



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

**“MODELACIÓN DINÁMICA DEL COMPORTAMIENTO ANTE  
EVACUACIÓN POR TSUNAMI: LA TOMA DE DECISIÓN VISTA COMO  
UNA HOMEOSTASIS DEL RIESGO”**

**FERNANDO JAVIER WACHTENDORFF VARGAS**

**PROFESOR GUÍA: LUIS FELIPE ROBLEDO ALDANA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**SANTIAGO-CHILE  
ENERO, 2017**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**  
**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD**

Yo, **Fernando Javier Wachtendorff Vargas**, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, enero de 2017

---

Firma del alumno

*Especial dedicatoria a mi familia,  
madre, tíos y hermanos,  
son ellos los que se llenan de orgullo  
por un trabajo bien hecho,  
igual como lo debe estar mi padre en el cielo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecimientos a todos los que aportaron un granito de arena para la construcción de esta tesis, desde gente de la escuela a conversaciones con compañeros que dieron pistas para afrontar este desafío.*

*También agradezco a mi profesor guía PhD. Luis Robledo por darme la oportunidad de desarrollar esta investigación, por los conocimientos y comprensión entregados.*

*Asimismo, agradezco a la Dr. María Teresa Bull de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, por revisar y aportar a esta tesis.*

## CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I.1. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO EN EVACUACIONES	2
I.2. DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
I.3. CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO Y SU IMPORTANCIA	7
I.4. OBJETIVO GENERAL	7
I.4.1. <i>Objetivos Específicos</i>	7
I.5. ESTADO DEL ARTE	8
I.6. PROPUESTA METODOLÓGICA	10
I.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
<b>II. ARTÍCULO PROPUESTO</b>	<b>18</b>
<b>ANEXO A. PROCESOS INTERNOS DE LA TIERRA</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO B. TERREMOTOS, UN DESASTRE NATURAL</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO C. SISMICIDAD EN CHILE</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO D. TSUNAMIS</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO E. TSUNAMI DEL AÑO 2010</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO F. TEORÍA DE DECISIONES</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO G. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO H. ENCUESTA Y RESULTADOS</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla B.1.</b> Escala de Mercalli Modificada	50
<b>Tabla B.2.</b> Categoría terremotos según magnitud	53
<b>Tabla D.1.</b> Relación profundidad con velocidad y largo de onda	60
<b>Tabla E.1.</b> Llegada de olas en distintas localidades	61
<b>Tabla F.1.</b> Consecuencias de cada modelo decisional	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1.</b> Tipología grilla/grupo	6
<b>Figura A.1.</b> Placas tectónicas	41
<b>Figura A.2.</b> Movimiento por convección del manto	42
<b>Figura B.1.</b> Anillo de fuego del pacifico	45
<b>Figura B.2.</b> Interacción de placa de Nazca con placa Sudamericana a través del tiempo	47
<b>Figura C.1.</b> Zonas sismogénicas en proceso de subducción	55
<b>Figura D.1.</b> Tsunami generado por desplazamiento del suelo oceánico	59
<b>Figura F.1.</b> Panorama de la teoría de decisión	67
<b>Figura G.1.</b> Mapa de Talcahuano	68
<b>Figura G.2.</b> Carta de inundación Talcahuano - San Vicente	69
<b>Figura G.3.</b> Distribución población Talcahuano por sectores	69
<b>Figura G.4.</b> Habitantes por manzanas en sector céntrico expuestos a riesgo de inundación por tsunami	71
<b>Figura G.5.</b> Numero de encuestas por manzanas, expuestos a riesgo de inundación por tsunami	72
<b>Figura G.6.</b> Carta de inundación sector céntrico Talcahuano	73
<b>Figura G.7.</b> Mapa de evacuación de tsunami en sector de estudio	74
<b>Figura G.8.</b> Simbología en mapa de evacuación	74

## **I. INTRODUCCIÓN**

Chile es un país sísmico, año tras año algún lugar del país sufre las consecuencias de un sismo. El que se diga que Chile es incluso el país más sísmico del mundo se debe a que la placa de Nazca subducta a la placa Sudamericana a un ritmo de 6-7 cm por año, siendo uno de las mayores ratios de convergencia del planeta. Estas dos placas interactúan a lo largo de gran parte del país y son las que han producido los grandes terremotos de Chile y del mundo, como el terremoto de Valdivia del año 1960.

A la memoria reciente los eventos que destacan son el terremoto del año 2010 en el Maule, el terremoto de Iquique de 2014 y el terremoto de Coquimbo del año 2015, estos tres eventos tienen elementos en común, fueron grandes terremotos por sobre 8 grados de magnitud y los tres generaron un tsunami. Un tsunami es una amenaza natural; al igual que los terremotos, y se producen generalmente como consecuencia directa del terremoto, específicamente, si el sismo tuvo una componente vertical capaz de deformar el fondo oceánico. Existe una relación positiva entre la magnitud o energía del sismo y la magnitud del tsunami. De todas formas, un tsunami es un evento poco frecuente.

En el terremoto del año 2010; que fue de magnitud 8,8  $M_w$  siendo el segundo de mayor magnitud registrado en Chile después del terremoto de Valdivia de 9,5  $M_w$ , la destrucción que dejó el tsunami fue importante, causando un tercio de las muertes del evento en general, 181 sobre 521 víctimas fatales.

La magnitud del tsunami depende de la energía liberada por el sismo como por otros factores, existen escalas para medir la intensidad de estos, si el tsunami es del tipo mayor, es decir, se producen grandes daños en la costa pudiendo ocasionar muertes, lesiones u otros tipos de perjuicios, la única opción que tiene la población para escapar del desastre es evacuando, las evacuaciones posibles son del tipo vertical u horizontal.

En Chile el encargado de alertar a la población ante cualquier emergencia es la ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública), la ONEMI recopila información, en este



caso, a través del SHOA (servicio hidrográfico y oceanográfico de la armada de Chile) y emite una advertencia dependiendo de la magnitud o la gravedad de la situación que se enfrenta. Cuando ONEMI emite una advertencia a la población costera de evacuar, el pensamiento racional indicaría que la totalidad de la población evacua, pero esto no sucede.

Gracias al convenio entre la Universidad Católica de la Santísima Concepción y la Universidad Andrés Bello, se realizó una encuesta en el sector céntrico de la ciudad de Talcahuano que mide el comportamiento de la población durante el terremoto y tsunami de 2010 y la alerta emitida para todo el borde costero por terremoto y posterior tsunami de Coquimbo del año 2015, esta encuesta evidencia que hay un porcentaje de la población que no evacua. ¿Qué influye para que una persona tome la decisión de evacuar o no? Responder esta pregunta es el motivo de la investigación del presente proyecto, identificar las variables que contribuyen en el proceso de toma de decisión y crear un modelo dinámico con estas variables.

### **I.1. Estudio del comportamiento en evacuaciones**

Tradicionalmente el estudio de evacuaciones se ha centrado en el aspecto físico, es decir, formación de cuellos de botella, tiempos y velocidad de los peatones, etc. Todo esto con el fin de simular escenarios y sacar conclusiones.

Lo relevante es que, durante la emergencia, debido al potencial desastre que genera un tsunami, no es tiempo para improvisar, para esto organizaciones gubernamentales como no gubernamentales se esfuerzan en preparar a la población, aspectos como reducir la vulnerabilidad o aumentar la resiliencia han sido los principales focos. En el fondo es tener una población más y mejor preparada.

¿En modelos de evacuación se incorporan modelos de comportamiento humano de las personas (agentes) o rasgos culturales que pueden influir en la evacuación? Por lo general los modelos de evacuación incorporan patrones de comportamiento que en su defecto permiten la simulación, pero ¿reflejan fielmente la realidad?

Lo cierto es que incorporar el comportamiento humano es una labor que resulta compleja debido a la dificultad de conceptualizar conductas que no se pueden estandarizar. Lo que se pretende hacer en este trabajo

no procura ser la respuesta a esta problemática, sino el primer avance para desarrollar modelaciones más representativas.

## **I.2. Discusión bibliográfica**

Un tsunami es una amenaza natural. Para que ocurra un desastre esa amenaza debe afectar a algo o alguien, que por lo general se encuentran en estado de vulnerabilidad. Por lo tanto, un desastre es el resultado de una serie de fases, tal como las describe Leach (1994), su modelo se compone de 5 fases, estas son:

- Fase de pre-impacto
  - Etapa de amenaza
  - Etapa de advertencia
- Fase de impacto
- Fase de retroceso
- Fase de rescate
- Fase de post-trauma

Cada fase tiene distintos espacios temporales según la amenaza que se considera, esto determina el comportamiento o la habilidad de hacer frente a la amenaza. En el caso de un terremoto es posible establecer la amenaza latente, esto lo determinan los expertos al decir que una zona tiene una laguna sísmica y ha acumulado suficiente energía como para producir un terremoto, o se identifican eventos precursoros. El momento cuando va a ocurrir sigue siendo incierto, por lo tanto, no se tiene una etapa de advertencia.

El tsunami es un evento consecuente del sismo, consiguiente su etapa de amenaza se podría asociar posterior a la fase de impacto del terremoto. Detectar si hay probabilidades o con certeza decir que se producirá un tsunami es factible, por lo que el periodo de advertencia surge unos minutos después del sismo. Es decir, en la fase de pre-impacto del tsunami, desde la etapa de amenaza hasta de advertencia es de utilidad analizar el comportamiento, pues en estos momentos es cuando se debe evacuar, en la fase de impacto; si el tsunami es importante, las cartas están echadas.

Durante el periodo de amenaza el comportamiento de la población generalmente es de inactividad, esta etapa tiende a ser ineficiente si no

existe preparación hacia la población, durante la amenaza hay un conocimiento de la probabilidad de un desastre. La mayor fuente de inactividad es la negación, las personas meramente desconocerán la posibilidad de que una amenaza los afecte. Este efecto se conoce como disonancia cognitiva, la disonancia dice que en condiciones normales las actitudes de un individuo tienden a ser consistentes con otras actitudes que ha tomado. En ocasiones el conocimiento o la actitud no son consistentes con su comportamiento, por ejemplo, una persona puede creer o saber que fumar es dañino pero seguirá fumando (Leach, 1994).

Existen otros motivos por los cuales la población no se prepara para un desastre. Primero la planificación y preparación son inconvenientes, requieren de un esfuerzo físico y mental de una población esencialmente apática. Segundo, esa preparación y planificación generalmente tiene un costo monetario por lo que la opción es tomar seguros ante desastres, y tercero algo más supersticioso en cierta población es creer que prepararse para algo significa querer invocar ese desastre, por lo que la actitud es no pensar en ello por temor (Leach, 1994).

Durante el periodo de advertencia; periodo anterior al impacto, es cuando el peligro se hace muy latente, en términos prácticos es la cristalización de la amenaza. El comportamiento de la población pasa de inactivo a hiperactivo, frenético y generalmente poco efectivo. También se ha encontrado que la respuesta psicológica más común durante la advertencia sigue siendo la negación, existe una negación a la advertencia. En muchos casos una advertencia sirve para alarmar a la población, pero no para informar, esta advertencia puede ser malentendida o malinterpretadas, incluso no se identifica la amenaza asociada a la advertencia ni tampoco si esa advertencia está dirigida hacia el receptor. Las personas buscan información adicional o comprobar la acción de otros para generar la conducta (Leach, 1994).

En el terreno de las evacuaciones del tipo físicas, investigaciones como la de Cheng, Bo, Lijun, & Hua (2008) en donde se modela el comportamiento individual utilizando el algoritmo PSO (Particle Swarm Optimization). El algoritmo PSO se basa en las teorías de enjambre; también consideran la dinámica de bandada de pájaros, y cardúmenes de peces, para modelar el comportamiento (Kennedy & Eberhart, 1995). En la simulación de evacuación los comportamientos de los individuos siguen

tres niveles jerarquizados, estos son: (1) Comportamiento básico: asociado a la velocidad de desplazamiento con relación a la densidad de agentes en espacio físico. (2) Comportamiento individual: decisiones en cuanto a la salida del lugar. (3) Comportamiento social: comportamiento en congestión.

En otra investigación, los individuos siguen un comportamiento básico en evacuación, en donde las reglas son: (1) Cada persona escoge el camino más corto. (2) Tienen completa información sobre el lugar. (3) Las personas evacúan solas y no comparten información. (4) Cambios de velocidad según densidad. (5) comportamiento ante congestión: espera irrestricta. (6) Cambio de comportamiento ante el camino a seguir, solo si, se contempla un peligro delante (Pacheco, Karelavic, & Cipriano, 2015).

En el otro aspecto de la evacuación, si se analiza en profundidad el comportamiento de los individuos; que a la larga determinará su conducta, tenemos dos grandes aproximaciones, ambas relacionados con la percepción del riesgo. La primera es el “paradigma psicométrico” y el segundo la “teoría cultural”. El paradigma psicométrico, tiene raíces en la psicología y la teoría de decisiones, por lo que factores cognitivos influyen la percepción del riesgo.

Los tsunamis son poco frecuentes, por lo tanto, solo un cierto grupo de la población tiene la experiencia necesaria para detectar las señales correctamente y tomar las medidas preventivas (Wachinger, Renn, Begg, & Kuhlicke, 2013).

Los individuos que se enfrentan a una alerta pasan por una serie de etapas que determinan su percepción del riesgo y su comportamiento, estas son: (escuchar, confirmar, entender, creer, personalizar, responder). La respuesta a la emergencia es una consecuencia directa de la percepción del riesgo: (entender, creer, personalizar). De la información de la amenaza: (especificidad, consistencia, certeza, exactitud, claridad, canal, frecuencia, fuente). De las características personales del que recibe la información: (demográficos, conocimientos, experiencia, recursos, redes sociales, cognición) (Mileti & Brien, 1992).

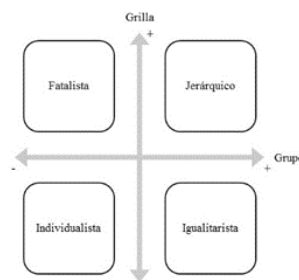
Las variaciones en los resultados de la evacuación para cada individuo dependen de cómo cada persona escucha, confirma, entiende, cree,

personaliza y responde a la emergencia. La respuesta a la evacuación es un proceso donde la advertencia es validada como también que el riesgo es real. Si los individuos no creen en la alerta ni tampoco que el riesgo es real, por lo general las probabilidades de respuesta a la emergencia se reducen (Dash & Gladwin, 2007). Las alertas en busca de acciones de protección pública son más efectivas cuando se repiten con frecuencia en el tiempo (Sorensen & Sorensen, 2007).

Cuando los individuos se enfrentan a un terremoto personalizan el riesgo a través de un proceso que implica buscar información adicional, contactarse con otras personas para comparar la situación. Con esto logran concretar un riesgo abstracto y tomar decisiones que involucran su seguridad y la de sus familias (Dash & Gladwin, 2007)

La teoría cultural plantea que los individuos son los propios gestores de su percepción del riesgo, es decir, eligen que temer y cuanto temer en apoyo a su estilo de vida. La elección entre tomar o evitar riesgos corresponden a sesgos culturales, estas son cosmovisiones e ideologías que implican valores y creencias arraigadas en defensa de diversos patrones de relaciones sociales (Wildavsky & Dake, 1990).

La tipología desarrollada por Douglas y Wildavsky contempla cuatro patrones prototipos. Las dimensiones de la tipología son la grilla, que corresponde al control, y el grupo que corresponde al compromiso social (Rippl, 2002)



**Figura I.1.** Tipología grilla/grupo

Fuente: (Rippl, 2002)

Cada tipología presenta diferentes percepciones a diversos riesgos, ya sea tecnológicos o naturales, su percepción se establece como resultado de cuestionarios, por lo tanto, son percepciones a riesgos conocidos.

### **I.3. Contribución del trabajo y su importancia**

El modelo que se propone es el resultado de una amplia investigación, lo que permite, de forma novedosa, incorporar distintos modelos de percepción del riesgo, que de forma conjunta logran generar una conducta, en este caso, si se evacua o no.

Adicional a esto, como elemento clave para el balance entre riesgos se incorpora un regulador natural que gatilla el comportamiento.

Modelar el comportamiento y en el presenta trabajo en particular, modelar el comportamiento ante una evacuación por una amenaza natural ha sido un tema que no ha sido tratado con robustez, por lo tanto, de por si lograr crear un sistema dinámico es un avance para un tema en crecimiento.

### **I.4. Objetivo General**

Modelar el comportamiento humano cuando se enfrenta a una situación de desastre natural; como un tsunami, en donde la recomendación es evacuar.

#### **I.4.1. Objetivos Específicos**

- Investigar el comportamiento humano ante una evacuación o una situación de emergencia.
- Identificar las variables que influyen para la toma de decisión.
- Plantear un modelo dinámico del comportamiento.
- Asignar valores a cada variable utilizando datos como la encuesta.
- Ejecutar la simulación, obtener resultados e inferir conclusiones.

## **I.5. Estado del arte**

Como se vio anteriormente el elemento central para analizar el comportamiento pasa por la percepción del riesgo, de hecho, cotidianamente se evalúan distintos riesgos, pero la percepción del riesgo *per se* no permite generar una conducta, en términos prácticos la percepción del riesgo puede ser vista como un acumulador de distintas variables que influyen a un riesgo determinado. Por lo tanto, se necesita de un elemento con el cual comparar el riesgo percibido, y eso es lo que permite la teoría de homeostasis del riesgo.

la teoría fue establecida por el psicólogo canadiense Gerald Wilde, en esta se propone que los individuos que se enfrentan a una situación en donde la seguridad o salud de este se puede ver afectada, actúa de tal forma donde la toma de decisión puede ser visto como un proceso de autorregulación homeostáticamente controlado. En todo momento el riesgo experimentado o la percepción del riesgo es comparado con el riesgo que está dispuesto a aceptar, el comportamiento se genera cuando existe una diferencia entre estos dos riesgos (Wilde, 1982).

La homeostasis es un proceso dinámico de la conservación del equilibrio en aspectos psicológicos y fisiológicos de un individuo ante cambios en condiciones externas.

El riesgo percibido, para el caso ante una alerta de tsunami ya fue explicado. ¿Cómo define Wilde el riesgo aceptado? Wilde establece que el riesgo aceptado se calcula de forma automática por cada individuo haciendo un análisis de costos y beneficios de una conducta segura y de una conducta riesgosa.

Los individuos que noten más beneficios en una conducta riesgosa como mayores costos de una conducta segura tendrán un mayor nivel de riesgo aceptado. En caso contrario, los individuos que perciban mayores beneficios de una conducta segura y mayores costos de una conducta riesgosa tendrán un menor nivel de riesgo aceptado.

Con la teoría de homeostasis del riesgo se podrá hacer la comparación de riesgos y generar la conducta del individuo dentro del modelo dinámico.

Para representar el comportamiento humano es que se utiliza la modelación y la dinámica de sistemas

Un modelo es la representación; si se respetan ciertos valores, de un sistema real. Se puede representar de varias formas: de forma física (maquetas etc.), por gráficos, por lenguaje matemático y de forma computacional (Lozares, 2004).

La simulación está asociada a la inteligencia artificial (IA), se puede definir como un sistema computacional que tiene las capacidades de replicar el comportamiento humano y obtener resultados similares. Los campos de aplicación son variados, desde sistemas expertos (SE), sistemas dinámicos y sistemas evolucionarios, sistemas de agentes, sistemas de simulación de teorías, etc. El proceso de la simulación computacional, que involucra entre sus etapas procedimientos, modelos y métodos, no implica saber de programación, sino en poder llevar hacia los artificial; con su complejidad, la realidad, para eso requiere comprender e interpretar lo social y su conocimiento (Lozares, 2004).

Un sistema puede ser visto como una unidad cuyos elementos o variables interaccionan en conjunto, en busca de una meta en común. El que sea dinámico es porque se quiere que sea cambiante. Consecuentemente, la dinámica de sistemas se refiere a que sus variables varían a lo largo del tiempo y el comportamiento del sistema estará dado por las influencias de las variables sobre otras.

El concepto nació en los años 50 de la mano de Jay W. Forrester para solucionar un problema en particular de una empresa, el método se denominó dinámica industrial por su utilidad para analizar el comportamiento de la estructura en la empresa, ver (Forrester, 1958). Al pasar los años el método tuvo un transitar en donde se vio el potencial de ser aplicado en diversas áreas pasando a denominarse dinámica de sistemas, ver (Stermán, 2000).



## **I.6. Propuesta metodológica**

El modelo que se propone es el resultado de la investigación e integración de todas las metodologías anteriormente descritas.

Se utiliza el paradigma psicométrico para construir la percepción del riesgo. El primer evento que se percibe es el sismo, dado que la población chilena está acostumbrada a convivir con movimientos telúricos, se tiene la capacidad de establecer un nivel de riesgo post sismo e identificar si tiene el potencial de generar un tsunami, por lo tanto, esta primera construcción de la percepción del riesgo dura hasta que termina el sismo y se ve influenciado por factores demográficos, sociales, por conocimientos o experiencias previas. La segunda construcción de la percepción del riesgo continua desde el valor arrojado de la primera instancia y se ve influenciado por aspectos familiares, la componente de la advertencia por parte de la autoridad y por factores demográficos y sociales.

Para generar la conducta está el elemento con el cual el riesgo percibido es comparado, es el riesgo aceptado. El valor del riesgo que se está dispuesto a aceptar es influenciado por la mayoría de las variables que también influyen el riesgo percibido, pero bajo la lógica de análisis de costos y beneficios de una conducta segura o riesgosa, elementos como la preocupación por la delincuencia al dejar la vivienda sola, etc.

Para hacer la comparación se utiliza el concepto de homeostasis, en donde el sistema busca el equilibrio de estos riesgos si es que existe discrepancia, si el riesgo percibido es mayor al riesgo aceptado, la acción es disminuir el riesgo percibido hasta igualarse con el riesgo aceptado que en la práctica se traduce a una decisión de evacuación. En el caso contrario si el riesgo aceptado es mayor que el riesgo percibido, la búsqueda de equilibrio trabajaría para que el riesgo percibido iguale al aceptado, en la práctica sería que el individuo se acerque al peligro para aumentar su percepción del riesgo, ¿esto sucede? Sería el caso de individuos que necesitan confirmar visualmente la amenaza o en otro caso que el individuo que simplemente no va a evacuar dado que su tolerancia es mayor.

Este modelo es llevado a dinámica de sistemas, en software VENSIM para comprobar el comportamiento a lo largo de cierto periodo de tiempo, 30 min aproximadamente, de un grupo de la población. Adicionalmente incorpora aspectos culturales o sociales a la toma de decisión.

## I.7. Referencias Bibliográficas

- Aguiar, F. (2004). Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos. *Empiria: Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, (8), 139–160. <https://doi.org/10.5944/empiria.8.2004.982>
- Barrientos, S. (2015). Informe Técnico Terremoto Illapel 16 Septiembre 2015. *Centro Sismológico Nacional*, (56 2), 19. Retrieved from <http://www.csn.uchile.cl/>
- Beck, S., Barrientos, S., Kausel, E., & Reyes, M. (1998). Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(2), 115–129. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(98\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(98)00005-4)
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3). <https://doi.org/10.1029/2001GC000252>
- Blume, L. (2006). Introduction to Decision Theory: Introduction. New York, USA: Cornell University. Retrieved from [https://www.ihs.ac.at/publications/eco/visit\\_profs/blume/01intro.pdf](https://www.ihs.ac.at/publications/eco/visit_profs/blume/01intro.pdf)
- Campos, J., Hatzfeld, D., Madariaga, R., Lopez, G., Kausel, E., Zollo, A., ... Lyon-Caen, H. (2002). A seismological study of the 1835 seismic gap in south-central Chile. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 132(1–3), 177–195. [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(02\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(02)00051-1)
- Campos Romero, M. L. (2006). Los desastres naturales y el riesgo de tsunamis. El tsunami de Indonesia del 26 de diciembre de 2004. *Investigaciones Geográficas*, 39, 133–153. <https://doi.org/10.14198/INGEO2006.39.07>
- Cardinali Meza, A. (2000). *Prospectiva en el proceso de toma de decisiones: manejo de la información (Tesis de Magíster)*. Universidad Bernardo O'higgins, Santiago, Chile.
- Centro Sismológico Nacional. (n.d.-a). Glosario. Retrieved from <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/glosario/>
- Centro Sismológico Nacional. (n.d.-b). Grandes terremotos en Chile: Sismos Importantes y/o Destructivos (1570 a la fecha). Retrieved from <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/grandes-terremotos-en-chile/>
- Centro Sismológico Nacional. (2013). Sismicidad y Terremotos en Chile,

4. Retrieved from [http://www.sismologia.cl/pdf/difusion/001\\_terremotos\\_y\\_sismicidad\\_chile.pdf](http://www.sismologia.cl/pdf/difusion/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf)
- Cheng, W., Bo, Y., Lijun, L., & Hua, H. (2008). A modified Particle Swarm Optimization-based human behavior modeling for emergency evacuation simulation system. *2008 International Conference on Information and Automation*, 23–28. <https://doi.org/10.1109/ICINFA.2008.4607962>
- Contreras, M., & Winckler, P. (2013). Casualties, housing, infrastructure and vessel losses due to the February 27, 2010 Chile tsunami on the central coast of Chile. *Obras Y Proyectos 14, 14*, 6–19. Retrieved from [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-28132013000200001](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132013000200001)
- Dash, N., & Gladwin, H. (2007). Evacuation Decision Making and Behavioral Responses : Individual and Household. *Natural Hazards Review*, 8(3), 69–77.
- Departamento de Gestión Integral de Riesgo. (2016). *Estrategias territoriales para la reducción del riesgo de desastre*. Talcahuano, Chile. Retrieved from <http://www.talcahuano.cl/minisitio/gestion-de-riesgo/noticias/2016/03/30/talcahuano-lanza-libro-de-gestian-de-riesgo-ante-desastres-y-emergencias/>
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, 51(4), 380–417. <https://doi.org/10.1037/h0053870>
- Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643–669. <https://doi.org/Article>
- Forrester, J. W. (1958). Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36(4), 37–66. <https://doi.org/10.1225/58404>
- Fritz, H. M., Petroff, C. M., Catalán, P. A., Cienfuegos, R., Winckler, P., Kalligeris, N., ... Synolakis, C. E. (2011). Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 168(11), 1989–2010. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0283-5>
- Hayes, G. P., Herman, M. W., Barnhart, W. D., Furlong, K. P., Riquelme, S., Benz, H. M., ... Samsonov, S. (2014). Continuing megathrust earthquake potential in Chile after the 2014 Iquique earthquake. *Nature*, 512(7514), 295–8. <https://doi.org/10.1038/nature13677>
- I. Municipalidad de Talcahuano. (2016). Departamento de gestión integral del riesgo de desastres.

