



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS DESDE
EL SISTEMA FERROVIARIO EN EL SECTOR RECREO,
VIÑA DEL MAR, UTILIZANDO UN MODELO BASADO EN
AGENTES”**

Felipe Ignacio Cammas Simonsen

Junio 2018

ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS DESDE EL SISTEMA
FERROVIARIO EN EL SECTOR RECREO, VIÑA DEL MAR, UTILIZANDO UN
MODELO BASADO EN AGENTES

Felipe Ignacio Cammas Simonsen

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
NOMBRE REVISOR 1 Mauricio Reyes	_____	_____
NOMBRE REVISOR 2 Felipe Caselli	_____	_____
NOMBRE REVISOR 3 Jaime Leyton	_____	_____

DECLARACIÓN

Este trabajo, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Confirmando que, salvo las referencias citadas en el texto, el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivo de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Felipe Cammas Simonsen
Alumno

Mauricio Reyes Gallardo
Profesor Guía

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres y hermanos, los cuales sin importarles mis errores me han apoyado incondicionalmente en todo momento, especialmente cuando el escenario fue complejo. Papá, Mamá, Flakita, Jean y Pulpo muchas gracias por todo,

A mi compañera de aventuras, mujer incondicional y apañadora. Consejera y coach motivacional, que me enrioló cuando más difícil y empinada se puso la cuesta. A ti, mi Tanti Quelme, muchas gracias por estar ahí y seguir en la conquista de este y muchos logros más que vendrán.

A Mauricio Reyes, por confiar en mi. Por tenderme una mano en todo momento que necesité de sus asesorías. Sin duda la oficina fue y seguirá siendo un buen lugar de trabajo.

A mis compañeros de años, Sole, los Felipes, Ale, Ives, Ariel, Galaz, con quien compartí mis triunfos y derrotas. Con quienes siempre conté para cualquier eventualidad.

Al FabLab de la Universidad de Valparaíso, por sus Asesorías. Así como a los alumnos de la carrera de Ingeniería en Estadística de la misma universidad.

CONTENIDOS

RESUMEN	13
1 INTRODUCCIÓN	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	16
3.1 ALCANCES.....	16
3.2 LIMITACIONES.....	16
4 MARCO TEÓRICO.....	17
4.1 GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
4.1.1 SISTEMA COORDENADO DE LATITUD Y LONGITUD	17
4.1.2 SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS.....	17
4.1.3 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	18
4.1.4 DESCRIPCIÓN DE GOOGLE EARTH ©	18
4.2 MODELOS BASADOS EN AGENTE (MBA).....	19
4.2.1 NETLOGO	20
4.3 RIESGO	22
4.4 ESTUDIO DE AMENAZA: TERREMOTOS Y TSUNAMIS.....	23
4.4.1 DEFINICIONES: SUBDUCCIÓN, TERREMOTO Y TSUNAMI	23
4.4.2 TERREMOTOS Y TSUNAMIS DE CHILE	27
4.4.3 ZONA CENTRAL: TERREMOTOS Y TSUNAMIS	29
4.5 ESTUDIO DE IMPACTO	33
4.5.1 ESTIMACIÓN DE IMPACTOS	33
4.5.2 VULNERABILIDAD	35
4.5.3 VULNERABILIDADES PRESENTES EN LA EVACUACIÓN DE TSUNAMI	36
4.5.4 VULNERABILIDADES DE UNA PASARELA UTILIZADA PARA EVACUAR	39
4.5.5 EXPOSICIÓN.....	40
4.6 GESTIÓN DEL RIESGO	40
4.7 EVACUACIÓN POR TSUNAMI.....	42
4.7.1 SISTEMAS DE ALERTA	42
4.7.2 EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	45
5 METODOLOGÍA	45
5.1 GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL.....	46
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA.....	46

5.3	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PERSONAS	47
5.3.1	SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA CARACTERIZAR A LAS PERSONAS	47
5.3.2	CONFECCIÓN Y PRUEBA DE ENCUESTA PILOTO	48
5.3.3	MEJORA DE ENCUESTA PILOTO	48
5.3.4	PUESTA EN MARCHA DEL INSTRUMENTO	50
5.3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
5.4	SIMULACIÓN DE AGENTES USANDO NETLOGO	52
5.4.1	SIMULACIONES SIN PROYECTO CON UN PASAJERO (SP0)	56
5.4.2	SIMULACIONES DE ESCENARIOS SIN PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN (SP1, 2, 3 Y 4)	56
5.4.3	SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO (ESCENARIO 0, CP0)	57
5.4.4	SIMULACIONES DE ESCENARIOS CON PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN (CP1 Y 3)	57
5.4.5	ÍNDICES DE MORTALIDAD	57
5.5	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI. 58	
6	RESULTADOS	58
6.1	GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL	58
6.1.1	DEFINICIÓN DE ZONAS	58
6.1.2	ANÁLISIS ESPACIAL	59
6.1.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN	62
6.1.4	DEFINICIÓN DE RUGOSIDADES EXPERIMENTALES	76
6.1.5	PLANOS DE LOS MODELOS A SIMULAR EN NETLOGO	76
6.2	CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA	77
6.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS PERSONAS	81
6.3.1	PREGUNTA 8: ¿POSEE USTED ALGUNA DISCAPACIDAD?	82
6.4	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE AGENTES USANDO NETLOGO	86
6.4.1	SIMULACIONES SIN PROYECTO (SP0)	86
6.4.2	SIMULACIONES DE ESCENARIOS SIN PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN EN LA ZONA A (SP1, 2, 3 Y 4)	88
6.4.3	SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO (CP0)	90
6.4.4	SIMULACIONES DE ESCENARIOS CON PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN EN LA ZONA B (CP1, y 3)	92
6.4.5	ÍNDICES DE MORTALIDAD	93
6.5	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI	95
7	CONCLUSIONES	97
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

9	ANEXOS	102
9.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	103
9.1.1	SEXO, NACIONALIDAD Y RANGO ETARIO	103
9.1.2	PREGUNTA 4: ¿HA TENIDO EXPERIENCIA DE EVACUACIÓN EN UN TERREMOTO O TSUNAMI, YA SEA EN SIMULACRO O EXPERIENCIA REAL?.....	106
9.1.3	PREGUNTA 7: SEGÚN SU EXPERIENCIA: INDIQUE DEL 1 AL 5, DONDE 1 ES “POCO CONFIABLE” Y 5 “MUY CONFIABLE”, ¿CUÁNTA EXPERIENCIA TIENE UD. EN SU CONOCIMIENTO ACERCA DE EVACUACIÓN DE TSUNAMI?	110
9.1.4	PREGUNTA 9: INDIQUE SU CATEGORÍA DE RESIDENCIA	116
9.1.5	PREGUNTA 11: ¿CÓMO DEFINIRÍA UD. SU REACCIÓN DURANTE UN TERREMOTO Y/O TSUNAMI? UTILICE UNA ESCALA DE 1 A 5, DONDE 1 ES “PÉRDIDA ABSOLUTA DEL AUTOCONTROL” Y 5 ES “MUY TRANQUILO”	120
9.1.6	PREGUNTA 13: ¿SABE O CONOCE ALGUNA VÍA DE EVACUACIÓN EN CASO DE QUE TUVIESE QUE EVACUAR AHORA?	126
9.1.7	PREGUNTA 14: ¿QUÉ MEDIO UTILIZARÍA PARA EVACUAR EN CASO DE TSUNAMI?	131
9.1.8	PREGUNTA 15: ¿EN QUÉ MOMENTO DECIDIRÍA UD. EVACUAR EN CASO DE TSUNAMI?	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zona de estudio visto desde la interfaz de Google Earth Pro. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.....	19
Figura 2 – Imagen de la Interfaz de NetLogo. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 3 - Zona de subducción. Fuente: Carvajal (2015).....	24
Figura 4 - Tipo de sismo asociado a la Zona de Subducción de Chile. Fuente: Cisternas (2012).....	25
Figura 5 - Representación de un terremoto generador de tsunami. Fuente: SHOA (2005). 26	
Figura 6 - Comportamiento del tsunami cuando arriba a la costa. Fuente: SHOA (2005)... 27	
Figura 7 - Terremotos Históricos de Chile. Elaborado con data del Servicio Sismológico de Chile, 2012. Fuente: Reyes (2013).	28
Figura 8 - Generación de Tsunamis Históricos en Chile, elaborado con data del Servicio Sismológico de Chile (2012). Fuente: Reyes (2013).....	29
Figura 9 - Sismos previos, Terremoto y sismos posteriores al terremoto de 1985. Fuente: Comte (et al. 1986).....	32
Figura 10 - Diagrama para el cálculo de impactos. Fuente: Reyes (2013).....	34
Figura 11 - Niveles de impacto de desastre por tsunami. Fuente: Reyes (2013).	38
Figura 12 - Subcomponentes de Vulnerabilidad asociadas al Sufrimiento Humano (HS). Fuente: Reyes (2013).....	38
Figura 13 - Plano de Evacuación Valparaíso y Laguna Verde. Fuente: SHOA.....	43
Figura 14 - Plano de evacuación de Viña del Mar. Fuente: SHOA.	44
Figura 15 - Carta de Inundación de la zona de Estudio. Fuente: SHOA.	44
Figura 16 - Mapa conceptual de la Metodología aplicada. Fuente: Elaboración propia.	46

Figura 17 - Tramo 1 de realización de encuestas. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.....	50
Figura 18 - Tramo 2 de realización de encuestas. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.....	51
Figura 19 - Plano explicativo de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura 20 - Subdivisión de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).....	59
Figura 21 - Conformación del chancado y línea férrea. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 22 - Escaleras de Estación Recreo utilizadas en lo modelos de evacuación. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).....	62
Figura 23 - Flujos de evacuación en Estación Recreo. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 24 - Andenes, chancados y escaleras de Estación Recreo. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 25 - Torniquetes de Estación Recreo (vista hacia Viña del Mar). Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 26 - Tramo E de la pasarela de Estación Recreo (Vista hacia Recreo). Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 27 - Escalera de Recreo, empalme de vías de evacuación. Fuente: Elaboración propia.	67
Figura 28 - Escalera de Recreo, tramo inferior. Fuente: Elaboración propia.	67
Figura 29 - Escalera de Recreo, tramo superior. Fuente: Elaboración propia.	68
Figura 30 - Escalera JJ Latorre. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).....	69
Figura 31 - Flujos de evacuación de la Escalera JJ Latorre. Fuente: Elaboración propia....	69
Figura 32 - Tramo A escala JJ Latorre con vista hacia el cerro. Fuente: Elaboración propia.	70
Figura 33 - Tramo A escala JJ Latorre con vista hacia Avenida España. Fuente: Elaboración propia.	70
Figura 34 Tramo B y C de la escala JJ Latorre con vista hacia el cerro. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 35 - Tramo B y C de la escala JJ Latorre con vista hacia Avenida España. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 36 - Tramo D de la escala JJ Latorre con vista hacia el cerro. Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 37 - Tramo D de la escala JJ Latorre con vista el tramo C. Fuente: Elaboración propia.	73
Figura 38 - Escalera Solución con vista hacia Punto F, desde el Punto E. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 39 - Escalera Solución con vista hacia Punto E, desde el Punto F. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 40 - Escalera Solución con vista hacia Punto G, desde el Punto F. Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 41 - Escalera Solución con vista hacia la zona de evacuación, desde el Punto G. Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 42 - Zona de estudio visualizado desde el Geoportal. Fuente: Elaboración propia. ..	77
Figura 43 - Territorio afectado por el terremoto de 1730. Fuente: Carvajal (2015).....	78
Figura 44 - Perfiles topográficos y nivel de inundación según reportes históricos. Fuente: Carvajal (2015).....	79
Figura 45 - Modelos de ruptura. Fuente: Carvajal (2015).	79

Figura 46 - Modelos de ruptura del terremoto de 1730. Fuente: Quiroz et al. (2014).....	80
Figura 47 - Área de inundación y tsunami de 1730 según modelo FFM-3. Fuente: Quiroz et al. (2014).....	81
Figura 48 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 8. Fuente: Elaboración propia.	83
Figura 49 - Respuesta afirmativa de la pregunta 8 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 50 - Respuesta negativa de la pregunta 8 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 51 - Respuesta afirmativa de la pregunta 8 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 52 - Respuesta negativa de la pregunta 8 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 53 - Comparación de las trayectorias de los agentes con respecto a las simulaciones SP0. Fuente: Elaboración propia.	87
Figura 54 - Georreferenciación de las trayectorias de las simulaciones SP0. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).....	87
Figura 55 - Comparación de la relación velocidad de desplazamiento y el tiempo con respecto a las simulaciones SP0. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 56 - Comparación de la velocidad promedio y el tiempo de los cuatro escenarios sin proyecto, con capacidad llena. Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 57 - Comparación de trayectorias críticas evaluadas en las tres zonas. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 58 - Trayectoria de las simulaciones CP0 basado en la Zona A. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).	91
Figura 59 - Comparación de la relación velocidad de desplazamiento y el tiempo con respecto a las simulaciones CP0. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 60 - Comparación de la velocidad promedio y el tiempo de los dos escenarios con proyecto, con capacidad llena. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 61 - Distribución del sexo de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.	104
Figura 62- Distribución de las nacionalidades de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.	104
Figura 63 - Distribución del rango etario de la población encuestada. Fuente: Elaboración propia.	105
Figura 64 - Distribución de rango etario con respecto a clasificación según la Etapa del Ciclo Vital. Fuente: Elaboración propia.	106
Figura 65 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 4. Fuente: Elaboración propia.	107
Figura 66 - Respuesta afirmativa de la pregunta 4 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	108
Figura 67 - Respuesta negativa de la pregunta 4 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	109
Figura 68 - Respuesta afirmativa de la pregunta 4 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	109
Figura 69 - Respuesta negativa de la pregunta 4 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	110
Figura 70 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.	111

Figura 71 – Respuestas con respecto al nivel de confianza de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: Elaboración propia.	112
Figura 72 - Respuestas con respecto al nivel de confianza de los encuestados de nacionalidad extranjera. Fuente: Elaboración propia.	113
Figura 73 – Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.	114
Figura 74 – Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.	114
Figura 75– Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.	115
Figura 76– Respuestas del rango etario adolescente con respecto a la pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.	116
Figura 77 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 9. Fuente: Elaboración propia.	117
Figura 78 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	118
Figura 79 - Porcentaje de visitantes del Gran Valparaíso en base a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	119
Figura 80 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	119
Figura 81 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	120
Figura 82 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 11. Fuente: Elaboración propia.	121
Figura 83 – Respuestas de la pregunta 11 con respecto al nivel de autocontrol de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: Elaboración propia.	122
Figura 84 – Respuestas de la pregunta 11 con respecto al nivel de autocontrol de los encuestados de nacionalidad extranjera. Fuente: Elaboración propia.	123
Figura 85 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 11. Fuente: Elaboración propia.	124
Figura 86 - Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 11. Fuente: Elaboración propia.	124
Figura 87 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 11. Fuente: Elaboración propia.	125
Figura 88 - Respuestas del rango etario Adulto Mayor con respecto a la pregunta 11. Fuente: Elaboración propia.	126
Figura 89 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 13. Fuente: Elaboración propia.	127
Figura 90 - Respuesta afirmativa de la pregunta 13 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	128
Figura 91 - Respuesta negativa de la pregunta 13 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.	129
Figura 92 - Respuesta afirmativa de la pregunta 13 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	130
Figura 93 - Respuesta negativa de la pregunta 13 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.	130
Figura 94 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.	132

Figura 95 – Respuestas de la pregunta 14 con respecto al método de evacuación de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: Elaboración propia.	133
Figura 96 – Respuestas de la pregunta 14 con respecto al método de evacuación de los encuestados de nacionalidades extranjeras. Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 97 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.	135
Figura 98 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.	135
Figura 99 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.	136
Figura 100 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.	136
Figura 101 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.	138
Figura 102 – Respuestas de la pregunta 15 con respecto a la elección del momento de evacuación frente a un tsunami de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: Elaboración propia.	139
Figura 103 – Respuestas de la pregunta 15 con respecto a la elección del momento de evacuación frente a un tsunami de los encuestados de nacionalidad extranjera. Fuente: Elaboración propia.	140
Figura 104 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.	141
Figura 105 - Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.	141
Figura 106 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.	142
Figura 107 - Respuestas del rango etario Adulto Mayor con respecto a la pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Terremotos de la Zona Central de Chile. Elaborado con data de NGDC (2014) y CSN (2014). Fuente: Flores (2016).	30
Tabla 2 - Escalas cualitativas de estimación de impactos. Fuente: Reyes (2013) y Winckler (et al. 2015).	34
Tabla 3 - Clasificación de valores de alfa para el método alfa de Cronbach. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 4 – Información de jornadas de ejecución del instrumento. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 5 - Tabla de preguntas seleccionadas para el análisis estadístico y su implicancia con los parámetros de clasificación. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 6- Escenarios de simulación. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 7 - Conversión de velocidad real a la velocidad del modelo. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 8 - Factores de rugosidad experimental empleados en las simulaciones. Fuente: Elaboración propia.	76
Tabla 9 - Tiempos de evacuación correspondientes a las subdivisiones de la zona de estudio para los escenarios SP0. Fuente: Elaboración propia.	86

Tabla 10 - Tiempos de evacuación de los escenarios sin proyecto, a máxima capacidad y evaluados según velocidades predeterminadas por tabla 6. Fuente: Elaboración propia....	89
Tabla 11 - Tiempos de evacuación correspondientes a las subdivisiones de la zona de estudio para los escenarios CP0. Fuente: Elaboración propia.	90
Tabla 12 - Tiempos de evacuación de los escenarios con proyecto, a máxima capacidad y evaluados según velocidades predeterminadas por tabla 6. Fuente: Elaboración propia....	92
Tabla 13 - Cantidad de pasajeros en el chancado al momento del arribo del tsunami. Fuente: Elaboración propia.	94
Tabla 14 – Porcentaje de pasajeros en el chancado al momento del arribo del tsunami. Fuente: Elaboración propia.	94
Tabla 15 - Tiempos exactos de la salida de los agentes de la zona de chancado. Fuente: Elaboración propia.	95
Tabla 16 - Comparación de los tiempos de arribo considerando las velocidades de la FEMA (2008) para escenarios SP y CP. Fuente: Elaboración propia.	96

RESUMEN

Tras los eventos acontecidos en el último tiempo, empezando por el del 27 de febrero de 2010, tanto terremotos como sus posteriores tsunamis han afectado las costas de Chile. Es debido a esto que se han desarrollado estrategias para mitigar y reducir los riesgos de desastres RRD), con el fin de generar un cierto nivel de conocimiento en la población, basado en resultados que avalan que la prevención de desastres naturales es la clave para reducir los impactos humanos (ONEMI, 2016). Este estudio se enfoca en estudiar y caracterizar la evacuación de personas desde las zonas de exposición a tsunami en la ciudad de Viña del Mar a las zonas seguras presentes en los planos de evacuación de la ONEMI por medio de un modelo basado en agentes en el software NetLogo.

Este proyecto tiene como objetivo el análisis de la evacuación horizontal en caso de tsunami, en un sector de la vía férrea que conecta las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar. Para ello, se propone la construcción de un modelo basado en agentes, con el software NetLogo. La simulación toma en cuenta los escenarios de amenaza que pueden presentarse, y el comportamiento probable de las personas y el sistema de transporte en estudio. En particular, el modelo con agentes permite sensibilizar los parámetros para toma de decisiones de los agentes. Así, se introduce de manera simplificada el comportamiento de las personas.

Los procedimientos considerados para llevar a cabo este estudio son: recopilación de antecedentes, caracterización territorial utilizando Sistemas de Información Geográfica, caracterización de los agentes por medio de la elaboración de una encuesta y posterior análisis estadístico. Por medio de un análisis bibliográfico de los eventos ocurridos en la zona central para así caracterizar la amenaza y vulnerabilidad existente.

Por último, una vez caracterizado el territorio, los agentes, la amenaza y vulnerabilidad, se definirán los escenarios a simular en NetLogo, los cuales deben considerar las situaciones más complejas y adversas que podría enfrentar un sistema de transporte ferroviario costero. Con este se busca determinar vulnerabilidades específicas y proponer medidas para su reducción.

1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación busca analizar el comportamiento de evacuación de los usuarios del sistema ferroviario en el tramo entre la Curva de los Mayos y Estación Recreo para una evacuación por tsunami. Para esto, se ha utilizado un modelo basado en agentes, el cual por medio de variaciones en la velocidad analiza los comportamientos en los tiempos de arribo de los pasajeros del sistema ferroviario local. Para ello, se han propuesto cuatro velocidades experimentales: dos velocidades de la FEMA (2008) y dos propuestas por Lues (2018). Los cambios en estos parámetros han arrojado resultados que evidencian la diferencia en los tiempos de evacuación entre una persona en perfectas condiciones físicas y otra con problemas de desplazamiento.

Estructurada en 4 etapas, esta memoria busca contraponer los tiempos de evacuación de los usuarios en la situación sin proyecto (SP) y con proyecto (CP). En primer lugar, se ha realizado una georreferenciación espacial, por medio del uso de sistemas de información geográfica (SIG), a fin de definir el territorio en donde se emplaza el estudio. Adicionalmente, se han caracterizado la subida Covadonga en Recreo, vía actual y oficial de evacuación y la escala J.J. Latorre, correspondiente a la vía de evacuación implementada como solución en este proyecto.

En segundo lugar corresponde la definición de la amenaza, la cual ha considerado el terremoto tsunamigénico de 1730, el cual se considera hasta hoy como el primero de su clase registrado.

El tercer paso, consideró la ejecución de una encuesta realizada en dos jornadas con dos tramos distintos de la conurbación Valparaíso-Viña del Mar. Este elemento tuvo como objetivo caracterizar la población.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el comportamiento de los pasajeros del sistema de transporte ferroviario costero durante una evacuación por tsunami en el tramo entre la Curva de los Mayos y Caleta Abarca, Viña del Mar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización del territorio por medio de una georreferenciación ejecutada en dos Sistemas de Información Geográfica: Google Earth Pro y Geoportal.
- Generar una caracterización del comportamiento de las personas utilizando un análisis estadístico basado en los datos obtenidos de una encuesta realizada a personas de Valparaíso y Viña del Mar.
- Desarrollar un modelo basado en agentes para simular la evacuación del tren en distintos tramos y velocidades de desplazamiento de personas, representando escenarios de amenaza.
- Analizar los resultados obtenidos y proponer alternativas para reducir las vulnerabilidades del sistema en estudio.

3 ALCANCES Y LIMITACIONES

3.1 ALCANCES

- Este estudio busca analizar los distintos escenarios de simulación por medio de las variaciones en la velocidad de desplazamiento de los agentes.
- Se ha confeccionado un modelo basado en agentes por medio del software NetLogo para ejecutar las variaciones de velocidad de desplazamiento de los agentes.
- Se presenta una solución conceptual sin incorporar el costo de implementación, ya que busca mostrar su efecto en el proceso de evacuación

3.2 LIMITACIONES

- Algunos elementos de la encuesta realizada en este estudio no han sido considerados en los modelos, puesto que éstos se basan en la velocidad de desplazamiento y no en elementos como el nivel de conocimiento o autocontrol.
- Debido a que estos fenómenos son multifactoriales, es muy complejo poder definir todos los componentes que pueden afectar a una evacuación.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El término georreferenciación, según Sistema de Información Geográfica AcrGIS (2014) se define como *“el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación especial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen ubicación geográfica y una extensión específica que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella”*. Por otra parte también menciona que, la capacidad de localizar de manera precisa en un plano o Sistema de Información Geográfica (SIG) es totalmente importante.

Para poder localizar los puntos en un SIG, se debe definir un sistema de coordenadas geográficas. Estos elementos utilizan un sistema coordenado de latitud-longitud global y de un sistema de coordenadas cartesianas o planas que se define la asignación a cada punto del plano digital (AcrGIS, 2014).

4.1.1 SISTEMA COORDENADO DE LATITUD Y LONGITUD

Este método se utiliza para la ubicación de un punto en la superficie de la Tierra. Consiste en utilizar mediciones esféricas de latitud y longitud, las cuales son mediciones de ángulos (en grados) proyectados desde el centro del planeta hasta la superficie. Generalmente, este tipo de sistema, se conoce como sistema de coordenadas geográficas (AcrGIS, 2014).

La longitud corresponde a la medida angular en dirección este-oeste. Comunmente, se referencian en base al meridiano 0, o de Greenwich, que corresponde a una línea imaginaria que realiza un recorrido de polo a polo. Al oeste del meridiano, se considera como longitud negativa, mientras que hacia el este es considerado como longitud positiva. Todos los ángulos de este punto reciben el nombre de meridianos (AcrGIS, 2014).

Por otra parte, la latitud se encarga de medir los ángulos de norte a sur, dividiendo el planeta en dos hemisferios. Su paralelo más importante corresponde a la línea del Ecuador o paralelo 0. Hacia el norte de este paralelo se considera latitud positiva, mientras que hacia el sur, se asume latitud negativa. En la latitud, cada ángulo de medición recibe el nombre de paralelo (AcrGIS, 2014).

AcrGIS (2014), menciona que en el esferoide de Clarke (1866), el perímetro de un meridiano es equivalente a 111.321 kilómetros, mientras que, a una latitud de 60°, para un paralelo sólo equivale a 55.802 kilómetros. Sin embargo, como paralelos y meridianos no tienen una longitud estándar, no es posible medir las distancia o áreas de manera precisa, así como tampoco se puede visualizar los datos de manera fácil en un mapa.

4.1.2 SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS

Este corresponde a un sistema de coordenadas proyectadas la cual considera una superficie plana, como un mapa impreso o una pantalla de computador. Éste, tiene la característica de ser en 2D y 3D, brindando mecanismos para describir la ubicación y forma geográfica del punto en cuestión utilizando coordenadas x e y (AcrGIS, 2014).

En el sistema de coordenadas cartesianas, el eje x representa este-oeste, mientras que el eje y, norte-sur. La intersección de estos corresponde al denominado origen (0,0). Las ubicaciones de los objetos gráficos son definidos con respecto al origen, mediante coordenadas, cuya notación se expresa como (x,y).

4.1.3 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Según NCGIA (2014), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se definen como *“un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”*.

Los SIG son sistemas computacionales que sirven para obtener información geográfica digital (latitud, longitud, altitud, entre otras) facilitando las distintas combinaciones entre sí e integrando múltiples cartografías manejadas en capas superpuestas que se pueden visualizar simultáneamente, dependiendo del proyecto u objetivo que se desee realizar (SIGESPRO, 2016).

Según Bosque J. (1992) los SIG puede emplearse para investigaciones científicas, en la gestión de recursos, evaluación de impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, e incluso para la organización de respuestas en casos de desastre natural.

Los SIG tienen una gran aplicación y utilización, y con el tiempo ha ido incrementando el conocimiento en áreas de investigación en las que han sido implementados (Rodríguez, 2001). Esto ocurre también con León & March (2014), quienes mencionan que son utilizados para observar la respuesta de la vulnerabilidad ante un desastre, determinando la morfología urbana como elemento de apoyo a la resiliencia frente a un tsunami destructivo.

4.1.4 DESCRIPCIÓN DE GOOGLE EARTH ©

Este software fue creado bajo el nombre de Earth Viewer, por la compañía Keyhole. En el año 2004 Google©, decide comprar la compañía, pasando a ser uno más de la vasta lista de esta cadena. Es en el 2005 cuando recibe el nombre definitivo de Google Earth©. Este software, que es de libre acceso, ha permitido que la información satelital sea obtenida de manera fácil y directa por un gran número de usuarios a lo largo del mundo (Sánchez, 2016).

Google Earth © posee características que destacan dentro de los SIG gratuitos, entre ellas un sistema de navegación para manejar el punto de visión, un potente motor de búsqueda y un buscador de rutas (Sánchez, 2016).

Al igual que otros softwares del mismo estilo, éste combina fotos satelitales, mapas y bases de datos complejas, dándole al usuario una libertad de exploración. De igual manera, si el país o lugar que se desee investigar presenta un nivel de desarrollo alto, o bien, la zona es altamente poblada, el detalle y resolución de visualización aumenta (Sánchez, 2016).

En este trabajo, se ha utilizado la versión más actualizada del software, correspondiente a Google Earth Pro©. Este software es gratuito y presenta funciones adicionales de alta gama en su versión

Pro, como por ejemplo la visualización de datos demográficos, catastrales y de tráfico en capas; imprime capturas de pantalla de alta resolución, entre otras.

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se presenta la zona de estudio visualizada desde la interfaz del programa.

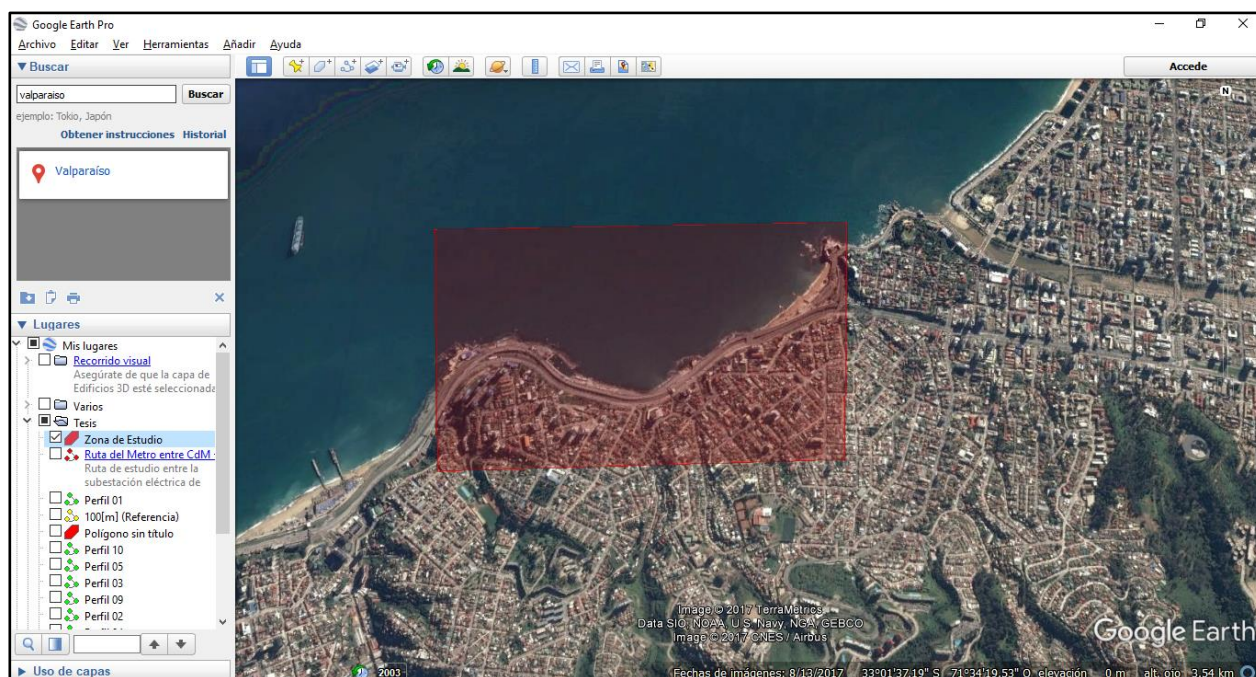


Figura 1 - Zona de estudio visto desde la interfaz de Google Earth Pro. Fuente: *Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.*

4.2 MODELOS BASADOS EN AGENTE (MBA)

Los modelos basados en agentes (MBA) son softwares implementados por medio de una metodología computacional que permite modelar fenómenos complejos, los cuales están compuestos por agentes o estados de valor y variables (por ejemplo, posición, velocidad, edad, etc.). Los agentes por lo general tienen un componente gráfico para que se puedan ver en la pantalla y el cual puede representar cualquier elemento de un sistema (Wilensky & Rand, 2015).

La metodología que utiliza un MBA consta de la codificación del comportamiento del agente individualmente, con reglas simples para que se puedan observar los resultados de sus interacciones. La función clave de un MBA es explicar la importancia de la simulación de un evento complejo, conectando fácilmente órdenes y reglas simples. Un sistema complejo está compuesto por distintas partes interactuando de manera distribuida entregando una serie de herramientas e infraestructura para analizar fenómenos de cualquier índole. No obstante, estos modelos facilitan la experimentación, permitiendo su calibración y logrando así mayores semejanzas con la realidad. Considerando el software NetLogo, un agente es un elemento individual autónomo de una simulación computacional, el cual posee propiedades, estados y comportamientos. Eventualmente podría llegar a tener metas (Wilensky & Rand, 2015).

Wilensky & Rand (2015) consideran que existen 8 usos principales de MBA: descripción, explicación, experimentación, entrega de fuentes analógicas, comunicación y educación, entregando objetos focales y fuertes temas para el diálogo científico, experimentos planeados y predicción.

Wafda et al., 2013 postulan que probablemente utilizar MBA es el método más importante y efectivo para salvar vidas, teniendo en consideración que el comportamiento humano es complejo de simular, así como los modelos de evacuación de tsunamis.

Para efectos de este estudio se ha utilizado NetLogo como el software a ejecutar los MBA.

4.2.1 NETLOGO

Netlogo es un entorno de programación que permite la simulación de fenómenos naturales y sociales. Fue creado por Uri Wilensky en el año 1999 y se encuentra en continuo desarrollo por medio del Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (North Western University, 2016).

Este software es útil para simular sistemas complejos de desarrollo en el tiempo, en donde los modeladores pueden entregarle instrucciones a cientos o miles de agentes, los cuales operan con independencia. Esto permite analizar las conexiones existentes entre el comportamiento de los individuos en una micro escala y el nivel de patrones emergentes de su interacción a un nivel de macro escala (North Western University, 2016).

Presenta una gran documentación y tutoriales, por medio de la “librería de modelos”, una gran colección de simulaciones pre-escritas que pueden ser utilizadas y modificadas. Las áreas que abarcan estas simulaciones son: ciencias sociales y naturales, incluyendo biología, medicina, física y química, matemáticas y computación, economía y psicología social, entre otras (North Western University, 2016).

NetLogo es la siguiente generación de modelos de multi-agente, en donde se utiliza un lenguaje que incluye StarLogo y StarLogoT. Este software funciona con Java, por lo que es ejecutable en la mayoría de los sistemas operativos (Mac, Windows, Linux) (North Western University, 2016). En la Figura 2 se presenta la interfaz de NetLogo.

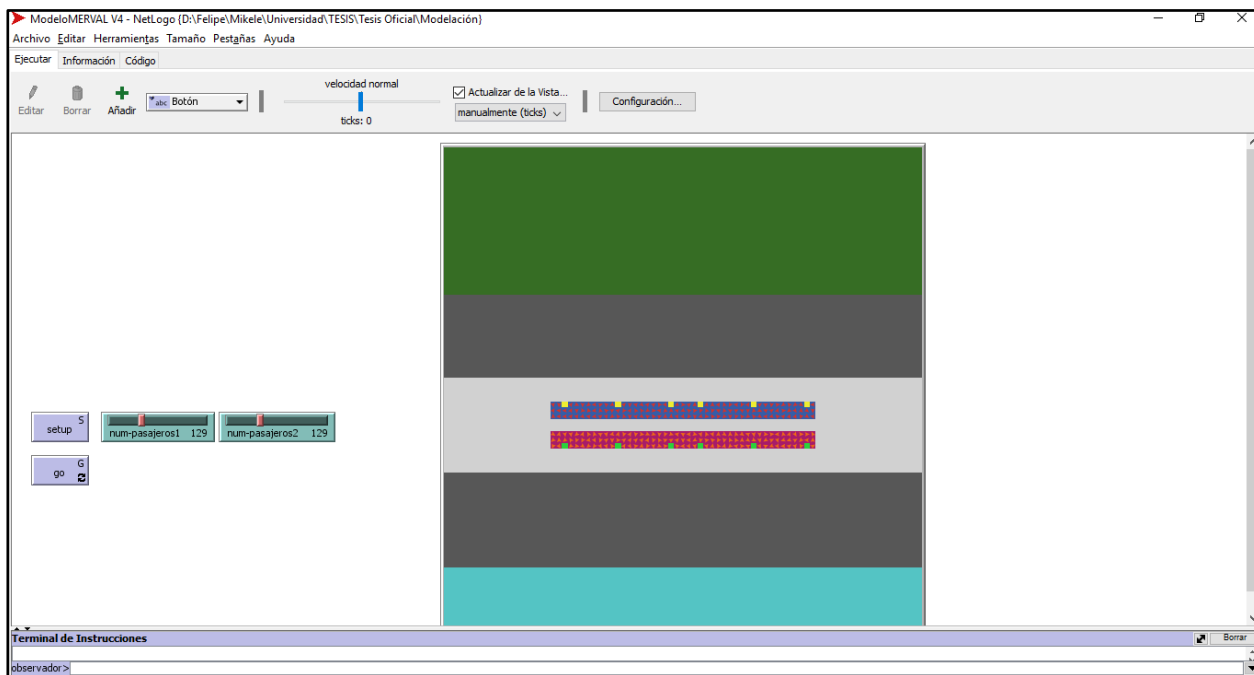


Figura 2 – Imagen de la Interfaz de NetLogo. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se ha considerado relevante explicar tres conceptos básicos que este software tiene:

- Mundo: Pantalla donde interactúan los agentes. Puede ser 2D o 3D.
- Agentes: individuo sintético, autónomo y dotado de reglas o características que gobiernan su comportamiento y capacidades de tomar decisiones. Los agentes interactúan entre sí y con el medio ambiente obedeciendo un conjunto de reglas. Son flexibles y tienen la capacidad de aprender y adaptar su comportamiento basándose en la experiencia. Esta capacidad requiere alguna forma de memoria. Los agentes incluso pueden tener reglas para modificar sus reglas de comportamiento. Se componen de cuatro elementos:
 - Agentes móviles (tortugas): agentes que se mueven por el mundo
 - Agentes inmóviles (patches): corresponde a cada una de las divisiones cuadradas del terreno que determinan las características físicas del entorno.
 - Agentes conectores (links): son los agentes que conectan entre sí los agentes móviles.
 - Agente observador: no tiene localización, y puede interactuar con todos los elementos del mundo. De alguna forma, representa al superagente que pueda controlar todas las demás partes del puzzle.

