad a la Salud** | Indica que una manzana censal se encuentra con acceso precario a la salud, si el centro geográfico se encuentra a más de 1,5 Kms del centro de salud primaria más cercano | Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano (SIEDU) |

*Tabla 4. Indicadores de la dimensión de capacidad de respuesta de calor extremo*

Se considera la presencia de bomberos y carabineros debido a su capacidad de formar parte de una estrategia de mitigación de los impactos de un evento extremo y de apoyar a la ciudadanía

ante eventuales problemas de salud. Cabe mencionar que en las reglas de agregación se pondera con mayor importancia las variables relacionadas con salud.

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta alta** cuando cuenta con un establecimiento de salud y adecuada accesibilidad a este dentro la zona censal o cuando cuenta con cuarteles de bomberos y carabineros.

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta Media** cuando cuenta con adecuada accesibilidad a la salud y cuenta con un establecimiento de bomberos o uno de carabineros en su zona censal

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta Baja** cuando no cuenta con una adecuada accesibilidad a la salud.

### *2.1.5 Vulnerabilidad*

Como se indica en el marco teórico-metodológico de Urquiza et al. (2020) la vulnerabilidad está compuesta por elementos de sensibilidad y de resiliencia del territorio. A continuación, se indican las reglas de agregación utilizadas para integrar estos 2 índices en el componente de vulnerabilidad. Se le da una mayor relevancia a la sensibilidad, dado el mayor desarrollo y profundidad de este índice en el presente trabajo.

- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad alta** cuando la sensibilidad es alta o cuando la sensibilidad es media y la capacidad de respuesta es baja

- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad media** cuando la sensibilidad es media y la capacidad de respuesta es media o cuando la sensibilidad es baja y la capacidad de respuesta es baja

- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad baja** cuando la sensibilidad es media y la capacidad de respuesta es alta o cuando la sensibilidad es baja y la capacidad de respuesta no lo es.

### *2.1.6 Agregación del riesgo*

Para la presente amenaza se construyó el índice de riesgo, empleando las reglas descritas en la tabla 5. La lógica bajo la que debe leerse la tabla tiene relación con la importancia que se le asignó a cada variable en la construcción de las reglas. En este caso, la mayor relevancia en la construcción del riesgo se atribuye a la exposición y la menor a la amenaza, dadas las características de esta, que se distribuye con poca variabilidad en el territorio y que afecta a toda la población del área en estudio.

| Niveles de Riesgo | | Exposición Alta | Exposición Media | Exposición Baja |
|---|---|---|---|---|
| Vulnerabilidad Alta | Amenaza Alta | Riesgo Alto | Riesgo Alto | Riesgo Alto |
| | Amenaza Media | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Medio |
| | Amenaza Baja | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Medio |
| Vulnerabilidad Media | Amenaza Alta | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Medio |
| | Amenaza Media | Riesgo Medio | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Amenaza Baja | Riesgo Medio | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Vulnerabilidad Baja | Amenaza Alta | Riesgo Medio | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Amenaza Media | Riesgo Medio | Riesgo Bajo | Riesgo Bajo |
| | Amenaza Baja | Riesgo Medio | Riesgo Bajo | Riesgo Bajo |

*Tabla 5. Niveles de riesgo en función de amenaza, exposición y vulnerabilidad*

## 2.2 RESULTADOS MAPAS CALOR EXTREMO

### *2.2.1 Mapa de amenaza ante calor extremo*

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas de riesgo para las dimensiones de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo para el caso en estudio. El **mapa de amenaza** (Figura 2) muestra cómo varían las condiciones de calor extremo en el territorio para el periodo de referencia (1980-2010). Dado que la información climática se encuentra en una grilla de 5X5 Kms se logra identificar poca variabilidad a escala subcomunal. A pesar de esto, el índice de amenaza logra recoger información relevante, por ejemplo, que hacia la zona interior se espera una mayor cantidad de eventos asociados a calor extremo, que en la zona costera de estas comunas.

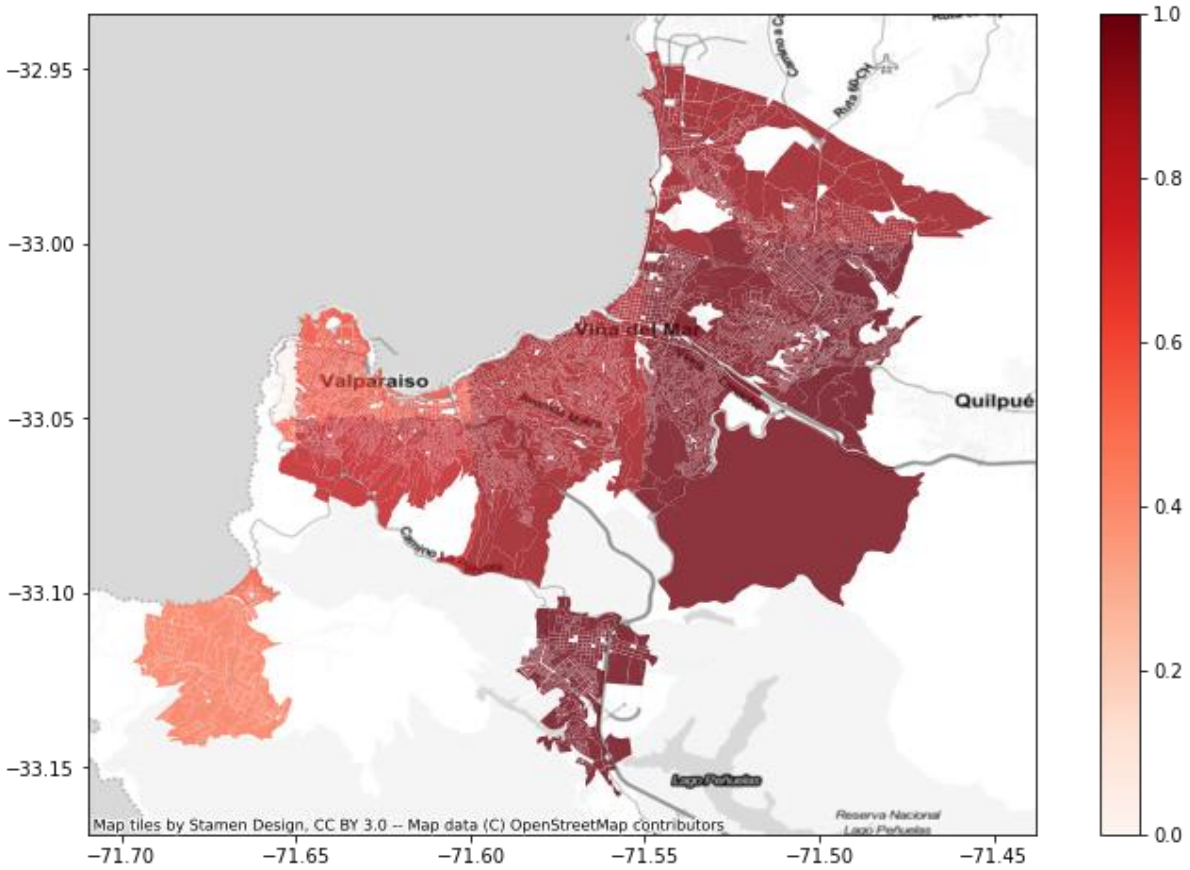



*Figura 2. Mapa de amenaza ante calor extremo*

### *2.2.2 Mapa de exposición ante calor extremo*

Respecto a la **Exposición** reflejada en el mapa de la figura 3, se observa la distribución heterogénea de la población entre las manzanas de ambas comunas, concentrándose las manzanas menos expuestas en las manzanas ubicadas más cerca de los límites comunales. Pese a esto, cuesta identificar un patrón espacial claro de la exposición debido a que en los suburbios existen manzanas con un alto nivel de exposición en donde destaca la presencia de asentamientos no planificados.

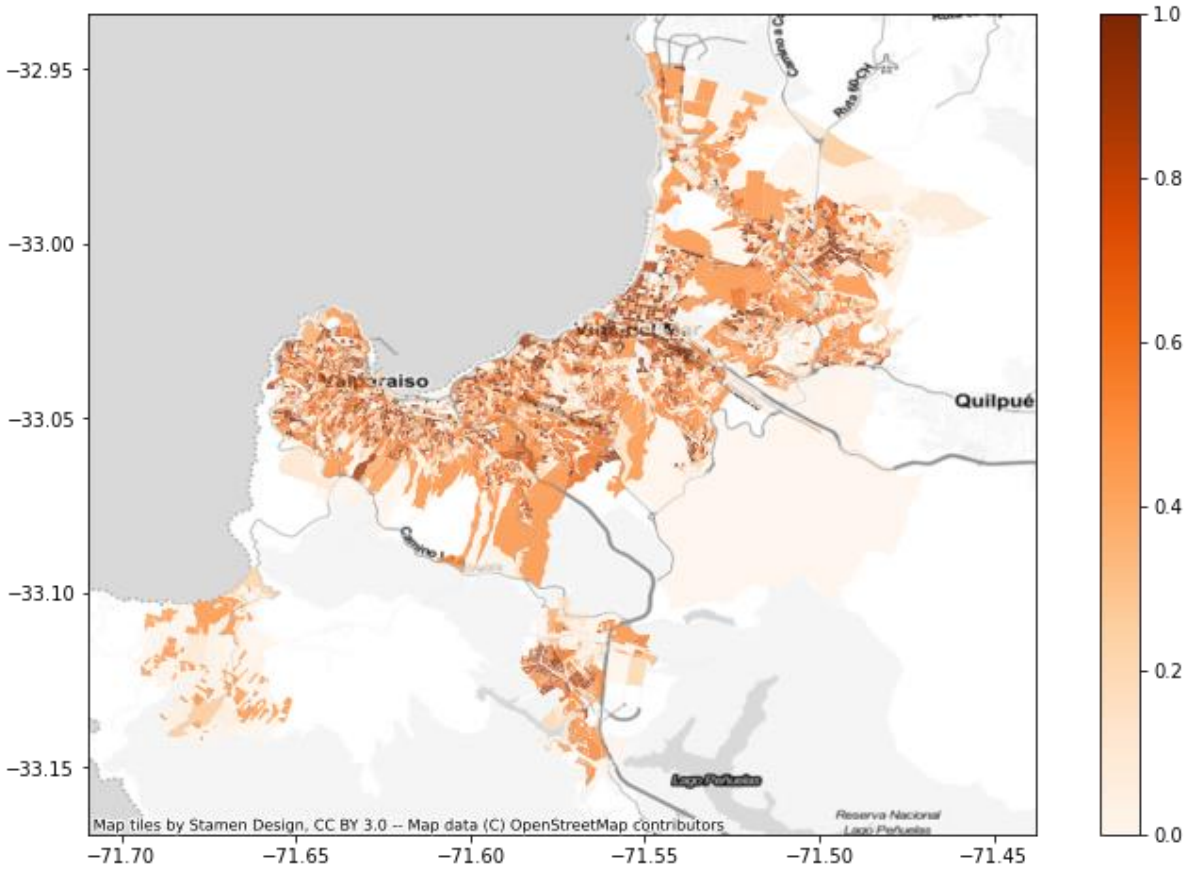



*Figura 3. Mapa de exposición ante calor extremo*

### *2.2.3 Mapa de sensibilidad ante calor extremo*

En la figura 4 se muestra el **mapa de sensibilidad,** que revela las manzanas con una mayor susceptibilidad frente a condiciones de calor extremo en función de características poblacionales (ej. presencia de grupos vulnerables) y/o territoriales (ej. existencia de islas de calor). Las manzanas pertenecientes al centro y a la parte plana de ambas ciudades presentan bajos niveles de sensibilidad, mientras que en distintas partes de la periferia y cerros característicos de estas comunas se concentran manzanas con altos niveles, fuertemente asociadas a la presencia de condiciones de sensibilidad poblacional.

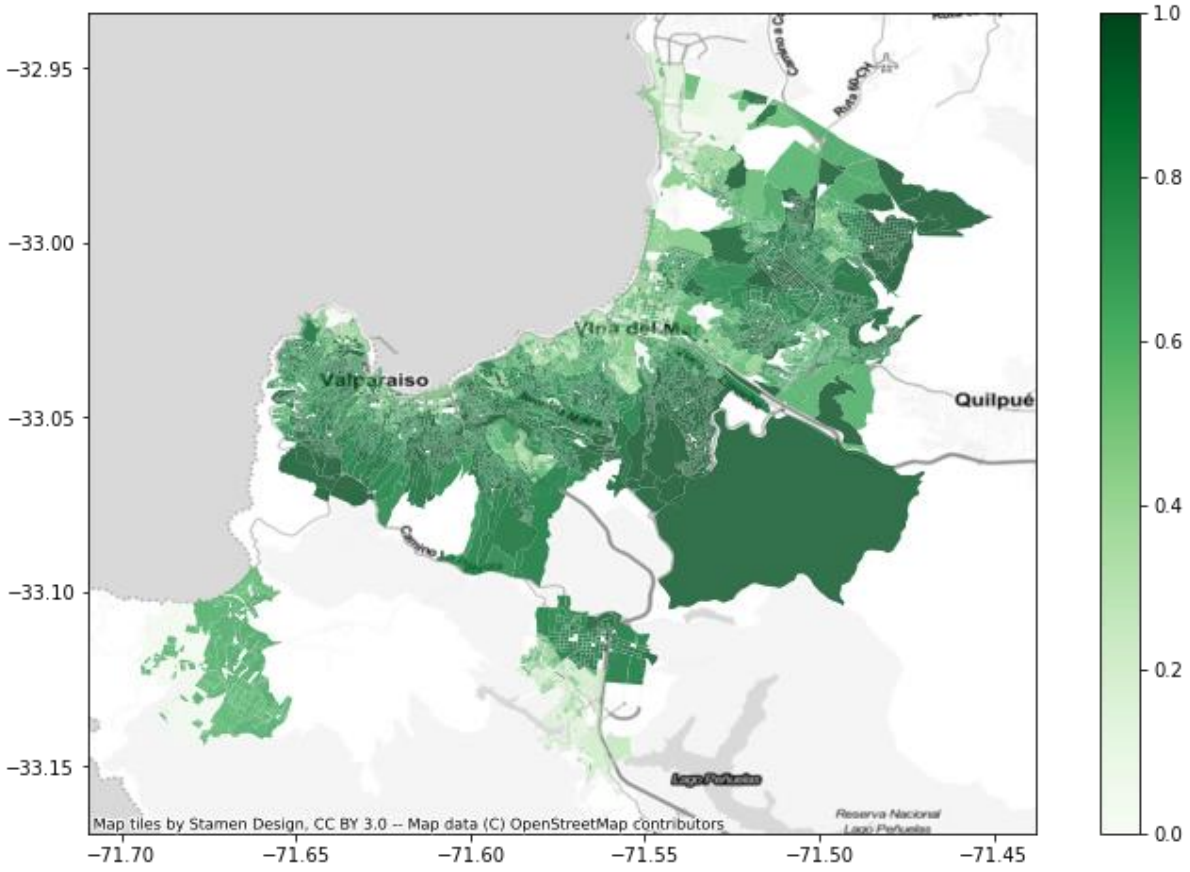



*Figura 4. Mapa de sensibilidad ante calor extremo*

### *2.2.4 Mapa de riesgo ante calor extremo*

El mapa de **riesgo** (Figura 5) muestra la distribución relativa del riesgo asociado a condiciones de calor extremo, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente. En términos generales, el riesgo se concentra en la parte más interior y periférica de ambas comunas donde, como vimos en los mapas anteriores, hay mayor presencia de episodios de calor extremo y de sensibilidad poblacional. Por otro lado, destaca el menor riesgo que presenta la zona de playa ancha en Valparaíso acorde a la menor amenaza registrada en dicha zona.

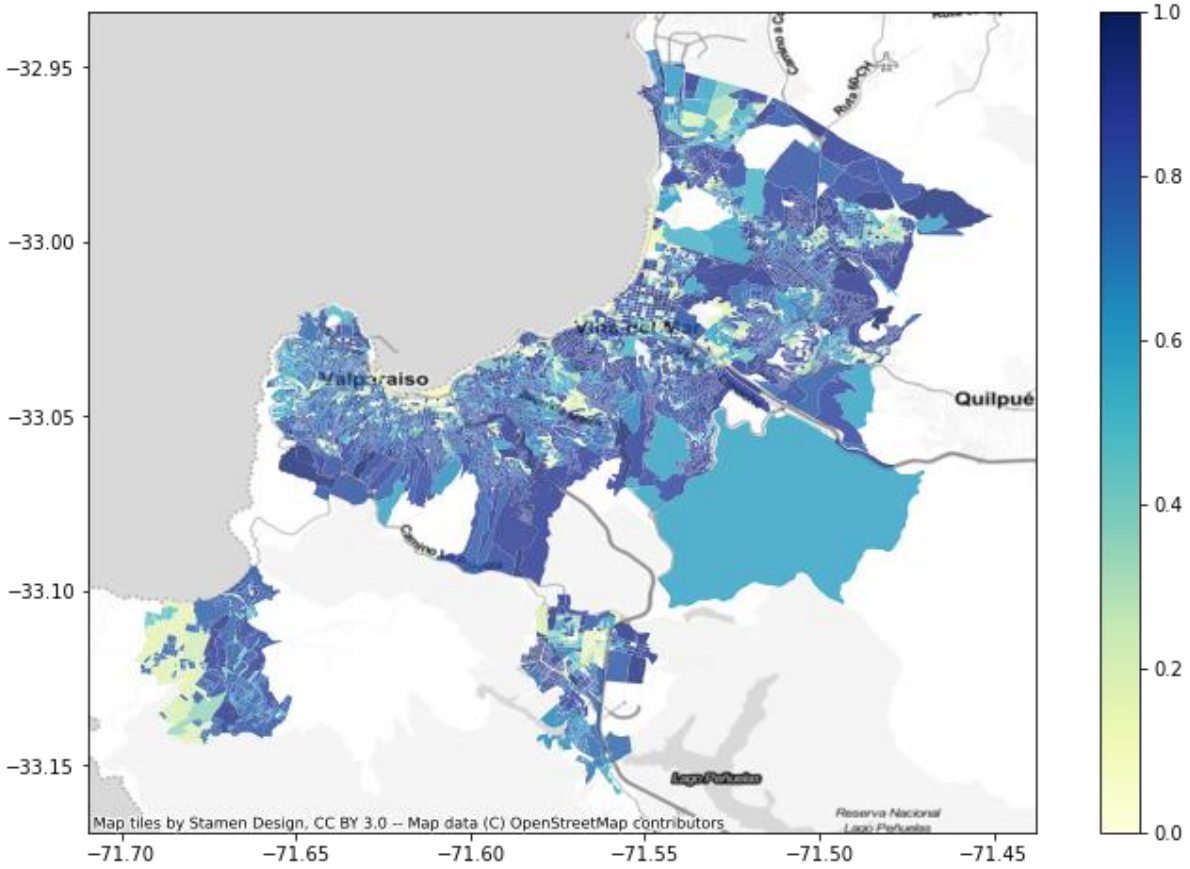



*Figura 5. Mapa de riesgo ante calor extremo*

## 2.3 CADENA DE IMPACTO DE INUNDACIONES POR DESBORDES DE COLECTORES DE AGUAS LLUVIAS, RÍOS, ESTEROS Y QUEBRADAS

Como se indica en Urquiza et al. (2020), debido al cambio climático se espera un aumento de las inundaciones como consecuencia del aumento de eventos de precipitaciones intensas. En línea con lo expuesto en el informe principal, en este piloto se considera el riesgo de deterioro de condiciones de vida y probabilidades de "accidentes" de la población debido a inundaciones asociadas al desborde de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas.