- INE. (2015). Demográficas y Vitales. Productos Estadísticos. Retrieved from [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/demograficas\\_vitales.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php)
- Instituto Geográfico Nacional Republica Argentina. (2010). El Terremoto en Chile y sus Consecuencias Geodésicas en Argentina. Retrieved from <http://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Publicaciones/TerremotoChile>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263–292. <https://doi.org/10.2307/1914185>
- Karni, E. (2005). Savages' Subjective Expected Utility Model. *Johns Hopkins University*, 1–12. Retrieved from <http://www.econ2.jhu.edu/people/Karni/savageseu.pdf>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, 4, 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Kious, W. J., & Tilling, R. I. (1996). *This dynamic Earth: the story of plate tectonics*. U.S. Geological Survey (Pdf). Washington, DC, USA. Retrieved from <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>
- Kröll Yáñez, F. A. (2016). *Modelo de simulación para la evacuación de Talcahuano. Aplicación en Tsunami (Tesis de Pregrado)*. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.
- Larrañaga, E. (2010). *Análisis del proceso de toma de decisiones. Fiscal de la Investigación Técnica, Armada de Chile*. Valparaiso, Chile. Retrieved from <http://www.sismo24.cl/500sismos/600pdf/300investigaArmada0.pdf>
- Lazo Hinrichs, R. G. (2008). *Estudio De Los Daños De Los Terremotos Del 21 Y 22 De Mayo De 1960 (Tesis de Pregrado)*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104856>
- Leach, J. (1994). *Survival Psychology*. Palgrave Macmillan.
- Leavy, S. (2010). Teoría de las decisiones: Teoría Prospectiva. *Asociación Argentina de Economía Política*, 0–30.
- Lewis, S. (1998). The Chile Margin Triple Junction: Modern Analog to Ancient California? Retrieved June 14, 2016, from

- <http://walrus.wr.usgs.gov/earthquakes/sopac.html>
- Lockridge, P. A. (1985). *Tsunamis in Perú-Chile. world data center a for solid earth geophysics* (Vol. 39). Boulder, Colorado, USA. Retrieved from <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/hazards/publications/Wdcse-39.pdf>
- Lomnitz, C. (1961). Los Terremotos del 4 de septiembre de 1958 en el Cajón del Maipo. *Anales de La Facultad de Ciencias Físicas Y Matemáticas.*, (18), 279–306. Retrieved from <http://www.analescfm.uchile.cl/index.php/AFCFM/article/view/37164>
- López Fernández, C. (2009). *Actividad sísmica, zonación sismotectónica y riesgo sísmico en el no de la Península Ibérica (Tesis Doctoral)*. Ediuono - Universidad de Oviedo, Oviedo, España. Retrieved from <http://recursosbiblioteca.unab.cl:2781>
- Lorca Mella, E., & Recabarren Herrera, M. (1994). Tsunamis o Maremotos. In *Terremotos y Tsunamis o Maremotos* (pp. 71–94). Retrieved from <http://www.shoa.cl/pagnueva/descargas.html>
- Lozares, C. (2004). La simulacion social, una nueva manera de investigar en ciencia social? *Papers: Revista de Sociologia*, (72), 165–188.
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Fisica de La Tierra*, 10, 221–255. Retrieved from <http://revistas.ucm.es/index.php/fite/article/view/13004>
- Marín, A., Gelcich, S., Araya, G., Olea, G., Espíndola, M., & Castilla, J. C. (2010). The 2010 tsunami in Chile: Devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Marine Policy*, 34(6), 1381–1384. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.06.010>
- Mileti, D. S., & Brien, P. W. O. (1992). Warnings during Disaster: Normalizing Communicated Risk. *Social Problems*, 39(1), 40–57. <https://doi.org/10.2307/3096912>
- National Geographic. (2015). Ring of Fire: Pacific Ring of Fire, circum-Pacific belt. Retrieved from <http://nationalgeographic.org/encyclopedia/ring-fire/>
- Neumann, J. Von, & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Retrieved from <http://press.princeton.edu/titles/7802.html>
- Pacheco, C., Karelavic, P., & Cipriano, A. (2015). Comparing dynamic evacuation control strategies for emergency situations. *2015 European Control Conference, ECC 2015*, 3053–3058. <https://doi.org/10.1109/ECC.2015.7331002>

- Pascale, R., & Pascale, G. (2007). Toma De Decisiones Económicas : El Aporte Cognitivo En La Ruta De Simon, Allais Y Tversky Y Kahneman. *Ciencias Psicológicas*, 1(2), 149–170. Retrieved from <http://web.calstatela.edu/faculty/rcastil/UABC/UtilidadEsperada.pdf>
- Peláez, J. A. (2011). Sobre las escalas de magnitud. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 19(3), 267–275.
- Rabinovich, A. B., Thomson, R. E., & Fine, I. V. (2013). The 2010 Chilean Tsunami Off the West Coast of Canada and the Northwest Coast of the United States. *Pure and Applied Geophysics*, 170(9–10), 1529–1565. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0541-1>
- Raiffa, H. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms: Comment. *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 690–694.
- Ramsey, F. (1931). *The foundations of mathematics and other logical essays*. (R. B. Braithwaite, Ed.). Routledge. Retrieved from [https://books.google.cl/books?id=AfJXAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=AfJXAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Rauld Plott, R. A. (2011). *Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla san ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile central (33°s) (Tesis Doctoral)*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102600>
- Rippl, S. (2002). Cultural theory and risk perception: a proposal for a better measurement. *Journal of Risk Research*, 5(2), 147–165. <https://doi.org/10.1080/13669870110042598>
- Ruegg, J. C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., de Chabalier, J. B., Campos, J., ... Dimitrov, D. (2009). Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitucion and Concepcion in Chile. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 175(1–2), 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2008.02.015>
- Ruiz, D. M. (2014). *Viaje al centro de la tierra: volcanes, terremotos, minería, basura, diamantes y petróleo explicados por la geología*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI Editores Argentina. Retrieved from <http://recursosbiblioteca.unab.cl:2781>
- Schurr, B., Asch, G., Hainzl, S., Bedford, J., Hoechner, A., Palo, M., ... Vilotte, J. (2014). Gradual unlocking of plate boundary controlled initiation of the 2014 Iquique earthquake. *Nature*, 512(7514), 299–302. <https://doi.org/10.1038/nature13681>

- Shafer, G. (1986). Savage Revisited. *Statistical Science*, 1(4), 463–501.
- SHOA. (2016). CITSU. Retrieved from <http://www.shoa.cl/servicios/citsu/citsu.html>
- Simon, H. A. (1945). Reviewed Work: Theory of Games and Economic Behavior. by John Von Neumann, Oskar Morgenstern. *American Journal of Sociology*, 50(6), 558–560. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2771403>
- Simon, H. A., Dantzig, G. B., Hogarth, R., Plott, C. R., Raiffa, H., Schelling, T. C., ... Winter, S. (1987). Decision Making and Problem Solving. *Interfaces*, 17(5), 11–31. <https://doi.org/10.1287/inte.17.5.11>
- Sobarzo, M., Garcés-Vargas, J., Bravo, L., Tassara, A., & Quiñones, R. A. (2012). Observing sea level and current anomalies driven by a megathrust slope-shelf tsunami: The event on February 27, 2010 in central Chile. *Continental Shelf Research*, 49, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.09.001>
- Sorensen, J. H., & Sorensen, B. V. (2007). Community Processes: Warning and Evacuation. In *Handbook of Disaster Research* (pp. 183–199). [https://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4_11)
- Sterman, J. D. (2000). *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Management (Vol. 6). <https://doi.org/10.1108/13673270210417646>
- Tar buck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física* (8<sup>a</sup>. ed.). Madrid, España: Pearson Educación S.A. Retrieved from <https://recursosbiblioteca.unab.cl:2365/Pages/Default.aspx>
- Tavera, H. (2001). Fuentes sismogénicas y tipos de sismos en Perú. *Revista Del Capítulo de Ingeniería Geológica*, 39–41. Retrieved from [http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/notas\\_cortas.html](http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/notas_cortas.html)
- Tavera, H. (2002). Las zonas de subducción. *Revista Geonoticias*, 2, 31–32. Retrieved from [http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/notas\\_cortas.html](http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/notas_cortas.html)
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 5(2), 207–232. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90033-9)
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. *Science*, 185(4157), 1124–1131.
- Vargas, G., Klinger, Y., Rockwell, T. K., Forman, S. L., Rebolledo, S.,

- Baize, S., ... Armijo, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, 42(12), 1083–1086. <https://doi.org/10.1130/G35741.1>
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox-implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049–1065. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>
- Wildavsky, A., & Dake, K. (1990). Theories of risk perception: Who fears what and why? *Daedalus*, 119(4), 41–60. <https://doi.org/10.2307/20025337>
- Wilde, G. (1982). The theory of risk homostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209–225. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x>



## II. ARTÍCULO PROPUESTO

### MODELACIÓN DINÁMICA DEL COMPORTAMIENTO ANTE EVACUACIÓN POR TSUNAMI: LA TOMA DE DECISIÓN VISTA COMO UNA HOMEOSTASIS DEL RIESGO

### DYNAMIC BEHAVIOR MODELING FOR TSUNAMI-BASED EVACUATION: DECISION MAKING SEEN AS A RISK HOMEOSTASIS

Fernando Wachtendorff  
Ingeniero Industrial  
f.wachtendorff@uandresbello.edu  
Universidad Andrés Bello

#### ABSTRACT

Se ha identificado que la percepción del riesgo es un elemento central para generar una conducta de la persona cuando se enfrenta a una situación donde la decisión tiene implicancias en la seguridad o salud de este. El modelo creado tiene la fortaleza de incorporar tres enfoques de la percepción del riesgo en un sistema dinámico, un enfoque en particular, la homeostasis del riesgo, nos permite comparar el riesgo percibido con el riesgo aceptado, la diferencia de ambos es la que genera la conducta. Adicionalmente incorpora aspectos culturales o sociales, atribuibles a una comunidad o de forma general a la cultura sísmica de los chilenos. El valor resultante luego de cada iteración de la simulación, incorporando una población para ser estudiada, es la diferencia entre el riesgo percibido y el riesgo aceptado, el riesgo aceptado determina la conducta, si este valor es mayor que el percibido, la persona no evacua, en cambio si el riesgo percibido es mayor al aceptado la persona evacua. Este valor es relevante, más que simular cuantas personas de la población evacuan o no, este valor se puede inferir con datos históricos, la diferencia entre los riesgos, se puede llamar como el valor homeostático individual o de una comunidad, las conclusiones que se pueden sacar de este valor es cuanto, luego de cada evento de terremoto que suceden con el tiempo, las personas están predispuestas a evacuar, o aún más técnico, que tan resiliente está la población para enfrentar un tsunami.

#### 1 INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio chileno está sobre una zona de convergencia de placas tectónicas. La placa de Nazca subducta a la placa Sudamericana a un ritmo de 6-7 cm por año, siendo uno de las mayores ratios de convergencia en el planeta. Esta subducción de placas también ha provocado la formación de la cordillera de los Andes, a lo largo de esta cadena de montañas; por la misma acción de las placas, está presente una intensa actividad volcánica, siendo en conjunto con la actividad sísmica las principales amenazas naturales con las que la población chilena debe convivir.

Este choque de placas tectónicas produjo los grandes terremotos que Chile ha vivido; Valdivia 1960, Maule 2010. En Chile en promedio en los últimos cinco siglos un terremoto destructor de magnitud superior a 8 se ha producido cada 10 años en alguna parte del país (Madariaga, 1998).

Si el sismo reunió ciertas características, como tener una componente vertical capaz de deformar el fondo oceánico, se genera un tsunami. Un terremoto con la suficiente magnitud para generar un tsunami que afecte a distintos sectores del pacífico, ocurre en Chile cada 25 años en promedio (Lockridge, 1985).

Adicionalmente a las propias amenazas naturales del país, está presente la amenaza de recibir un tsunami generado en otros sectores del pacífico. Chile está inmerso en el llamado “anillo de fuego del pacífico”, donde se concentra el 90% de los terremotos a nivel mundial. Para disminuir el riesgo en los distintos sectores del pacífico es que el PTWC (Pacific Tsunami Warning Center) es una organización que emite alertas a las instituciones respectivas de cada país ante un inminente desastre en sus costas, ya sea por un tsunami generado en el propio país o en otro sector del pacífico.

De esta forma la población costera de Chile convive con una permanente amenaza de sufrir los efectos de un tsunami. Ante esto los organismos técnicos encargados de velar la seguridad de la población, regularmente practica simulacros de evacuación y así preparar a la población. A pesar de esto y, sabiendo de las graves consecuencias que acarrea un tsunami, con respaldo en encuesta se puede afirmar que durante los eventos de tsunami de 2010 y 2015, un porcentaje de los individuos no evacuó. Este es el foco de la investigación, estudiar el comportamiento de los individuos ante una situación de emergencia, analizar qué factores influyen en la toma de decisión y modelar el comportamiento. Con este modelo se podrá simular distintos escenarios y sacar conclusiones de diversos tipos.

### 1.1 De la amenaza al desastre

Para que se produzca un desastre la secuencia de acontecimientos es la siguiente. La **amenaza** es la probabilidad de ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico, en un determinado momento y lugar, capaz de producir daños físicos, ambientales y económicos. La **vulnerabilidad** es la susceptibilidad de una unidad social (familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, de sufrir daños por acción de una amenaza. La vulnerabilidad se puede determinar según el grado de exposición a la amenaza, el nivel de resistencia y protección frente al impacto de la amenaza, la resiliencia, el nivel de asimilación o el poder de recuperación ante una amenaza. El **riesgo** es la probabilidad de que ocurran consecuencias nocivas o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental). Es el resultado de interacciones entre amenazas, condiciones de vulnerabilidad y capacidades (Departamento de Gestión Integral de Riesgo, 2016). Tradicionalmente el riesgo se puede calcular de la siguiente manera:  $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$ . Un **desastre** es la interrupción grave en el funcionamiento de una comunidad causando pérdidas a nivel humano, material o ambiental. La comunidad afectada no puede salir adelante por sus propios medios, necesitando ayuda externa. La clasificación de desastre es según su origen, ya sea natural, antrópico o tecnológico. Leach (1994) plantea 5 fases incluida la amenaza, el impacto (desastre) y fases posteriores al desastre.

- Fase de pre-impacto
  - Etapa de amenaza
  - Etapa de advertencia
- Fase de impacto
- Fase de retroceso
- Fase de rescate
- Fase de post-trauma

### 1.2 Evacuaciones

La evacuación es la primera medida de protección utilizada en desastres de gran escala como huracanes, inundaciones, tsunamis, erupciones volcánicas, emisiones de materiales peligrosos o nucleares, incendios y explosiones en edificios de gran altura. Drabek and Stephenson (1971) citado por Sorensen & Sorensen (2007) definen cuatro tipos de evacuación: por invitación, por elección, por defecto o por compromiso. La evacuación por invitación ocurre cuando alguien que está fuera de la zona de riesgo proporciona los medios o el ímpetu para que el individuo bajo riesgo evacúe. La evacuación por elección implica que los individuos procesen la información de alerta, decidan evacuar y luego tomar acciones. La evacuación por defecto implica un comportamiento dictado por otros en pro de resguardar la seguridad. La evacuación por compromiso se aplica a individuos que evacúan siguiendo órdenes, aunque no quieran o no sienten la necesidad de evacuar. Una evacuación raramente es un proceso individual, incluso en un hogar unipersonal la primera respuesta es buscar más información que valide la amenaza, se puede acudir a un amigo, compañero de trabajo, vecino, familiar o pariente. Las familias tratan de reunirse si es posible y evacuar como grupo (Sorensen & Sorensen, 2007). Evacuar el hogar es muy difícil y riesgoso para el que toma la decisión.

Durante la primera fase (pre-impacto: amenaza y advertencia) es mucho lo que está en juego para decidir evacuar, una gran parte de la población enfrenta esta dificultad (Vorst, 2010).

### 1.3 Encuesta

La encuesta con la cual se trabajará tiene por finalidad conocer el proceso de toma de decisiones de los habitantes del sector céntrico de Talcahuano durante las evacuaciones de esta zona, y cómo procedería actualmente la comunidad tras la experiencia del terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010.

Talcahuano es una comuna perteneciente a la provincia de Concepción, en la región del Biobío. Según el último censo tiene una población al año 2016 de 178.500 habitantes. Puede ser dividida en 5 sectores: Medio Camino, Las Salinas, Higuera, Los Cerros, Talcahuano Centro, además se distinguen las caletas. Las caletas de pescadores son: El Morro, Rocuant, El Infiernillo, El Soldado y Tumbes. La caleta Tumbes ubicada en zona urbana, pero alejada del centro de Talcahuano, también alberga otras caletas que fueron inhabilitadas por el tsunami del año 2010, estas son: caleta Candelaria, Puerto Inglés y Cantera (Departamento de Gestión Integral de Riesgo, 2016).

Talcahuano centro contempla los principales servicios públicos y empresas productivas de la ciudad, es considerado el sector de mayor importancia en la comuna. Tiene una población de 28.021 personas, con un 52% de mujeres y el 48% hombres. Según SHOA (servicio hidrográfico y oceanográfico de la armada de Chile) actualmente es considerado como zona inundable.

Con la población del sector, un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5% se calculó un tamaño muestral de 378 individuos que fueron distribuidos por cuadradas, resultando finalmente 356 encuestas validas, la diferencia corresponde a sectores industriales.

#### 1.3.1 Análisis descriptivo

Los resultados más relevantes son los siguientes. La tabla 1 muestra el género de los encuestados, la tabla 2 muestra los rangos etarios y la tabla 3 es de contingencia en donde se agrupa el género, la edad y si ha tenido experiencias en evacuación.

**Tabla 1:** Género del encuestado.

	Frecuencia	Porcentaje
Masculino	148	41,6
Femenino	208	58,4
Total	356	100

**Tabla 2:** Rango de edad.

	Frecuencia	Porcentaje
18-30 años	56	15,7
31-45 años	72	20,2
46-60 años	96	27,0
61-75 años	110	30,9
76 años o mas	22	6,2
Total	356	100

Wachtendorff

**Tabla 3:** Tabla cruzada (género·edad·experiencia previa).

			Rango de Edad					
Experiencia previa en evacuación			18-30 años	31-45 años	46-60 años	61-75 años	76 años o mas	Total
Si	Género	Masculino	20	15	27	30	6	98
		Femenino	15	22	31	39	11	118
	Total		35	37	58	69	17	216
No	Género	Masculino	6	14	14	14	2	50
		Femenino	15	21	24	27	3	90
	Total		21	35	38	41	5	140
Total	Género	Masculino	26	29	41	44	8	148
		Femenino	30	43	55	66	14	208
	Total		56	72	96	110	22	356

La siguiente tabla (4) es sobre el terremoto que ocurrió en Coquimbo en el año 2015 por lo que se emitió una alerta para todo el borde costero de evacuar. Se pregunta al encuestado si al momento en que ocurrió el terremoto en Coquimbo, estaba en el sector céntrico de Talcahuano. Si el encuestado no estaba en el sector centro, se pide omitir la siguiente pregunta que es ¿ya que se encontraba en el centro, usted evacuó o no? ver tabla 5.

**Tabla 4:** ¿En el terremoto de Coquimbo 2015, estaba en el centro de Talcahuano?

	Frecuencia	Porcentaje
Si	296	83,1
No	60	16,9
Total	356	100

**Tabla 5:** ¿Dada la alerta, usted evacuó?

	Frecuencia	Porcentaje
Si	71	19,9
No	225	63,2
Total	296	83,1
Perdidos	60	16,9
Total	356	100

De 296 personas que estaban en zona inundable, solo 71 personas evacuaron. En la tabla 6 se ven los motivos por el cual 225 personas no evacuaron.

Wachtendorff

**Tabla 6:** ¿A qué se debió su decisión de no evacuar?

Motivo	Frecuencia	Porcentaje	Motivo (continuación)	Frecuencia	Porcentaje
Según experiencias previas sabía que no llegarían grandes olas al borde costero	142	39,9	No supo	4	1,1
Por temor al robo, al dejar su vivienda desprotegida	21	5,9	No tuvo información	1	0,3
Al observar el mar en calma, desistió evacuar	29	8,1	Noticieros informaron no evacuar	1	0,3
Creencia religiosa	1	0,3	Pensó que era una falsa alarma	1	0,3
Decisión personal	1	0,3	Por tener a su madre postrada	1	0,3
Esperó más información	1	0,3	Por trabajo	2	0,6
Indecisión de autoridades	1	0,3	Porque desactivaron la alerta	1	0,3
Mala información	1	0,3	Se quedaría sola	1	0,3
No confió en la alarma	1	0,3	SHOA vía SMS canceló la alarma	1	0,3
No específica	2	0,6	Sin justificación	1	0,3
No hubo alarma	5	1,4	Vivía en un cerro	1	0,3
No le dio importancia	3	0,8	Total	226	63,5
No le teme al tsunami	1	0,3	Perdidos	130	36,5
No recuerda	2	0,6	Total	356	100

**Nota.** Los valores perdidos corresponden a la suma de los que no estaban en el centro de Talcahuano durante la evacuación y los que evacuaron, la suma es de 131 personas, pero de todas formas una persona señala un motivo por el cual no evacuó

La mayoría señala que no evacuó porque según sus experiencias previas sabía que no llegarían grandes olas a la costa. Otro grupo señala que al observar el mar desistieron de evacuar. En tercer lugar, está el temor a robo que mermó la intención de evacuar.

Los primeros resultados del análisis descriptivo analizaron lo vivido en 2015. Ahora se analiza lo que se vivió en 2010. La primera pregunta es ¿durante el terremoto donde se encontraba? dado que el evento fue a las 3:34 am, la gran mayoría se encontraba en sus casas. La siguiente pregunta es ¿qué acciones considero antes de evacuar? es una pregunta semicerrada, por lo que se muestran los resultados más relevantes, ver tabla 7. Se puede mencionar que 69 personas no evacuaron durante el terremoto y tsunami.

**Tabla 7:** ¿Qué acciones consideró antes de evacuar?

	Frecuencia	Porcentaje
No considera nada	82	23,0
No evacuó	69	19,4
Recopilar implementos básicos como agua, abrigo, alimento, etc.	62	17,4
Esperar que todo el grupo familiar se encuentre listo para evacuar	29	8,1
Recopilar implementos básicos y dejar cerradas puertas, ventanas para evitar posibles robos	21	5,9
Dejas cerradas puertas, ventanas para evitar posibles robos	19	5,3
Recopilar implementos básicos y esperar que todo el grupo familiar se encuentre listo para evacuar	21	5,9

## 2 MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

En el campo de la teoría de decisiones, la teoría normativa explica lo que la gente racional debe hacer. Por otro lado, la teoría descriptiva analiza lo que la gente racional va a hacer. Siguiendo estos modelos uno esperaría que los individuos ante una alerta de tsunami emitida por la autoridad van a evacuar con prontitud siguiendo los planes de evacuación preparados, asumiendo que los individuos actúan de manera totalmente racional ante una emergencia. Pero esto no sucede, como se vio recién en los dos eventos registrados hay un porcentaje que no evacua.

El modelo de racionalidad acotada propuesto por Herbert Simon, entrega mejores conceptos de cómo se toma una decisión y poder extrapolar a un caso de desastre. Nos dice que el ser humano toma la decisión que lo satisface; alejándose del concepto de maximización de utilidad. Es decir, toma la decisión con la primera alternativa que lo satisface, esto se da porque el ser humano no es capaz de informarse por completo, por las propias limitaciones cognitivas y también por el efecto del tiempo disponible para la toma de decisión (Simon et al., 1987).

También nos dice que los individuos al enfrentar ambientes complejos utilizan métodos heurísticos para tomar una decisión, en ese momento construyen una representación simple a nivel cognitivo de la realidad. Con estos métodos heurísticos se toman decisiones funcionales y ajustadas a las preferencias de cada uno. De todas formas, estos modelos de la toma de decisión no explican a cabalidad el comportamiento ante una situación de emergencia, tampoco explican por qué algunos individuos deciden no evacuar.

Se ha identificado que durante una emergencia la percepción del riesgo es un elemento clave para generar la conducta, pero este elemento debe ser comparado con algo o establecer un nivel de riesgo el cual es aceptado, eso es lo que plantea la Teoría de Homeostasis del Riesgo (THR), la teoría fue establecida por el psicólogo canadiense Gerald Wilde, en donde se analiza la toma de decisión en un escenario de riesgo. Wilde (1982) propone que un individuo que se enfrenta a una toma de decisión que tiene implicancia en la seguridad o salud de este, actúa de una forma que puede ser visto como un proceso de autorregulación homeostáticamente controlado. En todo momento el riesgo experimentado es comparado con el nivel de riesgo que el individuo está dispuesto a tomar o aceptar, y el comportamiento se genera cuando estos dos niveles son diferentes.

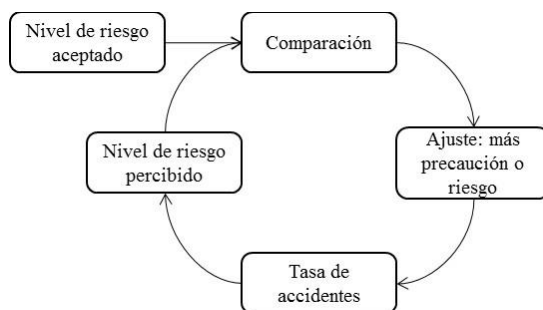
Corresponde definir la homeostasis. Por definición es el mecanismo que cualquier ser viviente utiliza para mantener una condición estable necesaria para la supervivencia (Rodolfo, 2000), también se puede ver como un proceso dinámico de la conservación del equilibrio en aspectos psicológicos y fisiológicos de un individuo antes cambios en condiciones externas. los orígenes del homeostasis explican procesos biológicos como la regulación de la temperatura, presión arterial, etc. Esta autorregulación se logra gracias a procesos de retroalimentación.

Los conceptos de homeostasis se han aplicado para explicar otros fenómenos o son base para otras teorías, como la teoría cibernética, uno de los pilares de la cibernética es la de regulación y control (Ashby, 1999).