4.3 RIESGO

En este punto se recopilan y describen algunas definiciones para este concepto. Sin embargo, existen varios rangos de aplicación del análisis de riesgo, ya sean técnicos o teorías científicas. Es debido a lo anterior, que no existe acuerdo por parte de los especialistas con respecto a la definición del riesgo, generando algunas confusiones en su gestión o estudio (Reyes, 2013).

Según Cardona (2001), el concepto de riesgo se define como: *“el potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad. Puede expresarse en forma de matemática como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un cierto sitio y durante un cierto periodo”*.

Pliefke, citado por Reyes (2013), define el riesgo como la probabilidad de consecuencias de cualquier tipo que ocurren entre la naturaleza y los seres humanos inducidos por la amenaza y las condiciones de vulnerabilidad.

Winckler (et al. 2015) define riesgo como *“la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias humanas, económicas, sociales o ambientales en un cierto sitio y durante un cierto período de tiempo. De acuerdo a lo expuesto, el riesgo considera la frecuencia o la probabilidad de ocurrencia de ciertos estados o eventos (amenazas) y la magnitud de las posibles consecuencias sobre los sistemas expuestos a tales estados o eventos peligrosos”*.

Desde la perspectiva de las ciencias naturales, el riesgo es resultado de la modelación probabilística de la amenaza y de la estimación del daño al que se encuentra expuesto un sistema.. Por otra parte, puede medir y obtener resultados en forma de probabilidad teniendo en consideración que el riesgo es una variable objetiva y cuantificable (Cardona, 2001).

Para la perspectiva holística, el riesgo es considerado un concepto complejo y extraño, puesto que representa algo irreal, relacionado al azar y que se asocia a un futuro que posiblemente pueda ocurrir. Desde este punto de vista, no puede existir en el presente, puesto que si hay certeza, no hay riesgo (Cardona, 2001). Esta perspectiva de riesgo contempla tres aspectos por separados: eventualidad, consecuencias y contexto, los cuales son utilizados para estimar o calificar el riesgo. Es el último de los tres, el contexto, el encargado de administrar la capacidad y control del *stakeholder* (usuario), así como también es el que determina razones, objetivos, interacciones y limitaciones a tener en consideración, siendo el más relevante de los tres conceptos (Reyes, 2013).

Para estimar el riesgo es necesario tener en cuenta diversos elementos relevantes para el funcionamiento de una sociedad como lo son: daños físicos esperados, las víctimas, pérdidas económicas equivalentes, factores sociales, factores organizacionales, factores institucionales, siendo los tres últimos factores aquellos involucrados con los diversos desarrollos de las comunidades (Cardona, 2001).

No obstante la falta de información, comunicación y conocimiento de los distintos actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, la debilidad en la preparación

para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de salud económica en un área geográfica distinta contribuyen a un aumento del riesgo (Cardona, 2001).

Reyes (2013) postula que riesgo es el producto entre la probabilidad de ocurrencia de la amenaza y el impacto, correspondiente a la ecuación 1. Para efectos de esta formulación, el impacto, que considera las vulnerabilidades y la exposición, se han definido en la sección 4.5.

$$R = P \times I$$

Ecuación 1 – Cálculo del Riesgo. Fuente: *“A proposal of tsunami risk assessment method for Iquique City, Chile”* (Reyes, 2013)

Donde,

R: Riesgo.

P: Probabilidad de ocurrencia de una amenaza.

I: Impacto o nivel de consecuencias, dependiente de la vulnerabilidad y exposición.

4.4 ESTUDIO DE AMENAZA: TERREMOTOS Y TSUNAMIS

Este capítulo y memoria de tesis asumirá la amenaza según la definición presentada por Winckler (et al. 2015):

“Se refiere a un peligro latente externo de un sistema o sujeto expuesto, que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado”.

4.4.1 DEFINICIONES: SUBDUCCIÓN, TERREMOTO Y TSUNAMI

Chile se encuentra expuesto a diversos tipos de desastres, sin embargo y para este estudio, se ha considerado relevante mencionar tres conceptos relacionados con los tipos de amenaza analizados en este estudio: zonas de subducción, terremotos y tsunamis.

I. Zonas de Subducción:

Según la definición que entrega Carvajal (2015): *“Las zonas de subducción están asociadas a bordes convergentes donde una placa, típicamente oceánica, se introduce o subducta bajo una placa cabalgante, típicamente continental”*, tal como se puede apreciar en la Figura 3.

Independiente de la definición, cada zona de subducción presenta una característica propia: edad, temperatura de las placas, elementos que conforman las placas, lo cual deriva en su densidad, la velocidad de desplazamiento y el ángulo con el que una se sumerge bajo la otra. A menor ángulo, mayor es el contacto entre las placas (Carvajal, 2015).

En el caso de Chile, la longitud de la zona de subducción corresponde a 4.500 kilómetros comprendidos desde Arica, en la zona norte, hasta la Península de Taitao, en la zona sur del país.

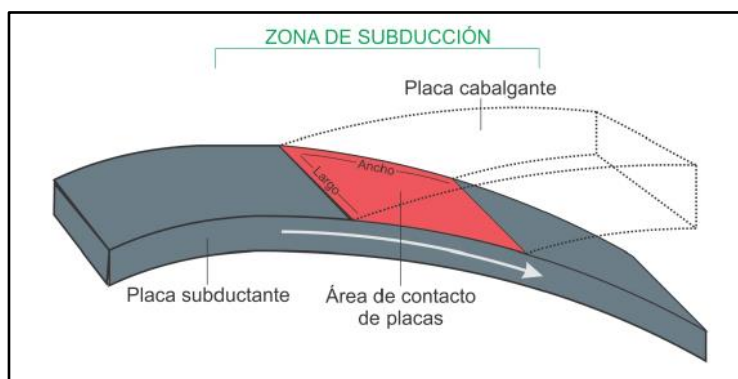


Figura 3 - Zona de subducción. Fuente: Carvajal (2015).

II. Terremotos:

Es la vibración causada por la liberación rápida y violenta de energía acumulada en la zona de contacto entre placas. Para el caso de Chile, la placa Sudamericana (línea punteada de la Figura 3) acumula tensiones que aumentan con el paso del tiempo. La placa al superar el límite de resistencia de los materiales que la conforman rompe bruscamente tendiendo a retomar su forma natural. Esta liberación de energía emite ondas sísmicas que reciben el nombre de terremoto (Carvajal, 2015). Existen 4 tipos de sismos, con respecto a las placas de subducción (ver Figura 4), los cuales se describen a continuación.

a) Sismos Interplaca:

Son generados debido al contacto entre ambas placas y la acumulación de tensiones en el tiempo. Este fenómeno ocurre cuando las placas se destraban, y su magnitud fluctúa dependiendo del área desplazada y la longitud. Son conocidos mundialmente como los que presentan mayor liberación de energía, y por consiguiente presentan mayor magnitud (Flores, 2016).

b) Sismos outer-rise:

Son producidos costa afuera de la fosa oceánica y se presentan debido a la deformación de la placa subductante (Placa de Nazca, para el caso de Chile) previo a la subducción. En general produce sismos de magnitud intermedia, los cuales aproximadamente ocurren a 150 kilómetros de la costa o más.

c) Sismos Intraplaca-oceánica o de profundidad intermedia:

Son producidos dentro de la placa oceánica (placa de Nazca), generalmente se producen a partir de una profundidad de 60 kilómetros hasta la máxima profundidad en que la placa siga siendo frágil y/o ocurren cambios de fase que originen sismos (770 kilómetros aproximadamente). Los 60 kilómetros corresponden a la profundidad que alcanza el contacto interplaca. Este tipo de sismo presenta un potencial de daño mayor al de los sismos interplaca de la misma magnitud (Centro Sismológico Nacional, 2013). Un ejemplo de estos terremotos fue el ocurrido en Chillán, el año 1939 (Mw 8.3) (Flores, 2016).

d) Sismos Intraplaca-continental o corticales

Corresponden aquellos sismos producidos al interior de la placa continental (Placa Sudamericana), específicamente en fallas activas a profundidades menores a los 30 kilómetros. Presentan características superficiales y son generados en torno a la Cordillera de los Andes en el caso de Sudamérica. Estos sismos presentan menor magnitud y menor frecuencia que los sismos interplaca, se caracterizan por causar grandes daños en las ciudades densamente pobladas. Un ejemplo de estos fenómenos fue el terremoto del Cajón del Maipo en 1958 (Flores, 2016).

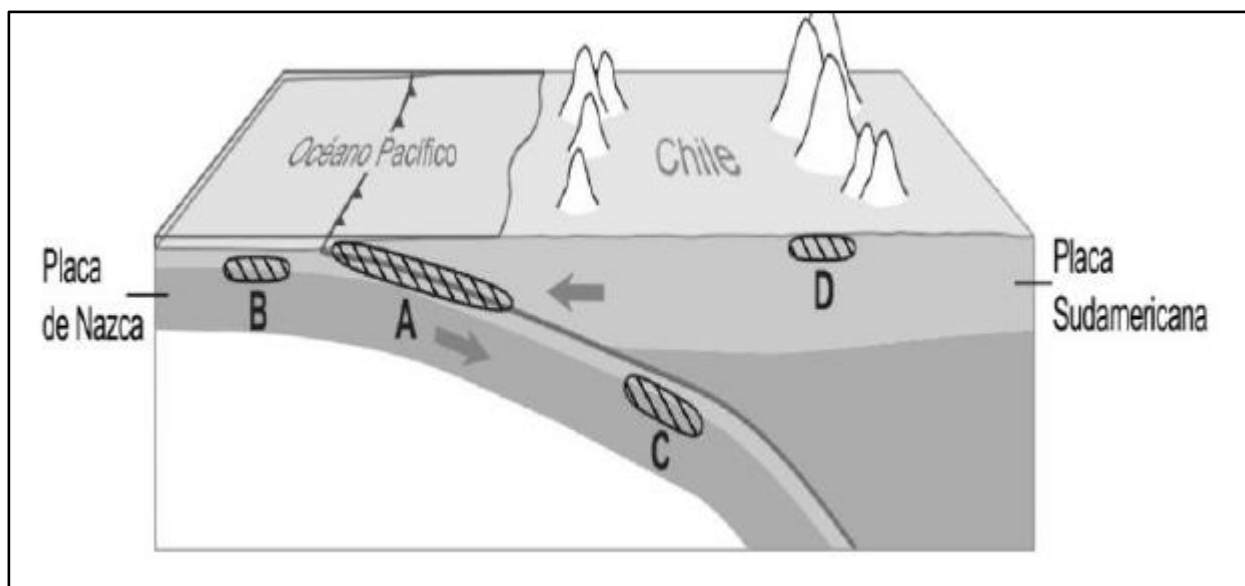


Figura 4 - Tipo de sismo asociado a la Zona de Subducción de Chile. Fuente: Cisternas (2012).

III. Tsunami:

Este fenómeno corresponde, en su gran mayoría de los casos, a una perturbación en la columna de agua producido por un terremoto en una zona de subducción. Aquí la placa cabalgante, al recuperar su forma original, produce una deformación vertical que desplaza la masa de agua generando ondulaciones de largas longitudes, al igual que sus periodos, tal como se puede apreciar en la Figura 5. También pueden generarse por erupciones volcánicas, derrumbes submarinos o por la caída de meteoritos, pero son menos frecuentes que los generados por terremotos (SHOA, 2005).

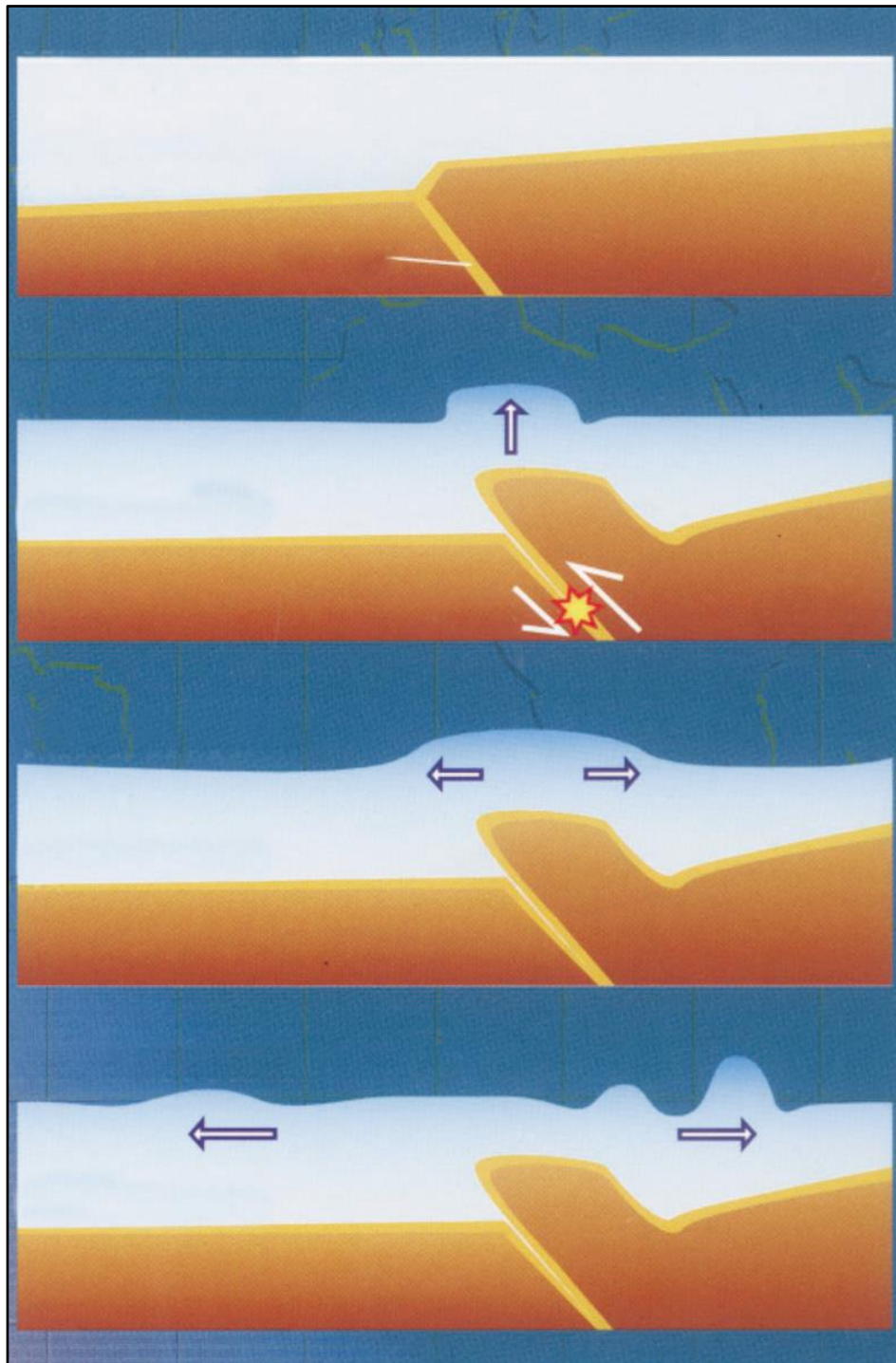


Figura 5 - Representación de un terremoto generador de tsunamis. Fuente: SHOA (2005).

En aguas profundas presentan poca altura, incluso de unas decenas de centímetros, lo que se contrarresta con grandes velocidades, superiores a los 800 kilómetros por hora y gran longitud de onda. En cambio, cuando este fenómeno arriba a la costa y penetra el borde costero, el nivel del agua aumenta varios metros, tal como se presenta en la Figura 6. En casos extremos, el nivel

ha aumentado en 15 metros para un tsunami de campo lejano y 30 metros para tsunamis de campo cercano (SHOA, 2016).

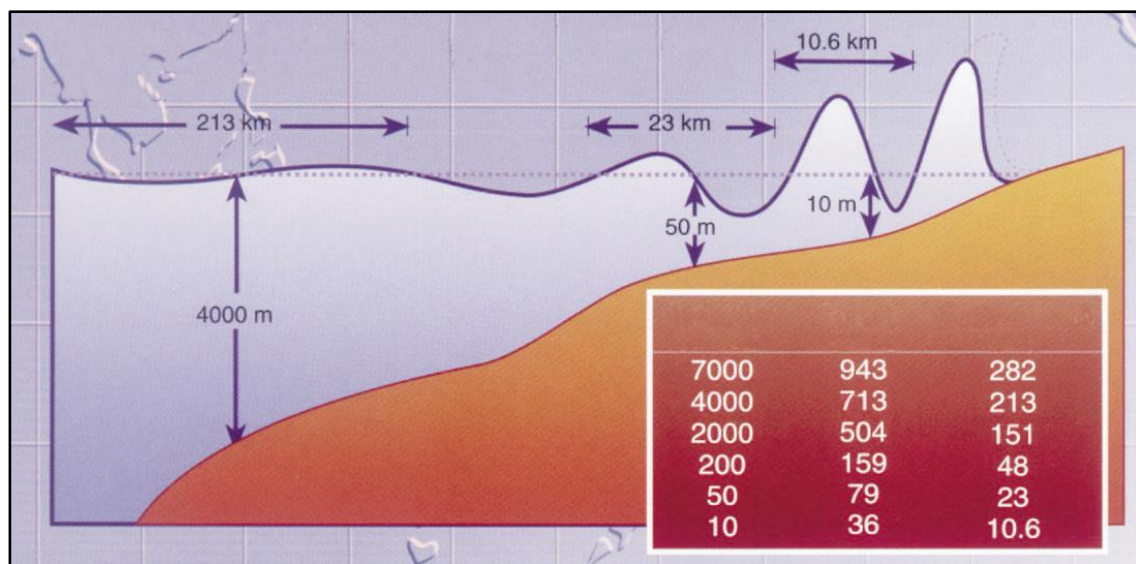


Figura 6 - Comportamiento del tsunami cuando arriba a la costa. Fuente: SHOA (2005).

- **Tsunami de campo cercano:** son aquellos que se generan en zonas cercanas a la línea de costa, las cuales se encuentran determinadas por la zona de dislocación del fondo marino. Demoran entre 3 a 35 minutos en llegar a la costa cercana (SHOA, 2005). A modo de ejemplo, en el terremoto del 16 de septiembre de 2015 en Illapel, la ola alcanzó la costa en un lapso de 2 a 3 minutos.

Este tipo de tsunamis son los que se utilizan como base para el diseño de escenarios que se analizan en este estudio.

- **Tsunami de campo lejano:** son aquellos que se generan a más de 1000 kilómetros de distancia o demoran más de 12 horas en viajar desde la zona de generación a la zona expuesta (SHOA, 2008).

El tsunami al arribar las costas puede manifestarse de diversas maneras, dependiendo directamente de factores como: tamaño, periodo de ola, batimetría costera, topografía litoral y estado de marea, entre otros (Carvajal, 2015).

4.4.2 TERREMOTOS Y TSUNAMIS DE CHILE

Chile se ubica sobre la zona de subducción entre la corteza oceánica (Placa de Nazca) y la corteza Continental (Placa Sudamericana) una de las zonas más activas del mundo, liberando entre un 15% y un 20% de la energía total del planeta (Flores, 2016).

La subducción de la Placa de Nazca se debe a una mayor densidad, en comparación a la Placa Sudamericana. En efecto, subducta con una tasa de 8 a 10 centímetros al año en dirección Noreste, presentando una de las mayores velocidades de subducción de placas (Flores, 2016).

Chile abarca el 10% del comúnmente llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, que es la zona donde se genera el 90% de todos los terremotos que ocurren en el planeta (Carvajal, 2015).

En la Figura 7 se pueden apreciar todos los terremotos históricos de Chile. De la imagen se puede deducir que existe una mayor cantidad de sismos registrados en el siglo XX, debido al avance tecnológico en los instrumentos de medición de estos fenómenos, y el incremento de las zonas pobladas.

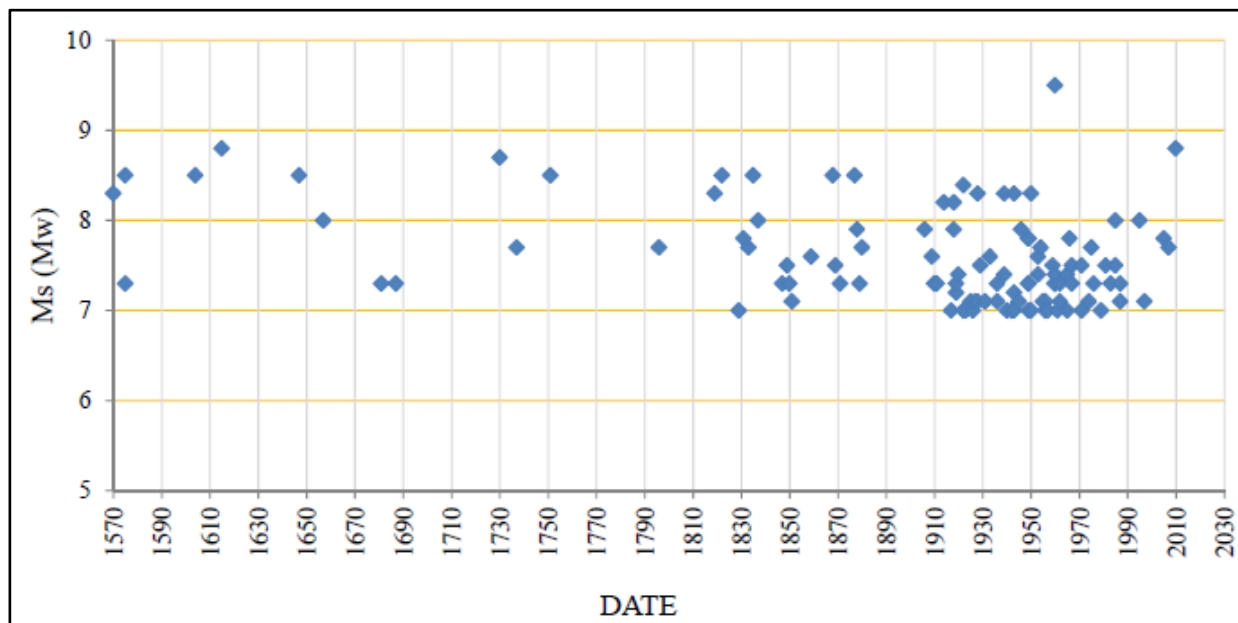


Figura 7 - Terremotos Históricos de Chile. Elaborado con data del Servicio Sismológico de Chile, 2012.

Fuente: Reyes (2013).

Si bien existen *gaps* de información debido a la falta de tecnología y/o conocimiento, en Chile se ha logrado recopilar información que comprueba la ocurrencia de más de 110 terremotos con una magnitud mayor a los 7.0 grados desde el año 1570 hasta el día de hoy (Servicio Sismológico de Chile, 2012). De lo anterior, 79 terremotos, correspondientes al 72% no fueron generadores de tsunamis, debido a distintas características propias. Por otra parte, 11 de los terremotos de Chile, equivalentes a un 10%, fueron generadores de tsunamis destructivos; finalmente un 18% de los terremotos históricos, equivalente a 20 eventos, generaron tsunamis no destructivos, tal como se aprecia en la Figura 8. Cabe mencionar que en Chile el 80% de los tsunamis son producidos por terremotos (Flores, 2016).

Desde 1562, más de 31 tsunamis de campo cercano han azotado las costas chilenas, devastando ciudades importantes como: Arica (1604) y Concepción (1751), las cuales por ejemplo, debido a la recurrencia de estos fenómenos fueron relocalizadas para disminuir la vulnerabilidad de la población (Reyes, 2013).

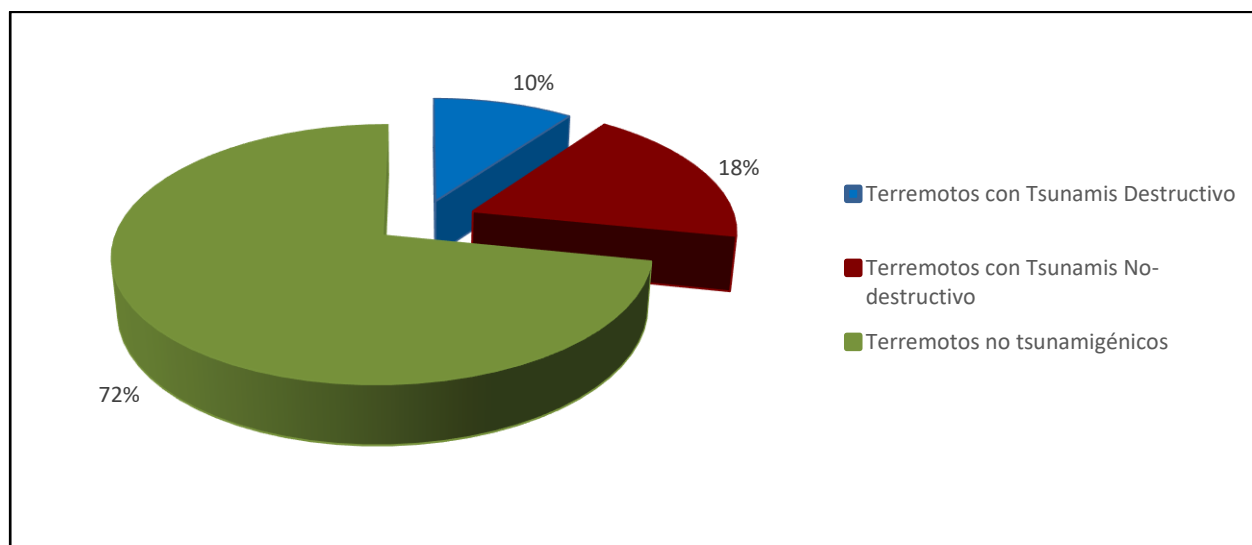


Figura 8 - Generación de Tsunamis Históricos en Chile, elaborado con data del Servicio Sismológico de Chile (2012). Fuente: Reyes (2013).

4.4.3 ZONA CENTRAL: TERREMOTOS Y TSUNAMIS

El registro de la secuencia sísmica de Chile central comienza el año 1575, seguida de los eventos de 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985. Esa línea de tiempo, presentada en la Tabla 1, muestra que los sismos de la zona central tienen una regularidad temporal aparente que se puede resumir en un periodo de recurrencia de 83 ± 9 años (Pardo, et al. 2000). Cabe notar que desde el inicio de la colonización de Chile, la zona central ha concentrado la mayor parte de la población, lo cual ha permitido construir una nutrida base de información histórica de los terremotos en esta parte del país.

Kausel (citado en Carvajal, 2015), propone una zona de ruptura al frente de Valparaíso, donde generalmente se acumula energía a una razón constante en una aspereza ubicada al frente de esta ciudad, la cual es liberada cada aproximadamente 83 años. Es decir, dicha aspereza sería la encargada de controlar todo el proceso de grandes terremotos en la Zona Central.

Tabla 1 - Terremotos de la Zona Central de Chile. Elaborado con data de NGDC (2014) y CSN (2014). Fuente: Flores (2016).

FECHA	MAGNITUD Ms	PROFUNDIDAD [km]	RUNUP [m]	FUENTE TSUNAMI
17-03-1575	7.3	-	-	-
13-05-1647	8.5	-	-	-
08-07-1730	8.7	-	16	Relato histórico, registro geológico
19-11-1822	8.5	-	3.5	Relato histórico
16-08-1906	7.9	25	3.5	Relato histórico, mareógrafo
03-03-1985	7.8	33	0.6	Registro sismográfico, mareógrafo

4.4.3.1 TERREMOTO DEL 17 DE MARZO DE 1575

Según estudios realizados por Cisternas, citado en Carvajal (2015), el terremoto de 1575 (Ms 7 – 7.5) no es considerado terremoto importante de interplaca. Su epicentro fue en La Ligua. A pesar de esto, la información disponible corresponde a documentación de la conquista española, por lo tanto, corresponde a información precaria y no entrega detalles relevantes. Sin embargo, este es considerado como el primer terremoto documentado en la zona central (Flores, 2016).

4.4.3.2 TERREMOTO DEL 13 DE MAYO DE 1647

El terremoto de 1647 (Ms 8) generó un enérgico y extenso movimiento en el valle central, el cual no habría producido un tsunami, clasificándolo como un terremoto interplaca-continental por sus características (Carvajal, 2015). Sin embargo, la destrucción fue total, la ciudad de Santiago quedó en ruinas y cerca de 1000 personas murieron, lo cual fue equivalente al 20% de la población de la ciudad en esa época. La cifra de muertos post terremoto ascendió entre 2000 a 4000 personas debido al brote de plagas (Flores, 2016). El sismo presentó la característica de ser rápido y violento, con una duración de 100 segundos aproximadamente, siendo éste el primer gran terremoto de Santiago y de Chile colonial. Presentó una ruptura de 400 kilómetros. No se reportaron daños ni en Valparaíso, ni en Concepción.

Debido a la ubicación del terremoto y los daños registrados en ciudades lejanas al mar, este terremoto no produjo tsunami (Flores, 2016).

4.4.3.3 TERREMOTO DEL 8 DE JULIO DE 1730

El sábado 8 de julio de 1730, se generó el terremoto y tsunami más grande e importante de la zona central. Su energía liberada fue tan grande que produjo dos terremotos y dos tsunamis

independientes. El primer terremoto ocurrió a las 01:30, y el segundo alrededor de las 04:30, siendo este último aquel que dañó a Santiago y Concepción. No obstante, las ciudades de Copiapó, La Serena, Coquimbo, Quillota, Valparaíso, Santiago, Malloa, Alcántara, Curicó, Santa Rosa, Chillán, Concepción e incluso Mendoza, en Argentina, presentaron daños. El área dañada abarcó una extensión de 1000 kilómetros a lo largo del territorio nacional. (Carvajal, 2015).

El tsunami que vino posterior al segundo terremoto afectó las costas de Callao y Valdivia, siendo todas las ciudades costeras entre Valparaíso y Concepción inundadas. Este mismo tsunami inundó la península de Oshika, en Japón, al noreste de Honshu, destruyendo cultivos y campos de arroz (Carvajal, 2015).

El resultado del estudio realizado por Carvajal (2015) indica que el evento de 1730 ha sido subestimado. En primer lugar, este investigador postula que ocurrieron dos terremotos y dos tsunamis, siendo el segundo de los sismos el más fuerte con una magnitud de Mw 9.0, valor mayor a los Mw 8.5 propuesto por la ONEMI. En segundo lugar y con base en lo anterior, el fenómeno no fue una sola ruptura homogénea, de ahí los dos sismos a diferentes horas. Según la recopilación de datos y registros, la profundidad de inundación fue de 10.7 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) en el sector colonial del Convento San Agustín y de 8.7 m.s.n.m. en el Convento La Merced y en la colonia de La Matriz (Flores, 2016).

4.4.3.4 TERREMOTO DEL 19 DE NOVIEMBRE DE 1822

El terremoto del 19 de noviembre de 1822 sacudió al puerto de Valparaíso a las 22:15. Éste tuvo una magnitud Ms 8 – 8.5, con característica de grado V y su destrucción se estimó en alrededor de 700 edificios. La cantidad de fallecidos fue de 72 personas debido a que el material constructivo de las viviendas era de adobe (Flores, 2016). El terremoto generó cambios en la topografía del terreno con subsidencias de un metro de altura, tal como lo plantea Greve (citado por Flores, 2016).

Existe información que asegura la generación de un tsunami cuyo flujo experimentó tres retiradas y alturas de olas del orden de los 4 metros. El sector más afectado fue el Almendral, sin embargo, Quillota y Quintero también fueron destruidos. En Santiago los daños fueron importantes, pero no tan complejos como en Valparaíso (Flores, 2016).

4.4.3.5 TERREMOTO DEL 16 AGOSTO DE 1906

El terremoto que azotó la ciudad de Valparaíso tuvo una magnitud Mw 8.2. En Santiago la mayoría de edificios quedaron agrietados. El terremoto se sintió desde Tacna hasta Chiloé, latitudinalmente; y desde la Isla de Juan Fernández hasta Buenos Aires, longitudinalmente (Flores, 2016). Desafortunadamente este evento no generó tan solo problemas estructurales, sino también provocó un incendio de gran magnitud que cobró la vida de alrededor de 3800 personas. Esta consecuencia del terremoto fue una de las principales razones de la migración hacia Viña del Mar por parte de la clase más acomodada (Viveros, 2016).

El terremoto produjo un tsunami de campo cercano que no registró daños en el puerto de Valparaíso, con una amplitud de 1.2 metros.

4.4.3.6 TERREMOTO DEL 3 DE MARZO DE 1985

El terremoto afectó la zona central de Chile y tuvo una magnitud de M_s 7.8. Los daños registrados van desde Quintero hasta Matanzas. Una de las ciudades más devastadas del interior de la zona afectada fue Santiago. La secuencia sísmica se inició con una seguidilla de pequeños sismos días antes de la ocurrencia del evento principal, tal como se presenta en la Figura 9. En total ocurrieron más de 360 sismos, comenzado el 21 de febrero y que se extendieron por 11 días (Flores, 2016).

Los mareógrafos ubicados en San Antonio y Valparaíso registraron una variación en el nivel del mar de aproximadamente ± 0.5 centímetros (Flores, 2016).

Korrat & Madariaga, citados por Flores (2016) propusieron que este terremoto corresponde a la culminación de una zona de ruptura que comenzó en 1971 con un sismo de magnitud M_s 7.5.

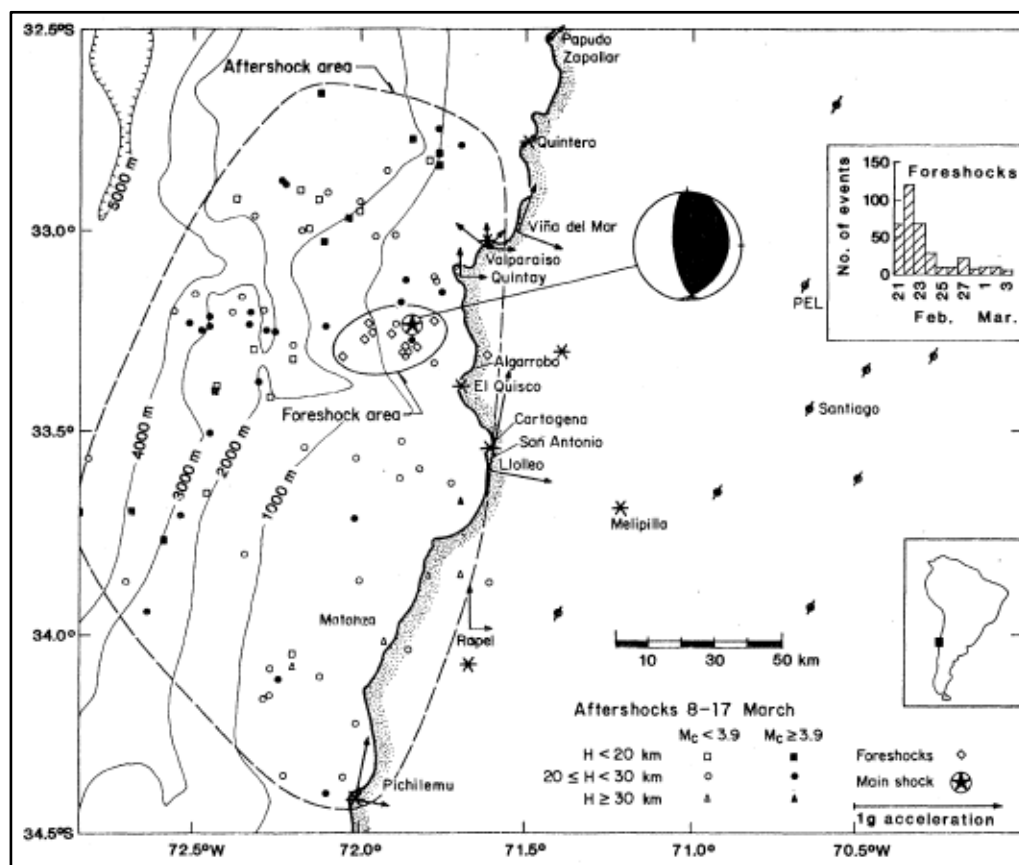


Figura 9 - Sismos previos, Terremoto y sismos posteriores al terremoto de 1985. Fuente: Comte (et al. 1986).

4.5 ESTUDIO DE IMPACTO

4.5.1 ESTIMACIÓN DE IMPACTOS

El concepto de impacto asocia cualquier efecto generado en una población o localidad en el corto, mediano y largo plazo. Estos varían según las características de los elementos expuestos, así como de la naturaleza de la amenaza. Cardona, citado por Sánchez (2016), postula que el impacto puede ser categorizado en dos tipos de pérdidas: directa e indirectas, las cuales se definen a continuación.

- I. Pérdidas directas: *“Las pérdidas directas están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura de servicios públicos, en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat”.*
- II. Pérdidas indirectas: *“Generalmente pueden subdividirse en efectos sociales tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción”.*

El impacto de cualquier desastre se enfrenta, tanto en términos de sufrimientos humanos inmediatos, como en pérdidas económicas y sociales. Cardona (2001) menciona que la pobreza juega un rol importante realzando las vulnerabilidades que una comunidad costera puede presentar. Se debe tener en consideración que este factor es reconocido mundialmente por ser una de las causas principales de vulnerabilidad frente a cualquier tipo de amenaza. En resumen, los países desarrollados tienen bajos porcentajes de pobreza, sus vulnerabilidades sociales son causa directa de las vulnerabilidades físicas. Al contrario, países en vías de desarrollo, o del tercer mundo, como es el caso de Sudamérica en donde la pobreza es un factor preponderante, el cual de una u otra manera debe enfrentarse.

En el mediano y largo plazo, el sector más afectado en cuanto al impacto es la economía, el cual incluye: la industria, agricultura, salud y educación (EIRD/ONU, citado por Sánchez 2016). Existen también otros elementos que se ven afectados en el largo plazo como lo son: pérdida de medios de vida, destrucción de mercados locales y problemas psicosociales presentes en la población sobreviviente. Aquí el impacto de las vulnerabilidades expuestas ante una amenaza tienen diversas dimensiones, de ahí que estos elementos de análisis se consideren multifactoriales (Winckler et al. 2015).