En la figura 6 se muestra la cadena de impacto para construir el Índice de Riesgo, cuyos indicadores son un subgrupo de la cadena de impacto teórica presentada en la subsección de Inundaciones del documento de Urquiza et al. (2020), El único indicador que no es considerado en dicha cadena y que sí es utilizado en este caso, corresponde a la **presencia de infraestructura con alto flujo de personas**, variable considerada en todas las cadenas de impacto de riesgo de desastres asociados a amenazas climáticas, debido al aumento población expuesta en el territorio. Las principales diferencias para el caso del piloto corresponden a la sistematización diferente de los subgrupos de sensibilidad, donde adquiere relevancia la agregación de indicadores de infraestructura. En el caso piloto se agrupan parte de los indicadores de condiciones de la vivienda y condiciones del territorio que están presentes en la cadena a escala nacional. Por otro lado, se consideran condiciones territoriales asociadas a la propagación de la inundación a través de las áreas verdes y áreas impermeables obtenidas del *Landcover* nacional, pertinente para el contexto urbano en estudio. Finalmente es importante destacar que el área de amenaza proviene de registros históricos y modelamiento llevado a cabo en el contexto del Plan Maestro de Aguas Lluvias (PMALL) de estas comunas, fuente de información distinta respecto de la utilizada en la cadena nacional que no consideraba las comunas de estudio de este piloto, además de no estar pensadas para un análisis a escala subcomunal. A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto.

### *2.3.1 Amenaza*

El índice de amenaza se compone de los siguientes 3 indicadores

| Indicador | Descripción |
|---|---|
| **Área de inundación por desborde de ríos** | Área de inundación para los esteros Marga-Marga y Reñaca con periodos de retorno de 50 y 100 años. |
| **Área de inundación histórica** | Territorios georreferenciados según inundaciones históricas en ambas comunas |
| **Área de inundación modelada para desborde de colectores** | Modelamiento de la potencial área de inundación ante el desborde de colectores con un periodo de retorno de hasta 25 años |

*Tabla 6. Indicadores del índice de amenaza de inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

Estos indicadores se obtuvieron del PMALL de ambas comunas con el fin de capturar distintas formas de ocurrencia y registro de las inundaciones. Para la amenaza se examinó la superficie de la manzana censal que se considera susceptible a ser inundada, acorde a todas las fuentes de información mencionadas. Como estas no se superponen en el territorio no hay necesidad de realizar un proceso de agregación de la amenaza. Para el área que solo se encuentra amenazada ante desborde de ríos en el modelamiento que considera periodo de retorno de 100 años, pero no en los próximos 50 años, se ponderó la amenaza por 0,5 considerando la menor probabilidad de ocurrencia de un evento de inundación.

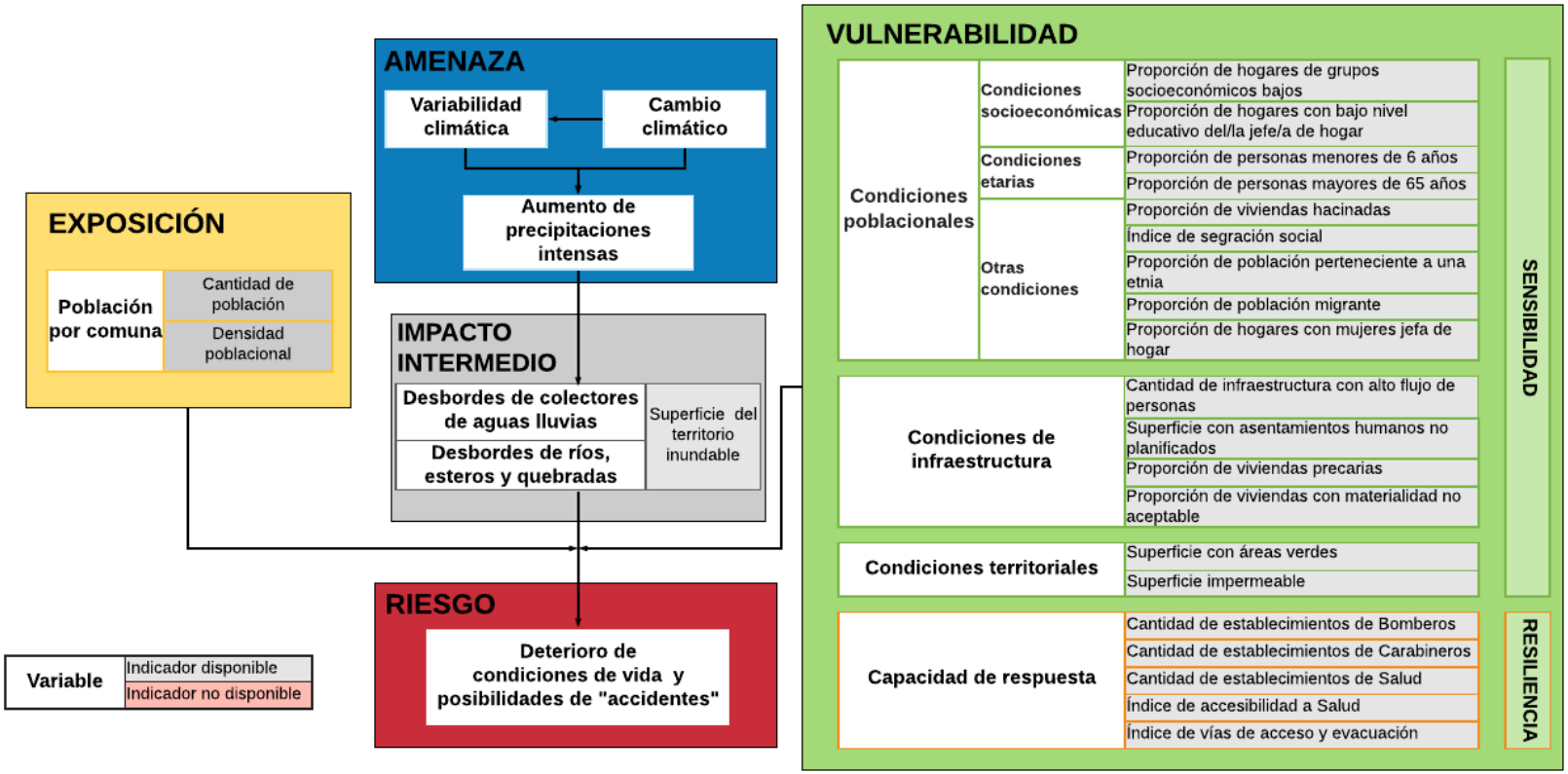



*Figura 6. Cadena de impacto para amenaza de inundaciones*

### *2.3.2 Exposición*

En el caso de la exposición se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.1.2 de Calor extremo (página 6).

### *2.3.3 Sensibilidad*

En la subsección de inundaciones de Urquiza et al. (2020) se indican las principales variables identificadas en la literatura que inciden sobre la sensibilidad de la población ante esta amenaza. A partir de la información relevante y disponible se construyó un índice de sensibilidad compuesto por 15 indicadores agrupados en 5 subdimensiones.

En el caso de las condiciones territoriales se considera una sensibilidad alta cuando se cumple que la superficie impermeable es alta y la superficie de área verde de la manzana es baja.

En todas las demás dimensiones se considera una sensibilidad alta cuando al menos uno de los indicadores tiene una condición alta relativa a las manzanas del área de estudio.

| Sub-dimensión | Indicador | Fuente de datos |
|---|---|---|
| Condiciones de sensibilidad poblacional: socioeconómica | Proporción de hogares de grupos socioeconómicos bajos | Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" |
| | Proporción de hogares con bajo nivel educativo del/la jefe/a de hogar | CENSO 2017 |
| Condiciones de sensibilidad poblacional: etaria | Proporción de personas mayores de 65 años | CENSO 2017 |
| | Proporción de personas menores de 6 años | CENSO 2017 |
| Otras condiciones de sensibilidad poblacional | Proporción de viviendas hacinadas | Proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" |
| | Índice de segregación social | CENSO 2017 |
| | Proporción de población perteneciente a una etnia | CENSO 2017 |
| | Proporción población migrante (< 2 años de permanencia en el país). | CENSO 2017 |
| | Proporción de hogares con mujeres jefas de hogar | CENSO 2017 |
| Infraestructura | Proporción de viviendas precarias | CENSO 2017 |
| | Proporción de viviendas con materialidad no aceptable | CENSO 2017 |
| | Superficie cubiertas por tomas y campamentos | catastro Nacional de Campamentos del 2018. |
| | Cantidad de infraestructura con alto flujo de personas2 | Catastro levantado en proyecto "Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile" |
| Condiciones de sensibilidad territorial | Superficie impermeable | Producto Landcover de Chile 2014 (archivo raster) |
| | Superficie con áreas verdes | Producto Landcover de Chile 2014 (archivo raster) |

*Tabla 7. Indicadores del índice de sensibilidad de inundaciones*

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores se consideraron las siguientes reglas:

- Una manzana censal tiene **sensibilidad alta** cuando:

  - **Presenta** condiciones territoriales que facilitan la propagación de la inundación y, adicionalmente, cumple con condición de sensibilidad alta relacionada con la infraestructura. También cuando una de estas dos

[2] Considera la presencia de establecimientos de salud, educación, atractivos turísticos, caletas de pescadores, industrias registradas en RETC y empresas sanitarias

condiciones se presenta y cumple con las condiciones de sensibilidad poblacional socioeconómica alta y con la sensibilidad etaria alta.
- Cumple con **todas** las condiciones de sensibilidad poblacional.

❖ Una manzana censal tiene **sensibilidad media** cuando:

- **Presenta** una condición territorial que facilita la propagación de la inundación o **presenta** una condición de infraestructura sensible a esta amenaza y adicionalmente cumple con al menos una condición de sensibilidad poblacional etaria u "otra" o con condición de sensibilidad socioeconómica.
- Cumple con dos de las 3 condiciones de sensibilidad poblacional altas.

❖ Una manzana censal tiene **sensibilidad baja** cuando:

- **No presenta** una condición territorial que facilita la propagación de la inundación o no **presenta** una condición de infraestructura sensible a esta amenaza y adicionalmente no cumple con ninguna de las condiciones de sensibilidad poblacional.
- **No presenta** una condición territorial que facilita la propagación de la inundación y **tampoco presenta** una condición de infraestructura sensible a esta amenaza y adicionalmente no cumple con más de una de las con las condiciones de sensibilidad poblacional.

### *2.3.4 Resiliencia*

Para la resiliencia, se considera únicamente la capacidad de respuesta asociada a la presencia de servicios de urgencia y áreas de evacuación. El índice de capacidad de respuesta se compone de la siguiente forma:

| Indicador | Descripción |
|---|---|
| Presencia de establecimientos de Salud | Presencia de establecimientos de salud públicos en la zona censal a la que pertenece la manzana |
| Presencia de Bomberos | Presencia de cuarteles de bomberos en la zona censal a la que pertenece la manzana |
| Presencia de Carabineros | Presencia de cuarteles de carabineros en la zona censal a la que pertenece la manzana |
| Accesibilidad a la Salud | Indicador desarrollado por SIEDU que indica que una manzana censal se encuentra con acceso precario a la salud, si el centro geográfico se encuentra a más de 1,5 Kms del centro de salud primaria más cercano |
| Vías de evacuación | Indicador de 0 a 1 para Zona Censal, en base a geoprocesamiento de la red vial del área metropolitana de Valparaíso |

*Tabla 8. Indicadores del índice de capacidad de respuesta de inundaciones*

En las reglas de agregación para la capacidad de respuesta se ponderan con mayor importancia las

variables relacionadas con salud.

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta alta** cuando:

  - Cuenta con adecuada accesibilidad a la salud, con adecuadas vías de evacuación y adicionalmente cuenta con un establecimiento de salud, o bomberos o carabineros en la zona censal.
  - Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta alta** cuando cuenta con adecuada accesibilidad a la salud, presencia de bomberos y de carabineros en la zona censal.

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta media** cuando:

  - Cuenta con adecuada accesibilidad a la salud y adicionalmente cuenta con un establecimiento de salud, o cuenta con al menos un establecimiento de bomberos o de carabineros en la zona censal.
  - Cuenta con adecuada accesibilidad a la salud y adicionalmente cuenta con adecuadas vías de evacuación, pero no cuenta con un establecimiento de salud ni de bomberos ni carabineros en la zona censal.

- Una manzana censal presenta una **capacidad de respuesta baja** cuando:

  - Cuenta con adecuada accesibilidad a la salud, pero no cuenta con adecuadas vías de evacuación y adicionalmente no cuenta con un establecimiento de salud ni de bomberos o carabineros en la zona censal.
  - No cuenta con adecuada accesibilidad a la salud.

### *2.3.5 Vulnerabilidad*

La vulnerabilidad se agrega de la misma forma que se indica en la subsección 2.1.5 de Calor extremo (página 9).

### *2.3.6 Agregación del riesgo*

Para la presente cadena de impacto se construyó el índice de riesgo, empleando las reglas descritas en la tabla 9. La lógica bajo la que debe leerse la tabla tiene relación con la importancia que se le asignó a cada variable en la construcción de las reglas. En este caso la mayor relevancia en la construcción del riesgo se le da a la amenaza y la menor a la exposición, dadas las características de la amenaza la cual afecta con mucha intensidad a áreas acotadas de ambas comunas.

| Niveles de Riesgo | | Amenaza Alta | Amenaza Media | Amenaza Baja |
|---|---|---|---|---|
| Vulnerabilidad Alta | Exposición Alta | Riesgo Alto | Riesgo Alto | Riesgo Bajo |
| | Exposición Media | Riesgo Alto | Riesgo Alto | Riesgo Bajo |
| | Exposición Baja | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Vulnerabilidad Media | Exposición Alta | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Exposición Media | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Exposición Baja | Riesgo Medio | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Vulnerabilidad Baja | Exposición Alta | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Exposición Media | Riesgo Medio | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| | Exposición Baja | Riesgo Medio | Riesgo Bajo | Riesgo Bajo |

*Tabla 9. Niveles de riesgo en función de amenaza, exposición y vulnerabilidad*

## 2.4 RESULTADOS MAPAS INUNDACIONES POR DESBORDES DE COLECTORES DE AGUAS LLUVIAS, RÍOS, ESTEROS Y QUEBRADAS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas de riesgo para las dimensiones de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo.

### *2.4.1 Mapa de amenaza ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

El **mapa de amenaza** (figura 7) muestra las áreas de inundación descritas en el PMALL para ambas comunas. En términos generales, el mayor riesgo se da en las manzanas aledañas a las desembocaduras del estero Marga Marga y el estero Reñaca que potencialmente pueden inundarse por completo. Luego existen manzanas con distintos niveles de amenaza repartidas por el territorio asociados a los registros de inundaciones históricas y al colapso de colectores de aguas lluvias, los cuales en general no suelen ser de suficiente magnitud como para inundar manzanas completas y por lo tanto presentar una amenaza tan alta.

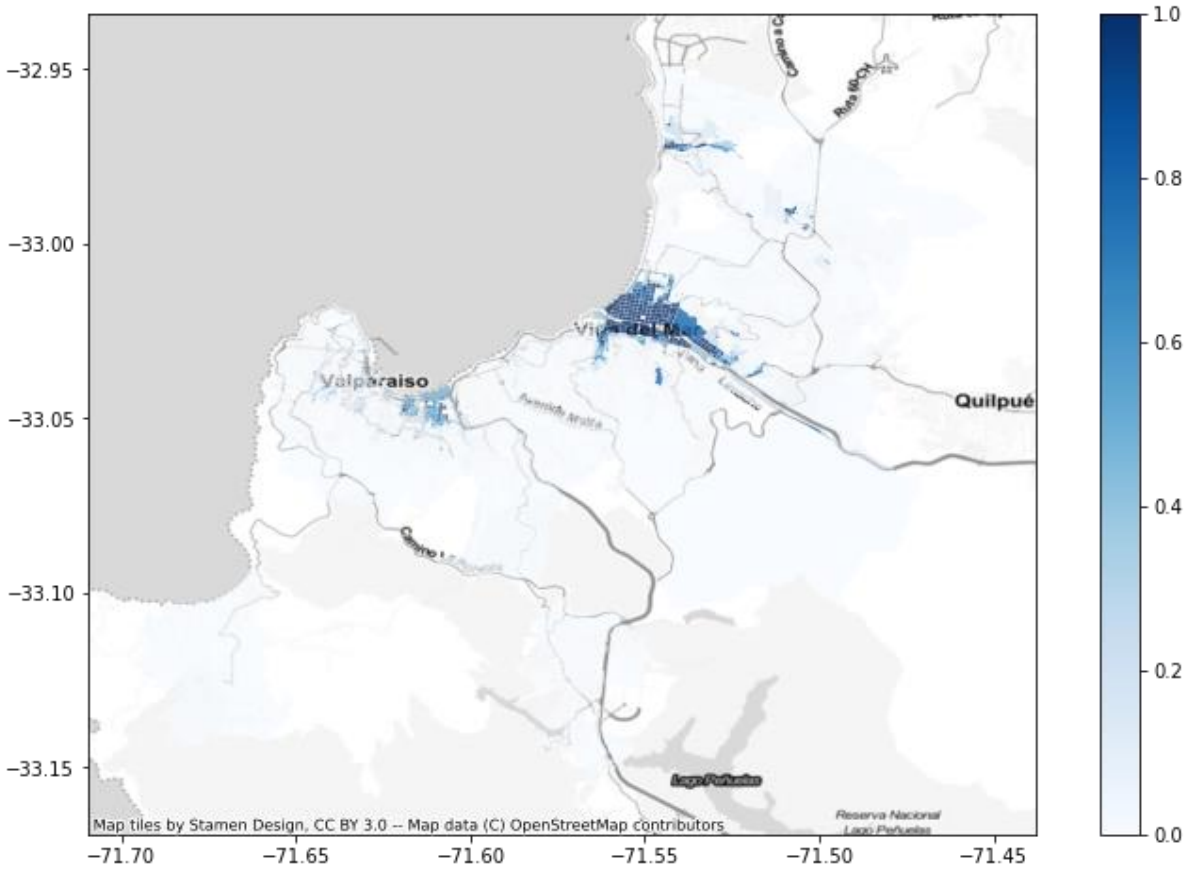



*Figura 7. Mapa de amenaza ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

### *2.4.2 Mapa de exposición ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

La **exposición** se distribuye de igual forma como se indica en el mapa de la figura 3 de la subsección 2.2.2 de Calor extremo. (página 11)

### *2.4.3 Mapa de sensibilidad ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

En la figura 8 se muestra el **mapa de sensibilidad,** que revela las manzanas con una mayor susceptibilidad frente a eventos de inundaciones en función de características poblacionales (ej. presencia de grupos vulnerables), territoriales y de infraestructura. No se identifica un patrón claro ante la distribución de la sensibilidad en el territorio, aunque destaca la periferia norte de la comuna de Viña del Mar con una baja sensibilidad, probablemente asociada a la presencia de mejores condiciones territoriales.