Wilde establece dos tipos de riesgos el riesgo percibido y el riesgo aceptado. Comprender la percepción del riesgo y el riesgo aceptado como elementos centrales permite entender el comportamiento (Simonet & Wilde, 1997). El riesgo se define como una eventualidad probabilística y sujeto a una específica clase de respuesta, la toma de riesgo se define en hacer una respuesta a esa clase. La percepción de peligro ante estos eventos difiere entre los individuos y esa percepción va a determinar el comportamiento ante ellos. Los resultados del comportamiento que buscan mantener el equilibrio dependen tanto de las habilidades individuales de percepción, de decisión y de ejecución.

Wilde asume que el riesgo que el individuo está dispuesto a asumir, es comparado con el riesgo percibido. Luego esta brecha genera un comportamiento. Las acciones de los individuos generan una estadística; para los estudios de Wilde es una tasa de accidentes, que a su vez esta tasa de accidentes influye nuevamente en la percepción del riesgo, haciendo de esto un ciclo dinámico cerrado. El nivel de riesgo aceptado determina a largo plazo los riesgos objetivos y subjetivos.

El único elemento que no está dentro del ciclo cerrado es el nivel de riesgo que los individuos están dispuestos a asumir, tal como se ve en la figura 1. Por lo tanto, a largo plazo este elemento es el único que influye para bien o mal en la tasa de accidentes (o lo que se pretenda medir). Esto es lo que propone la teoría de homeostasis del riesgo, esfuerzos que vayan en busca de reducir la tasa de accidentes se deben enfocar en disminuir el riesgo aceptado, si no están enfocadas en este elemento, no lograrán su cometido.



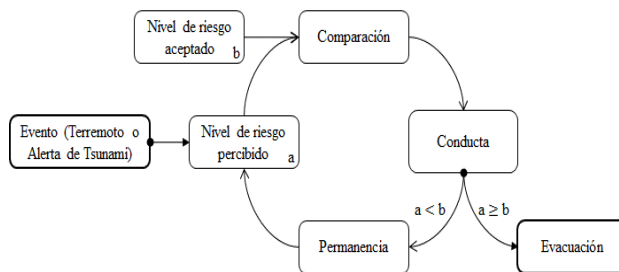
**Figura 1:** Representación simple del proceso homeostático del riesgo.  
Fuente: (Simonet & Wilde, 1997)

A la larga medidas “no-motivacionales”; medidas impositivas por lo general, tienden a generar un efecto considerable a corto plazo, pero a la larga se vuelve a los valores normales. Consecuentemente el autor sugiere que para alterar los niveles de riesgo aceptado y disminuir los valores de lo que la campaña en cuestión este buscando como resultado, por ejemplo, tasa de accidentes, se debe buscar medidas motivacionales en los individuos, es decir, que la persona desee estar segura o proteger su vida (Wilde, 1982).

## 2.1 Construyendo el modelo

Basado en la THR y en la representación del proceso homeostático, es que surge la propuesta de modelo de toma de decisión para la evacuación por tsunamis.

La figura 2 es una representación simple del modelo. Aquí se mantiene la idea del proceso cerrado propuesto por Wilde, pero como es un proceso dinámico de la conservación del equilibrio, y el equilibrio que se propone está determinado por la “seguridad”. Es decir, si el riesgo percibido es mayor al riesgo aceptado, en ese punto es cuando se gatilla la evacuación, en ese punto el individuo siente un riesgo mayor para su integridad y la de su entorno, por lo tanto, evacua.



**Figura 2:** Modelo simple de toma de decisión ante una evacuación por tsunamis.

A modo de resumen, el proceso es el siguiente:

- El proceso se inicia con el evento, este puede ser un terremoto o una alerta de tsunami.
- El individuo genera una representación a nivel cognitivo de la realidad, aquí se determina el riesgo que él percibe.
- Este riesgo percibido es comparado con el riesgo que está dispuesto a aceptar.

- Esta comparación gatilla una conducta, siempre en busca de mantener un estado de equilibrio, determinado por la seguridad personal.
- Cuando el riesgo percibido es mayor o igual que el riesgo aceptado, genera una conducta que va en busca de mantener el equilibrio y esta sería la busca de seguridad decidiendo evacuar.
- Cuando el riesgo percibido es menor que el riesgo aceptado, genera una conducta de permanencia en el lugar, dado que según sus preferencias o creencias todavía se está en un estado de seguridad.
- Como es un proceso dinámico, después de decidir permanecer en lugar, se transforma en el nuevo estado del individuo, posterior a esto, continua una etapa de retroalimentación con el entorno y se evalúa nuevamente el riesgo.

## 2.2 Definiendo variables

¿Cómo se conforma el riesgo percibido y el riesgo aceptado? La percepción del riesgo ha sido ampliamente estudiada y se han establecido ciertos factores que la determinan.

Los eventos de riesgo interactúan con procesos psicológicos, social y cultural en formas que atenúan o incrementan la percepción social del riesgo y se relacionan con el comportamiento ante el riesgo (Kasperson et al., 1988).

Los tsunamis son raros eventos, por lo tanto, hay poca población que tiene experiencia en evacuación. La experiencia del potencial daño de un tsunami debe ser fomentada día a día con relatos de las personas que han vivido estos eventos. Como ejemplo, durante el evento de tsunami en Tailandia en 2004 solo las personas con directa experiencia fueron capaces de detectar las señales de alerta (Wachinger, Renn, Begg, & Kuhlicke, 2013).

Los individuos que se enfrentan a una alerta pasan por una serie de etapas que determinan su percepción del riesgo y su comportamiento, estas son: escuchar, confirmar, entender, creer, personalizar, responder. La respuesta social ante una emergencia es una consecuencia directa de la percepción del riesgo: entender, creer, personalizar. De la información de la amenaza: especificidad, consistencia, certeza, exactitud, claridad, canal, frecuencia, fuente. De las características personales del que recibe la información: demográficas, conocimientos, experiencia, recursos, redes sociales, cognición. Por lo tanto, se ha establecido que la percepción del riesgo se determina en función de dos variables, de la información de alerta y de las características personales (Mileti & Brien, 1992).

En la investigación de Mileti y Brien (1992) analizan cuantitativamente la percepción del riesgo y la respuesta a la amenaza de terremoto y réplicas. Es así como la respuesta al evento principal (terremoto), es visto como una función de la calidad y refuerzo de la información, y de las características personales del que recibe la información. La percepción de riesgo ante réplicas (estado post terremoto donde la amenaza es sufrir de réplicas) es una función de la calidad y refuerzo de la información de alerta de réplicas, características personales del que recibe la alerta, y respuesta a la emergencia principal.

Finalmente, la respuesta pública a la advertencia de réplicas es una consecuencia directa de la calidad y cantidad (o refuerzo) de la información de alerta de réplica, características personales del que recibe la alerta (edad, sexo, etnia, etc.), la respuesta a la emergencia principal que se vieron afectados y la percepción de riesgo ante réplicas.

Con los datos de una encuesta efectuaron una regresión lineal que permitió obtener ciertas conclusiones que se relacionan con lo establecido en la teoría de comunicación del riesgo.

- Riesgo percibido tiene un directo y positivo impacto en la respuesta a alerta de medidas de protección.
- Información de alerta, tanto como calidad, cantidad o refuerzo tiene un efecto directo y positivo en respuesta. Como también un indirecto y positivo efecto a través de la percepción del riesgo.
- Prominencia de peligro antes del evento aumenta la respuesta de advertencia de manera directa e indirecta.



- Rasgos demográficos como edad, género y etnia pueden limitar tanto la percepción del riesgo como la respuesta a la advertencia. Los datos revelan que las estadísticas anteriores al evento se mantienen posterior al evento.

Para entender las variaciones en la evacuación es necesario comprender como los individuos escuchan, entienden, creen, personalizan, confirman y responden a la emergencia. La respuesta asociada a una advertencia, es una función donde la advertencia tiene que ser validada como también que el riesgo es real.

La respuesta a la advertencia varía según la fuente, el contenido, la cantidad, y por supuesto, creer en esta alerta. Si los individuos no creen en la advertencia ni tampoco que el riesgo es real, por lo general la probabilidad de respuesta se reduce (Dash & Gladwin, 2007).

Las alertas de emergencia en busca de acciones de protección pública como iniciar el proceso de evacuación, son más eficaces cuando se repiten con frecuencia (Sorensen & Sorensen, 2007).

Los individuos que se enfrentan a un terremoto personalizan el riesgo a través de un proceso que incluye buscar información de varias fuentes y hablar con otros sobre el riesgo. Como las personas han investigado sobre terremotos, son capaces de establecer una “definición personal” sobre el riesgo que enfrentan. A través del proceso individual de personalización, los individuos transforman nociones abstractas del riesgo en evaluaciones personalizadas concretas del riesgo para ellos mismos, sus familias y sus hogares (Dash & Gladwin, 2007).

Dash y Gladwin (1997) usando datos recogidos después del huracán “Andrew” encontraron que hay 3 tipos de variables consideradas como únicas y significantes predictores para la evacuación. (1) estar en una zona de evacuación. (2) tener factores demográficos asociados con hogares pequeños y la presencia de ancianos (efecto negativo) o niños (efecto positivo). (3) vivir en una vivienda unipersonal (efecto negativo). En una extensión del trabajo se descubrió una serie de patrones que inciden en la evacuación: si los encuestados señalan que escucharon la alerta, la probabilidad de evacuar aumenta. Si los dueños de casa tienen planes de acción, la probabilidad de evacuación aumenta.

En la investigación de Fischer, Stine, Stoker, Trowbridge, & Drain (1995) aplicada a un escenario de incendio, se refuerza la tesis que el mensaje de alerta, tanto como su consistencia, claridad, frecuencia, etc., son relevantes para cierto grupo de personas. También que mucha gente necesita ver la amenaza para tomar una decisión. En el terreno de la evacuación, un 31% no evacuó. De los que evacuaron un porcentaje lo hace de inmediato, otro porcentaje lo hace cuando se lo ordenan, etc. Su decisión la basan, claro, en la orden o sugerencia de evacuar, pero también por una decisión familiar. Se confirma que la presencia de un menor incentivó la decisión de evacuación. También se rescata que, si la emergencia sucede de noche, esto hace que sea más fácil la evacuación, por el hecho de que es más probable que el grupo familiar este reunido.

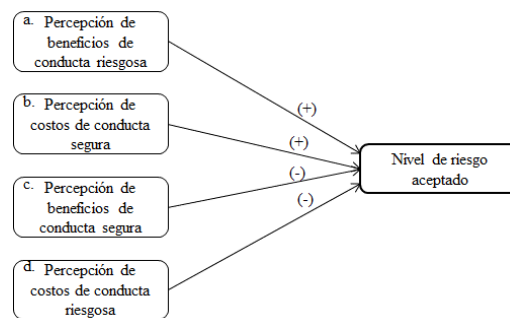
En un estudio sobre la confianza y percepción del riesgo ante peligros naturales. Se encontró que las experiencias previas están positivamente relacionadas con la percepción de riesgo de desastre, es decir, esto no gatilla un comportamiento, sino que los individuos sin experiencia directa en inundaciones tienden a subestimar el peligro, en cambio aquellos que si tienen experiencia en inundaciones tienden a sobreestimar el peligro. También que las personas pueden sentir un gran riesgo si su confianza en las autoridades es baja o ha sido disminuida por experiencias previas negativas (Bronfman, Cisternas, López-Vázquez, & Cifuentes, 2016).

Dow & Cutter (1998) analizan el efecto “Crying Wolf”, que es una reducción de la confianza por falsas alarmas. Se analizan evacuaciones por huracanes en dos zonas geográfica, en donde se mantienen las estadísticas de los motivos por los que los individuos evacuan y los que no. Otro aspecto que se recalca es el hecho de la influencia de nuevos residentes (muchos con poca o sin experiencia en desastres) en zonas costeras, debido a largas temporadas estivales, la llegada de turistas y el rápido desarrollo de las comunidades han incrementado la vulnerabilidad de estas poblaciones.

### 2.3 Definiciones del modelo

Para el modelo propuesto la **percepción del riesgo**, es un proceso individual donde se califica a la amenaza recientemente vivida (terremoto). Según conocimientos, experiencias previas y la propia percepción individual, este riesgo puede ser atenuado o aumentado con la advertencia por parte de la autoridad.

La respuesta o comportamiento se determina según el **riesgo aceptado**, el riesgo aceptado también es influenciado por muchas de las variables recién descritas, en donde la decisión muy pocas veces es individual, importa la seguridad familiar, la confianza, también es atenuado o aumentado según experiencias previas. Tal como propone Wilde en la THR, el riesgo aceptado se determina según un análisis de costos y beneficios tanto de una conducta riesgosa como de una conducta segura, ver figura 3.



**Figura 3:** Factores de utilidad que determinan el riesgo aceptado.

Fuente: (Wilde, 1982)

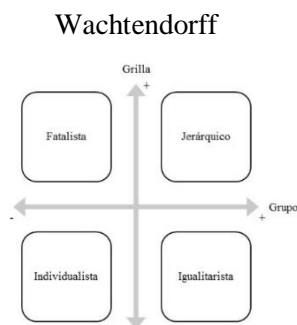
- Los individuos que perciben más utilidades en las cajas (a) y (b) tendrán un nivel mayor de riesgo aceptado.
- Los individuos que perciben más utilidades en las cajas (c) y (d) tendrán un nivel de riesgo aceptado menor.

El conocimiento indica que este análisis de costos y beneficios está supeditado a rasgos de personalidad de los individuos o aspectos culturales. Un apronte para determinar estos rasgos e intentar comprender el comportamiento ante el riesgo, es lo que plantea la teoría cultural.

Viendo a los individuos como sus propios gestores de su percepción del riesgo, teóricos culturales han propuesto que los individuos eligen que temer; y cuanto temer, para apoyar su estilo de vida. La atención selectiva al riesgo y la elección entre las distintas opciones, ya sea de tomar riesgo o evitarlos, corresponden a sesgos culturales. Es decir, son cosmovisiones e ideologías que implican valores y creencias arraigadas en defensa de diversos patrones de relaciones sociales. Las relaciones sociales en la teoría cultural están definidas como un pequeño número de patrones distintivos de las relaciones interpersonales, estas son, jerárquica, igualitaria o individualista (Wildavsky & Dake, 1990).

Wildavsky y Dake (1990) en base a un gran número de evidencias por parte de otros autores, justifican que un mejor predictor de la percepción del riesgo y preferencias individuales son dadas por sesgos culturales. Se podría decir que los igualitaristas son más propensos a tomar riesgos individualmente, pero socialmente tendrían una aversión al riesgo. En cambio, los jerárquicos serían aversos al riesgo individual, pero socialmente serían pro riesgos con respecto a la tecnología y medio ambiente.

Douglas y Wildavsky citado en Rippl (2002) desarrollaron la tipología grilla-grupo en la que están cuatro patrones prototipos. Las dimensiones centrales de la tipología son la grilla; que corresponde al control, y al compromiso social que corresponde a la dimensión de grupo, ver figura 4.



**Figura 4:** Tipología de formas de vida utilizando la dimensión grilla/grupo.  
Fuente: (Rippl, 2002)

Rippl (2002) analiza resultados cuantitativos de distintos autores que han utilizado la tipología cultural, en esos trabajos se categoriza a los individuos en base a resultados de cuestionarios, pero los resultados fallan en evidenciar las diferencias entre los tipos establecidos en la teoría cultural; un análisis de correlaciones no concuerda con las hipótesis que sugiere la teoría. Por lo tanto, se mejora el cuestionario y establece que cada “tipo” posee ambas dimensiones y solo se comparte una dimensión con la tipología vecina. Los nuevos resultados concuerdan con las hipótesis propuestas y validan con mejores resultados el esquema propuesto por la teoría cultural.

Los resultados más relevantes indican que para riesgos ecológicos, los igualitaristas muestran una mayor percepción del riesgo y los jerárquicos una despreocupación ante este riesgo. Para riesgos que alteran el orden social, los jerárquicos muestran una mayor percepción ante estos riesgos, en tanto los individualistas muestran una despreocupación. Para riesgos de tipo individual como desempleo o la enfermedad del SIDA, los fatalistas muestran una preocupación ante estos tipos de riesgo, los igualitaristas también muestran una preocupación, para los jerárquicos los resultados no son significantes como para decir que perciben o no un riesgo del tipo individual, en cambio para los individualistas los riesgos de tipos individual son indiferentes, se asume que es por su confianza individual y con la percepción de control (Rippl, 2002).

### 3 DATOS DEL MODELO

#### 3.1 Percepción del sismo

Los factores que determinan el riesgo percibido del evento que “recientemente se ha vivido” (terremoto) es la propia percepción del sismo y que es aumentado o disminuido por características personales.

En un estudio posterior al terremoto de 2010 que estudió el impacto en comunidades pesqueras, uno de los principales motivadores de la evacuación fue la magnitud del sismo y la observación de los niveles del mar (Marín et al., 2010).

El registro de tsunamis en Chile es amplio, para que se produzca el tsunami el sismo debe tener características mínimas como ser superior a 6,5 en escala Richter, un hipocentro superficial; menor a los 60 km, y epicentros cercanos a la línea de costa (Lagos, 2000). Marcelo Lagos recopila información de varios autores que han registrado tsunamis en distintos rangos de años. El resultado final de su trabajo incluye un total de 102 tsunamis desde 1562 hasta el año 2000. Cada registro contiene la magnitud del sismo y la magnitud del tsunami según la escala de Wiegel. Los resultados indican que en Chile el tsunami de mayor frecuencia es el de magnitud “0”; que no produce daños, se han producido 66 eventos, hasta el año 2000 y tiene una frecuencia de ocurrencia cada 5,6 años y una probabilidad observada de 0,65. Sigue el de magnitud “1”, se han producido 16 con una frecuencia cada 24,1 años y una probabilidad de 0,15, este evento provoca casas inundadas y los botes destruidos son arrastrados. Por lo tanto, cada incremento en la escala de tsunami representa un desastre mayor, de hecho, el tsunami magnitud “4”; que es el mayor, hasta el año 2000 se habían producido 4, con una frecuencia cada 67,5 años y una probabilidad 0,04, el ultimo evento registrado fue el de 1960. La relación magnitud del sismo con magnitud de tsunami es positiva pero no

lineal, la estadística sugiere que hay zonas que favorecen una relación fuerte entre magnitud del sismo con la del tsunami por las propias características tectónicas y del terreno.

Los últimos registros de tsunami son en el año 2010 con el terremoto en el Maule que provocó un tsunami destructor. En Talcahuano se produjeron olas de 12 m de altura, en caleta tumbes entre 8 y el máximo runup de 30 m. cabe destacar que el tsunami de 2010 afectó a 600 km de costa, por lo tanto, se puede categorizar en magnitud 4. En 2011 Chile recibió un tsunami que se produjo en Japón las olas de mayor altura se observaron en Arica, Constitución y Talcahuano con 2,23 m. En 2014 en el terremoto de Iquique produjo un tsunami leve grado 1, con olas de un máximo de 2,59 m en Iquique, en Talcahuano alcanzó los 0,36 m. El último tsunami se produjo en 2015 con el terremoto de Coquimbo, la altura máxima de ola fue en Coquimbo con 4,61 m y en Talcahuano alcanzó los 1,2 m (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, n.d.).

¿Cómo se relaciona la magnitud del sismo con la intensidad? No hay una relación directa pues la magnitud mide la energía que se libera desde el foco, como se dijo influye el hipocentro, características del suelo y del propio sismo, y la intensidad es como se percibe el sismo y los daños que se producen en la superficie.

La ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública) que es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil. Su misión es planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocadas por la acción humana (DIPECHO, 2012). Recomienda que si se está en zona costera y se produce un sismo y este “dificulta la permanencia en pie o si dura más de 30 segundos” entonces accionar el plan de emergencia que se tenga a nivel familiar o comunidad.

Según la escala de intensidad modificada de Mercalli que contempla 12 grados. Un sismo con intensidad “VI” ya indica que hay cierta inseguridad al caminar. Un sismo intensidad “VII” señala de forma manifiesta que hay una dificultad para permanecer en pie”. Los grados de intensidad mayor contemplan cada uno un daño considerable en infraestructura, la reacción de las personas, etc.

Según los registros, el terremoto de 2010 tuvo una intensidad de grado IX en las zonas más cercanas (Concepción, Cobquecura), su magnitud fue de 8,8  $M_W$ . El terremoto de Iquique 2014 tuvo una intensidad grado VIII en Arica y grado VII en Iquique, su magnitud fue de 8,2  $M_W$ . El terremoto de Coquimbo 2015 tuvo una intensidad de grado VIII en Coquimbo y La Serena, su magnitud fue de 8,4  $M_W$  (Centro Sismológico Nacional [CSN], n.d.).

Por lo tanto, como no se tienen datos que relacionen la percepción de intensidad de cada individuo con su respuesta. Se asume que cada grado a partir del “VI” aumenta en una unidad la percepción del sismo o del riesgo que se enfrenta. Ahora depende de cada individuo según características personales como edad, sexo, grupo familiar, experiencias previas. Identificar la amenaza y saber si están en riesgo y, en qué medida, de sufrir la amenaza de un tsunami.

### 3.2 Características Personales

¿En qué medida afecta tanto el género del individuo, la edad y el tamaño familiar hacia la respuesta de emergencia? Se realiza una regresión lineal en donde la variable dependiente es, si evacuaron o no para el terremoto y tsunami de 2010. Las variables independientes son el género, edad, tamaño familiar y si poseen un plan familiar, en la ecuación 1 se muestra el modelo estimado y en la tabla 8 se muestran los coeficientes para cada variable.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 \quad (1)$$

- $X_1$  corresponde al género
- $X_2$  corresponde al rango de edad
- $X_3$  corresponde al tamaño familiar
- $X_4$  corresponde a si el grupo familiar tiene plan de evacuación

**Tabla 8:** Coeficientes Betas para cada variable independiente.

	$\beta$
(Constante)	0,193
Género	-0,107
Rango de Edad	0,022
Grupo Familiar	-0,010
Plan familiar de evacuación	0,128

Si evacuaron o no para el tsunami del año 2010 se trabaja de forma binaria en donde 0 es si evacuó y 1 no evacuó. En cuanto al género, 0 es masculino y 1 es femenino, por lo que se deduce que una persona del sexo femenino tiende 0,107 hacia la evacuación o tiene una mayor percepción del riesgo o un menor riesgo aceptado. El rango de edad se divide en 5, como se muestra en la tabla 2, por lo que cada aumento del grupo etario supone una inclinación hacia no evacuar, esto comprueba que la presencia de un adulto mayor inhibiría en cierto grado la evacuación. El grupo familiar es un número y el coeficiente beta indica que a medida que aumenta el tamaño familiar; en una pequeña fracción ayuda a acercar el valor hacia 0 que corresponde a la evacuación. En el plan familiar el valor beta es de 0,128, si el valor de entrada era 0 corresponde a si tienen plan familiar y 1 que no tienen plan familiar, esto reafirma a la literatura que dice que las familias con plan de evacuación tienden a la evacuación. Al hacer la regresión de esta forma, aunque la encuesta no está diseñada para asociar la evacuación con factores personales, nos permite establecer valores para cada variable en el sistema dinámico.

### 3.3 Vulnerabilidad

Para el presente modelo la vulnerabilidad es un indicador que mide varios factores relacionados con conocimientos y herramientas de una comunidad para hacer frente a un desastre, la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad numéricamente entre 0% y 100%. Lo relevante del análisis de vulnerabilidad resulta que es una “condición previa que se manifiesta durante el desastre”.

La estratificación que se ve en la tabla 9, es el resultado final de un análisis multidimensional de la vulnerabilidad. Considera ocho evaluaciones: vulnerabilidad ambiental y ecológica, física, económica, social, educativa, cultural e ideológica, política e institucional, científica y tecnológica (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2013). Para cada análisis de vulnerabilidad se forma un cuadro descriptivo de referencia para clasificar a la zona de estudio en un rango de vulnerabilidad, estos cuadros son en base a características de la zona de estudio.

En el modelo el input de vulnerabilidad será el promedio de 4 vulnerabilidades, la vulnerabilidad física, económica, social y educativa. La vulnerabilidad física que mide la calidad y el tipo de construcción de los distintos inmuebles de la zona de estudio. Si la calidad del inmueble es alta y cumple con toda norma y durante un sismo la vivienda no sufre de daños a la vista, esto podría afectar en la percepción de la amenaza. La vulnerabilidad económica es el acceso a capital económico que tiene una comunidad para hacer frente a un desastre. Se ha dicho que el nivel de ingreso se relaciona con la capacidad de respuesta. La vulnerabilidad social mide el nivel de organización de la comunidad para prevenir y responder ante un desastre. La vulnerabilidad educativa se refiere a la incorporación en los distintos niveles de educación de información sobre los desastres.

Ante la falta de estudios de vulnerabilidad en la zona, el input de vulnerabilidad será para hacer el análisis.

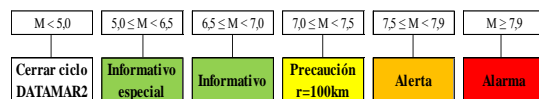
**Tabla 9:** Estrato, descripción y valor de la vulnerabilidad.

Estrato/Nivel	Descripción/Características	Valor
VB Vulnerabilidad Baja	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, total participación y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	1 < de 25%
VM Vulnerabilidad Media	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes	2 De 26% a 50%
VA Vulnerabilidad Alta	Viviendas asentadas en zonas donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	3 De 51% a 75%
VMA Vulnerabilidad Muy Alta	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	4 De 76% a 100%

Nota. Fuente: (INDECI, 2013)

### 3.4 Advertencias de tsunami

ONEMI es la encargada de recopilar información de distintas fuentes y alertar a la población ante un riesgo. El SHOA en su misión declara ser el servicio oficial, técnico y permanente del Estado, en todo lo que se refiere a hidrografía. Para ONEMI el SHOA es el encargado de monitorear el nivel del mar y entregar información al respecto. SHOA activa sus sistemas cuando el sismo en campo cercano tiene magnitud e intensidad mayor o igual a “6”, y en campo lejano cuando tiene magnitud mayor o igual a “7”. En los sismos de campo cercano el protocolo es seguir pasos según la magnitud, ver figura 5.



**Figura 5:** Evaluación ante sismos de campo cercano por magnitud.

Fuente: (Zúñiga, n.d.)