Por otra parte, Reyes (2013) postula un esquema piramidal de evaluación de impactos, organizados en cinco niveles. El estudio de este autor consiste en la revisión del procedimiento *Project Cycle Management* (PCM) con el objetivo de discutir la comprensión sistémica del Riesgo de Desastres por Tsunami (TDR) en una ciudad costera. A continuación, en la Figura 10 se presenta el diagrama para el cálculo de impactos.

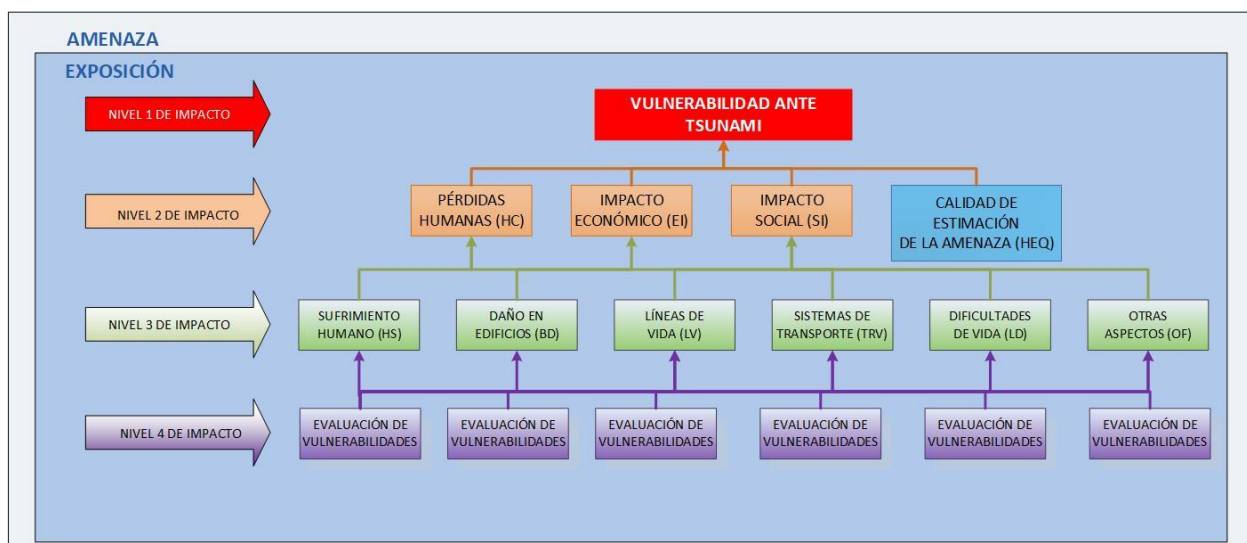


Figura 10 - Diagrama para el cálculo de impactos. Fuente: Reyes (2013).

En la Figura 10, la transferencia del impacto hacia los niveles superiores se resuelve por medio de sumas ponderadas, promedios o valores máximos, entre otros. Lo anterior, se encuentra definido por la estrategia de control del riesgo requerida según los intereses de la organización. Por ende, la estimación de impactos puede ser obtenida por medio de escalas discretas cualitativas o cuantitativas, logrando inferir el factor de impacto para cada componente del sistema, aparte de incorporar matrices de riesgo (Winckler et al. 2015), tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 - Escalas cualitativas de estimación de impactos. Fuente: Reyes (2013) y Winckler (et al. 2015).

ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (CONFIABILIDAD)		ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (SUSCEPTIBILIDAD)	
NO CONFIABLE	5	NO SUSCEPTIBLE	1
BAJA CONFIABILIDAD	4	BAJA SUSCEPTIBILIDAD	2
CONFIABLE	3	SUSCEPTIBLE	3
ALTA CONFIABILIDAD	2	ALTA SUSCEPTIBILIDAD	4
MUY ALTA CONFIABILIDAD	1	MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD	5

ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL)		ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (VULNERABILIDAD GENERAL)	
NO CONFIABLE / SIN CÓDIGO DE DISEÑO / CONSTRUCCIÓN NO CONTROLADA	5	MUY BAJA VULNERABILIDAD	1
BAJA CONFIABILIDAD	4	BAJA VULNERABILIDAD	2
CONFIABLE	3	VULNERABLE	3
ALTA CONFIABILIDAD	2	ALTA VULNERABILIDAD	4
MUY ALTA CONFIABILIDAD/ CÓDIGO DE DISEÑO PLENAMENTE APLICADO/ ALTO CONTROL	1	MUY ALTA VULNERABILIDAD	5

La gestión de riesgos, y en definitiva, la cuantificación de los impactos, es sumamente importante en mercados como minería, puertos o sectores industriales, entre otros.

4.5.2 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, según Winckler (et al. 2015) es definida como la posibilidad de exposición a la que un sujeto o sistema se ve afectado debido a la amenaza.

Cardona (2001) define la vulnerabilidad como: “*factor de riesgo interno que matemáticamente está expresado como la factibilidad de que un sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza*”. Este mismo autor también menciona que es una predisposición o susceptibilidad física, económica, política y social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste.

Por otra parte, PNUD (2012a) define vulnerabilidad como las características y circunstancias de un sistema, comunidad o bien que se torna susceptible a los daños de una amenaza.

Si se pretende estimar el riesgo, indudablemente se debe hacer un estudio y evaluación de la amenaza. No obstante, para lograr ese propósito es imprescindible el estudio y análisis de la vulnerabilidad (Cardona, 2001), tal como Reyes (2013) postula en su metodología citada al final de la sección 4.3

Adicionalmente, Cardona (2001) menciona que la vulnerabilidad es la suma de las vulnerabilidades físicas y sociales. Los factores sociales son condiciones que se generan, acumulan y permanecen en forma continua en el tiempo y se encuentran ligadas a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades. No solo se asocian con el daño físico potencial o determinantes sociales, sino más bien se vinculan con las pérdidas generadas por un evento que supera la capacidad de la población de soportarlas, o cuando los efectos impiden que exista una fácil recuperación. No es factible definir o medir la vulnerabilidad sin hacer la relación con la capacidad de absorber, responder y adecuarse al impacto del suceso. León & March (2016) mencionan que para minimizar el impacto general de un tsunami de campo cercano se requiere obtener una respuesta rápida ante la vulnerabilidad de la población

Cada país presenta sus propias vulnerabilidades asociadas a sus distintas características, puesto que dependen de las condiciones políticas, sociales y económicas de la población. El incremento y acumulación de la vulnerabilidad son alarmantes. Llama más la atención la falta de consciencia y responsabilidad acerca del tema por parte de los diversos tomadores de decisiones (*stakeholders*), autoridades políticas y de la misma comunidad (Cardona, 2001).

La vulnerabilidad, considerada como un factor interno del riesgo, debe relacionarse, no solamente con la exposición del contexto material o con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados, sino debe considerar las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de las comunidades (Cardona, 2001).

Cardona, citado por Sánchez (2016), propone 3 factores que dan origen a las vulnerabilidades, dada una relación entre las carencias de desarrollo (económico, demográfico y político) y la vulnerabilidad. Estas se comentan a continuación:

- I. Fragilidad física o exposición: Es la susceptibilidad a la que el asentamiento se enfrenta al ser afectado por estar en el área de impacto, con respecto a fenómenos peligrosos y por la falta de resistencia física por parte de los mismos.

- II. Fragilidad social: Predisposición que se genera por el contexto socioeconómico de cada afectado de la población. Relativo al nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano.
- III. Falta de Resiliencia: Se debe a la falla en los accesos, en la movilización los recursos en y del asentamiento, incapaz de dar una respuesta ideal y sus falencias para poder absorber el impacto.

4.5.3 VULNERABILIDADES PRESENTES EN LA EVACUACIÓN DE TSUNAMI

En este escenario, la población vulnerable presenta un intervalo de tiempo limitado para tomar una decisión de evacuación y búsqueda de refugio, medidas que influyen directamente en el impacto general de la catástrofe (León & March, 2016), asumiendo el tiempo de arribo de un tsunami de campo cercano explicado en la sección 4.4.1.

En el contexto de crisis, la ciudad o el lugar afectado por la amenaza puede promover la resiliencia generando apoyo para una rápida y objetiva respuesta (León & March, 2016). Para una locación costera, los investigadores mencionados enfatizan en 4 condiciones de antecedentes de vulnerabilidad de tsunami en general:

I. Larga ocurrencia de tsunamis

Estos fenómenos debido a su generación, tienen un periodo de ocurrencia alto. Si se tiene en consideración que no ha habido un terremoto con características tsunamigénicas en la zona central desde el año 1730 hasta la actualidad, se comprueba que esta vulnerabilidad es un factor no menor a analizar.

Al mismo tiempo, la larga ocurrencia puede afectar en dos aspectos: el esfuerzo de la reducción del riesgo en el largo plazo y la preocupación diaria de un eventual tsunami, por parte de la población y autoridades, generando que los patrones de expansión urbana aumenten la vulnerabilidad.

II. Asentamiento e Inercia

Desde el origen de la humanidad, el hombre ha tenido un atractivo de asentarse en la costa debido a diversos factores (disponibilidad de agua y alimento, vivienda, servicios portuarios y marítimos, turismo, etc). Existen 2 antecedentes que se deben tener en consideración: (a) la larga ocurrencia entre tsunami y tsunami; (b) la dificultad en trasladar un eventual asentamiento costero a una zona con menor riesgo, debido a que por lo general los procesos de urbanización tienden a ser definitivos y generalmente irreversibles.

III. Características morfológicas de los asentamientos

Para este aspecto se debe considerar dos criterios: macroescala y microescala. El primero, entrega ciertos patrones de disposición de la grilla de calles acondicionadas para evacuar. Pero, si se considera lo mismo desde una microescala la vulnerabilidad aumenta, debido a la presencia

de diversos elementos que se encuentran en ellas: mercados ambulantes, estacionamientos, calles angostas, edificios en mal estado, accesos, etc.

Este aspecto es importante considerando que en la zona a analizar no cuenta con arterias que sirvan de evacuación frente a una amenaza como lo es un tsunami .

IV. Respuesta actual de la Población y Sistemas de Emergencia ante un Tsunami de Campo Cercano

Este antecedente tiene la particularidad de enfrentar el proceso de evacuación en sí. En primer lugar, el posible colapso general de los elementos interrelacionados de los asentamientos humanos debido a los terremotos previos y durante el tsunami. En segundo lugar, la falta de información y guías para evacuación debido a fallas sucesivas, o por falta de personal para manejar a la gran cantidad de personas que evacúan. En tercer lugar, los comportamientos erráticos de la población que ocurren en una evacuación, como lo son: tomar rutas erróneas, decisión de evacuación tardía, uso de automóviles, entre otras. Éste tercer punto se considera consecuencia del segundo, puesto que si no hay educación y formación de la población frente a una amenaza como un tsunami, es muy factible que exista un alto porcentaje de acciones erráticas al momento de evacuar.

Reyes (2013) postula un árbol de vulnerabilidades, el cual consta de 5 niveles. Cada uno de ellos resulta consecuencia del nivel anterior, en una lógica de causa-efecto. En el primer nivel conceptual se tienen en cuenta los factores económicos (EI), humanos (HC) y sociales (SI).

Las vulnerabilidades a considerar en este estudio se relacionan con el tercer nivel de impacto, en específico con el Sufrimiento Humano (HS), tal como se puede apreciar en la Figura 11. Esta subcomponente a su vez se divide en cuatro subcomponentes, que son: Pérdidas Humanas debido al colapso de edificios (HS01), Pérdidas Humanas debido a la falta de asistencia (HS02), Pérdidas Humanas debido a personas atrapadas bajo escombros (HS03) y Pérdidas Humanas debido a personas arrastradas por tsunami (HS04).

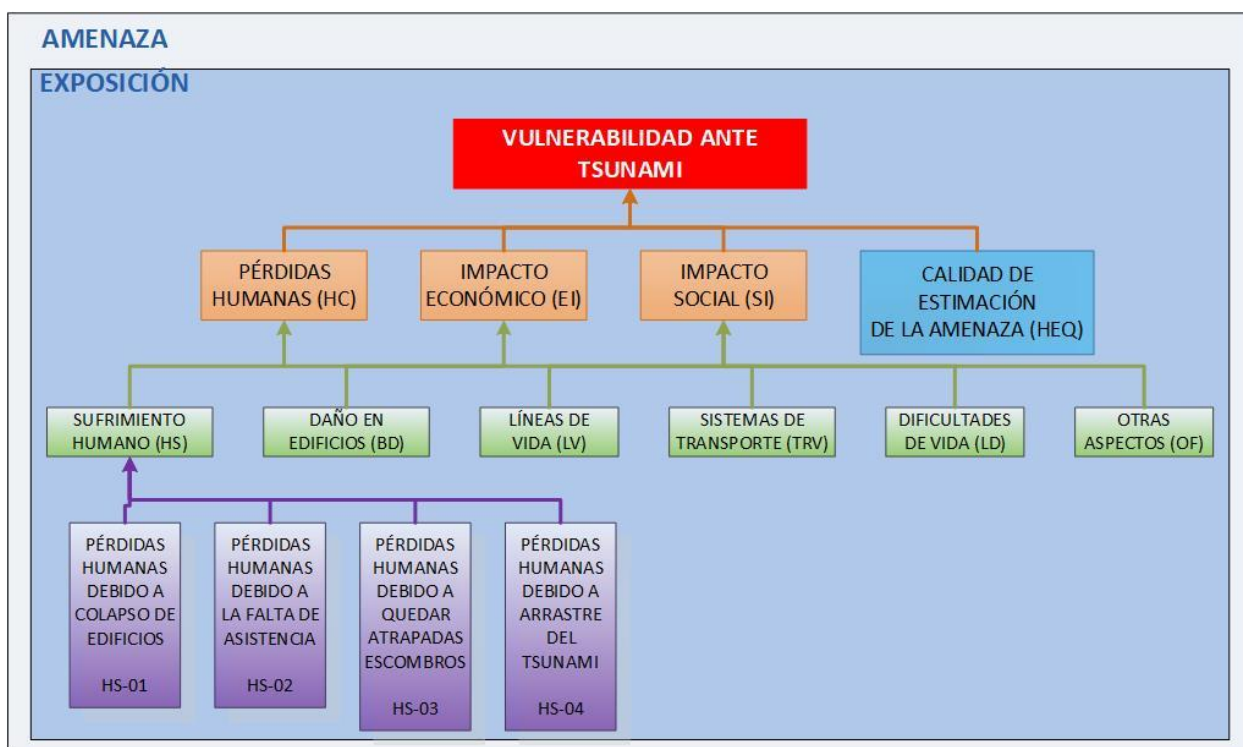


Figura 11 - Niveles de impacto de desastre por tsunami. Fuente: Reyes (2013).

De lo anterior, en esta memoria se ha considerado analizar las personas arrastradas por tsunami (HS04). Pese a que esta rama se descompone en varios elementos, sólo serán considerados dos de estos, los cuales se presentan en la Figura 12, correspondientes a: confiabilidad de la infraestructura de evacuación, planes y simulacros (HS04-04) y Confiabilidad de la estimación de personas arrastradas por tsunami (HS04-05).

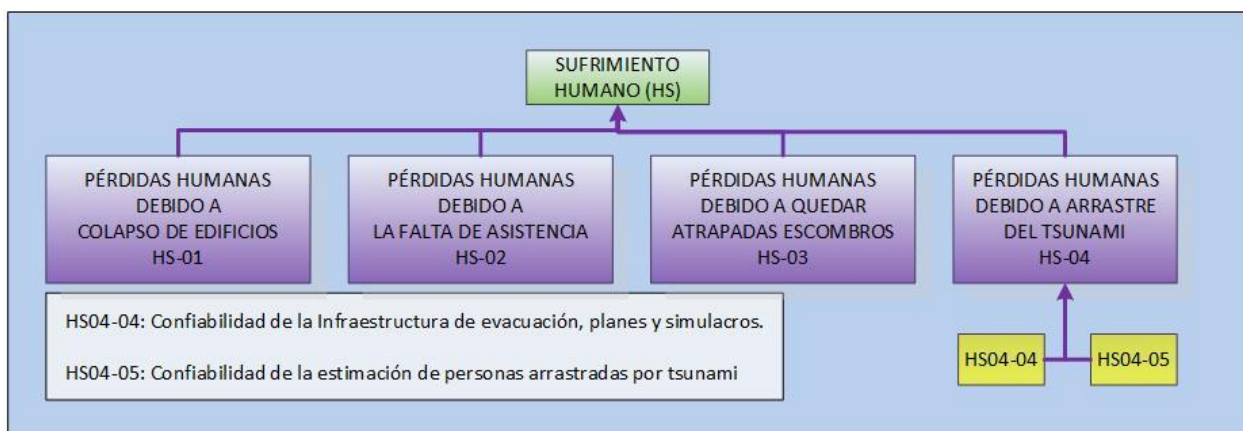


Figura 12 - Subcomponentes de Vulnerabilidad asociadas al Sufrimiento Humano (HS). Fuente: Reyes (2013).

Se plantea que este estudio podría contener algún componente ligado a las Vulnerabilidades de Transporte del Sistema Ferroviario (TRV), el cual se puede ver en el tercer nivel de impacto de la Figura 11. Si bien, esta rama pareciese ser relevante, no se considerará en este estudio puesto que lo que se desea estudiar es la evacuación de los pasajeros.

4.5.4 VULNERABILIDADES DE UNA PASARELA UTILIZADA PARA EVACUAR

Para esta memoria, el análisis de las vulnerabilidades de una pasarela es crucial debido a que esta estructura se presenta como la solución fundamental para disminuir los tiempos de evacuación en el tramo de estudio. Es por esto que se ha considerado relevante analizar el efecto de estampida que podría ocurrir en un espacio reducido como el que se menciona. Para esto se ha tomado como referencia el lamentable accidente ocurrido en Akashi City, cerca de Osaka en el oeste de Japón, donde 10 personas (8 niños y 2 adultos) perdieron la vida y más de un centenar de personas resultaron heridas (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

4.5.4.1 AKASHI CITY SUMMER FESTIVAL ACCIDENT

El evento realizado el año 2002, en la ciudad de Akashi, tuvo un accidente de grave en donde murieron 12 personas entre niños y mujeres, producto del pánico generado dentro de una pasarela. Esto originó una estampida y posterior avalancha de personas, que terminó como víctimas fatales. Debido a esto se realizó un informe por parte de las autoridades.

En el informe del accidente se mencionan varios puntos que debiesen ser considerados en el diseño de pasarelas. Sin embargo, existen varios factores que se deben tener en consideración tanto desde la psicología de las personas, como del plan de evacuación. Se sabe que el primer factor es el más complejo de analizar y controlar, puesto que se ve afectado fácilmente; de algo menor puede ocurrir un accidente que presente características especiales, como el riesgo de lesiones. En segundo lugar, desde el punto de vista del plan de evacuación en pasarelas, resultan de suma complejidad para la evacuación los fenómenos conocidos como cuellos de botella, los cuales ocurren cuando las personas están por más tiempo del que deberían, generando una disminución del tránsito y provocando la caída por sobrecarga. Adicionalmente, si es de noche, la falta de visibilidad dificulta aún más la evacuación (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

Es en este segundo factor, donde las autoridades de Akashi City hacen énfasis. Específicamente analizan los tipos de caídas de personas que se pueden presentar, reconociendo dos tipos: las caídas de grupo o avalanchas de multitudes (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

- I. Caídas de grupo o "Shogakushi": Estos tipos de caídas ocurren cuando se caen las personas desde atrás hacia adelante y la aglomeración de personas tiene una baja densidad, aproximadamente 5 personas por metro cuadrado.
- II. Avalanchas de multitudes: Ocurren cuando la densidad es mayor a 10 o más personas por metro cuadrado y su dirección de colapso va en varios sentidos.

Este tipo de caída comúnmente es generado por tres pasos:

- a. Se empuja desde el entorno hasta que el cuerpo de una persona se eleva con presión constante, ejercida desde todos los lados, la cual no disminuye.

- b. Al colapsar una persona, se genera un vacío el cual libera energía, haciendo que se pierda el equilibrio en la dirección donde se creó la brecha.
- c. Si es que la presión ejercida continúa, el efecto en cadena aumenta teniendo como resultado una caída de mayor magnitud escalera abajo, o bien en la pasarela en sí.

Se debe tener en consideración que para las caídas las personas más vulnerables son ancianos, personas con discapacidad y niños, debido a la falta de resistencia a las fuerzas ejercidas por la masa de personas dentro de las pasarelas (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

También al analizar el plan de evacuación, se debe tener siempre presente los distintos factores de hacinamiento, los cuales se producen debido a 2 factores (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002):

- I. El ancho de la escalera por lo general suele ser más angosto que la pasarela en sí.
- II. Debido al cuello de botella generado por las personas detenidas en el puente peatonal y escalera, así como el comportamiento de las personas manifestado en los movimientos erráticos.

4.5.5 EXPOSICIÓN

Cuando se habla de exposición se hace referencia a la población, las construcciones y obras civiles, los servicios públicos, las actividades económicas, la infraestructura expuestas a una amenaza (Sánchez, 2016).

La exposición se asocia a la posición geográfica del sistema, permitiendo identificar los distintos elementos que pueden ser afectados por la amenaza. Este tipo de exposición se conoce como exposición física.

Al analizar la exposición se puede inferir rápidamente cual será la zona o componentes afectados, y así poder analizar la vulnerabilidad con respecto a la amenaza descartando los lugares que no se encuentren expuestos (Sánchez, 2016). Sin embargo, hay que tener en cuenta que es prácticamente inevitable que los sistemas humanos queden expuestos, por lo que es aún más importante analizar las vulnerabilidades a fin de disminuirlas, y por ende, disminuir el riesgo.

4.6 GESTIÓN DEL RIESGO

La administración del riesgo se define como la actividad relacionada con la cultura, los procesos y estructuras de aplicación sistemática de las políticas de administración. Esta última corresponde a las prácticas de las tareas de comunicación que establecen el contexto, identificando, analizando, evaluando, monitoreando y revisando el daño (Joint Technical Committee OB-007,2004 citado por Reyes, 2013).

La gestión de riesgos de desastres nace a consecuencia de la necesidad del ser humano y de los asentamientos urbanos, de prepararse para enfrentar de mejor manera las amenazas a las

que se encuentran. Esto se debe al carácter cíclico de estos desastres y la exposición de la ciudad que obliga a incorporar la gestión de riesgo en las grandes discusiones a nivel país, siendo fundamental disminuir el riesgo en las comunidades para generar una mayor resiliencia en la población (Flores, 2016).

Para minimizar el impacto de desastres naturales, como un tsunami de campo cercano, se requiere de una respuesta rápida ante la vulnerabilidad de la población, incluyendo decisiones apropiadas acerca de las actividades críticas como lo son evacuación y la búsqueda de refugio. Es por ello, que se debe tener en cuenta que para reducir el riesgo por tsunami se debe examinar la conformación del medio ambiente y la acción de la emergencia o simulacro ante una amenaza (León & March, 2016).

Son en casos como el de este proyecto de título, aquellos en donde la población vulnerable tiene poco tiempo (generalmente minutos) para tomar la decisión apropiada de acciones esenciales como evacuar y refugiarse. Estas medidas tienen una directa influencia en el impacto general de la catástrofe. En este contexto, la ciudad o lugar afectado puede promover la resiliencia entregando apoyo para una rápida y objetiva respuesta de la población. (León & March, 2016).

Entiéndase por resiliencia al concepto de las ciencias y matemáticas que se emplea para descubrir la cantidad de material o sistema que vuelve al equilibrio después del desastre. También se entiende por resiliencia a la habilidad de salir delante de los desastres, por medio de la sobrevivencia, minimizando los impactos, y recuperando con la mínima interrupción de la sociedad (León & March, 2014).

Por lo tanto, las comunidades resilientes al desastre tienen ciertas características comunes, las cuales León & March (2014) definen como:

- I. Capacidad de absorber el stress a través de la resistencia y adaptación.
- II. Capacidad de mantener las funciones básicas y las estructuras durante el desastre.
- III. La capacidad de recuperarse después del evento.

Son estos mismos autores quienes postulan que para incrementar la resiliencia normalmente se debe considerar el mediano y largo plazo, en cuanto a los momentos previos, como los posteriores. Para esto se debe tener como referencia la mitigación, preparación y recuperación de las fases de gestión de desastres.

La ciudad, en el largo plazo, debe considerar la planificación y diseño urbano para mejorar la mitigación de desastres (León & March, 2016). Sin embargo, se debe asumir que las ciudades llevan décadas planificadas de una cierta manera, lo cual se torna sumamente complejo al momento de alterar las configuraciones espaciales ya establecidas. A medida que las empresas inmobiliarias van modificando la cara de las ciudades, se pueden ir haciendo correcciones a fin de mejorar la planificación urbana existente en pos de conseguir una disminución del riesgo. Para esto hay que considerar tres componentes fundamentales: económico, medio ambiental y urbano-sociocultural (Viveros, 2016).

Las formas urbanas, al igual que la reducción del riesgo en el largo plazo, pueden tener mejoras en varios aspectos en un desastre: la respuesta y recuperación. Estos dos también son elementos necesarios para lograr resiliencia. El primero hace referencia con el accionar, no tan sólo de la población con respecto a la toma de decisión de evacuar, sino también de los entes

gubernamentales encargados de dar la alerta temprana. Algunos autores sugieren que la morfología puede aumentar la capacidad de la comunidad para responder rápida y efectivamente para disturbios como terremotos. Por otra parte, la recuperación se asocia al retorno de la normalidad de las funciones de una ciudad posterior al desastre natural, teniendo en cuenta, por ejemplo, el retorno de los servicios básicos (luz, agua y gas), que se vuelven tan necesarios para la subsistencia de la población. (León & March, 2016)

Un ejemplo simple para reducir el riesgo son el uso y creación de calles, parques, plazas, entre otros, los cuales ayudan a la respuesta y recuperación de la población, puesto que sirven para dar refugio, cuidados de salud, distribución de alimentos, entre alguna de las posibles acciones que se pueden realizar posterior a una crisis (León & March, 2016). Estos puntos de encuentro y de ayuda humanitaria son un gran aporte para la seguridad de la población, inclusive las acciones de evacuación y búsqueda de refugio.

De lo anterior, se pueden considerar ciertos elementos como las estrategias de construcción del ambiente, las cuales proponen cuatro elementos urbanos esenciales en una evacuación por tsunami: (1) calles, ordenadas en la red vial; (2) planos, organizados en manzanas; (3) usos de suelo; y (4) construcción de estructuras. Estos elementos corresponden a dos características importantes del sistema de evacuación: rutas y zonas seguras de encuentro, tanto para evacuación horizontal, como vertical, tal como se presenta en la siguiente sección (León & March, 2016).

Para poder reducir el riesgo de tsunami en las comunidades costeras se presentan tres estrategias para sobrellevar los riesgos asociados a este desastre natural: (1) Defensas costeras extensas (rompeolas, compuertas, molos, bosques de control, etc); (2) Uso de tierra y medidas para construcción del ambiente (zonificación, códigos de construcción y recomendaciones de diseño); (3) Sistemas de preparación para emergencias (educación, sistemas de alarmas y simulacros de evacuación). Es esta última estrategia la que se considera más importante y efectiva para salvar vidas humanas (León & March, 2016).

4.7 EVACUACIÓN POR TSUNAMI

El Sistema de Evacuación por Tsunami es un conjunto de elementos que permiten la evacuación de la población, ya sea horizontal o vertical, frente a una alarma o alerta de tsunami. Este elemento contiene las vías de evacuación, las zonas seguras y los puntos de encuentro, entre otras (ONEMI, 2016).

Existen dos tipos de evacuación, como lo son la evacuación horizontal y vertical. A continuación se detallarán ambos tipos.

4.7.1 SISTEMAS DE ALERTA

El Sistema de Alerta de tsunamis en Chile se encuentra controlado por la Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (ONEMI), junto con el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada del mismo país (SHOA) (Flores, 2016).

En el año 1966 el SHOA se designa para operar el Sistema Nacional de Maremotos (SNAM) y para ser el encargado de representar al país ante el Sistema Internacional de Alerta de Tsunami del Pacífico (Pacific Tsunami Warning Center, PTWC), ubicado en Hawaii. SNAM y PTWC se encuentran en constante contacto debido al intercambio de información tecnológica basada en el monitoreo de posibles generaciones de tsunami (SHOA, 2014).

La ONEMI, creada en marzo de 1974, es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de coordinar el Sistema de Protección Civil (ONEMI, 2014). Desde el año 2013, se ha enfocado en educar a la población basado en la prevención ante cualquier desastre natural, haciendo énfasis en que esto es un factor clave para salvar vidas.

Desde el año 1997 el SHOA ha elaborado cartas de inundación para principales puertos y regiones costeras del país. Éstas definen niveles máximos de inundación de cada lugar a describir (SHOA, 2014). Sobarzo, citado por Flores (2016), menciona la generación de una segunda edición enfocada en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, las cuales se encuentran basadas en dos elementos: (a) modelos numéricos, como lo es el caso del modelo *Cornell Miltigrad Coupled Tsunami (COMCOT) 1.7*, desarrollado por la Universidad de Cornell ; (b) uso de Sistemas de Información Geográfica. El modelo numérico mencionado utiliza datos topográficos, batimétricos y parámetros de la fuente sísmica (SHOA, 2012).

En la Figura 13, Figura 14 y Figura 15 se presentan las cartas de inundación de Valparaíso, Viña del Mar, y de la zona de Recreo, respectivamente.

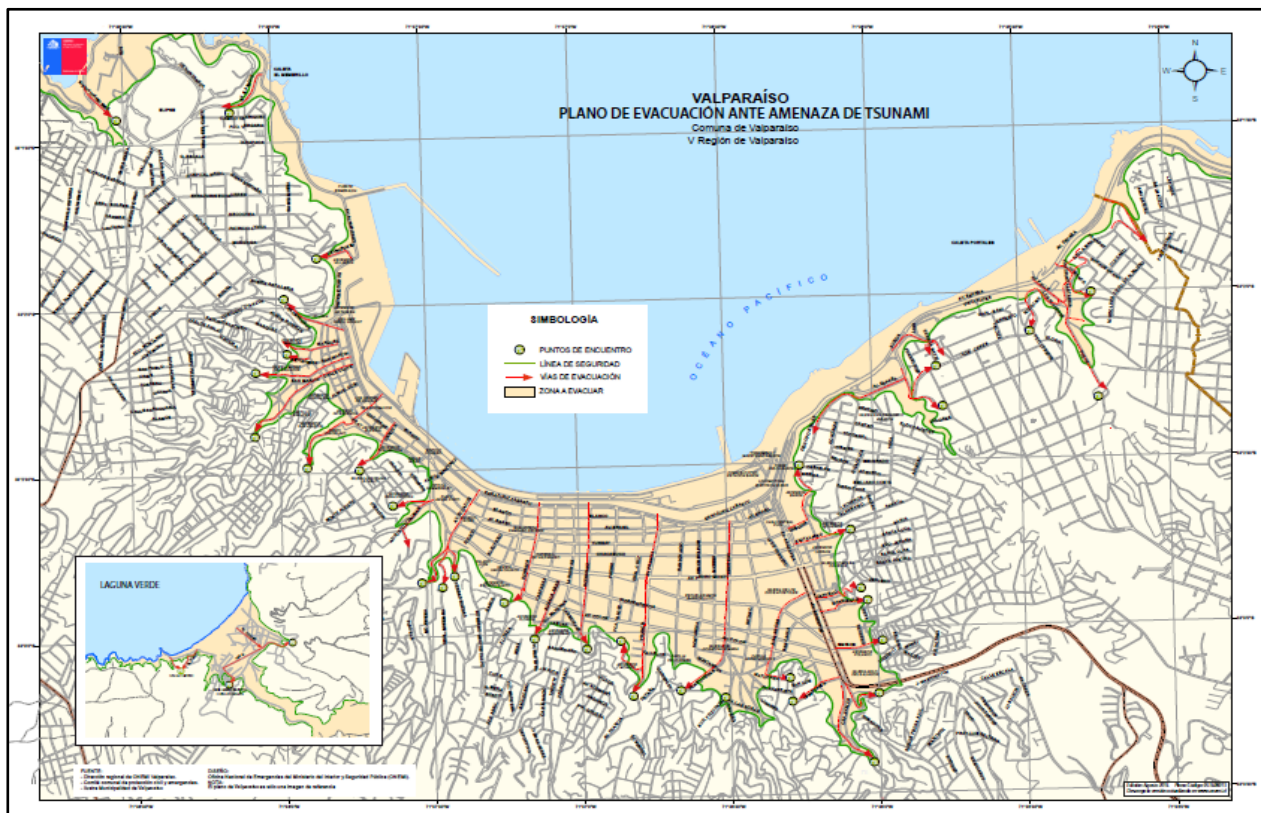


Figura 13 - Plano de Evacuación Valparaíso y Laguna Verde. Fuente: SHOA.

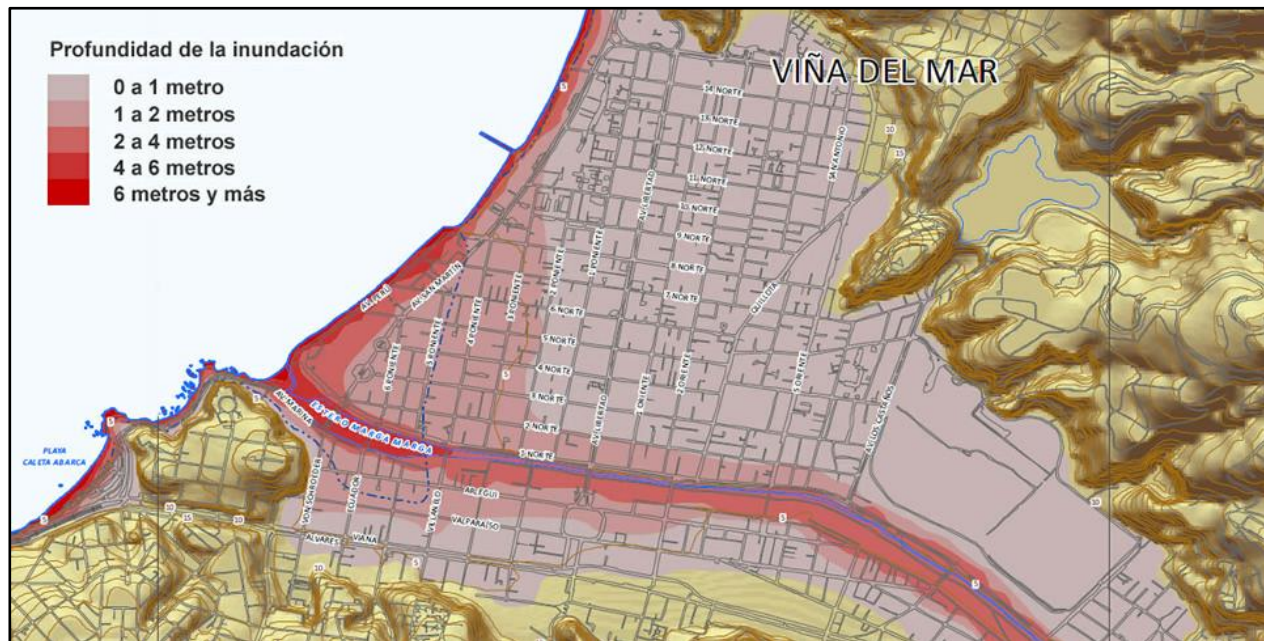


Figura 14 - Plano de evacuación de Viña del Mar. Fuente: SHOA.



Figura 15 - Carta de Inundación de la zona de Estudio. Fuente: SHOA.

El Sistema Integrado de Predicción y Alerta de Tsunamis (SIPAT), planteado por Catalán (et al. 2015), divide Chile en 21 bloques, lo cual permite que el país, en caso de tsunami, sólo evacúen las zonas afectadas evitando evacuaciones en todo el territorio.

La metodología implementada en el SIPAT se encarga de calcular la deformación cosísmica de la corteza terrestre (parámetros focales), y modela matemáticamente el tsunami. El primer elemento a calcular, se obtiene por medio de la dislocación elástica propuesto en la fórmula de Okada (1985), mientras que el segundo se obtiene por medio de una modelación matemática utilizando el software COMCOT. Adicionalmente, se asume un módulo de rigidez el cual depende de las características morfológicas de la zona de subducción.

En el caso de Chile, se utilizan 4 relaciones diferentes entre largo (L), ancho (W) y deslizamiento (D), para 6 magnitudes de momento (M_w): 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5. Éstas fueron determinadas según el estudio de Riquelme & Mocanu (2015), el cual entrega los datos sísmicos del SIPAT, correspondientes a 7656 escenarios probables, distribuidos en toda la zona de subducción del país.

La propagación generada en COMCOT cuenta con un sistema de grillas anidadas, lo que genera mayor precisión y eficacia. Para las propagaciones en el océano se utilizan grillas grandes, mientras que para estudiar el impacto en las regiones costeras de interés se usan grillas más pequeñas.

4.7.2 EVACUACIÓN HORIZONTAL

La evacuación horizontal, es la más recomendada y utilizada en el mundo debido a que corresponde al método más seguro ante emergencias de tsunami. De hecho la ONEMI en las Guías de Recomendaciones para preparación y respuesta ante tsunami recomienda como primera opción este tipo de evacuación. Sin embargo, es la misma ONEMI, quien menciona que este tipo de evacuación no permite llegar a una zona segura en un lapso de 15 minutos después del terremoto tsunamigénico (Flores, 2016).

4.7.2.1 OFERTA DE LA EVACUACIÓN HORIZONTAL

La oferta de evacuación horizontal viene dada por las rutas de evacuación ante tsunamis elaboradas por la ONEMI (2016) junto con los municipios de las zonas costeras (Flores, 2016).

En este tipo de evacuación la gente suele desplazarse por las vías de evacuación. Éstas son las rutas preestablecidas por las municipalidades y entidades competentes en los planos de seguridad, las cuales conectan los puntos de amenazas con las zonas seguras (ONEMI, 2016). Las vías de evacuación se presentan en planos oficiales donde indican claramente cada uno de los componentes de éstos, resaltando zonas seguras, línea de seguridad, las vías en sí, la zona inundable de cada ciudad (ONEMI, 2016).

