



Latin American Journal of Aquatic

Research

E-ISSN: 0718-560X

lajar@ucv.cl

Pontificia Universidad Católica de
Valparaíso
Chile

Igualt, Felipe; Breuer, Wolfgang; Winckler, Patricio; Contreras-López, Manuel
Rehabilitación de centros urbanos afectados por el tsunami 2010 en la Comuna de
Pelluhue, Chile

Latin American Journal of Aquatic Research, vol. 45, núm. 4, septiembre, 2017, pp. 659-
674

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Valparaíso, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=175052703003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Research Article

Rehabilitación de centros urbanos afectados por el tsunami 2010 en la Comuna de Pelluhue, Chile

Felipe Igualt¹, Wolfgang Breuer², Patricio Winckler³ & Manuel Contreras-López⁴

¹Escuela de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Valparaíso, Chile

²Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile

³Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile

⁴Facultad de Ingeniería y Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Playa Ancha

Viña del Mar, Chile

Corresponding author: Felipe Igualt (figualt@ead.cl)

RESUMEN. La Comuna de Pelluhue fue una de las más afectadas durante el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010 en Chile central, registrando 47 fallecidos, el mayor número de muertes per-cápita del país. Este estudio se orienta a analizar la resiliencia de los centros urbanos de la comuna, desde sus principales instancias: preparación, resistencia, recuperación y adaptación. Los daños generados por el tsunami se estudian mediante un levantamiento *in-situ*, complementado con levantamientos efectuados en 2013 y 2015, consulta de percepción de seguridad y un análisis del impacto de los instrumentos de planificación territorial en la rehabilitación de los centros urbanos. De estos estudios se concluye que la comuna experimentó una rápida recuperación de infraestructura entre 2010 y 2012. Las modificaciones incorporadas en la ordenanza del Plan Regulador Comunal a finales de 2012 promovieron el uso de una nueva tipología estructural adaptada al riesgo de tsunami en la Zona Turística de Borde Costero (ZTBC-1). El uso de marcos estructurales de madera y hormigón en el primer piso, se adoptó en respuesta al bajo coeficiente de ocupación de suelo sugerido en la ordenanza del Plan Regulador Comunal para dicha zona, sin necesariamente cumplir con criterios de diseño estructural. En otras zonas ubicadas en el área inundada, no obstante, se reconstruyó sin adoptar criterios de adaptación. Aun cuando se implementó una consulta, que no tiene la representación adecuada de toda la población, el sondeo indica que el plan de emergencia implementado por ONEMI, por su parte, generó una mejor percepción de seguridad en las zonas de riesgo por parte de los residentes, pero los visitantes desconocen las medidas de evacuación vigentes.

Palabras clave: rehabilitación urbana, resiliencia, adaptación, levantamiento post-tsunami, zonificación, percepción de seguridad.

Coastal settlements rehabilitation affected by the 2010 tsunami in Pelluhue County, Chile

ABSTRACT. The Pelluhue country was one of the most affected during the earthquake and tsunami of February 27, 2010 in central Chile, with 47 deaths, the highest number of per-capita deaths in the country. This study is oriented to analyze the resilience of the urban centers of the commune, from its principal instances: preparation, resistance, recovery and adaptation. The damage generated by the tsunami is studied through an on-site survey, supplemented by surveys conducted in 2013 and 2015, a safety perception consultation and an analysis of the impact of territorial planning instruments in the rehabilitation of urban centers. From these studies it is concluded that the commune experienced a rapid infrastructure recovery between 2010 and 2012. The modifications incorporated in the ordinance of the Community Regulatory Plan at the end of 2012 promoted the use of a new structural typology adapted to the tsunami risk in the Coastal Tourist Zone (ZTBC-1). The use of wood and concrete structural frames on the first floor was adopted in response to the low coefficient of soil occupation suggested in the ordinance of the Community Regulatory Plan for that area, without necessarily complying with structural design criteria. However, in some other areas, within the flooded area, it was rebuilt

without adopting adaptation criteria. Even when a consultation was implemented, which does not have adequate representation of the entire population, the survey indicates that the emergency plan implemented by ONEMI, in turn, generated a better perception of safety in the risk areas by residents, but visitors are unaware of the current evacuation measures.

Keywords: urban rehabilitation, resilience, adaptation, post-tsunami survey, zoning, tsunami awareness.

INTRODUCCIÓN

El terremoto del 27 de febrero de 2010 tuvo una magnitud de Mw 8,8, siendo el sexto con mayor magnitud registrado hasta el momento a nivel mundial y el segundo en territorio chileno, luego del terremoto de 1960 (USGS, 2011). El tsunami generado por el terremoto generó daños significativos en puertos, edificios, carreteras y diversa infraestructura residencial, comercial y productiva (Fritz *et al.*, 2011; Contreras & Winckler, 2013; Edge, 2013). Estos daños se percibieron con mayor magnitud en las localidades ubicadas en las regiones del Maule y Biobío. El terremoto dejó una cifra total de 531 muertes, 370 mil viviendas destruidas o dañadas y pérdidas cercanas a US\$ 30.000 millones (Gobierno de Chile, 2010). Del total de fallecidos, 156 corresponden a víctimas directas del tsunami (Fiscalía de Chile, 2011), 45 de las cuales se registraron en la Comuna de Pelluhue ($38^{\circ}48'S$, $72^{\circ}34'W$), ubicada en el límite sur de la región del Maule (Moris & Walker, 2014). Tras la emergencia, el Gobierno de Chile en colaboración con instituciones educativas y del ámbito privado, elaboraron una serie de planes de reconstrucción para las localidades más afectadas. En el caso de Pelluhue, un equipo multidisciplinario compuesto por instituciones del ámbito académico y profesional elaboró el Plan de Reconstrucción Susten-table (PRES), cuyo objetivo fue guiar el proceso de reconstrucción de la comuna. Este plan comenzó a ejecutarse mediante un conjunto de proyectos enfocados principalmente en la reconstrucción de viviendas. Sin embargo, diversos problemas relacionados con su gestión e implementación provocaron a que el plan fuera menos efectivo que en otras comunas afectadas (Moris & Walker, 2014).

En este trabajo se estudia la resiliencia de los centros urbanos de Pelluhue. Se entiende como resiliencia la capacidad de la infraestructura urbana para mantener las funciones básicas y re-estructurarse luego de un evento destructivo (Godschalk, 2003; Jha *et al.*, 2013). Rosati *et al.* (2015) proponen la existencia de un ciclo de resiliencia, que se compone de cuatro instancias: preparación, resistencia, recuperación y adaptación. Esta última resulta de particular importancia pues define la capacidad de los componentes de un sistema para construir resiliencia para obtener una mejor respuesta ante futuras perturbaciones (Walker *et al.*, 2004; Rosati *et al.*, 2015). En el contexto de este

estudio, se concibe a la adaptación como la capacidad de los habitantes de un asentamiento para reinterpretar el territorio y la infraestructura urbana luego de ser afectados por un tsunami destructivo. La adaptación está subordinada a la capacidad de respuesta de la comunidad local, existiendo diversas variables a través de las cuales se ve ejemplificada, tales como el trazado urbano, las tipologías estructurales, y la calidad y calidad de los materiales o materialidad.

La Comuna de Pelluhue abarca una superficie de 371,4 km² y tiene una población de 6.414 habitantes, con una densidad de 17,27 hab km⁻² (INE, 2002). En su margen occidental, abarca una extensión de 9,8 km de costa donde se emplazan Pelluhue, Curanipe y Mariscadero, centros urbanos en los que en cada período estival se alcanza una población flotante que supera los 7.000 visitantes, duplicando el número de habitantes de la comuna (SERNATUR, 2010). Estos asentamientos están directamente relacionados a actividades de uso del borde costero, siendo la pesca y turismo las actividades económicas más importantes. Su estructura urbana está articulada por la ruta M-80-N que cruza playas, barras arenosas, desembocaduras de esteros y ríos, dunas y roqueríos (Concha & Rasse, 2014). Por cada 10,6 residentes en la comuna, hay en promedio una demanda de 37,2 habitantes por alojamientos turísticos y una relación de 52,1 habitantes residentes en una segunda vivienda (INE, 2015). Esta demanda se concentra principalmente en el borde costero (MOP, 2012), que se encuentra en una zona expuesta a la amenaza de inundación por tsunamis. Cabe mencionar que el tsunami del 27 de febrero de 2010 ocurrió durante la última semana de vacaciones estivales, a plena capacidad de ocupación de sus residentes y visitantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolla a partir de tres levantamientos de información *in situ* efectuados en los principales centros urbanos costeros de la comuna: Mariscadero, Pelluhue y Curanipe (Fig. 1).