DATAMAR2 es la red marítima de coordinación y emergencias, la finalidad es mantener operativa la capacidad de alertar e informar por parte de la autoridad marítima en caso de producirse una catástrofe. Cuenta con 220 sirenas repartidas en zona norte, centro y sur. Cada una tiene un alcance del sonido cercano a los 1000m. ONEMI con el centro de alerta temprana (CAT), establecen 4 tipos de alerta:

- Alerta verde: su función es advertir lo más pronto posible toda situación de riesgo que pudiese escalar a emergencia a nivel país.
- Alerta Preventiva: estado de reforzamiento de las condiciones de vigilancia.
- Alerta Amarilla: se activa cuando la amenaza aumenta en extensión y severidad, lo que supone que no podrá ser contenida con los recursos locales habituales.

- Alerta Roja: se activa cuando el evento aumenta en extensión y severidad, siendo necesario movilizar todos los recursos disponibles. Puede ser establecida de inmediato según la situación.

ONEMI para dar respuesta ante un sismo tsunamigénico mantiene una red de 1500 informantes para medir la intensidad de Mercalli. Finalizado el sismo entre 4-10 min espera que el CSN (centro sismológico nacional) en conjunto con organismos internacionales establezcan la magnitud. Dentro de 5 min el SHOA tiene que establecer el tipo de alerta de tsunami. ONEMI considera que 15 min después del sismo podría llegar la primera ola. La literatura indica que el primer aviso que se producirá un tsunami es el recogimiento en la costa del mar, después de eso entre 5 y 30 min llegará el primer oleaje.

Para transmitir una alerta de tsunami a la población, ONEMI tiene 3 canales oficiales. Sistema SAE (sistema de alerta de emergencia) para celulares, organismos del SPC (sistema de protección civil) en terreno, sistema de sirenas de alerta.

El sistema SAE permite entregar un mensaje de alerta a los celulares de la población que están en zona de riesgo, sin necesidad de ocupar las redes de celular que en una emergencia tienden a colapsar. El mensaje consta de máximo 90 caracteres, con información de fecha y hora, además del tipo de advertencia. El celular vibrará y sonará al máximo nivel con un sonido distinto a cualquier tipo regular, tiene una duración mínima de 3 min y solo podrá ser interrumpido por el usuario. Las limitaciones del sistema es que solo un 25% de los teléfonos es compatible con el sistema. Se espera que el primer semestre del año 2017 todo teléfono que sea comercializado cumpla con la norma. La advertencia que contiene el mensaje y que se transmite por los otros canales son de cuatro tipos:

- Estado de precaución: cuando existe la probabilidad de que se genere un tsunami menor, la instrucción es alejarse a 80 m de la línea de costa. Esta información se entrega por SAE y SPC
- Evacuación preventiva: acción establecida por ONEMI inclusive sin tener información de SHOA, se instruye evacuar hacia zona segura, sobre los 30 m con respecto al nivel del mar. Esta información se entrega por SAE, SPC y sirenas de alerta.
- Alerta de tsunami: estado determinado por SHOA cuando existe una alta probabilidad de ocurrencia de un tsunami por sismo en campo cercano o lejano. La instrucción es ir a zona segura. La información se entrega por SAE, SPC y sirenas de alerta.
- Alarma de tsunami: estado determinado por SHOA cuando existe un peligro inminente de tsunami. La instrucción es ir a zona segura. La información se transmite por SAE, SPC y sirenas de alerta.

### 3.5 Contexto social y cultural

En los rasgos de personalidad que determinan la percepción de riesgo ¿la tipología grilla-grupo de la teoría cultural podría ser un predictor para el comportamiento?

Las cosmovisiones son en base a percepciones de riesgo que tienen los individuos en donde su integridad o su vida se ve en peligro (Cid Ortiz, Castro Correa, & Rugiero de Souza, 2012). Son calificaciones ante eventuales riesgos, pero si el riesgo se hace latente, la amenaza se hace realidad, ¿su comportamiento seguirá el patrón establecido en la tipología? Para poder asegurar que la teoría cultural podría determinar el comportamiento es necesario hacer un trabajo especial. Pero empíricamente en varias encuestas donde se analizan evacuaciones se puede encontrar ciertos indicios, de los que evacuan un porcentaje lo hace de inmediato, otro grupo espera hasta que una autoridad sugiera u ordena evacuar. Los que no evacuan un porcentaje lo hace porque no percibe un riesgo individual, etc. (Dow & Cutter, 1998; Fischer et al., 1995).

En nuestra encuesta, ante el evento de 2010, la tabla 10 muestra los tiempos en los cuales se inició la evacuación después del terremoto, y en la tabla 11 como se enteraron de la evacuación de tsunami.

Wachtendorff

**Tabla 10:** Aproximadamente, ¿Cuánto tiempo tardó en salir de su hogar desde el momento en que ocurrió el terremoto?

Tiempo (min)	Frecuencia	Porcentaje
0	15	4,2
No evacuó	69	19,4
5	80	22,5
10	55	15,4
15	36	10,1
20	20	5,6
30	29	8,1
60	9	2,5

Esta tabla agrupa el 87,8% de los encuestados, el resto se distribuye en porcentajes no significativos entre los tiempos. Para efectos de generar líneas de tendencia hacia el comportamiento es que se establecen porcentajes para cada tipología.

**Definición 1** *Se considera que un 4,2% de la población tiene una respuesta según una percepción fatalista.*

**Tabla 11:** ¿Cómo se enteró de la evacuación de tsunami?

	Frecuencia	Porcentaje
Conocimiento	98	27,5
Vecino/Familia	97	27,2
Radio	43	12,1
No evacuó	30	8,4
Bombero/Policía (sirena/megáfono)	27	7,6
No recuerda	15	4,2
No evacuó, pero se enteró por Vecino/Familia	14	3,9
No evacuó, pero se enteró por la Radio	12	3,4
No evacuó, pero se enteró por Bombero/Policía (sirena/megáfono)	7	2,0
No evacuó y tampoco recuerda cómo se enteró	2	0,6
Al presenciar la salida del mar	2	0,6
No evacuó, pero por Conocimiento estuvo al tanto	2	0,6
No evacuó, pero se enteró por Televisión	2	0,6
No se especifica	2	0,6
No hubo información	1	0,3
Observó cómo se recogía el mar	1	0,3
Televisión	1	0,3
Total	356	100

De la tabla 11 un 8,4% corresponde a los que no evacuaron y tampoco señalan si recibieron información sobre la evacuación, este porcentaje parecería ser el efecto negativo de la nula información.

Un 11% que corresponde al resto de los que no evacuaron, pero señalan que de alguna forma (o no recuerdan) se enteraron de la evacuación, pero igual no evacuaron.

**Definición 2** *un 11% se comporta bajo una tipología individualista.*



Recordemos que los individualistas tienen baja percepción de riesgos que afecten el orden social o del tipo individual, esto se asume por la confianza en sus habilidades y percepción de control. Quizá este grupo hace un trabajo más intensivo de los costos y beneficios de evacuar o no. Otro análisis se puede hacer en base a la tabla 7, en donde se les pregunta a los encuestados ¿Qué acciones consideró antes de evacuar? Un 8,1% indica que esperaron a que todo el grupo familiar estuviera listo para evacuar, un 5,9% actuó con el mismo pensamiento y adicionalmente recopilaron implementos básicos. Estos dos grupos forman un 14% en donde se preocuparon de su grupo familiar.

**Definición 3** *un 14% se comporta bajo una tipología igualitaria.*

El igualitarista percibe un mayor riesgo hacia las amenazas que afecten a los individuos, relacionado con su tendencia hacia los grupos sociales, en donde consideran relevantes las opiniones y decisiones del resto.

Para establecer un porcentaje que siga una tipología jerárquica se utiliza los valores de la tabla 5, en donde un 19,9 % de las personas evacua, a pesar de que la amenaza se origina a cientos de kilómetros.

**Definición 4** *un 19,9% se comporta bajo una tipología jerárquica.*

Otro aspecto cultural de un cierto grupo de la población chilena es influir su decisión por el temor a robos. De los que no evacuaron durante el terremoto de 2015 Un 9,3% su decisión se basó por el temor a robos al dejar su vivienda desprotegidas. Según la encuesta nacional urbana de seguridad ciudadana (ENUSC) del año 2015, en la región del Biobío el porcentaje de hogares victimizados (robos con violencia o intimidación, por sorpresa, en la vivienda, de vehículos hasta hurtos y lesiones) es de un 25% (Subsecretaría de prevención del delito, n.d.).

#### **4 SISTEMA DINÁMICO**

El sistema dinámico propuesto es el siguiente y se muestra en la figura 6. La dinámica parte con una primera construcción del riesgo asociado al sismo, esta primera parte tiene una duración temporal asociada a la duración del sismo, que depende de la intensidad. Después de que termine el sismo comienzan a trabajar los niveles de riesgo percibido y riesgo aceptado, con valor inicial igual al valor que arrojó el riesgo asociado al sismo. El riesgo percibido se ve influenciado por la alerta que se estima que llegará cierto tiempo después del sismo, una componente familiar y datos de vulnerabilidad. El riesgo aceptado trabaja con las mismas componentes, pero también se ve influenciado por la cosmovisión que elija la simulación.

Las influencias por colores representan un subsistema, el primer subsistema que se analiza corresponde a la construcción de la percepción del riesgo durante el sismo, ver figura 7(a), esta acumulación de riesgo dura hasta cuando aleatoriamente el sistema asigna el tiempo de duración del sismo, según la intensidad. Cuando se cumple la condición del tiempo, el riesgo se acumula según una función lineal. La pendiente está determinada según características personales como experiencia previa, género y edad, con el fin de lograr un mayor valor si la persona tiene experiencias previas. La variable “x” está determinada por cada time-step. Adicionalmente la percepción del sismo está determinada por vulnerabilidades físicas y educativas y la intensidad del sismo.

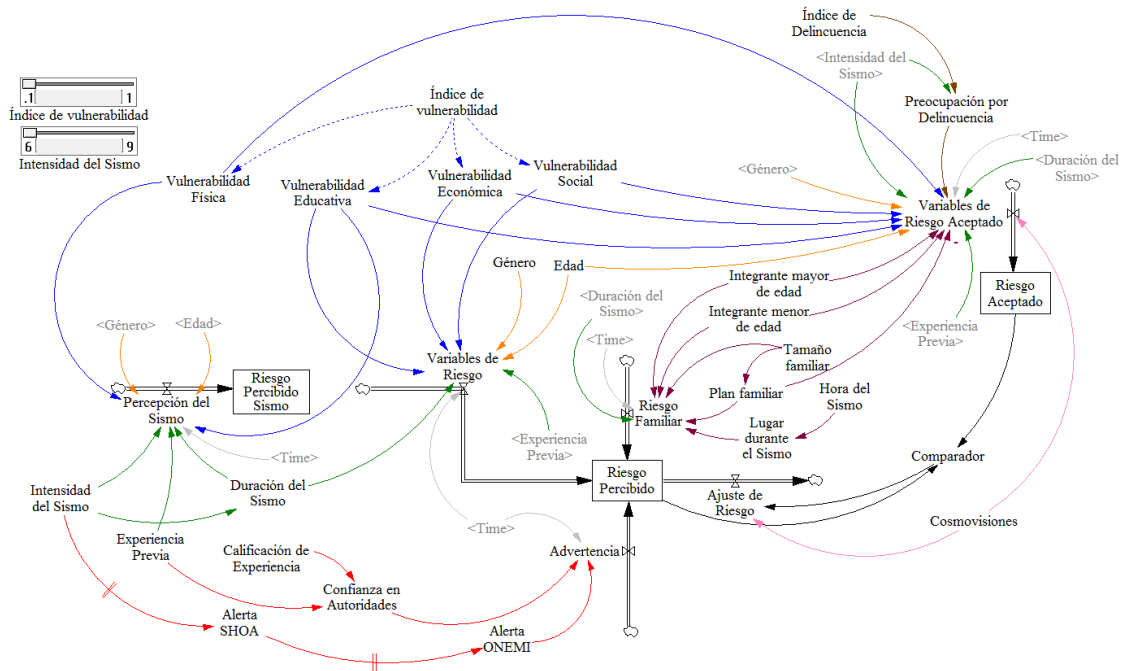


Figura 6: sistema dinámico propuesto

En el segundo subsistema, que corresponde a la advertencia, ver figura 7(b), se inicia una vez terminado el sismo, donde según la intensidad o magnitud el SHOA teniendo 4 categorías alerta a ONEMI, desde ONEMI se genera una advertencia con las 4 categorías disponibles y los 3 canales que ellos poseen, la limitación es que un canal de ONEMI, el SAE, solo un 25% de la población tiene ese sistema. La advertencia tiene que ser validada y aceptada, para eso se analiza la confianza en las autoridades como un porcentaje aleatorio, el si tiene experiencia o no es determinado por la encuesta donde se normalizaron los datos obteniendo su media y desviación estándar, al final es el producto de la alerta por la confianza, si la confianza es alta, el valor que se añade a la percepción del riesgo también es alto. La variable de tiempo se incorpora porque la advertencia llega unos minutos posterior al sismo.

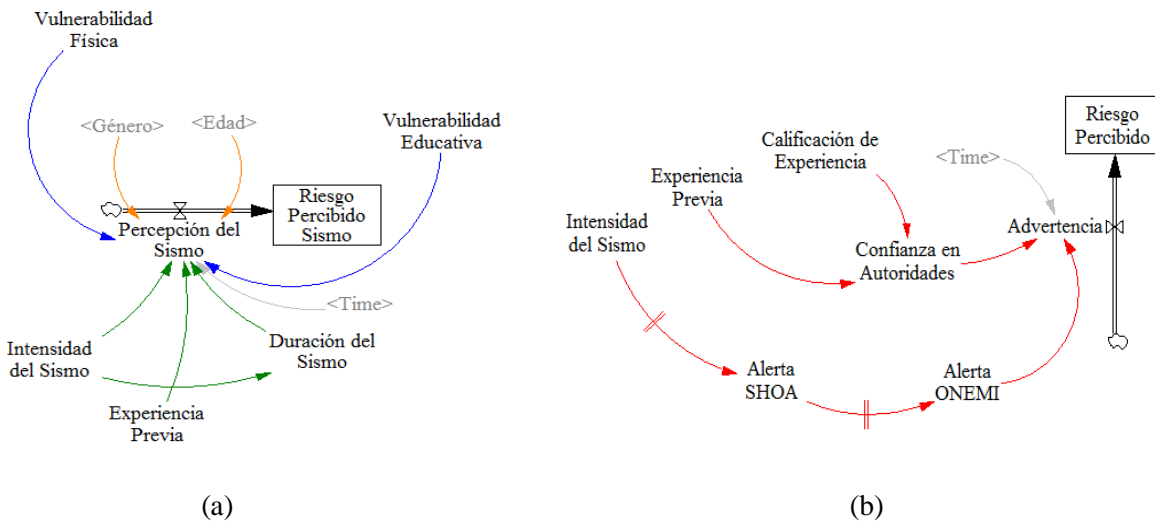
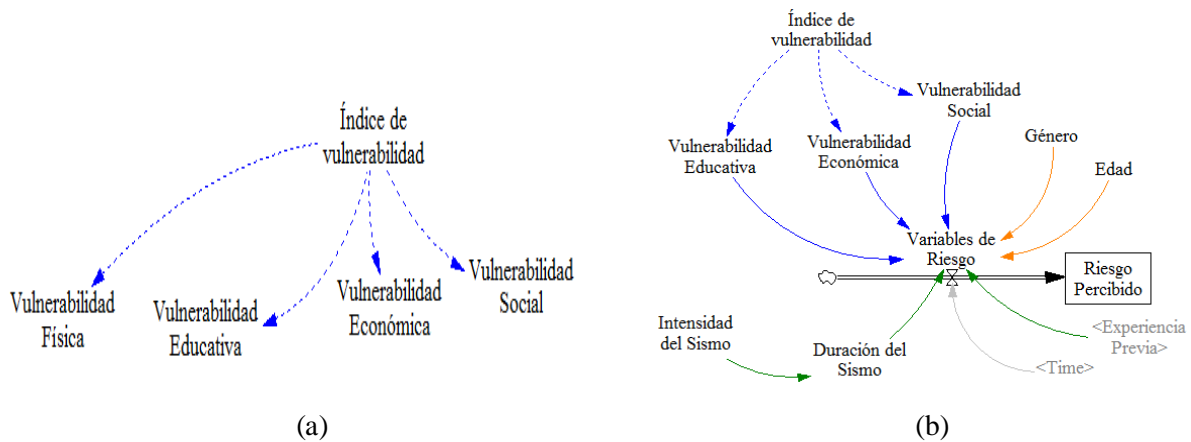


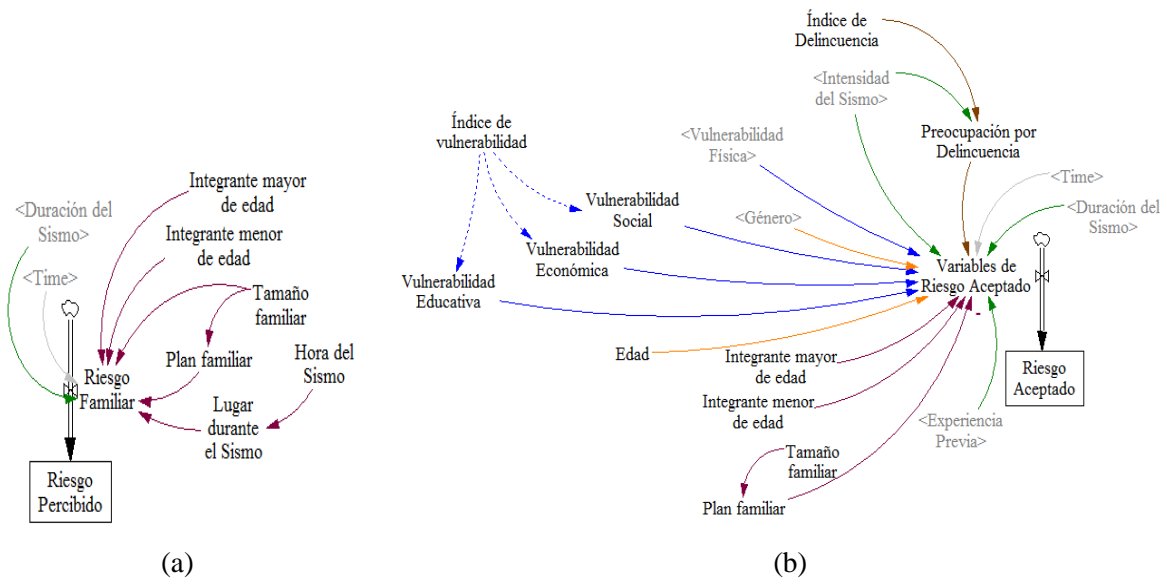
Figura 7: subsistemas, (a) percepción del sismo; (b) advertencia de tsunami por intensidad del sismo



**Figura 8:** subsistemas, (a) vulnerabilidades; (b) variables de riesgo

El tercer subsistema es el de vulnerabilidades, figura 8(a), donde el índice de vulnerabilidad es un valor promedio de las cuatro vulnerabilidades consideradas en este modelo, el valor de entrada es el índice y esta entrega el valor a cada vulnerabilidad para ser aplicada en las distintas etapas. El cuarto subsistema, figura 8(b), es el llamado variables de riesgo, incorpora variables de distinto tipo que afectan al riesgo percibido, involucra a la duración del sismo y el tiempo de la simulación, pues el riesgo percibido comienza a trabajar una vez finalizado el sismo.

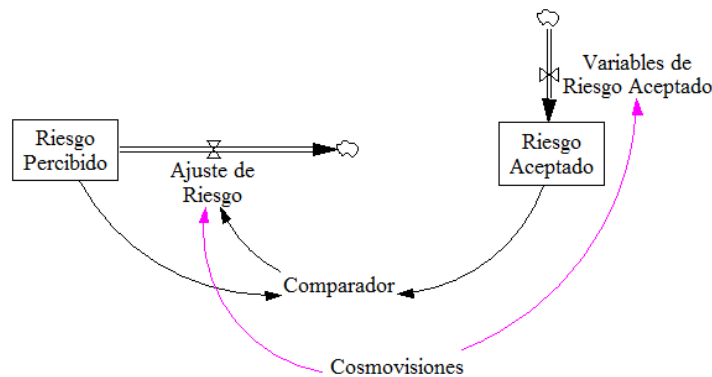
Los siguientes subsistemas son el de riesgo familiar ver figura 9(a), y el de riesgo aceptado, ver figura 9(b), el riesgo familiar incorpora las variables detectadas en la investigación y que influyen en la toma de decisión personal, tal como dice la literatura, la decisión de evacuación rara vez pasa por una decisión individual, aunque el hogar sea unipersonal. La hora cuando ocurre el sismo es relevante para determinar una probabilidad de que la familia este reunida, tal como ocurrió durante el terremoto de 2010 que fue a las 3:30 am aprox. Esto permitió que las familias estuvieran reunidas, por lo tanto, la hora cuando ocurre el sismo se divide en 2 bloques, noche y resto del día, donde en la noche hay una mayor probabilidad de que la familia este reunida que en el resto del día. El tamaño familiar también se obtuvo desde la encuesta, siguiendo una distribución normal, se relaciona el tamaño familiar con si la familia tiene o no un plan familia, siguiendo una función obtenida por la encuesta. Si la familia tiene la presencia o no, de un adulto mayor o de un menor de edad, está relacionado según el tamaño familiar y la edad del individuo según la simulación. El sexto subsistema corresponde al de riesgo aceptado, aquí influyen la mayoría de las variables descritas anteriormente, se puede considerar el factor de inseguridad por temor a robos que a cierto grupo de personas puede influir en su decisión.



**Figura 9:** subsistemas, (a) riesgo familiar; (b) riesgo aceptado

Otro aspecto importante es cómo trabaja la cosmovisión, ver figura 10, se definieron los porcentajes para las cuatro cosmovisiones de la tipología grilla/grupo. Como las cuatro cosmovisiones sumadas dan aproximadamente un 50%, el otro porcentaje es asignado como “otro comportamiento” en donde su dinámica es comprobar la amenaza, seguir la advertencia, o mantener el comportamiento que entrega la estructura del sistema.

Por ejemplo, si la cosmovisión elegida es jerárquica, tenderá a aumentar el valor de la advertencia y así aumentar su riesgo percibido y evacuar. Si la cosmovisión elegida es individualista su nivel de riesgo aceptado tenderá a ser superior que el riesgo aceptado. Si la cosmovisión es igualitarista le asignará un mayor peso al riesgo familiar, etc.



**Figura 10:** comparación, ajustes de riesgo y cosmovisión

#### 4.1 Experimentos

## 5 LIMITACIONES

Cada subsistema requiere de una investigación y análisis en particular para identificar los valores concretos con que influyen a las percepciones del riesgo, en el modelo propuesto se infieren valores producto del conocimiento adquirido y por ser el primer aporte de este trabajo se permite estos supuestos.

Otro aspecto a mejorar es el tema del aporte de rasgos o sesgos culturales de cada comunidad, es un aspecto relevante para el modelo del comportamiento pues es innegable su contribución. La población de Valparaíso se siente más segura ante tsunamis por el hecho de tener los cerros colindando. La población en sectores del norte tiene otra visión pues no han tenido un evento importante en mucho tiempo. La población del Maule ahora siente un menor riesgo ante terremotos o tsunamis pues creen que como ya sucedió un evento desastroso hace muy poco, un evento similar no ocurrirá en una buena cantidad de años, lo cual puede ser cierto, pero la evacuación de un tsunami se debe hacer de todas formas si el tsunami es mayor, como también si es intermedio o menor, según la autoridad indique, correr el riesgo es innecesario.

La teoría cultural propone cuatro tipologías, la cual brinda una idea o una postura del individuo ante riesgos conocidos pero que no se presentan aún. La interpretación de que cada tipología representa un “perfil de riesgo” es una definición en este modelo, sirve para representar la idea original, que hay aspectos culturales que inciden en la toma de decisión. Pero sin duda se podría encontrar un mejor término.

## 6 CONCLUSIONES

La contribución teórica de este trabajo es la integración como un sistema dinámico de distintos modelos para la medición de la percepción del riesgo, ya sea el paradigma psicométrico, la teoría cultural y la homeostasis del riesgo. Algo que difiere de lo que se había hecho hasta el momento.

Para generar la conducta el modelo compara el riesgo percibido con el riesgo aceptado, específicamente utiliza la diferencia de estos valores para buscar el equilibrio lo cual se traduce en la conducta del individuo.

Pero esta diferencia entre riesgo percibido y riesgo aceptado, puede ser interpretado de otra forma, puede ser un valor homeostático para cada individuo; el valor absoluto de esta diferencia, y la interpretación de este valor se puede asociar al nivel de resiliencia de cada individuo, con los resultados de una población se puede obtener un valor promedio de la resiliencia de una comunidad en particular para hacer frente a un desastre.

Adicional a este trabajo a futuro también es relevante relacionar modelos de evacuación física y modelos del comportamiento humano para simular de forma más precisa evacuaciones por tsunamis en este caso.