5 METODOLOGÍA

La Figura 16 presenta el mapa conceptual de las actividades que involucra este trabajo. Sin embargo, se debe considerar que estas se subdividen en más actividades, las cuales se explican a medida que se detallan cada uno de estos tres grandes procesos.

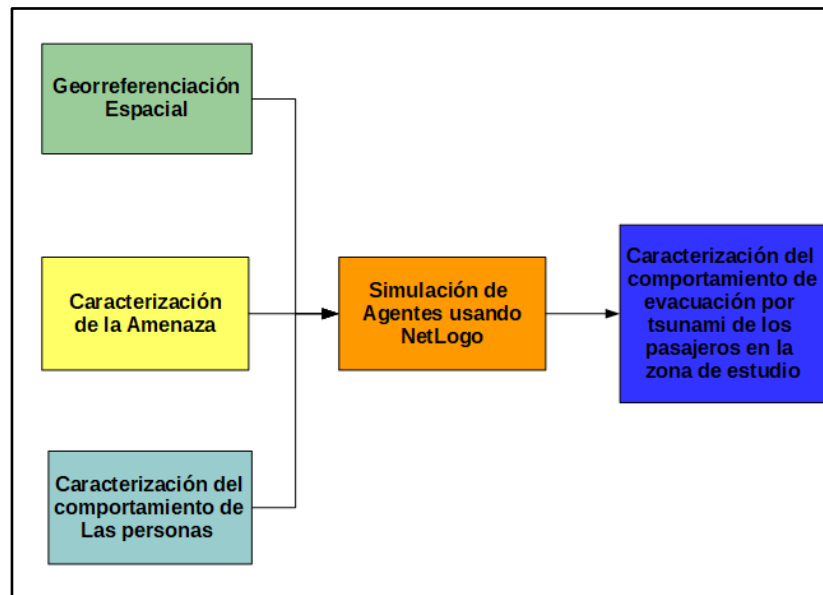


Figura 16 - Mapa conceptual de la Metodología aplicada. Fuente: *Elaboración propia.*

De la figura anterior se pueden apreciar las 5 grandes etapas del estudio. A continuación se explicarán cada una de ellas.

5.1 GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL

En esta fase del estudio se ha generado una georreferenciación del territorio con el fin de conocer sus características espaciales.

Se busca localizar y caracterizar en detalle las vías férreas, estaciones ferroviarias, ambas vías de Avenida España y posibles salidas asociadas a soluciones de este estudio, con el fin de poder ingresar estos componentes en los modelos a ejecutar. Adicionalmente, este proceso se ha utilizado para caracterizar el suelo en el que los agentes se desplazarán a fin de poder utilizar factores de rugosidad que afectan directamente su velocidad de desplazamiento. No obstante, los valores utilizados son arbitrarios puesto que no existen estudios concretos acerca del tema. En definitiva, los elementos obtenidos de la georreferenciación definirán el plano de simulación utilizado en NetLogo. Para poder obtener y procesar este primer input del modelo, se ha utilizado el website Geoportal (<http://www.geoportal.cl>) y Google Earth Pro,

En los resultados relacionados con las simulaciones de los agentes se utiliza Google Earth Pro para localizar las diversas trayectorias ejecutadas en los modelos, las cuales son la consecuencia de las diversas tomas de decisiones de los agentes en base al código generado en la sección 0.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

La caracterización de la amenaza corresponde a la descripción del peor escenario conocido al cual la población se enfrentaría. Para ello, se ha considerado asumir como escenario el terremoto

y tsunami del 8 de julio de 1730 que afectó la zona central, tal como se ha presentado en la sección 4.4.3.3.

5.3 CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PERSONAS

La caracterización de las personas tiene como objetivo analizar teóricamente los diversos comportamientos de la población. Estos resultados han sido de utilidad para poder entender el proceso de evacuación por tsunami de una mejor manera. Para efectos de este estudio, la población objetivo de este proceso corresponde a cualquier usuario del metro que une Valparaíso con Limache. En las siguientes secciones serán explicados los pasos utilizados para obtener el comportamiento de las personas. Este análisis abarca alrededor de 5 pasos, los cuales influyen directamente en las actividades sucesivas.

5.3.1 SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA CARACTERIZAR A LAS PERSONAS

En este estudio se ha optado por el uso de tres criterios que simplifican el comportamiento humano y que se incorporan al modelo. Estos son el nivel de conocimiento, velocidad de desplazamiento y nivel de autocontrol. Estos tres parámetros se encuentran implícitamente organizados en distintas preguntas del instrumento ejecutado, las cuales fueron analizadas estadísticamente, tal como se presentan en el anexo 9.1. Cabe mencionar que en el anexo anterior sólo se presentan las preguntas que se han considerado directamente relacionadas con el estudio. Por consiguiente, hay preguntas que se han ejecutado en las jornadas de encuesta y no han sido utilizadas en el modelo basado en agentes de esta memoria.

Los criterios mencionados afectan directamente al tiempo de reacción posterior al terremoto, lo que impacta en el tiempo de evacuación. Según Wang (et al. 2015), el aumento de la tasa de mortalidad es proporcional al aumento del tiempo de reacción. Es aquí donde el primer criterio toma importancia, puesto que cualquier persona que tenga conocimiento acerca de estos fenómenos, sabe a grandes rasgos los procedimientos a realizar, elementos que portar (botiquín, linterna, agua, vestimenta, etc.), alternativas de evacuación, ubicación de las zonas seguras, entre otros.

Para medir el nivel de conocimiento se han considerado 6 preguntas, las cuales abordan conceptos como: experiencia de evacuación (simulacros o experiencias reales), nivel de seguridad en el conocimiento del evacuado, si el evacuado es residente o turista de la zona de estudio, conocimiento de las vías de evacuación, medio de evacuación y conocimiento del momento exacto para evacuar. Cada una de estas preguntas, intentan dar un panorama del instante en que la población decide evacuar, o como lo define Wang (et al. 2015), el tiempo de partida de la evacuación.

El segundo criterio, corresponde a la velocidad de desplazamiento, el cual es considerado un parámetro crítico para estimar los índices de mortalidad para tsunamis de campo cercano (Wang et al. 2015). Por lo tanto, se debe tener en consideración que si el evacuado se desplaza a una velocidad inferior a valores mínimos como los de la FEMA (2008) y de Lues (2018), se encuentra expuesto a morir por inmersión asumiendo que el tsunami de campo cercano puede arribar en cualquier momento.

Este estudio considera el parámetro de la velocidad de desplazamiento por medio de la aplicación de la pregunta 8 (presente en la sección 6.3), la cual indica una eventual presencia de discapacidad en alguno de los evacuados. En caso de presentarse alguna discapacidad, se asume de inmediato que el evacuado en cuestión no podrá desplazarse a la misma velocidad que el resto de personas, y por ende, en el modelo deberá disminuirse la velocidad de desplazamiento. Para estos casos se han considerado los valores mínimos obtenidos por la FEMA (2008) y por Lues (2018).

El tercer criterio escogido hace referencia al nivel de autocontrol. Este indicador explica la pérdida de la cordura parcial o absoluta, lo que afecta directamente en la toma de decisiones. En definitiva, si se pierde el autocontrol, cualquiera de los procedimientos que se debiesen realizar asociado a la evacuación por tsunami se ven afectados, impidiendo la ejecución en general. Esto conlleva a involucrar otras personas que puedan hacer entrar en razón a quien no se encuentra en su sano juicio, o en su defecto, que realice la evacuación para ambos.

Para medir el nivel de autocontrol se formuló la pregunta 11 del instrumento, la cual en una escala de 1 a 5 mide el nivel de autocontrol que el encuestado cree tener.

5.3.2 CONFECCIÓN Y PRUEBA DE ENCUESTA PILOTO

Para la confección del instrumento piloto se utilizaron los tres criterios mencionados en la sección anterior, más un cuarto criterio el cual se denominó como “nivel de solidaridad”. Estos elementos se agruparon en 25 preguntas las cuales intentaron responder no solo los cuatro criterios, también se consideraron conceptos como sexo, edad y nacionalidad.

La prueba de la encuesta piloto tuvo como objetivo calibrar y analizar el comportamiento de situaciones y conceptos como: la recepción de las personas, el tiempo de ejecución de la encuesta por persona y la falencia de alguna pregunta. Este último punto puede ser con respecto al interés del estudio, como también puede ser por problemas de redacción en alguna pregunta, lo que finalmente interfiere con la comprensión del encuestado.

5.3.3 MEJORA DE ENCUESTA PILOTO

Para esta sección se contó con la ayuda de los alumnos del Taller de Estadística II, de la carrera Ingeniería en Estadística de la Universidad de Valparaíso, a cargo de los profesores Carlos Henríquez PhD. y Claudia Navarro PhD.

El objetivo de esta asesoría fue analizar la fiabilidad del instrumento empleado en la encuesta piloto, por medio del método de consistencia interna basado en el Alfa de Cronbach. Este método permite estimar la confiabilidad del instrumento por medio de varios ítems a los que se les asigna puntajes como lo son: las escalas tipo Likert o dicotómico. El coeficiente de Alfa de Cronbach, entrega el grado en que covarían los ítems que forman el instrumento, siendo un indicador de la consistencia del test (Soler & Soler, 2012).

Para calcular el valor de alfa, se puede usar dos métodos, los cuales se presentan a continuación:

I. Fórmula de Caro & Trujillo (2009):

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{s_t^2} \right]$$

donde,

s_i^2 : Varianza ítem-i.

s_t^2 : Varianza puntajes totales.

k : Número de preguntas o ítems.

II. Cálculo del valor de alfa en función de las correlaciones entre los ítems:

$$\alpha = \frac{k\bar{r}}{1 + (k-1)\bar{r}}$$

En esta formulación, a medida que la correlación entre los ítems es más alta, mayor resulta ser el valor de α . La consistencia máxima del test ocurre cuando cada uno de los pares alcanza la máxima correlación ($r = 1$, por consiguiente, $\alpha = 1$). Por el contrario, la consistencia mínima del test ocurre cuando el par de ítems es nula ($r = 0$, luego, $\alpha = 0$).

A continuación se presenta la Tabla 3, la cual muestra los niveles de clasificación que obtiene el instrumento al ser medido por el criterio alfa.

Tabla 3 - Clasificación de valores de alfa para el método alfa de Cronbach. Fuente: Elaboración propia.

$\alpha > 0,9$	es excelente
$\alpha > 0,8$	es bueno
$\alpha > 0,7$	es aceptable
$\alpha > 0,6$	es cuestionable
$\alpha > 0,5$	es pobre
$\alpha < 0,5$	es inaceptable

Adicionalmente, para agrupar las preguntas sin considerar aquellas que presentan respuestas múltiples, se utilizará el Análisis de Componentes Principales (ACP). Este estudio es una técnica descriptiva multivariada utilizada para sintetizar información, o bien, reducir el número de variables. En conclusión, un conjunto de datos con múltiples variables reduce o agrupa preguntas en componentes principales, los cuales son una combinación lineal de las variables originales, siendo también independientes entre sí (Zamora, 2015).

Para poder aplicar el ACP, se debe primero aplicar una prueba de esfericidad de Bartlett. Esta prueba se basa en una hipótesis nula, la cual ocurre cuando la matriz de coeficientes de correlación es igual a la matriz de identidad. En resumidas cuentas, se debe comprobar que la correlación entre las variables analizadas sea lo suficientemente grande como para poder

justificar la descomposición de la matriz en coeficientes de los mismos. Se debe considerar un nivel de significación menor a 0,05 (Bartlett, 1950).

Para elegir los componentes se considera los valores propios que sean mayores a uno. Esto ocurre debido a que son componentes que explican la mayor variabilidad de los datos (De la Fuente, 2011).

Para el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach, los alumnos de Ingeniería en Estadística utilizaron el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 20.

Finalmente, el instrumento pasó de un primer acercamiento de 25 preguntas a un elemento de medición organizado en 16 preguntas, que de manera concreta evalúan cada uno de los 4 criterios relevantes para caracterizar el comportamiento de las personas en el modelo.

5.3.4 PUESTA EN MARCHA DEL INSTRUMENTO

La puesta en marcha se llevó a cabo en una parte del borde costero de la conurbación Valparaíso–Viña del Mar. La zona de aplicación constó de dos tramos: (I) Desde el Muelle Prat hasta la Avenida Francia (ver Figura 17); (II) Desde Avenida San Martín con 1 Norte hasta el Muelle Vergara (ver Figura 18).



Figura 17 - Tramo 1 de realización de encuestas. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.



Figura 18 - Tramo 2 de realización de encuestas. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro.

Tabla 4 – Información de jornadas de ejecución del instrumento. Fuente: Elaboración propia.

Jornada	Secciones	Lugar	Cantidad Encuestadores	Horario Inicio	Horario Término
Primera	2	Tramo Valparaíso (Figura 17)	1	10:00	14:30
		Tramo Viña del Mar (desde 1 norte hasta Playa Acapulco, Figura 18)	2	16:00	19:30
Segunda	1	Tramo Viña del Mar (desde Playa Acapulco hasta Ex Sanatorio Marítimo, Figura 18)	1	16:00	19:00

Según la Tabla 4, la ejecución del instrumento constó de dos jornadas. La primera, dividida en dos tramos, con distintas cantidades de encuestadores. La segunda, solo cuenta con un tramo y un encuestador. Cabe mencionar que los horarios en los que se llevaron a cabo las jornadas no han sido definidos o con el objetivo de buscar un perfil en específico de encuestado.

5.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El objetivo de este análisis es obtener el porcentaje asociado a los criterios relevantes para este estudio correspondientes al nivel de conocimiento, velocidad de desplazamiento y nivel de autocontrol.

Las 16 preguntas del instrumento se agruparon en los tres criterios a modo de cuantificar la cantidad de aristas de enfoque que cada uno de los conceptos tiene. Sin embargo, hay que tener en consideración que las primeras tres preguntas corresponden a la información básica del encuestado (sexo, edad y nacionalidad), que de una u otra manera sirve para generar una primera clasificación. Por lo tanto, de las 13 preguntas restantes el criterio predominante es el nivel de conocimiento que cada persona presenta con respecto a los fenómenos en cuestión. Los otros dos criterios solo contienen una pregunta cada uno, siendo éstas articuladas con el fin de obtener una respuesta clara y concreta con respecto al nivel de autocontrol y velocidad de desplazamiento. Cabe mencionar que dentro de las 16 preguntas hay una que hace relación al nivel de solidaridad esperable, el cual en un momento fue considerado relevante, no obstante se desestimó la utilización de este cuarto criterio debido a la complejidad de incorporar ese comportamiento en el modelo.

Finalmente, el instrumento terminó agrupando una acotada cantidad de preguntas en cada criterio que influyen directamente al modelo, tal como lo muestra la Tabla 5.

Tabla 5 - Tabla de preguntas seleccionadas para el análisis estadístico y su implicancia con los parámetros de clasificación. Fuente: *Elaboración propia.*

Pregunta 4	Nivel de Conocimiento
Pregunta 7	Nivel de Conocimiento
Pregunta 8	Presencia de Discapacidad
Pregunta 9	Nivel de Conocimiento
Pregunta 11	Nivel de Autocontrol
Pregunta 13	Nivel de Conocimiento
Pregunta 14	Nivel de Conocimiento
Pregunta 15	Nivel de Conocimiento

5.4 SIMULACIÓN DE AGENTES USANDO NETLOGO

Este proceso de la memoria se ejecutó una vez completados los tres puntos expuestos anteriormente, correspondientes a las secciones 5.1, 5.2 y 5.3.

La primera sección utilizada corresponde a la caracterización del territorio, el cual por medio de una georreferenciación espacial entrega las características del lugar de estudio en donde se emplaza el modelo. Ambos elementos han sido explicados en la sección 5.1. Para efectos de las simulaciones, estos elementos se han utilizado para generar el plano, representado por *patches* o parcelas del plano. Éstos últimos corresponden al terreno del modelo por donde los agentes se desplazan, interactúan y toman decisiones dependiendo de lo que se desee conseguir o representar. Se ha considerado relevante presentar un plano explicativo de la zona, a fin de poder dejar en claro cada uno de los elementos que se irán mencionando a lo largo de la presentación de resultados. Para ello, se muestra la Figura 19 la cual evidencia todos los lugares importantes del lugar en cuestión.

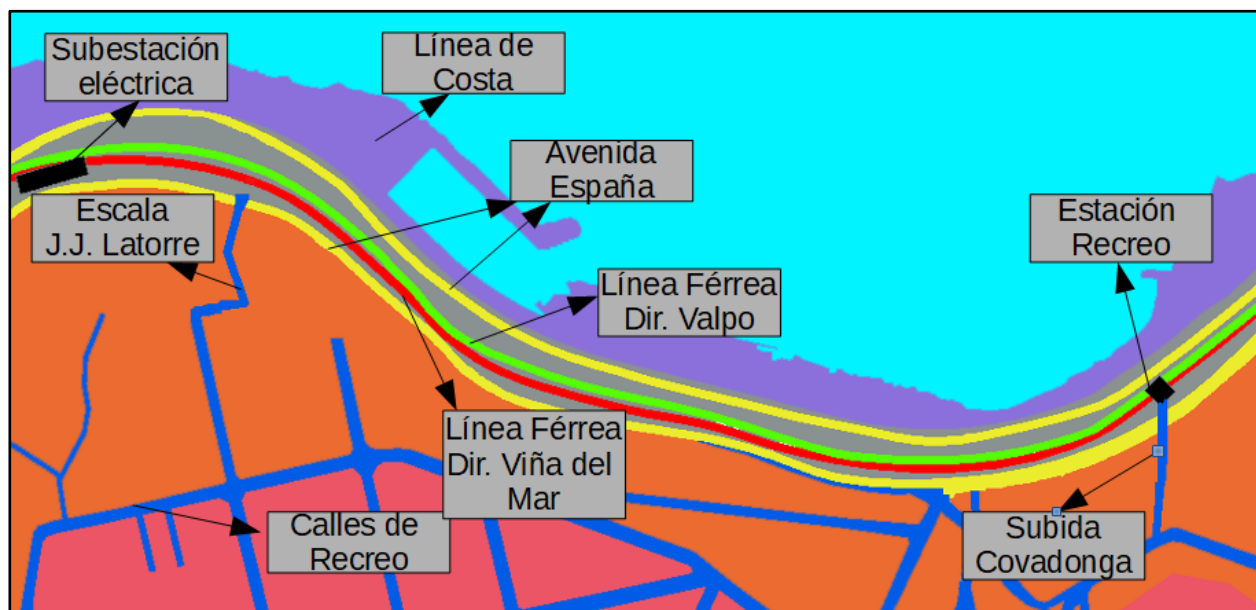


Figura 19 - Plano explicativo de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La segunda sección requerida corresponde a la caracterización de la amenaza. El uso de este concepto ha sido teórico, puesto que se basa en un terremoto tsunamigénico que ocurrió el año 1730. Con esto, se puede tener un punto de referencia para la simulación, pues es inminente que un evento de estas magnitudes vuelva a ocurrir, independiente el periodo de retorno del mismo.

Como último elemento necesario, la caracterización del comportamiento de las personas toma un rol fundamental en la simulación. Si bien, como se explica en la sección 5.3, son tres los criterios que se analizan (nivel de conocimiento, velocidad de desplazamiento y nivel de autocontrol), es el segundo el más influyente dentro del código de programación del modelo, siendo un factor relevante en los escenarios a considerar. Estos se han presentado en la sección 0.

Como se puede ver en la Tabla 6, todos los escenarios están configurados en base a la velocidad. Sin embargo, las simulaciones utilizadas para medir los tramos, cuyas numeraciones se han rotulado con 0 (ej: SP0-A), adicionalmente consideran una ocupación mínima con un solo pasajero. Las simulaciones intentan representar, por medio de velocidades establecidas, los escenarios críticos y favorables para los evacuados. Para esto se han considerado las velocidades postuladas por la FEMA (2008) y por Lues (2017).

Pese a que el nivel de conocimiento y el nivel de autocontrol no fueron considerados en el modelo, desde el punto de vista conceptual, son considerados factores que pueden ser explotados en futuras investigaciones debido a la importancia que éstos tienen.

En base a todos los componentes y factores asociados a la simulación de escenarios, se ha confeccionado un código capaz de canalizar cada uno de los elementos relacionados con el desplazamiento y reconocimiento de lugares, o en este caso *patches*, relevantes para la toma de decisiones de los agentes. Es importante mencionar que todos los modelos utilizados en este trabajo, se centran en el reconocimiento del color del *patch* o parcela distante de la ubicación

instantánea del agente. Al mismo tiempo, son estos elementos los que indican al agente cual rugosidad afectará su velocidad, la cual se denomina *defspeed* dentro del código, tal como se menciona en la sección 5.4.2.

Para efectos de conversión del desplazamiento de los agentes, se calculó un valor de conversión para pasar de la velocidad del modelo [píxeles/tick] a la velocidad real [m/s]. Para esto se realizó la siguiente conversión.

$$Velocidad_{modelo} * 1,42 = Velocidad_{Real}$$
$$\left[\frac{pixel}{tick} \right] * 1,42 = \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\left[\frac{pixel}{tick} \right] * \left[\frac{m}{pixel} \right] * \left[\frac{tick}{seg} \right] = \left[\frac{m}{s} \right]$$

Tabla 6- Escenarios de simulación. Fuente: Elaboración propia.

SITUACIÓN	Escenarios Simulación	NIVEL DE OCUPACIÓN DEL TREN	POSICIÓN TRENS			VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	Objetivo
			ZONA A	ZONA B	ZONA C		
SIN PROYECTO	SP0-A	1 Pasajero	1			0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación sin proyecto
	SP0-B	1 Pasajero		1		0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación sin proyecto
	SP0-C	1 Pasajero			1	0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación sin proyecto
	SP1-A	Lleno	2			1,78 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MAX-FEMA}$ - Situación sin proyecto
	SP2-A	Lleno	2			1,5 [m/s] (Lues)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MAX-LUES}$ - Situación sin proyecto
	SP3-A	Lleno	2			0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MIN-FEMA}$ - Situación sin proyecto
	SP4-A	Lleno	2			1,1 [m/s] (Lues)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MIN-LUES}$ - Situación sin proyecto
CON PROYECTO	CP0-A	1 Pasajero	1			0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación con proyecto
	CP0-B	1 Pasajero		1		0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación con proyecto
	CP0-C	1 Pasajero			1	0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento individual, para V_{MIN} - Situación con proyecto
	CP1-B	Lleno		2		1,78 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MAX-FEMA}$ - Situación con proyecto
	CP3-B	Lleno		2		0,89 [m/s] (FEMA)	Análisis de comportamiento masivo, para $V_{MIN-FEMA}$ - Situación con proyecto

Por consiguiente, las velocidades reales presentes en la Tabla 6 deben ser divididas por este mismo factor de conversión equivalente a 1,42, para poder obtener el defspeed de cada una de las simulaciones. A continuación, en la Tabla 7 se presentan los valores de las velocidades tanto reales, como la de los escenarios de simulación.

Tabla 7 - Conversión de velocidad real a la velocidad del modelo. Fuente: *Elaboración propia.*

Descripción	Velocidad Real	Velocidad Modelo (Defspeed)
Velocidad máxima FEMA, (2008)	1,78 [m/s]	1,25 [pixel/tick]
Velocidad máxima Lues (2017)	1,5 [m/s]	1,06 [pixel/tick]
Velocidad mínima FEMA, (2008)	0,89 [m/s]	0,63 [pixel/tick]
Velocidad mínima Lues (2017)	1,1 [m/s]	0,77 [pixel/tick]

Se pretende analizar la situación actual de evacuación (sin proyecto, SP), a fin de obtener información cuantificable de los distintos comportamientos y usos de las vías de seguridad por parte de la población que se ve expuesta. Para esto se realizará un estudio del modelo que muestra la situación actual, es decir, independiente donde se detenga el vagón, las personas deben evacuar por los accesos de la Estación de Recreo.

Por otra parte, se ha realizado un modelo capaz de presentar una solución al problema actual (con proyecto, CP), debido a que los resultados de las simulaciones del escenario actual (SP) son insatisfactorios. Para las simulaciones con proyecto se utilizarán sólo las mismas velocidades de la FEMA (2008).

Cabe mencionar que todos los modelos ejecutados en este apartado utilizan los mismos factores de rugosidad experimental presentes en la Tabla 8. Estas rugosidades multiplicarán las velocidades de desplazamiento presentes en la Tabla 6.

5.4.1 SIMULACIONES SIN PROYECTO CON UN PASAJERO (SP0)

Las simulaciones sin proyecto con un solo agente (SP0), para cada una de las subdivisiones, tienen como objetivo analizar el comportamiento individual con velocidad mínima. Para estos casos la velocidad corresponde al menor de los valores de desplazamiento postulado por la FEMA (2008), es decir, 0,89 [m/s]. Los resultados, determinan la zona con un mayor tiempo de evacuación o zona crítica, la cual se utiliza para ejecutar simulaciones con la capacidad máxima de cada vagón en el modelo, presentes en la siguiente sección.

5.4.2 SIMULACIONES DE ESCENARIOS SIN PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN (SP1, 2, 3 Y 4)

Esta fase evalúa los escenarios teniendo en consideración tres factores: una ocupación completa de los vagones, los efectos de estas simulaciones con respecto al tramo crítico obtenido en la sección 5.4.1, y el criterio fundamental de estas modelaciones propuesto en la sección 5.3.1, correspondiente a la velocidad de desplazamiento de los agentes. Aquí, los diversos escenarios a ejecutar se diferencian en las velocidades de prueba o defspeed, las cuales se presentan en la

Tabla 7. Los escenarios que plantea dicha tabla tienen como objetivo analizar el comportamiento masivo de los evacuados.

5.4.3 SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO (ESCENARIO 0, CP0)

Los tramos a considerar en esta sección corresponden a los mismos presentados en la sección 5.4.1. Así mismo, se realizará una evaluación inicial (CP0), la cual utilizará la velocidad mínima de la FEMA (2008), correspondiente a 0,89 [m/s], y sólo un agente ubicado en el vagón norte de la calzada ferroviaria. Con esto se ha obtenido el comportamiento individual con velocidad mínima.

Debido a la problemática presente en el lugar, con respecto a las vías de evacuación y a los resultados obtenidos en los apartados 5.4.1 y 5.4.2, se optó por una solución la cual busca disminuir los tiempos de evacuación, en especial en la zona de chancado, la cual se define en la sección 6.1. Así mismo, la situación con proyecto busca un paso breve por el chancado a fin de que la velocidad se disminuya lo mínimo posible.

La solución propuesta, tal como se presenta en las simulaciones ejecutadas en esta sección, consta de una escalera ubicada en la vereda del frente a la subestación eléctrica de Merval, tal como se explica en la sección 6.1. Cabe destacar que la Figura 19 muestra claramente la ubicación de la escala JJ Latorre.

5.4.4 SIMULACIONES DE ESCENARIOS CON PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN (CP1 Y 3)

Los escenarios evaluados en esta etapa han sido analizados en base a un modelo que caracteriza el comportamiento masivo para las dos velocidades postuladas por la FEMA (2008) presentes en la Tabla 6. Sin embargo, a diferencia de las simulaciones ejecutadas en la sección sin proyecto, éstas presentan un plano distinto, puesto que contiene el acceso que contempla el proyecto, tal como se muestra en la Figura 19.

5.4.5 ÍNDICES DE MORTALIDAD

Esta sección considera la cantidad de pasajeros que permanecen en el chancado al momento de arribar el tsunami. No obstante, esta llegada de la ola se considera experimental, por lo que se asumen arribos cada 5 minutos, teniendo claro que el tiempo de llegada del tsunami oscila desde los 3 a los 35 minutos, tal como se ha explicado en la sección 4.4.1.

Por lo tanto, para saber qué sucede con los pasajeros al arribo de cada uno de los tsunamis experimentales, se ejecutaron los modelos enfocándose solamente en la salida de los agentes del chancado, obteniendo resultados que reafirman la necesidad de una solución con urgencia.

5.5 CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI.

Esta sección final corresponde al análisis total de los resultados. Aquí se realiza una comparación de todos los escenarios simulados, teniendo en consideración los gráficos y datos obtenidos de estos. En definitiva, este paso busca evidenciar las situaciones críticas de cada uno de los componentes que estas simulaciones abarcan, ya sea la velocidad de desplazamiento, y por ende el tiempo total de evacuación, como la relación teórica de los arribos del tsunami. Al mismo tiempo, se busca vincular los resultados con elementos teóricos como las encuestas.

Este paso corresponde no tan solo a resultados, sino también involucra conclusiones con respecto a la solución dejando en claro que se puede mejorar aún más este proyecto.

6 RESULTADOS

En este capítulo de la memoria se presentan los resultados obtenidos de los diversos procesos que este estudio contiene.

Los resultados de las simulaciones sin proyecto (SP), evidencian una falencia en el proceso de evacuación del sistema ferroviario costero por tsunami, en cuanto al tiempo que toman las personas en llegar a una zona segura. Sin embargo, la situación con proyecto (CP) presenta una gran diferencia en los tiempos de evacuación en comparación a la condición actual, siendo esta un aporte no tan solo para las zonas críticas de cada situación (con y sin proyecto), sino en general disminuye todos los tiempos de evacuación.

6.1 GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL

6.1.1 DEFINICIÓN DE ZONAS

Para efectos de este proyecto se ha considerado relevante subdividir la zona en tres: zona A, zona B y zona C, tal como se presenta en la Figura 20. La primera de éstas corresponde al área de color rojo, ubicado al costado izquierdo. La segunda, corresponde al sector de color amarillo ubicado al medio. Finalmente, la zona de color verde corresponde a la tercera parte del lugar de estudio, ubicada al costado derecho de la imagen ya mencionada.



Figura 20 - Subdivisión de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).

Las zonas se han definido con respecto al plano utilizado en las simulaciones de NetLogo. Éstas poseen la misma cantidad de *patches*, tomando de referencia la cantidad de *patches* totales de longitud que se utiliza en la imagen del software, correspondiente a 1337 unidades.

6.1.2 ANÁLISIS ESPACIAL

Para esta sección se ha considerado en primer lugar, la subdivisión de la zona de estudio, tal como se ha explicado en la sección anterior. Adicionalmente, se han considerado tres aspectos para analizar el espacio: área de chancado, Avenida España y línea de costa.

El primer elemento hace referencia a toda el área por donde se desplaza el metro, tal como lo presenta la Figura 21. Aquí se puede evidenciar los elementos que conforman este lugar: rieles del metro, tipo de suelo y elementos varios. Los rieles presentan una trocha de alrededor de unos 1,7 metros de ancho (Trenes Chile, 2015). Por otra parte, el suelo corresponde a grava gruesa o piedra según la clasificación USCS. Este comportamiento se presenta a lo largo de toda la zona de estudio, por lo tanto, no se ha considerado relevante detallarlo en cada uno de los sectores.

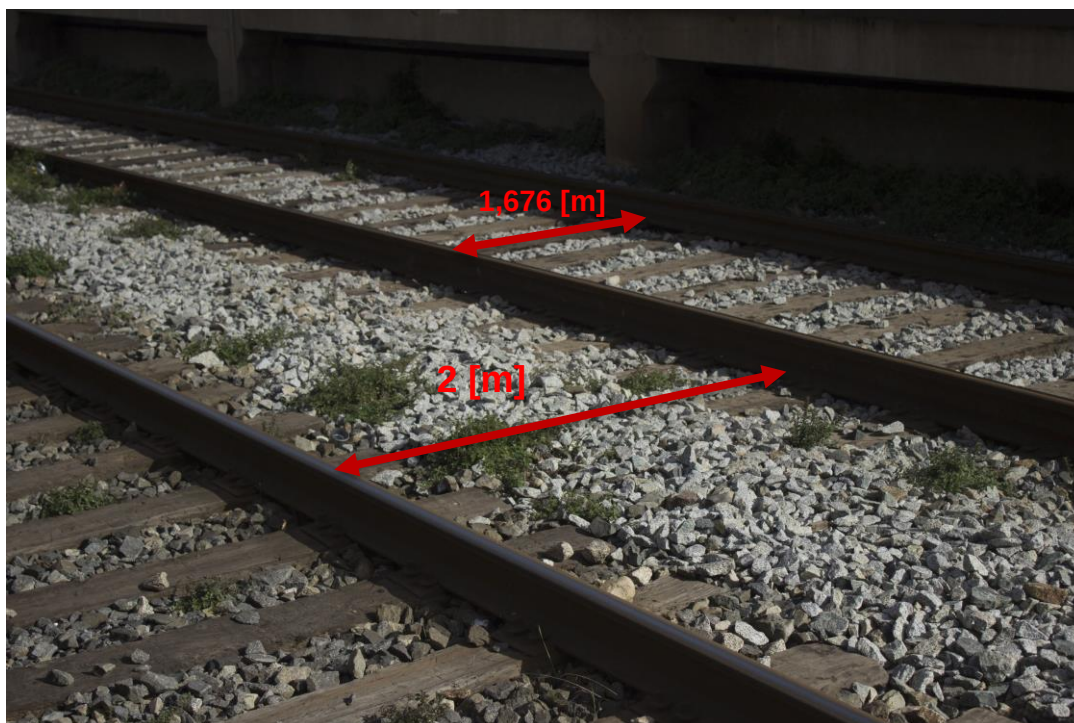


Figura 21 - Conformación del chancado y línea férrea. Fuente: *Elaboración propia.*

El segundo, corresponde a la influencia de la red vial de la zona, la cual se ha considerado importante debido a la conversión de flujos de personas que se podrían generar dependiendo de la proveniencia de los evacuados. Se debe tener en consideración que las vías de evacuación no responden ni se comportan de la misma manera frente a una amenaza, en caso de que la capacidad se vea sobrepasada por el exceso de personas (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

Por último, el tercer aspecto corresponde a la línea de costa, la cual influye en un fenómeno de esta magnitud, pudiéndose presentar algún elemento que genere protección o disipación energética. Esta parte corresponde a toda la zona que está fuera del perímetro formado por la vía de Avenida España y que limita con el mar.

I. ZONA A

Este sector presenta las diferencias más marcadas de todo el trazado en cuestión. Aquí el área del chancado es más extensa en comparación con las otras zonas, presentando un ancho máximo de 30 metros. Esto se debe a que en el borde sur cuenta con la subestación eléctrica del sistema ferroviario, la cual tiene un área de base aproximada de 35x10 [m] y presenta una elevación de dos pisos. En el borde norte se encuentra un display donde se han puesto árboles y material de desecho.

La avenida España presenta una geometría relativamente uniforme a lo largo de la zona A. No obstante, existen ciertos ensanchamientos de las calzadas, propio de las diversas conexiones que la red vial tiene en el sector. Así mismo, esta arteria al encontrarse en elevación aporta como una defensa de tsunamis. Se debe mencionar que una parte de la trayectoria de estas vías pasa

por debajo de la avenida España, generando una interrupción en la estructura que soporta la calle. Es aquí donde este estudio asume que el agua ingresará en primera instancia, aunque se asume que no es el único lugar por donde el mar puede ingresar a la zona de estudio.

La línea de costa presenta una elevación de unos dos a tres metros aproximadamente. Encima de esto, se emplazaron recintos correspondientes a diversas organizaciones. Debido al evento del 08 de agosto de 2015, este terreno se vió afectado propio de la exposición al oleaje intenso que ese evento presentó. No obstante, esta diferencia de cotas también presenta una protección natural, la cual podría generar algún tipo de disipación energética.

Para este proyecto, esta zona se considera importante puesto que es aquí donde se encuentra la escala JJ Latorre, vía propuesta para evacuar en los escenarios con proyecto.

II. ZONA B

Este sector, al igual que la zona C, presenta uniformidad en el área de chancado. El ancho aproximado de esta zona equivale a 10 metros, de los cuales más del 50 por ciento del área se encuentra utilizado por las vías férreas, considerando la misma dimensión que se mencionó en la zona A. El espacio restante se divide en dos partes: separación de la avenida España con la zona del chancado, por el costado sur y, el sector de árboles por el borde norte. Cabe mencionar que las separaciones de los rieles empiezan ampliarse levemente a medida que se acerca a la estación de Recreo, propio del ajuste de estos con los andenes de acceso de los usuarios.

En general, la avenida España no cambia su estructura. Presenta dos vías separadas por la zona del chancado, resaltando el costado norte que va en dirección a Valparaíso, debido a que éste se encuentra expuesto al mar y posee la vía de peatones. La calzada sur, que permite a los vehículos ir hacia Viña del Mar, se encuentra bloqueada en su totalidad para poder acceder al cerro debido a la presencia de viviendas y a la configuración urbana que se le ha dado. Sin embargo, las cotas de nivel con respecto a la zona de chancado y a la línea de costa siguen siendo elevadas, alrededor de unos 2 y 4 metros respectivamente.

Finalmente, la línea de costa de este sector tiene la particularidad de encontrarse a la altura del Club de Yates, siendo esto un eventual disipador de energía en caso de enfrentar un tsunami. Al mismo tiempo, a medida que se acerca a la zona C, este elemento sufre ciertas variaciones debido a las diversas marejadas a las que este sector se ha visto expuesto.

III. ZONA C

Esta zona presenta la particularidad de tener la Estación de Recreo, única vía actual de escape en caso de evacuación por tsunami. Aquí se aprecian comportamientos en el chancado que se han considerado relevantes de mencionar. En primer lugar, los rieles de ambas vías se han ajustado con respecto a los andenes de ambas direcciones, sin embargo, la trocha no ha variado en su ancho. En segundo lugar, el ancho del chancado aumenta a 13 metros aproximadamente. Así mismo, hay una pequeña porción del borde norte de este sector, cerca de la zona B, que presenta árboles interrumpidos por el andén norte.

Transversar a la posición de los rieles se encuentra el cajon del colector de aguas servidas, las cuales evacúan al ex balneario que se emplazaba en este sector.

La avenida España, en ambos sentidos presenta ensanchamiento en la calzada debido a los paraderos de locomoción colectiva. Cabe destacar que la vía que va en dirección a Viña del Mar presenta la aparición de la calle Olga, la cual sube en dirección al barrio de Recreo. Esta calle se ha considerado una potencial vía de evacuación a analizar, sin embargo, este estudio no ha considerado esta opción.