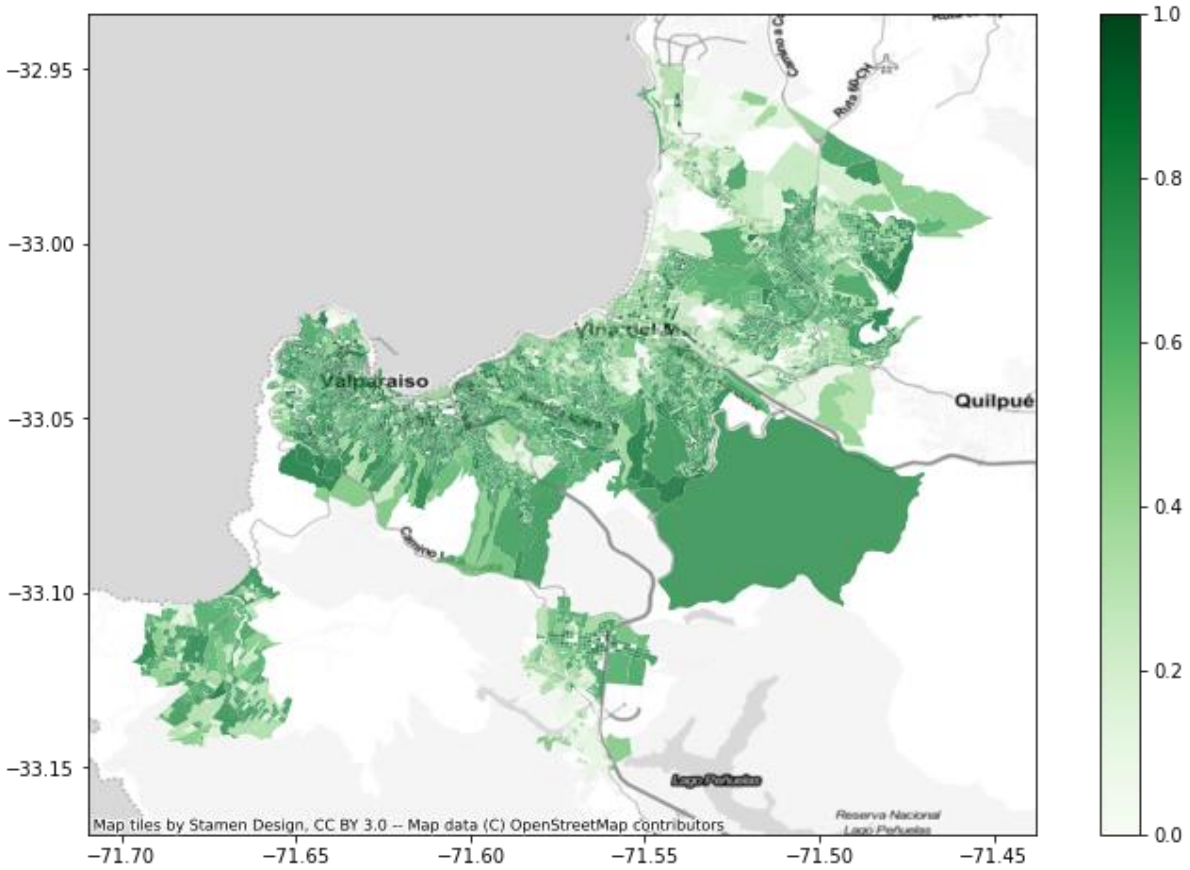



*Figura 8. Mapa de sensibilidad ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

### *2.4.4 Mapa de riesgo ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

El mapa de **riesgo** (Figura 9) muestra la distribución relativa del Riesgo asociado a inundaciones, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente, donde lógicamente solo se presenta riesgo en las áreas donde existe la amenaza. En términos generales, el riesgo presenta una distribución similar al mapa de amenaza acorde a cómo se construyeron las reglas de agregación, pero permite considerar ciertas áreas que a pesar de estar escasamente amenazadas presentan un riesgo mayor debido a sus condiciones de exposición y vulnerabilidad.

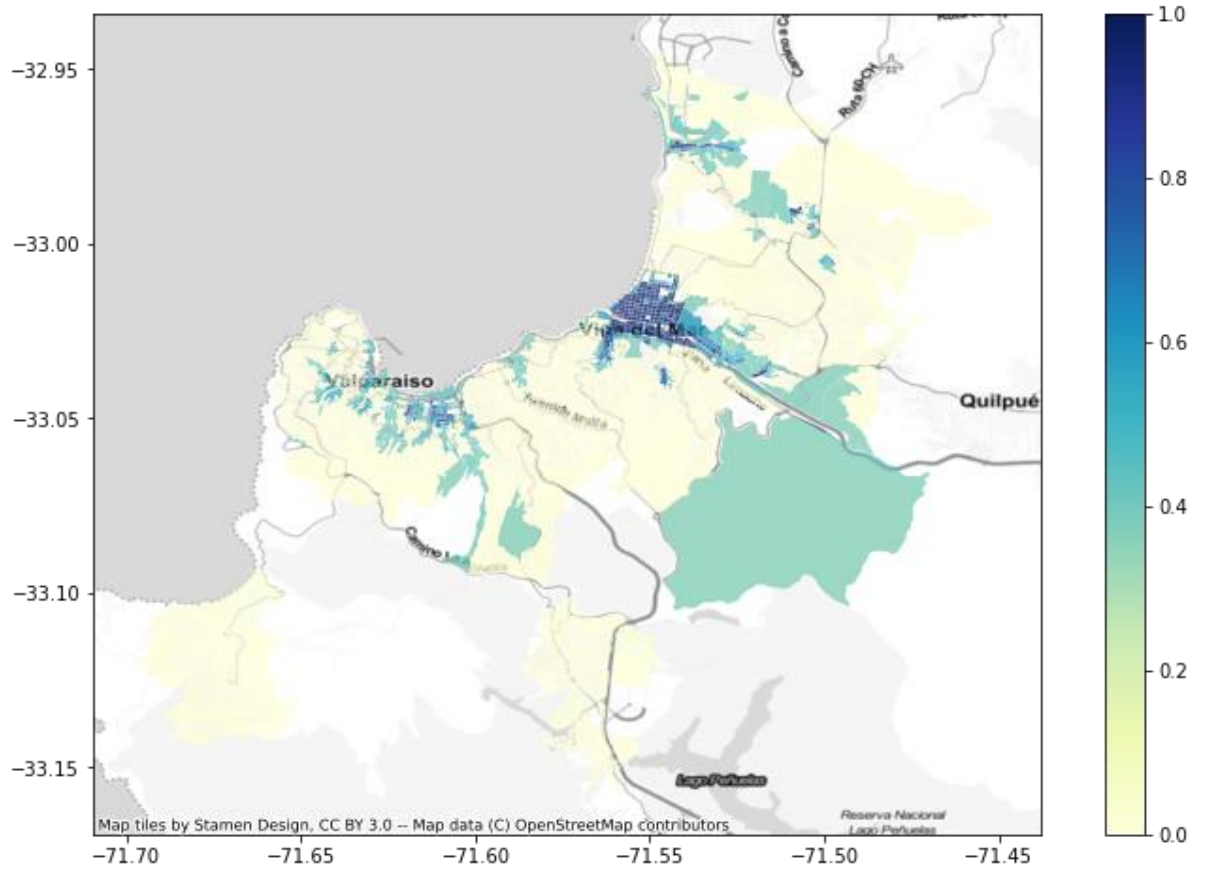



*Figura 9. Mapa de riesgo ante inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas*

## 2.5 CADENA DE IMPACTO DE INUNDACIONES DEL BORDE COSTERO POR MAREJADAS

Debido al cambio climático se espera un aumento en la magnitud y recurrencia de las marejadas, que tienen un impacto sobre el borde costero al destruir la infraestructura e inundarlo. En línea con lo expuesto en la subsección 2.3 de Inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas, y dada la similitud de los impactos, se evalúa el riesgo sobre las condiciones de vida y la probabilidad de sufrir "accidentes" por parte de la población, asociado a inundaciones del borde costero por marejadas.

En la figura 10 se muestra la cadena de impacto la cual, acorde a la similitud del impacto, considera casi los mismos componentes que la cadena de impactos de Inundaciones por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas (2.3). La única diferencia es que en este caso no se considera en la sensibilidad las condiciones territoriales asociadas a la propagación de la amenaza, dado que en el caso de las marejadas la inundación se produce por un alza del nivel del mar, la cual no es mitigada por el tipo de cobertura del suelo. Es importante destacar que el área amenazada proviene de un ejercicio empírico desarrollado por parte del equipo involucrado en el proyecto "*Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile".* A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto.

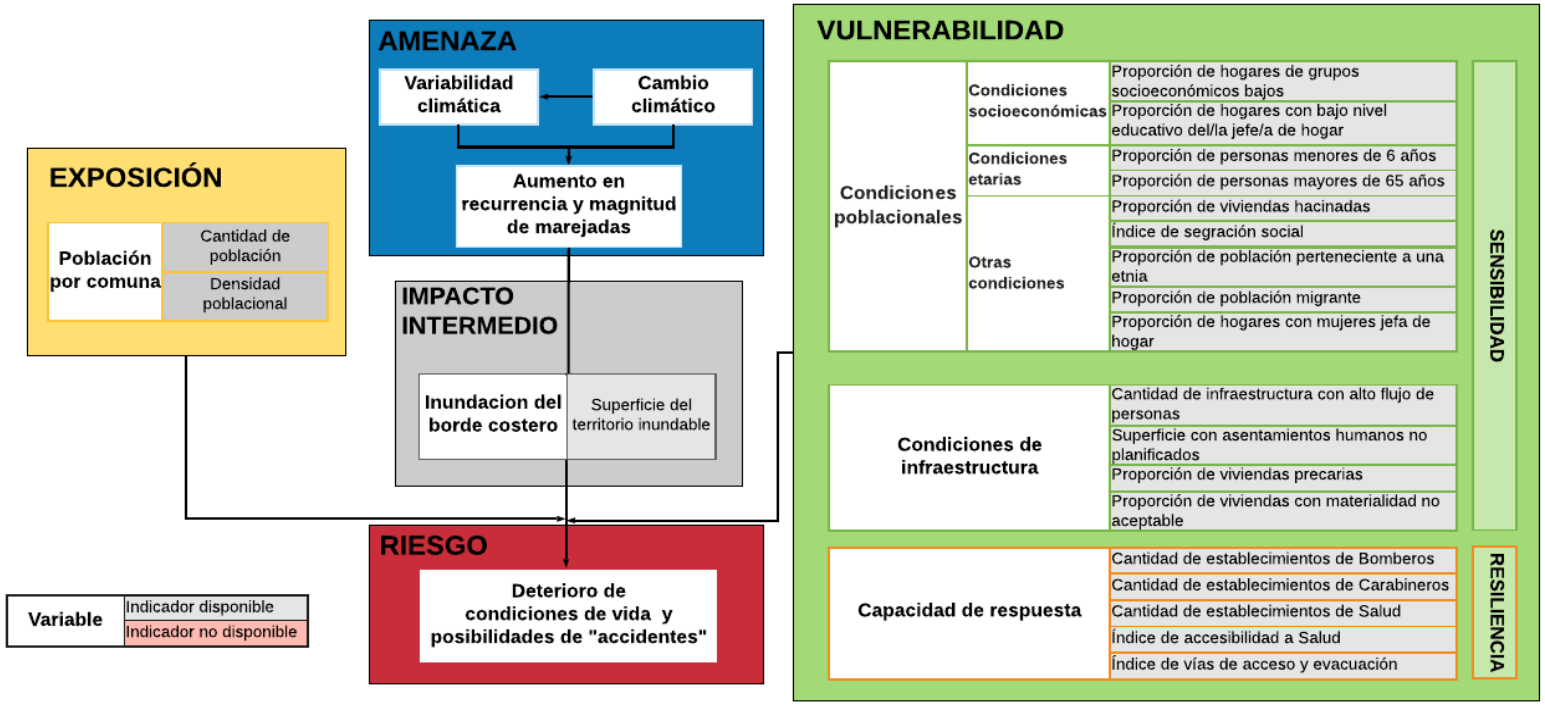



*Figura 10. Cadena de impacto para amenaza de marejadas*

### *2.5.1 Amenaza*

Para la amenaza se consideró la superficie de la manzana censal que se observa como susceptible a ser inundada por marejadas, acorde a la línea de inundación empírica elaborada en Qgis por expertos de la Universidad de Valparaíso y Universidad Católica de Valparaíso.

### *2.5.2 Exposición*

En el caso de la exposición se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.1.2 de Calor extremo. (página 6)

### *2.5.3 Sensibilidad*

Como se mencionó previamente, los indicadores de sensibilidad considerados son aquellos presentes en la tabla 7, específicamente los pertenecientes a las subdimensiones de infraestructura, condiciones de sensibilidad poblacional socioeconómica, condiciones de sensibilidad poblacional etaria y otras condiciones de sensibilidad poblacional. A partir de esta información se construyó un índice de sensibilidad compuesto por 13 indicadores, agrupados en las 4 subdimensiones descritas.

En todas las dimensiones se estima una sensibilidad alta cuando al menos uno de los indicadores tiene una condición alta relativa a las manzanas del área en estudio.

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores se consideraron las siguientes reglas:

- Una manzana censal tiene **sensibilidad alta** cuando:
  - **Presenta** una condición de sensibilidad asociada a la infraestructura y, adicionalmente, cumple con dos de las 3 condiciones de sensibilidad poblacional.
  - **Cumple** con **todas** las condiciones de sensibilidad poblacional.
- Una manzana censal tiene **sensibilidad media** cuando:
  - **Presenta** sensibilidad asociada a la subdimensión de infraestructura y adicionalmente cuenta con una de las tres condiciones de sensibilidad poblacional.
  - A pesar de no presentar sensibilidad asociada a la infraestructura cumple con al menos dos de las tres condiciones de sensibilidad poblacional de sensibilidad.
- Una manzana censal tiene **sensibilidad baja** cuando:
  - **No presenta** sensibilidad asociada a la subdimensión de infraestructura y adicionalmente no cumple con dos de las tres condiciones de sensibilidad poblacional.

- A pesar de contar con sensibilidad asociada a la subdimensión de infraestructura **no cumple** con ni una de las condiciones de sensibilidad poblacional.

### *2.5.4 Resiliencia*

El índice de resiliencia (centrado en la capacidad de respuesta) es el mismo que fue presentado en la subsección 2.3.4 de inundaciones (página 17) por desborde de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas.

### *2.5.5 Vulnerabilidad*

La vulnerabilidad se agrega de la misma forma que se indica en la subsección 2.1.5 de Calor extremo. (página 9)

### *2.5.6 Agregación del riesgo*

La agregación del riesgo sigue el mismo esquema presentado en la subsección 2.3.6 de Inundaciones (página 19) por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas.

## 2.6 RESULTADOS MAPAS INUNDACIONES DEL BORDE COSTERO POR MAREJADAS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas de riesgo para las dimensiones de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo.

### *2.6.1 Mapa de amenaza ante inundaciones del borde costero por marejadas*

El **mapa de amenaza** (figura 11) muestra el nivel de amenaza a las que están expuestas las manzanas del borde costero de ambas comunas. En términos generales, el mayor riesgo se presenta en las manzanas del borde costero de Viña del Mar, debido a la menor pendiente que presenta dicha comuna en el área costera y la presencia de las desembocaduras del estero Marga Marga y el estero Reñaca.

### *2.6.2 Mapa de exposición ante inundaciones del borde costero por marejadas*

La **exposición** se distribuye de igual forma como se indica en el mapa de la figura 3 de la subsección 2.2.2 de Calor extremo (página 11).

### *2.6.3 Mapa de sensibilidad ante inundaciones del borde costero por marejadas*

En la figura 12 se muestra el **mapa de sensibilidad,** donde destaca la baja sensibilidad que posee el sector de Reñaca en la parte norte de la comuna de Viña del mar. Por otro lado, la mayor sensibilidad se encuentra en la periferia de ambas comunas asociada a las condiciones poblacionales de dichos sectores. Para esta amenaza, las manzanas alejadas del borde costero no resultan impactadas. La mayor sensibilidad relevante para este caso se encuentra en el borde costero de Valparaíso.

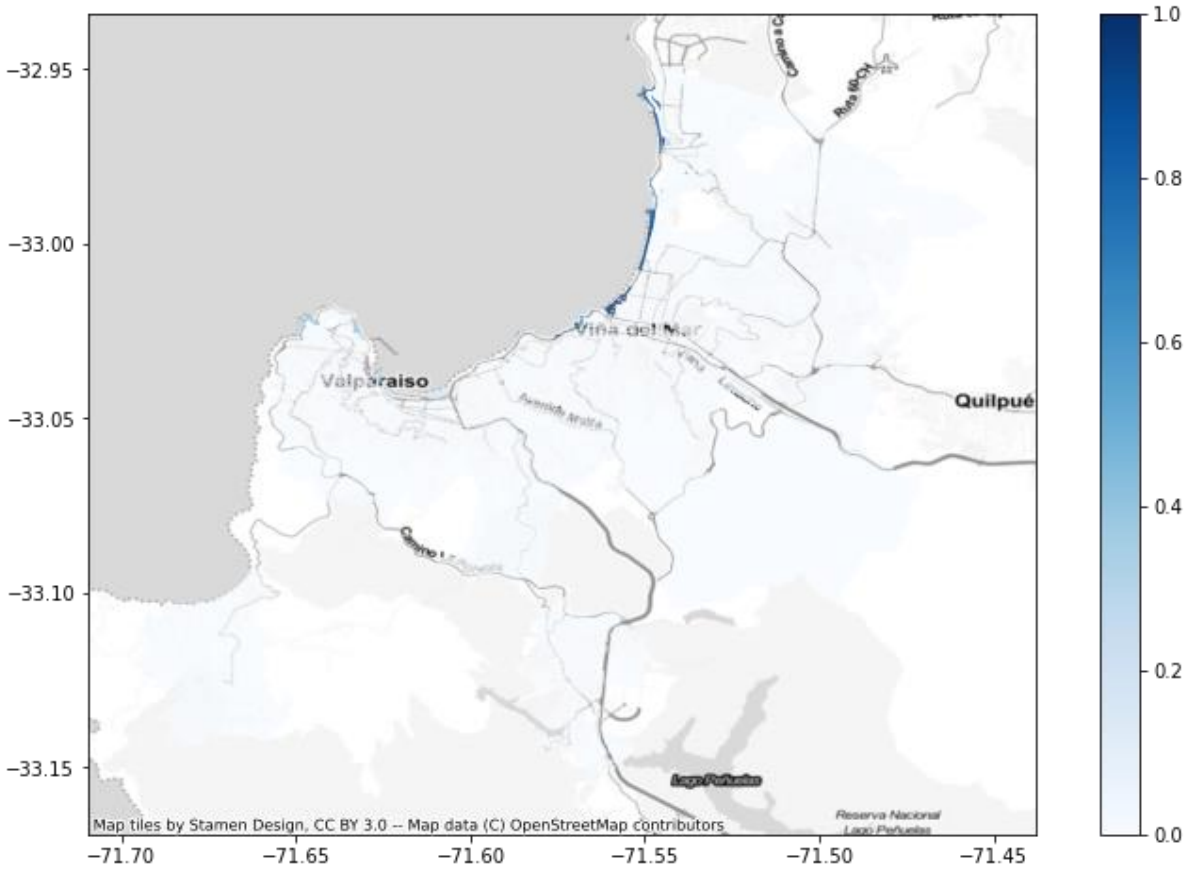



*Figura 11. Mapa de amenaza de inundaciones del borde costero por marejadas*

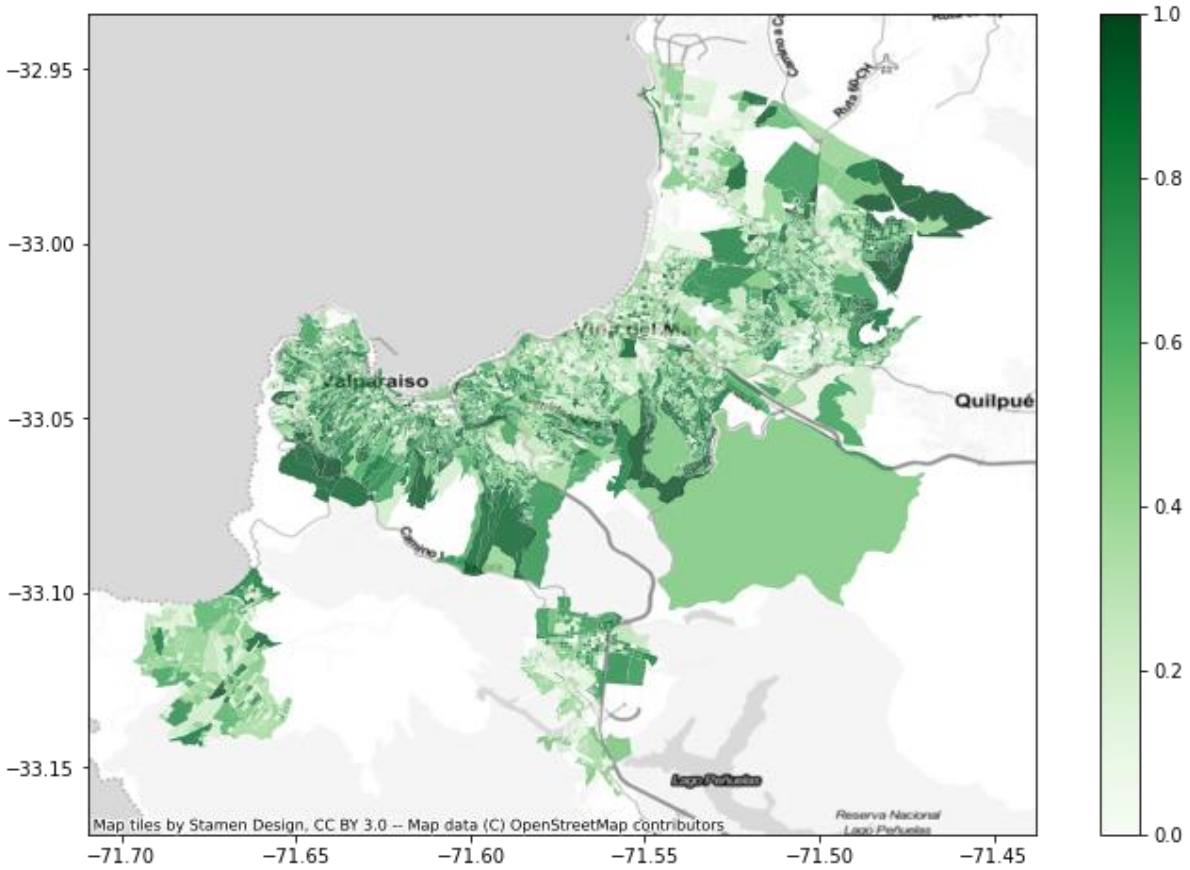



*Figura 12. Mapa de sensibilidad de inundaciones del borde costero por marejadas*

### *2.6.4 Mapa de riesgo ante inundaciones del borde costero por marejadas*

El mapa de **riesgo** (Figura 13) muestra la distribución relativa del riesgo asociado a marejadas, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente, donde lógicamente solo se presenta riesgo en las áreas donde existe la amenaza. En términos generales, el riesgo presenta una distribución similar al mapa de amenaza acorde a cómo se construyeron las reglas de agregación, pero permite considerar ciertas áreas que a pesar de estar escasamente amenazadas presentan un riesgo mayor debido a sus condiciones de vulnerabilidad y exposición. En este sentido destaca el alto riesgo que presenta la parte norte de la comuna de Valparaíso.