El primero se efectuó en 2010 para evaluar la resistencia y el nivel de daños de la infraestructura urbana afectada por el tsunami. El segundo y tercer levantamiento se efectuó en 2013 y 2015, para evaluar las medidas de recuperación de la infraestructura y el

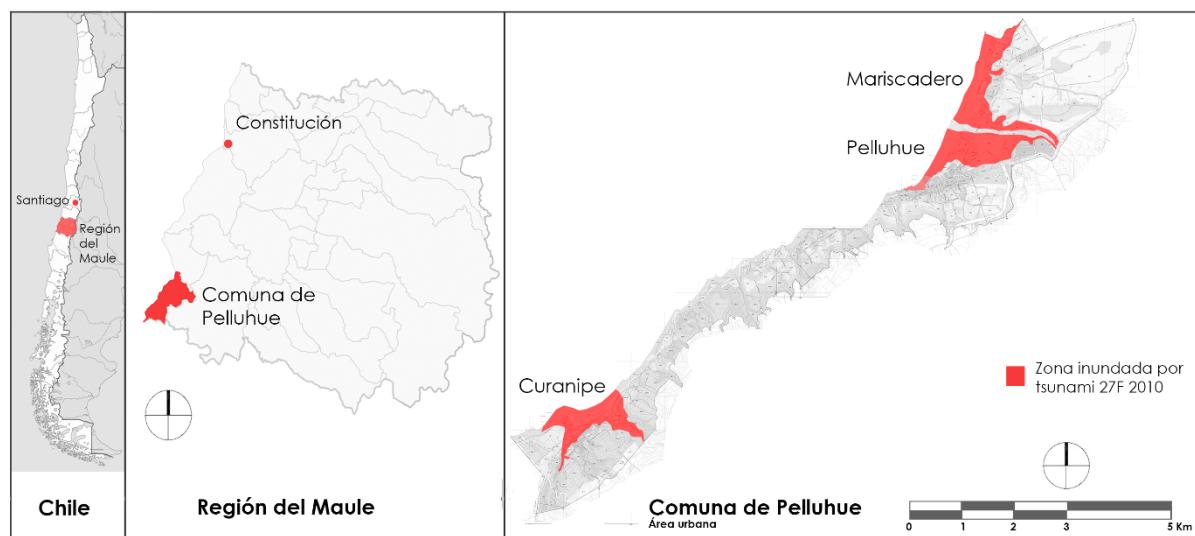


Figura 1. Zona de estudio. Área urbana de la Comuna de Pelluhue, Región del Maule, Chile.

impacto de los instrumentos de planificación territorial incorporados. En forma complementaria, se aplicó una consulta a 21 residentes y visitantes, y se revisaron los instrumentos de planificación, reconstrucción y emergencia de la comuna.

Levantamiento post-tsunami

Este levantamiento se realizó a tres semanas de ocurrido el tsunami -entre el 17 y 19 de marzo de 2010- para evaluar los daños ocurridos como consecuencia de la inundación en el área urbana. Se registraron niveles de inundación, runup, máxima intrusión horizontal y profundidad de inundación en viviendas y vegetación (Fig. 2), siguiendo las recomendaciones de IOC-UNESCO (Dominey-Howes *et al.*, 2014).

Las mediciones verticales se realizaron siguiendo la metodología de Emery para el levantamiento de playas (Krause, 2004). Estas mediciones fueron ratificadas con testimonios de residentes de la comuna y especialistas desplegados en la zona. A partir de esta información se elaboraron perfiles de inundación urbana, registros cuantitativos y observaciones cualitativas de daños en los sectores analizados. La información obtenida se presenta en mapas de inundación para cada localidad (Figs. 4, 6).

Levantamiento tres años después del tsunami

Este levantamiento se realizó entre el 25 y 28 de junio de 2013 con el objetivo de registrar la etapa de recuperación de la infraestructura residencial, comercial, turística y administrativa en los tres centros urbanos de la comuna. En este levantamiento se

registraron las viviendas afectadas, viviendas sin alteraciones y aquellas construidas después de 2010.

Levantamientos cinco años después del tsunami

Este levantamiento se realizó entre el 2 y 5 de noviembre de 2015 para evaluar la aplicación del decreto 6629 que modifica la ordenanza local de construcción, e impone una nueva zonificación de borde costero y restricciones de constructibilidad para zonas de riesgo de inundación por tsunami (Municipalidad de Pelluhue, 2012). La información recabada se orienta a comprender las tendencias de crecimiento post-tsunami y el impacto de las estrategias de adaptación implementadas en la comuna. Mediante los datos recolectados se elaboraron mapas del proceso de recuperación para Mariscadero, Pelluhue y Curanipe. Estos mapas permiten analizar las tendencias de crecimiento mediante la identificación de viviendas afectadas, sin alteraciones, y aquellas construidas después de 2010, además de las nuevas zonificaciones de suelos contenidas en el Plan Regulador Comunal (Municipalidad de Pelluhue, 2012).

Consulta de percepción de seguridad

Durante noviembre de 2015 se aplicó una consulta estructurada para incorporar la percepción de la población residente y flotante del área urbana costera sobre: a) cambios en la infraestructura, y b) delimitaciones de las zonas de riesgo y seguridad incorporados en el Plan de Protección Civil de ONEMI, elaborado en 2013. La consulta constó de seis preguntas orientadas a evaluar la percepción ciudadana respecto de su conoci-

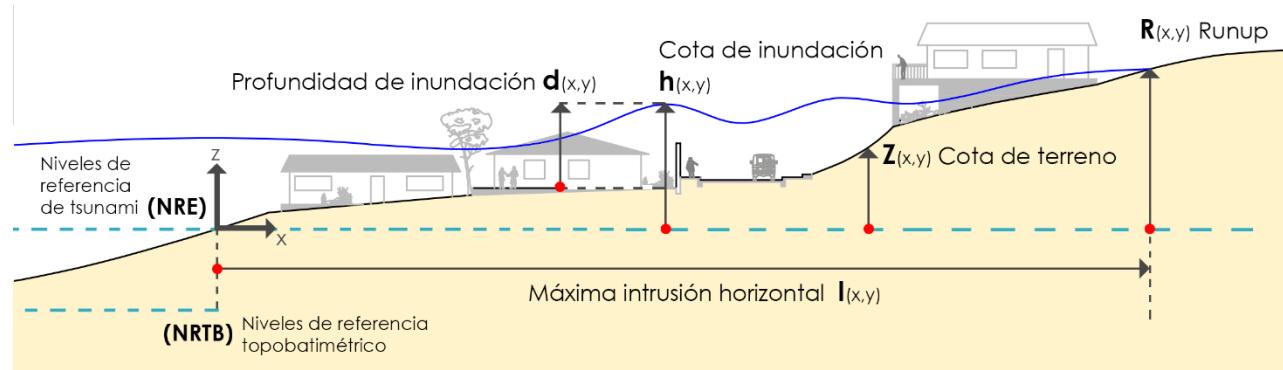


Figura 2. Nomenclatura utilizada para referir a los distintos planos verticales e intrusión horizontal de inundación por tsunami, con respecto a un cierto nivel de referencia del evento (NRE) y el de referencia topo-batimétrico (NRTB). R: runup, Z: cota de terreno, h: cota de inundación, d: profundidad de inundación, I: máxima intrusión horizontal.

miento del riesgo y del proceso de reconstrucción. La consulta se aplicó a 21 adultos residentes y visitantes en Curanipe, Pelluhue y Mariscadero. De un total 3.880 personas residentes del área urbana, el 79% de los consultados fueron residentes y el 21% visitantes. Los consultados fueron 71% varones y 29% mujeres, seleccionados de acuerdo a la disponibilidad en las rutas del área urbana de la comuna. La muestra cuenta con un 90% de confianza y un margen de error de 18%, con una baja representatividad de la población total, lo que debe ser considerado al interpretar sus resultados.

Revisión de instrumentos de planificación, reconstrucción y emergencia

Se revisaron los instrumentos de planificación, reconstrucción y emergencia, para conocer el marco regulatorio que rige la rehabilitación de las zonas costeras afectadas por el tsunami. Entre estos instrumentos se considera: a) Plan Regulador Comunal, que es el instrumento de planificación territorial más relevante para la reconstrucción, b) modificaciones a este plan regulador posteriores al tsunami de 2010, que incorporan una nueva zonificación de zonas costeras y restricciones en la ordenanza para aquellas zonas con riesgo de inundación por tsunami (Municipalidad de Pelluhue, 2012), c) Plan de Reconstrucción Sustentable (PRES) elaborado en 2010, que propone una serie de intervenciones hacia una reestructuración estratégica de ordenamiento territorial del borde costero de la comuna (Consorcio, 2010), y d) Plan de Protección Civil Municipal ante Tsunami (ONEMI, 2013), que define las áreas seguras y aquellas que deben ser evacuadas, así como también vías de evacuación y puntos de encuentro.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los tres levantamientos efectuados inmediatamente después de ocurrido el tsunami, tres años más tarde y cuando pasaron cinco años, organizados por los centros poblados de la comuna (Curanipe, Pelluhue y Mariscadero). Asimismo, se incluyen los resultados de la consulta de percepción de seguridad y revisión de los instrumentos de planificación, reconstrucción y emergencia.