La línea de costa se mantiene irregular hasta la aparición del ex balneario de Recreo el cual se encuentra relativamente estable en su configuración, independiente el deterioro de éste. No obstante, según experiencia in situ, la pendiente que se sumerge en la costa es pronunciada, lo cual a simple deducción, podría servir como dissipador natural de oleaje. Adicionalmente, la cota de elevación de la avenida España genera una segunda protección.

6.1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN

Las vías de evacuación actual y la propuesta como solución analizadas en este estudio presentan características similares en cuanto al terreno por donde se desplazan los agentes. Ambas, poseen un terreno hormigonado, con escaleras relativamente largas, las cuales deben canalizar los flujos de personas evacuadas.

I. ESTACIÓN DE RECREO

En la zona de Estación Recreo, existen cinco escaleras por las cuales las personas deben evacuar, tal como se presentan en la Figura 22. En ella se pueden visualizar varios tramos correspondientes a flujos de acceso de peatones que podrían generar ciertas complicaciones al momento de realizar una evacuación y que los modelos no consideran. Para esto se ha empleado la Figura 23 a fin de evidenciar los lugares conflictivos para el proceso en cuestión.



Figura 22 - Escaleras de Estación Recreo utilizadas en lo modelos de evacuación. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).

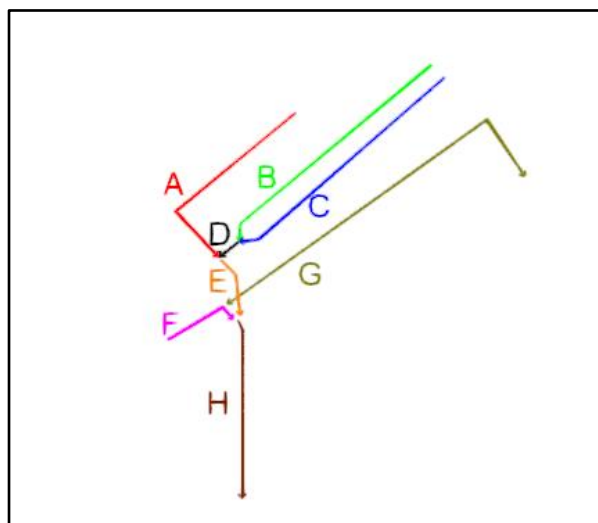


Figura 23 - Flujos de evacuación en Estación Recreo. Fuente: *Elaboración propia.*

El tramo A, de la Figura 23, corresponde al flujo de personas provenientes desde la Avenida España, dirección Valparaíso. Este tramo se compone de dos partes: (I) una escalera de tres cuerpos, donde la primera sección posee 15 peldaños, mientras que las otras dos presentan 14 peldaños cada una. Los escalones tienen una dimensión de 15,5 [cm] de alto por 35 [cm] de largo. Adicionalmente, las secciones que separan las escalinatas tienen un largo de 2,65 [m]. El ancho es uniforme en toda su extensión y tiene un valor de 2,65 [m]; (II) acceso en la pasarela, el cual tiene una longitud aproximada de 28 [m] y un ancho de 2,65 [m]. Este tramo termina al empalmar con el flujo proveniente desde los andenes del metro correspondiente al tramo D.

Los tramos B y C, poseen las mismas características en cuanto a longitud de andén y configuración de escaleras, tal como se presenta en la Figura 24. Ambas escaleras poseen tres cuerpos: el primero con 15 escalones; el segundo con 15; y el tercero con 16. Cada peldaño posee una altura de 16 [cm] y un largo de 35 [cm]. Por otra parte, las separaciones de las secciones tienen una longitud de 2,65 [m]. El ancho útil de las escalas corresponde a 2,65 [m]. Así mismo, ambos andenes tienen una longitud de 110 [m] y un ancho útil de 3,3 [m].

El punto de encuentro de ambos tramos corresponde a una convergencia de flujos, dando origen al tramo D. No obstante, esta convergencia de flujos puede generar conflictos de gran envergadura, como lo son: avalanchas, lesiones por aplastamiento, sofocación, entre otras. Estos movimientos de personas generan cuellos de botella disminuyendo las velocidades de desplazamiento y, por ende, aumenta los tiempos de evacuación. Cabe mencionar que este tipo de conflictos no están considerados en los modelos, pero sí se considera relevante de destacar.

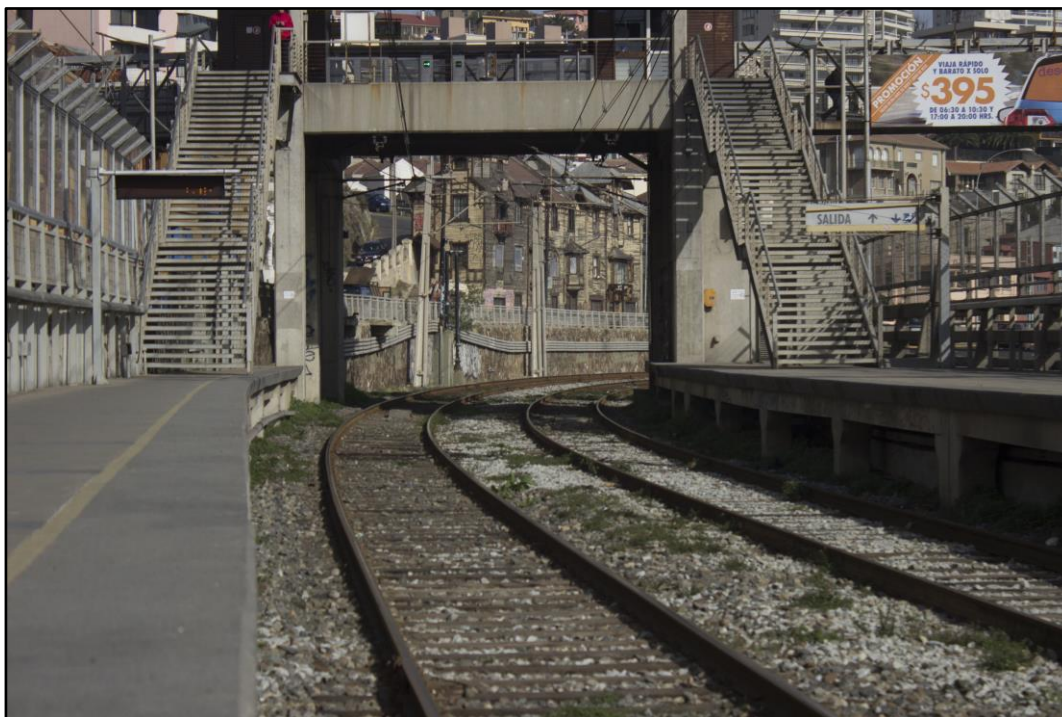


Figura 24 - Andenes, chancados y escaleras de Estación Recreo. Fuente: *Elaboración propia.*

El tramo D, tal como se presenta en la Figura 23, corresponde a un flujo entorpecido desde sus inicios por el cuello de botella mencionado en el párrafo anterior. No obstante, esta sección se vuelve aún más conflictiva debido a la presencia de torniquetes de acceso, tal como se aprecia en la Figura 25, los cuales en una evacuación disminuyen el ancho útil de la vía y generan cuellos de botella. No hay certeza de que se desbloqueen estos elementos en una emergencia, que en condición normal exigen el pago de la tarifa correspondiente al viaje hasta ese punto. Es aquí donde se podría generar la mayor demora de toda la evacuación.

Este tramo se encuentra compuesto por tres partes: (I) zona de acceso proveniente desde los andenes, la cual tiene un área aproximada de 52 [m²]; (II) zona de torniquetes; (III) zona externa a Estación Recreo, con un área aproximada de 52 [m²]. En esta última parte, también ocurre otro cuello de botella provocado por el angostamiento del acceso a la pasarela, la cual empalma con el tramo A, generando un tercer choque de flujos.



Figura 25 - Torniquetes de Estación Recreo (vista hacia Viña del Mar). Fuente: Elaboración propia.

El tramo E, tiene una longitud de 31 [m] y un ancho útil de 2,65 [m]. Esta parte se encuentra enjaulada generando un flujo confinado (ver Figura 26), propiciando aún más las avalanchas, lesiones por aplastamiento y sofocación en los evacuados, poniendo en riesgo niños, adolescentes y adultos mayores, según postula la División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi (2002).

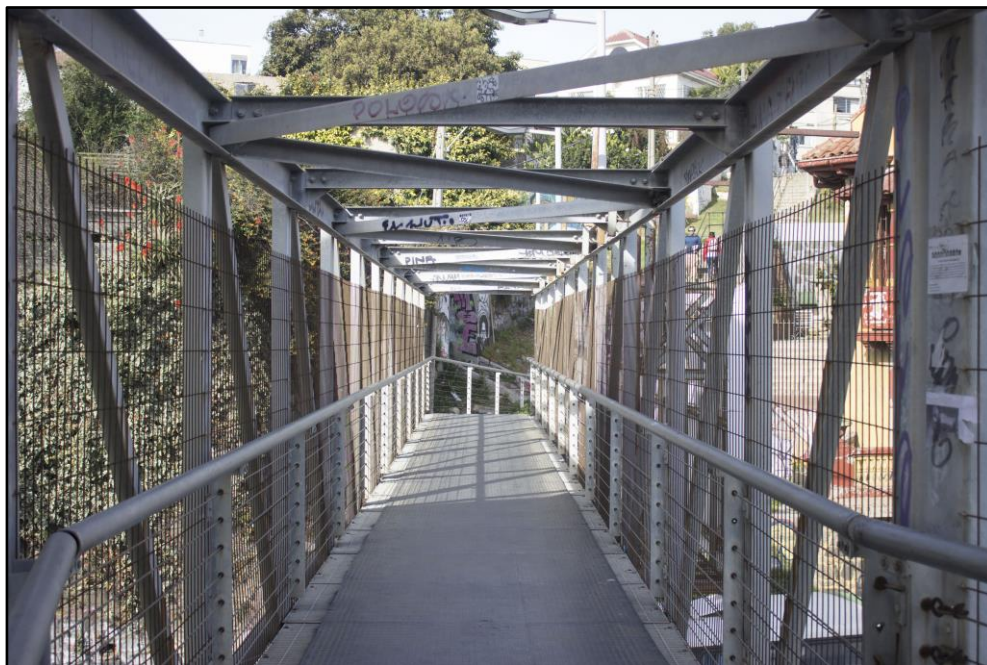


Figura 26 - Tramo E de la pasarela de Estación Recreo (Vista hacia Recreo). Fuente: Elaboración propia.

El tramo F corresponde al acceso peatonal proveniente desde la Avenida España dirección Viña del Mar. Esta sección posee tres escalas separados por dos áreas de transición. La primera sección de la escala cuenta con 4 escalones, con una dimensión de 16 [cm] de alto por 40 [cm] de largo, seguido de un área de transición de 4,3 [m²]. La sección siguiente posee 3 escalones de 16 [cm] de alto por 37 [cm] de largo. Se debe mencionar que hasta este punto, el ancho útil de esta parte es de 1,40 [m]. Posterior a esto, viene la segunda transición con un área equivalente a 8,4 [m²]. Es en este punto donde el tramo G converge con esta escala. Finalmente, el tramo F acaba con una escala de 18 peldaños, cuyas dimensiones corresponden a 18,5 [cm] de alto por 30 [cm] de largo y presenta un ancho útil de 1,35 [m].

Como se ha mencionado previamente, el Tramo G tiene una dualidad en cuanto a la evacuación. Por una parte, puede descongestionar las vías en cuestión, lo cual ocurre cuando el evacuado decide tomar la vía que une Avenida España con el Mirador y posterior calle Condell, ubicada en Recreo (desplazamiento desde Valparaíso hacia Viña del Mar). No obstante, si la persona decide tomar subida Covadonga, subida oficial y utilizada en este estudio (desplazamiento desde Viña del Mar hacia Valparaíso) genera una convergencia de flujo entre este tramo y el tramo F. El tramo G tiene una longitud de 120 [m], con un ancho útil de 2 [m].

El tramo F al empalmar con el tramo E, proveniente desde la pasarela, genera el choque de flujos más grande de todo el sistema debido a la gran cantidad de personas que podrían juntarse, dando origen al tramo H.

El tramo H (ver Figura 27, Figura 28 y Figura 29) corresponde a la sección de mayor flujo de evacuados. Aquí convergen la gran mayoría de personas que circulan por cualquier medio de transporte y/o que transitan por el sector. Es por ello que no es coincidencia que aquí existan accesos más amplios. Esta parte de la ruta de evacuación consta de dos cuerpos de escaleras, separados por dos transiciones. La primera sección presenta 29 peldaños de 16 [cm] de alto por 38 [cm] de largo, seguido de un área larga con una dimensión de 34 [m²]. Posterior a ésta, prosigue una escala de 17 peldaños de 16 [cm] de altura por 36 [cm] de largo. Al acabar esta última escala, hay una breve transición que empalma con la calle Campino, ubicada en Recreo. Esta porción tiene un área de 76 [m²]. Cabe mencionar que el ancho útil se ha considerado con respecto al trazado que genera el área encementada. No obstante y en caso de emergencia, los evacuados podrían utilizar los predios aledaños a estos, aumentando considerablemente el ancho útil de la escala Covadonga.



Figura 27 - Escalera de Recreo, empalme de vías de evacuación. Fuente: Elaboración propia.

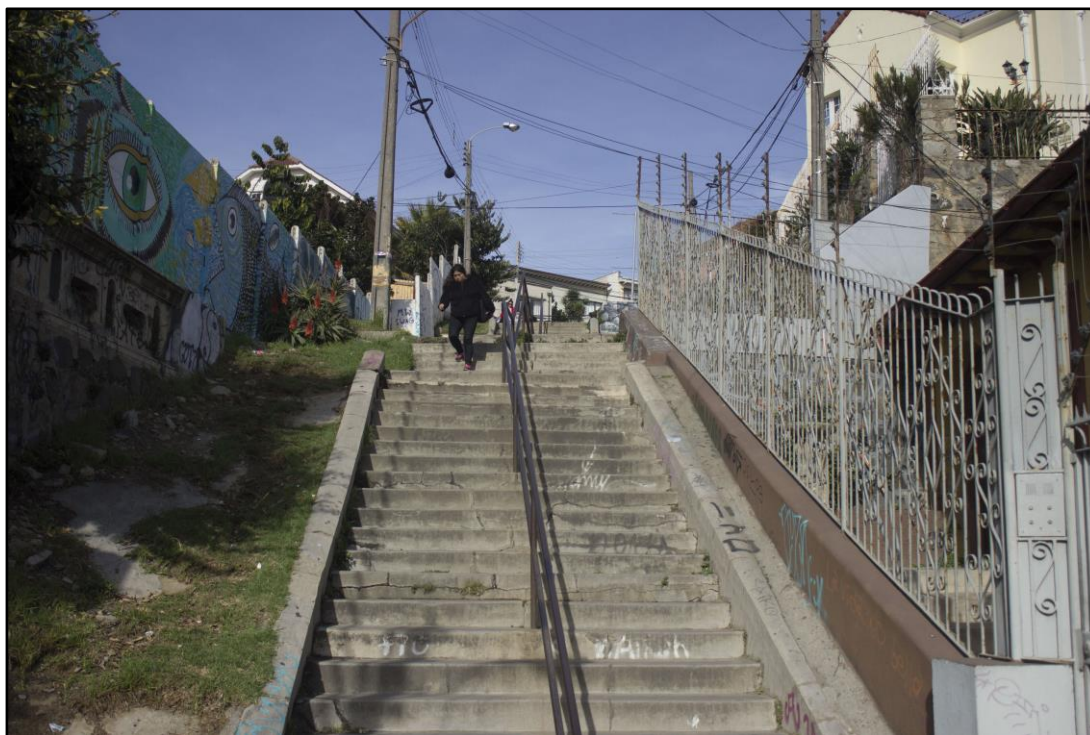


Figura 28 - Escalera de Recreo, tramo inferior. Fuente: Elaboración propia.



Figura 29 - Escalera de Recreo, tramo superior. Fuente: *Elaboración propia.*

II. ESCALERA JJ LATORRE

Esta vía corresponde a la solución de evacuación propuesta para disminuir los tiempos de evacuación de los pasajeros de la empresa ferroviaria. No obstante, esta solución se ha decidido debido al bajo costo que conlleva implementar ésta, independiente de la factibilidad. En efecto, este proyecto no intenta implementar una solución, sino más bien intenta evidenciar la precariedad de la evacuación de personas en este sector bajo estudio.

La Figura 30 ubica la escalera JJ Latorre en el espacio, la cual está casi en el límite entre la zona A y la zona B. Adicionalmente, se presenta la Figura 31 la cual muestra como debiese ser el flujo de personas en caso de tener que evacuar a zona segura. Cabe destacar que esta última imagen muestra dos partes: la primera que explica la configuración de la escalera en la actualidad, mientras que la segunda muestra dos elementos que se consideran necesarios para hacer viable esta solución.

El tramo A en este escenario se considera el más conflictivo por dos argumentos: (I) aquí se presenta la convergencia más grande, puesto que aquí se juntan los flujos de todas las personas evacuadas desde el metro y los flujos de personas provenientes de ambas vías de Avenida España. (II) Los pasajeros provenientes del chancado se ven enfrentado a un paso peatonal adaptado y con características específicas. Sin embargo, el detalle de este punto se explica al final de esta sección de la Escalera JJ Latorre.



Figura 30 - Escalera JJ Latorre. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).

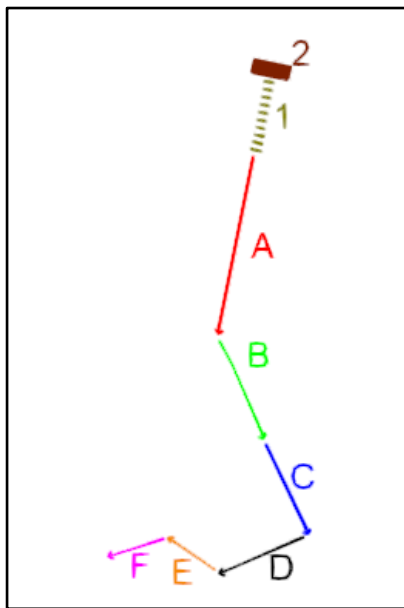


Figura 31 - Flujos de evacuación de la Escalera JJ Latorre. Fuente: Elaboración propia.

Los evacuados al arribar a los pies del tramo A, se encuentran con cinco cuerpos de escalinatas separados de cuatro secciones de transición, tal como se ve en la Figura 32 y Figura 33. Tanto las escaleras, como las pausas de este tramo cumplen las mismas características: las subidas cuentan con 16 peldaños, cada uno con una altura de 15,5 [cm] por 29,5 [cm] de largo, mientras que los otros elementos tienen un área igual a 4,16 [m²]. El ancho útil de toda esta sección corresponde a 2 [m]. La longitud total de esta escala es del orden de los 35 [m].

Si se observan las figuras mencionadas se puede evidenciar un claro deterioro propio del poco uso e importancia que este elemento de conexión tiene. Adicionalmente, no posee barandas,

dificultando la evacuación de personas del rango etario adulto mayor, o bien, con algún tipo de discapacidad.



Figura 32 - Tramo A escalera JJ Latorre con vista hacia el cerro. Fuente: *Elaboración propia.*

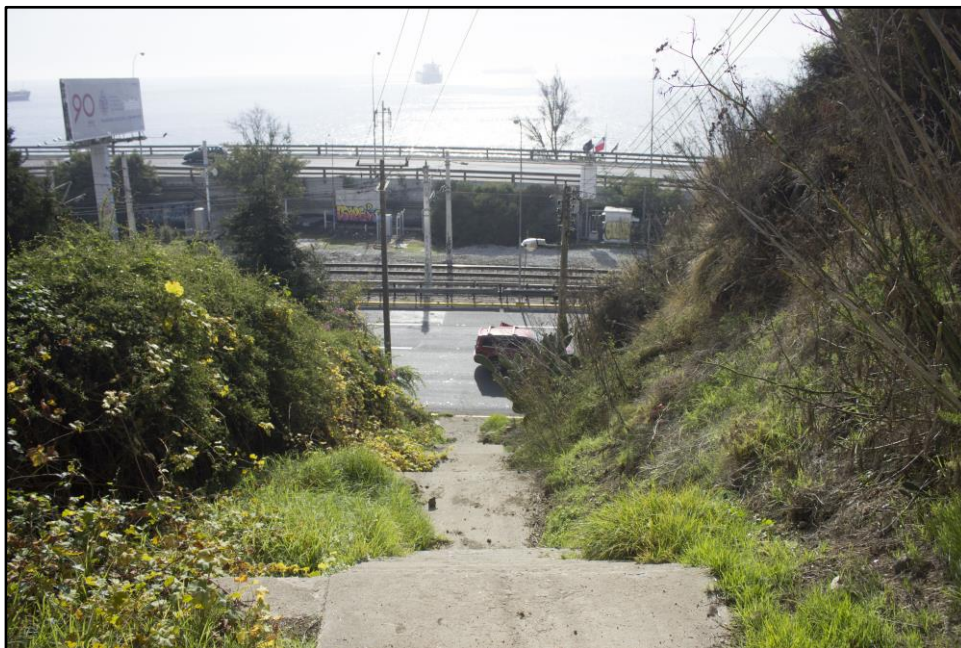


Figura 33 - Tramo A escalera JJ Latorre con vista hacia Avenida España. Fuente: *Elaboración propia.*

El tramo B, como se presenta en la Figura 34 y Figura 35, presenta una condición relativamente favorable para todos los evacuados, puesto que no tiene escalas ni desniveles que pudiesen disminuir la velocidad. No obstante, la trayectoria de esta sección tiene una leve curva la cual empalma con el tramo C. Este sector consta de un ancho útil de 2 [m] y una longitud de 26,5 [m].

Como se aprecia en las imágenes de este tramo, existe en el costado derecho de la vía una zanja, la cual eventualmente puede conllevar algún tipo de accidente menor. No obstante, en este tipo de evacuación una simple caída puede resultar fatal propio de alguna estampida que posiblemente pudiese ocurrir. Adicionalmente, esta zona se encuentra en estado de abandono o descuido. También destaca la presencia de viviendas al costado derecho de la calzada, mientras que al costado izquierdo hay un muro de mampostería de piedra de una elevación aproximada de 6 [m], el cual evita que existan derrumbes. Como referencia, sobre este muro se encuentra la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



Figura 34 Tramo B y C de la escala JJ Latorre con vista hacia el cerro. *Fuente: Elaboración propia.*

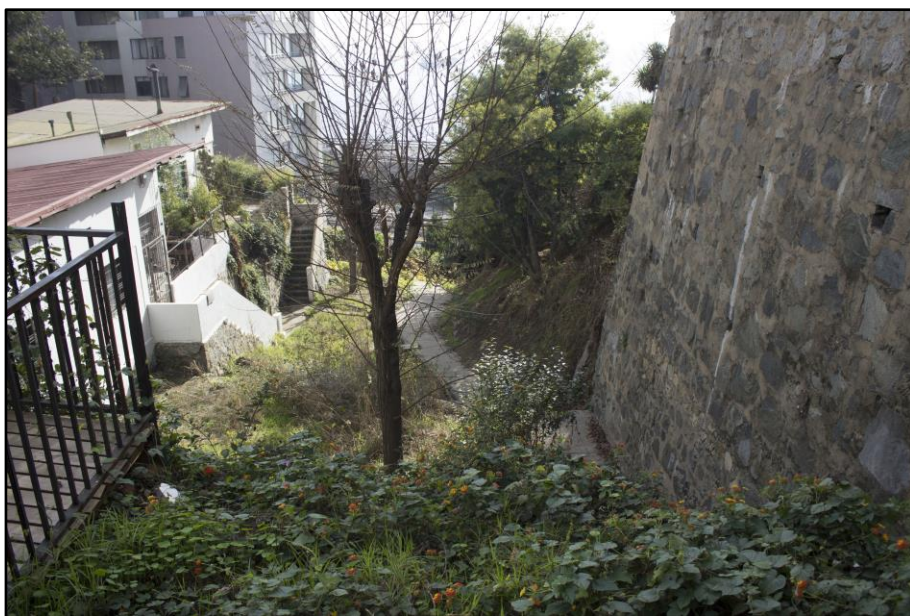


Figura 35 - Tramo B y C de la escala JJ Latorre con vista hacia Avenida España. *Fuente: Elaboración propia.*

El tramo C corresponde a la escalera que se ve al lado izquierdo de la Figura 34, y al costado derecho de la Figura 35. Este pequeño tramo tiene una longitud de 19 [m] y se compone de 2 cuerpos de escalas y 2 transiciones. La primera subida posee 7 peldaños de 36 [cm] de largo y 16 [cm] de alto, seguido de una transición de 9,2 [m²] de área. La siguiente escalera posee 25 escalones del mismo alto de los peldaños anteriores, pero con un largo de 32 [cm]. La última parte corresponde a una transición de un área equivalente a 4,3 [m²]. El ancho útil en este tramo se angosta de 2 [m] (tramo A y B) a 1,58 [m]. Esta disminución del ancho puede generar el segundo cuello de botella disminuyendo la velocidad, lo cual afecta directamente al tiempo de evacuación.

Además este tramo posee baranda al costado derecho para evitar caídas a los arbustos, mientras que en el costado derecho se presenta el mismo muro ya mencionado en el tramo B. Cabe señalar, que el flujo al estar de cierta manera confinado, puede generar con mayor facilidad aplastamientos o accidentes por la presión generada por los mismos evacuados, volviendo vulnerables a los adultos mayores, niños y discapacitados (División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi, 2002).

El tramo D, representado por la Figura 36 y Figura 37, presenta tres subidas y dos secciones planas. La primera sección consta de 10 escalones, cada uno de 15 [cm] de alto por 35 [cm] de largo. La transición que prosigue, corresponde al acceso de entrada al domicilio que se ve a la derecha de la primera de las figuras de este párrafo. El área de esta porción es de 1,42 [m²]. Posterior a esto, viene el segundo tramo de escala, la cual tiene 6 peldaños de 15 [cm] de alto por 33,5 [cm] de largo. La última parte sin inclinación tiene un área de 3,8 [m²]. Finalmente, el cuerpo de escala que termina este tramo posee 14 peldaños cuyas dimensiones son 15 [cm] de alto por 32 [cm] de largo. El ancho útil es constante y tiene una magnitud de 1,48 [m].

Cabe mencionar que al igual que el tramo C, al estar relativamente confinada la escala puede generar algún tipo de accidente de consideraciones. Adicionalmente y propio de la altura a la cual la escala se encuentra, en caso de que la presión generada por las personas expulse a una de las mismas por el costado que no posee muro, podría presentarse un accidente aun mayor.

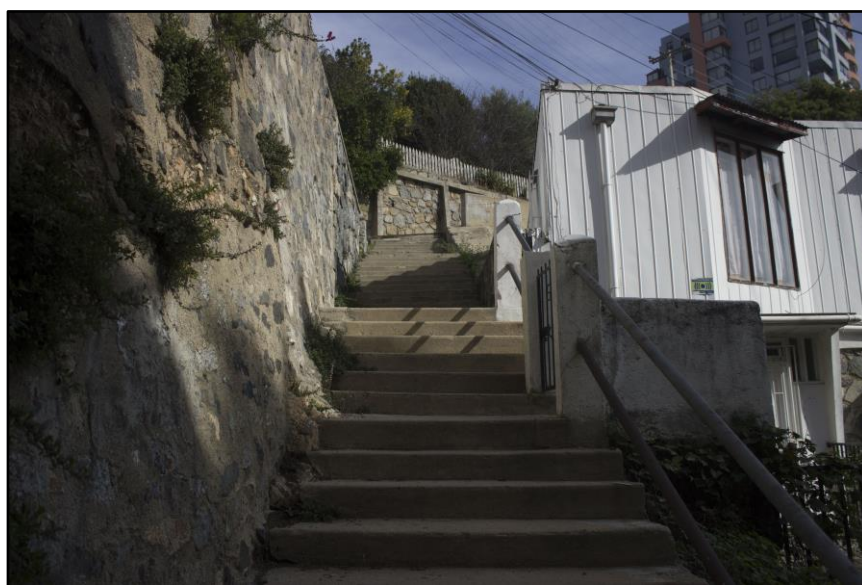


Figura 36 - Tramo D de la escala JJ Latorre con vista hacia el cerro. Fuente: Elaboración propia.

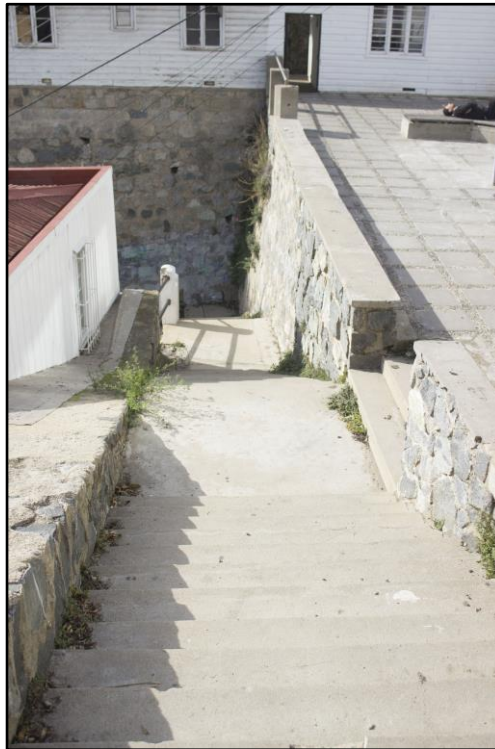


Figura 37 - Tramo D de la escala JJ Latorre con vista el tramo C. Fuente: *Elaboración propia.*

El tramo E, al igual que el tramo B, no presenta mayor dificultad para transitar puesto que no presenta escalas ni desniveles. Esto se puede apreciar en la Figura 38 y Figura 39. La parte pavimentada tiene un ancho de 2,8 [m], mientras que la franja con pasto tiene un ancho de 1 [m], lo que equivale a un ancho útil de 3,8 [m]. Por otra parte la longitud es igual a 15,3 [m]. Se asume que en caso de una emergencia, el área verde también sería potencialmente utilizada, sin embargo y como se ve al final de la Figura 38, la vía se angosta casi en un 50 por ciento.

Al igual que en los últimos dos tramos, podría existir un potencial flujo confinado volviendo vulnerables a los evacuados a sufrir accidentes por estampida, avalancha o aplastamiento.



Figura 38 - Escalera Solución con vista hacia Punto F, desde el Punto E. Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 39 - Escalera Solución con vista hacia Punto E, desde el Punto F. Fuente: *Elaboración propia.*

El tramo F, corresponde a la última sección de escala de todo el acceso JJ Latorre, tal como se ve en la Figura 40. Posterior a esto los evacuados se encuentran en la calle del mismo nombre que la escala en cuestión. No obstante, la escalera presente en este tramo tiene 15 peldaños de 15,5 [cm] de alto por 30 [cm] de largo. El ancho útil es de 2,20 [m].

Tal como se mencionó en el tramo anterior, al haber un angostamiento en el acceso a esta parte de la escala se podría presentar un eventual cuello de botella, el cual podría acrecentar una demora en tiempo de evacuación debido a la rigidez de los bordes.

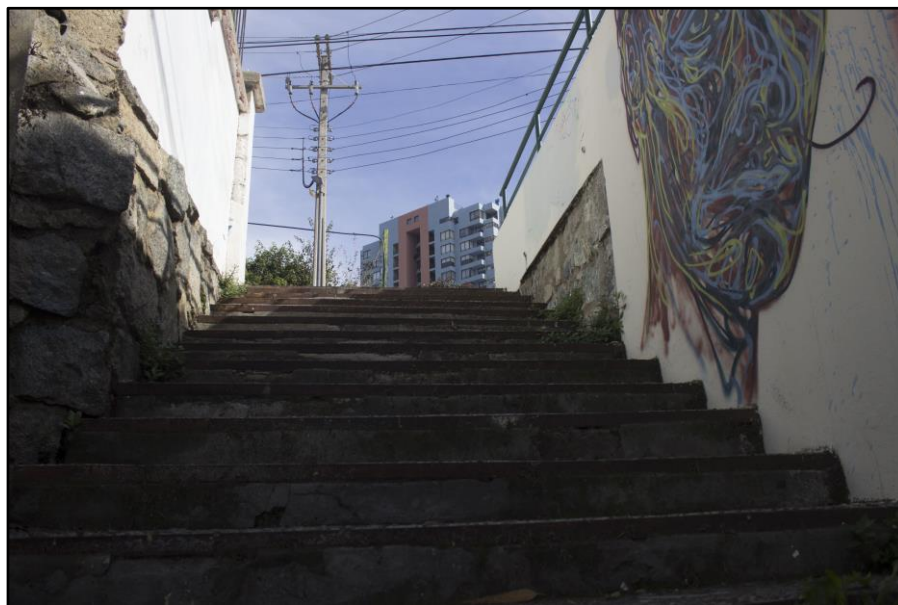


Figura 40 - Escalera Solución con vista hacia Punto G, desde el Punto F. Fuente: *Elaboración propia.*

La Figura 41 corresponde al arribo a la calle JJ Latorre, siendo este punto considerado como zona segura debido a que se encuentra a una cota sobre los 30 m.s.n.m. (ONEMI, 2016) .

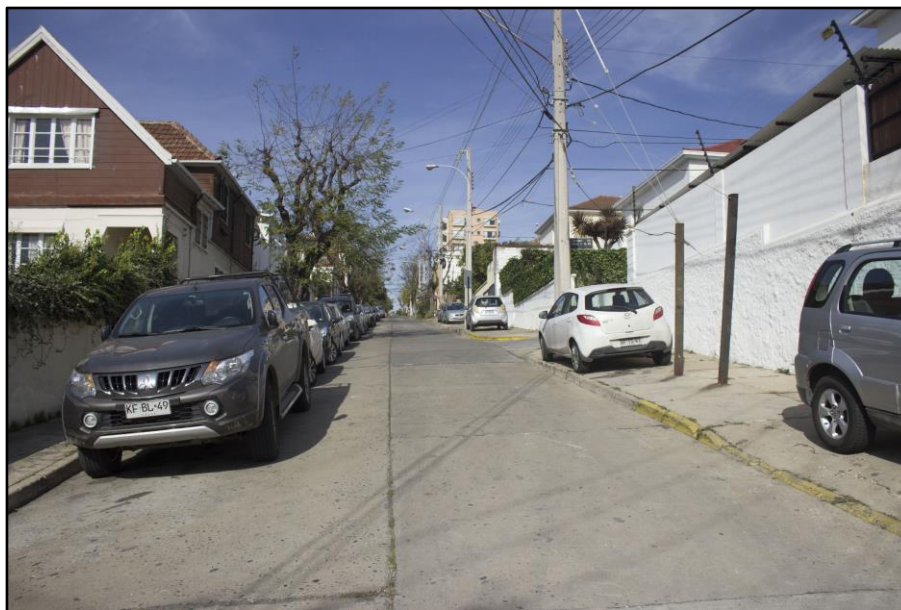


Figura 41 - Escalera Solución con vista hacia la zona de evacuación, desde el Punto G. Fuente: *Elaboración propia.*

Como se mencionó al inicio de este apartado, esta caracterización considera una segunda parte importante a explicar del acceso a la escala JJ Latorre. Este consiste en implementar una rampla tipo pasarela que una la trayectoria de los evacuados con la Avenida España, tal como se presenta en el número 2 de la Figura 31. Adicionalmente, se debe demarcar con la señalética

típica de paso peatonal toda la calzada (número 1 de la misma figura en cuestión). Sin embargo, esto solo se presenta de manera conceptual, puesto que el objetivo de este proyecto es evidenciar los problemas de evacuación por tsunami como lo son los tiempos de evacuación, cantidad de posibles muertes y velocidades de evacuación.

Se debe asumir que el escenario explicado podría empeorar aún más, por ejemplo si la evacuación ocurre de noche, donde la visión disminuye generando una disminución en la velocidad e incluso hasta en la toma de decisiones. Esto afecta directamente a los tiempos de evacuación y a la tasa de mortalidad. No obstante, se debe obligatoriamente estar preparado para un escenario así.

6.1.4 DEFINICIÓN DE RUGOSIDADES EXPERIMENTALES

De la sección 6.1.2, se puede deducir que existen dos tipos de suelos a los que se ve enfrentado cada agente al momento de evacuar: chancado y calles o accesos de evacuación. También los pasajeros se enfrentan a muchas escaleras, no obstante y como se ha mencionado antes, éstas no afectan en la rugosidad de los modelos implementados, puesto que solo asumen la rugosidad del pavimento. En primer lugar, el chancado produce una mayor disminución en los desplazamientos, propio de los elementos que lo conforman. Por otra parte, las calles y accesos de evacuación, si bien afectan la velocidad, no son considerablemente importantes para disminuir este elemento. Es debido a esto que se han tomado en cuenta para todos los escenarios las rugosidades arbitrarias, definidas teóricamente y con el fin de entregarle la magnitud correspondiente a cada terreno. Cabe mencionar que estos valores han sido escogido arbitrariamente, puesto que no existe información clara acerca de valores de rugosidad. En la Tabla 8, se presentan los factores considerados para cada lugar.

Otro elemento que se debe tener en consideración corresponde a la presencia de basuras y escombros presentes junto a la línea. Éstos pueden generar entorpecimiento en la evacuación, disminuyendo la velocidad. No obstante, estos elementos han considerado la misma rugosidad que el chancado.

Tabla 8 - Factores de rugosidad experimental empleados en las simulaciones. Fuente: *Elaboración propia.*

Terreno	Factor de Rugosidad
Chancado de la línea férrea	0,4
Material del piso de los vagones y Hormigón de las calles	0,8

6.1.5 PLANOS DE LOS MODELOS A SIMULAR EN NETLOGO

Tal como se explicó en la sección 5.1, el plano fue obtenido desde la página de internet Geoportal, con el fin de crear una imagen en formato png para poder ser utilizada en los modelos de NetLogo. A continuación, se presenta la Figura 42 la cual presenta la zona de estudio visualizado desde el Geoportal.