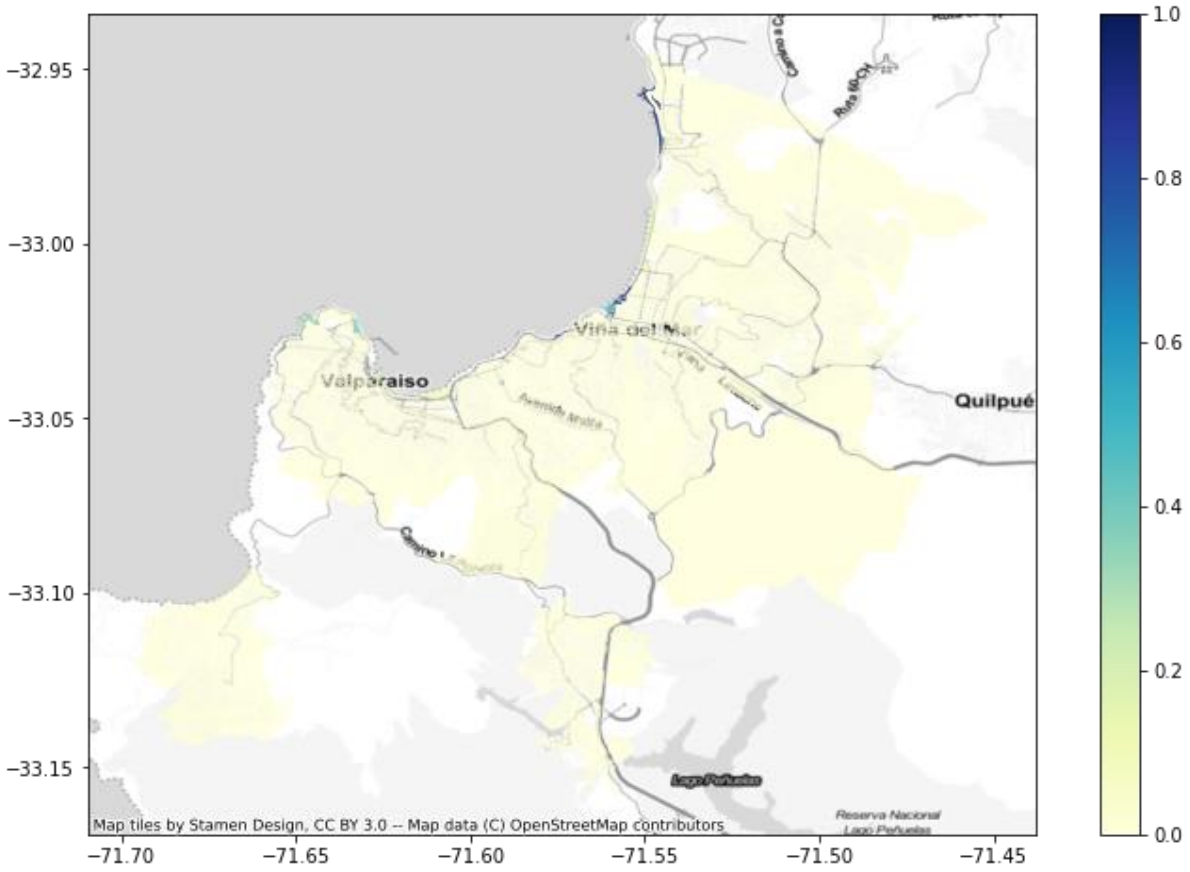



*Figura 13. Mapa de Riesgo de Inundaciones del borde costero por marejadas*

## 2.7 CADENA DE IMPACTO REMOCIÓN EN MASA Y DESLIZAMIENTOS

Se espera que por el cambio climático se de un aumento en los eventos de precipitaciones intensas y, por lo tanto, un mayor escurrimiento de aguas superficiales que puede desencadenar fenómenos de remoción en masa y deslizamientos. Este concepto engloba flujos de distintos tipos de materiales, deslizamientos, desprendimientos y aludes entre otros. En línea con lo expuesto en la subsección de inundaciones, se consideran las consecuencias sobre las condiciones de vida y la probabilidad de sufrir "accidentes" en la población debido a estos eventos.

En la figura 14 se muestra la cadena de impacto la cual, acorde a la similitud, considera los mismos componentes de sensibilidad que en el riesgo por marejadas (página 24), dadas las condiciones de sensibilidad poblacional e infraestructura susceptibles a ser afectadas son similares. En el caso de esta amenaza existen una serie de condiciones territoriales como la pendiente y la cobertura del suelo que son relevantes en la generación y propagación de un evento. Estas son consideradas en la construcción de la amenaza, por lo cual el índice de vulnerabilidad es igual en esta cadena, la de marejadas y de incendio, donde las condiciones territoriales no se consideran en la dimensión de vulnerabilidad. A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto.

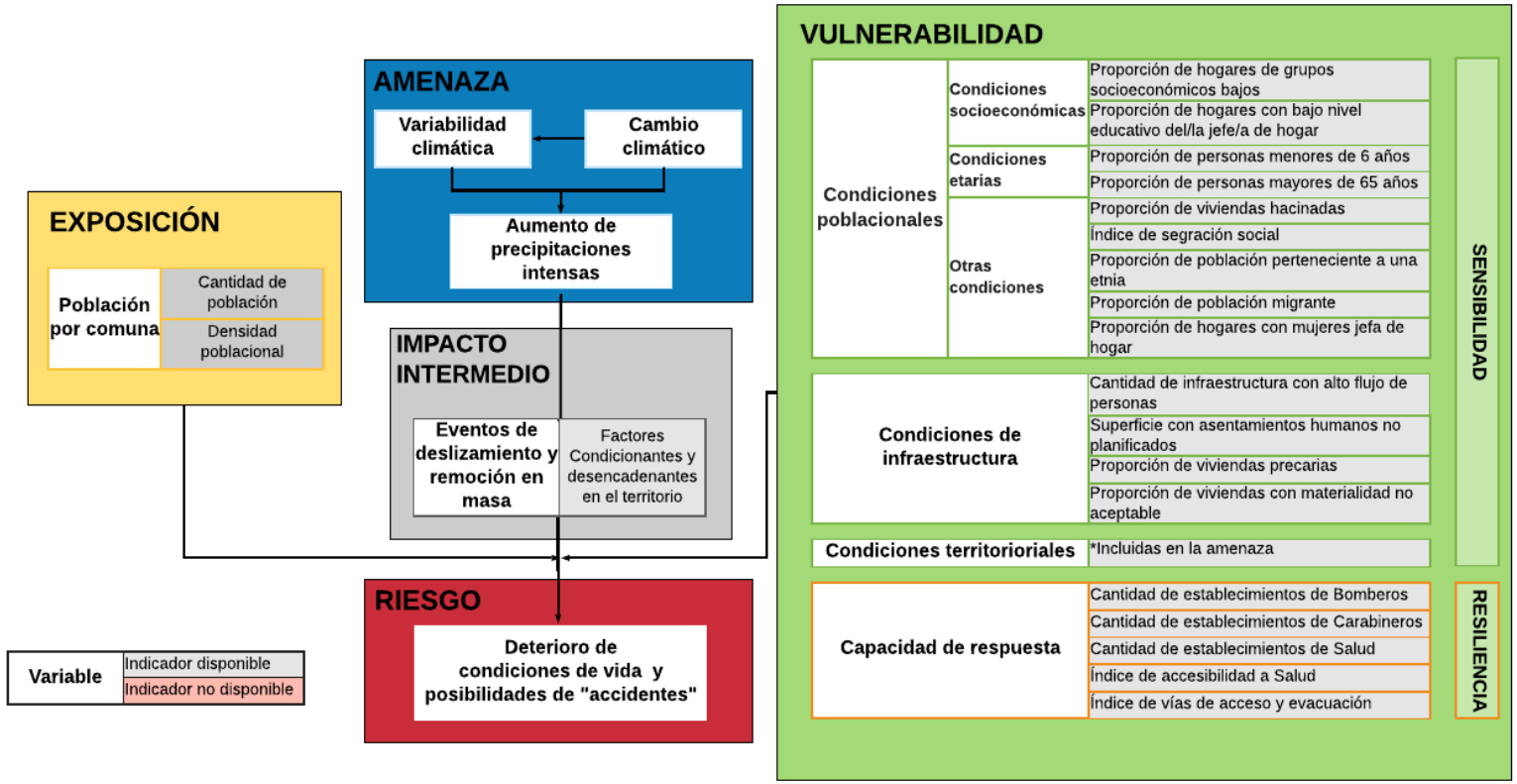



*Figura 14. Cadena de impacto para amenaza de remoción en masa*

### *2.7.1 Amenaza*

Para la amenaza se examinó la superficie de la manzana censal que se considera bajo distintos niveles de amenaza dentro de un rango. La superficie se obtiene del trabajo desarrollado en el proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso", donde se consideran la amenaza como la suma de factores condicionantes y desencadenantes de un evento de remoción en masa. Mientras los factores desencadenantes tienen relación con los eventos de precipitación extremos sobre 50 mm diarios en el territorio, los factores condicionantes corresponden a una serie de características del territorio que se listan en la tabla 10.

| Factor | Descripción |
|---|---|
| Pendiente | Las pendientes más escarpadas presentan mayor inestabilidad en el material detrítico debido al efecto de la gravedad. |
| Exposición de laderas | Respecto a la exposición que adoptan las laderas, estas tendrán mayor o menor exposición al sol contribuyendo a los grados de humedad de la misma, es por esto que laderas de exposición norte son más susceptibles a ser saturadas ante las precipitaciones que permiten remociones en masa. Además de esto, poseen más probabilidades de acumular material detrítico ante las alteraciones térmicas a las que se ve expuesta, lo cual facilita las fracturas de rocas. |
| Curvatura de pendiente | La curvatura de la pendiente permite analizar su morfología y flujo siendo posible identificar las cóncavas, convexas y planas. Las curvaturas convexas presentan una meteorización activa, debido a la mayor energía de la componente vertical. |
| Cobertura de Uso de suelo | Los usos de suelo se relacionan con la estabilización de estos ante procesos erosivos; la falta de cobertura vegetacional posee una correlación con el incremento en la frecuencia de deslizamientos, siendo aquellos suelos desnudos los más propensos a generar procesos de remoción en masa debido la exposición superficial que poseen ante las precipitaciones. |
| Distancia a cauces y quebradas | En los sectores cercanos a los cauces y quebradas se suelen producir mayoritariamente remociones en masa ante la inestabilidad que presentan mayoritariamente las quebradas, y al ser por donde el agua transita, lo cual genera el arrastre de material aguas abajo por el sistema hidrográfico. |
| Unidades geológicas | Se evaluó la dureza relativa de los materiales, donde aquellas secuencias sedimentarias poseen menor resistencia a meteorización y fracturación, mientras que la meteorización teórica se determina a partir de la edad, donde las de mayor edad poseen más alteración. |
| Distancia a fallas | La distancia a las fallas se encuentra relacionada a la disminución en la calidad geotécnica de los macizos aledaños, debido al aumento en el grado de fracturamiento, disminución de la resistencia o presencia roca molida o rellenos arcillosos , por lo que la cercanía a estas estructuras geológicas aumenta la probabilidad de que ocurran procesos de remoción en masa. |
| Formaciones superficiales | Las formaciones superficiales se presentan a través del estado en el que se encuentran las rocas presentes en el área de estudio, debido a que este factor incide en la resistencia que tendrán las rocas ante los procesos de erosión. Para esto, se clasifican a partir del grado de consolidación que estas presentan en el territorio logrando identificar aquellas consolidadas, poco consolidadas y no consolidadas. |

*Tabla 10. Factores condicionantes para fenómenos de remoción en masa y deslizamientos*

Para mayor información de las fuentes de información que se utilizaron para estas variables y cómo se operacionalizan para construir la amenaza véase Muñoz et al. (2019)

### *2.7.2 Exposición*

En el caso de la exposición se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.1.2 de Calor extremo (página 9).

### *2.7.3 Sensibilidad*

En el caso de la sensibilidad se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.5.3 de Inundaciones del borde costero por marejadas (página 24).

### *2.7.4 Resiliencia*

El índice de resiliencia (centrado en la capacidad de respuesta) es el mismo que fue presentado en la subsección 2.3.4 de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas (página 17).

### *2.7.5 Vulnerabilidad*

La vulnerabilidad se agrega de la misma forma que se indica en la subsección 2.1.5 de Calor extremo. (página 9)

### *2.7.6 Agregación del riesgo*

Las reglas de agregación del riesgo para remociones en masa siguen el mismo esquema presentado en la subsección 2.3.6 de Inundaciones (página 19) por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas.

## 2.8 RESULTADOS MAPAS REMOCIÓN EN MASA Y DESLIZAMIENTOS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas de riesgo para las dimensiones de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo.

### *2.8.1 Mapa de amenaza ante remoción en masa y deslizamientos*

El **mapa de amenaza** (figura 15) muestra el nivel de amenaza a las que están expuestas las manzanas del área de estudio. En términos generales, el mayor riesgo se da en las manzanas de las áreas periféricas de la zona urbana, donde destaca la presencia de cerros y quebradas que cumplen con varios de los factores condicionantes descritos en la tabla 10. Valparaíso por su particular topografía, presenta escaso territorio con una amenaza de remoción en masa baja, a diferencia de Viña del mar, donde la amenaza se concentra en algunas partes y presenta largas extensiones de territorio poco amenazado.

### *2.8.2 Mapa de exposición ante remoción en masa y deslizamientos*

La **exposición** se distribuye de igual forma como se indica en el mapa de la figura 3 de la subsección 2.2.2 de Calor extremo (página 11).

### *2.8.3 Mapa de sensibilidad ante remoción en masa y deslizamientos*

La **sensibilidad** se distribuye como se indica en el mapa de la figura 12 de la subsección 2.6.3 de Inundaciones del borde costero por marejadas (página 26).

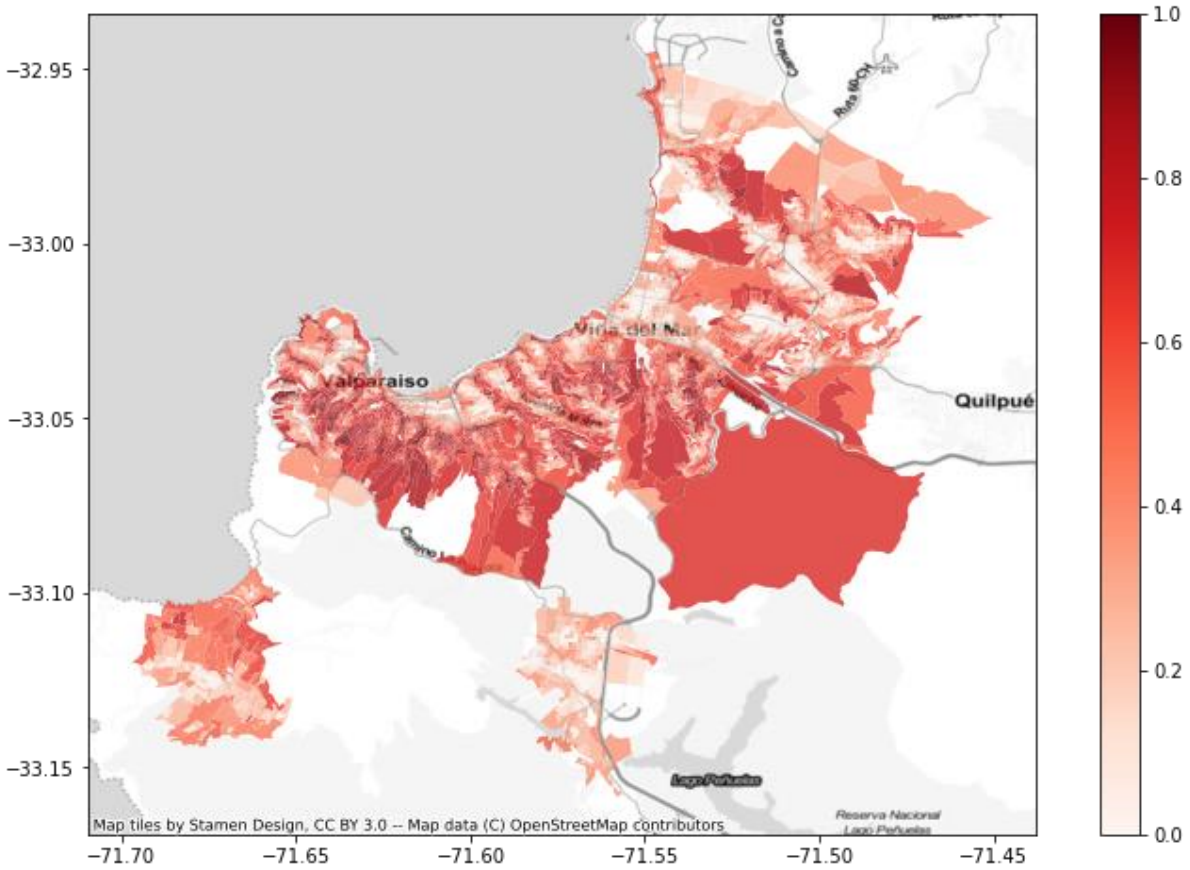



*Figura 15. Mapa de amenaza de remoción en masa y deslizamientos*

### *2.8.4 Mapa de riesgo ante remoción en masa y deslizamientos*

El mapa de **riesgo** (Figura 16) muestra la distribución relativa del riesgo asociado a remoción en masa y deslizamientos, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente, donde lógicamente solo se presenta riesgo en las áreas donde existe la amenaza. En términos generales, el riesgo presenta una distribución similar al mapa de amenaza, acorde a cómo se construyeron las reglas de agregación. Sin embargo, el mapa permite considerar ciertas áreas que, pese a estar escasamente amenazadas, presentan un riesgo mayor debido a las condiciones de vulnerabilidad y exposición. En este sentido destaca el alto riesgo que presenta toda la periferia de Valparaíso. También destaca la parte de quebradas al sur de Playa Ancha, en donde a pesar de poseer el índice de amenaza más alto, el riesgo no lo es tanto, debido a la baja exposición que presenta dicho sector.