Curanipe

Durante el levantamiento post-tsunami se constató que las alturas máximas de inundación coinciden con los cursos activos de agua dulce, como los ríos Parrón y Curanipe (Fig. 3). En el primero se registró un runup de 5,5 m, una profundidad de inundación de 1,8 m y una intrusión máxima de 780 m, afectando construcciones, infraestructura vial, camping, mercado y feria de artesanía (Figs. 4a-4b). En el Río Curanipe se registró una intrusión de 1.030 m y una profundidad de inundación de 2,1 m en su desembocadura. En este sector la destrucción afectó edificios residenciales con valor histórico y otros de material liviano emplazados en las proximidades del río. En el centro cívico se registró un runup de 6,5 m, una profundidad de inundación de 2,3 m y una intrusión de 360 m, causando la pérdida total del edificio de correos, daño severo en el consultorio médico y registro civil, y daño parcial en la municipalidad (Fig. 4e).

Los edificios construidos en madera y adobe se vieron afectados por el impacto directo del flujo y por la socavación de fundaciones precarias emplazadas en suelo arenoso. Se observó también socavación de caminos pavimentados y el colapso del puente sobre el Río Parrón producto de los flujos de agua y arrastre de

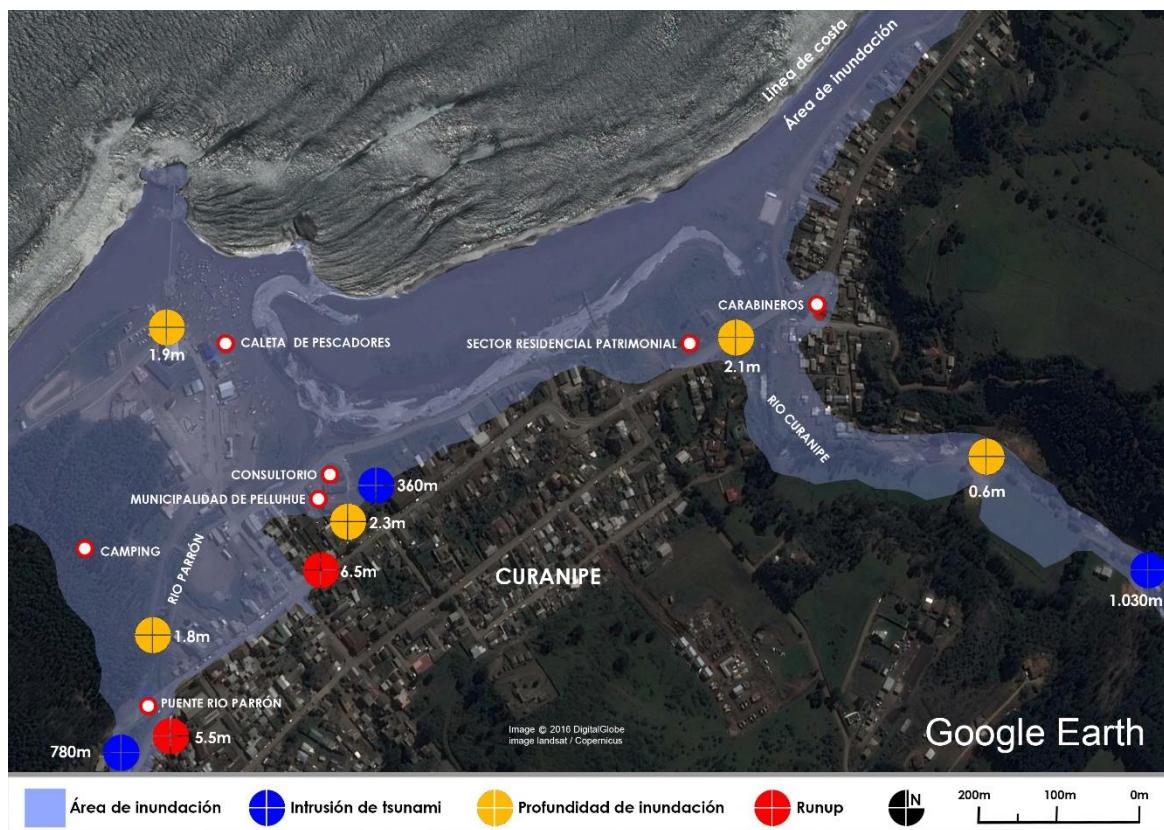


Figura 3. Área de inundación tsunami 2010, centro urbano Curanipe.

escombros. La infraestructura y equipamiento de la caleta de Curanipe fue severamente afectada.

Durante los levantamientos efectuados en 2013 y 2015 se observó una rápida recuperación de la infraestructura productiva y administrativa, explicada por la necesidad de reactivar rápidamente la economía local (Fig. 5a).

Se constató la reconstrucción de edificios administrativos y cívicos de la comuna en el mismo emplazamiento previo al tsunami y sin medidas de adaptación de infraestructura, a pesar de haber sido severamente afectados por la inundación.

El sector residencial ha mostrado una recuperación paulatina, donde la norma urbanística impuesta por la ordenanza para las Zona Turística de Borde Costero (ZTBC-1) no ha sido respetada en todas la nuevas construcciones. Como se puede apreciar en el corte A-A' del Centro Cívico de Curanipe, de un total de cuatro edificaciones afectadas, una edificación resultó completamente destruida (Fig. 5b) y tres fueron reparadas, de las cuales dos se encuentran actualmente en uso. Las oficinas municipales dañadas en 2010 (Fig. 5c), mantuvieron su tipología (Fig. 5d).

Aun cuando en la Comuna de Pelluhue no se efectuó un seguimiento cuantitativo de la línea de costa durante

las campañas de 2013 y 2015, en la playa de Curanipe se observó una recuperación después de un año, permitiendo la reactivación de sus actividades, incluyendo el traslado temporal de la caleta de Pelluhue a esta zona. Esta observación es coincidente con otros estudios (e.g., Villagrán *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2014), que indican que algunas playas en la zona central de Chile se recuperaron en virtud que las fuentes de sedimentos no habían sido afectadas pre- y post-tsunami.

Pelluhue

Pelluhue se caracteriza por terrenos arenosos y cercanía a las dunas costeras que explican porque fue una de las áreas más afectadas. Durante el levantamiento post-tsunami se registró un runup de 7,1 m en el centro urbano, una profundidad de inundación de 5,8 m en la desembocadura del Río Curanilahue y una intrusión de 1.830 m en la intersección con la carretera hacia Cauquenes (Fig. 6).

Como consecuencia de la inundación, edificaciones públicas como la policía y bomberos fueron severamente afectadas. Los mayores daños se registraron en viviendas de material liviano ubicadas sobre suelos arenosos a escasa distancia de la costa (Figs. 4c-4d). La pérdida en todas aquellas construcciones situadas en la