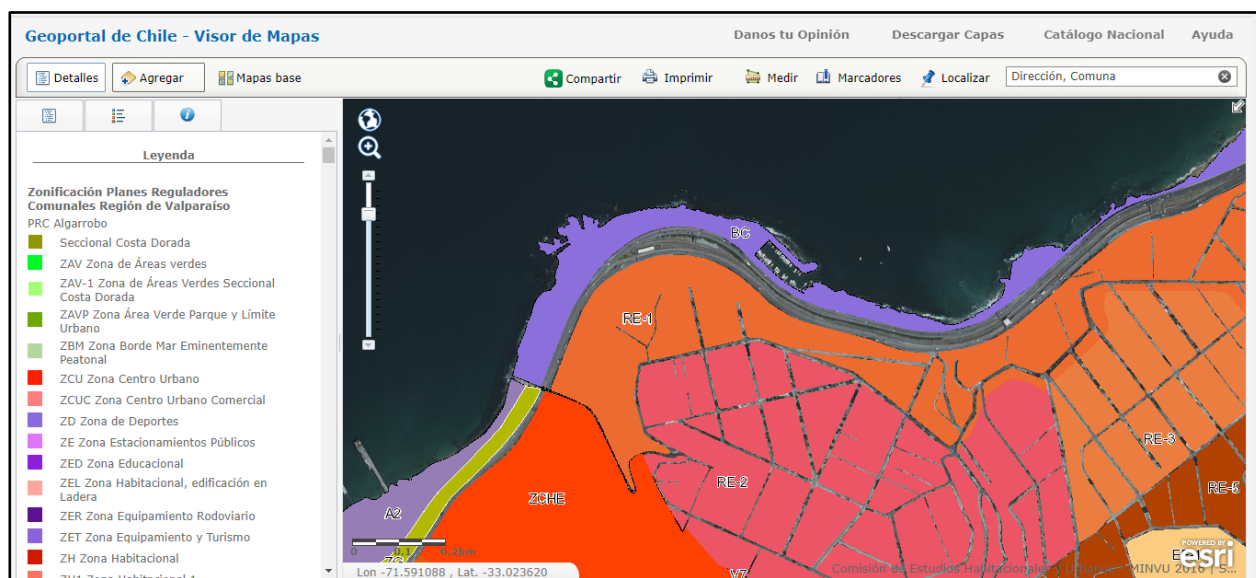


Figura 42 - Zona de estudio visualizado desde el Geoportal. Fuente: Elaboración propia.

Al ser extraída la información, se procedió a completar en Photoshop (versión trial) los detalles del plano a utilizar en los modelos. En específico, se remarcaron las vías férreas, vías de automóviles, Estación de Recreo, subestación eléctrica de la empresa ferroviaria y el océano, tal como se presenta en la Figura 19 de la sección 5.4. Para efectos del plano con proyecto, escenarios CP, se debió agregar color azul en la zona de la escalera, cerca de la subestación eléctrica. Esto se realizó, debido a que los agentes en el modelo toman decisiones en base a los colores de los *patches* predeterminados en el código del mismo. Por ende, una pequeña falla en las tonalidades del modelo podría generar movimientos erráticos por parte de los evacuados.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Como se ha mencionado en el capítulo 5.2, se ha considerado el terremoto del 8 de julio de 1730 como el escenario de amenaza por tsunami a evaluar. Según los registros históricos ha sido el único evento de carácter tsunamigénico destructivo que afectó a diversos sectores costeros a lo largo de Chile y otras partes del mundo, según explican las recopilaciones y análisis de crónicas de testigos oculares de los fenómenos de ese día obtenidas de archivos nacionales como internacionales (Carvajal, 2015).

El terremoto tuvo una magnitud M8.5-9 y un nivel de destrucción casi total de Valparaíso, incluyendo los cerros. Se debe considerar que en esa época el tamaño de la ciudad era mucho menor y su suelo blando (Lomnitz, citado por Flores 2016). El área dañada fue de 1000 [km] y abarcó desde Copiapó hasta Concepción, tal como se muestra en la Figura 43. El área de ruptura fue mayor al del terremoto de 1657 abarcando un área dos veces mayor en longitud (Flores, 2016).

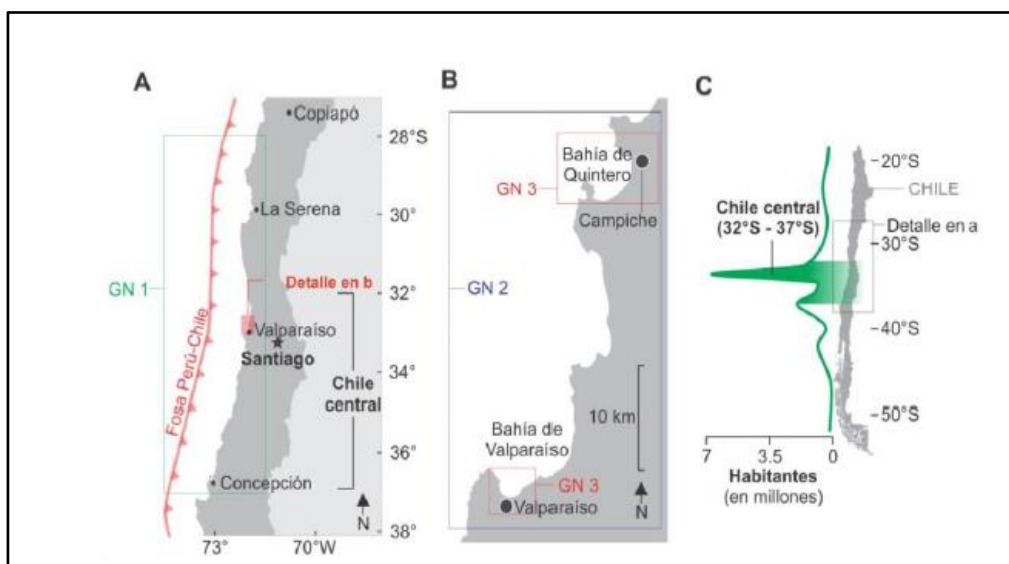


Figura 43 - Territorio afectado por el terremoto de 1730. Fuente: Carvajal (2015).

Propio del fuerte movimiento se produjo un tsunami de magnitudes cuyos efectos se pudieron percibir desde Coquimbo hasta Valdivia según Montessus de Balore, citado por Flores (2016). Pese a la magnitud del evento y posterior tsunami, la tasa de mortalidad fue baja debido a la actuar de la población que se refugió en las alturas de los cerros (Flores, 2016). El poder destructivo fue tan alto que su propagación llegó hasta el otro extremo del Océano Pacífico, específicamente a la península de Oshika, al noreste de Honshu, en Japón (Carvajal, 2015). En la localidad de Callao, Perú, también se registraron daños debido al tsunami (Lomnitz, citado por Flores 2016).

Se infiere que la calidad de la información no tiene un fuerte fundamento científico debido a la fecha del evento. No obstante, desde el año 2011 se han realizado grandes aportes científicos del terremoto y tsunami de 1730. Cisternas et al. (2011) postulan que el plano de ruptura del terremoto corresponde a un multidominio con una ruptura segmentada por porciones, lo que significa que, la zona no se fracturó solo en una gran parte, sino que fueron varias fracturas de menor envergadura con la probabilidad de ocurrencia de más de un terremoto y tsunami. Es en base a esto que Carvajal (2015), asegura que el desastre no fue un evento aislado, sino que fue de al menos dos terremotos independientes con tsunamis independientes. El primer sismo ocurrió alrededor de las 01:30, y el segundo a las 04:30, siendo este último el más destructivo.

Estudios como los de Carvajal (2015) y Quiroz et al. (2014) han agregado información con respecto a este terremoto. El primero de los autores, por medio de una gran recopilación histórica nacional e internacional, realizó una reconstrucción de información con el fin de determinar la topografía de la bahía de Valparaíso al momento de ocurrir el terremoto. Posteriormente, georreferenció los datos a la ciudad actual, y así, más el uso de varios modelos de ruptura se pudo obtener la planicie de inundación, la cual fue contrapuesta con la evidencia existente y los registros geológicos de la Bahía de Quintero, obteniendo el escenario final ajustado a la información recopilada.

En base a los resultados, Carvajal (2015) corrobora que el terremoto de 1730 ha sido subestimado y no contó con una ruptura homogénea y continua. Según la recopilación y en base

a la reproducción de los perfiles topográficos, el run up máximo de inundación fue de 10,7 m.s.n.m. en el sector colonial del convento de San Agustín y de 8,7 m.s.n.m. en el convento de La Merced y en la colonia de la Iglesia La Matriz. Esto se puede apreciar en la Figura 44 presente a continuación. Adicionalmente, el mismo autor agrega que el terremoto fluctuó entre Mw 9-9.1 para una ruptura multidominio del tipo ABC, como se presenta en la Figura 45. La longitud de ruptura fluctúa entre 600 y 800 kilómetros, liberando al menos 1.7 veces más energía que el terremoto del Maule en el 2010 (Mw 8.8).

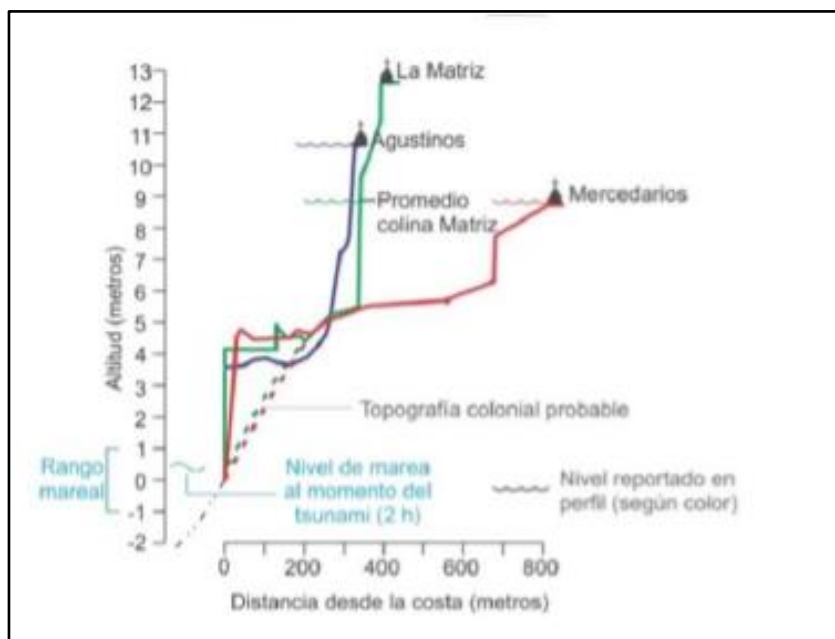


Figura 44 - Perfiles topográficos y nivel de inundación según reportes históricos. Fuente: Carvajal (2015).

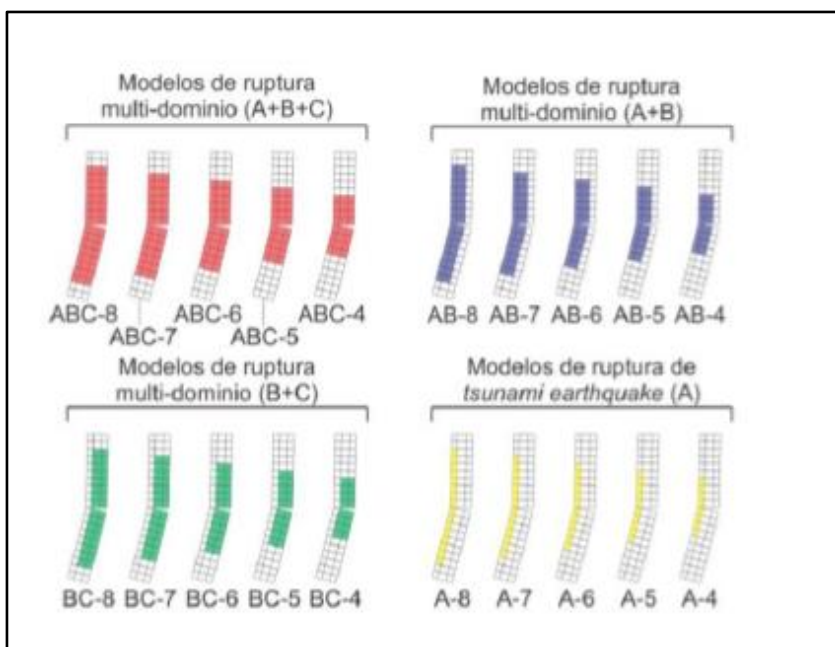


Figura 45 - Modelos de ruptura. Fuente: Carvajal (2015).

Quiroz et al. (2014) también ha estudiado el plano de ruptura del terremoto en cuestión. En su trabajo se han estudiado dos modelos: el primero se asemeja a los cálculos realizados por el SHOA en la carta de inundación de la Región de Valparaíso. Para esto se ha asumido una falla plana (S) de 450 [km] de longitud y 120 [km] de ancho; el otro modelo ha considerado una falla de tres segmentos (S1, S2 y S3, ver Figura 46). Este autor, al igual que Carvajal (2015), concuerda que ocurrieron dos terremotos independientes con tsunamis independientes. Adicionalmente considera un último sismo de menor envergadura.

Los resultados obtenidos por Quiroz et al. (2014) explican que el modelo con mejor ajuste fue el FFM-3, cuya ruptura considera los segmentos S1 y S2 con una falla que no fue simultánea, de ahí el origen de los dos eventos que postulan ambos investigadores. El segmento S1 logra alcanzar una amplitud de onda de 2 [m], mientras que el segmento S2 alcanza una de 8 [m]. El área de inundación calculada corresponde a 8 [m], como se presenta en la Figura 47.

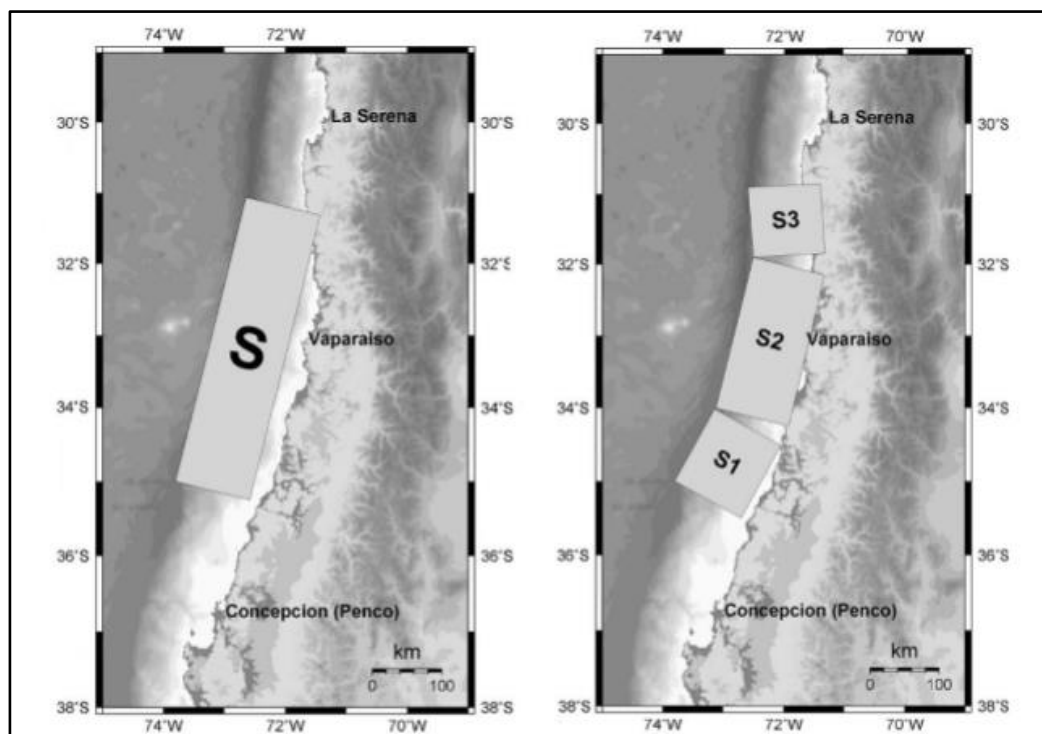


Figura 46 - Modelos de ruptura del terremoto de 1730. Fuente: Quiroz et al. (2014).

Pese al mejor ajuste del modelo FFM-3 con respecto al escenario, se debe mencionar que el modelo de falla plana (PFM) arroja una mayor área de inundación, la cual alcanzaría el Congreso Nacional y el convento San Agustín con alturas de inundación mayores a 10 metros, tal como se aprecia en la Figura 47. No obstante, se debe mencionar que el modelo PFM está sobrestimado, más aún, si se toma en consideración que en la época en la que ocurrió el terremoto, la línea de costa estaba situada a la mitad de distancia de lo que actualmente se encuentra (línea continua de la Figura 47).

En conclusión, tanto Carvajal (2015) como Quiroz et al. (2014) concuerdan con que la ruptura del terremoto de 1730 no fue plana ni continua como postula el SHOA en las cartas de inundación de la Región de Valparaíso, sino más bien fueron dos segmentos los fracturados.

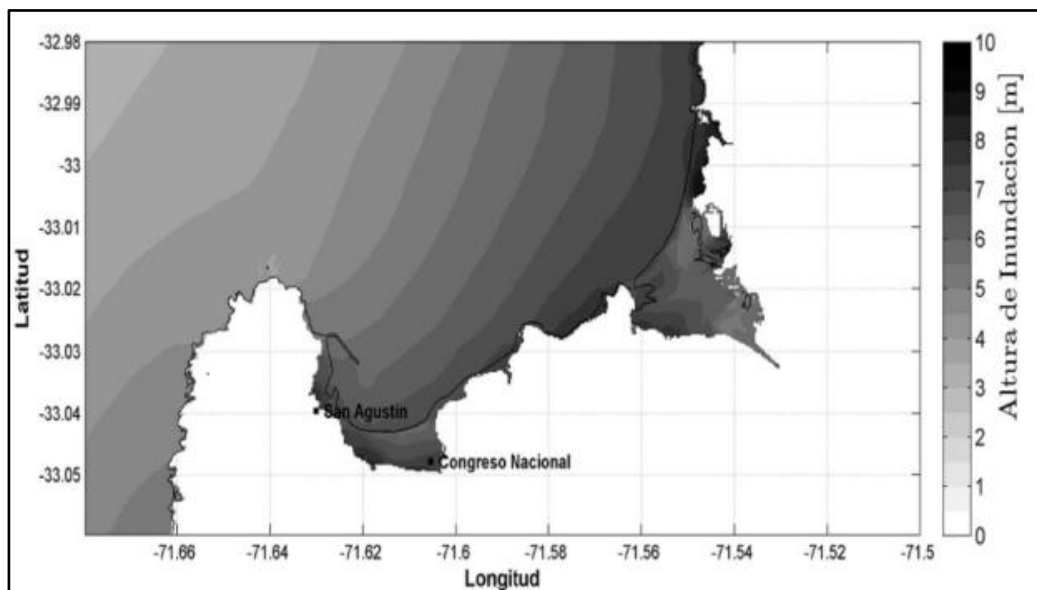


Figura 47 - Área de inundación y tsunami de 1730 según modelo FFM-3. Fuente: Quiroz et al. (2014).

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PERSONAS

La caracterización de las personas se considera un componente útil para poder realizar el modelo de evacuación de pasajeros expuestos a un tsunami. Cabe mencionar que debido a las limitaciones del mismo, este elemento perdió importancia, sin embargo, es considerado relevante para este tipo de estudio. Es por ello que la caracterización de las personas se ha considerado de manera experimental y, adicionalmente, se insta a analizar este componente en futuras investigaciones.

Este estudio, en específico la ejecución del instrumento, no cumplen con el criterio de aleatoriedad. Esto quiere decir que, al momento de realizar la encuesta, las personas no fueron escogidas estrictamente al azar, aún cuando el criterio de selección no tuvo un grupo objetivo específico. No obstante, las encuestas realizadas, y tal como se mencionó en la sección 5.3.4, se realizaron en dos tramos donde la población no fue previamente escogida para ser consultada.

Las principales conclusiones del análisis estadístico hacen referencia a la importancia de la nacionalidad y el rango etario, debido a que ambos parámetros son importantes al momento de analizar los métodos de evacuación. La nacionalidad chilena, en su gran mayoría, responde a los estándares esperados de una población que constantemente se encuentra expuesta a una potencial amenaza de tsunami. En su contraparte, las nacionalidades extranjeras encuestadas, en su gran mayoría, presentan respuestas que evidencian falta de educación en estos temas.

El rango etario por otra parte, presenta falencias claras en los adolescentes y adultos mayores, siendo el primer grupo el más complejo respecto a las respuestas entregadas. Es de suma

importancia que se eduque y conscientice a este sector de la población. Al mismo tiempo, los rangos adulto joven y adulto medio presentan las respuestas acorde a una población educada frente a este tipo de amenaza. Los resultados de las preguntas consideradas en este estudio, fueron analizadas y se encuentran explicadas en el anexo 9.1.

Los tres criterios mencionados en la sección 5.3.1 también se vieron afectados a variaciones. En primer lugar, los niveles de conocimiento y autocontrol se han considerado de manera conceptual. Se espera que estos dos criterios sean explorados y mejorados en futuras investigaciones de manera de mejorar este modelo.

Análogamente, la velocidad de desplazamiento ha sido considerada en el código del modelo, siendo este elemento el criterio fundamental de la simulación. Debido al 10,1% de adultos mayores encuestados, se ha estimado conveniente realizar algunas simulaciones con velocidades mínimas con el objetivo de evaluar los comportamientos de este segmento de la población, el cual de por sí ya es altamente vulnerable.

En relación a lo mencionado previamente, se presenta a continuación los porcentajes asociados a la pregunta 8 de la encuesta. Cabe mencionar que es esta pregunta la que tiene directa relación con el modelo. Al mismo tiempo, el resto de preguntas analizadas se presentan en el anexo 9.1.

6.3.1 PREGUNTA 8: ¿POSEE USTED ALGUNA DISCAPACIDAD?

Esta pregunta del instrumento busca evaluar el porcentaje de personas discapacitadas a fin de poder caracterizar la velocidad de desplazamiento de los evacuados en el modelo. Esto se agudiza en casos donde hay discapacidad, afectando en la movilidad del evacuado. No obstante, la velocidad puede disminuir aún más si el terreno es irregular, como es el caso del chancado donde se ubican las líneas férreas.

Como se puede ver a continuación en la Figura 48, de los 207 encuestados existe un 99% del total que aseguran no tener ningún tipo de discapacidad. En general, la diferencia entre hombres y mujeres es de 9 personas, siendo el sexo femenino el grupo que presenta la mayor cantidad con un 52% de los encuestados. Por otra parte, del 48% de hombres, el 1% corresponde a personas con discapacidad.

A continuación, expone el desglose de la información de la Figura 48 en nacionalidad y rango etario.

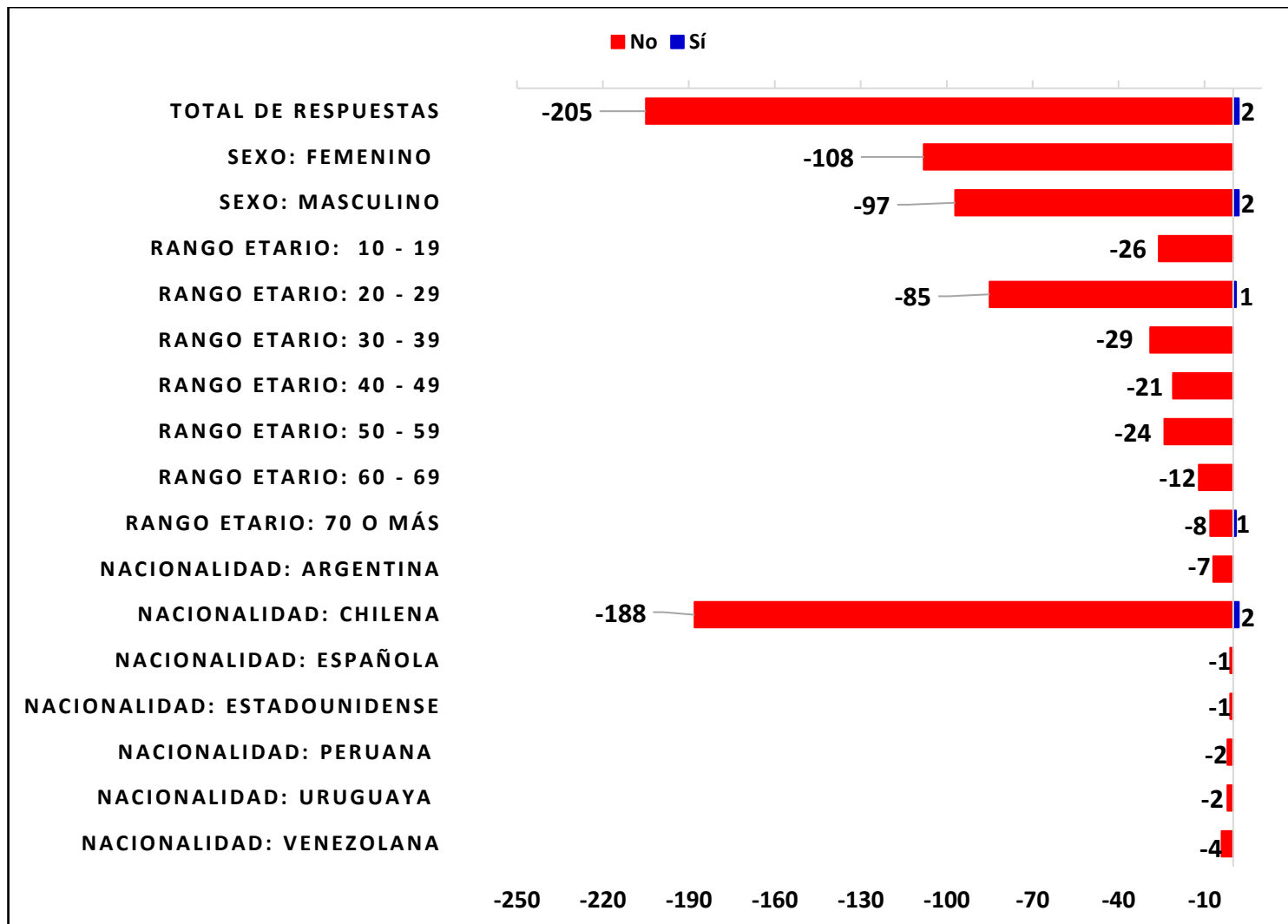


Figura 48 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 8. Fuente: Elaboración propia.

I. NACIONALIDAD

Como se puede apreciar en la Figura 49, el 100% de los encuestados que dijeron tener discapacidad son de nacionalidad chilena. Estas personas corresponden al 1% del total de encuestados.

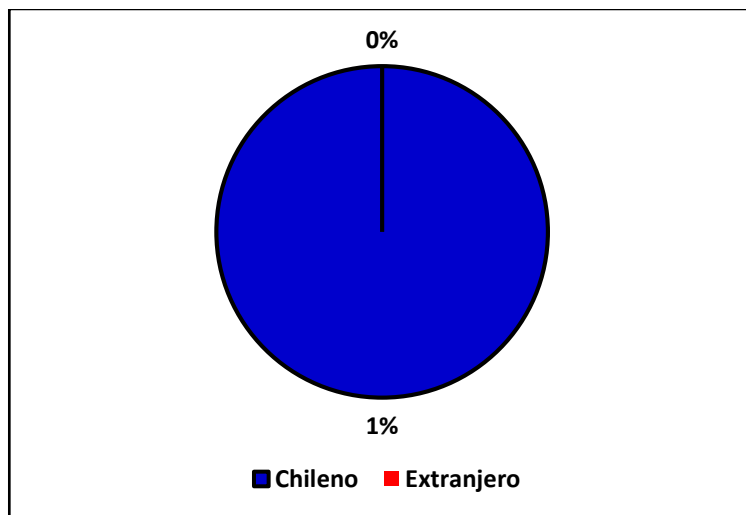


Figura 49 - Respuesta afirmativa de la pregunta 8 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.

El 99% de encuestados que dijeron no tener discapacidades se descomponen en un 8% de extranjeros y un 91% de chilenos, tal como se puede apreciar en la Figura 50. De esta manera queda evidenciado teóricamente que de 100 personas solo 1 aproximadamente presenta discapacidad, facilitando de una u otra manera la evacuación.

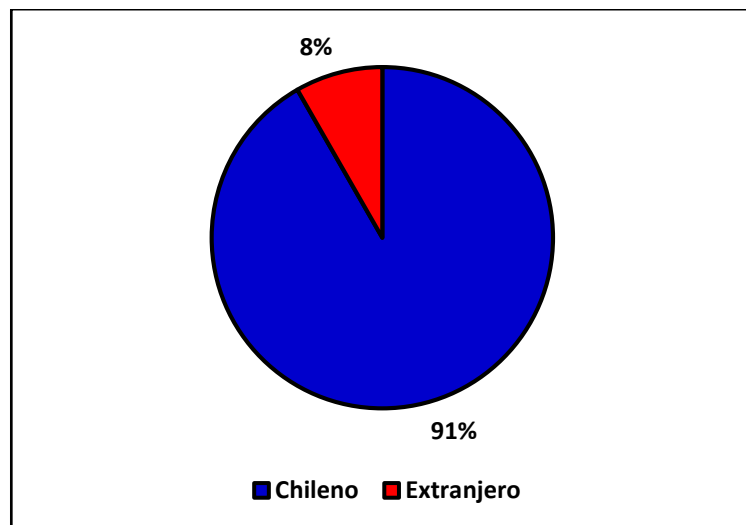


Figura 50 - Respuesta negativa de la pregunta 8 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.

II. RANGO ETARIO

En la Figura 51, se presenta la respuesta afirmativa de la pregunta 8 basado en el rango etario. Como se mencionó al inicio de esta sección, son solo dos las personas que sí dijeron tener discapacidades. Estas corresponden a dos rangos etarios distintos, siendo el primero perteneciente a la categoría Adulto Joven, y la segunda persona a la categoría Adulto Mayor. Cada uno corresponde al 0,5% del total de encuestados.

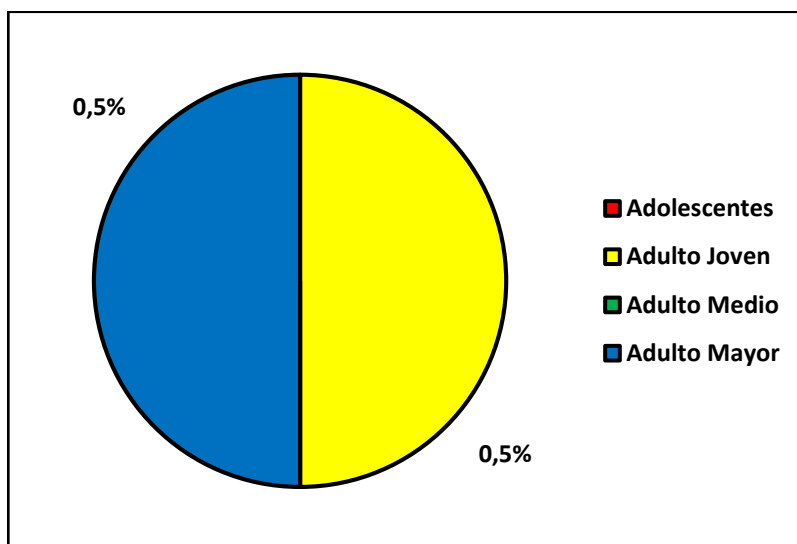


Figura 51 - Respuesta afirmativa de la pregunta 8 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, del 99% restante de los encuestados que aseguran no tener ninguna discapacidad, el desglose corresponde a: 13% de adolescentes, 55% adulto joven, 22% adulto medio y 10% adulto mayor, tal como muestra la Figura 52.

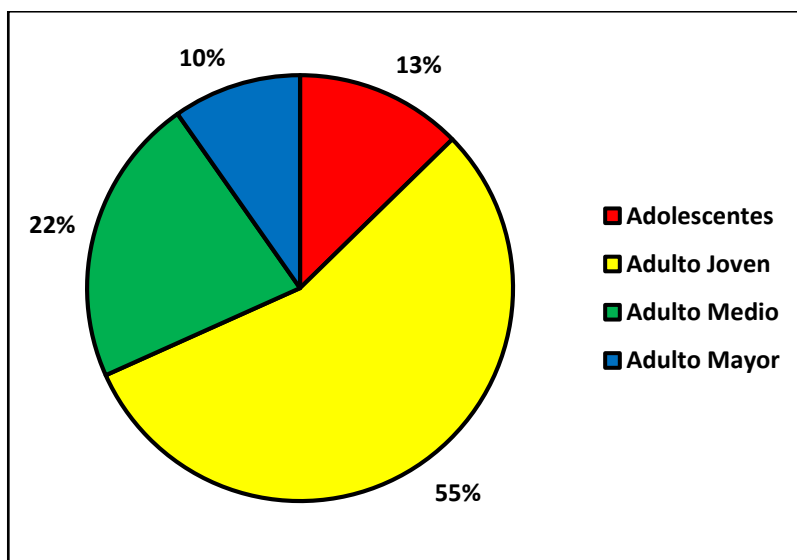


Figura 52 - Respuesta negativa de la pregunta 8 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

6.4 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE AGENTES USANDO NETLOGO

En las secciones de este capítulo se presentan los resultados de los modelos correspondientes a la situación actual y la solución. En primer lugar, se presentan las situaciones actuales (SP), evidenciando claramente una zona crítica. Posterior al análisis de este escenario, se exponen los resultados de las simulaciones con proyecto (CP). Cabe señalar, que se han realizado 5 repeticiones para cada una de las simulaciones con el objetivo de saber variaciones de los tiempos de arribo de cada una de éstas.

6.4.1 SIMULACIONES SIN PROYECTO (SP0)

Las simulaciones sin proyecto, con un agente y a velocidad mínima según la FEMA (2008) ejecutadas en esta sección, han sido evaluadas para cada uno de los tramos presentes en la Figura 20. Estas subdivisiones del espacio, presentan comportamientos esperables con respecto a la trayectoria de los agentes, y por ende, a los tiempos de evacuación. Es este último criterio, el que determina cual trazado es el más crítico.

A continuación se presenta la Tabla 9, que expone los tiempos de evacuación correspondientes a las 5 simulaciones de cada subdivisión de la zona de estudio.

Tabla 9 - Tiempos de evacuación correspondientes a las subdivisiones de la zona de estudio para los escenarios SP0. Fuente: Elaboración propia.

	Tiempo de Evacuación	SP0-I	SP0-II	SP0-III	SP0-IV	SP0-V
ZONA A	[min]	40'18"	41'01"	40'43"	40'52"	41'58"
ZONA B	[min]	27'04"	26'22"	26'08"	20'34"	21'21"
ZONA C	[min]	13'47"	13'26"	13'32"	15'00"	14'13"

Como se aprecia en la tabla anterior, las simulaciones de la zona A (SP0-A) presentan los tiempos de evacuación más altos, siendo la quinta ejecución el valor máximo que corresponde a 41 minutos con 58 segundos. La zona B (SP0-B), presenta valores intermedios los cuales oscilan entre los 20 y 27 minutos aproximadamente. Por último, la zona C (SP0-C) presenta los menores tiempos.

A continuación se presenta la Figura 53, la cual muestra las trayectorias asociadas a los tiempos máximos, obtenidas de las simulaciones de cada zona,. En ella se puede evidenciar de manera gráfica, lo que se ha explicado en la Tabla 9. Adicionalmente, la Figura 54 georreferencia las trayectorias con el fin de visualizar in situ el comportamiento de las mismas.

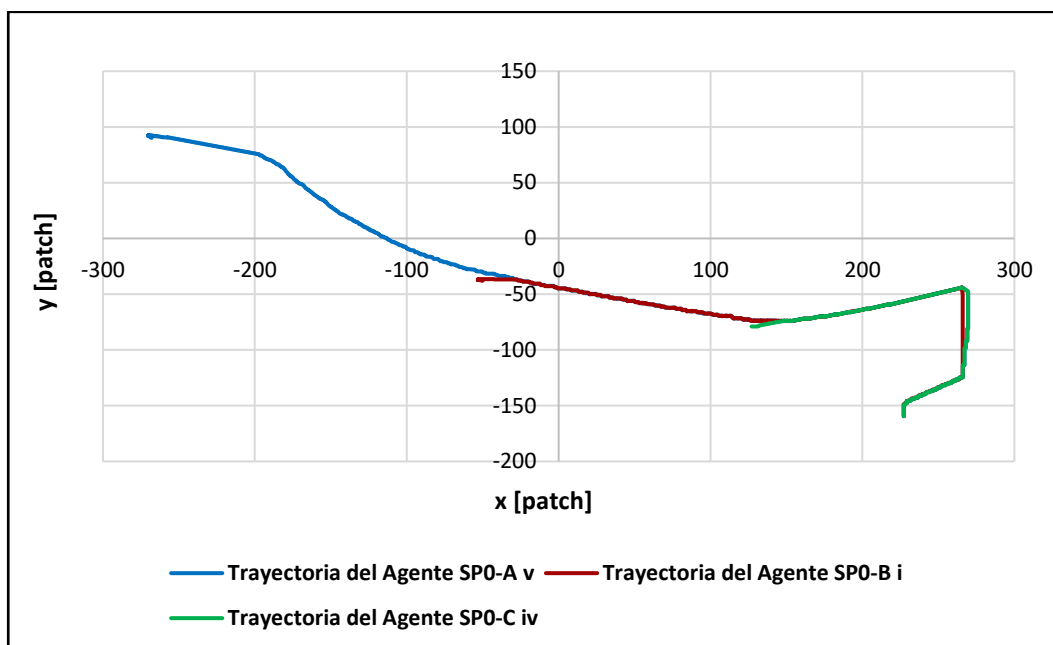


Figura 53 - Comparación de las trayectorias de los agentes con respecto a las simulaciones SP0. Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 54 - Georreferenciación de las trayectorias de las simulaciones SP0. Fuente: *Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).*

La Figura 55, presenta la relación entre la velocidad de desplazamiento del agente y el tiempo. Aquí se observa cómo la simulación SP0-A V, de color azul, tiene un tiempo de evacuación mayor a las otras. También en esta figura, se ven diferencias en el inicio de la evacuación producidas por las distancias de generación de los agentes con respecto a la puerta del vagón más cercana. No obstante, los valores de las velocidades son los mismos debido a la configuración del código.