El caso de Valparaíso y la amenaza de remoción en masa y deslizamientos es emblemático *"dada la topografía donde se emplaza la ciudad, la irregular ocupación de sus cerros, la ausencia o deficiencias de los sistemas de evacuación de lluvias, la intervención de quebradas, la presencia de microbasurales, entre otros factores"* (Muñoz et al. 2019).

Finalmente, no se debe obviar la presencia de algunos sectores de alto riesgo en Viña del Mar, donde la alta vulnerabilidad de dichos se hace presente en el Mapa de riesgo.

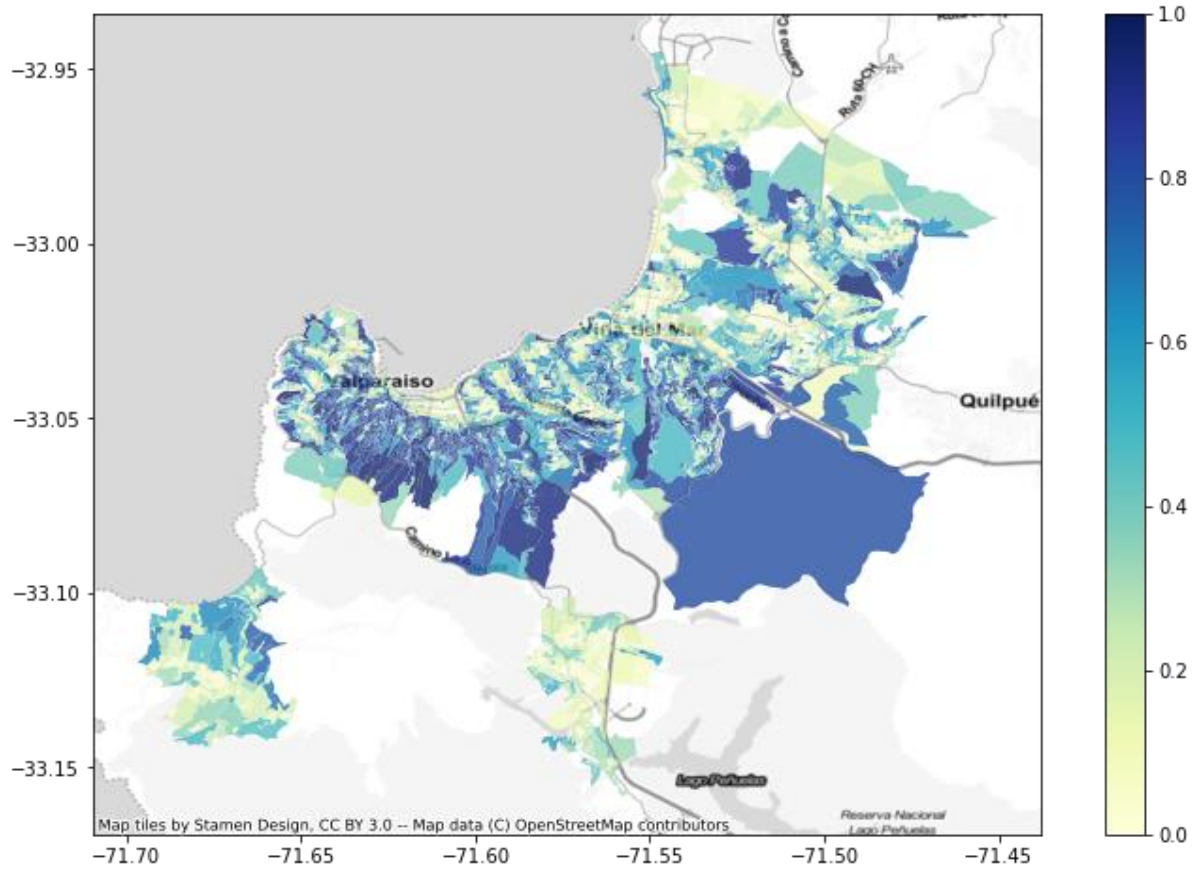



*Figura 16. Mapa de riesgo de remoción en masa y deslizamientos*

## 2.8.4 CADENA DE IMPACTO INCENDIOS FORESTALES

Pese a que prácticamente la totalidad de los incendios forestales son provocados por acciones antrópicas (sean intencionales, accidentales o negligentes), dentro de los factores de ignición es relevante la temperatura. Se espera que por el cambio climático se de un aumento en los días con temperaturas elevadas que conlleven un mayor potencial de ignición de incendios forestales. En línea con lo expuesto en el resto de las amenazas relacionadas con riesgo de desastres, se evalúa el riesgo sobre las condiciones de vida y probabilidad de sufrir "accidentes" de la población debido a incendios. El riesgo ante incendios adquiere especial relevancia en el área de estudio, la cual, históricamente se encuentra entre las áreas más afectadas por esta amenaza en el país con eventos catastróficos como el reciente mega incendio del año 2014, donde 2.910 viviendas de siete cerros de la ciudad fueron destruidas y 15 personas fallecieron (Muñoz, 2019).

En la figura 17 se muestra la cadena de impacto de Incendios forestales, que considera los mismos componentes de sensibilidad que la cadena de impactos de Inundaciones del borde costero por marejadas (página 24), dado que las condiciones de sensibilidad poblacional e infraestructura susceptibles de ser afectadas son similares. Tanto en esta amenaza, como en remoción en masa y deslizamientos, las condiciones territoriales relevantes para la generación y propagación de incendios son consideradas en el índice de amenaza.

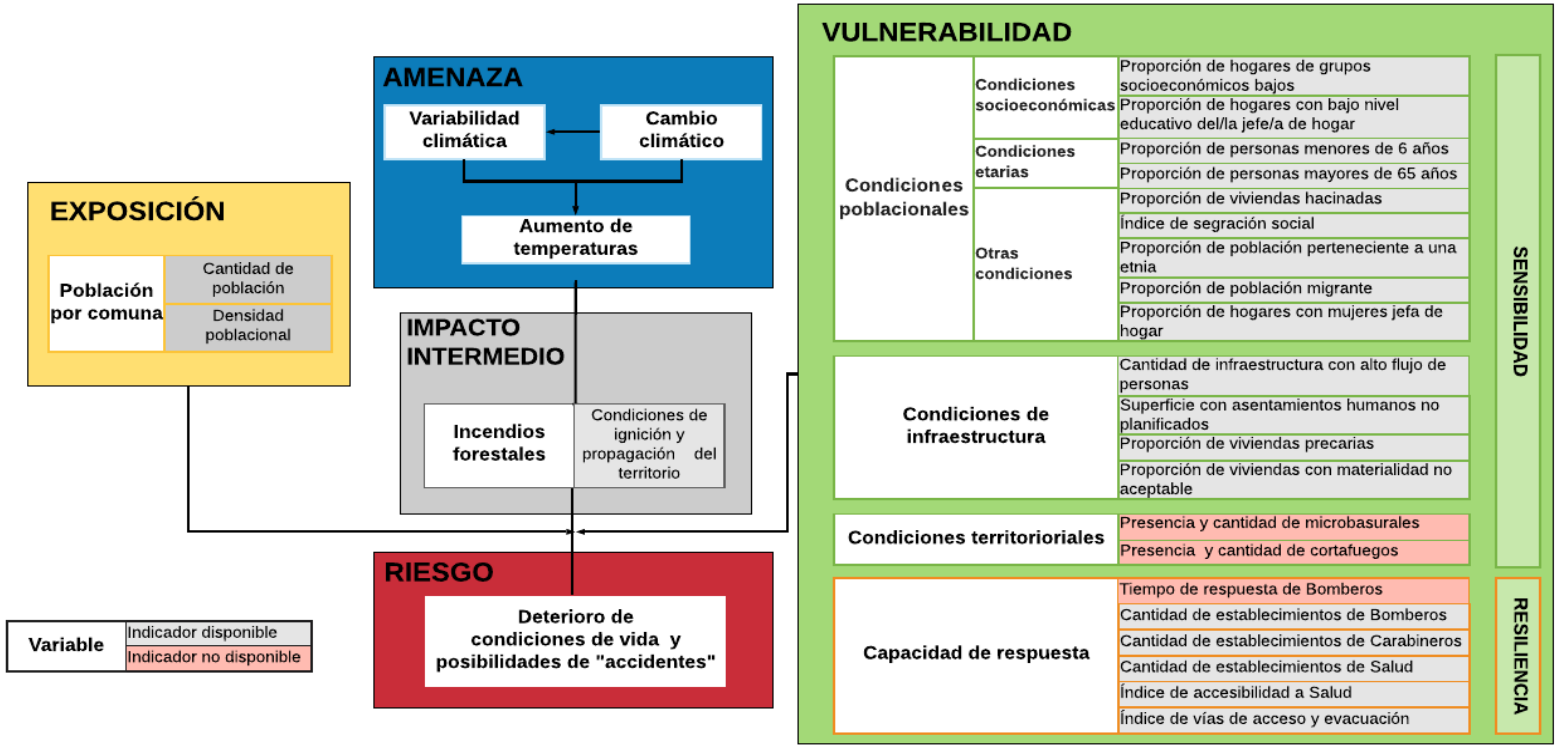



*Figura 17. Cadena de impacto para amenaza de Incendios forestales*

Existen algunas variables territoriales identificadas como relevantes en la literatura y en el diseño de planes de emergencia (SECPLA, 2018) que no se consideraron en la construcción de la amenaza, por lo cual se incluyen dentro de la vulnerabilidad del territorio en la cadena de impacto. Destacan la presencia de material combustible como microbasurales, presencia de cortafuegos y otros elementos que pueden influir en la propagación, la presencia y cobertura de grifos contra incendios y el tiempo de respuesta de los equipos de emergencia y rescate en llegar a los distintos sectores del territorio en cuestión. Lamentablemente estas variables no fueron operacionalizadas en esta etapa ya que no se disponía del mismo tipo de información para ambas comunas. Pese a esto, sería importante considerar estos factores para futuros análisis de riesgo ante incendios. A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto

### *2.9.1 Amenaza*

Para la amenaza se consideró la superficie de la manzana censal que se estima bajo distintos niveles de amenaza dentro de un rango. La superficie se obtiene del trabajo desarrollado en el proyecto "Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso" (Muñoz et al., 2019), donde se consideran la amenaza como la suma de factores relacionados a la ignición y a la propagación de un incendio. En las tablas 11 y 12 se listan las variables que afectan a estas dimensiones de la amenaza.

| Factor | Descripción |
|---|---|
| Temperatura máxima | El riesgo de quema de vegetación se ve influenciado por el aumento de las temperaturas, principalmente por su incidencia en el estado de la vegetación. Es por esto, que se considera que aquellos sectores en donde se lleguen o superen los 30°C se ven influenciados en las condiciones de la vegetación, ya que se incrementa la desecación de estas propiciando una combustión más rápida. Por lo tanto, una mayor transmisión de calor puede exacerbar el inicio y propagación de un incendio forestal. |
| Distancia a Sendero o Huella | La mayoría de incendios forestales se producen cercanos a caminos principales, secundarios o senderos, por lo que es necesario contemplar esta variable debido al continuo tránsito de la población a través de estos. |
| Exposición de ladera | La exposición se considera bajo la premisa de que aquellas laderas de exposición norte presentan mayor insolación, por lo tanto, son más propensas a favorecer la ignición del fuego debido a las condiciones en términos de humedad. |
| Cobertura de Uso de suelo | Los incendios forestales se inician mayoritariamente en áreas con presencia de vegetación de tipo pastizal y matorral debido a que generalmente estos tipos de vegetación se ven mayormente afectados ante los efectos del calor externo, contribuyendo a la pérdida de humedad por los procesos de desecamiento del tejido vegetal. |
| Tipología de interfaz urbano forestal | la interfaz se refiere al espacio de transición entre la ciudad y espacios forestales donde conviven edificaciones con viviendas, construcciones y asentamientos humanos, áreas rurales, plantaciones forestales bosques etc. Mientras mayor sea la densidad de edificaciones y la presencia de vegetación dispersa (en contraste a vegetación densa y continua), se considera una probabilidad más alta de ignición. |

*Tabla 11. Factores de ignición para fenómenos de incendios*

| Factor | Descripción |
|---|---|
| Pendiente | La pendiente es uno de los factores de mayor importancia en el comportamiento del fuego, esto debido a la influencia que ejerce en el desarrollo de la columna de convección, por lo que entre más inclinadas se presenten las laderas, mayores serán las velocidades de propagación de los incendios que ascienden por ellas. |
| Cobertura de Uso de suelo | La cobertura de usos de suelo se utiliza para establecer una asociación entre las concentraciones de combustible disponible en el área de estudio, en donde los bosques presentan mayores alcances de las llamas y velocidades de propagación debido a la alta densidad que representan. |
| Velocidad de Propagación (m/s) del Fuego según Vegetación | Con respecto a la vegetación, esta se encuentra asociada a la presencia de combustible que contribuye a la propagación del fuego, y que presenta diferentes comportamientos a partir del tipo de vegetación y su estructura. A partir de lo anterior, se considera la velocidad de propagación en función del tipo de vegetación. |

*Tabla 12. Factores de propagación para fenómenos de incendios*

Para mayor información de las fuentes de información que se utilizaron para estas variables y cómo se operacionalizan para construir la amenaza véase Muñoz et al. (2019).

### *2.9.2 Exposición*

En el caso de la exposición se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.1.2 de Calor extremo (página 6).

### *2.9.3 Sensibilidad*

En el caso de la sensibilidad se utilizó el mismo índice descrito en la subsección 2.5.3 de Inundaciones del borde costero por marejada (página 24).

### *2.9.4 Resiliencia*

El índice de resiliencia (centrado en la capacidad de respuesta) es el mismo que fue presentado en la subsección 2.3.4 de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas (página 17).

### *2.9.5 Vulnerabilidad*

La vulnerabilidad se agrega de la misma forma que se indica en la subsección 2.1.5 de Calor extremo (página 9).

### *2.9.6 Agregación del riesgo*

La agregación del riesgo sigue el mismo esquema presentado en la subsección 2.3.6 de Inundaciones (página 19) por desbordes de colectores de aguas lluvias, ríos, esteros y quebradas.

## 2.10 RESULTADOS MAPAS INCENDIOS FORESTALES

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas de riesgo para las dimensiones de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo.

### *2.10.1 Mapa de amenaza ante incendios*

El **mapa de amenaza** (figura 18) muestra el nivel de amenaza a las que están expuestas las manzanas del área de estudio. En términos generales, el mayor riesgo se da en las manzanas de las áreas periféricas de la zona urbana, donde destaca la presencia de interfaz urbano-forestal, además de cerros y quebradas que cumplen con varios de los factores de ignición y propagación como la cobertura del suelo, pendiente y exposición de ladera descritos previamente en la tablas 11 y 12. Valparaíso, por su particular topografía, presenta escaso territorio con una amenaza de incendio baja tanto en la zona del Anfiteatro como en Laguna Verde, donde abundan las plantaciones forestales. En el caso de Viña del Mar existen más lugares con baja amenaza debido a los altos índices de urbanización regular. Sin embargo, las amplias zonas de interfaz urbano-forestal que presenta esta comuna se traducen en que gran parte del territorio se encuentra altamente amenazado.

### *2.10.2 Mapa de exposición ante incendios*

La **exposición** se distribuye de igual forma como se indica en el mapa de la figura 3 de la subsección 2.2.2 de Calor extremo (página 11).

### *2.10.3 Mapa de sensibilidad ante incendios*

La **sensibilidad** se distribuye como se indica en el mapa de la figura 12 de la subsección 2.6.3 de Inundaciones del borde costero por marejadas (página 26).

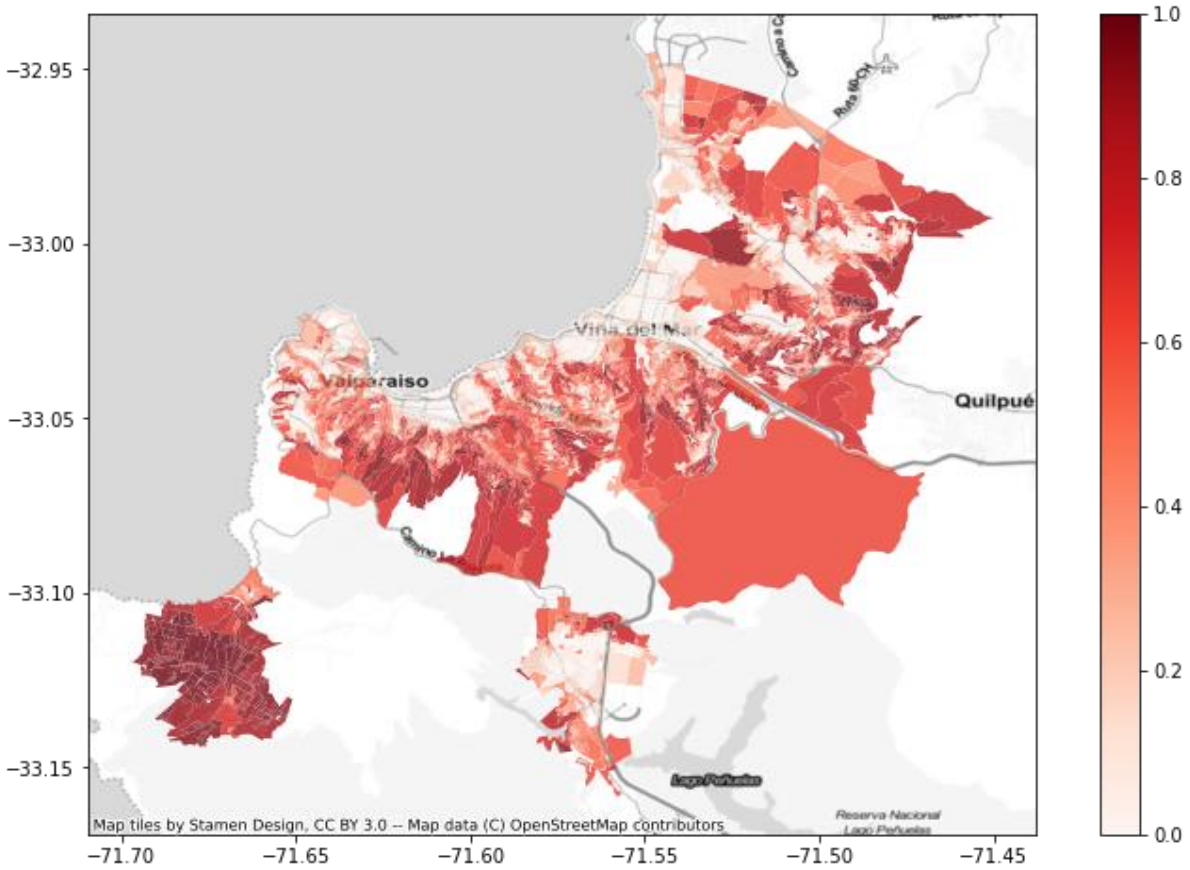



*Figura 18. Mapa de amenaza de incendios forestales*

### *2.10.4 Mapa de riesgo ante incendios*

El mapa de **riesgo** (Figura 19) muestra la distribución relativa del riesgo asociado a incendios forestales, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente, donde lógicamente solo se presenta riesgo en las áreas donde existe la amenaza. En términos generales, el riesgo presenta una distribución similar al mapa de amenaza acorde a cómo se construyeron las reglas de agregación, pero permite considerar ciertas áreas que a pesar de estar escasamente amenazadas presentan un riesgo mayor debido a sus condiciones de vulnerabilidad y exposición. Destaca especialmente el cruce de áreas amenazadas con sectores vulnerables donde existen asentamientos irregulares y condiciones de sensibilidad poblacional, además de una baja capacidad de respuesta, acentuando la condición de riesgo de dichas zonas periféricas.