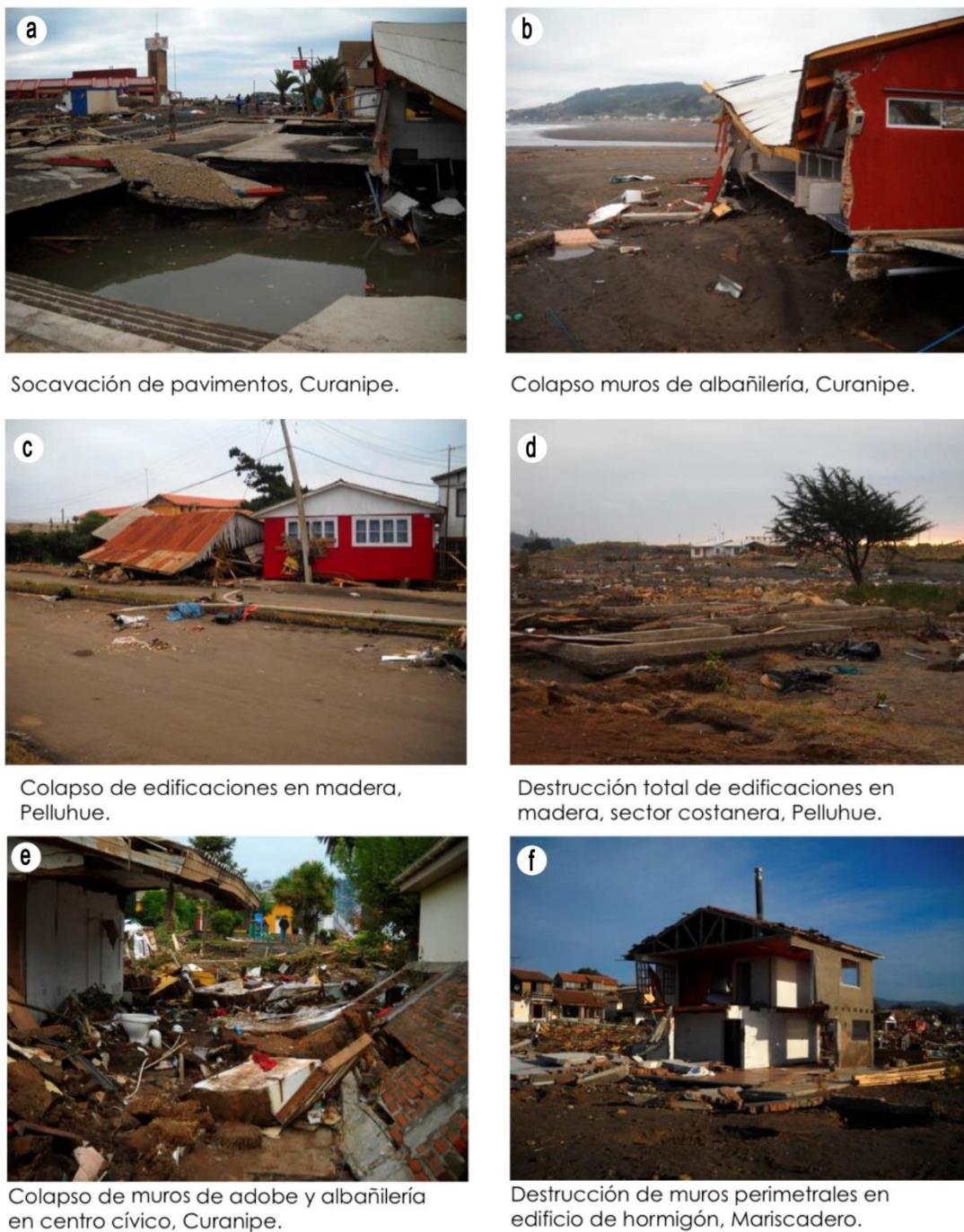


Figura 4. Daños registrados en el levantamiento post-tsunami 2010.

zona de inundación fue de parcial a total, variando según la materialidad de las estructuras y su cercanía al mar (Figs. 7a, 7c).

Las viviendas de madera situadas en la zona de inundación presentaron un alto grado de destrucción, mientras que aquellas ubicadas fuera de esta zona, resultaron con daños mínimos producto del sismo. Las construcciones de albañilería y adobe próximas a la

costa, registraron daños que varían según el grado de refuerzo estructural, mientras que las estructuras de hormigón armado experimentaron un daño estructural menor; principalmente asociado al impacto de escombros y a la socavación local producto del flujo de agua.

En los levantamientos de 2013 y 2015 se advirtió la reconstrucción de edificios institucionales en la zona de



Figura 5. a) Mapa de rehabilitación, Curanipe 2010-2015, b) sección transversal sector centro cívico en Curanipe, c) sector centro cívico 2010, d) sector centro cívico 2015.

inundación, entre los que destacan el liceo, el internado, el jardín infantil y el edificio de bomberos. A pesar de haber sido reconstruidas en gran parte con hormigón armado, estas edificaciones siguen siendo vulnerables debido a la mala calidad de suelos, el emplazamiento próximo al mar y la carencia de obras de mitigación ante futuros tsunami. Hasta antes del tsunami 2010, la zona urbana de Pelluhue se extendía hasta la barrera de

dunas sobre la cual se emplaza la costanera, siendo el área ocupada por una alta densidad de edificaciones residenciales.

La zonificación de suelos incorporada en el nuevo Plan Regulador definió a esta área como Zona de Área Verde (ZAV), por lo que las edificaciones residenciales que desaparecieron el año 2010, no pudieron ser reconstruidas en el mismo lugar (Figs. 7b, 7d).

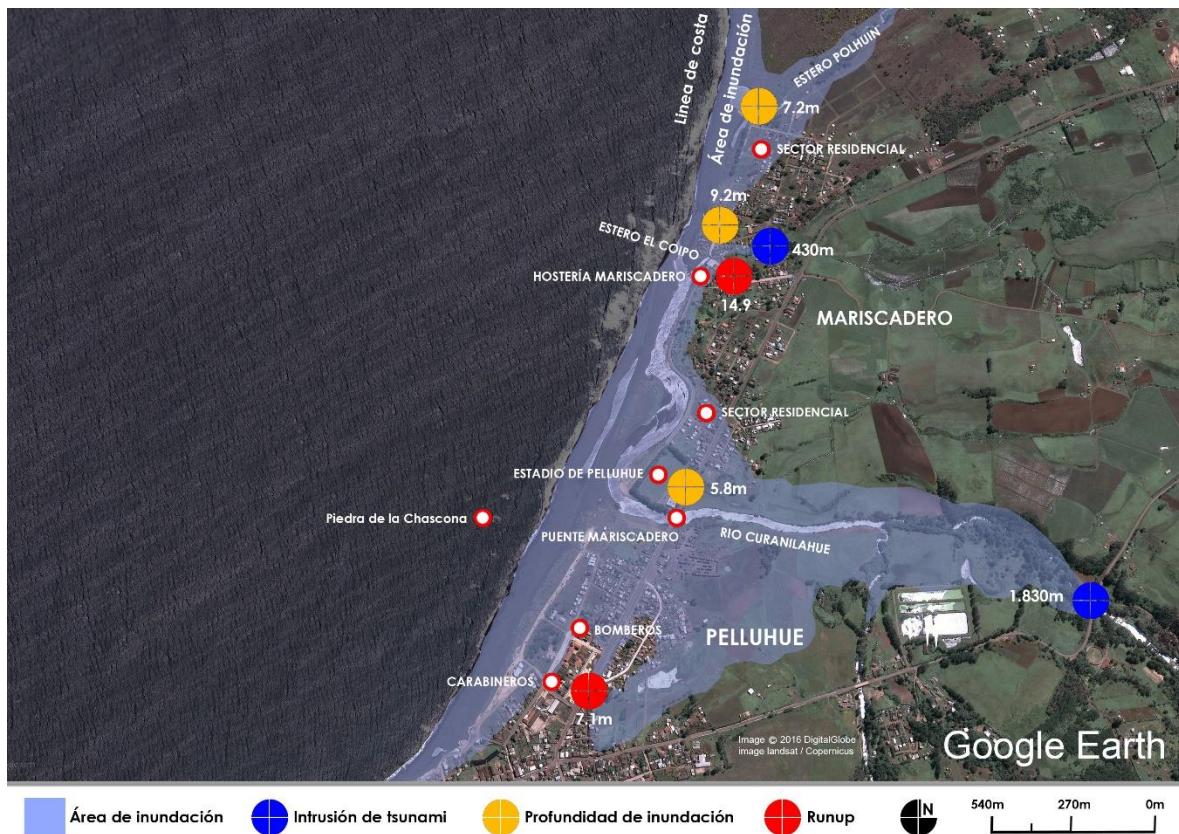


Figura 6. Área de inundación tsunami 2010, localidades de Pelluhue y Mariscadero.

Mariscadero

Durante el levantamiento post-tsunami se registró un runup máximo de 14,9 m, una profundidad de inundación de 9,2 m y una intrusión de 430 m en el estero El Coipo (Fig. 6). En esta zona, construcciones de hotelería y residenciales de diversos materiales fueron arrasadas completamente (Fig. 8c). En la costanera del sector sur de Mariscadero, caracterizada por suelos arenosos, se registró una profundidad de inundación de 7,2 m y severos daños en estructuras de material liviano, albañilería y hormigón (Fig. 4f). Al igual que en Pelluhue, la franja ubicada entre la línea costera y la nueva zona turística de borde costero se designó como área verde (Fig. 8a). En la ZTBC-1 se aplicaron restricciones de constructibilidad y ocupación, las que promovieron el uso de hormigón armado y madera para el marco estructural del primer piso, sobre el que se construye en madera. El corte B-B' del sector residencial de Mariscadero (Fig. 8b) permite constatar como muchas de las edificaciones que desaparecieron el año 2010, fueron reemplazadas por estas nuevas tipologías elevadas (Fig. 8d) que se ajustan a las restricciones del nuevo Plan Regulador (Municipalidad de Pelluhue, 2012). A pesar de estas restricciones, en algunos sectores se sigue constru-

yendo viviendas informales de material liviano sin una estructura adecuada.

Consulta de percepción de seguridad

De acuerdo a los 21 consultados por la percepción de seguridad, un porcentaje significativo conoce las zonas de riesgo, rutas de evacuación y ha notado cambios en la infraestructura urbana de la comuna durante el proceso de reconstrucción. Además, el 62% de los consultados cree que la comuna está mejor preparada para enfrentar un futuro tsunami.