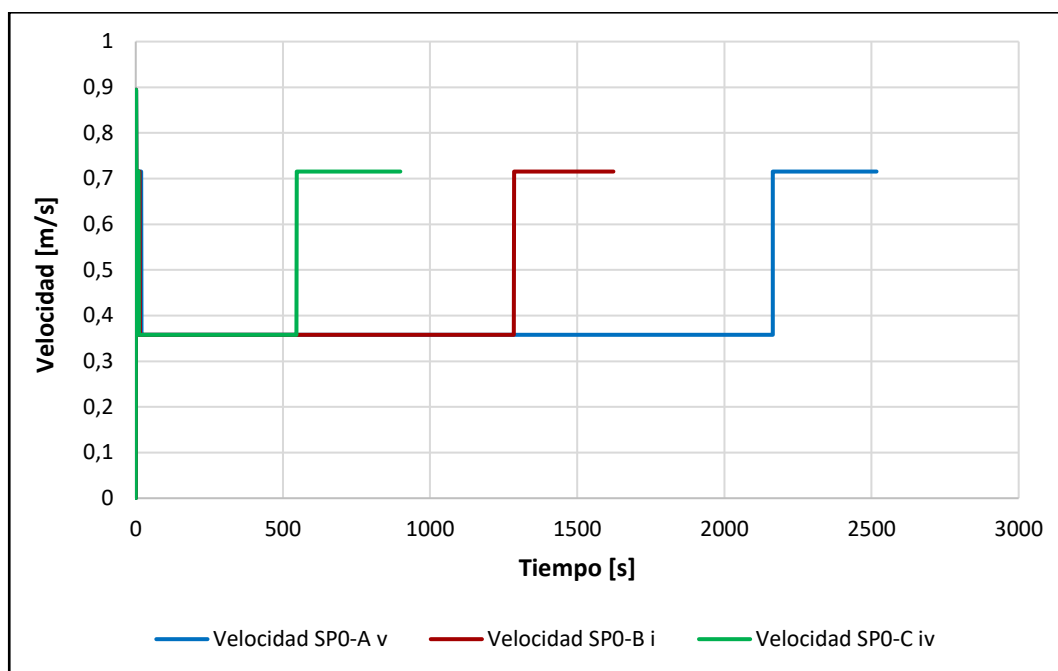


Figura 55 – Comparación de la relación velocidad de desplazamiento y el tiempo con respecto a las simulaciones SP0. Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 SIMULACIONES DE ESCENARIOS SIN PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN EN LA ZONA A (SP1, 2, 3 Y 4)

Para efectos de estas simulaciones se ha considerado: dos trenes ubicados en cada una de las vías férreas a la misma altura con respecto a la coordenada X del plano, y una ocupación máxima por tren de 142 agentes, es decir, 284 agentes evacuando en total.

A continuación se presenta la Tabla 10, la cual muestra los tiempos de evacuación obtenidos de las simulaciones realizadas a cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 6, es decir, con diferentes velocidades pero evaluados para la zona A.

Tabla 10 - Tiempos de evacuación de los escenarios sin proyecto, a máxima capacidad y evaluados según velocidades predeterminadas por Tabla 6. Fuente: Elaboración propia.

	Tiempo de Evacuación	I	II	III	IV	V
SP1-A	[min]	21'27"	21'31"	21'36"	21'30"	21'29"
SP2-A	[min]	25'06"	25'03"	25'03"	25'09"	25'10"
SP3-A	[min]	42'02"	40'19"	40'18"	40'23"	40'17"
SP4-A	[min]	34'22"	34'19"	34'28"	34'28"	34'20"

De la tabla anterior se puede concluir nuevamente que los tiempos de evacuación son susceptibles a la variación en la velocidad. Por ejemplo, si se comparan los tiempos SP1-A con los de SP3-A, se puede evidenciar una diferencia notoria la cual equivale casi a la mitad del tiempo. En definitiva, una persona sin problemas de discapacidad evacúa en la mitad del tiempo de una con problemas de desplazamiento. No obstante, cabe señalar que este escenario crítico aún en su mejor tiempo, sigue siendo excesivamente lento. Esto deja en evidencia la necesidad de mejorar las vías de evacuación, o bien, el plan de evacuación de la empresa ferroviaria.

La Figura 56 se ha expuesto para demostrar cómo afecta la variación de la velocidad en el tiempo. Por ende, se debe mejorar el tiempo de evacuación por tsunami en la zona de estudio para los escenarios en donde los evacuados no presentan dificultad de desplazamiento y, cuando éstos presentan alguna discapacidad o bien se encuentra en un rango etario donde el desplazamiento se ve más afectado.

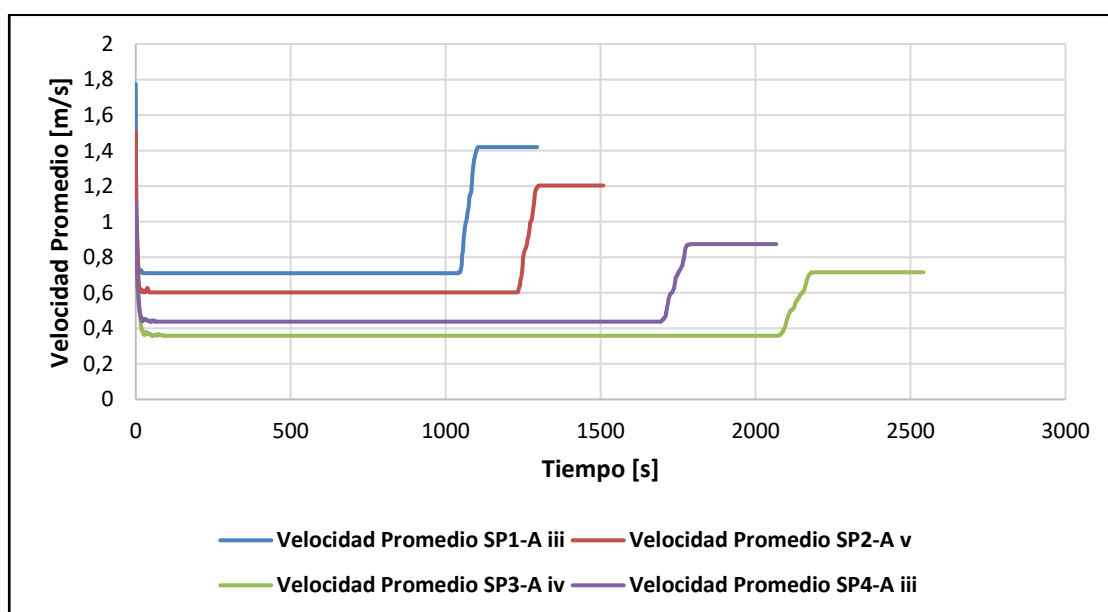


Figura 56 - Comparación de la velocidad promedio y el tiempo de los cuatro escenarios sin proyecto, con capacidad llena. Fuente: Elaboración propia.

6.4.3 SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO (CP0)

Las simulaciones con proyecto, utilizando un agente y la velocidad mínima según la FEMA (2008) han sido evaluado en las tres zonas seleccionadas en la Figura 20. A diferencia de las simulaciones del apartado 6.4.1, éstas presentan dos vías de evacuación: la actual, correspondiente a Estación Recreo y la escalera JJ Latorre ubicada geográficamente entre la subestación eléctrica y la Facultad de Arquitectura de la PUCV, tal como se muestra en la sección 6.1.3, número II.

En la Tabla 11, se presentan los resultados correspondientes a las simulaciones de cada zona, con el fin de obtener la zona crítica para la situación con proyecto. Como se ve en la tabla, la zona B (CP0-B) presenta los mayores tiempos de simulación, siendo la ejecución IV la que presenta la mayor magnitud con 23 minutos y 12 segundos. Ésta es considerada la zona crítica de la simulación con proyecto.

Análogamente, se puede mencionar que la solución, no solo disminuye el tiempo de evacuación en la zona A, sino también disminuye el de la zona B, siendo sin duda un aporte para los usuarios de la empresa ferroviaria. Esto se puede obtener al comparar la tabla en cuestión con la Tabla 9 del apartado 6.4.1.

Finalmente, las simulaciones con un solo pasajero a velocidad mínima reflejan que la zona A pasa de ser el escenario más crítico (situación actual, SP), al más rápido en evacuar (situación con proyecto, CP). Ello refleja que mientras más tiempo los pasajeros permanezcan en el chancado, más demora la evacuación debido a la reducción considerable de la velocidad.

Tabla 11 - Tiempos de evacuación correspondientes a las subdivisiones de la zona de estudio para los escenarios CP0. Fuente: Elaboración propia.

	Tiempo de Evacuación	CP0-I	CP0-II	CP0-III	CP0-IV	CP0-V
ZONA A	[min]	11'29"	11'05"	11'54"	11'56"	11'55"
ZONA B	[min]	22'42"	23'02"	22'50"	23'12"	22'43"
ZONA C	[min]	13'57"	14'03"	14'10"	14'04"	13'32"

La Figura 57 muestra las trayectorias obtenidas de las simulaciones ejecutadas en NetLogo para cada una de las zonas en cuestión. Se puede ver claramente como los agentes tienden a escoger la escala JJ Latorre, siendo la propuesta adecuada a las necesidades de evacuación. Por otro lado, la Figura 58 georreferencia las trayectorias con el fin de ver espacialmente el comportamiento.

Cabe destacar que a diferencia de las simulaciones SP, los evacuados ubicados en la zona B se desplazan con una orientación de derecha a izquierda, es decir, desde su posición hacia la escala JJ Latorre.

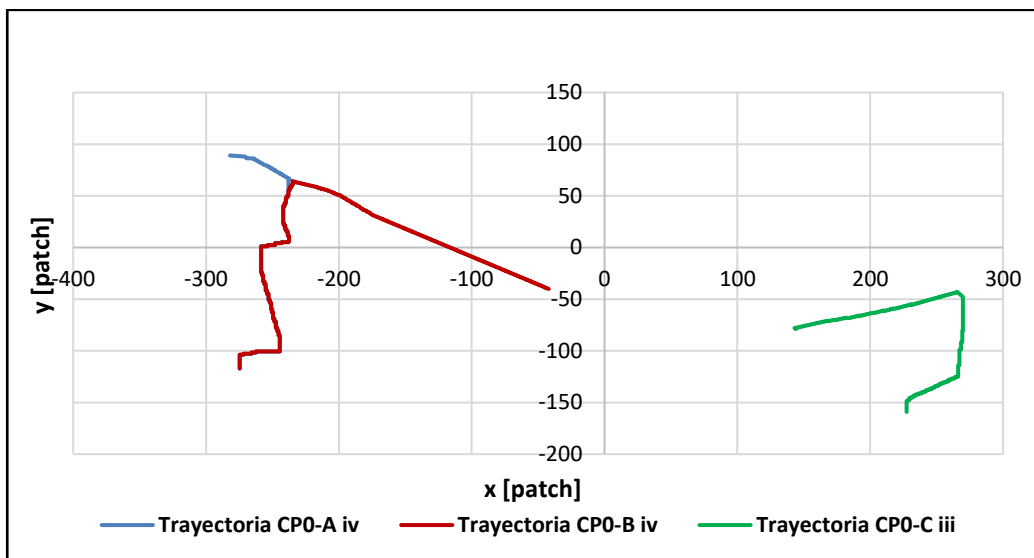


Figura 57 - Comparación de trayectorias críticas evaluadas en las tres zonas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 58 - Trayectoria de las simulaciones CP0 basado en la Zona A. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro (2018).

Al igual que en la sección 6.4.1, las velocidades se comportan de igual manera, sin embargo y debido a las distancias, los tiempos de duración varían. Adicionalmente, se debe mencionar que las diferencias al inicio de la evacuación (previo a los 200 segundos) corresponden a las diferencias del *patch* de origen del agente con respecto a la puerta del vagón más cercana. Lo anterior se puede ver claramente en la Figura 59.

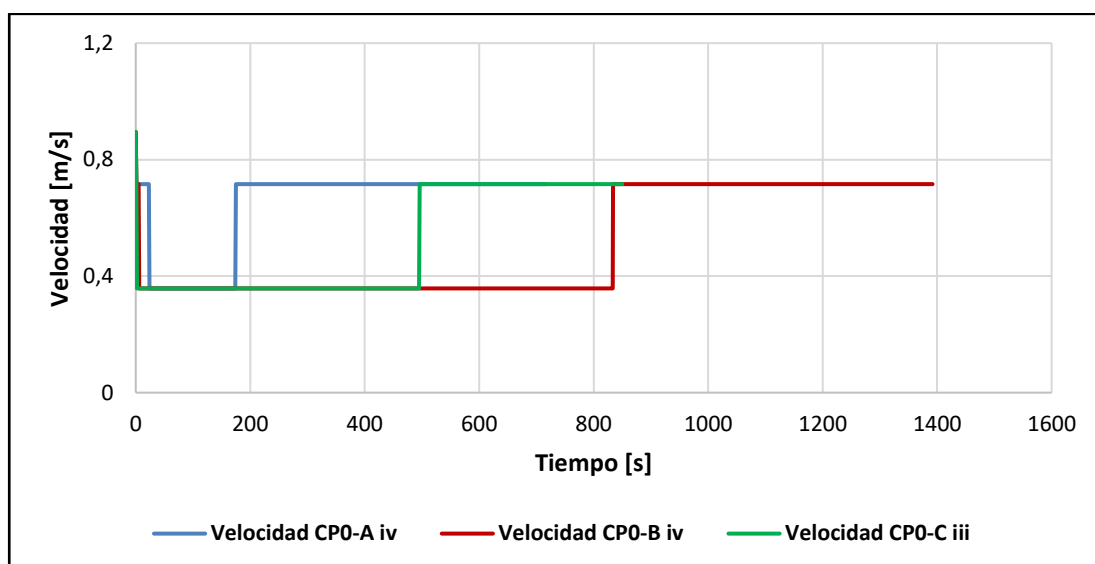


Figura 59 – Comparación de la relación velocidad de desplazamiento y el tiempo con respecto a las simulaciones CP0. Fuente: *Elaboración propia*.

6.4.4 SIMULACIONES DE ESCENARIOS CON PROYECTO ASUMIENDO UNA OCUPACIÓN COMPLETA DEL TREN EN LA ZONA B (CP1, y 3)

En esta sección se exhiben los resultados correspondientes a simulaciones con proyecto a capacidad llena, evaluados en la zona B. A diferencia de la sección 6.4.2, sólo se realizaron dos escenarios que corresponden a las velocidades máxima y mínima de la FEMA (2008), tal como se expone en la Tabla 6.

Las ejecuciones realizadas consideran dos trenes ubicados en la mitad de la zona B, con respecto al eje x. Además, para simular la capacidad llena, se consideraron 142 agentes por metro, es decir, 284 evacuados en total.

A continuación, la Tabla 12 presenta los tiempos de evacuación de los escenarios con proyecto, a máxima velocidad y evaluados según las velocidades ya mencionadas.

Tabla 12 - Tiempos de evacuación de los escenarios con proyecto, a máxima capacidad y evaluados según velocidades predeterminadas por tabla 6. Fuente: *Elaboración propia*.

	Tiempo de Evacuación	I	II	III	IV	V
CP1-B	[min]	12'25"	12'24"	12'29"	12'26"	12'25"
CP3-B	[min]	24'04"	24'03"	24'03"	24'03"	24'04"

La tabla anterior muestra como se optimizan los tiempos en comparación a las simulaciones SP. Al igual que éstas, la diferencia de tiempo entre las ejecuciones a velocidad máxima (CP1-B) y a velocidad mínima (CP3-B) corresponde alrededor del 50%. No obstante, los escenarios CP3-B presentan un tiempo prácticamente igual de evacuación que el mejor tiempo de la situación sin proyecto. Esto entrega de una u otra manera una esperanza mayor al rango del adulto mayor y a las personas con discapacidad.

La Figura 60, reafirma lo explicado anteriormente. Aquí se puede apreciar como la variación en la velocidad afecta directamente el tiempo de evacuación.

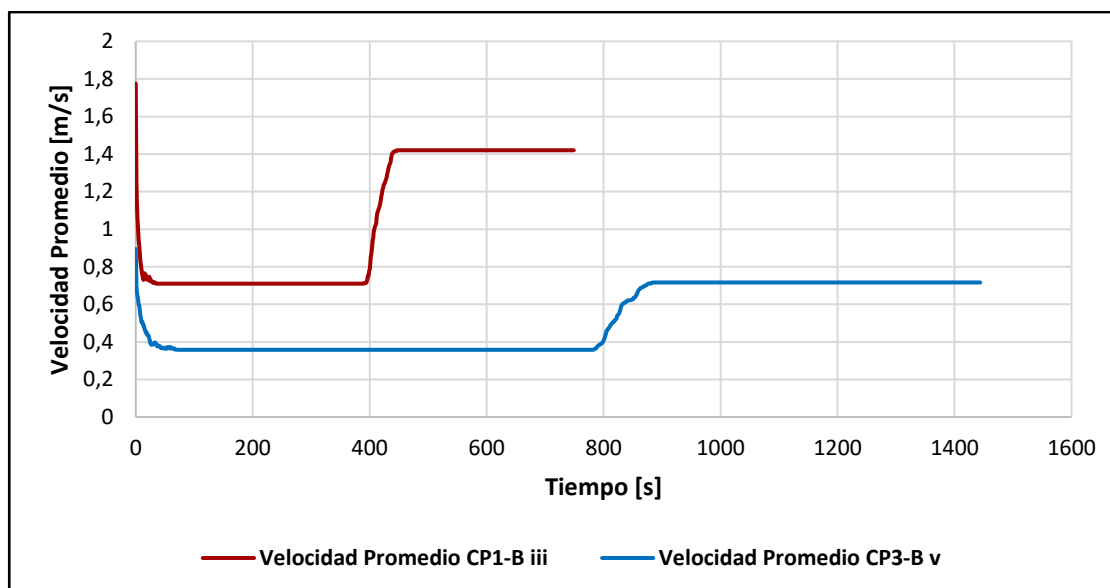


Figura 60 - Comparación de la velocidad promedio y el tiempo de los dos escenarios con proyecto, con capacidad llena. Fuente: Elaboración propia.

6.4.5 ÍNDICES DE MORTALIDAD

Este apartado del capítulo tiene como objetivo exponer los índices de mortalidad detectados en las ejecuciones de los modelos para cada escenario presentado en las secciones anteriores. Pareciérase ser simples los resultados, sin embargo, se debe tener en consideración el resto de factores que se han mencionado en este proyecto que los modelos no han considerado y, que afectan el desplazamiento de los evacuados. Algunos ejemplos de lo anterior corresponden a: la disminución de la velocidad debido a la evacuación en escaleras, cuellos de botella generado por choque de flujos de personas, accidentes en las vías de evacuación, daños estructurales durante y post terremoto, incendios, arribo inmediato del tsunami, caos colectivo de las personas, entre otros.

Líneas de investigación en este ámbito han postulado que la velocidad es fundamental en estos indicadores. Una baja velocidad de desplazamiento conlleva un alto índice de mortalidad. En caso contrario, si la velocidad es alta el índice de mortalidad es bajo (Wafda, Windy, Nurdin, Nasaruddin, & Munadi, 2013).

Es debido a lo anterior que se presenta la Tabla 13, la cual evidencia una variación en el tiempo debido al cambio de velocidades. Adicionalmente, la Tabla 14 que expone los porcentajes de lo mismo.

Cabe mencionar que para efectos de esta memoria de tesis, y como se ha mencionado en la zona A de la sección 6.1.2, se considera que el agua ingrese en una primera instancia por la brecha que se genera bajo Avenida España en esta zona y, que deja expuesta al chancado a

esta complejidad. No obstante, se espera que también ingrese el agua por sobre la misma avenida.

Tabla 13 - Cantidad de pasajeros en el chancado al momento del arribo del tsunami. *Fuente: Elaboración propia.*

Tiempos de Arribo [min]	CANTIDAD DE PASAJEROS EN EL CHANCADO					
	SIN PROYECTO				CON PROYECTO	
	SP1-A (1,78 [m/s])	SP2-A (1,5 [m/s])	SP3-A (0,89 [m/s])	SP4-A (1,1 [m/s])	CP1-B (1,78 [m/s])	CP3-B (0,89 [m/s])
5	284	284	284	284	284	284
10	284	284	284	284	0	284
15	284	284	284	284	-	4
20	0	284	284	284	-	0
25	-	0	284	284	-	-
30	-	-	284	0	-	-
35	-	-	280	-	-	-
40	-	-	0	-	-	-

Tabla 14 – Porcentaje de pasajeros en el chancado al momento del arribo del tsunami. *Fuente: Elaboración propia.*

Tiempos de Arribo [min]	PORCENTAJE DE PASAJEROS EN EL CHANCADO					
	SIN PROYECTO				CON PROYECTO	
	SP1-A (1,78 [m/s])	SP2-A (1,5 [m/s])	SP3-A (0,89 [m/s])	SP4-A (1,1 [m/s])	CP1-B (1,78 [m/s])	CP3-B (0,89 [m/s])
5	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10	100%	100%	100%	100%	0%	100%
15	100%	100%	100%	100%	-	1,4%
20	0%	100%	100%	100%	-	0%
25	-	0%	100%	100%	-	-
30	-	-	100%	0%	-	-
35	-	-	98,6%	-	-	-
40	-	-	0%	-	-	-

De las tablas anteriores se puede ver la diferencia sustancial en los resultados tanto sin proyecto (SP), como con proyecto (CP). Aquí se corrobora lo postulado a lo largo de esta memoria acerca de la relación velocidad de evacuación – tiempo de evacuación. Ello se puede apreciar al comparar los tiempos arribo del tsunami con la posición de los agentes en el chancado, los cuales para los casos de las velocidades máximas en los escenarios SP, presentan un tiempo de

evacuación considerablemente menor al de las velocidades mínimas. Esta diferencia se presenta en menor magnitud para el caso de los escenarios CP.

Cabe mencionar que muchos de los arribos de tsunami que marcan 0 pasajero, o en su defecto 0%, no necesariamente coinciden con la salida de los pasajeros del chancado, muchos de estos evacúan entre los tiempos de llegada propuestos en esta memoria. Para esto se propone la Tabla 15, la cual presenta los tiempos exactos de salida del chancado.

Tabla 15 - Tiempos exactos de la salida de los agentes de la zona de chancado. Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Tiempo de salida del Chancado
SP1-A	15'23"
SP2-A	20'06"
SP3-A	36'23"
SP4-A	29'50"
CP1-B	6'25"
CP2-B	15'05"

Como se observa, muchos de los escenarios tienen tiempos considerables de salida del chancado. No obstante, los escenarios SP poseen tiempos de evacuación excesivamente altos en comparación con las simulaciones CP, demorando prácticamente el doble del tiempo en salir.

6.5 CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI

Como se ha podido apreciar a lo largo de todo el capítulo de resultados, la velocidad de desplazamiento y el tiempo de evacuación son directamente proporcionales. Es debido a lo anterior que los modelos se han basado en las variaciones de velocidad para analizar los distintos tiempos de arribo que éstos tuvieron. Simultáneamente, los factores de rugosidad arbitrarios han representado los suelos a los que se enfrenta el evacuado (en este caso agente) reduciendo la velocidad de dos maneras: en el chancado o sobre pavimento.

El espacio geográfico presenta puntos a favor y en contra debido a su configuración y uso urbano, propio de la evolución del territorio. Para los escenarios sin proyecto (SP), la situación es desfavorable, ya que existen muchos puntos bajos que corresponden a la falta de accesos de salida hacia algunas de las vías de evacuación, propio de las diferencias de cotas de nivel que el chancado y las vías de Avenida España presentan. De hecho, formalmente sólo existe una vía de evacuación para salir del chancado, la cual corresponde a Estación Recreo y posterior Subida Covadonga. Esto puede dificultar la evacuación, y en definitiva el tiempo de ésta, puesto que en caso de quedar desenergizado el metro en un punto lejano a esta zona de acceso, el evacuado tendría que caminar por la zona del chancado hasta el punto en cuestión, disminuyendo la velocidad en un 60%.

Si se toman de referencia los tiempos de arribo obtenidos en la Tabla 16, las personas correspondientes al adulto mayor y discapacitados frente a esta emergencia tendrían un

porcentaje bajo de esperanza de sobrevivir, puesto que según las modelaciones realizadas (SP3-A) a la velocidad mínima postulada por la FEMA (2008), ellos arribarían a zona segura a los 40 minutos con 23 segundos. Así mismo, las personas evacuadas en perfectas condiciones demorarían 21 minutos con 36 segundos, siendo valores altos asumiendo el tiempo de arribo del tsunami.

Contraponiéndose a lo anterior se encuentran los escenarios con proyecto (CP), los cuales por medio de la implementación de la escala JJ Latorre (ver Figura 19 y sección 6.1.3) han disminuido considerablemente los tiempos en relación a los escenarios SP. Esto es debido a que los agentes que evacúan desde las zonas A y B, al usar esta vía propuesta, no transitan grandes distancias en el chancado, sino más bien fuera de este, recorriendo los accesos de la escalera mencionada. En una primera instancia, salir del chancado sería uno de los factores que disminuye los tiempos.

Si se observa la Tabla 16, son notorias las diferencias en los tiempos de arribo, tomando como referencia las velocidades propuestas. Comparando los valores de los escenarios SP, ambos poseen tiempos altos de salida del chancado, sin embargo, la diferencia entre el tiempo de arribo y el tiempo de salida es bajo. Al contrario de esto, las simulaciones CP presentan bajos tiempos en el chancado, sin embargo el tiempo de arribo corresponde al doble del anterior, puesto que los agentes se desplazan mayormente en las escaleras.

Pese a lo anterior, todos los valores de las simulaciones con proyecto corresponden a la mitad del tiempo aproximadamente, con respecto de su símil de los escenarios sin proyecto. Siendo esto el argumento que valida este estudio.

Tabla 16 - Comparación de los tiempos de arribo considerando las velocidades de la FEMA (2008) para escenarios SP y CP. Fuente: Elaboración propia.

		Tiempo de Salida del Chancado	Tiempo de Arribo
Vel. Máx FEMA 1,78 [m/s]	SP1-A V	15'23"	21'36"
	CP1-B III	6'25	12'29
Vel. Min FEMA 0,89 [m/s]	SP3-A IV	36'23"	40'23"
	CP3-B V	15'05	24'04"

Adicionalmente, se debe remarcar nuevamente que existen ciertos elementos que los modelos no han considerado como lo son: cuellos de botella, disminución de velocidades por escaleras y por choques de flujo, mal uso de las vías de evacuación, acciones erráticas, entre otras.

7 CONCLUSIONES

El presente estudio ha analizado el comportamiento de evacuación de los usuarios del sistema ferroviario en el tramo entre Curva de los Mayos y Estación Recreo, utilizando un Modelo Basado en Agentes. El objetivo de esta memoria es evidenciar la problemática actual de la zona por medio de la cuantificación de los tiempos de evacuación de las personas en base a las velocidades utilizadas en los modelos. Para esto se construyeron dos modelos, los cuales asumieron los roles de situación actual (SP) y con proyecto (CP).

Estos modelos, han entregado resultados que no son muy alentadores con respecto a la situación actual (SP). Los escenarios críticos utilizados, de las cuatro simulaciones, han dejado en evidencia la precariedad de una evacuación en ese tramo de la vía férrea. El mejor tiempo de evacuación, correspondiente a una persona en perfectas condiciones físicas y emocionales, supera los 20 minutos. Este tiempo se considera excesivo, basado en que un tsunami de campo cercano se demora entre 3 y 35 minutos en arribar a la costa más cercana. Más aún, la simulación sin proyecto a menor velocidad, correspondiente a personas con discapacidad y de la tercera edad, toma un tiempo que excede incluso el rango de arribo mencionado, demorando 34 minutos con 28 segundos.

Por otra parte, los escenarios con proyecto planteados en este estudio cumplen con características que definitivamente supera la situación actual (SP). La velocidad máxima planteada por la FEMA (2008), utilizada en la simulación CP1, disminuye considerablemente los tiempos para las zonas A y B, en al menos 9 minutos. Análogamente, la menor de las velocidades (CP3), correspondiente a discapacitados y tercera edad, demora alrededor de 24 minutos. Ambos se consideran positivos, debido a que disminuyen los tiempos de evacuación en aproximadamente un 42%, con respecto a las simulaciones sin proyecto (SP).

Otro factor que se ha tenido en consideración en esta memoria corresponde a la rugosidad del terreno. Este factor disminuye la velocidad de desplazamiento en un porcentaje, propio del tipo de terreno por donde el evacuado se mueve. En resumen, un desplazamiento prolongado en el chancado genera tiempos de evacuación elevados, exponiendo aún más a las personas a la amenaza. Es por ello que se recomienda una evacuación que facilite la salida de esta zona, independiente que posterior a ella se deba caminar por pavimento.

Espacialmente hablando, las dos vías de evacuación utilizadas: Subida Covadonga y la escalera JJ Latorre, presentan falencias que deben ser mejoradas. En primera instancia, la situación actual correspondiente a la primera vía mencionada, presenta una serie de choques de flujo y cuellos de botella, los cuales podrían propiciar accidentes aumentando la cantidad de personas vulnerables y expuestas a la amenaza. Tampoco cuenta con accesos para discapacitados, así como señalética adecuada de evacuación por tsunami. No obstante, esta vía presenta accesos más grandes para recibir una mayor cantidad de personas. En una segunda instancia, la situación planteada (CP), correspondiente a la otra vía mencionada, se encuentra en un estado de abandono, por lo que no cuenta con barandas en gran parte de su trazado, presenta escombros, no presenta señalética de evacuación por tsunami, sus accesos son más pequeños y no cuenta con accesos para discapacitados. Sin embargo, este escenario presenta menores tiempos de evacuación.

Cabe mencionar que la segunda vía de evacuación requiere de la implementación de una escalera o rampla de acceso que una el chancado con la Avenida España dirección Viña del Mar. Al mismo tiempo, se requiere posicionar un paso peatonal especial que una la rampla mencionada con el acceso de la escala JJ Latorre. Este segundo elemento debe estar señalizado con balizas y luces que generen la atención de los conductores que transiten por esa zona al momento de la evacuación.

En cuanto al análisis estadístico, se debe mencionar que la encuesta implementada no consideró todos los elementos, puesto que para efectos del modelo el único criterio asociado correspondió a la velocidad de desplazamiento, y por ende, a la pregunta 8 del instrumento. No obstante, se realizó el análisis estadístico el cual arrojó ciertos comportamientos que llaman la atención mencionar. La población chilena presenta un conocimiento propio de una sociedad expuesta constantemente a estos fenómenos, es decir, sabe hacia donde evacuar, reconoce en promedio cuándo un terremoto puede producir un tsunami, reconoce cuáles son los métodos de evacuación, entre otras. Opuesto a esto, se encuentra la población extranjera encuestada, la cual evidencia desconocer ciertas medidas importantes al momento de evacuar. Por ejemplo, sabe que debe evacuar hacia los cerros, sin embargo, no reconoce cuando.

Por otra parte, los rangos etarios obtenidos de la encuesta presentan un buen conocimiento por parte de los rangos adulto joven y adulto medio. Llama la atención las respuestas provenientes de los rangos adolescentes y adulto mayor, debido a que ambos reflejan falta de conocimiento frente a estos fenómenos.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- North Western University. (2016). *NetLogo User Manual*. Obtenido de <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>
- AcrGIS. (2014). *ArcGIS Resources*. Obtenido de ArcGIS Resources: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm>
- Álvarez, G., Ramírez, J., Paredes, L., & Canales, M. (2010). *Zonas Oscuras en el Sistema de Alarma de Advertencia de Tsunami en Chile*. Antofagasta: Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.
- Bartlett, M. (1950). *Test of significance in factor analysis*. British Journal of Statistical Psychology.
- Bosque, J. (Bosque Sendra, J. (1992) Sistemas de Información Geográfica. Rialp. Madrid de 1992). *Sistema de información geográfica*. Madrid: Rialp. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de Wikipedia, La enciclopedia libre.: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica&oldid=99053727.
- Cabrera, & Cubillos. (2015). *Informatica II*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de http://www.esap.edu.co/portal/wp-content/uploads/2015/08/6_informatica_ii.pdf
- Cardona, O. (2001). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo*. Bogotá, Colombia: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI.
- Caro, A., & Trujillo, H. (2009). *Evaluación del rendimiento*. Valparaíso.
- Carvajal, M. (2015). *Tamaño del Terremoto de Chile Central de 1973, inferido de Evidencias Históricas, Geológicas y Modelación Numérica del Tsunami Resultante*. Valparaíso.
- Catalán, P., Cañas, J., Zúñiga, C., Zelaya, C., Gubler, A., Pizarro, L., . . . Miranda, S. (2015). *Sistema Integrado de Predicción y Alerta de Tsunamis (SIPAT)*. XII Congreso Chileno de Hidráulica.
- Centro Sismológico Nacional. (2013). *Sismicidad y Terremotos en Chile*. Santiago: Universidad de Chile.
- Cisternas, M. (2012). El terremoto de 1647 de Chile central como un evento interplaca: ¿Otra amenaza para Chile metropolitano? *Revista de Geografía Norte Grande*, 23-33, 53.
- Comte, D., Pardo, M., Saragoni, R., & Suárez, G. (1986). *The 1985 Central Chile Earthquake: A Repeat of Previous Great Earthquakes in the Region?* Santiago: ResearchGate.
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis Componentes Principales (ACP)*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi. (2002). *Comité de Investigación del Accidente del Festival de la ciudad de Akashi: Reporte de Investigación del Accidente en el 32° Festival de Fuegos Artificiales de Verano de la ciudad de Akashi*. Akashi City.
- Dura, T., Cisternas, M., Horton, B., Ely, L., & Nelson, A. (2014). *Coastal evidence for Holocene subduction-zone earthquakes and tsunamis in central Chile*. Quaternary Science Reviews.
- El Mercurio de Valparaíso. (Miércoles 31 de Diciembre de 2003). [www.mercuriovalpo.cl](http://www.mercuriovalpo.cl/site/edic/20031231032724/pags/20031231044705.html). Obtenido de <http://www.mercuriovalpo.cl/site/edic/20031231032724/pags/20031231044705.html>
- FEMA . (2008). *GUidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*. Redwood City.
- Flores, C. (2016). *Propuesta Metodológica para la Planificación de Sistemas de Evacuación Vertical ante Tsunami. Caso aplicado a la ciudad de Valparaíso*. Valparaíso.
- Gómez, J. (1994). *Las Técnicas Tradicionales del Análisis Geográfico*. San Sebastián: Lurralde.
- Google. (2018). Google Earth Pro.

- Google Earth Pro. (2018). Google Earth Pro.
- León, J., & March, A. (2014). *Urban morphology as a tool for supporting tsunami rapid resilience: A case study of Talcahuano, Chile*. Melbourne, Australia: Elsevier.
- León, J., & March, A. (2016). *An urban form response to disaster vulnerability: Improving tsunami evacuation in Iquique, Chile*. Melbourne, Australia: B Planning and Design.
- Lopez, M. J., Ferrada, M., & Barrenechea, F. (2016). *Riesgo por Tsunami en la Ciudad de San Antonio: Un aporte a gobiernos locales*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://www.observatorioubogrd.cl/descargas/RIESGO%20DE%20TSUNAMI%20EN%20SAN%20ANTONIO.pdf>
- Lues, J. (2018). *Propuesta Metodológica para la caracterización de evacuación ante la ocurrencia de tsunami de campo cercano en la ciudad de Viña del Mar*. Valparaíso.
- NCGIA. (2014). *Welcome to NCGIA*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992016000200012
- Oceánica, I. C. (28 de Abril de 2016). *IngenieríaOceanica.UV*. Obtenido de <http://www.ingenieriaoceanica.uv.cl/index.php/terremoto-y-tsunami>
- Okaba, Y. (1985). *Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space*. Bulletin of de Seismological Society of America.
- ONEMI. (2014). *Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior*. Obtenido de <http://onemi.cl>
- ONEMI. (Agosto de 2016). *Guía de Referencia para sistemas de Evacuación por Tsunami*. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de <http://repositoriodigitalonemi.cl/web/handle/2012/1766>
- ONEMI. (2016). *Guía de Referencia para sistemas de Evaluación por Tsunami*. Obtenido de <http://repositoriodigitalonemi.cl/web/handle>
- Papalia, D., Wendkos, S., & Duskin, R. (2005). *Desarrollo Humano*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Pardo, M., Comte, D., Monfret, T., Boroschek, R., & Astroza, M. (2000). *The October 15, 1997 Punitaqui earthquake (Mw=7.1): a destructive event within subducting Nazca plate in central Chile*. Santiago: Elsevier.
- PNUD. (2012a). *Análisis de Riesgos de Desastres en Chile*.
- Quiroz, M., Aránguiz, R., & Belmonte, A. (2014). *Peligro de Tsunami en Chile Central: Modelo de ruptura del evento de 1730*. Santiago: XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
- Reyes, M. (2013). *A Proposal of Tsunami Risk Assessment Method for Iquique City*. Tokyo.
- Riquelme, S., & Mocanu, M. (2015). *Desarrollo de una base de datos de fuentes tsunamigénicas para Chile*. Santiago: Tech. Rep. Universida de Chile.
- Rodriguez, M. J. (2001). *Los Sistemas de Información Geográfica: Una Herramienta de Análisis en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA)*. Alicante: Grupo Editorial Universitario.
- Sánchez, E. (2016). *Propuesta Metodológica para el Análisis de Riesgo de Evacuación por Tsunami de Campo Cercano aplicada a la ciudad de Talcahuano*. Valparaíso.
- Servicio Sismológico de Chile. (2012). *Servicio Sismológico de Chile*. Obtenido de <http://www.csn.uchile.cl>
- SHOA. (2005). *Tsunami: Las Grandes Olas*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (2008). *Generalidades de un Tsunami*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/generalidades.htm>
- SHOA. (2012). *Informe elaboración Carta de Inundación por Tsunami (CITSU) Valparaíso-Viña del Mar 2da Edición*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

- SHOA. (2014). *Sistema Nacional de Alerta de Maremotos (SNAM)*. Obtenido de <https://www.snamchile.cl/>
- SHOA. (2016). *Tsunami: Las Grandes Olas*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- SIGESPRO. (2016). *Sistemas de Información Geográfica para controlar Poyectos*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcci/v10n2/rcci12216.pdf>
- Soler, S., & Soler, L. (2012). *Usos del coeficiente alfa de Cronbach en el análisis de instrumentos escritos*. Matanzas: Oficina Territorial de Normalización de Matanzas, Cuba.
- Trenes Chile. (2015). *Trenes Chile*. Obtenido de www.trenesdechile.cl/xt.html
- Velásquez, M. S. (2012). *¿Cómo entender el territorio?* Guatemala: Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar.
- Viveros, Á. (2016). *Desarrollo de una Metodología para la Valorización Multidimensional de la Zona Costera: el caso Valparaíso-Viña del Mar*. Valparaíso.
- Wafda, F., Windy, R., Nurdin, Y., Nasaruddin, & Munadi, K. (2013). *Agent-Based Tsunami Evacuation Simulation for Disaster Education*. Banda Aceh, Indonesia: Syiah Kuala University.
- Wang, H., Mostafizi, A., Cramer, L., Cox, D., & Park, H. (2015). *An agent-based model of a multimodal near-field tsunami evacuation: Decision-making and life safety*. Oregon: Elsevier.
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, MA.: The MIT Press.
- Winckler, P., Contreras, M., Reyes, M., Fernanda, C., & Beyá, J. (2015). *Evaluación de riesgos de infraestructura costera en un contexto de cambio climático*. Valparaíso: ResearchGate.
- Zamora, R. (2015). *Análisis Factorial y Análisis de Componentes principales*. Santiago.