## REFERENCIAS

- Ashby, W. R. (1999). *An introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall. Retrieved from <http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf>
- Bronfman, N. C., Cisternas, P. C., López-Vázquez, E., & Cifuentes, L. A. (2016). Trust and risk perception of natural hazards: implications for risk preparedness in Chile. *Natural Hazards*, 81(1), 307–327. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2080-4>
- Cid Ortiz, G. A., Castro Correa, C. P., & Rugiero de Souza, V. (2012). Percepción del Riesgo en Relación con Capacidades de Autoprotección y Autogestión, Como Elementos Relevantes en la Reducción de la Vulnerabilidad en la Ciudad de la Serena. *Revista Invi*, 75(27), 105–142. <http://doi.org/10.4067/S0718-83582012000200004>
- CSN. (n.d.). Centro Sismológico Nacional. Retrieved from <http://www.sismologia.cl/>
- Dash, N., & Gladwin, H. (2007). Evacuation Decision Making and Behavioral Responses : Individual and Household. *Natural Hazards Review*, 8(3), 69–77.
- Departamento de Gestión Integral de Riesgo. (2016). *Estrategias territoriales para la reducción del riesgo de desastre*. Talcahuano, Chile. Retrieved from <http://www.talcahuano.cl/minisito/gestion-de-riesgo/noticias/2016/03/30/talcahuano-lanza-libro-de-gestian-de-riesgo-ante-desastres-y-emergencias/>

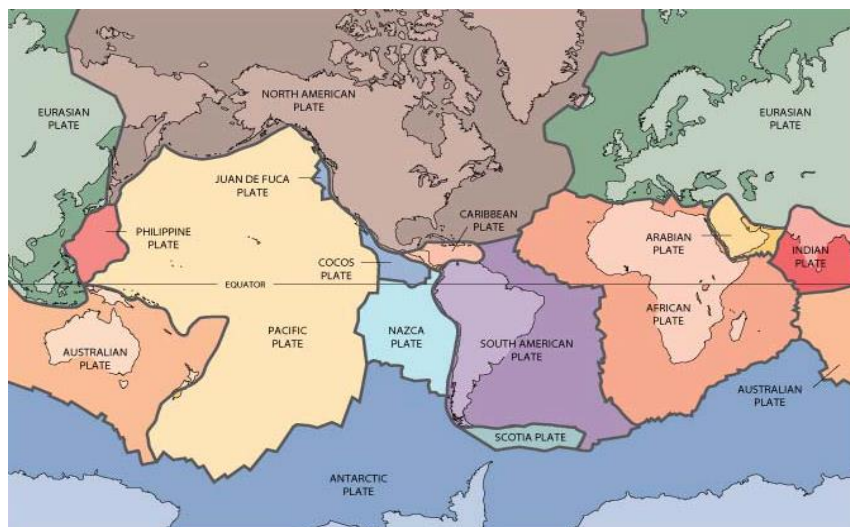
- DIPECHO. (2012). Análisis de riesgos de desastres en Chile. Retrieved from <http://dipecholac.net/sites/chile/contenido/71-chile.html>
- Dow, K., & Cutter, S. L. (1998). Crying wolf: Repeat responses to hurricane evacuation orders. *Coastal Management*, 26(4), 237–252. <http://doi.org/10.1080/08920759809362356>
- Fischer, H. W., Stine, G. F., Stoker, B. L., Trowbridge, M. L., & Drain, E. M. (1995). Evacuation behaviour: why do some evacuate, while others do not? A case study of the Ephrata, Pennsylvania (USA) evacuation. *Disaster Prevention and Management*, 4(4), 30–36. <http://doi.org/10.1108/09653569510093414>
- INDECI. (2013). Vulnerabilidad. Lima, Perú. Retrieved from <http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/maestria-grd/maestria-gestion-del-riesgo-de-desastres.htm>
- Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., ... Ratick, S. (1988). The social amplification of risk: a conceptual framework. *Risk Analysis*, 8(2). <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1988.tb01168.x>
- Lagos, M. (2000). Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 27, 93–102.
- Leach, J. (1994). *Survival Psychology*. Palgrave Macmillan.
- Lockridge, P. A. (1985). Tsunamis in Perú-Chile. world data center a for solid earth geophysics (Vol. 39). Boulder, Colorado, USA. Retrieved from <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/hazards/publications/Wdce-39.pdf>
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Física de La Tierra*, 10, 221–255. Retrieved from <http://revistas.ucm.es/index.php/fite/article/view/13004>
- Marín, A., Gelcich, S., Araya, G., Olea, G., Espíndola, M., & Castilla, J. C. (2010). The 2010 tsunami in Chile: Devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Marine Policy*, 34(6), 1381–1384. <http://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.06.010>
- Mileti, D. S., & Brien, P. W. O. (1992). Warnings during Disaster: Normalizing Communicated Risk. *Social Problems*, 39(1), 40–57. <http://doi.org/10.2307/3096912>
- Rippl, S. (2002). Cultural theory and risk perception: a proposal for a better measurement. *Journal of Risk Research*, 5(2), 147–165. <http://doi.org/10.1080/13669870110042598>
- Rodolfo, K. (2000). What is Homeostasis? *Human Biology*, 1–10. Retrieved from <https://www.scientific-american.com/article/what-is-homeostasis/>
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (n.d.). Registro de los principales tsunamis que han afectado a la costa de Chile. Retrieved from [http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis\\_historico.pdf](http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis_historico.pdf)
- Simon, H. A., Dantzig, G. B., Hogarth, R., Plott, C. R., Raiffa, H., Schelling, T. C., ... Winter, S. (1987). Decision Making and Problem Solving. *Interfaces*, 17(5), 11–31. <http://doi.org/10.1287/inte.17.5.11>
- Simonet, S., & Wilde, G. J. S. (1997). Risk: Perception, Acceptance and Homeostasis. *Applied Psychology*, 46(3), 235–252. <http://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1997.tb01228.x>
- Sorensen, J. H., & Sorensen, B. V. (2007). Community Processes: Warning and Evacuation. In *Handbook of Disaster Research* (pp. 183–199). [http://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4\\_11](http://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4_11)
- Subsecretaría de prevención del delito. (n.d.). ENUSC 2015. Retrieved from <http://www.seguridadpublica.gov.cl/encuestas/encuesta-nacional-urbana-de-seguridad-ciudadana-2015/>
- Vorst, H. C. M. (2010). Evacuation models and disaster psychology. *Procedia Engineering*, 3, 15–21. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.004>
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox-implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049–1065. <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>
- Wildavsky, A., & Dake, K. (1990). Theories of risk perception: Who fears what and why? *Daedalus*, 119(4), 41–60. <http://doi.org/10.2307/20025337>
- Wilde, G. (1982). The theory of risk homostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209–225. <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x>

Wachtendorff

Zúñiga, C. (n.d.). Información Sísmica en la Evaluación de Peligro de Maremoto: Perspectiva de SHOA.  
Retrieved from [https://www.iris.edu/hq/files/workshops/2015/05/gro\\_chile/presentations/Zuniga.pdf](https://www.iris.edu/hq/files/workshops/2015/05/gro_chile/presentations/Zuniga.pdf)

## ANEXO A. Procesos internos de la tierra

La actividad sísmica y volcánica del planeta está relacionada a grandes procesos que ocurren en este. Estos procesos están descritos bajo la teoría tectónica global de placas<sup>1</sup>, la teoría postula entre otros aspectos que la litosfera se compone por varios fragmentos que cubren por completo al globo, ver figura A.1. Estas son las placas litosféricas o placas tectónicas y que se encuentran en movimiento bajo los océanos, continentes o ambos, se ha establecido que existen 14 grandes placas y 38 placas de menor tamaño (Bird, 2003).



**Figura A.1.** Placas tectónicas

Fuente: (Kious & Tilling, 1996)

La litosfera es la capa externa y rígida del globo terrestre, comprende la corteza y una parte del manto superior. Se desplaza sobre una capa menos rígida llamada astenosfera que comprende el resto del manto superior hasta unos 700 km de profundidad. El movimiento de estas placas se debe al fenómeno físico llamado convección. El principio es; la materia más fría (más densa que la materia caliente) tiende a descender, por

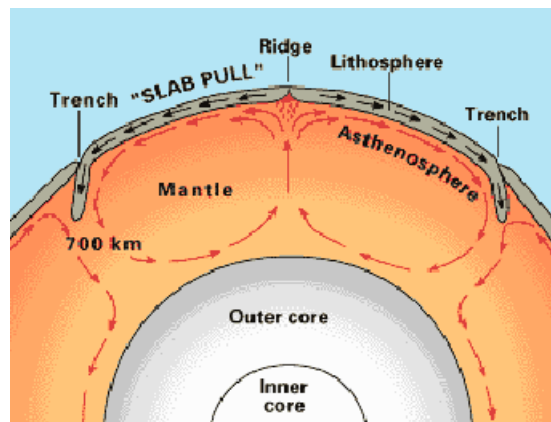
---

<sup>1</sup> Teoría establecida gracias a la contribución inicial en 1915 de Alfred Wegener con su postulado de la deriva continental, y posteriormente mejorada con aportes de Harry Hammond Hess y J. Tuzo Wilson, entre otros científicos.



su parte la materia más caliente (menos densa) tiende a ascender. En el manto, las zonas más hondas son de características calientes, mientras que en la zona superior del manto son frías, es por esto que se produce este movimiento cíclico, tal como se visualiza en la figura A.2.

Este movimiento vertical de materia tiene su efecto en la zona entre la litosfera y astenosfera produciendo un movimiento horizontal que a su vez causa el movimiento de las placas tectónicas.



**Figura A.2.** Movimiento por convección del manto

Fuente: (Kious & Tilling, 1996)

El movimiento entre las placas es de 3 tipos: movimiento divergente, convergente y deslizamiento horizontal. También en ciertas regiones existe una “zona de límite de placas”, tal como explican Kious y Tilling (1996, p.16) “son cinturones anchos en las cuales los límites no están bien definidos y los efectos entre las placas no están claros”.

**El movimiento de divergencia:** es la separación de las placas, esto se da mayoritariamente en los fondos de los océanos; la excepción se produce en el gran valle del rift, en África. Estas franjas de divergencia han producido unas zonas llamadas dorsales. Las dorsales son cadenas montañosas que se elevan en promedio entre 1.500 o 2000 m. En el centro

de estas dorsales están los llamados rift<sup>2</sup>, donde surge el magma y al solidificarse por el contacto con el agua forma nuevas rocas llamadas “basaltos”, esta creación de rocas; o en términos prácticos, creación de nueva corteza puede variar en un ritmo entre 1 a 18 cm por año. Este proceso se ha denominado como expansión del fondo oceánico.

**El movimiento de convergencia:** es el movimiento donde las placas tectónicas se dirigen una hacia la otra, y que por lo general una se desliza sobre la otra, este proceso se denomina “subducción y conlleva una destrucción de corteza, pero mantiene un equilibrio con las zonas de creación de corteza. Los movimientos de convergencia dependen de los límites de la litosfera involucrados. Estos pueden ser:

- Entre una placa oceánica y una placa continental: este movimiento se caracteriza por el deslizamiento de la placa más pesada; en este caso la oceánica, con un espesor promedio de 5 km, pero muy densas, por debajo de la placa más ligera; la placa continental, que poseen una corteza más gruesa de un espesor promedio de 30 km, pero más livianas.

En las zonas de subducción, la manifestación física se traduce en las fosas oceánicas, que son profundas depresiones en torno a 4.500 y 11.000 m.

En el caso de Chile, la placa oceánica Nazca se desliza bajo la placa continental Sudamericana a un ritmo entre 6-7 cm al año (Barrientos, 2015). La fosa oceánica que se produce se llama la “fosa de Perú-Chile”. Esta tiene una máxima profundidad de 8.065 m a la altura de Antofagasta.

El proceso de subducción de la placa de nazca con la placa sudamericana también generó; y continúa formando, a la cadena montañosa de los Andes.

- Entre 2 placas oceánicas: la interacción de 2 placas oceánicas donde una de ellas se desliza bajo la otra y produce grandes fosas. Es el caso de la fosa de las Marianas, cercana a las islas Marianas donde se ha establecido que es la fosa más profunda conocida, con

---

<sup>2</sup> Valle de hundimiento de 10 a 20 km de ancho. Región donde se está produciendo divergencia y por la cual emerge el magma

una depresión cercana a los 11 km, más que el monte Everest con una elevación aproximada de 9 km sobre el nivel del mar.

La subducción entre dos placas oceánicas conlleva la formación de volcanes que surgen sobre el nivel del mar, creando islas volcánicas y arcos de islas.

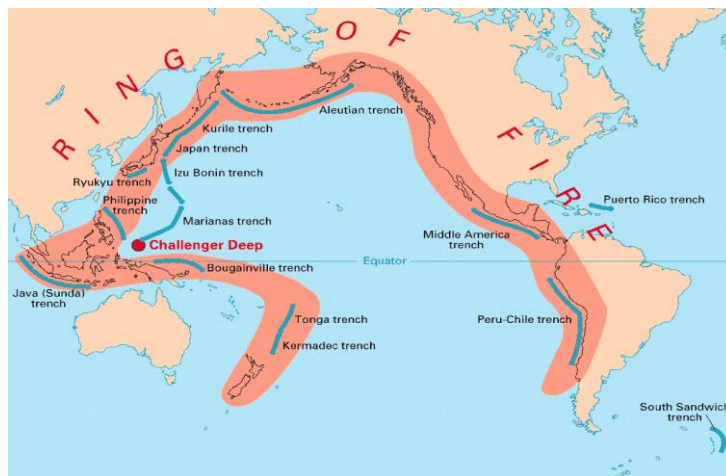
- Entre 2 placas continentales: cuando dos placas continentales se encuentran, dado la ligereza, pero resistencia de estas, una se desliza bajo la otra, produciendo torceduras y manifestándose físicamente empujando hacia arriba o hacia los costados en la superficie. Es el caso del choque entre la placa de India con la placa Euroasiática lo que provocó el surgimiento de la cadena montañosa del Himalaya con una altura máxima de 8,854 m sobre el nivel del mar, y la placa del Tíbet, con una elevación promedio de 4600 m.

**El movimiento de deslizamiento horizontal:** corresponde a una fractura que permite el movimiento horizontal; una al lado de la otra. Se denomina falla de transformación, pues si se unen los extremos de esta falla, generalmente uniría dos zonas dorsales, pero también podría unir dos zonas de subducción, o bien una dorsal y una zona de subducción. En estas fallas no existe creación de materia como ocurre en las zonas divergentes, ni tampoco destrucción de materia, como ocurre en las zonas de convergencia. El caso más famoso es la falla de San Andrés en California (EE. UU) que tiene una extensión de 1300 km.

## ANEXO B. Terremotos, un desastre natural

En todas las zonas de interacción entre placas se producen terremotos<sup>3</sup> o sismos<sup>4</sup>. En las zonas de divergencias se producen sismos debido a la actividad volcánica, con una sismicidad media. En las zonas de convergencia entre placas, es decir de movimientos de subducción se originan los terremotos de mayor energía. También se producen sismos intraplacas, sin la necesidad de interacción con otra placa, pero esto ocurre de manera escasa. Más de 300.000 sismos con suficiente intensidad para ser percibidos se producen cada año en el mundo. Con aproximadamente unos 75 terremotos significativos (Tarbuck & Lutgens, 2005)

La ocurrencia de grandes sismos no se da de forma aleatoria, según estudios y observaciones de Montessus de Ballore<sup>5</sup> demostró que en la tierra tiembla prácticamente en su totalidad a lo largo de dos zonas: el círculo mediterráneo y el círculo del pacífico, siendo esta última la de mayor concentración de actividad volcánica y sísmica del planeta. Actualmente se le denomina el anillo de fuego del Pacífico, ver figura B.1.



**Figura B.1.** Anillo de fuego del pacífico

**Nota.** “trench” o fosa en español; Fuente: (Kious & Tilling, 1996)

---

<sup>3</sup> del latín terra “tierra”, y motus “movimiento”

<sup>4</sup> del griego “seismós”, y que significa “sacudida”

<sup>5</sup> Fernand Montessus de Ballore (1851-1923) de nacionalidad francesa, fue un militar, conde y sismólogo, contratado en 1907 por el gobierno de Chile para impulsar la sismología en el país; luego del terremoto de 1906. Se le requirió instalar una red de observatorios sismológicos y dirigir el nuevo servicio sismológico.

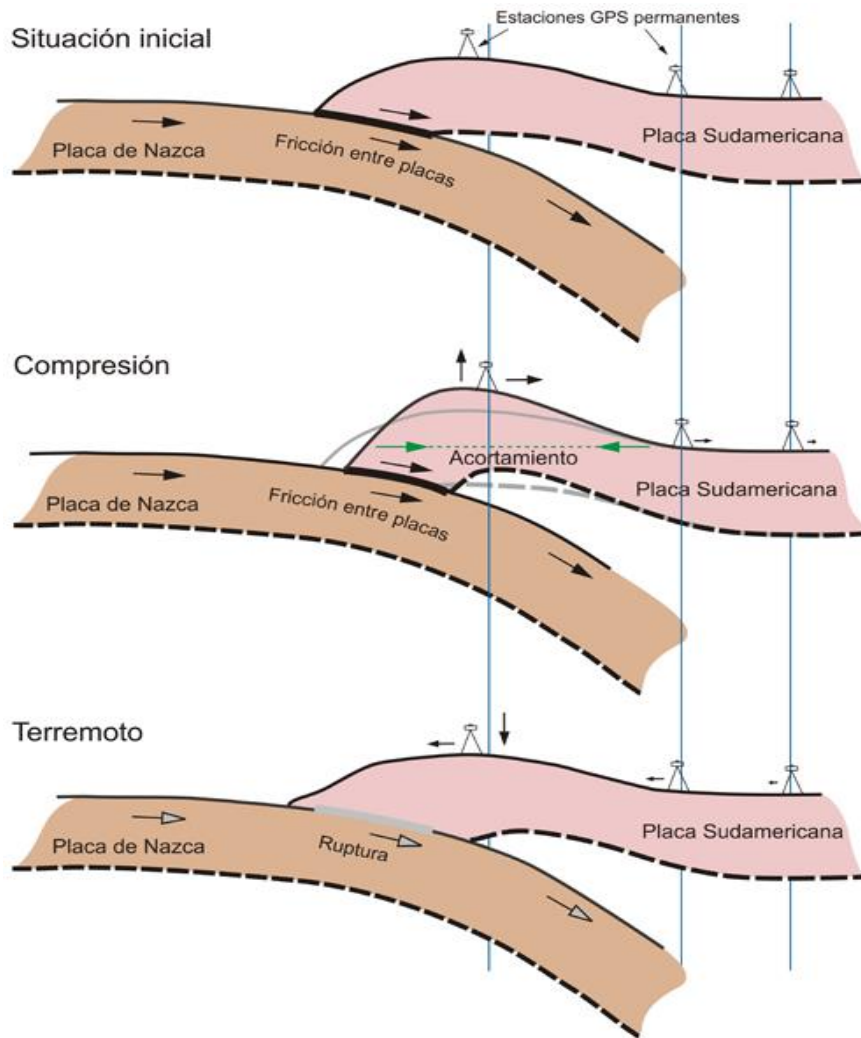
El anillo de fuego es la zona sísmica y volcánica más activa del mundo, concentra el 75% de los volcanes activos e inactivos, cerca del 90% de los terremotos y casi el 80% de los grandes terremotos en el planeta (National Geographic, 2015).

Se ha determinado que el origen de los terremotos se debe principalmente a tres condiciones, la primera pero menos probable son por el hundimiento de cavidades subterráneas o el desplazamiento de grandes masas o compartimentos de suelo. La segunda, por la mencionada actividad volcánica. La tercera y más usual por la interacción de las placas tectónicas, ya sea por subducción, una falla de transformación, o en zonas dorsales y fosas oceánicas donde se presenta una actividad volcánica y sísmica que generalmente están relacionadas.

¿Exactamente que son los terremotos y que los desencadena? Centro Sismológico Nacional [CSN] (n.d.-a) establece que:

Corresponde al proceso de generación de ondas elásticas y su posterior propagación por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas son percibidas tanto por la población como por las estructuras y, dependiendo de la amplitud del movimiento (desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo) y de su duración, el sismo producirá mayor o menor intensidad en una región determinada.

Para comprender de mejor manera la definición anterior, se tomará como ejemplo la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. En la zona de contacto de las placas, no se produce un movimiento limpio, es decir, se origina una fricción entre las placas y se puede acumular movimiento traducido en energía durante decenas, cientos o miles de años (rangos de acumulación de energía para toda fricción entre placas tectónicas), ver figura B.2.



**Figura B.2.** Interacción de placa de Nazca con placa Sudamericana a través del tiempo  
Fuente: (Instituto Geográfico Nacional Republica Argentina, 2010)

En la situación inicial se genera esta fricción entre las placas y se acumula tensión o energía ya que no hay desplazamiento entre ellas.

En la situación intermedia se acrecienta la compresión de las placas, se produce una deformación de la corteza y la energía acumulada aumenta.

En la situación final, luego de suficiente tiempo, acumulación de energía y tensión en la zona de fricción, se produce una ruptura, esta

ruptura o falla corresponde a lo largo del terreno donde se produjo el desplazamiento de tierra en direcciones opuestas gracias a la liberación de energía; esta liberación de energía puede ser acotada o en gran cantidad y es cuantificada según ciertas escalas. La liberación de energía se traduce en ondas sísmicas, estas son perceptibles y que pueden llegar a producir grandes daños en infraestructuras y en la salud de los seres vivos.

La medición de las tres situaciones recién detalladas se logra gracias a estaciones GPS geodésicas de monitoreo permanente, con estas se puede medir la compresión durante el tiempo, pues la distancia entre estaciones se acorta; en mayor medida en la zona más directa a la compresión, y en la situación de ruptura o terremoto se puede medir el desplazamiento de tierra que se produjo midiendo la separación entre las estaciones.

En las zonas de interacción de placas, ya sea por subducción como se explicó recién; o en las fallas de transformación, la dinámica es la misma, fricción por roce, acumulación de energía durante el tiempo con deformación de corteza y finalmente rupturas con liberación de energía.

Para medir la magnitud de un terremoto, se utiliza un Sismógrafo, este instrumento refleja en un papel; o lo más modernos digitalmente, las ondas que se propagan desde el foco. También este instrumento en conjunto con una red de sismógrafos permite identificar en base a técnicas de triangulación donde se ha localizado el epicentro del sismo. También es vital para determinar el foco del terremoto, o hipocentro.

**El Hipocentro:** se determina en función de latitud, longitud y profundidad. En resumen, es el punto al interior de la tierra donde se origina el sismo, donde inicia la ruptura de la falla y el foco desde donde se propagan las ondas sísmicas.

La profundidad del hipocentro es relevante para determinar la categoría del terremoto, se distinguen 3, tal como lo describe López Fernández (2009):

- Sismos superficiales: originados en profundidad inferior a 70 km (tomando como referencia la superficie de la tierra)
- Sismos intermedios: originados entre 70 y 300 km de profundidad
- Sismos profundos: desde los 300 km hasta un máximo de 700 km

Alrededor del 90% de los sismos se produce en profundidades inferior a los 100 km, y los más dañinos suelen ser del tipo superficiales (Tarbuck & Lutgens, 2005).

**El Epicentro:** es la proyección en la superficie del hipocentro. La distancia entre el hipocentro y el epicentro se conoce como “profundidad focal”. La distancia entre el epicentro y la estación sismológica se denomina como “distancia epicentral”, con una red de sismógrafos se puede triangular donde ha sido exactamente el epicentro. López Fernández (2009) establece una clasificación del sismo según la distancia epicentral:

- Locales: a distancias inferiores a 110 km ( $<1^\circ$ )
- Regionales: a distancias que oscilan entre 110 y 1.110 km ( $1^\circ$ - $10^\circ$ )
- Manto Superior: a distancias angulares entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$ , con un rango de profundidades entre 70 y 700 km
- Telesismos: a una distancia superior a  $30^\circ$

Para medir la dimensión del sismo tradicionalmente se han utilizado varios criterios como su duración, la destrucción que generó, la energía liberada. Pero dos son las medidas fundamentales, la escala de “Intensidad” y la escala de “Magnitud”.

**Escala de Intensidad:** esta fue la primera referencia que se utilizó para determinar el tamaño del sismo, su aplicación se basa en la percepción del daño, es decir, es una medida subjetiva de los efectos producidos sobre la superficie, ya sea por daños en el terreno, construcciones, estructuras, personas, etc.

La escala de intensidad fue la primera utilizada por el hecho de la ausencia de instrumentos para medir de mejor manera su magnitud. La más utilizada es la “Escala de Mercalli” creada por Giuseppe Mercalli en 1902 (Tarbuck & Lutgens, 2005), es una escala de 12 grados, numerada en romano. Esta escala fue modificada, llamándose “Escala Modificada de Mercalli”, ver tabla B.1, en 1931 por Harry O. Wood y Frank Neumann (López Fernández, 2009).



**Tabla B.1.** Escala de Mercalli Modificada

Grado	Descripción
<b>I</b>	No sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
<b>II</b>	Sentido sólo por unas pocas personas en reposo, especialmente en los pisos elevados de los edificios.
<b>III</b>	Sentido con bastante nitidez en los interiores, especialmente en los pisos superiores de los edificios, pero muchas personas no lo reconocen como un terremoto.
<b>IV</b>	Durante el día, sentido en interiores de edificios por muchas personas, en los exteriores por muy pocas. Sensación de que un camión pesado haya chocado contra el edificio.
<b>V</b>	Sentido por casi todo el mundo, muchos se despiertan. A veces se observan cambios en los árboles, los postes y otros objetos altos.
<b>VI</b>	Sentido por todos; muchos se asustan y salen a la calle. Algunos muebles pesados se mueven; pocos casos de paredes caídas o chimeneas dañadas. Poco daño.
<b>VII</b>	Todo el mundo corre a la calle. Daño despreciable en los edificios de diseño y construcción buenos; de ligero a moderado en las estructuras de construcción ordinaria; considerable en los edificios pobres o con estructuras mal diseñadas.
<b>VIII</b>	Daño ligero en estructura especialmente diseñada; considerable en edificios sustanciales ordinarios con derrumbamiento parcial; grande en estructuras mal construidas (caída de chimeneas, columnas, monumentos, muros).
<b>IX</b>	Daño considerable en estructuras especialmente diseñadas. Los edificios son desplazados de sus cimientos. Se abren grietas en el suelo.
<b>X</b>	Se destruyen algunas estructuras de madera bien construidas. La mayoría de las estructuras de albañilería y madera se destruyen. Se abren muchísimas grietas en el terreno.
<b>XI</b>	Quedan de pie muy pocas estructuras, si queda alguna. Se destruyen los puentes; grandes fisuras en el terreno.
<b>XII</b>	Daño total. Se ven ondas en el suelo. Los objetos son lanzados al aire.

Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)

A pesar de su utilidad como herramienta estandarizada para medir terremotos, las escalas de intensidad tienen el inconveniente de que son subjetivas y tampoco incorporan la morfología del terreno donde ocurre el sismo, es decir, un sismo de igual tamaño puede tener diversas consecuencias en la superficie según las características del suelo. Tampoco considera factores como; densidad de población, diseño de estructuras y naturaleza de los materiales superficiales (Tarbuck & Lutgens, 2005).

**Escalas de Magnitud:** para corregir los inconvenientes de las escalas de intensidad es que surgen las escalas de magnitud, que miden científicamente el tamaño del sismo. Existen variadas escalas y sus usos pueden llegar a ser específico de una zona, o por el tipo de instrumento, etc.

La primera escala de magnitud la desarrolló Charles Richter en 1935, llamada la “escala de Richter”, fundamentada en la magnitud de energía liberada (Ruiz, 2014). Se basa en la amplitud de la mayor onda sísmica (P, S o superficiales) registrada en el sismógrafo (Tarbuck & Lutgens, 2005). Estas ondas se debilitan en la medida que la distancia entre el foco y la estación sismológica aumenta, por lo tanto, Richter ideó una forma de compensar esta tendencia.

Peláez (2011) nos dice que: “la magnitud es directamente el logaritmo de la máxima amplitud registrada en el sismograma si el sismógrafo se situara a 100 km del epicentro del terremoto (o el epicentro a 100 km del sismógrafo)” (p.269).