En la Tabla 1 se indican los resultados clasificados según si el entrevistado vivió o no el tsunami. Se aprecia leves diferencias de percepción sobre las zonas de riesgo y rutas de evacuación entre ambos grupos (ítems 1 y 2). En cambio, el hecho de vivir o no el tsunami, condicionan significativamente el nivel de preocupación por un próximo evento y la percepción de cambios en la infraestructura (ítems 3 y 4).

Quienes experimentaron el tsunami muestran menos signos de preocupación, probablemente debido a que ya cuentan con la experiencia de haberlo sobrevivido. El hecho que este grupo perciba menos cambios en la infraestructura, pese a su evidente transformación, se puede deber a que consideran que

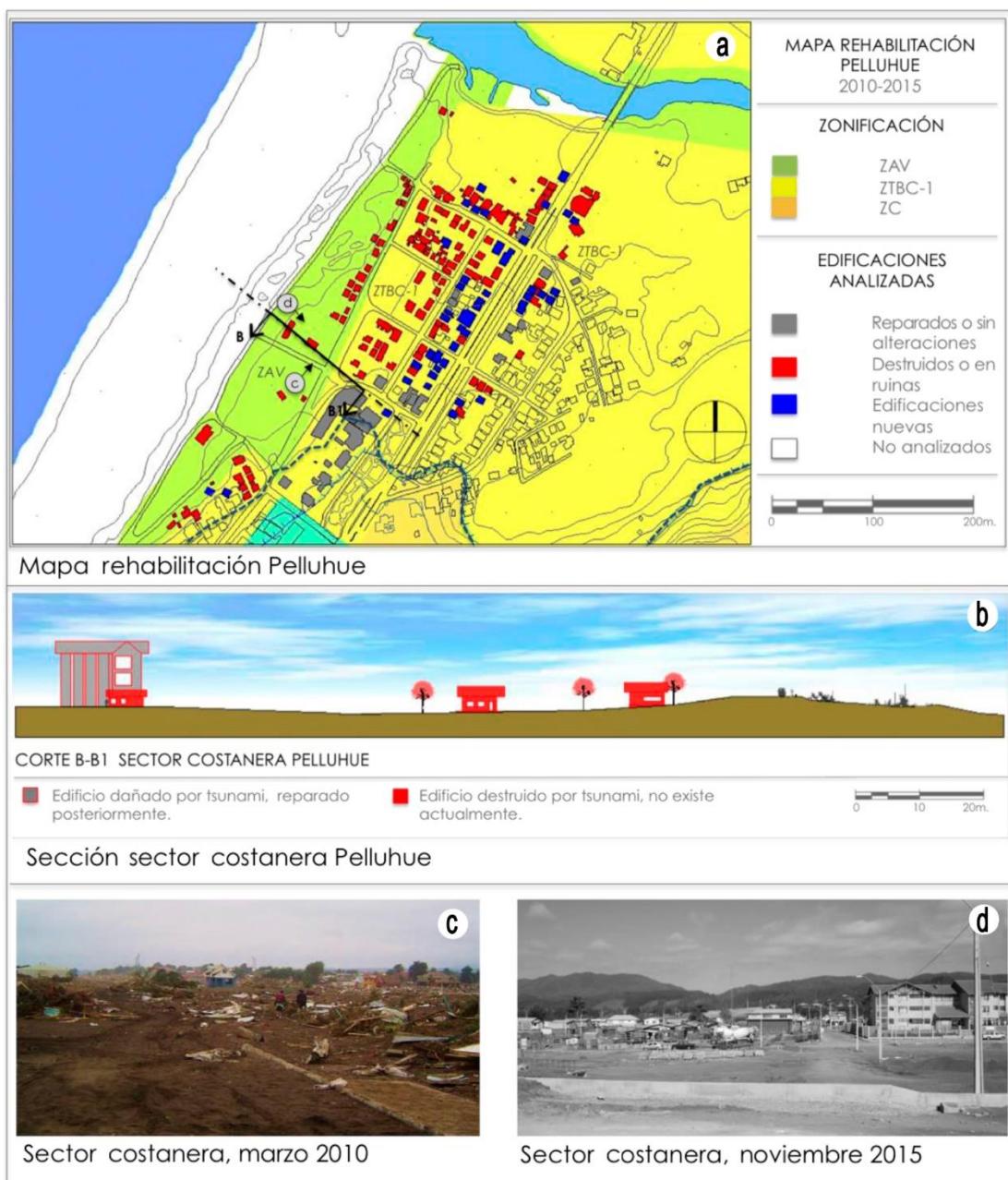


Figura 7. a) Mapa de rehabilitación, Pelluhue 2010-2015, b) sección transversal de Pelluhue, c) sector costanera 2010, d) sector costanera 2015.

estos cambios son insuficientes para afrontar el próximo tsunami. Todos los consultados que vivieron el tsunami, ya sean residentes o visitantes, saben si residen en un área de riesgo o en un área segura, a diferencia de quienes no lo vivieron (ítem 5). La mayoría de los entrevistados perciben que hay una mejor preparación en la comuna (ítem 6). Sin embargo, al desagregar las consultas, se constata que la totalidad de quienes residen en un área segura perciben una mejor preparación, mientras que menos de la mitad de

quienes viven en un área de riesgo o desconocen donde se encuentran, la advierten. En resumen, quienes declaran estar más preparados son aquellos que viven en áreas seguras, a pesar de tener menos conocimiento de los instrumentos de evacuación. Por el contrario, aquellos que declaran conocer las vías de evacuación y las zonas de riesgo se encuentran más preparados, aun cuando afirman que no. Se debe tener cuidado en generalizar estos resultados pues sólo fueron consultadas 21 personas por lo que esta muestra carece de re-



Figura 8. a) Mapa de rehabilitación, Mariscadero 2010-2015, b) sección transversal Mariscadero, c) sector residencial 2010, d) nuevas tipologías de construcción de sector residencial 2015.

presentatividad adecuada para toda la población de la comuna.

Revisión de instrumentos de planificación, reconstrucción y emergencia

A continuación se muestran los resultados del análisis de los tres instrumentos de planificación aplicados en la comuna: El Plan Regulador Comunal de Pelluhue

(PRC) como instrumento de planificación, el Plan de Reconstrucción Sustentable (PRES) como instrumento de reconstrucción y el Plan de Protección Civil ante Tsunami, como instrumento de emergencia.

Plan Regulador Comunal de Pelluhue (PRC)

El PRC es un instrumento de planificación territorial que está regido por la Ley General de Urbanismo y

Tabla 1. Resultados consulta de percepción, clasificados según la experiencia del entrevistado respecto al tsunami. Los valores son porcentajes de respuestas afirmativas.

#	Ítem	Vivió el tsunami	No vivió tsunami
1.	Conoce las zonas de riesgos de la comuna	92,3%	87,5%
2.	Conoce las rutas evacuación de la comuna	91,7%	87,5%
3.	Siente preocupación por el próximo tsunami	53,8%	100,0%
4.	Nota cambios en la infraestructura después del 2010	61,5%	87,5%
5.	Sabe si reside en un área de riesgo o en un área segura	100,0%	40,0%
6.	Percibe una mejor preparación de la comuna	66,7%	62,5%

Construcciones, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y por el Plan Regulador Intercomunal de Cauquenes-Chanco-Pelluhue. El PRC define el marco reglamentario que rige sobre edificaciones, divisiones, vialidad, densidades y límites urbanos, a objeto de regular el proceso de desarrollo físico y funcional de la comuna (Municipalidad de Pelluhue, 2012). Un componente fundamental del PRC es la ordenanza que establece la zonificación de la comuna, que sobre la base de criterios de riesgo, establece las áreas restringidas al desarrollo urbano. Sobre la zonificación se entrega una serie de normas específicas determinadas en la ordenanza, que regulan las edificaciones emplazadas en una determinada zona.

El 5 de diciembre de 2012 se aprobó la nueva ordenanza para el PRC, que propone una nueva zonificación urbana considerando riesgos naturales como inundación, avalanchas, rodados, aluviones y erosión. Esta nueva zonificación fija restricciones especiales para aquellas zonas ubicadas dentro del área de inundación provocada por el tsunami de 2010. La ordenanza entrega una serie de restricciones y recomendaciones cuyo objetivo es regular las actividades y fijar requerimientos estructurales para edificaciones expuestas a la amenaza de tsunami. En concreto, la zonificación regula la subdivisión predial, los coeficientes de ocupación y constructibilidad, altura máxima de edificación, el agrupamiento y antejardín mínimo. Las normas urbanísticas de subdivisión y edificación para las zonas urbanas se definen en la Tabla 2, mientras que las zonificaciones se exponen en mapas de rehabilitación para las tres localidades (Figs. 5a, 7a, 8a).