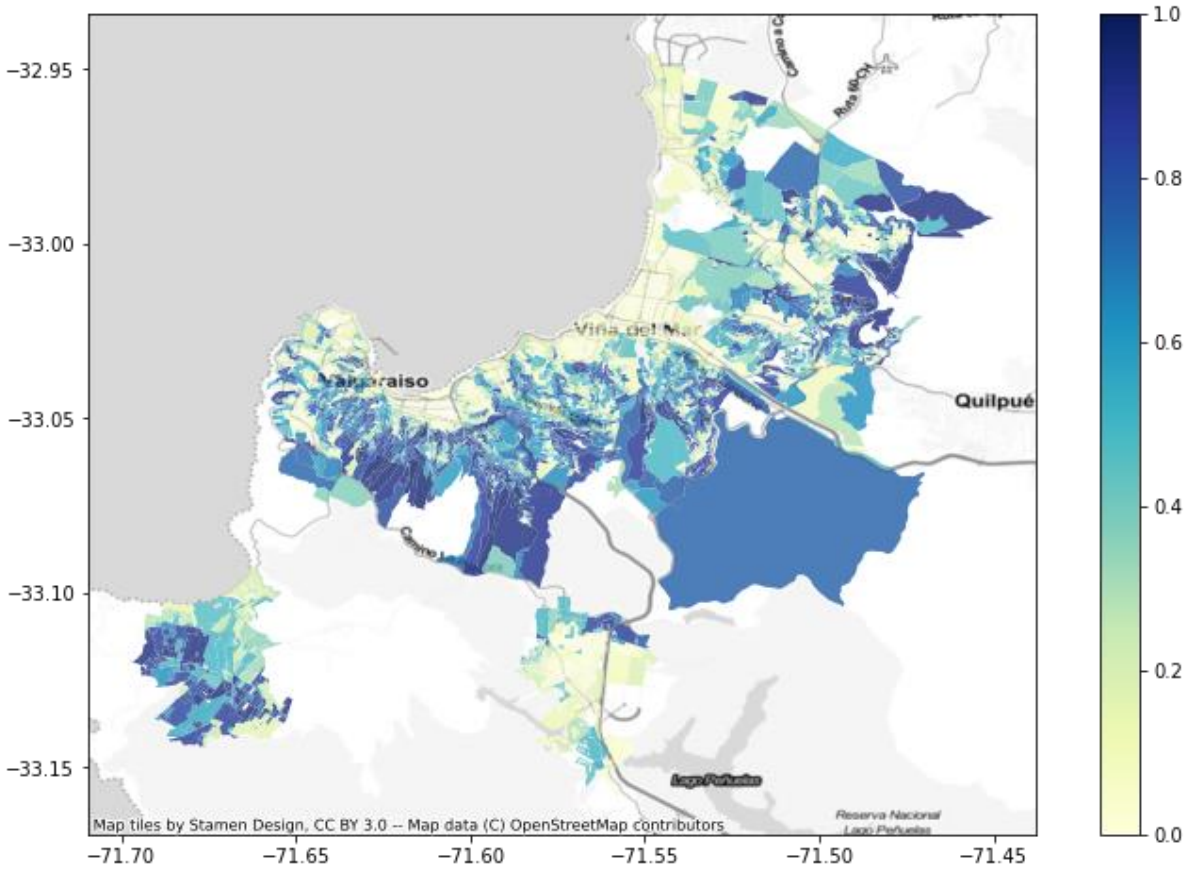



*Figura 19. Mapa de riesgo ante incendios forestales*

# SECCIÓN II: RIESGO INTEGRADO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

Como se mencionó en la presentación, paralelo al trabajo de construcción de cadenas de impacto y mapas de riesgo para cinco amenazas, se realizó un esfuerzo exploratorio de análisis integrado de riesgos a nivel de asentamientos humanos, con el objetivo de avanzar en fortalecer la resiliencia urbana ante los efectos de distintas amenazas climáticas.

En este contexto, se abordó de forma preliminar parte de las interacciones posibles entre distintas amenazas y sus impactos a nivel de asentamiento humano para el caso de la Conurbación de Valparaíso y Viña del Mar, además de considerar de forma cualitativa -es decir, sin traducirlo en indicadores ni mapas como en el caso de la Sección I- los impactos asociados a infraestructura crítica de servicios urbanos, los que potencialmente podrían constituir nuevas amenazas tanto para la salud como para las condiciones de vida de la población. Este tipo de análisis permite una primera aproximación a las trayectorias e interdependencias de los distintos sistemas que componen una ciudad en sus múltiples escalas e interconexiones (Gunderson et al., 2017; Liu, 2017) considerando también la posible simultaneidad de las amenazas y los efectos cascada.

Los resultados evidencian el interés atribuido a este tipo de ejercicios por parte de tomadores de decisiones, quienes destacan la importancia de construir instancias similares de carácter permanente en el tiempo que permitan articular la producción de conocimiento científico con la toma de decisiones en materia de riesgo para ambas comunas. Por otra parte, se valora el esfuerzo de avanzar en aproximaciones complejas para comprender el riesgo integrado en asentamientos humanos.

## 1. RESILIENCIA URBANA: LA CIUDAD COMO SISTEMA DE SISTEMAS

Una ciudad, como la conurbación estudiada, puede ser entendida como un **"sistema-de-sistemas"** (Ernstson et al. 2010) con características emergentes y dinámicas. Eso significa que puede ser caracterizada a partir de sus distintos componentes – los que a su vez constituyen sub-sistemas con altos niveles de complejidad que tienen sus propios componentes y procesos. Estos sub-sistemas de las ciudades son *parcialmente* independientes entre sí, como lo son el sistema de agua, de energía, de salud, entre otros. Dada esta *parcial* independencia, tanto el desempeño 'normal' como 'anormal' de un sistema puede convertirse en una causa de estrés para otro (Cavalcante et al. 2016). Mientras cada sub-sistema opera de forma semi-independiente, frecuentemente comparten algunos de sus componentes y/o servicios con otros sub-sistemas, por lo que pueden generarse disturbios recíprocos. Esto puede constituir una amenaza para cada sistema respectivamente, pero también una oportunidad de aprendizaje y co-evolución (Allen, Angeler, Garmestani, Gunderson & Holling, 2014).

La literatura internacional expresa la **necesidad de un enfoque integral del análisis de riesgos** (Li, X. et al., 2016; Mahmood, M. et al., 2017), donde la planificación urbana reconozca las consecuencias de urbanizar en zonas de alto riesgo. Al respecto, una investigación llevada a cabo en China ha observado que la urbanización no controlada causa un alto grado de sinergia entre diversos impactos. La urbanización y expansión urbana provocan cambios no deseados en el estilo de vida de las personas, lo cual puede generar problemas de salud directos o bien provocados por otras amenazas vinculadas a procesos de urbanización. La urbanización no controlada suele asociarse a problemas como: contaminación, aislamiento social, hacinamiento, cambios en pautas de alimentación y poca capacidad de respuesta de los servicios de abastecimiento de agua potable, saneamiento y eliminación de desechos, factores que obviamente aumentan los riesgos sanitarios de la población. Junto a ello, debe considerarse que la amenaza de la expansión urbana se vincula directamente con

el uso del suelo. Se ven reducidas las tierras cultivables, y en consecuencia, la seguridad alimentaria y la salud humana se ven afectadas (Li, X. et al., 2016). Estas investigaciones expresan la necesidad de un enfoque integral de riesgos en función de los impactos provocados por una urbanización no controlada. Al respecto, un aspecto específico dice relación con la edificación sobre cursos naturales de agua, situación especialmente relevante frente a la amenaza de inundaciones para el caso de Viña del Mar. Junto con ello, se destaca la importancia de considerar la percepción de la población ante estos riesgos, lo que afectará las posibilidades de resiliencia urbana ante este tipo de amenaza. por otro lado, aprendizajes derivados de experiencias de inundaciones (Mahmood M. et al.,, 2017) dan cuenta de cómo la infraestructura impactada puede a su vez constituir nuevas amenazas dentro de la ciudad, por ejemplo, al debilitar la eficacia de los sistemas de alcantarillado por problemas en la gestión de desechos urbanos o la construcción de estructuras de drenaje informales por parte de los habitantes que agravan los impactos de estos eventos; la construcción de sectores residenciales en áreas bajas en donde el agua superficial se acumula rápidamente, entre otras.

En el contexto nacional, particularmente en la región de Valparaíso, se advierte una acción fundamentalmente reactiva en relación a los riesgos, es decir, la reflexión sobre cómo actuar se realiza una vez que los impactos ya han acontecido, especialmente atendiendo a experiencias previas de terremotos e incendios (Indirli et al., 2008; González, Monsalves, Moris & Herrera, 2018). Además, estas observaciones preventivas generalmente carecen de una observación sistemática de posibles interacciones entre riesgos y/o de nuevas amenazas que puedan derivar de los propios impactos.

La literatura también identifica la necesidad de avanzar hacia modelos que enfrenten el riesgo de forma anticipatoria y no solo a partir de un tratamiento reactivo en la búsqueda de restablecer las condiciones existentes previas al desastre. Persistir en el actuar reactivo profundiza el problema ya que se normalizan y se reafirman las condiciones precarias e improvisadas de respuesta ante estos eventos. Enfrentar el riesgo de forma anticipatoria para fortalecer la resiliencia urbana, implica generar importantes transformaciones estructurales en las condiciones de vulnerabilidad de la población, buscando reducir los factores de sensibilidad y fortalecer la capacidad de respuesta y adaptativa. Un enfoque integrado precisamente contribuye a reconocer aquellos factores de sensibilidad y/o resiliencia que pueden permitir hacer frente a más de una amenaza de forma simultánea. Estudios advierten la importancia de considerar peligros múltiples, por ejemplo, al planificar la construcción de infraestructura costera, situación que actualmente no se realiza en nuestro país de forma adecuada (Winckler, 2020). A partir de esto, cabe considerar que una costa sísmica, sometida además a los impactos del cambio climático como la chilena, debiera avanzar en la comprensión de la interacción entre múltiples riesgos que incluya aspectos como las estimaciones locales de hundimiento/elevación debido a la compactación de sedimentos, el rebote isostático y los terremotos, la presencia de infraestructura crítica en zonas de inundación, la gestión de desechos, entre otros.

Un enfoque de análisis del riesgo integrado permite comprender la necesidad de considerar los tipos de perturbaciones posibles (y sus posibles asociaciones entre amenazas) y el efecto-cascada que estas pueden desencadenar entre los distintos componentes, dada su interdependencia, ya no solo por la perturbación inicial sino también por los impactos que esta puede causar en los componentes del sistema, los que a su vez pueden constituir nuevas amenazas para sub-sistemas interconectados.

Un ejemplo ilustrativo de estas interconexiones puede ser la utilización de cierto tipo de infraestructura verde como forma de enfrentar la amenaza de aumento de temperaturas en la ciudad, la que si no se considera en asociación con otras amenazas como la escasez hídrica, puede resultar en aumento de la sensibilidad del sistema ante esta segunda amenaza, al aumentar los requerimientos de agua para riego de esta infraestructura verde. Otras dificultades pueden asociarse a la articulación con diversos actores del territorio interesados, la superación de obstáculos burocráticos, conflictos por el uso de suelo y falta de información por ejemplo respecto del uso de distintos tipos de infraestructura verde (árboles, tejados verdes, fachadas verdes, etc), entre otros. Esto representa problemas a los/as planificadores/as urbanos, que deben decidir las medidas más eficaces,

considerando limitaciones técnicas y administrativas (Zölch, Maderspacher, Wamsler, Pauleit, 2016).

Una inadecuada planificación de la resiliencia de una ciudad o de uno de sus sub-sistemas – entendida como la capacidad de respuesta y de adaptación– puede afectar el rendimiento de ciertos servicios. En este sentido y continuando con el ejemplo de la infraestructura verde, se asume que esta puede favorecer la regulación de la calidad del aire y de la temperatura a nivel local, pero hay estudios que sugieren que también puede afectar negativamente la calidad de vida y la salud de las personas cuando la planificación se basa en modelos generales que no atienden a diferencias contextuales (Zölch et al. 2016). Los efectos positivos dependerán de la ubicación estratégica de las plantaciones ya que la misma infraestructura verde puede contribuir a la acumulación de agentes contaminantes en su estructura, provocando eventualmente efectos negativos para la salud. Además, la consideración de especies siempreverde pueden tener impacto no solo en la reducción de las temperaturas en la época de calor, sino también impactos negativos en la época fría disminuyendo la temperatura interior en las viviendas, lo que puede provocar un aumento de concentración de moho y humedad interior, generando un aumento de la demanda energética para calefacción de la vivienda si esta no se encuentra debidamente acondicionada. Esto a su vez puede afectar la salud y profundizar la situación de pobreza energética de un hogar. El ejemplo es desarrollado para ilustrar la multiplicidad de variables que están en juego en las decisiones que se toman para planificar nuestras ciudades.

Con la certeza de un clima cambiante, es necesario considerar estas interconexiones y múltiples impactos posibles en las medidas que actualmente se están tomando para mitigar y/o adaptarnos al cambio climático desde una perspectiva situada, que permita considerar las condiciones de base actuales y las proyecciones asociadas a cada territorio en la toma de decisiones.

## 2. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Para construir la matriz de interacciones se trabajó con distintas fuentes de información como revisión de literatura científica y gris, entrevistas a expertos/as a nivel nacional y especialistas en la región en estudio y reuniones de validación con los equipos técnicos de los municipios y equipos de expertos/as académicos de universidades regionales.

Para la revisión de literatura científica se analizaron un total de 270 artículos científicos publicados entre los años 2016 y 2019, en revistas dedicadas de manera específica o parcial al estudio del cambio climático. Dentro de las principales temáticas analizadas se encuentran distintos riesgos asociados al cambio climático (aumento de las temperaturas, olas de calor, disminución de las precipitaciones, aumento de precipitaciones intensas, sequía, entre otros), el agotamiento y sobre-exigencia de recursos hídricos, la expansión urbana, fenómenos meteorológicos extremos y su relación con la salud humana, entre otros. La revisión de literatura especializada sobre el caso en estudio contó con la revisión y fichaje de 14 documentos de literatura gris y 22 artículos científicos, donde se identifican riesgos asociados a cambio climático, pero también relacionados a incendios, remociones en masa, terremotos, sismos y tsunamis, marejadas, problemas en la gestión de desechos, degradación costera, erosión de suelos, inundaciones y urbanización. En ambos casos se identifica la expansión urbana (planificada y no planificada) como una amenaza importante, lo que genera importantes desafíos para la planificación de las ciudades y el fortalecimiento de la resiliencia urbana.

Por otra parte, se realizaron 46 entrevistas semi-estructuradas a expertos/as, que fueron realizadas en formato virtual entre los meses de mayo y agosto de 2020. Las entrevistas fueron anónimas y confidenciales, registrando el consentimiento de forma oral, dado el contexto de restricciones de contacto por la pandemia de COVID-19. La organización, análisis y agregación de la información se ha realizado mediante software de procesamiento de datos cualitativos Atlas.ti®. La pauta de la entrevista abordó las principales amenazas identificadas, la exposición y sensibilidad de la población

y los servicios de asentamientos humanos, junto con la evaluación de la capacidad de respuesta y adaptación diagnosticada por los/as distintos/as expertos/as.

Los perfiles de los/as participantes se resumen en la Tabla 13.

| Tipo experto/a<br><br>Sector | Riesgos climáticos u otros riesgos a nivel nacional | Riesgos climáticos u otros riesgos, especializados en la región de Valparaíso | Visualización de datos complejos | Total |
|---|---|---|---|---|
| Academia | 12 | 5 | 3 | 20 |
| Sociedad civil | 5 | 4 | 0 | 9 |
| Sector público | 2 | 9 | 2 | 13 |
| Sector privado | 2 | ? | 2 | 4 |
| Total | 21 | 18 | 7 | **46** |

*Tabla 13. Muestra entrevistas semi-estructuradas a expertos/as.*

Considerando la importancia de comprender el riesgo con perspectiva territorial y el énfasis hecho en la literatura científica de considerar la percepción de la población ante estos riesgos (Harvey et al., 2017; Sharma et al., 2016), en un primer momento se contempló la aplicación de metodologías participativas para la construcción y validación de este piloto, tanto con tomadores de decisiones como con las comunidades afectadas por estos y otros riesgos. Sin embargo, dado el contexto de pandemia por COVID-19, esto fue limitado exclusivamente al trabajo directo con equipos técnicos del municipio, concentrando los esfuerzos de participación en esta instancia. Tanto para la validación de las cadenas de impacto (Sección I) como para la identificación de elementos relevantes para la matriz de interacciones se generó un proceso de diálogo en base a la metodología participativa del metálogo (Urquiza et. al, 2018) con los equipos técnicos de la Secretaría Comunal de Planificación de ambos municipios, además de equipos académicos de universidades de la región. En total se realizaron 7 instancias de reunión de una duración promedio de 90 minutos, donde se discutió en torno a distintos instrumentos de planificación territorial y sus posibilidades de regulación del riesgo ante las amenazas climáticas trabajadas como el Plan Regulador Comunal (PRC), el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), Plan Maestro para la Gestión de Riesgos de Incendios en Valparaíso (PMI), la Ley N° 13364 (conocida como "Ley Lorca"), entre otros. Además, se abordó el proceso de microzonificación de riesgo sísmico que está siendo realizado por el municipio de Viña del Mar como parte del proceso de actualización de su PRC. Por último, también se participó de una reunión del Comité Regional de Cambio Climático (CORECC) de la región de Valparaíso, donde se expusieron los resultados preliminares, instancia que también se considera parte de la validación de los resultados.

## 3. RESULTADOS

### MATRIZ DE INTERACCIONES

La matriz de interacciones (figura 21) fue revisada y construida como síntesis a partir de todas las fuentes de datos trabajadas durante este piloto y descritas en la sección previa. En primer lugar, se diseñó una versión preliminar de la matriz, que luego fue presentada y validada en el taller colaborativo **"Riesgo climático y gestión local: desafíos para la Conurbación Valparaíso -Viña del Mar"** realizado el día 10 de septiembre de 2020. Esta instancia contó con la participación de los

equipos técnicos de ambos municipios, además del equipo experto académico regional, contando con una participación total de 16 personas.

Previo a la realización del taller las/os participantes tuvieron acceso a la versión final de las cadenas de impacto presentadas en la Sección I, que fueron uno de los insumos base para la construcción de la matriz, teniendo oportunidad para comentarlas, resolver dudas y hacer sugerencias sobre información relevante de ser incorporada. La matriz se estructura a partir de las mismas categorías de las cadenas de impacto: amenaza, impactos intermedios, riesgo, exposición, sensibilidad y resiliencia. Además, se les solicitó contestar un cuestionario para enfocar el análisis ya no sólo en relación a los impactos a la población, sino también considerando los impactos de estas distintas amenazas en relación a los impactos en servicios urbanos. En el mismo cuestionario se aprovechó la oportunidad para evaluar la capacidad de respuesta y adaptación de ambos municipios, además de problematizar en torno a las posibilidades de coordinación entre ambas instituciones para gestionar el riesgo de un territorio común, las fortalezas y debilidades para responder antes estos riesgos y el rol actual y futuro, tanto de los municipios como de la academia, en relación a los procesos de adaptación al cambio climático.

Durante el taller, los/as participantes trabajaron de forma simultánea sobre la matriz, a través de la plataforma online Miro, herramienta a través de la cual podían observar con detalle las interacciones e ir comentando precisiones, sugerencias, nuevas relaciones, etc. La figura 20 presenta la leyenda base para la lectura del resultado final de este ejercicio, el cual se presenta en la Figura 21.