Richter empleó una escala logarítmica para expresar la magnitud, esto se traduce que en un aumento de 1 unidad de magnitud implica el aumento de 10 veces en la amplitud de onda. En términos prácticos significa que un sismo grado 5 provoca 10 veces más vibraciones que un sismo grado 4 en escala Richter (Tarbuck & Lutgens, 2005). A su vez el aumento de 1 unidad en la escala Richter significa que se ha liberado 32 veces más energía que la magnitud anterior; es decir, un sismo grado 5 liberó 32 veces más energía que un sismo grado 4.

La escala de Richter no tiene límite superior, el máximo registro corresponde a un sismo grado 8,9 con un sismógrafo Wood-Anderson. Esta es una de las limitaciones de la escala, está basada en el uso de ese sismógrafo, pues era el sismógrafo utilizado en esa época, también estaba acotado a los sismos localizados al sur de California, EE.UU. (con foco a poca profundidad), que sin duda tienen una característica de suelo especiales, no aplicables a otras latitudes. Una tercera restricción es que mide sismos de tipo locales, es decir, hasta 110 km. Es por esto que actualmente la escala de Richter es conocida como Magnitud local o “ $M_L$ ”.

A pesar de estas restricciones, ha sido mundialmente utilizada, la cual se ha adaptado a cada región y a distintos instrumentos, con el fin de poder tener una escala en común con la cual medir los sismos. Pero

sigue teniendo una limitación lo cual impulso una nueva escala. Esta es que los sismos del orden de magnitud 7,0 y superior; en esta escala tanto como en otras, tiende a saturarse porque no pueden distinguir las dimensiones de los eventos.

Así es como los tres grandes terremotos del siglo pasado, el de San Francisco (EE.UU) en 1906 obtuvo 8,3 en escala Richter, el de Valdivia (Chile) en 1960 obtuvo 8,5<sup>6</sup> y el de Alaska (EE.UU) en 1964 obtuvo una medición de 8,3 grados Richter (Tarbuck & Lutgens, 2005). Son valores muy similares, pero evidenciando el tamaño y el desplazamiento de las fallas en cada evento, sugerían diferencias notorias sobre la cantidad de energía liberada.

Es por esto que se desarrolló una escala de magnitud que sí calcula de manera adecuada el tamaño de los terremotos importantes.

Escala de Magnitud de Momento ( $M_W$ ): la principal ventaja de esta escala es que no se satura para altos valores de magnitud. La principal desventaja es la cierta complejidad para el cálculo de la magnitud (Peláez, 2011). Fue definida por Thomas Hanks e Hiroo Kanamori en 1979, trabaja con valores muy similares con la escala de Richter para sismos de mediana y pequeña magnitud. Pero trabaja de profusa mejor manera los sismos de mayor magnitud. Es así que, desde la incorporación en 1979, para sismos con magnitud sobre 6,9 se utiliza esta escala y no se recomienda catalogar sismos superiores a este valor con escala de Richter.

Esta escala se basa en el “Momento Sísmico” o ( $M_0$ ), el momento sísmico se define a través de una combinación de factores como el desplazamiento medio a lo largo de la falla, el área de superficie de ruptura y la resistencia de cizalla de la roca fallada. Por lo tanto, para establecer el momento sísmico se puede hacer de dos formas: la primera requiere de un trabajo de campo lo que hace más complejo el cálculo con respecto a otras escalas de magnitud. La segunda, se obtiene mediante un análisis espectral o con métodos sismográficos que utilizan ondas de período largo.

Es así que con el uso de esta escala los sismos anteriormente mencionados obtienen los valores correctos. El terremoto de San Francisco

---

<sup>6</sup> En escala de magnitud  $M_s$  (CSN, n.d.-b)

(EE. UU) en 1906 obtuvo 7,9  $M_W$ , el de Valdivia (Chile) en 1960 obtuvo 9,5  $M_W$ ; siendo el terremoto más grande registrado, y el de Alaska (EE. UU) en 1964 obtuvo una medición de 9,2  $M_W$ .

Existen otras escalas, todas ampliadas de la escala original de Richter ( $M_L$ ) para medir sismos con distintas distancias y profundidad focal, se dan a conocer de forma general:

- Magnitud de onda superficial ( $M_S$ ): mide la amplitud de la mayor onda superficial registrada en registros de largo periodo, cercano a los 20 segundos. Otorga un buen cálculo para sismos de mediana fuerza y con foco poco profundo, localizados a menos de 60 km de profundidad. no funciona correctamente para sismos con foco a mayor profundidad, por lo tanto, no es aconsejable su uso. Esta escala comienza a saturarse con magnitudes sobre 8,0 y se satura completamente sobre los 8,5.
- Magnitud de ondas internas ( $m_B$ ): se desarrolló para medir sismos con profundidades focales considerables y también alejados a los centros sismológicos. Se calcula en base a la máxima amplitud de onda interna "P". La amplitud se mide a una frecuencia cercana a 1 Hz, lo que implica que esta escala comienza a saturarse a partir de la magnitud 7,0.

En conclusión, estas escalas; similares a la escala de Richter, no calculan de manera adecuada los valores para grandes terremotos, por lo que escala de momento ( $M_W$ ) es la escala más utilizada y reconocida como la mejor forma más precisa de medir y comparar terremotos en el planeta. Con la presencia de una escala común se ha podido establecer una categorización de los sismos según su magnitud, ver tabla B.2.

**Tabla B.2.** Categoría terremotos según magnitud

Categoría	Rangos
Grandes Terremotos	magnitud > 8,0
Terremotos Mayores	magnitud > 7,0
Terremotos Moderados	5,0 < magnitud < 7,0
Terremotos Pequeños	3,0 < magnitud < 5,0
Micro terremotos	magnitud < 2,5-3,0

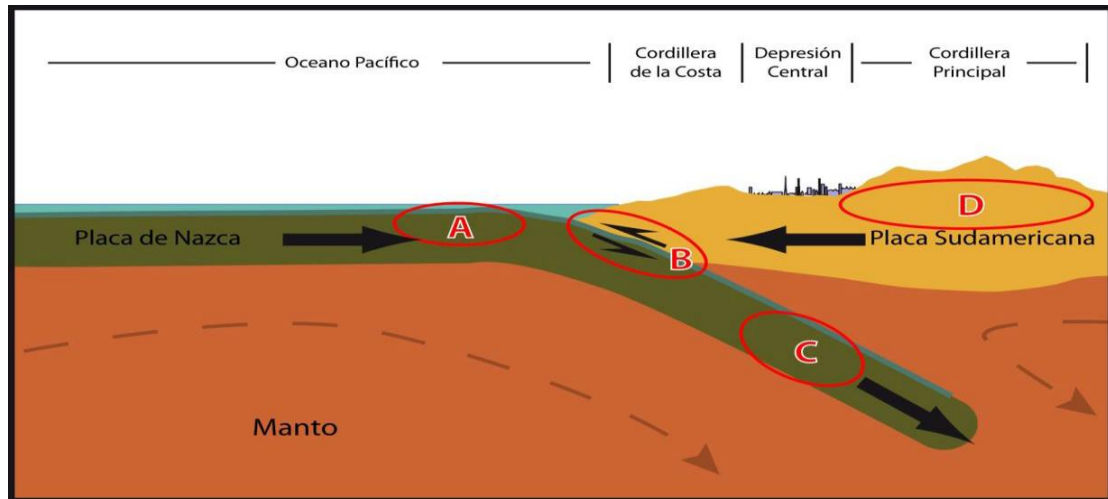
Fuente: (López Fernández, 2009)

## **ANEXO C. Sismicidad en Chile**

“Chile es uno de los países más sísmicos de la tierra, en promedio en los últimos cinco siglos un terremoto destructor de magnitud superior a 8 se ha producido cada 10 años en alguna parte del territorio chileno” (Madariaga, 1998, p.222).

El territorio chileno está comprendido entre los paralelos 17°29'57"S en el extremo norte, y en el sur, latitud 56°32' S. Con una extensión de 4270 km. En términos de placas tectónicas, gran parte del país está bajo los efectos de la subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. Más al sur, al término de la placa de Nazca, ésta interactúa con la placa Antártica y ambas subductan a la placa Sudamericana formando una triple unión, el ritmo de subducción de la placa Antártica bajo la Sudamericana es de 1,8 cm por año; esto explica seguramente la falta de actividad sísmica en esta zona. También una mínima parte en el extremo sur del país la placa de Escocia tiene un deslizamiento horizontal con la placa Sudamericana a un ritmo de 0,7 cm por año, esta es la falla Fagnano-Magallanes, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Considerando el territorio nacional. En el norte, alrededor del paralelo 18°; punto fronterizo entre Chile y Perú en el borde costero, hasta la latitud sur 46°20' siguiendo por la costa; donde se encuentre la triple unión de placas (Lewis, 1998). Punto en que termina la placa de Nazca. En total son aproximadamente 3000 km de extensión donde la placa de Nazca subducta a la placa Sudamericana, a un ritmo de 6-7 cm por año. En este proceso de subducción se identifican cuatro zonas de sismicidad, en la figura C.1 se muestran estos cuatro focos.



**Figura C.1.** Zonas sismogénicas en proceso de subducción

Fuente: (Rauld Plott, 2011)

**Zona A:** corresponden a sismos intraplaca oceánico, conocidos como sismos “outer-rise”. Son movimientos telúricos que ocurren anterior a la fosa oceánica, se deben a los procesos de deformación y fractura de la placa oceánica Nazca al subductar a la placa Sudamericana. Como explica Madariaga (1998) “estos terremotos se producen en respuesta a ciclos de carga y descarga de la zona de acoplamiento entre las placas” (p.234). Los terremotos originados no sobrepasan los 8 grados de magnitud. Un registro relevante de este tipo de sismos es el ocurrido frente las costas de Valparaíso en 2001 con una magnitud de 6,7  $M_W$  (CSN, 2013). Este tipo de sismos conlleva un riesgo potencial de producir tsunamis debido a la deformación vertical del fondo oceánico.

**Zona B:** sismos interplaca, corresponde a la zona de acoplamiento entre las placas. Es en esta zona donde se produce la mayor cantidad de terremotos en Chile. Se ha determinado que el ángulo de inclinación de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana oscila entre  $28^\circ$ - $30^\circ$  y la profundidad de los sismos en esta zona ronda entre los 20-60 km (Tavera, 2001). Existe una predominancia casi total de sismos tipo falla inversa; quiere decir que un bloque se mueve hacia arriba respecto del otro bloque, adicionalmente se categorizan como del tipo cabalgamiento por el débil grado de inclinación recién comentado, entre  $28^\circ$  y  $30^\circ$ , también son llamados como “sismos tipo thrust”.

La dinámica de estos sismos ya fue explicada en base a la **Figura B.2**, cabe destacar que la magnitud del sismo es proporcional a la zona que se desplazó (ruptura) y cuanto se movió. Este tipo de sismos; al igual que los outer-rise son los eventuales generadores de Tsunamis, porque tienen el potencial de deformar verticalmente el fondo oceánico.

Registros de sismos interplaca hay en gran cantidad. Claro está, el sismo más grande registrado en el mundo, el de Valdivia en el año 1960 con una magnitud 9,5  $M_W$  y una profundidad estimada de 40 km (Lazo Hinrichs, 2008, p.43-44), tuvo una duración de 5 min; aunque la tierra vibró por 10 min, naturalmente por la cantidad de energía liberada, una zona de ruptura cerca de 1000 km y se desplazó casi 40 m. El terremoto del Maule en el año 2010 con una magnitud 8,8  $M_W$  y una profundidad de 30 km, tuvo una duración de 2 min, una zona de ruptura de 400 km y un desplazamiento de 20 m. El terremoto de Illapel en el año 2015 es el tercero de mayor magnitud desde 1960, tuvo una magnitud de 8,4  $M_W$  y una profundidad de 23 km, tuvo una duración entre 60-100 s, una longitud de ruptura entre 200-250 km y un desplazamiento entre 5-6 m (Barrientos, 2015).

**Zona C:** corresponden a sismos intraplaca oceánica, o en su defecto a la placa que subducta a la placa más ligera. Aunque se catalogan como sismos de profundidad intermedia, estos pueden ocurrir desde los 60 km; que es donde se estima que termina el acoplamiento entre las placas, hasta grandes profundidades de 700 km; que es cuando pasado esta profundidad se contempla que la placa tectónica ha sido destrozada por las altas temperaturas del manto. Esta zona de la placa que subducta se conoce en la literatura como “Zona de Benioff”, estrictamente es la “Zona de Wadati-Benioff”. Esta zona nombrada en honor a dos sismólogos, el primero Kiyoo Wadati que, en 1935 en base a un primer mapa de sismicidad de Japón, establece que los focos sísmicos aumentan de este-oeste, es decir, los sismos más superficiales tienen epicentro cercano a la costa y los más profundos tienen epicentro continental. En los años 60, Hugo Benioff en base a un mapa completo de sismicidad de Japón, establece que los sismos más superficiales están cercanos a la zona de acoplamiento de placas y aumenta el foco sobre una línea inclinada hasta profundidades del orden de 700 km (Tavera, 2002).

Estos sismos se generan por efecto de flexiones, al fuerte acoplamiento de placas y posterior desacoplamiento, peso de la placa oceánica y cambios mineralógicos a grandes profundidades (Lazo Hinrichs, 2008, p.19). Si se considera sismos de profundidad intermedia, Sergio Barrientos en 2009 citado por Rauld Plott (2011) estableció que estos ocurren principalmente entre los rangos de 80-120 km de profundidad

Desde los 60 km que es donde termina el acoplamiento y hasta los 700 km que es donde se determina que la placa se destruye, se establece que la placa oceánica Nazca está flotando en el manto bajo la superficie continental, en todo este largo la ocurrencia de sismos esta gatillado por diversos factores, se considera que desde los 100 km, la placa oceánica que viene a una menor temperatura se enfrenta a un ambiente más agresivo en cuanto a temperatura y efectos de la gravedad, lo que facilitan la fracturación interna de la placa (Tavera, 2001). Los sismos de mayor profundidad se explican de mejor manera por los cambios mineralógicos.

Registro de este tipo de sismos destacan, el ocurrido el 24 de enero de 1939 en Chillán de magnitud 7,8  $M_s$ , destruyó el 90% de la ciudad de Chillán, es el sismo que mayor cantidad de víctimas fatales produjo en Chile, alrededor de 28.000 personas; se presume que su carácter destructivo se debe a la mayor amplificación del movimiento en el suelo de esa región, tuvo una profundidad de 90 km (Beck, Barrientos, Kausel, & Reyes, 1998). Otro registro es el sismo del 9 de diciembre de 1950 en Antofagasta, con una magnitud de 8  $M_w$  y una profundidad de 100 km.

**Zona D:** sismos intraplaca continental, estos sismos se deben gracias al constante proceso de colisión de las placas tectónicas, la constante tensión en la placa que cabalga; en este caso la placa Sudamericana, ha producido un encorvamiento de la corteza, esto ha formado la cordillera de los Andes. Este proceso iniciado hace miles de años, ha generado significativas fallas o fracturas en la corteza. Estos sismos son del tipo corticales, es decir no superan los 30 km de profundidad, pueden ser del tipo compresivos (fallas inversas) y del tipo extensional (fallas normales).

Registro de este tipo de evento destaca el ocurrido el 4 de septiembre de 1958 en las Melosas, sector ubicado en el Cajón del Maipo. Tal como lo detalla Lomnitz (1961), se produjeron 3 sismos en un intervalo aproximado de 4 min, el primero de magnitud 6,9, el segundo fue 6,7 y el



tercero fue de magnitud 6,8 (todos en escala Richter) y se estimó que la profundidad fue de 10 km.

Una información relevante es la obtenida de una investigación científica recientemente realizada por Vargas et al. (2014) donde analizan el potencial riesgo sísmico de la falla de San Ramón, ubicada en la región Metropolitana. Concluyen que en el pasado alrededor de 17-19M años han ocurrido dos sismos cercanos a magnitud 7,5  $M_W$ , y el último ocurrió hace unos 8M años, con estos datos infieren que la falla debe considerarse como una fuente potencial de un terremoto destructivo.

Este estudio va de la mano con la principal herramienta que tiene la comunidad científica para predecir terremotos, estimar magnitud y preparar a la población, son las llamadas lagunas sísmicas.

Las lagunas sísmicas son las zonas donde no se ha presentado un sismo en el último tiempo, sabiendo que la recurrencia de sismos se da de manera cíclica por la acción constante de las placas. La identificación de zonas con lagunas sísmicas permite una adecuada preparación para todos los entes involucrados, tal es el caso, la identificación de una laguna sísmica en la zona de Concepción, que no presentaba un gran terremoto desde 1835, la investigación de esta laguna permitió establecer que la zona estaba lista para producir un sismo de magnitud entre 8,0 y 8,5  $M_W$  (Campos et al., 2002; Ruegg et al., 2009).

Otra zona de laguna sísmica ampliamente estudiada, es la del norte de Chile, que no había presentado actividad sísmica desde el año 1877. A pesar de que ya ocurrió un sismo el 1 de abril del año 2014, con una magnitud 8,2  $M_W$ , una profundidad entre 30-40 km, tuvo una ruptura de 200 km y generó un tsunami con olas de 2 m. Este sismo dejó dos zonas, una al norte y la otra al sur del epicentro con un potencial; menor claramente, de producir sismos importantes, se identificó que estas zonas mantienen un riesgo potencial de generar un sismo magnitud  $\geq 8$ , de forma separada o en conjunto (Hayes et al., 2014; Schurr et al., 2014).

## ANEXO D. Tsunamis

Tsunamis<sup>7</sup> son olas sísmicas causadas por terremotos, deslizamientos submarinos e infrecuentemente causados por erupciones volcánicas en islas (Kious & Tilling, 1996). Generalmente este fenómeno es provocado por sismos, además se ha estudiado que los tsunamis se generan principalmente por sismos con foco en fosa oceánica en zona de interplaca (Campos Romero, 2006). El sismo debe ser de una magnitud considerable y tener un componente vertical. El movimiento vertical del fondo oceánico provocado por un sismo puede mover varios metros la superficie, y una cantidad muy grande de agua se desplaza, la superficie puede quedar en una posición fija pero la masa de agua queda en movimiento. Este movimiento de ida y vuelta del agua puede mantenerse por varias horas, estas olas se propagan por el océano a velocidades entre 500-950 km/h. La propagación de las ondas de tsunami está sujeta a las leyes de refracción y difracción.

En mar abierto un tsunami puede pasar desapercibido porque las olas no sobrepasan el metro de altura y la distancia entre las crestas ronda entre 100 y 700 km. Al entrar en aguas someras, estas olas pierden velocidad, también se reduce la longitud entre olas, y ganan altura, pueden llegar a medir hasta 30 m. durante este proceso estas olas adquieren un comportamiento caótico, aguas muy turbulentas y con un potencial destructivo muy grande, ver figura D.1. El primer indicio en la costa de un tsunami; aunque no siempre, es la retirada rápida de agua en la playa, después de esto, entre 5 y 30 minutos es cuando llega la primera ola, transcurrido un tiempo una nueva retirada del mar y la llegada de un nuevo oleaje, este proceso se puede repetir varias veces, por esto es conocido como un tren de olas, y el alcance en tierra del mar puede ser de cientos de metros.



**Figura D.1.** Tsunami generado por desplazamiento del suelo oceánico

Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)

<sup>7</sup> Palabra de origen japonés que significa, “tsu” puerto y “nami” ola.

Como se ve en la figura la velocidad disminuye a medida que la profundidad también se hace menor, por esto la velocidad de la ola está relacionada con la profundidad del océano. En la tabla D.1 se muestra la relación entre la profundidad y la velocidad de las olas.

**Tabla D.1.** Relación profundidad con velocidad y largo de onda

<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Largo de onda (km)</b>
7000	942,9	282
4000	712,7	213
2000	504,2	151
200	159	47,7
50	79	23
10	35,6	10,6

Fuente: (Lorca Mella & Recabarren Herrera, 1994)

Luego de varios terremotos que generaron tsunamis en el pacifico durante el siglo XX y que afectaron además de las zonas cercanas al epicentro, a diversas zonas del pacifico, entre ellas, Hawaii, es que la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA) estableció un sistema de alerta de tsunamis para zonas costeras del pacifico. Como Hawaii está en una zona central del anillo de fuego del pacifico, distintos observatorios sísmicos de la región informan al “Pacific Tsunami Warning Center” (PTWC) en Hawaii, sobre terremotos y ellos determinan si generó un tsunami, emitiendo alerta a las zonas con riesgo.

Esta alerta es relevante para preparar a la población. Una persona a la cual un tsunami sorprenda sin aviso no tiene posibilidades reales de salvarse (Campos Romero, 2006), ante el creciente número de asentamientos costeros y aumento de densidad de estos, el peligro aumenta si no se perfeccionan los sistemas de alerta. Como dato, un terremoto en Chile produciría ondas que tardarían 22 horas en alcanzar Japón y producir un tsunami. Un terremoto con la suficiente magnitud ( $M_W \geq 8.2$ ) para generar un tsunami que afecte a distintos sectores del pacifico, ocurre en Chile cada 25 años en promedio (Lockridge, 1985).

## **ANEXO E. Tsunami del año 2010**

Luego del terremoto del 27 de febrero del 2010, que ocurrió a las 03:34:14 am; hora local, con epicentro cercano a las costas del Maule. Se produjo un tsunami que afectó a 600 km del litoral central del país y causó casi un tercio de las muertes durante el evento en general, 181 sobre 521 víctimas fatales (Contreras & Winckler, 2013).

La primera ola del tsunami se propagó en el océano hacia el norte a una velocidad cercana a los 600 km/h, y hacia el sur más lentamente alrededor de 300 km/h. después de la llegada de la primera ola a las costas, durante un periodo de 8 horas, el litoral fue sacudido por una cantidad entre 8-10 olas con variadas intensidades (Sobarzo, Garcés-Vargas, Bravo, Tassara, & Quiñones, 2012). Aunque las principales olas llegaron después de 14 min hasta 2 horas de transcurrido el terremoto (Marín et al., 2010).

Según una investigación de la armada la llegada de las olas en distintas localidades tuvo la siguiente distribución en tiempos como se ve en la tabla E.1.

**Tabla E.1.** Llegada de olas en distintas localidades

<b>Área</b>	<b>1ª Ola</b>	<b>2ª Ola</b>	<b>3ª Ola</b>	<b>4ª Ola</b>
<b>Valparaíso</b>	04:01 *	04:50 *	05:20 *	05:40 *
<b>Juan Fernández</b>	04:25 **	04:40 **	Sin datos	Sin datos
<b>San Antonio</b>	03:50 **	04:20 **	Sin datos	Sin datos
<b>Pichilemu</b>	03:48 **	04:15 **	Sin datos	Sin datos
<b>Constitución</b>	03:49 **	04:17 **	04:50 **	05:20 **
<b>Talcahuano/Dichato</b>	03:54 *	05:30 **	06:00 **	06:40 **

**Nota.** Tabla modificada de (Larrañaga, 2010)

\*: Información de instrumentos; \*\*: Información aproximada obtenida de distintas fuentes.

Con esta información la primera zona afectada fue Pichilemu con la primera olla que llegó 14 min después de terremoto.

En la zona de estudio, en Talcahuano, la primera ola llegó 20 min después del terremoto. Es decir, Rabinovich, Thomson, & Fine (2013) afirman que el (PTWC) a las 06:46 UTC; 3:46 hora local, emitió el primer boletín sobre el terremoto, diciendo que había ocurrido un fuerte sismo tsunamigénico<sup>8</sup> con un magnitud preliminar de 8,5  $M_W$ , por lo tanto emitió una alerta de tsunami para las costas de Chile y Perú. Mientras tanto Fritz et al. (2011) señala que el (PTWC) emitió una alerta 5 min después del terremoto. De todas formas, para la primera zona afectada Pichilemu luego de 14 min, y la zona de estudio, Talcahuano, 20 min después, fue muy poco tiempo lo que se tuvo para reaccionar, sumado que no se replicó la información oficial del (PWTC). A pesar de esto uno de los factores más relevantes porque el número de fallecidos no aumento se debió a la cultura de peligros naturales presente en zonas costeras, tal como describe Marín et al. (2010) esta enseñanza se transmite por generaciones y se refuerza por la comunidad, en donde la premisa es, “*si un terremoto es tan fuerte que no puedes levantarte y caminar, debes correr hacia los cerros*”. También señala que otro punto a favor para la evacuación fue la luna llena dominante esa noche y que permitió a la comunidad observar el comportamiento del mar y facilitar la evacuación.

---

<sup>8</sup> Sismo con la capacidad para generar un tsunami

## **ANEXO F. Teoría de decisiones**

La teoría de decisiones se ha desarrollado gracias a la contribución de diversas disciplinas como la psicología, economía, administración, sociología, ciencias políticas, filosofía, etc., siendo ahora un tópico académico por sí solo, en su carácter interdisciplinario es que esta teoría en cada especialidad desee estudiar un efecto determinado. La teoría de las decisiones ha sido el resultante del análisis sistemático de la toma de decisiones; el acto de tomar una decisión se puede definir como el proceso de elección de un camino dentro de las alternativas disponibles (Cardinali Meza, 2000). Por lo tanto, “la teoría de decisiones analiza el cómo elige una persona aquella acción que, dentro de un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado dadas sus preferencias” (Aguar, 2004).

La definición anterior sobre teoría de decisiones se aproxima más al modelo normativo de la decisión. Es así, como la teoría de la decisión se puede separar en varios modelos, Blume (2006) describe de manera simple a continuación:

- Teoría decisión normativa o prescriptiva: lo que la gente racional debe hacer
- Teoría decisión positiva o descriptiva: lo que la gente racional va a hacer
- Teoría de la decisión conductual o del comportamiento: lo que la gente irracional va a hacer
- Teoría prospectiva: busca la predicción de elecciones individuales

Para comprender de mejor manera el alcance y diferencias de estos modelos, es conveniente analizar de forma simple los orígenes de la teoría. Resulta interesante hacer este desarrollo pues se obtiene información de cómo; a través del tiempo y por la acción de distintas corrientes de conocimientos, se ha caracterizado al que toma decisiones y que factores lo influyen.

La teoría de decisiones históricamente ha tenido bases matemáticas y de las ciencias conductuales, aplicadas a la economía. La interpretación de la probabilidad como una expresión numérica sobre las “creencias” de los tomadores de decisión tiene una larga data; casi simultánea con los

conceptos de la probabilidad en sí. Esta relación se explica a continuación.