En la nueva zonificación para áreas afectadas por el tsunami de 2010, destacan la Zona Turística de Borde Costero (ZTBC-1), Zonas de Áreas Verdes (ZAV), Zona Mixta (ZU-1), Zona Centro (ZC) y Zona Mixta Residencial (ZU-2). En la Tabla 2 se observa que para aquellas zonas destinadas a uso residencial emplazadas dentro de la línea de inundación (ZTBC-1), las normas urbanísticas de subdivisión y edificación permiten un bajo coeficiente de ocupación de suelo. Esta restricción

ha promovido el uso de estructuras con un primer piso tipo marco con un bajo coeficiente de ocupación, sobre la cual se levantan las viviendas.

Sin embargo, la ordenanza no declara materialidad o requerimientos estructurales mínimos para estas estructuras. En las ZAV, próximas a la línea costera o cauces de ríos, se prohibió el uso para fines residenciales por lo que no hay nuevas tipologías. En el área inundada del centro urbano de Curanipe se designaron como ZTBC-1 y ZC dos sectores con condiciones similares (Fig. 5a), por lo que se aplican en la práctica distintos criterios para definir los valores de subdivisión y edificación.

Se aprecia que más allá de los conflictos que la nueva zonificación ha traído a la comuna, existe un impacto positivo en el repoblamiento costero. Esto se refleja en las nuevas tipologías utilizadas en la ZTBC-1, que permiten el flujo del agua a través de la estructura, oponiendo una menor resistencia que una vivienda convencional. Los conflictos puntuales, en contraste, radican en aquellas viviendas que se emplazaban en lo que actualmente son ZAV, y que como consecuencia de las nuevas restricciones debieron adquirir terrenos en zonas habitables para emplazar sus viviendas.

Plan de Reconstrucción Sustentable para la Comuna de Pelluhue (PRES)

Tras la tragedia del 27 de febrero de 2010 (27F) y como parte del Plan de Reconstrucción impulsado por el Gobierno de Chile, un equipo multidisciplinario compuesto por instituciones del ámbito académico y profesional elaboró el PRES. Este plan buscaba “promover la generación, perfeccionamiento e implementación de acciones replicables que fortalezcan una visión de desarrollo sustentable para la comuna de Pelluhue, focalizada en las zonas afectadas por el terremoto y posterior maremoto del 27F, para un horizonte de 10 años” (Consorcio, 2010). El PRES contó con la participación de entidades universitarias y profesionales privadas, siendo financiado por la Embajada Británica (Consorcio, 2010). El documento

Tabla 2. Norma urbanística de subdivisión y edificación para la Comuna de Pelluhue.

Zonas urbanas con uso residencial	Descripción	Superficie de subdivisión predial mínima	Coeficiente de ocupación de suelo	Coeficiente de constructibilidad	Altura máxima de edificación	Sistema de agrupamiento	Densidad bruta máxima
ZC	Zona centro	400 m ²	0,8	2,5	15 m	Continuo	240 hab ha ⁻¹
ZU-1	Zona mixta 1	300 m ²	0,6	2,5	11 m	Aislado, continuo	240 hab ha ⁻¹
ZU-2	Zona mixta residencial 2	200 m ²	0,5	2,5		Aislado, continuo	160 hab ha ⁻¹
ZU-3	Zona residencial 3	600 m ²	0,3	0,6	7 m	Aislado	68 hab ha ⁻¹
ZTBC-1	Zona turística de borde costero 1	800 m ²	0,05 (0,5 sobre 2 pisos)	1,0	7 m	Aislado	No define
ZTBC-2	Zona turística de borde costero 2	800 m ²	0,6	1,0	15 m	Aislado	No define
Zonas urbanas sin uso residencial							
ZAV	Zona de áreas verdes	2500 m ²	0,1	0,1	No define	Aislado	No define
ZAC	Zona de asentamiento costero	500 m ²	0,2	0,6	7 m	Aislado	No define

plantea estrategias de planificación urbana dirigidas a una reinterpretación de las zonas urbanas de borde costero afectadas por la inundación del tsunami, mediante la creación de zonas de riesgo de tsunami. El plan se ejecutó mediante una serie de proyectos simultáneos en Curanipe y Pelluhue, los cuales estuvieron mayoritariamente enfocados en la reconstrucción de viviendas para quienes resultaron más afectados. Los proyectos proponían el uso de los elementos naturales del paisaje, como las dunas costeras y bosques para construir barreras de mitigación, con bajo impacto paisajístico y bajos costos de inversión. Sin embargo, los proyectos propuestos en el PRES han experimentado problemas de implementación (Moris & Walker, 2014), por lo que su impacto en el desarrollo urbano es imperceptible.

Plan de protección civil ante tsunami

Las comunas costeras de la Región del Maule, en particular Pelluhue, no contaban con planes de protección civil ante tsunami antes de 2010. Como parte de una actualización de los planes de emergencia para las localidades afectadas por este evento, la Oficina Nacional de Emergencia del Gobierno de Chile elaboró estos planes en los que se definieron las vías de evacuación y las zonas seguras para cada localidad (ONEMI, 2013). Desde entonces, se emplea señalética con estándares internacionales para identificar el área y vías de evacuación, zonas seguras y puntos de encuentro. La práctica regular de simulacros de evacuación por tsunami ha contribuido también a optimizar los tiempos de evacuación hacia zonas seguras. A pesar de las carencias en el mantenimiento y manejo de las señaléticas y alarmas, hoy la mayoría de los pobladores reconoce las vías de evacuación y zonas seguras, según se desprende de la consulta de percepción ciudadana realizada en 2015. No obstante, el grado de conocimiento del plan de protección civil es bajo entre los visitantes y turistas, siendo el grupo con más víctimas en la comuna.

DISCUSIÓN

El proceso de recuperación de la comuna de Pelluhue ha sido lento pero progresivo, desde 2010 a la fecha. La nueva tipología estructural elevada que ha sido erigida en los sectores residenciales afectados por el tsunami (ZTBC-1), muestra criterios de adaptación que suponen una mejor respuesta de estas ante un futuro evento de similares características al tsunami de 2010. Sin embargo, debido a las restricciones impuestas por la ordenanza del Plan Regulador Comunal, esta tipología sólo ha sido utilizada en las zonas ZTBC-1, y no en otras zonas ubicadas dentro del área de inundación. Ejemplos donde la zonificación no es efectiva en impo-