*Figura 20. Leyenda para interpretación matriz de interacciones análisis de riesgo integrado*

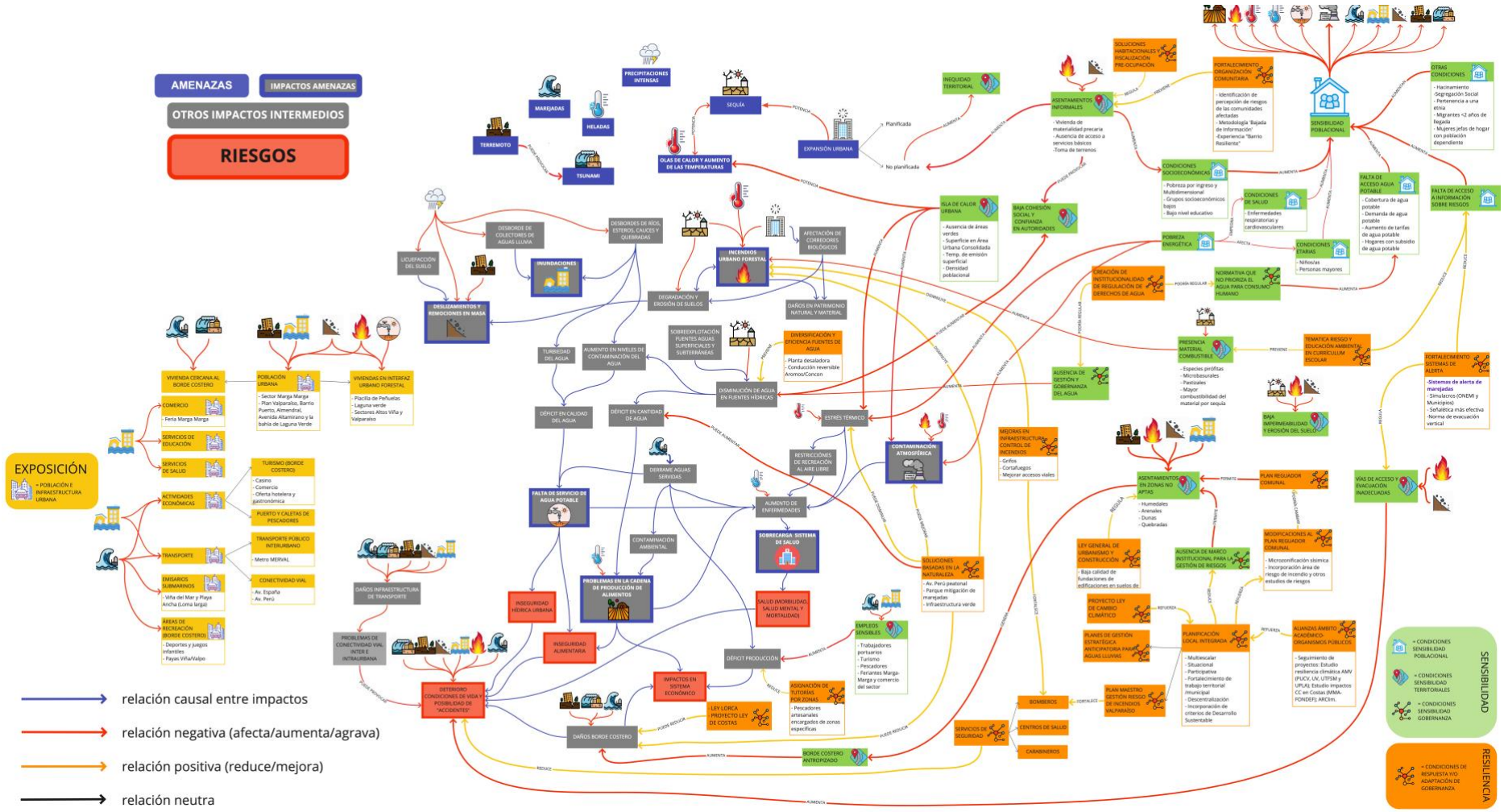



*Figura 21. Matriz de interacciones análisis de riesgo integrado*

La matriz presentada en la figura 21 expone un complejo entramado que no busca ser exhaustivo, sino representar las principales relaciones que fueron identificadas a partir de las distintas fuentes de información antes mencionadas y que se consideran relevantes para el caso en estudio.

Por una parte, destaca la importancia de comprender la concatenación existente entre las amenazas de sequía, aumento de las temperaturas y expansión urbana, que actuarían potenciando o exacerbando el riesgo de incendios forestales. Por otra parte, se identifica una relación importante entre los incendios forestales y las remociones en masa respecto de la degradación y erosión de los suelos, amenazas que además comparten factores desencadenantes similares, asociados a la pendiente, cobertura vegetal, exposición de la ladera, entre otros. Lo anterior, resalta la necesidad de pensar estrategias para la gestión y reducción del riesgo asumiendo la asociación existente entre estas distintas amenazas, pudiendo avanzar en medidas que las enfrenten de manera conjunta. Otro elemento que llama la atención es la asociación entre algunos de los impactos intermedios de estas amenazas y el aumento de enfermedades, lo que junto con los impactos asociados a salud de las distintas amenazas podría transformar la saturación del sistema de salud en una importante nueva amenaza para el funcionamiento urbano.

En este contexto, se identifica la necesidad de ahondar con mayor profundidad en soluciones basadas en la naturaleza que puedan ayudar a reducir las condiciones de sensibilidad territorial, por una parte, y potenciar la resiliencia de la ciudad ante estas amenazas. Particularmente se mencionan la creación de parques para mitigación de marejadas y la construcción de áreas verdes, que pueden tener impactos positivos en la prevención de eventos de remoción en masa, incendios e inundaciones, además de relacionarse a una disminución de la contaminación atmosférica y del estrés térmico asociado al aumento de las olas de calor. Sin embargo, también resulta importante considerar que estas áreas verdes deben evaluar el tipo de especies adecuadas, dadas las amenazas de incendios y sequía, y más específicamente los impactos asociados al déficit en la cantidad de agua disponible para la adecuada mantención de este tipo de medida, situación especialmente relevante para el caso estudiado. Se destaca que, para este tipo de desafíos, la colaboración entre la academia y los organismos públicos resulta clave.

Por otro lado, es evidente la necesidad de reducir las condiciones de sensibilidad que se observan como las más comunes frente a las amenazas descritas: la situación de pobreza por ingreso y multidimensional, el bajo nivel educativo, los asentamientos informales y la vivienda precaria, la baja cohesión social y otras condiciones de sensibilidad como hacinamiento, segregación social y jefatura de hogar femenina con población dependiente, entre otras. Estas condiciones se constituyen en determinantes factores de sensibilidad que se distribuyen de forma desigual en el territorio, lo cual demanda importantes desafíos para avanzar en la gestión del riesgo antes estas múltiples amenazas.

Entre las medidas posibles de gobernanza asociadas a estas condiciones se identifican la generación de soluciones habitacionales y mayor fiscalización para prevenir la ocupación de sectores de alto riesgo, el fortalecimiento de la organización comunitaria y la creación y fortalecimiento de los sistemas de alerta ante distintas amenazas. Además, se destacan los instrumentos de planificación territorial como importantes herramientas de gobernanza local para lograr una planificación integrada que promueva la resiliencia territorial, donde se destaca también la importancia de mejorar la coordinación con otros organismos públicos, además de generar alianzas con la Academia local. Por último, se destacan las limitaciones asociadas a la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, cuya modificación para la adecuación de los distintos factores de riesgo podría constituir una importante medida de resiliencia para potenciar el accionar de los organismos públicos en los territorios. En este contexto se destaca la función social que ha de cumplir la normativa y que, apelando a esta, podría re-evaluarse la intervención en determinadas áreas que son propiedad privada pero que presentan importantes condiciones de sensibilidad (presencia de microbasurales,

material combustible, pastizales, entre otras).

## PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS

Posterior al trabajo en la matriz de interacciones de riesgo integrado se realizó un ejercicio de priorización de amenazas, categorizándolas en una matriz respecto de su nivel de urgencia y de importancia en relación a la gestión del riesgo en el territorio Conurbación Valparaíso-Viña del Mar. Al respecto, se identificó de forma transversal a los incendios como la amenaza más importante para ambos territorios, seguida de las remociones en masa, marejadas y sequía. Entre ambas comunas no se identificaron diferencias notorias en cuanto a los impactos de estas amenazas, lo que refuerza la intención de trabajar de forma coordinada entre ambos organismos.

En el ejercicio de priorización se identifican los incendios como una amenaza tanto urgente como importante de enfrentar, asociada fuertemente a la sequía y a la falta de servicio de agua potable. Urgente, pero menos importante, se categorizan los terremotos y tsunamis. En un punto intermedio se encuentran las inundaciones y las marejadas. Por otra parte, la expansión urbana se identifica como una amenaza considerable, pero con una urgencia intermedia. En el extremo opuesto, se identifican las heladas como poco importantes y poco urgentes.

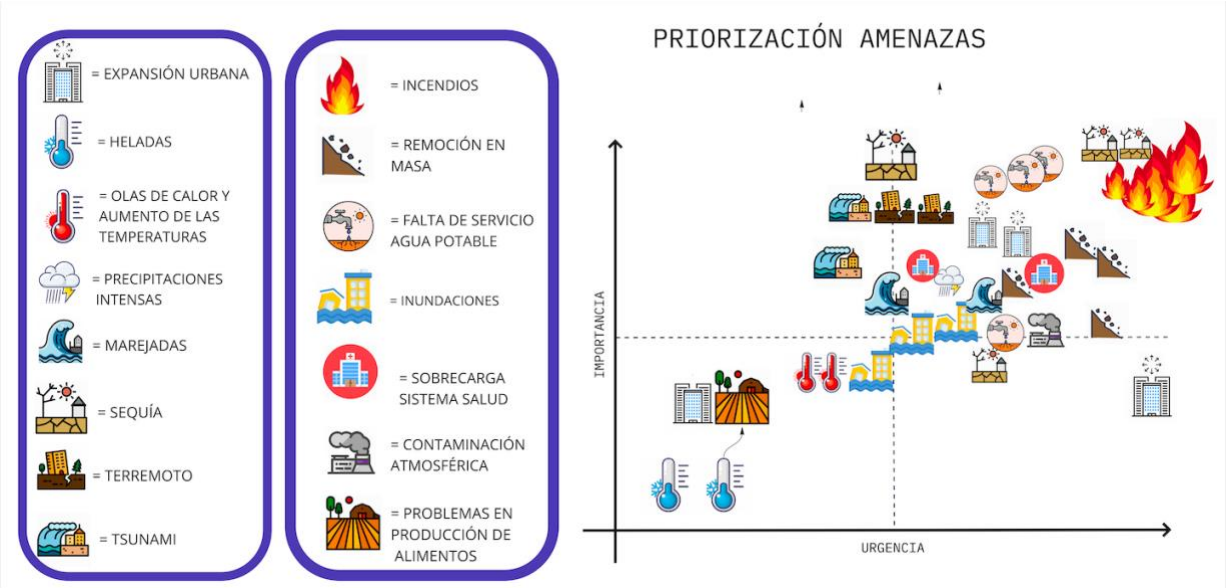



*Figura 22. Matriz de priorización de amenazas*

A continuación, se discutió respecto de acciones y/o medidas posibles para reducir la vulnerabilidad territorial, problematizando respecto a las condiciones de sensibilidad poblacional y territorial y a las capacidades de respuesta de la gobernanza local.

*Figura 23. Matriz de reducción de vulnerabilidad*

Respecto de las **condiciones de sensibilidad poblacional** se señaló:

- Mejorar el acceso a la información sobre riesgos, con formatos entendibles y accesibles de manera simplificada.
- Generar políticas o planes de habitabilidad sustentable.
- Fomentar políticas habitacionales que aseguren el acceso a la vivienda de interés social por sobre los intereses mercantiles.
- Educar en formas de prevención y de manejo de recursos como el agua
- Potenciar la cohesión social.
- Generar políticas sociales que aseguren los derechos sociales (trabajo, salud y educación).
- Habilitar espacio público de calidad, para lograr un modelo de ciudad sostenible y así mejorar la calidad de vida de las personas.

Respecto de las **condiciones de sensibilidad territorial** se señaló:

- Crear zonas de drenajes naturales urbanos, que aporten en la permeabilidad de los suelos.
- Diversificar los usos y funciones urbanas.
- Generar políticas de desarrollo urbano que consideren un desarrollo armónico, sostenible, por el bien común y que signifique mejora en infraestructura, de políticas habitacionales, equipamiento urbano, etc.

- Fortalecer el sistema de retiro de basura, aumentar zonas de reciclaje para evitar la aparición de microbasurales que aportan al material combustible en los cerros.
- Planificación de los Planes Reguladores Comunales con enfoque de riesgos.
- Considerar una actualización en la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC) y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) que pueda flexibilizar y definir de una manera más integral en los Instrumentos de Planificación Territorial locales un desarrollo urbano considerando los riesgos y amenazas.
- Fomentar la movilidad sostenible.
- Generar espacios públicos y comunes en áreas no aptas para la edificación y así evitar que se ocupen las zonas de mayor riesgo. En este caso la acción a nivel de Plan Regulador Comunal sería una zonificación tipo Área Verde.
- Generar topografía de detalle para modelos de inundación.
- Consumo eficiente del suelo.
- Valorar y considerar los riesgos por sobre el valor de suelo.
- Desarrollar políticas de manejo forestal de zonas abandonadas y quebradas.
- Uso de soluciones de base natural para reducir riesgos y mejorar la calidad de vida.

Respecto de las **condiciones de respuesta y adaptación** por parte de la gobernanza local se mencionan:

- Gestión de voluntarios espontáneos post-desastre.
- Fortalecer la organización comunitaria e incorporar mecanismos de participación para el diseño de políticas locales de gestión de riesgo.
- Actuar en diferentes escalas desde los Instrumentos de Planificación Territorial.
- Estudiar y valorar los servicios ambientales.
- Mantener de manera permanente alianzas público-académica, a través de la creación de un Observatorio y/o Agencia que observe los riesgos.
- Revisar ordenanzas que puedan reducir el riesgo.
- Desarrollar mecanismos normativos vía ordenanzas municipales que permitan fiscalizar ciertos territorios abandonados que puedan significar un peligro para la comunidad.
- Generar manuales de buenas prácticas de construcción en zonas de riesgo por incendio forestal y riesgo sísmico. Esto serviría como insumo para la aplicación del artículo 2.1.17 de la OGUC.
- Un mayor diálogo entre las políticas locales y nacionales, es decir, que las normas nacionales dialoguen mejor con los contextos locales.

Por último, se les pidió a los/as participantes priorizar las medidas antes identificadas en una matriz que intersecta el nivel de esfuerzo (bajo esfuerzo/alto esfuerzo) con los recursos (no

disponibles/disponibles).

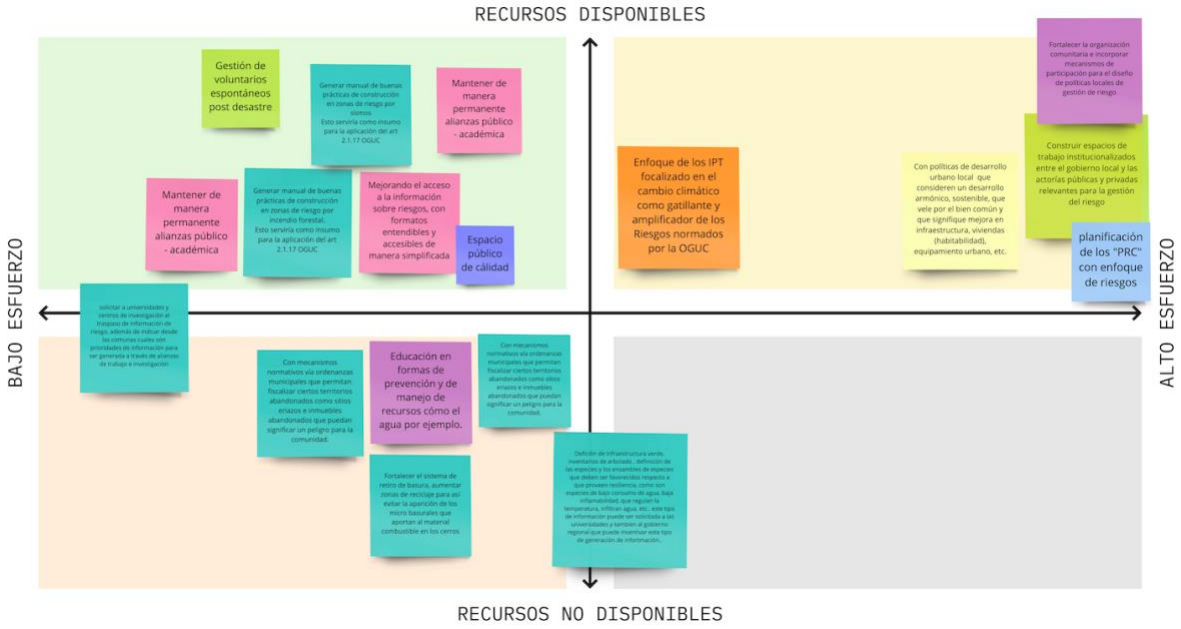



*Figura 24. Matriz de priorización medidas de resiliencia*

Aquellas medidas que demandan un bajo esfuerzo y para las que se cuenta con recursos disponibles son:

- Gestión de voluntarios espontáneos post-desastre.
- Mantener de manera permanente alianzas público-académica.
- Generar manuales de buenas prácticas de construcción en zonas de riesgo por incendio forestal y riesgo sísmico. Esto serviría como insumo para la aplicación del artículo 2.1.17 de la OGUC.
- Mejorar el acceso a la información sobre riesgos, con formatos entendibles y accesibles de manera simplificada.
- Espacio público de calidad.
- Solicitar a universidades y centros de investigación el traspaso de información de riesgo, además de indicar desde las comunas cuales son prioridades de información para ser generada a través de alianzas de trabajo e investigación.

Las medidas que demandan un alto esfuerzo, pero para las que se cuentan recursos disponibles son:

- Enfoque de los Instrumentos de Planificación Territorial focalizado en cambio climático como gatillante y amplificador de los riesgos normados por la OGUC.
- Fortalecer la organización comunitaria e incorporar mecanismos de participación para el diseño de políticas locales de gestión de riesgo.

- Planificación de los Planes Reguladores Comunales con enfoque de riesgos
- Construir espacios de trabajo institucionalizados entre el gobierno local y las actorías públicas y privadas relevantes para la gestión del riesgo.
- Con políticas de desarrollo urbano local que consideren un desarrollo armónico, sostenible, que vele por el bien común y que signifique mejoras en infraestructura, viviendas (habitabilidad), equipamiento urbano, etc.

Aquellas medidas para las cuales no se cuentan recursos disponibles son:

- Con mecanismos normativos vía ordenanzas municipales que permitan fiscalizar ciertos territorios abandonados como sitios eriazos e inmuebles abandonados que puedan significar un peligro para la comunidad.
- Educación en formas de prevención y de manejo de recursos como el agua, por ejemplo.
- Fortalecer el sistema de retiro de basura, aumentar zonas de reciclaje para así evitar la aparición de los micro basurales que aportan al material combustible en los cerros
- Con mecanismos normativos vía ordenanzas municipales que permitan fiscalizar ciertos territorios abandonados como sitios eriazos e inmuebles abandonados que puedan significar un peligro para la comunidad.
- Definición de infraestructura verde, inventarios de arbolado, definición de las especies y los ensambles de especies que deben ser favorecidos respecto a que proveen resiliencia, como son especies de bajo consumo de agua, baja inflamabilidad, que regulan la temperatura, infiltran agua, etc. Este tipo de información puede ser solicitada a las universidades y también al gobierno regional que puede incentivar este tipo de generación de información.