La noción de probabilidad surge en el 1650s con un doble significado, la frecuencia relativa de un resultado aleatorio en intentos repetidos y una medida del grado de creencia de los tomadores de decisión en la verdad de las proposiciones, o en la probabilidad de la realización de eventos. Ambas probabilidades “objetivas” y las “subjetivas”; como se llaman actualmente estas interpretaciones, fueron fundamentales para el desarrollo de la teoría. (Karni, 2005, p.2)

Con la noción de probabilidades objetivas y subjetivas se presumió la existencia de algún tipo de utilidad. Es así como en el año 1738 Daniel Bernoulli, con el fin de resolver la “paradoja de San Petersburgo”<sup>9</sup>, demostró matemáticamente; suponiendo que a medida que la riqueza de una persona aumenta, la mayor acumulación de dinero deja de ser valorada y, por lo tanto, aumenta la valoración por evitar pérdidas. Es decir, si se proyecta la riqueza sobre la utilidad utilizando una función logarítmica, en cierto punto donde se aplanan la función es hasta ahí donde el tomador de decisión del juego está dispuesto a pagar por participar, debido a su aversión a la pérdida, pasando a ser la utilidad esperada del juego finita y estando dispuesto a pagar una cantidad moderada. Es así, como se pasó de un “valor monetario esperado” o VME a una “utilidad esperada” o UE, se consideró insuficiente basarse en VME como criterio para decisiones riesgosas. No así la UE que tiene relación con las actitudes de los tomadores de decisión ante el riesgo, esta utilidad se compone en términos de

---

<sup>9</sup> Se invita a participar en un juego, con la condición de que se pague de entrada una cantidad “x” de dinero, el juego consiste en lanzar una moneda al aire, si sale cara se le paga al participante una cantidad “y” de dinero; como ejemplo serán “1.000 pesos”, si sale cruz se vuelve a lanzar la moneda, con el beneficio que si en este nuevo intento sale cara se le pagará el doble, es decir “2.000 pesos”, en términos simples se lanzará la moneda cuantas veces sea necesario para que el participante sea ganador. La pregunta es ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar para participar? El valor esperado de este juego tiende al infinito, por lo tanto, se espera aquel que desea participar pagará cualquier precio. (Aguiar, 2004)

satisfacción, que incorpora las preferencias subjetivas ante situaciones inciertas, no así la búsqueda de ganancias.

Los avances en esta materia siguieron de la mano de Ramsey (1931) citado por Aguiar (2004) en donde demostró “que si los tomadores de decisión lo hacen bajo incertidumbre como si tuvieran que hacer una apuesta sobre cuáles serían los resultados posibles de su decisión, resultaría factible deducir las probabilidades subjetivas de sus apuestas”. Posteriormente hubo una materialización importante del trabajo de Bernoulli, este fue el aporte de Neumann & Morgenstern (1944) donde materializan la “Teoría de Juegos”, se valoró el avance de este trabajo, ya que eran varios los intentos de captar la racionalidad del comportamiento humano (o intentar captar la racionalidad desde una visión neoclásica), en donde el comportamiento de uno depende del comportamiento de los otros miembros del juego, sin este sistema no se podría definir de manera correcta la competencia y cooperación (Simon, 1945). Neumann and Morgenstern caracterizaron axiomáticamente la maximización de la utilidad esperada, los axiomas son: asimetría, transitividad, continuidad y de independencia. A partir de estos axiomas la función de utilidad se basa en probabilidades. Si estos axiomas no se respetan entonces se asume que el tomador de decisión no se comporta de manera racional.

Luego vendría el trabajo final en esta área, llamado “The Foundations of statistics” de Leonard J. Savage, donde en base a axiomas caracteriza el comportamiento (Karni, 2005). Toda esta cadena de trabajo resulta en lo que se conoce como modelo SEU (Subjective Expected Utility-Maximization), y analiza la toma de decisión bajo incertidumbre y riesgo. Se relaciona también con el concepto de “hombre económico” o (Homo Economicus), este se define con tres propiedades; está completamente informado, tiene una sensibilidad infinita y es racional (Edwards, 1954). El trabajo de Savage tuvo tal repercusión en su tiempo que generó un debate por si el tomador de decisión se comporta de manera racional ante la incertidumbre, ampliamente debatido (Ellsberg, 1961; Raiffa, 1961; Shafer, 1986).

Es hasta este punto donde la economía y la psicología parecían haberse separado es que se cuestionan estos modelos, principalmente por las paradojas de Allais en 1953 y Ellsberg en 1961, que discuten el com-



portamiento propuesto ante la incertidumbre, demuestran que los axiomas en que se basa el modelo SEU se violan sistemáticamente, y fallan en capturar elementos que caracterizan la toma de decisión bajo riesgo, estas son: “el primer elemento se refiere a la naturaleza de la incerteza en la decisión; el segundo en el efecto del contexto y el tercero en la dependencia entre probabilidades y payoffs” (Leavy, 2010).

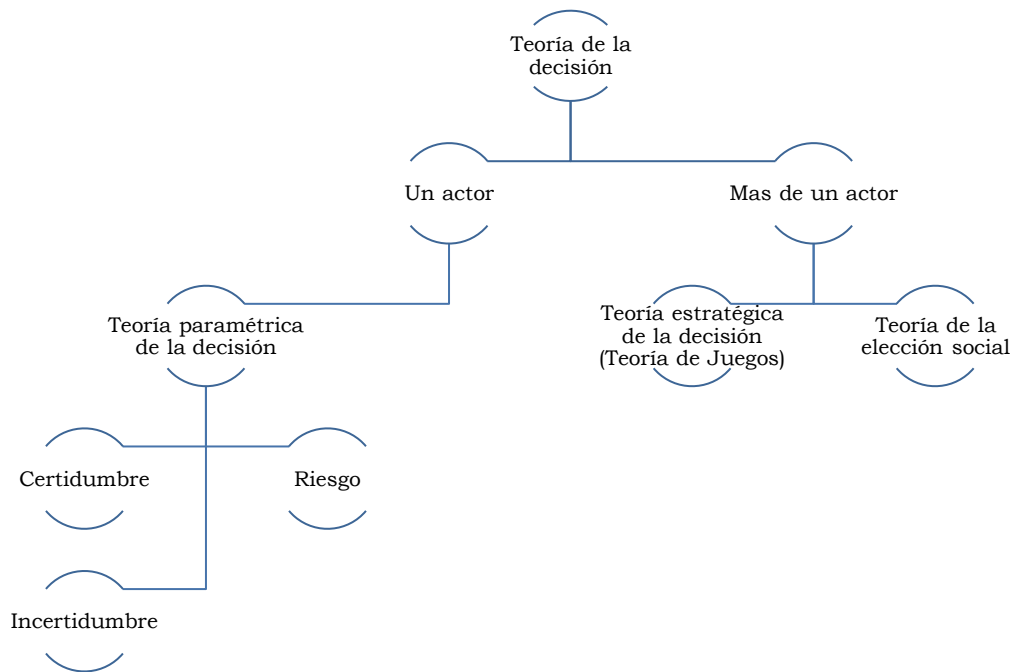
El modelo SEU, fue ampliamente reconocido como un modelo normativo, y también utilizado como un modelo descriptivo. La psicología cognitiva vuelve a aportar al modelo de toma de decisiones, influenciado por Herbert Simon, que en 1955 publicó el trabajo llamado, “Bounded Rationality” o racionalidad acotada, este trabajo fue en la línea de la búsqueda de una teoría de decisión positiva o descriptiva considerando las limitaciones de la racionalidad. En el trabajo se expone que los agentes reales no pueden maximizar, debido a las limitantes de conocimiento y racionalidad, si no que se conforman con la satisfacción, es decir, no examinan todas las alternativas posibles y buscan una alternativa que sea satisfactoria no siendo necesariamente la mejor (Simon et al., 1987).

Se continuó con la búsqueda de una mejor descripción del proceso de toma de decisiones, variados autores se basaron en el modelo SEU y en la probabilidad bayesiana para teorizar los mecanismos cognitivos; aproximándose de una manera distinta al trabajo de Herbert Simon. Todos estos avances fueron formando a la “teoría prospectiva”.

(Tversky & Kahneman, 1973 ; 1974) describieron que el juicio humano bajo condiciones de incertidumbre gatilla aproximaciones heurísticas y no procesamientos de tipo algorítmicos. “Los heurísticos son procedimientos rápidos para estimar probabilidades o tomar decisiones, que se activan de manera automática, con poco gasto de recursos atencionales” (Leavy, 2010). Las influencias que se tienen en el proceso de toma de decisión son del tipo sesgos, de tipo heurística y del tipo “framing” (Pascale & Pascale, 2007). Los heurísticos que proponen son: (1) Heurístico de representatividad. (2) Heurístico de disponibilidad. (3) Heurístico de anclaje y ajuste.

Estos avances dieron paso a la teoría prospectiva, la teoría permite predecir las elecciones individuales en los casos en que el modelo SEU sus axiomas son violados (Kahneman & Tversky, 1979).

Tras esta revisión simple de cómo ha evolucionado la teoría de decisiones se puede relacionar las distintas visiones de la teoría, ver figura F.1, y establecer qué tipo de consecuencias genera cada categoría de situación ante una decisión, ver tabla F.1.



**Figura F.1.** Panorama de la teoría de decisión

**Nota.** Modificado de (Aguiar, 2004)

Se considera teoría paramétrica de la decisión, si el contexto se considera dado. La teoría de la elección social busca reunir en una sola función distintas funciones individuales de decisión de los agentes. Dadas las preferencias de un conjunto de personas (Aguiar, 2004)

**Tabla F.1.** Consecuencias de cada modelo decisional

<b>Categorías</b>	<b>Consecuencias</b>
Certidumbre	Deterministas
Riesgo	Probabilísticas
Incertidumbre	Desconocidas
Estratégica (Teoría De Juegos)	Influenciadas por un oponente

Fuente: (Cardinali Meza, 2000)

## **ANEXO G. Descripción zona de estudio**

Talcahuano, comuna perteneciente a la provincia de Concepción, en la región del Biobío. Según datos del instituto nacional de estadísticas “INE”, en su apartado evolución de indicadores demográficos. La población de Talcahuano paso de tener en el año 2010, 175.336 habitantes. Al presente año una cantidad de 178.500 habitantes (INE, 2015).

A continuación, en la figura G.1 se presenta un mapa de la comuna de Talcahuano.



**Figura G.1.** Mapa de Talcahuano

Fuente: Google Maps

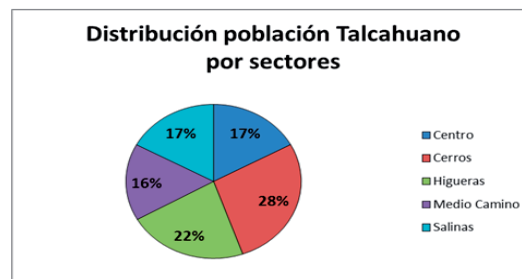
Se presenta la carta de inundación proporcionada por el SHOA (servicio hidrográfico y oceanográfico de la armada); a través del SNAM (sistema nacional de alerta de Maremotos), carta potenciada por software Google Earth a continuación en figura G.2.



**Figura G.2.** Carta de inundación Talcahuano - San Vicente

Fuente: (SHOA, 2016)

Talcahuano puede ser dividida en 5 sectores: Medio Camino, Las Salinas, Higueras, Los Cerros, Talcahuano Centro. Adicionalmente se distinguen las caletas. La distribución de población en porcentaje y por sector es la siguiente, y se presenta en la figura G.3.



**Figura G.3.** Distribución población Talcahuano por sectores

Fuente: (Departamento de Gestión Integral de Riesgo, 2016)

Las caletas de pescadores son: El Morro, Rocuant, El Infiernillo, El Soldado y Tumbes. La caleta Tumbes ubicada en zona urbana, pero alejada del centro de Talcahuano, también alberga otras caletas que fueron inhabilitadas por el tsunami del año 2010, estas son: caleta Candelaria,

Puerto Inglés y Cantera (Departamento de Gestión Integral de Riesgo, 2016).

Talcahuano Centro es el sector de mayor importancia, contempla los principales servicios públicos y empresas productivas. El sector céntrico abarca una superficie de 408,32 ha, de las cuales, 53,54 ha son utilizadas para fines industriales y empresariales, se pueden mencionar: “almacenes, bancos, supermercados, galerías comerciales, tiendas, un portal comercial, carnicerías, restaurantes, locales comerciales” (Departamento de Gestión Integral de Riesgo, 2016). Como edificios públicos se encuentra el edificio municipal, etc. También se encuentra el puerto comercial, la aduana, la Base Naval y las caletas de pescadores El Morro y El Infiernillo (Kröll Yáñez, 2016).

Ciertamente también se elige este sector por ser una zona inundable y que se condice con el propósito del trabajo, analizar el comportamiento de la población ante una evacuación por tsunami.

Para definir el tamaño muestral “n” se utilizó la siguiente formula

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N - 1) \times e^2 \times Z^2 \times p \times q}$$

**Donde:**

$N$  = población total

$Z$  = nivel de confianza

$p$  = proporción de individuos que poseen la característica de estudio en la población (se utiliza 0,5 como valor seguro)

$q$  = proporción de individuos que no poseen la característica de estudio en la población (0,5 como complemento de “ $p$ ”)

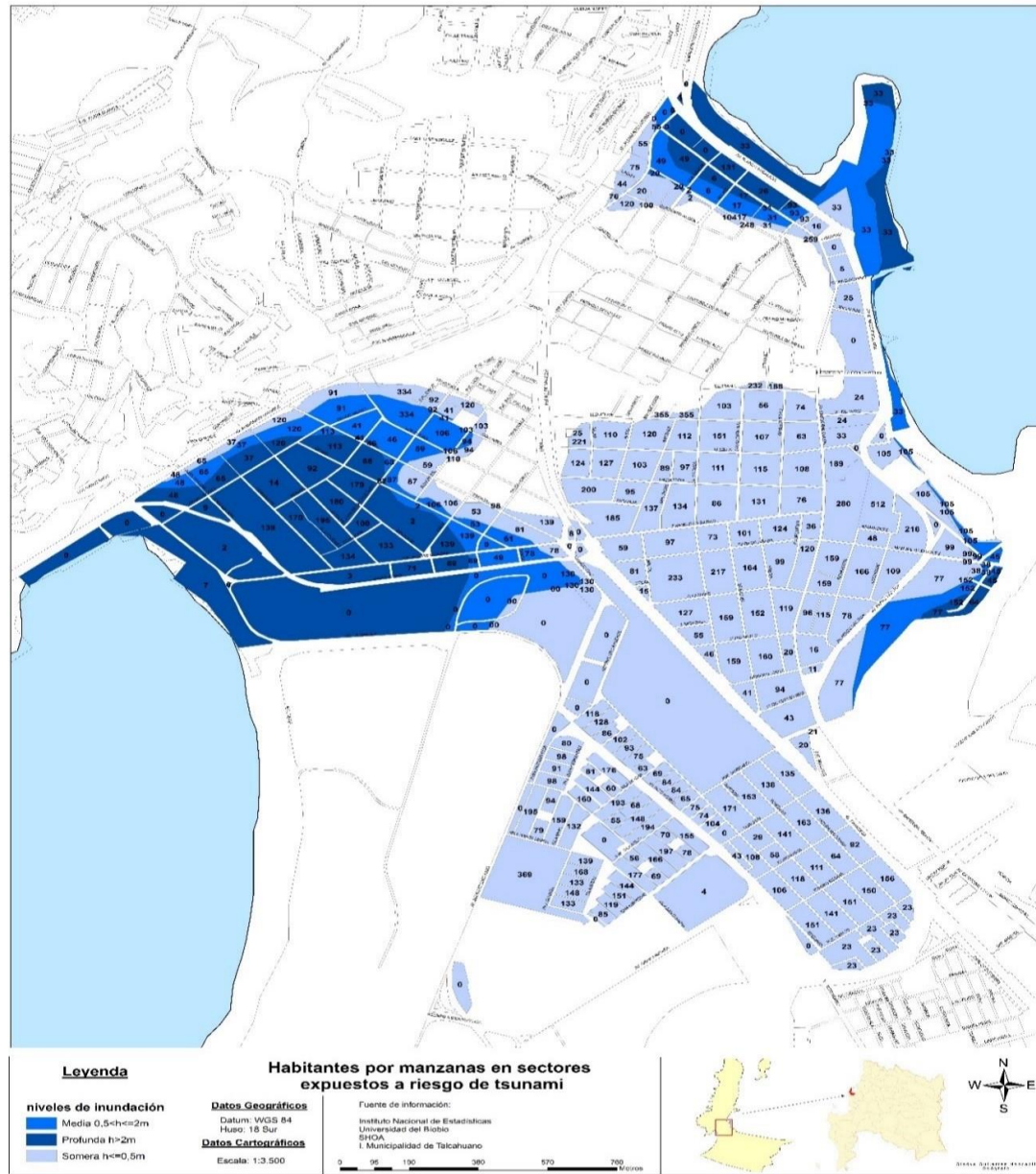
$e$  = error muestral deseado en porcentaje

**Los datos son los siguientes:**

Se utilizó una población “ $N$ ” de 28.021 habitantes.  $Z = 1,96$  asociado a un 95% de confianza.  $p = 0,5$ .  $q = 0,5$ .  $e = 5\%$  (Kröll Yáñez, 2016)

**Como resultado el tamaño muestral,  $n = 378$  individuos.**

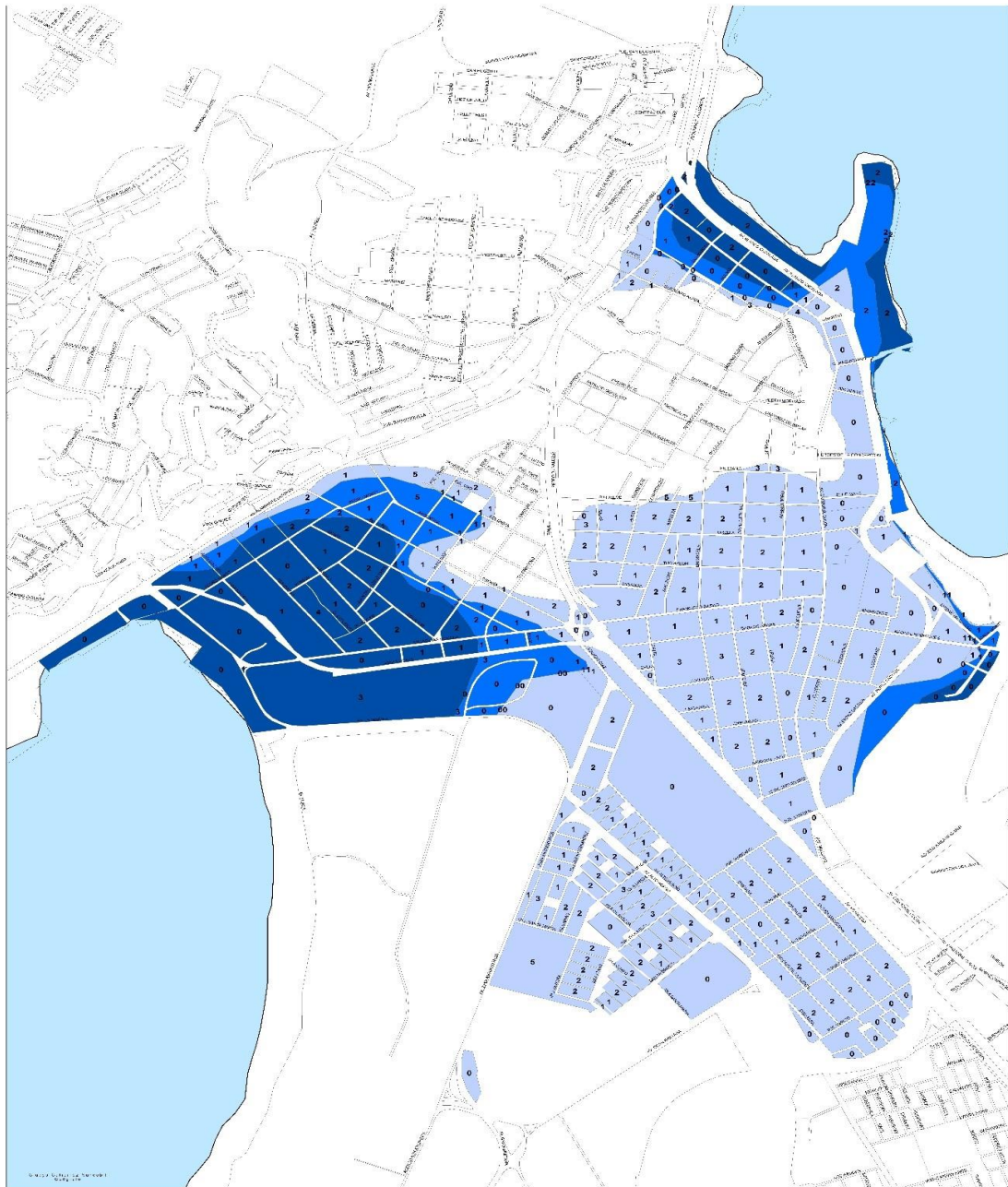
con información censal de la población céntrica de Talcahuano y cartas de inundación, se logró; mediante software “sistemas de información georreferenciada” SIG ArcGIS, incorporar a la carta de inundación del sector céntrico la cantidad de población por cuadras (Kröll Yáñez, 2016), esto se muestra a continuación en la figura H.1.



**Figura G.4.** Habitantes por manzanas en sector céntrico expuestos a riesgo de inundación por tsunami

Fuente: (Kröll Yáñez, 2016)

La figura H.2 muestra el proceso de reducción a la cantidad necesaria de encuestas en cada cuadra para completar el tamaño muestral.



**Figura G.5.** Numero de encuestas por manzanas, expuestos a riesgo de inundación por tsunami

Fuente: (Kröll Yáñez, 2016)

A continuación, en la figura H.3 se muestra el peligro de inundación en la zona de encuestas, potenciada por Google Earth.



**Figura G.6.** Carta de inundación sector céntrico Talcahuano

Fuente: (SHOA, 2016)

Adicionalmente se muestra el actual mapa de evacuación de esta zona; para una mayor comprensión, en la figura H.4.





**Figura G.7.** Mapa de evacuación de tsunami en sector de estudio

Fuente: (I. Municipalidad de Talcahuano, 2016)

En la imagen se ven una serie de símbolos, estos se aclaran en la figura H.5.

**SIMBOLOGIA**

<u>Plan de Evacuación</u>		<u>Servicios</u>	
	Punto de encuentro		CIA Bomberos
	Vías de evacuación		Comisarías
	Línea de seguridad		Est. educacionales
			Centros de Salud
			Cruce ferroviario

**Figura G.8.** Simbología en mapa de evacuación

Fuente: (I. Municipalidad de Talcahuano, 2016)



## ANEXO H. Encuesta y Resultados

La siguiente encuesta tiene por finalidad conocer el proceso de toma de decisiones de los habitantes del sector centro de Talcahuano durante la evacuación de esta zona, y cómo actuaría actualmente la comunidad tras la experiencia del terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010.

La encuesta es el resultado de dos convenios de cooperación, el primero entre la Universidad Católica de la Santísima Concepción “UCSC” (Observatorio de Gestión en Desastres de la Facultad de Ingeniería) y la Municipalidad de Talcahuano. El segundo, entre la UCSC y la Universidad Andrés Bello (Laboratorio de Simulación en Desastres).

La actividad en terreno se encuentra liderada por la Profesora María T. Bull y el estudiante de último año de Ingeniería Civil Industrial, Sr. Franco Kröll Yáñez (UCSC).

### La encuesta consta de 22 preguntas, estas son:

**Pregunta 1.** ¿Género del encuestado?

- a) Masculino.
- b) Femenino.

**Pregunta 2.** ¿En qué rango se encuentra su edad?

- a) 18 – 30 años.
- b) 31 – 45 años.
- c) 46 – 60 años.
- d) 61 – 75 años.
- e) 76 años o más.

**Pregunta 3.** ¿De cuántas personas se compone su grupo familiar?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 4.** ¿Tiene experiencias previas en evacuación de tsunami?

- a) Sí.
- b) No.

**Pregunta 5.** ¿Posee un plan familiar de evacuación de tsunami?

- a) Sí.
- b) No.

**Pregunta 6.** ¿Conoce las zonas seguras de Talcahuano?

- a) Sí.
- b) No.

**Pregunta 7.** Con respecto al terremoto del Coquimbo el mes de septiembre del año 2015, ¿se encontraba en el sector céntrico de Talcahuano en el instante en que este ocurrió?

- a) Sí. (Continuar con la pregunta N°8)
- b) No. (Ir a la pregunta N°10)

**Pregunta 8.** Dada la alerta de tsunami para todo el borde costero de Chile, ¿usted realizó la evacuación?

- a) Sí (Ir a la pregunta N°10).
- b) No (Continuar con la pregunta N°9).

**Pregunta 9.** ¿A qué se debió su decisión?

- a) Según experiencias previas sabía que no llegarían grandes olas al borde costero.
- b) Por temor al robo, al dejar su vivienda desprotegida.
- c) Al observar el mar en calma, desistió evacuar.
- d) Otro \_\_\_\_\_.

**Pregunta 10.** Con respecto a la experiencia vivida en el terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010, ¿en qué lugar se encontraba al momento del terremoto?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 11.** ¿Qué acciones consideró antes de evacuar? (Selección múltiple).

- a) Recopilar implementos básicos como agua, abrigo, alimento, etc.
- b) Esperar que todo el grupo familiar se encuentre listo para evacuar.
- c) Dejar cerradas puertas y ventanas para evitar posibles robos.
- d) Reunir dinero y las pertenencias de valor.
- e) No considera nada.

f) Otro \_\_\_\_\_

**Pregunta 12.** Aproximadamente, ¿Cuánto tiempo tardó en salir de su hogar desde el momento en que ocurrió el terremoto?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 13.** Aproximadamente, ¿Cuánto tiempo tardó en salir de su hogar desde el momento en que se enteró de la alerta de tsunami?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 14.** ¿Cuánto tiempo transcurrió desde el momento en que salió de su hogar hasta encontrarse en una zona segura?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 15.** ¿Hacia qué sitio seguro evacuó?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 16.** ¿Qué medio de transporte utilizó para evacuar?

- a) Pie.
- b) Automóvil.
- c) Motocicleta.
- d) Bicicleta.
- e) Otro \_\_\_\_\_.