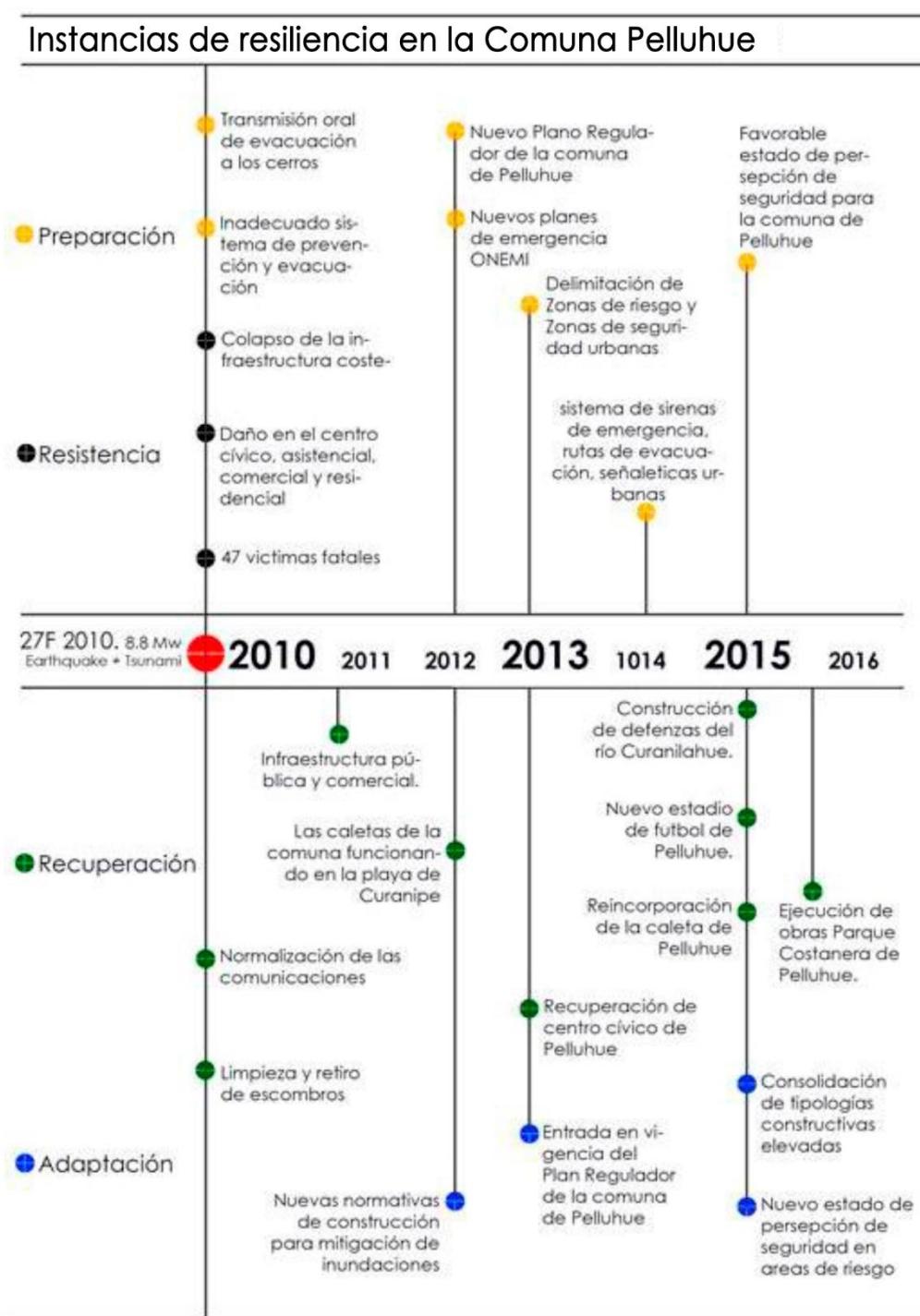


Figura 9. Instancias de resiliencia en la Comuna de Pelluhue.

ner medidas de adaptación estructural son los edificios del centro cívico de Curanipe y los edificios emblemáticos de Pelluhue, que fueron parcialmente destruidos por el tsunami.

Una deficiencia presente en el Plan Regulador Comunal es que no impone requisitos mínimos de

materialidad ni diseño estructural, por lo que el cumplimiento de los coeficientes de ocupación máximos en las ZTBC-1 se logra con viviendas con un primer piso constituido por marcos de madera u hormigón armado. Naturalmente, el desempeño de estos materiales es dispar, tanto desde el punto de vista

sísmico como ante las cargas de tsunami. En vista de este vacío, urge alguna normativa complementaria al Plan Regulador Comunal que: i) imponga requerimientos estructurales mínimos según los materiales empleados, y ii) defina una metodología que permita estimar la zona de inundación por tsunami. En esta línea, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2013) elaboró una propuesta de la norma denominada “Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche” (NTM007), donde se establecen requisitos mínimos de diseño estructural para edificaciones ubicadas en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que se encuentran en áreas de riesgo de inundación. En marzo de 2015 el Instituto Nacional de Normalización emitió la norma chilena NCh 3363 sobre la base de la NTM007 (INN, 2015) que, a la fecha, no tiene carácter oficial. La norma rescata algunos elementos interesantes, como la incorporación de un profesional especialista encargado del diseño de edificaciones emplazadas en terrenos bajo la cota de inundación, y la incorporación de una autoridad competente que debe especificar las zonas potencialmente inundables en caso de no estar definidas en los instrumentos de planificación territorial. Con todo, esta norma no ha entrado en vigencia y se desconocen las consecuencias de su implementación.

Por otra parte, la falta de adaptación en la comuna se percibe también a escala urbana. En un periodo de 5 años y tras producirse dos nuevos tsunami en la costa chilena en 2014 y 2015 (An *et al.*, 2014; Aránguiz *et al.*, 2015; Catalán *et al.*, 2015; Contreras-López *et al.*, 2016), aún no existen obras de mitigación de tsunami en ninguno de los centros urbanos de la comuna. Esta desatención ignora el nivel protector ofrecido por las dunas (*e.g.*, Mascarenhas & Jayakumar, 2008) ubicadas en las ZAV y la posibilidad de crear bosques de protección de tsunami (*e.g.*, Irtem *et al.*, 2009; Tanaka, 2012). Las obras de mitigación propuestas en esta línea por el PRES no tuvieron protagonismo en la cartera de proyectos, por lo que actualmente no existe en la comuna una estrategia a escala urbana de protección ante tsunamis. Las instancias de resiliencia ejecutadas en la comuna se resumen en la Figura 9. Se aprecia un incremento en las medidas de preparación en la comuna, así como una focalización en las medidas de recuperación durante los 5 años después del tsunami. Sin embargo, salvo por las recomendaciones para edificaciones residenciales de la ZTBC-1, estas obras de recuperación no están vinculadas directamente a acciones de adaptabilidad, ni tampoco atienden factores de disminución de riesgo por tsunami, como la incorporación de las obras de mitigación propuestas en el PRES, en ninguno de los centros urbanos de la

comuna. Por otra parte, la reducción del riesgo debiera basarse en la estimación de las zonas potencialmente inundables ante escenarios distintos al de 2010, siguiendo metodologías de evaluación de la amenaza tradicionales (*e.g.*, Álvarez-Gómez *et al.*, 2013), probabilísticas (González *et al.*, 2009) o multi-determinísticas (Priest *et al.*, 2009), que a la fecha, son inexistentes en la Comuna de Pelluhue.

Uno de los avances más significativos en cuanto a la protección de vidas lo constituye la implementación en 2013 del Plan de Protección Civil. Salvo la tradición oral, que sugiere la evacuación hacia los cerros tras un fuerte movimiento sísmico (Marín *et al.*, 2010), en 2010 no existían alarmas de evacuación ni tampoco conocimiento entre residentes y turistas de la ubicación de zonas seguras hacia donde evacuar. Actualmente, las vías de evacuación y las zonas seguras se encuentran habilitadas y enunciadas mediante señalética de estándar internacional. La mayor preparación por parte de la comunidad, al realizar esporádicamente ejercicios de evacuación, así como la mayor información que existe hoy por parte de autoridades y medios de comunicación local, han generado una tendencia por parte de los residentes a identificar la comuna como un asentamiento con mayor seguridad y mejor preparado ante un posible tsunami que antes del 2010, lo que se refleja en la consulta ciudadana realizada en 2015. Sin embargo, aún persiste desconocimiento e incertidumbres por parte de los visitantes.

CONCLUSIONES

Como consecuencia del tsunami del 27 de febrero de 2010, en el borde costero de la Comuna de Pelluhue se registraron 47 víctimas, daños severos en edificaciones de madera, material predominante de las edificaciones y daños menores en las edificaciones de albañilería y hormigón armado. La inexistencia -previo a 2010- de estrategias de mitigación, incluyendo una zonificación por riesgo de tsunami y normas de diseño estructural para construcciones emplazadas en zonas inundables, explican en parte por qué la comuna fue una de las más afectadas de Chile. Producto de la catástrofe, se implementaron diversos instrumentos de ordenamiento territorial y emergencia que han tenido distinta efectividad.

El Plan de Reconstrucción Sustentable (PRES) para la comuna de Pelluhue materializado inicialmente mediante la construcción de viviendas fuera de la zona de riesgo, no fue efectivo en implementar obras de mitigación basadas en el uso de elementos del paisaje, como barreras de dunas y bosques. Las modificaciones incorporadas al Plan Regulador Comunal en 2012 promovieron la aparición de una nueva tipología de

marcos estructurales en el primer piso, en respuesta a la baja densidad de ocupación de uso de suelo permitida. Estas se localizan principalmente en la Zona Turística de Borde Costero (ZTBC-1). Esta nueva tipología no obstante, no está sometida a criterios mínimos de materialidad ni diseño estructural, existiendo incertidumbre sobre su efectividad. En otras zonas inundables (zona centro ZC, mixta ZU-1 y mixta residencial ZU-2) no se introdujeron nuevas prácticas constructivas ni medidas de mitigación, por lo que su exposición a la amenaza de tsunami es similar a antes de evento de 2010. Desde la incorporación del plan de emergencia por parte de ONEMI en 2013, existe una mejor preparación y educación por parte de los residentes de la comuna. Sin embargo, los visitantes tienen escaso conocimiento sobre las zonas de riesgo y de cómo reaccionar ante un tsunami. Las carencias identificadas en este trabajo debieran ser consideradas por las autoridades locales de modo de minimizar el daño estructural y el riesgo de la población flotante que se registra en la comuna durante la época estival.