Respecto a la evaluación del piloto, los/as participantes destacan la claridad de los temas abordados a partir de la construcción de un lenguaje común, la consideración de comentarios, opiniones y puntos de vista de diversos actores, la coordinación del trabajo y la buena disponibilidad de los equipos, tanto municipales, académicos locales y el equipo de ARClim – $(CR)^2$. Además, en general se valora como muy buena y dinámica la propuesta metodológica para abordar los distintos temas del taller. Se valora transversalmente el esfuerzo por articular acciones conjuntas para la Conurbación Valparaíso-Viña del Mar y el trabajo de conectar distintas instituciones en torno a una problemática común. Junto con ello, se destacan ventajas del formato de trabajo virtual, el que se identifica como un beneficio no esperado del confinamiento y se señala que podría mantenerse para instancias futuras.

Por último, se destaca el esfuerzo por avanzar en construir una matriz de interacciones que permita una visión integrada, lo que se evalúa como un avance importante. Se recomienda trabajar en formas de simplificar visualmente la matriz para mejorar la comprensión y/o trabajarla en más de una sesión. Además, se menciona la posibilidad de evaluar reducir la escala aún más, a nivel de Rol único de propiedad.

*Figura 25. Matriz de Evaluación piloto*

Respecto a aspectos a mejorar, se menciona buscar formas de darle sostenibilidad en el tiempo a este tipo de instancias colaborativas, además de mantener comunicación permanente para focalizar los ajustes de escala a nivel comunal para cada riesgo analizado, destacando el importante aporte que pueden realizar los equipos técnicos de los municipios con su conocimiento experto del territorio:

*"Valoro la "bajada metodológica" por tipo de amenaza y la propuesta de variables dispuestas. La claridad en cómo llevan el proceso; la capacidad técnica y científica para abordar las diferentes temáticas; la posibilidad que nos dan como municipios de aportar en este proceso y colaborar en la medida de lo posible." (SECPLA, Valparaíso).*

*"[Valoro] la transversalidad para el tratamiento de temas complejos, la valoración y respeto por la experiencia y trabajo de los profesionales encargados e invitados, la oportunidad de comprender a través del conocimiento vertido por el equipo encargado los temas de riesgo sobre el territorio, lo cual entrega herramientas metodológicas que podrían ser empleadas en los equipos de planificación municipales." (SECPLA, Viña del Mar)*

Las/os participantes destacan el equipo de trabajo y la metodología de vinculación de este proyecto para el desarrollo de instancias de colaboración futuras. Se espera que haya continuidad de trabajo en red, en conjunto con los municipios y los equipos académicos, en formato de talleres periódicos que permitan vincular e incorporar los resultados a los instrumentos de planificación territorial (PLADECO, PRC, PRI o PRDU) ya sea a escala comunal, intercomunal y/o regional, para dar continuidad en el monitoreo del estudio del riesgo en ambas comunas. Además, buscar formas para articular los resultados del proyecto ARClim con los requerimientos de los municipios en términos de actualización de los instrumentos locales. Por otra parte, se espera poder transmitir de alguna forma la información a la comunidad y a otros actores relevantes del territorio.

Como recomendación de política se sugiere fortalecer el trabajo entre universidades y municipios, sumando también otros actores relevantes del territorio. Se menciona por ejemplo, la incorporación de las universidades en las mesas de gestión de riesgo de las comunas. Por otro lado, se recomienda incorporar un enfoque de seguridad humana, que permita lograr una sostenibilidad ambiental territorial que considere la gestión de riesgos, permitiendo que la ciudadanía, las distintas actorías y el municipio participen en los procesos de construcción y gestión del riesgo ante distintas amenazas. Se destaca la aproximación de carácter local e integral para el abordaje y análisis del riesgo, ya que determina qué tan efectiva puede llegar a ser una estrategia de intervención territorial para dar cuenta y responder a las particulares condiciones de un territorio. En línea con esto, se plantea que el enfoque utilizado en este piloto modifica la comprensión del riesgo lo que demanda un ajuste al interior de todos los instrumentos de planificación de territorio (PRC, PLADECO, PROT, etc.).

## CONCLUSIONES

La realización de este piloto, corresponde a un logro inédito en Chile en términos de la alta resolución alcanzada para evaluar tantas amenazas distintas con un método semi cuantitativo de lógica difusa, además de avanzar en formas de comprender las interacciones existentes entre los distintos componentes de los riesgos asociados a estas amenazas. Los resultados muestran, que existen ciertos territorios altamente riesgosos ante distintas amenazas como incendios forestales, remoción en masa y en algunos casos inundaciones. En estos lugares convergen espacios geográficos altamente amenazados y población con altos índices de vulnerabilidad, determinando principalmente por sus características de sensibilidad poblacional y la escasa capacidad de respuesta registrada. Este patrón se repite en la periferia de ambas comunas en aquellos lugares donde abundan cerros y quebradas, entre otras áreas que comúnmente son consideradas como no habitables.

Este trabajo logra poner en evidencia la presencia de un alto riesgo ante distintas amenazas- que muchas veces están determinadas por dimensiones e indicadores similares- sobre un mismo territorio. Ante esto resulta necesario fortalecer el diseño y la robustez social de los planes de adaptación, considerando las múltiples amenazas que afectan a un territorio y también la percepción del riesgo que tienen los habitantes de estos espacios. Los resultados de este estudio evidencian la importancia de enfrentar las condiciones de sensibilidad que resultan comunes a gran parte de las amenazas trabajadas. Esto permitiría optimizar los esfuerzos en la gestión y disminución del riesgo ante una mayor cantidad de amenazas de forma simultánea. También se evidencia la necesidad de avanzar en el análisis integrado de riesgo donde se pueda evaluar cómo las distintas amenazas que afectan un territorio interactúan entre ellas e impactan también a servicios urbanos, los que se vuelven a su vez nuevas amenazas para la población.

Por otro lado, se logra inferir cómo el diseño urbano y la planificación actual reproduce y recrudece la desigualdad en la población, en este caso, donde la población más vulnerable en términos demográficos y socioeconómicos presenta el mayor riesgo ante amenazas climáticas, no solamente por sus características intrínsecas de sensibilidad, sino que además por los espacios que habitan dentro de la ciudad. En este contexto resulta fundamental potenciar la resiliencia urbana asociada al diseño y la planificación de nuestras ciudades.

Los resultados de este piloto reflejan un esfuerzo por construir los indicadores con la mayor cantidad de información disponible a nivel nacional, de tal forma de que sea fácilmente reproducible en otros territorios. En estos términos la mayoría de los indicadores de vulnerabilidad fueron construidos con información pública disponible a nivel nacional. De los indicadores que no están disponibles a nivel nacional existen algunos de sensibilidad poblacional que pueden ser fácilmente reemplazados por

información de otras fuentes como es el caso de los indicadores de ingresos y segregación donde hay sustitutos en el registro social de hogares. Por otro lado, el indicador de vías de evacuación se puede construir a partir de fuentes secundarias y análisis semi cuantitativo según las características de cada comuna. Pese a esto, enfatizamos la importancia de catastrar los proyectos de investigación e información disponible para cada comuna a ser estudiada, pudiendo aparecer información que resulte complementaria y que permita profundizar en la comprensión de los distintos riesgos.

El mayor problema para reproducir el análisis aquí presentado se relaciona con las amenazas. En el caso de calor extremo existe información climática homologable para todo el país disponible en (CR)2 MET[3], mientras que para marejadas el estudio de Ministerio del Medio Ambiente (2019) considera puntos a lo largo de todo el país de tal forma de lograr hacer algo más o menos representativo. Para las otras amenazas las fuentes de información son más difíciles de acceder: en el caso de las inundaciones depende de la información que existan en los Planes Maestros de Aguas Lluvias (PMALL) de cada comuna, estudios que, de contar con áreas de inundación, difícilmente tendrán metodologías homologables entre los distintos territorios. El caso de las amenazas de incendios forestales y remoción en masa son los más complicados debido a que no existe información oficial de cómo se comportan estas amenazas en el país. Existen algunos estudios con definiciones, metodologías e indicadores distintos en pocos lugares del país. Considerando la relevancia y los impactos de estas amenazas para los distintos territorios se identifica la importancia de avanzar en la producción de este tipo de información para favorecer la replicabilidad de este tipo de análisis.

Para poder hacer un análisis multi-riesgo como el del presente estudio en cualquier comuna del país, se requiere construir información acerca de cómo se distribuyen estas amenazas a una escala local y sub comunal. Esta tarea debiera ser responsabilidad de un organismo de carácter público y/o académico, que tenga posibilidad de abarcar y disponibilizar información para todo el territorio nacional, de forma de construir un lenguaje común respecto a la definición de las amenazas, sus impactos y riesgos. Mientras no exista una estandarización de estas definiciones, se recomienda construirla siguiendo la metodología propuesta en Muñoz et al (2019).

Por otra parte, es importante destacar que la elección de la unidad de análisis territorial que se utilice no es trivial. Mientras menor sea el tamaño de esta unidad, mayor es la precisión con la que se puede identificar el riesgo en el territorio, mejorando la toma de decisiones, pero al mismo tiempo se puede identificar con mayor precisión cuales son los territorios más vulnerables con sus respectivos indicadores, lo cual puede profundizar la estigmatización y discriminación hacia dichos lugares. Independiente de cual sea la unidad de análisis, se recomienda utilizar esta información tomando en cuenta las consideraciones éticas de rigor.

Los resultados aquí presentados, especialmente los mapas que muestran la distribución espacial de las distintas amenazas habrán de ser examinados con detención por los equipos técnicos de los municipios para efectivamente corroborar su pertinencia en la evaluación y pertinencia del riesgo, y para que efectivamente constituyan un insumo que permita tomar decisiones sobre cómo gestionar los riesgos en distintas zonas de la Conurbación Valparaíso-Viña del Mar.

El trabajo con expertos/as y con los equipos técnicos de los municipios y de la academia regional deja importantes aprendizajes. Primero, resulta fundamental fortalecer la coordinación y la comunicación entre estas entidades, ya que es posible generar sinergias en el abordaje de desafíos complejos como la adaptación al cambio climático. Segundo, dado el contexto de pandemia por COVID-19 no se pudo involucrar de forma adecuada a la ciudadanía, sin embargo, la matriz de interacciones constituye un importante insumo a ser validado y discutido también con la población afectada por estos riesgos, quienes podrán también complementar identificando otras relaciones que son relevantes a la hora de definir las condiciones de sensibilidad y resiliencia ante las distintas amenazas. Queda pendiente en este camino continuar avanzando en la construcción de formas complejas de comprender el riesgo,

[3] Para mayor información ver: http://www.cr2.cl/downloads/cr2met/

que recojan los puntos de vista no solo del conocimiento científico y/o técnico experto, sino también de quienes habitan cotidianamente estos espacios. Esto, permitirá robustecer socialmente el conocimiento producido, permitiendo que las estrategias de adaptación sean más efectivas y sean apropiadas por las personas que potencialmente podrían verse afectadas, fortaleciendo la resiliencia urbana. Para enfrentar estos desafíos deberán identificarse metodologías participativas apropiadas, que permitan la construcción de escenarios futuros y modelaciones para comprender cómo interactúan los distintos componentes de esta compleja cadena.

Por último, cabe destacar el importante rol que juegan los municipios y la academia local en los desafíos de adaptación al cambio climático. Instancias y metodologías de trabajo como los testeados durante este piloto resultaron ser efectivos para favorecer la colaboración entre equipos, permitiendo un diálogo enriquecedor y la identificación de caminos futuros para continuar trabajando. Los municipios cumplen un rol fundamental en la generación de procesos participativos con la comunidad, además de ser un actor que debiera liderar los procesos de adaptación a escala local, articulando los distintos actores del territorio. Sin embargo, actualmente también enfrentan importantes desafíos organizacionales de coordinación de los objetivos de adaptación al cambio climático con otros objetivos relevantes para cada municipio. Para potenciar el rol en la adaptación, se identifica como un punto clave el incorporar la adaptación al cambio climático en los instrumentos de planificación territorial y fortalecer los vínculos con la producción de conocimiento científico en estas materias. Por su parte, a la academia se le presenta el desafío de comunicar efectivamente lo referente a sus procesos de investigación tanto a las comunidades como a los tomadores de decisión, con el fin de alcanzar resultados prácticos que traspasen los límites del quehacer académico. En el transcurso de esta investigación, los y las informantes han expresado cierta cautela en torno a este punto, lo cual ha sido interpretado y asimilado por el equipo de este estudio como la necesidad de consolidar una continuidad de trabajo en conjunto.

Estos diálogos sin duda constituyen un importante insumo para la toma de decisiones basada en evidencia y destaca la importancia de avanzar en la construcción de enfoques integrados que permitan reconocer aquellos factores de sensibilidad y resiliencia que nos permitan hacer frente a los desafíos del cambio climático, potenciando la capacidad de respuesta de nuestras ciudades.

## DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN

Las cartografías para cada uno de los riesgos trabajados en la Sección I pueden ser exploradas de forma interactiva en la plataforma disponible en https://gv.riesgoclimatico.cr2.cl/. Además puede ser solicitada directamente al equipo de investigación, al correo catalina.amigo@uchile.cl

La matriz de interacciones puede ser entregada en formato de alta definición para mejorar su comprensión y lectura, solicitándola al correo catalina.amigo@uchile.cl

## REFERENCIAS

Allen, C. R., Angeler, D. G., Garmestani, A. S., Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2014). Panarchy: Theory and Application. Ecosystems, 17(4), 578–589. https://doi.org/10.1007/s10021-013-9744-2

Boisier, J. P., Alvarez-Garretón, C., Cepeda, J., Osses, A., Vásquez, N., & Rondanelli, R. (2018). CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for hydroclimatic research in Chile. EGUGA, 19739.

Cavalcante, E., Cacho, N., Lopes, F., Batista, T., & Oquendo, F. (2016). Thinking Smart Cities as Systems-of-Systems: A Perspective Study. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Cities (SmartCities 2016) at ACM/IFIP/USENIX Middleware 2016 (p. 9:1-9:4). Trento, Italia: ACM

Ernstson, H., Leeuw, S. E. Van Der, Redman, C. L., Meffert, D. J., Davis, G., Alfsen, C., et al. (2010). Urban Transitions: On Urban Resilience and Human-Dominated Ecosystems. Ambio, 39, 531–545. https://doi.org/10.1007/s13280-010-0081-9

Harvey, C., Martínez-Rodríguez, M., Cárdenas, J., Avelino, J., Rapidel, B., & Vignola, R. et al. (2017). The use of Ecosystem-based Adaptation practices by smallholder farmers in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *246*, 279-290. doi: 10.1016/j.agee.2017.04.018

Hernández, H.J., Galleguillos, M & Estades, C. 2016. Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile

GSI Ingenieros Consultores Ltda. 2001. "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Viña del Mar, V Región", Consultoría Ministerio de Obras Públicas Dirección de obras hidráulicas.

GSI Ingenieros Consultores Ltda. 2001. "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Valparaíso, V Región", Consultoría Ministerio de Obras Públicas Dirección de obras hidráulicas.

Gunderson, L., Cosens, B. A., Chaffin, B. C., Arnold, C. A. T., Fremier, A. K., Ahjond, S., et al. (2017). Regime shifts and panarchies in regional scale social-ecological water systems. Ecology and Society, 22(1), 31. https://doi.org/10.5751/ ES-08879-220131

González, D. P., Monsalve, M., Moris, R., & Herrera, C. (2018). Risk and Resilience Monitor: Development of multiscale and multilevel indicators for disaster risk management for the communes and urban areas of Chile. Applied geography, 94, 262-271. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.004

Indirli, M., Geremei, F., Puglisi, G., Screpanti, A., Blersch, D., Lanzoni, L., Lopez, N., Milani, E., Miglioli, M., Simonini, G., Munari, M. & Romanelli, F. (2008). A GIS platform on main natural hazards for Valparaiso City (Chile) and vulnerability studies for some historical constructions and urban sectors. In 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. Bath. https://doi.org/10.1201/9781439828229.ch147

Instituto Nacional de Estadística (2017). Censo 2017 [Fichero de datos]. Recuperado de http://www.censo2017.cl/microdatos/

Instituto Nacional de Estadística (2017). Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano(SIEDU) [Base de datos]. Recuperado de http://siedu.ine.cl/descargar/descarga.html

Li, X., Song, J., Lin, T., Dixon, J., Zhang, G., & Ye, H. (2016). Urbanization and health in China, thinking at the national, local and individual levels. *Environmental Health*, *15*(S1). doi: 10.1186/s12940-016-0104-5

Liu, J. (2017). Integration across a metacoupled world. Ecology and Society, 22(4), 29. https://doi.org/10.5751/ES-09830-220429

Mahmood, M. I., Elagib, N. A., Horn, F., & Saad, S. A. (2017). Lessons learned from Khartoum flash flood impacts: An integrated assessment. Science of the Total Environment, 601, 1031-1045. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.260

Meteodata, CR2, & Centro Cambio Global UC. (2020). Explorador de Amenazas Climáticas: Descripción de la base de dato. Ministerio Del Medio Ambiente de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente, 2019. Volumen 1: Amenazas en "Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile", Documento preparado por: Winckler, P. Contreras-López, M.; Vicuña, S.; Larraguibel, C.; Mora, J.; Esparza, C.; Salcedo, J.; Gelcich, S.; Fariña, J. M.; Martínez, C.; Agredano, R.; Melo, O.; Bambach, N.; Morales, D., Marinkovic, C.; Pica,A., Santiago, Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (2019). Catastro nacional de campamentos 2019 [Base de datos]. Recuperado de: https://www.minvu.cl/catastro-de-campamentos/

Muñoz A, A Ugalde, JT Videla, J Cassanova, R Chavez, V Vargas, AM Córdova, A Fernandez, L Alvarez, F. Guerrero (2019). Informe Final proyecto Índice de Vulnerabilidad y Riesgo Climático del Área Metropolitana de Valparaíso. 214p.

Proyecto Fondecyt iniciación N° 11180990: Construcción social del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en ciudades chilenas, a ejecutarse entre los años 2019-

Sharma, A., Pezzaniti, D., Myers, B., Cook, S., Tjandraatmadja, G., & Chacko, P. et al. (2016). Water Sensitive Urban Design: An Investigation of Current Systems, Implementation Drivers, Community Perceptions and Potential to Supplement Urban Water Services. *Water*, *8*(7), 272. doi: 10.3390/w8070272

Urquiza, A., Amigo, C., Billi, M., Brandão, G., & Morales, B. (2018). Metálogo como herramienta de colaboración transdisciplinaria. Cinta de Moebio, 62, 182–198. https://doi.org/10.4067/S0717-554X2018000200182

Urquiza, A., Billi, M., Calvo, R., Amigo, C., Navea, J., Monsalve, T., Álamos, N., Neira, C., Rauld, J., Allendes, Á., Arrieta, D., Barrera, V., Basoalto, J., Cárdenas, M., Contreras, M., Fleischmann, M., Horta, D., Labraña, J., Larragubel, C., … Winckler, P. (2020). Informe Proyecto ARClim: Asentamientos Humanos. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Red de Pobreza Energética, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad y Núcleo de Estudios Sistémicos Transdisciplinarios. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, (ANID/FONDAP/15110009) y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago,Chile. disponible en: https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/04_AsentamientosHumanos_B.pdf

Winckler, P. (2020) Towards a multi-hazard analysis of infrastructure in a seismic coast subjected to climate change, with a focus on the Chilean coastline, presentado en IAHR ISHS 2020, Santiago de Chile, Mayo de 2020. https://doi.org/10.14264/uql.2020.517

Zhao, Y.; Feng, D., Yua, L., Wang, X., Chen, Y., Hernández, H.J., Galleguillos, M., Estades, C., Biging, G., Radke, J. & Gong, P. 2016. Detailed dynamic land cover mapping of Chile: accuracy improvement by integrating multi-seasonal land cover data. Remote Sensing of Environment 183, 170–185. - doi:10.1016/j.rse.2016.05.016

Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. Urban Forestry & Urban Greening, 20, 305-316. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011