**Pregunta 17.** ¿Cómo se enteró de la evacuación de tsunami? a) Vecino/Familia.

- b) Radio.
- c) Bombero/Policía (sirena/megáfono).
- d) Teléfono.
- e) No recuerda.
- f) Otro \_\_\_\_\_.

**Pregunta 18.** ¿Le informó a alguien que estaba evacuando?

- a) Sí.
- b) No.

**Pregunta 19.** ¿Cuánto tiempo se mantuvo en la zona segura hasta regresar a su hogar?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 20.** ¿En cuánto dinero estima la pérdida de sus bienes?

R: \_\_\_\_\_.

**Pregunta 21.** Entendiendo que vive en una zona de inundación de tsunami, ¿posee su propiedad póliza contra desastres naturales?

a) Si.

b) No.

**Pregunta 22.** Entendiendo los riesgos que implica vivir en esta zona ¿ha tomado medidas para resguardar sus bienes?

a) Si.

b) No.

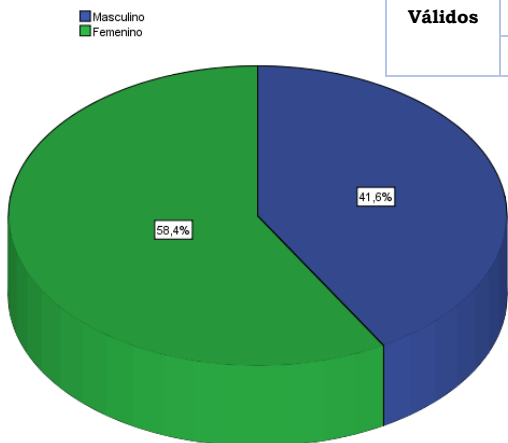
### Datos sobre encuesta y su desarrollo

- Es del tipo descriptiva, y posee preguntas abiertas, semicerradas y cerradas.
- De las 378 encuestas planificadas desde un principio, según tamaño de muestra, se redujeron a 356 encuestas validas porque algunos sectores correspondían a sectores industriales o comerciales.
- La encuesta se realizó In-situ en las residencias de los habitantes del sector centro de Talcahuano.
- Para el manejo estadístico se utiliza el software SPSS statistics en su versión 24.0

### Análisis descriptivo sobre encuesta

**Pregunta 1.** ¿Género del encuestado?

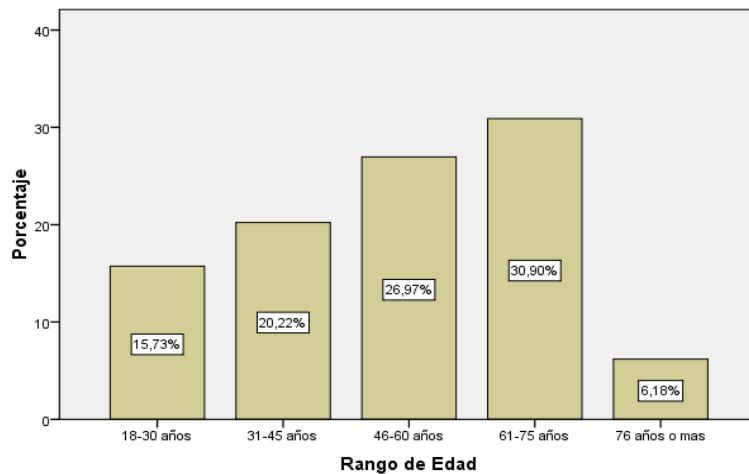
		Masculino o Femenino			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Masculino	148	41,6%	41,6%	41,6%
	Femenino	208	58,4%	58,4%	100%
	Total	356	100%	100%	



**Pregunta 2.** ¿En qué rango se encuentra su edad?

Rango de Edad				
(Rango de edad)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	18-30 años	56	15,7%	15,7%
	31-45 años	72	20,2%	20,2%
	46-60 años	96	27%	27%
	61-75 años	110	30,9%	30,9%
	76 años o mas	22	6,2%	6,2%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

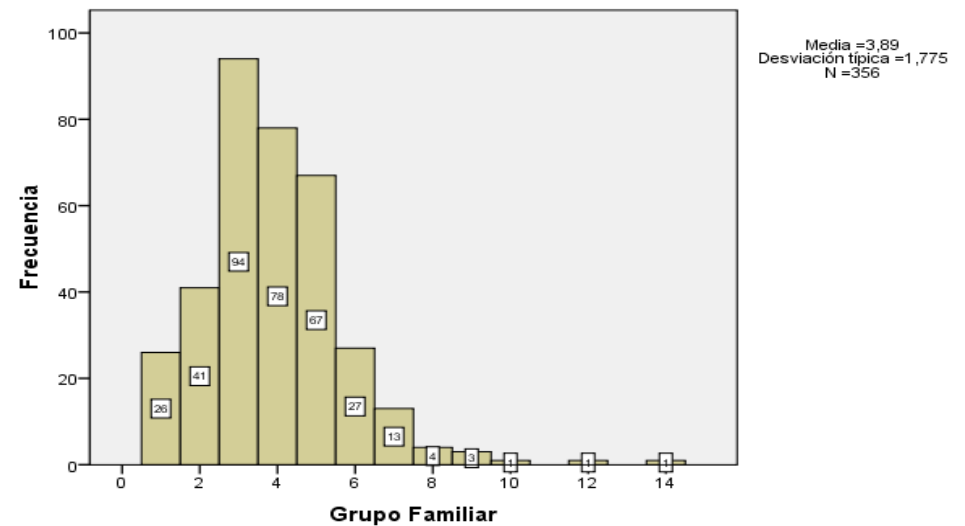
Rango de Edad



**Pregunta 3.** ¿De cuántas personas se compone su grupo familiar?

Grupo Familiar					
(Cantidad)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válidos	1	26	7,3%	7,3%	
	2	41	11,5%	11,5%	
	3	94	26,4%	26,4%	
	4	78	21,9%	21,9%	
	5	67	18,8%	18,8%	
	6	27	7,6%	7,6%	
	7	13	3,7%	3,7%	
	8	4	1,1%	1,1%	
	9	3	0,8%	0,8%	
	10	1	0,3%	0,3%	
	12	1	0,3%	0,3%	
	14	1	0,3%	0,3%	
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

Histograma



**Pregunta 4.** ¿Tiene experiencias previas en evacuación de tsunamis?

En este apartado se relaciona si tiene experiencia previa en evacuación, tanto con su rango de edad y sexo.

<b>Tabla de contingencia Masculino o Femenino * Rango de Edad * Experiencia previa en evacuación</b>								
<b>Recuento</b>								
<b>Experiencia previa en evacuación</b>			<b>Rango de Edad</b>					<b>Total</b>
			<b>18-30 años</b>	<b>31-45 años</b>	<b>46-60 años</b>	<b>61-75 años</b>	<b>76 años o mas</b>	
<b>Si</b>	<b>Masculino o Femenino</b>	<b>Masculino</b>	20	15	27	30	6	<b>98</b>
		<b>Femenino</b>	15	22	31	39	11	<b>118</b>
	<b>Total</b>		<b>35</b>	<b>37</b>	<b>58</b>	<b>69</b>	<b>17</b>	<b>216</b>
<b>No</b>	<b>Masculino o Femenino</b>	<b>Masculino</b>	6	14	14	14	2	<b>50</b>
		<b>Femenino</b>	15	21	24	27	3	<b>90</b>
	<b>Total</b>		<b>21</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>5</b>	<b>140</b>

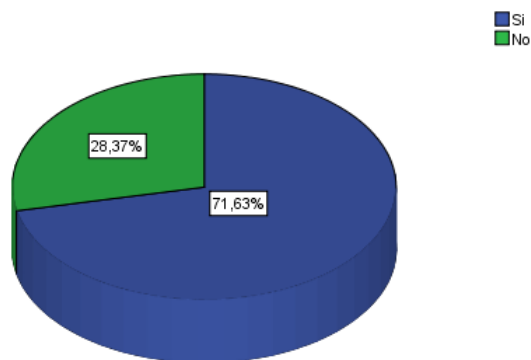
De esta pregunta se puede deducir que no está sujeta a un tiempo específico, es decir, que al momento de la encuesta durante este año 2016 se quiere saber si tiene experiencia en evacuación por tsunamis.

- ❖ De los 356 encuestados, 216 tienen experiencia en evacuación y 140 no la tienen.
- ❖ De los que tienen experiencia un grupo importante pertenecen al rango de edad entre 61-75 años, se puede deducir que transcurrida esta edad más eventos de terremotos y tsunamis se puede haber experimentado.
- ❖ De los que no tienen experiencia en evacuación igualmente lo lideran el grupo etario entre 61-75 años; dado que es la moda entre los rangos de edad de los encuestados,
- ❖ En el rango de edad entre 31-45 años hay casi una igualdad entre los que tienen y no tienen experiencia previa en evacuaciones.

**Pregunta 5.** ¿Posee un plan familiar de evacuación de tsunami?

¿Plan familiar de evacuación?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	255	71,6%	71,6%	71,6%
	No	101	28,4%	28,4%	100%
	Total	356	100%	100%	

¿Plan familiar de evacuación?



**Pregunta 6.** ¿Conoce las zonas seguras de Talcahuano?

¿Conoce las zonas seguras?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	332	93,3%	93,3%	93,3%
	No	24	6,7%	6,7%	100%
	Total	356	100%	100%	

Tabla de contingencia entre Pregunta 5 y Pregunta 6

Tabla de contingencia ¿Plan familiar de evacuación? * ¿Conoce las zonas seguras?				
Recuento				
		¿Conoce las zonas seguras?		Total
		Si	No	
¿Plan familiar de evacuación?	Si	242	13	255
	No	90	11	101
Total		332	24	356

- ❖ De las personas que aseguran tener un plan familiar de evacuación de tsunamis; como se esperaba, si conocen las zonas seguras de Talcahuano. Solo un 5% no conoce las zonas seguras.
- ❖ De los/as que no tienen plan familiar de evacuación, un gran porcentaje aprox. Un 90% de todas formas si conoce las zonas seguras de Talcahuano.
- ❖ Es rescatable que del total de encuestas solo un 6,7% no conoce las zonas seguras, la preparación territorial ante desastres es una de las mejores medidas para enfrentar estos eventos.

La prueba de chi-cuadrado de esta tabla muestra un valor-p (chi-cuadrado de Pearson) con un valor de 0,049, está en límite para ser considerada como una prueba significativa y establecer que hay una dependencia entre estas 2 preguntas.



**Pregunta 7.** Con respecto al terremoto del Coquimbo el mes de septiembre del año 2015, ¿se encontraba en el sector céntrico de Talcahuano en el instante en que este ocurrió?

¿En el terremoto de Coquimbo 15', estaba en Talcahuano?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	296	83,1%	83,1%	83,1%
	No	60	16,9%	16,9%	100%
	Total	356	100%	100%	

➤ En esta pregunta si la respuesta es “no” se indica avanzar de inmediato a la pregunta número 10.

**Pregunta 8.** Dada la alerta de tsunami para todo el borde costero de Chile, ¿usted realizó la evacuación?

¿Dada la alerta, usted evacuó?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	71	19,9%	24%	24%
	No	225	63,2%	76%	100%
	Total	296	83,1%	100%	
Perdidos		60	16,9%		
Total		356	100%		

➤ En esta pregunta si la respuesta es “si” se indica avanzar de inmediato a la pregunta número 10.

- ❖ Se verifica que las 60 personas que respondieron que no se encontraban en el sector céntrico de Talcahuano, avanzaron a la pregunta 10.

- ❖ Se contempla que un alto porcentaje (63%) no evacuó ante la alerta que se generó en todo el borde costero.

**Pregunta 9.** ¿A qué se debió su decisión? De no evacuar

	Frecuencia	Porcentaje		Frecuencia	Porcentaje
Según experiencias previas sabía que no llegarían grandes olas al borde costero	142	39,9%	No recuerda	2	0,6%
Por temor al robo, al dejar su vivienda desprotegida	21	5,9%	No supo	4	1,1%
Al observar el mar en calma, desistió evacuar	29	8,1%	No tuvo información	1	0,3%
Creencia religiosa	1	0,3%	Noticieros informaron no evacuar	1	0,3%
Decisión personal	1	0,3%	Pensó que era una falsa alarma	1	0,3%
Esperó más información	1	0,3%	Por tener a su madre postzada	1	0,3%
Indecisión de autoridades	1	0,3%	Por trabajo	2	0,6%
Mala información	1	0,3%	Porque desactivaron la alerta	1	0,3%
No confió en la alarma	1	0,3%	Se quedaría sola	1	0,3%
No especifica	2	0,6%	SHOA vía SMS canceló la alarma	1	0,3%
No hubo alarma	5	1,4%	Sin justificación	1	0,3%
No le dio importancia	3	0,8%	Vivía en un cerro	1	0,3%
No le teme al tsunami	1	0,3%	Perdidos	130	36,5%

- ❖ Un gran porcentaje de los que no evacuaron consideraron que por experiencias previas no llegarían grandes olas al borde costero. Como motivo le sigue

la observación de la situación del mar, y en tercer lugar el temor a robo.

- ❖ De las 60 personas que inicialmente no estaban en el centro de Talcahuano, ahora se suman las 71 personas que señalan que, si evacuaron, dando un total de 131 personas, que son los datos perdidos. En esta pregunta una persona señala que, de todas formas, aunque si evacuó lo hizo por indecisión de las autoridades.

**Pregunta 10.** Con respecto a la experiencia vivida en el terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010, ¿en qué lugar se encontraba al momento del terremoto?

¿Durante el terremoto de 2010, donde estaba?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No recuerda	5	1,4%	1,4%	1,4%
	Casa	314	88,2%	88,2%	89,6%
	Departamento	4	1,1%	1,1%	90,7%
	Fuera de Talcahuano	26	7,3%	7,3%	98%
	Isla Quiriquina	1	0,3%	0,3%	98,3%
	Isla Rocuant	1	0,3%	0,3%	98,6%
	Puerto	1	0,3%	0,3%	98,9%
	San Vicente	1	0,3%	0,3%	99,2%
	Talcahuano	1	0,3%	0,3%	99,4%
	Trabajo	1	0,3%	0,3%	99,7%
	Trabajo en Talcahuano	1	0,3%	0,3%	100%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

**Pregunta 11.** ¿Qué acciones consideró antes de evacuar? (Selección múltiple).

- a) Recopilar implementos básicos como agua, abrigo, alimento, etc.
- b) Esperar que todo el grupo familiar se encuentre listo para evacuar.
- c) Dejar cerradas puertas y ventanas para evitar posibles robos.
- d) Reunir dinero y las pertenencias de valor.
- e) No considera nada.
- f) Otro \_\_\_\_\_.

- ❖ Un 23% de las respuestas indica que no considero nada al momento de evacuar.
- ❖ Un 19,4% indica que no evacuó.
- ❖ Un 17,4% indica que recopiló elementos básicos como agua, abrigo, alimento, etc.
- ❖ Un 8,1% indica que espero a que todo el grupo familiar estuviera listo para evacuar.
- ❖ Un 5,9% indica que considero la opción a) y b) antes de evacuar.
- ❖ Un 5,9% indica que considero la opción a) y c) antes de evacuar.
- ❖ Un 3,1% indica que considero la opción a), b) y c) antes de evacuar.
- ❖ Un 3,1% indica que considero la opción b) y c) antes de evacuar.

**Pregunta 12.** Aproximadamente, ¿Cuánto tiempo tardó en salir de su hogar desde el momento en que ocurrió el terremoto?

¿Cuánto tiempo demoró en salir de su hogar?					
(minutos)	Frecuencia	Porcentaje	(minutos)	Frecuencia	Porcentaje
0	15	4,2%	15	36	10,1%
No evacuó	69	19,4%	17	1	0,3%
No sabe/No responde	2	0,6%	20	20	5,6%
1	1	0,3%	25	1	0,3%
2	6	1,7%	30	29	8,1%
3	8	2,2%	40	1	0,3%
4	1	0,3%	60	9	2,5%
5	80	22,5%	80	1	0,3%
5,5	1	0,3%	90	2	0,6%
6	1	0,3%	120	4	1,1%
7	5	1,4%	180	2	0,6%
8	3	0,8%	240	2	0,6%
10	55	15,4%	360	1	0,3%

- ❖ Se mantiene el 19,4% correspondiente a las 69 personas que indican que no evacuaron.
- ❖ La gran mayoría indica que se demoró 5 minutos en evacuar, le siguen los que demoraron 10 minutos y en tercer lugar los que demoraron 15 minutos.

**Pregunta 13.** Aproximadamente, ¿Cuánto tiempo tardó en salir de su hogar desde el momento en que se enteró de la alerta de tsunami?

¿Cuánto tiempo demoró en salir sabiendo de la alerta de tsunami?					
	(minutos)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	4	1,1%	1,1%	1,1%
	No evacuó	69	19,4%	19,4%	20,5%
	No Recuerda	36	10,1%	10,1%	30,6%
	10	14	3,9%	3,9%	34,6%
	120	1	0,3%	0,3%	34,8%
	15	11	3,1%	3,1%	37,9%
	180	2	0,6%	0,6%	38,5%
	2	1	0,3%	0,3%	38,8%
	20	2	0,6%	0,6%	39,3%
	30	8	2,2%	2,2%	41,6%
	4	1	0,3%	0,3%	41,9%
	5	13	3,7%	3,7%	45,5%
	60	3	0,8%	0,8%	46,3%
	7	1	0,3%	0,3%	46,6%
	Evacuó antes	122	34,3%	34,3%	80,9%
	No hubo alarma	68	19,1%	19,1%	100%
	Total	356	100%	100%	

**Pregunta 14.** ¿Cuánto tiempo transcurrió desde el momento en que salió de su hogar hasta encontrarse en una zona segura?

¿Cuánto tiempo demoró hasta encontrarse en una zona segura?					
(minutos)	Frecuencia	Porcentaje	(minutos)	Frecuencia	Porcentaje
0	2	0,6%	15	58	16,3%
No evacuó	69	19,4%	17,5	1	0,3%
No recuerda	7	2%	20	30	8,4%
1	1	0,3%	23	1	0,3%
2	4	1,1%	25	3	0,8%
3	5	1,4%	30	33	9,3%
4	2	0,6%	36	1	0,3%
5	36	10,1%	40	2	0,6%
6	1	0,3%	45	2	0,6%
7	3	0,8%	60	12	3,4%
8	3	0,8%	90	4	1,1%
9	1	0,3%	120	1	0,3%
10	69	19,4%	180	2	0,6%
12	2	0,6%	480	1	0,3%

- ❖ Una mayor cantidad de personas señala que se demoró 10 min hasta encontrarse en una zona segura. Les sigue los que indican que se demoraron 15 min, y a continuación los que señalan que demoraron 5 min.

**Pregunta 15.** ¿Hacia qué sitio seguro evacuó?

¿Hacia qué zona segura acudió?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No evacuó	69	19,4%	19,4%	19,4%
	No Recuerda/No responde	1	0,3%	0,3%	19,7%
	Calle	17	4,8%	4,8%	24,4%
	Cancha	1	0,3%	0,3%	24,7%
	Casa de familiar	3	0,8%	0,8%	25,6%
	Cerro	260	73%	73%	98,6%
	Chillán	1	0,3%	0,3%	98,9%
	Edificio	1	0,3%	0,3%	99,2%
	Patio	2	0,6%	0,6%	99,7%
	Sector Collao	1	0,3%	0,3%	100%
	Total	356	100%	100%	

- ❖ La gran mayoría de los que evacuaron lo hicieron hacia donde dicta la lógica, evacuar hacia la altura, exactamente hacia un cerro.

**Pregunta 16.** ¿Qué medio de transporte utilizó para evacuar?

¿Qué medio de transporte utilizó para evacuar?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No evacuó	69	19,4%	19,4%	19,4%
	Pie	193	54,2%	54,2%	73,6%
	Automóvil	90	25,3%	25,3%	98,9%
	Bicicleta	1	0,3%	0,3%	99,2%
	Camión	1	0,3%	0,3%	99,4%
	Microbús	1	0,3%	0,3%	99,7%
	No específica	1	0,3%	0,3%	100%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

- ❖ El gran porcentaje de las personas que evacuaron lo hicieron a pie
- ❖ Sigue como medio de transporte la movilización en automóvil (no recomendado)

**Pregunta 17.** ¿Cómo se enteró de la evacuación de tsunami?

5					
(motivo)	Frecuencia	Porcentaje	(motivo)	Frecuencia	Porcentaje
No evacuó	30	8,4%	Al presenciar la salida del mar	2	0,6%
No evacuó, pero se enteró por Vecino/Familia	14	3,9%	Conocimiento	98	27,5%
No evacuó, pero se enteró por la Radio	12	3,4%	No evacuó, pero por Conocimiento estuvo al tanto	2	0,6%
No evacuó, pero se enteró por Bombero/Policia (sirena/megáfono)	7	2%	No evacuó, pero se enteró por Televisión	2	0,6%
No evacuó y tampoco recuerda cómo se enteró	2	0,6%	No hubo información	1	0,3%
Vecino/Familia	97	27,2%	No se especifica	2	0,6%
Radio	43	12,1%	Observó cómo se recogía el mar	1	0,3%
Bombero/Policia (sirena/megáfono)	27	7,6%	Televisión	1	0,3%
No recuerda	15	4,2%	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>

- ❖ De las 69 personas que indicaron que no evacuaron, en esta pregunta de todas formas, indican que si se enteraron.
- ❖ 30 personas que no evacuaron tampoco señalan si se enteraron, 14 señalan que se enteraron por vecinos o familia, 12 personas se enteraron por la radio, 7 por bomberos o policías.
- ❖ Del total, un gran porcentaje indica que se enteró por vecinos o familiares. El motivo principal de fuente de información lo comparte con el motivo “conocimientos”, es decir apelaron a experiencias previas o conocimientos del tema para saber sobre la evacuación por el inminente tsunami.

**Pregunta 18.** ¿Le informó a alguien que estaba evacuando?

¿Le informó a alguien que estaba evacuando?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
<b>Válidos</b>	<b>No evacuó</b>	<b>69</b>	<b>19,4%</b>	19,4%	19,4%
	<b>Si</b>	83	23,3%	23,3%	42,7%
	<b>No</b>	<b>204</b>	<b>57,3%</b>	57,3%	100%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

- ❖ A pesar de que la pregunta anterior indica que una de las fuentes de información más importante para transmitir la alerta de evacuación, fue a través de vecinos o familiares. En esta pregunta un alto porcentaje no informo a alguien que estaba evacuando, se puede atribuir un porcentaje de este al quiebre en las comunicaciones.

**Pregunta 19.** ¿Cuánto tiempo se mantuvo en la zona segura hasta regresar a su hogar?

¿Cuánto tiempo se mantuvo en la zona segura?					
(tiempo h)	Frecuencia	Porcentaje	(tiempo h)	Frecuencia	Porcentaje
<b>No evacuó</b>	<b>69</b>	<b>19,4%</b>	15	2	0,6%
10 min	1	0,3%	18	2	0,6%
No recuerda	7	2%	24	23	6,5%
0,5	6	1,7%	25	1	0,3%
1	7	2%	36	1	0,3%
2	6	1,7%	<b>48</b>	<b>33</b>	<b>9,3%</b>
2,5	2	0,6%	72	13	3,7%
3	11	3,1%	96	5	1,4%
3,5	1	0,3%	108	1	0,3%
<b>4</b>	<b>28</b>	<b>7,9%</b>	120	5	1,4%
4,5	5	1,4%	168	17	4,8%
<b>5</b>	<b>30</b>	<b>8,4%</b>	240	2	0,6%
5,5	3	0,8%	288	2	0,6%
6	18	5,1%	360	5	1,4%
7	8	2,2%	480	2	0,6%
8	8	2,2%	720	7	2%
10	5	1,4%	1440	7	2%
12	12	3,4%	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>
14	1	0,3%			

**Pregunta 20.** ¿En cuánto dinero estima la pérdida de sus bienes?

	Frecuencia	Porcentaje		Frecuencia	Porcentaje
<b>0</b>	<b>93</b>	<b>26,1</b>	<b>500.000</b>	10	2,8
<b>No responde</b>	48	13,5	<b>600.000</b>	1	0,3
<b>3.000</b>	1	0,3	<b>700.000</b>	1	0,3
<b>5.000</b>	1	0,3	<b>750.000</b>	1	0,3
<b>10.000</b>	4	1,1	<b>800.000</b>	4	1,1
<b>15.000</b>	3	0,8	<b>1.000.000</b>	<b>29</b>	<b>8,1</b>
<b>20.000</b>	7	2	<b>1.500.000</b>	5	1,4
<b>30.000</b>	7	2	<b>1.800.000</b>	1	0,3
<b>40.000</b>	2	0,6	<b>2.000.000</b>	18	5,1
<b>50.000</b>	12	3,4	<b>2.100.000</b>	1	0,3
<b>60.000</b>	1	0,3	<b>2.500.000</b>	2	0,6
<b>70.000</b>	1	0,3	<b>3.000.000</b>	7	2
<b>80.000</b>	2	0,6	<b>3.500.000</b>	1	0,3
<b>90.000</b>	1	0,3	<b>4.000.000</b>	2	0,6
<b>100.000</b>	<b>20</b>	<b>5,6</b>	<b>5.000.000</b>	5	1,4
<b>150.000</b>	6	1,7	<b>7.000.000</b>	1	0,3
<b>200.000</b>	<b>22</b>	<b>6,2</b>	<b>8.000.000</b>	5	1,4
<b>250.000</b>	3	0,8	<b>10.000.000</b>	3	0,8
<b>300.000</b>	11	3,1	<b>12.000.000</b>	1	0,3
<b>350.000</b>	3	0,8	<b>15.000.000</b>	3	0,8
<b>400.000</b>	3	0,8	<b>20.000.000</b>	3	0,8
<b>450.000</b>	1	0,3	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100</b>

**Pregunta 21.** Entendiendo que vive en una zona de inundación de tsunamis, ¿posee su propiedad póliza contra desastres naturales?

¿Sabiendo que vive en zona de riesgo, tiene seguro su propiedad?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
<b>Válidos</b>	<b>Si</b>	24	6,7%	6,7%	6,7%
	<b>No</b>	<b>332</b>	<b>93,3%</b>	93,3%	100%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

**Pregunta 22.** Entendiendo los riesgos que implica vivir en esta zona ¿ha tomado medidas para resguardar sus bienes?

¿Sabiendo que vive en zona de riesgo, ha tomado alguna medida?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
<b>Válidos</b>	<b>Si</b>	117	32,9%	32,9%	32,9%
	<b>No</b>	<b>239</b>	<b>67,1%</b>	67,1%	100%
	<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	