REFERENCIAS

- Álvarez-Gómez, J.A., Í. Aniel-Quiroga, O.Q. Gutiérrez-Gutiérrez, J. Larreynaga, M. González, M. Castro, F. Gavidia, I. Aguirre-Ayerbe, P. González-Riancho & E. Carreño. 2013. Tsunami hazard assessment in El Salvador, Central America, from Seismic sources through flooding numerical models. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13(11): 2927-2939. doi:10.5194/nhess-13-2927-2013.
- An, C., I. Sepúlveda & P.L.-F. Liu. 2014. Tsunami source and its validation of the 2014 Iquique, Chile, earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 41(11): 3988-3994.
- Aránguiz, R., G. González, J. González, P.A. Catalán, R. Cienfuegos, Y. Yagi & C. Rojas. 2015. The 16 September 2015 Chile tsunami from the post-tsunami survey and numerical modeling perspectives. *Pure Appl. Geophys.*, 173(2): 1-16.
- Catalán, P.A., R. Aránguiz, G. González, T. Tomita, R. Cienfuegos, J. González & A. Gubler. 2015. The 1 April 2014 Pisagua tsunami: observations and modeling. *Geophys. Res. Lett.*, 42(8): 2918-2925.
- Concha, C. & A. Rasse. 2014. La ruta de las caletas del Maule: sobre la articulación entre sector público, privado y sociedad civil en los procesos de reconstrucción posterremoto. *Rev. Geogr. Norte Grande*, 59: 165-184.
- Consortio. 2010. PRES/Pelluhue. 2014. Plan de reconstrucción estratégico-sustentable. Consorcio para la reconstrucción de la Comuna de Pelluhue. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, Santiago, 168 pp.
- Contreras, M. & P. Winckler. 2013. Pérdidas de vidas, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el tsunami del 27 de Febrero de 2010 en la costa central de Chile. *Obras y Proyectos*, 14: 6-19.
- Contreras-López, M., P. Winckler, I. Sepúlveda, A. Andaur-Álvarez, F. Cortés-Molina, C.J. Guerrero & H. Vergara. 2016. Field survey of the 2015 Chile tsunami with emphasis on coastal wetland and conservation areas. *Pure Appl. Geophys.*, 173(2): 349-367.
- Dominey-Howes, D., L. Dengler, P. Dunbar, L. Kong, H. Fritz, F. Imamura & J. Borrero. 2014. Post-tsunami survey field guide. International Tsunami Survey Team (ITST), UNESCO-IOC, Paris, 144 pp. [http://itc.iocunesco.org/images/stories/itst_tsunami_survey/survey_documents/field_survey_guide/ITST_FieldsSurveyGuide_229456E.pdf]. Reviewed: 12 April 2016.
- Edge, B.L. 2013. Chile earthquake and tsunami of 2010: performance of coastal infrastructure. ASCE, Virginia, 144 pp.
- Fiscalía de Chile. 2011. Fiscalía entrega informe de fallecidos y desaparecidos por tsunami del 27 de febrero de 2010. [http://www.fiscaliaechile.cl/Fiscalia/sala_prensa/noticias_det.do?id=125]. Reviewed: 13 April 2016.
- Fritz, H., C. Petroff, P. Catalán, R. Cienfuegos, P. Winckler, N. Kalligeris, R. Weiss, S. Barrientos, G. Meneses, C. Valderas-Bermejo, C. Ebeling, T. Papadopoulos, M. Contreras, R. Almar, J. Domínguez & C. Synolakis. 2011. Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami. *Pure Appl. Geophys.*, 168(11): 1989-2010.
- Gobierno de Chile. 2010. Plan de reconstrucción terremoto y maremoto del 27 de febrero de 2010. Gobierno de Chile, Ministerio de Desarrollo Social Sitio, Santiago. 47 pp. [<http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pdf/plan-reconstruccion-resumen-ejecutivo.pdf>]. Reviewed: 13 April 2016.
- Godschalk, D.R. 2003. Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Nat. Hazards Rev.*, 4(3): 136-143.
- González, F.I., E.L. Geist, B. Jaffe, U. Kânoğlu, H. Mofjeld, C.E. Synolakis, V.V. Titov, D. Arcas, D. Bellomo, D. Carlton, T. Horning, J. Johnson, J. Newman, T. Parsons, R. Peters, C. Peterson, G. Priest, A. Venturato, J. Weber, F. Wong & A. Yalciner. 2009. Probabilistic tsunami hazard assessment at seaside, Oregon, for near -and far- field seismic sources. *J. Geophys. Res.*, 114, C11023, doi:10.1029/2008JC005132, 2009.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2002. Censo 2002 resultados (Vol. 1). Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago, 356 pp.

- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2015. Encuesta mensual de alojamiento turístico marzo 2015. Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago, 71 pp.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2015. Norma Chilena NCh 3363. Diseño estructural - edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 18 pp.
- Irtem, E., N. Gedik, M.S. Kabdasli & N.E. Yasa. 2009. Coastal forest effects on tsunami run-up heights. *Ocean Eng.*, 36(3): 313-320.
- Jha, A.K., T.W. Miner & Z. Stanton-Geddes (eds.). 2013. Building urban resilience: principles, tools, and practice. World Bank Publications, Washington, 209 pp.
- Krause, G. 2004. The "Emery-Method" revisited-performance of an inexpensive method of measuring beach profiles and modifications. *J. Coast. Res.*, 20(1): 340-346.
- Marín, A., S. Gelcich, G. Araya, G. Olea, M. Espíndola & J.C. Castilla. 2010. The 2010 tsunami in Chile: devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Mar. Policy*, 34(6): 1381-1384.
- Mascarenhas, A. & S. Jayakumar. 2008. An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: role of sand dunes and forests. *J. Environ. Manage.*, 89(1): 24-34.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2007-2012. Infraestructura para la competitividad del Ministerio de Obras Públicas en la promoción del crecimiento económico. Turismo, Santiago, pp. 20-21.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). 2013. Norma Técnica NTM 007. Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, 32 pp.
- Moris, R. & R. Walker. 2014. Reconstrucción de territorios vulnerables en un escenario de reconstrucción inequitativa. El caso de Pelluhue, Chile. Contenido en Aprendiendo del 27F: Una evaluación comparativa de los procesos de reconstrucción urbana en Chile tras el terremoto de 2010. Proyecto de investigación Columbia-Chile Fund. pp. 103-122. [http://globalcenters.columbia.edu/santiago/santiago/files/globalcenters_chile/L27F_Final%20Report%20-%20ESP%20-26-2-2015.pdf]. Reviewed: 27 June 2017.
- Municipalidad de Pelluhue. 2012. Decreto Alcaldicio N°6629. Aprueba ordenanza Plan Regulador Comunal de Pelluhue. Municipalidad de Pelluhue. [http://www.munipelluhue.cl/plan_regulador.htm]. Reviewed: 12 April 2016.
- Oficina Nacional de emergencias, Ministerio del Interior (ONEMI). 2013. Plan de protección civil ante tsunamis, comuna de Pelluhue. Oficina Nacional de emergencias, Ministerio del Interior, Santiago. [<http://www.onemi.cl/wp-content/uploads/2013/09/PELLU-HUE.pdf>]. Reviewed: 12 April 2016.
- Priest, G.R., C. Goldfinger, K. Wang, R.C. Witter, Y. Zhang & A.M. Baptista. 2009. Tsunami hazard assessment of the Northern Oregon coast: a multi-deterministic approach tested at Cannon Beach, Clatsop County, Oregon. Oregon Department of Geology Mineral Industries, Special Paper, 41: 87 pp.
- Rosati, J.D., K.F. Touzinsky & W.J. Lillycrop. 2015. Quantifying coastal system resilience for the US Army Corps of Engineers. *Environ. Syst. Decis.*, 35: 1-13.
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). 2010. Estadísticas de alojamiento turístico (EAT) según comunas año 2009. Servicio Nacional de Turismo, Santiago, 73 pp. [<http://www.sernatur.cl/wp-content/uploads/2016/11/Alojamiento-turístico-según-comunas-2009.pdf>]. Reviewed: 28 November 2016.
- Silva, R., M.L. Martínez, P.A. Hesp, P. Catalán, A.F. Osorio, R. Martell, M. Fossati, G.M. da Silva, I. Mariño-Tapia, P. Pereira, R. Cienguegos, A. Klein & G. Govaere. 2014. Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. *J. Coast. Res.*, 71(Suppl.): 1-16.
- Tanaka, N. 2012. Effectiveness and limitations of coastal forest in large tsunami: conditions of Japanese pine trees on coastal sand dunes in tsunami caused by Great East Japan Earthquake. *J. Jpn. Soc. Civ. Eng.*, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), 68(4): II 7-II 15.
- USGS. 2011. Largest earthquakes in the world since 1900. [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php]. Reviewed: 30 March 2016.
- Villagrán, M., R. Cienfuegos, P. Catalán & R. Almar. 2013. Morphological response of central Chile sandy beaches to the 8.8 Mw 2010 earthquake and tsunami. 7th International Conference Coastal Dynamics, 24-28 June 2013, Arcachon, France, pp. 1823-1834.
- Walker, B., C.S. Holling, S.R. Carpenter & A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and society*, 9(2): 5. [<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>]. Reviewed: 13 April 2016.