9 ANEXOS

9.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este anexo se presentan todas las preguntas consideradas en el análisis estadístico a fin de obtener los comportamientos de las personas frente a una evacuación de tsunami.

9.1.1 SEXO, NACIONALIDAD Y RANGO ETARIO

Para efecto del análisis estadístico, se ha considerado relevante clasificar al grupo objetivo del estudio utilizando tres criterios: sexo, nacionalidad y rango etario.

El primer criterio se utiliza para cuantificar la cantidad de mujeres y hombres existentes en la base de datos recopilada por la encuesta, en espera de que el comportamiento durante una evacuación pudiera ser influenciado por este aspecto. Sin embargo, los resultados muestran que no es tan relevante.

El segundo criterio es relevante por la importancia de la industria turística en Valparaíso y Viña del Mar. Ambas ciudades, y en general la zona costera, atraen turistas extranjeros que no necesariamente tienen conocimiento o experiencia acerca de terremotos y tsunamis, ni respecto a las medidas de seguridad necesarias para hacer frente a tales amenazas.

El tercer criterio también tiene un impacto más objetivo dentro de este estudio, por cuanto es un indicador de la velocidad de desplazamiento de las personas. En efecto, las normativas existentes para el diseño de sistemas de evacuación indican distintas velocidades de desplazamiento dependiendo del rango etáreo de los evacuados, entre otros aspectos (FEMA , 2008).

Además, como se menciona en el documento de la División de Seguridad Integral de la Oficina de Asuntos Generales de la ciudad de Akashi (2002), los niños, tienen un riesgo aun mayor de morir en grandes aglomeraciones de personas.

Como se aprecia en la Figura 61, la población encuestada se compone de un 52% de mujeres, correspondiente a 108 personas de sexo femenino, y un 48% hombres, equivalente a 99 personas de sexo masculino.

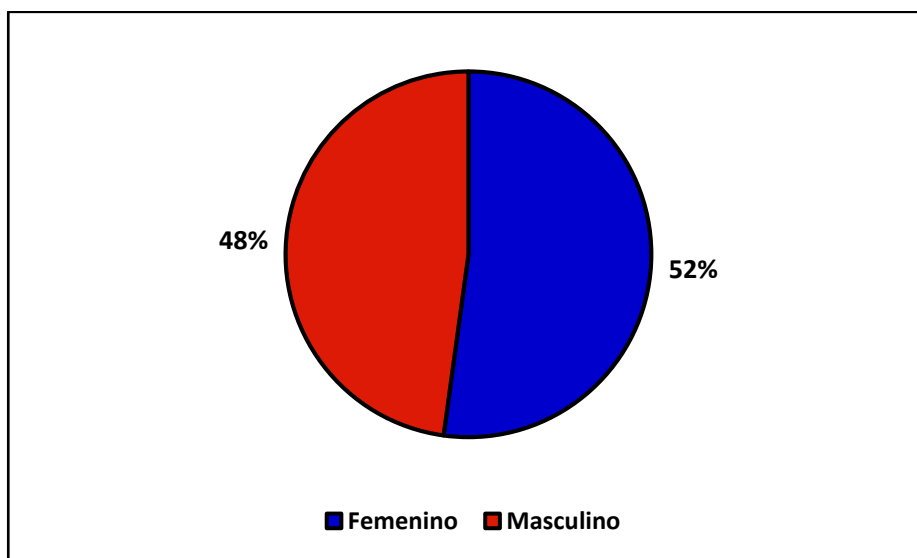


Figura 61 - Distribución del sexo de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 62 se aprecian las 7 nacionalidades presentes en la base de datos. Claramente predomina la nacionalidad chilena con un 91,8%, correspondientes a 190 encuestados. En segundo lugar, se encuentra la nacionalidad argentina con un 3,4%, correspondiente a 7 encuestados. El resto de las nacionalidades cuenta con 1 o 2 encuestados, salvo la nacionalidad venezolana que presenta un 1,9% correspondientes a 4 encuestados.

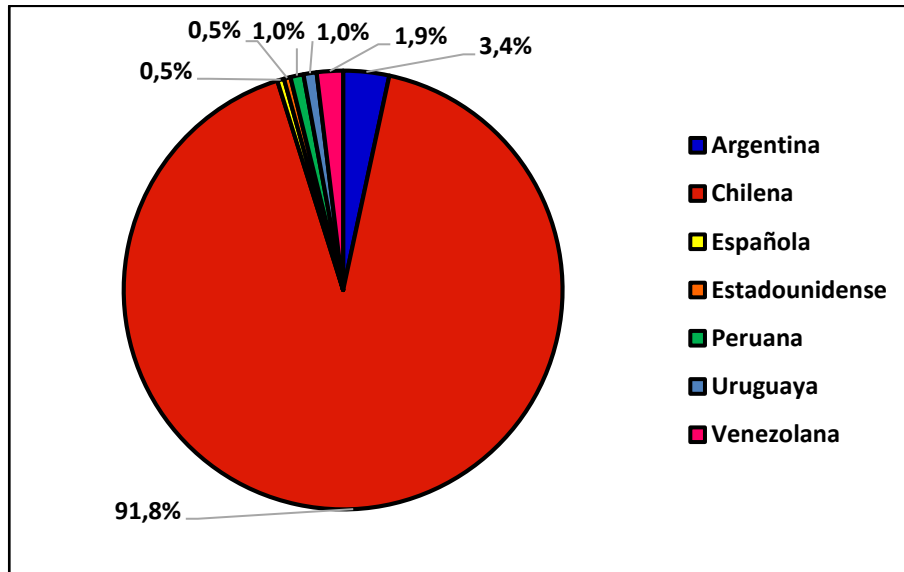


Figura 62- Distribución de las nacionalidades de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.

Según muestra la Figura 63, el rango etario predominante es el intervalo entre 20 y 29 años con un 41,5% del total, el cual corresponde a 86 encuestados. En segundo lugar, se encuentra el rango entre 30 y 39 años con un 14% del universo, equivalente a 29 encuestados.

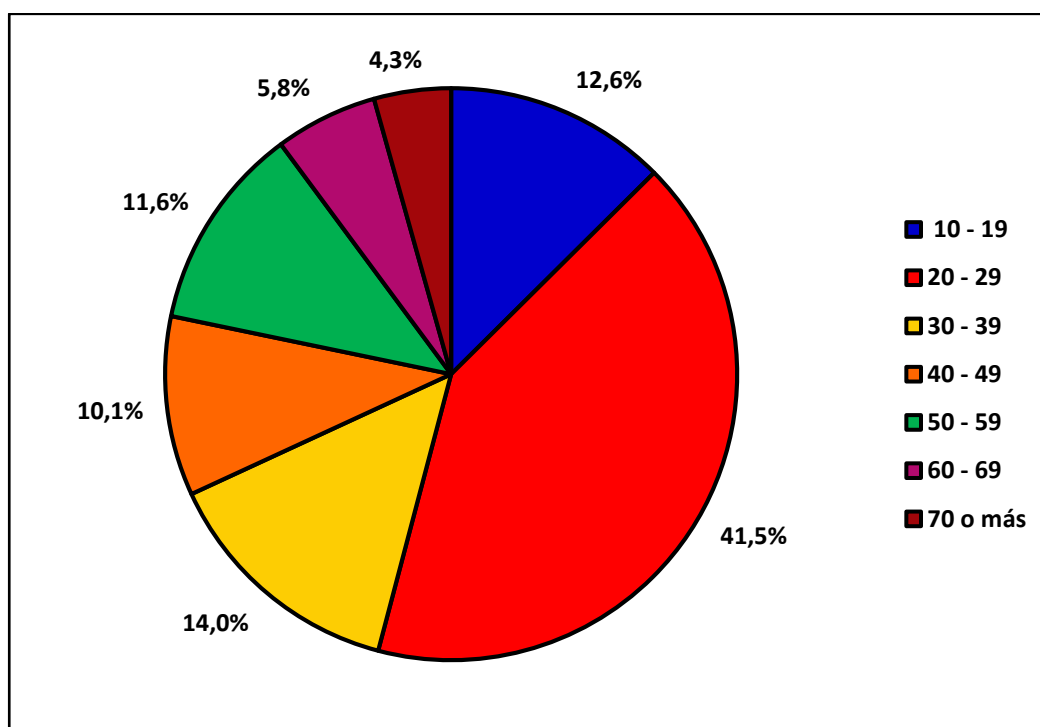


Figura 63 - Distribución del rango etario de la población encuestada. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, y como se podrá observar en los siguientes gráficos, el rango etario se ha clasificado en 4 grupos según las etapas del ciclo vital definidos por Papalia et al. (2005):

- Adolescentes: de 10 a 19 años.
- Adulto Joven: de 20 a 39 años.
- Adulto Medio: de 40 a 59 años.
- Adulto Mayor: desde los 60 años.

A continuación, se presenta la Figura 64, correspondiente al resultado según la estratificación descrita.

Como se puede apreciar, el rango adulto joven predomina con un 55,6%, el cual es equivalente a 115 personas encuestadas. En un segundo lugar se encuentra el adulto medio con un 21,7%, correspondiente a 45 encuestados.

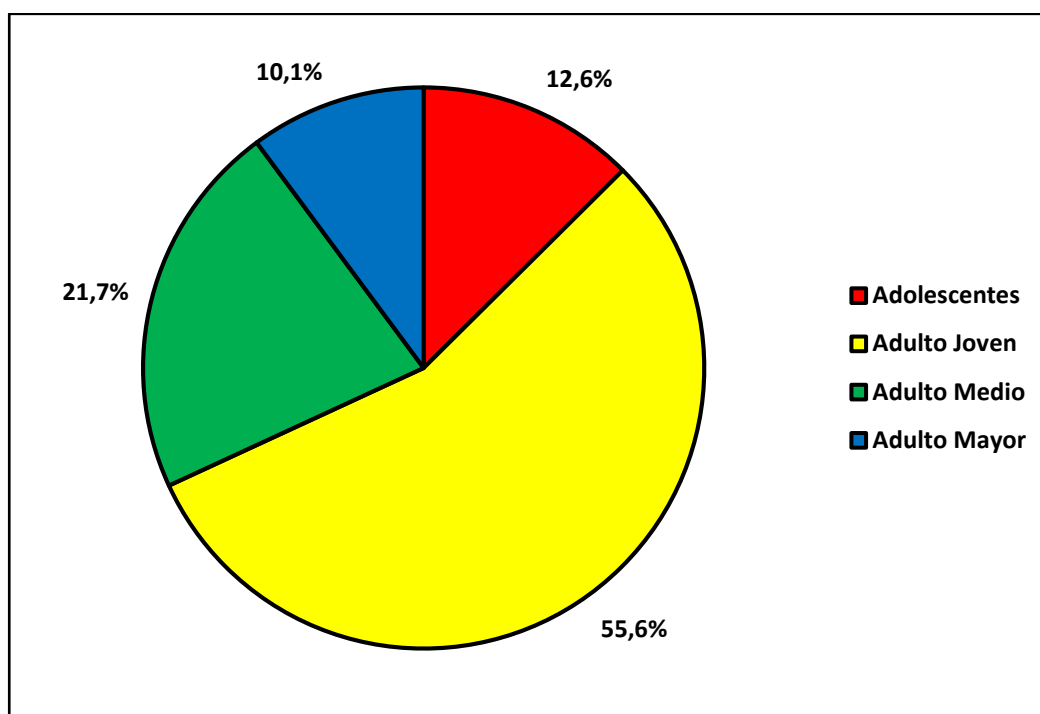


Figura 64 - Distribución de rango etario con respecto a clasificación según la Etapa del Ciclo Vital. Fuente: Elaboración propia.

Si bien estos tres criterios sirven para caracterizar a los encuestados en cuanto a su condición de sexo, nacionalidad y edad, son los dos últimos criterios los que influyen mayormente en una evacuación por tsunami, a partir de los resultados que se describen en este punto y posteriores. En los puntos siguientes el análisis se centra en la nacionalidad y rango etario, y su relación con otros parámetros de comportamiento recolectados en la encuesta.

9.1.2 PREGUNTA 4: ¿HA TENIDO EXPERIENCIA DE EVACUACIÓN EN UN TERREMOTO O TSUNAMI, YA SEA EN SIMULACRO O EXPERIENCIA REAL?

La finalidad de esta pregunta es medir el nivel de conocimiento de los encuestados sobre la base de experiencias vividas, ya sea en una evacuación real o un simulacro. En caso de responder afirmativamente, se deduce que la persona toma decisiones de manera más eficiente en una evacuación.

En la Figura 65, se presentan las respuestas totales asociadas a la pregunta en cuestión agrupados en los tres criterios mencionados en la sección 9.1.1.

Hay 144 personas que nunca han tenido experiencia tanto en evacuación real, como en un simulacro; 75 de estas personas corresponden a sexo femenino y 69 a sexo masculino. Por otra parte, son solo 63 personas dicen no haber tenido ningún tipo de experiencia, siendo 33 encuestados de sexo femenino y 30 masculino.

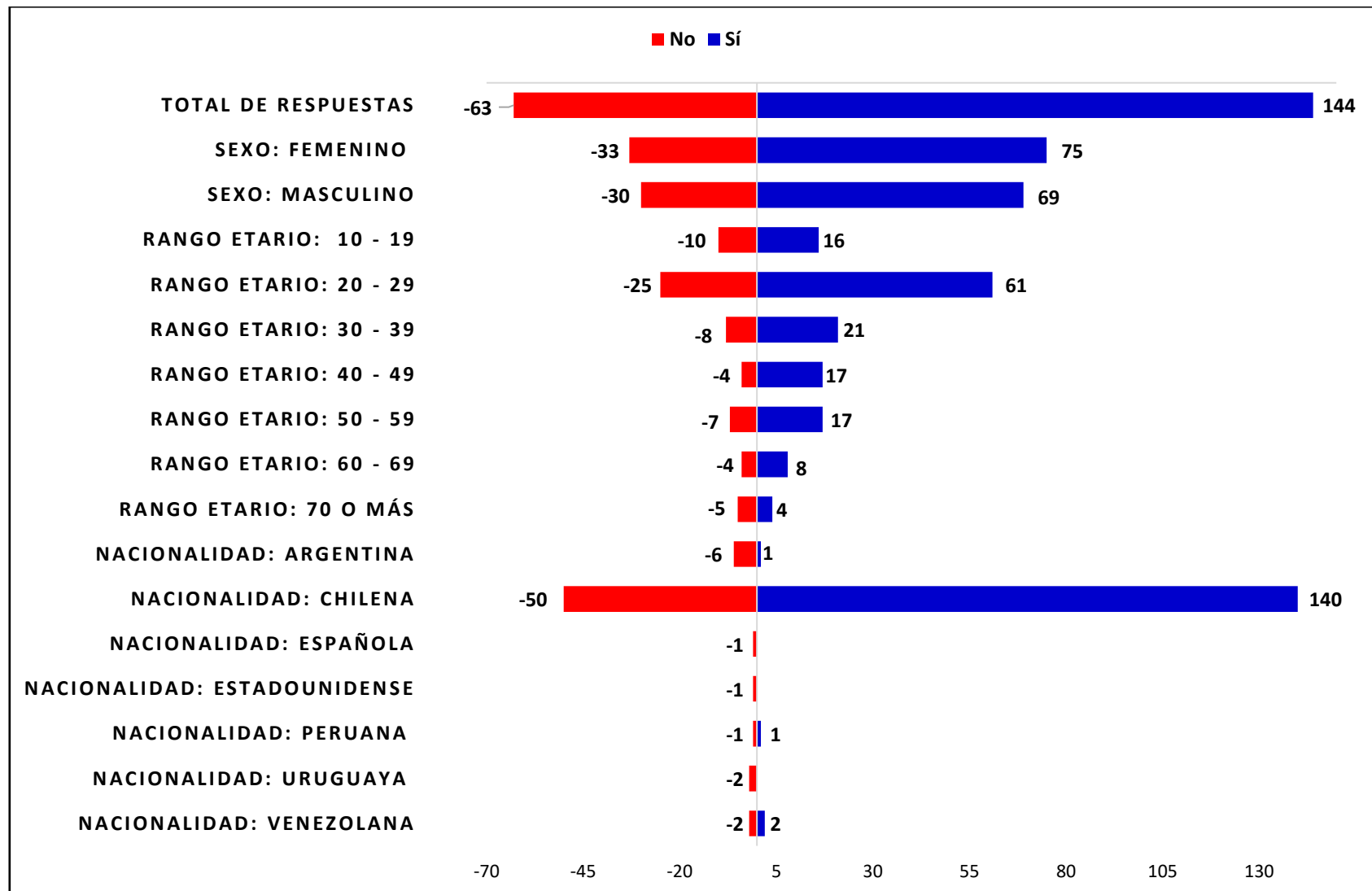


Figura 65 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 4. Fuente: Elaboración propia.

9.1.2.1 NACIONALIDAD

A continuación, se presentan las dos figuras correspondientes a las alternativas de la pregunta 4, analizadas desde el criterio de nacionalidad.

En el primer caso, la Figura 66 muestra que la mayoría de encuestados es de nacionalidad chilena. Esto se ve reflejado en el 68% del total de respuestas que aseguran haber tenido algún tipo de experiencia con respecto a lo que se plantea en esta pregunta. Por otra parte, los extranjeros, pertenecientes al 2% del total de encuestados, aseguran haber tenido en su país de origen algún tipo de experiencia de este tipo

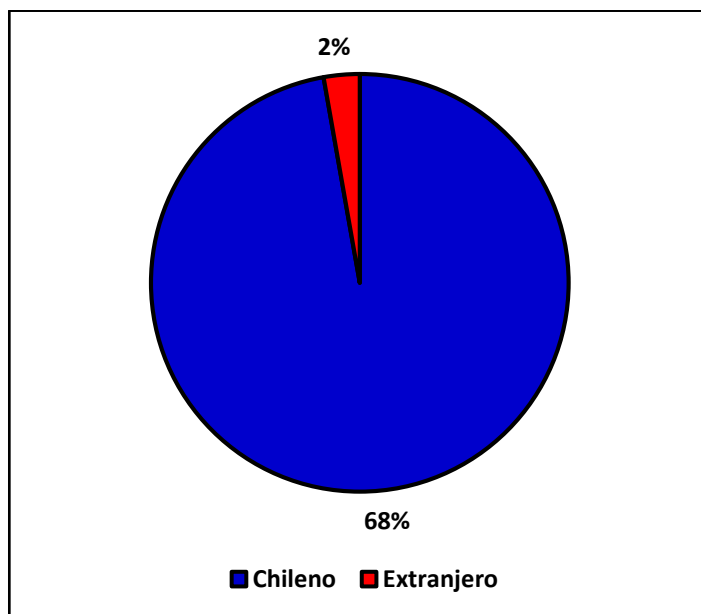


Figura 66 - Respuesta afirmativa de la pregunta 4 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 67 se desprende que del total de encuestados, un 24% de nacionalidad chilena nunca ha tenido algún tipo de simulacro de evacuación o han experimentado una evacuación real. Al mismo tiempo, del total de encuestados un 6% de extranjeros indicaron que jamás habían tenido una experiencia de evacuación, real o simulada.

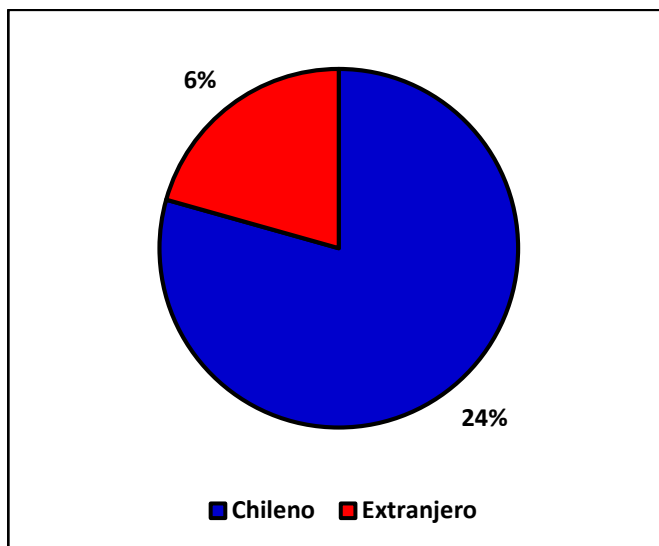


Figura 67 - Respuesta negativa de la pregunta 4 con respecto a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.

9.1.2.2 RANGO ETARIO

A continuación, se presentan las dos figuras correspondientes a las alternativas de la pregunta 4, analizadas desde el criterio de rango etario.

Con respecto a la Figura 68, se observa que predomina el rango adulto joven con un 40% del total de respuestas afirmativas, teniendo en consideración que del 100% de los encuestados, 70% respondió que sí ha tenido experiencia, tanto en simulacro como en una situación real. En segundo lugar, el rango etario que sigue es el adulto medio con un 16%. Los rangos adolescentes y adulto mayor presentan porcentajes inferiores en comparación con los dos rangos mencionados previamente. Sin embargo, cada uno de éstos presentan un 8% y 6% respectivamente.

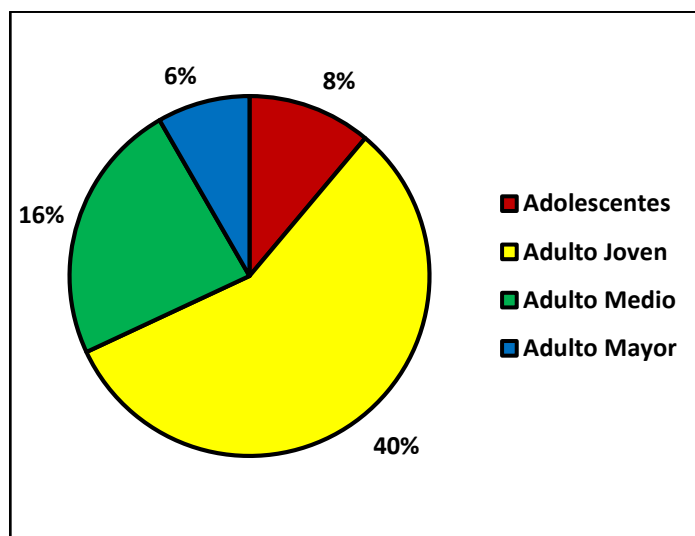


Figura 68 – Respuesta afirmativa de la pregunta 4 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

Si se suman los porcentajes presentes en la Figura 69, el total de encuestados que dice no haber tenido experiencia en evacuaciones corresponde a un 30%. En esa fracción predominan los adultos jóvenes con un 16%, es decir, hay una cantidad considerable de personas entre 20 y 39 años que se enfrentaría a una situación de emergencia por primera vez.

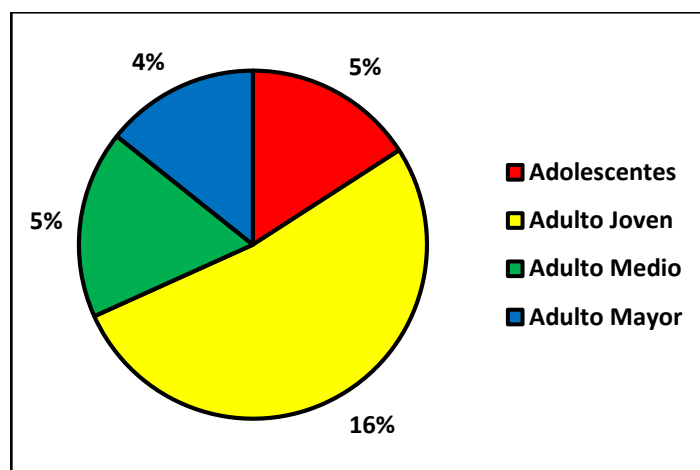


Figura 69 - Respuesta negativa de la pregunta 4 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

9.1.3 PREGUNTA 7: SEGÚN SU EXPERIENCIA: INDIQUE DEL 1 AL 5, DONDE 1 ES “POCO CONFIABLE” Y 5 “MUY CONFIABLE”, ¿CUÁNTA EXPERIENCIA TIENE UD. EN SU CONOCIMIENTO ACERCA DE EVACUACIÓN DE TSUNAMI?

Con esta pregunta se busca determinar el grado de seguridad que manifiestan los encuestados con respecto a sus conocimientos, teniendo en cuenta que alguien instruido en lo que sabe y en lo que debe hacer tendría que mostrar altos niveles de eficiencia en la toma de decisiones, lo que conduce a una evacuación más rápida.

Como se puede apreciar en la Figura 70, las respuestas de la pregunta 7 muestran un cierto equilibrio entre los sexos masculino y femenino, siendo este último quien presenta mayor cantidad de encuestados.

Del total de respuestas, la mayoría de encuestados dicen tener una confianza media, es decir, 56 personas respondieron que su confianza corresponde a un nivel 3. En segundo lugar, existe una confianza máxima, con 53 personas que respondieron tener un nivel 5 de conocimiento. En resumen, hay un 77% que dice tener desde un “conocimiento medio” a un “conocimiento confiable”.

No obstante, existe un 33% del total de encuestados que, de una u otra manera, presentan inseguridad con respecto a los planes de evacuación. Quienes no confían en sus conocimientos, en un primer acercamiento, jamás han tenido alguna experiencia de evacuación o simulacros como los que este estudio plantea. Se considera complejo y alarmante que 48 personas de 207 no sepan cómo actuar.

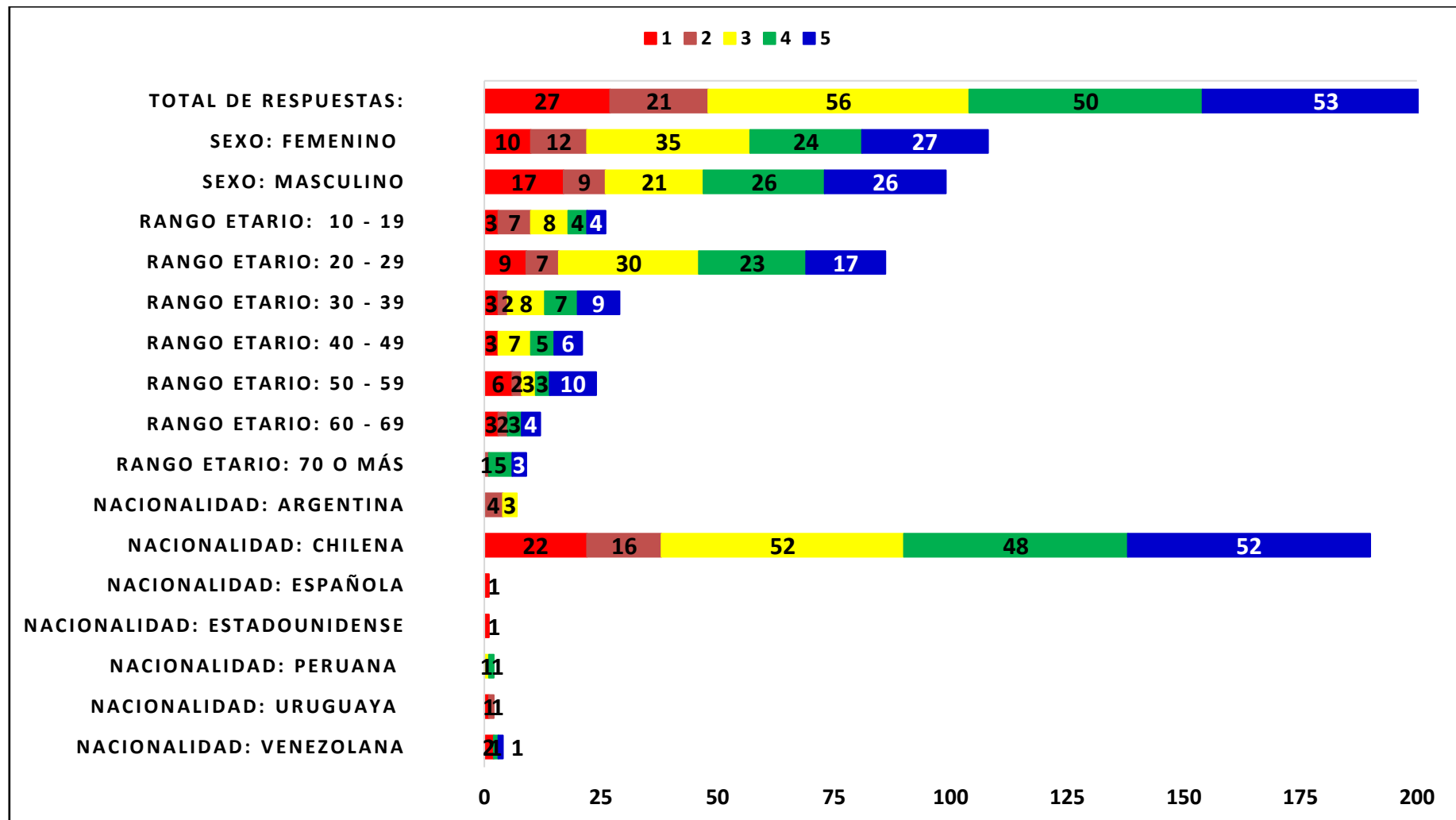


Figura 70 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 7. Fuente: Elaboración propia.

9.1.3.1 NACIONALIDAD

A continuación, se presentan las dos figuras correspondientes a las alternativas de la pregunta 7, analizadas desde el criterio de nacionalidad.

De la Figura 71 se deduce que la mayoría de los chilenos tienen una confianza alta en sus conocimientos de evacuación de tsunami con un 73% del total de encuestados, mientras que un 19% del total de encuestados chilenos dice no tener confianza suficiente.

Para este criterio, los porcentajes más altos de confianza de conocimiento corresponden a las respuestas de nivel 3 y de nivel 5 con un 25% cada una, equivalente a 52 personas encuestadas. Posterior a estos, se encuentra el nivel 4 con un 23% el cual corresponde a 48 respuestas del total de encuestados.

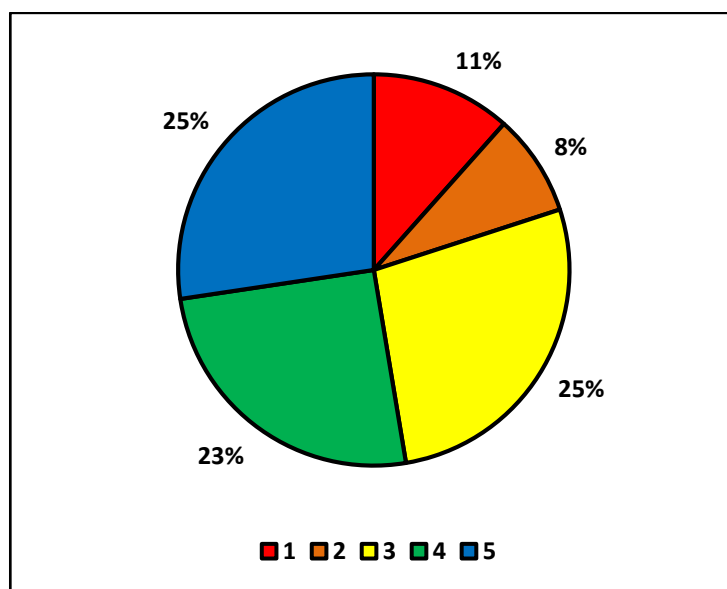


Figura 71 – Respuestas con respecto al nivel de confianza de los encuestados de nacionalidad chilena.
Fuente: Elaboración propia.

El nivel de confianza de los extranjeros, presente en la Figura 72, diferencia del comportamiento de los chilenos ya que predominan los porcentajes asociados a la falta de confianza, es decir, los primeros tres niveles. De las tres alternativas previamente mencionadas, son los dos primeros niveles los que tienen mayor porcentaje dentro de las respuestas de nacionalidad extranjera con un 2,4%, correspondiente a 5 personas encuestadas. En un segundo lugar viene la respuesta asociada a la confianza media, con un 1,9%, equivalente a 4 respuestas.

Las respuestas relacionadas a los niveles 4 y 5, equivalen al 1,5% del total de respuestas. Esto deja en evidencia el nivel de conocimiento por parte de las colonias extranjeras, sin importar lugar de proveniencia.

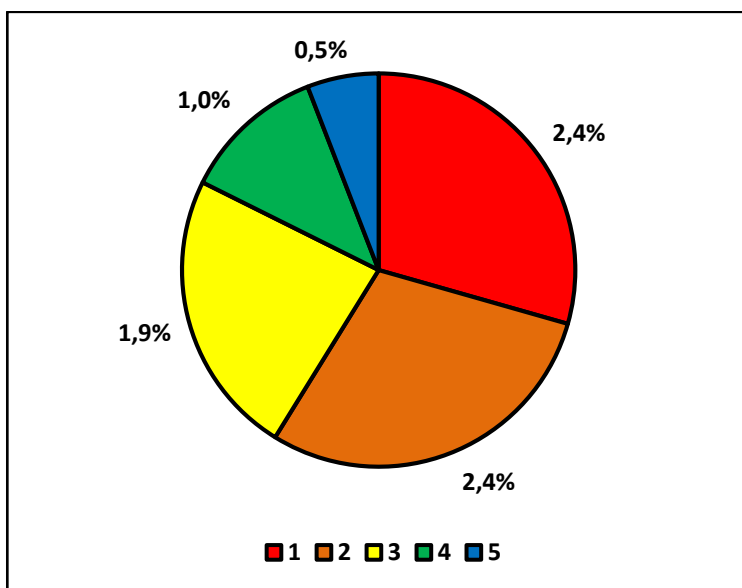


Figura 72 - Respuestas con respecto al nivel de confianza de los encuestados de nacionalidad extranjera.
Fuente: Elaboración propia.

9.1.3.2 RANGO ETARIO

A continuación, se presentan las dos figuras correspondientes a las alternativas de la pregunta 7, analizadas desde el criterio de rango etario.

El porcentaje total de respuestas de los adolescentes, presente en la Figura 73, corresponde al 12,6%, lo cual equivale a 26 encuestados. El nivel 3 predomina con un 3,9%, este porcentaje es igual a 8 personas encuestadas. Posterior al porcentaje anterior se encuentra el nivel 2, con un 3,4% del total, equivalente a 7 personas.

Es preocupante que las respuestas de este rango etario presenten más de un 50% de respuestas de confianza de conocimiento precario. Eventualmente, se vuelve necesario generar una educación de calidad a los adolescentes.

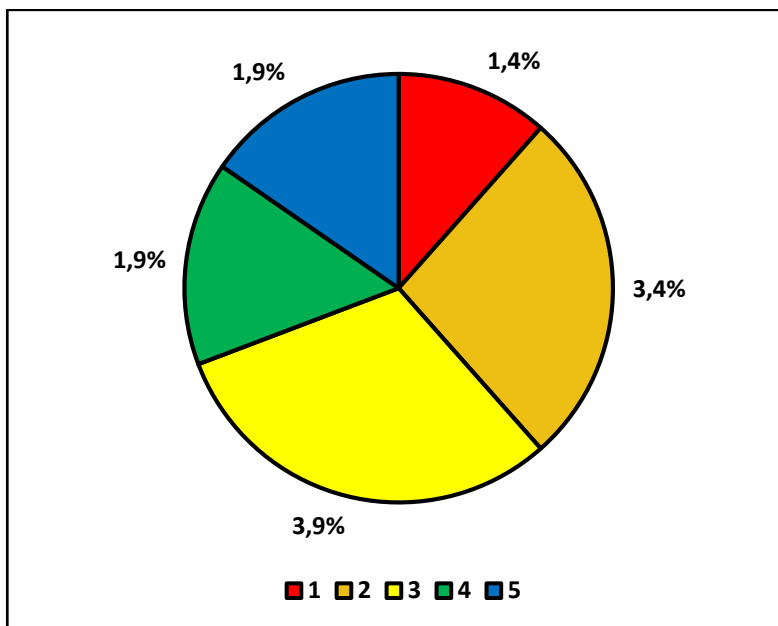


Figura 73 – Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 7. Fuente: *Elaboración propia.*

El rango adulto joven presente en la Figura 74, muestra claramente una confianza acorde al nivel conocimiento esperado de un evacuado. En primer lugar se encuentra el nivel 3 con un 18,4%, equivalente a 38 personas del total de encuestados. Seguido al nivel anterior se encuentra el nivel 4, con un 14,5%.

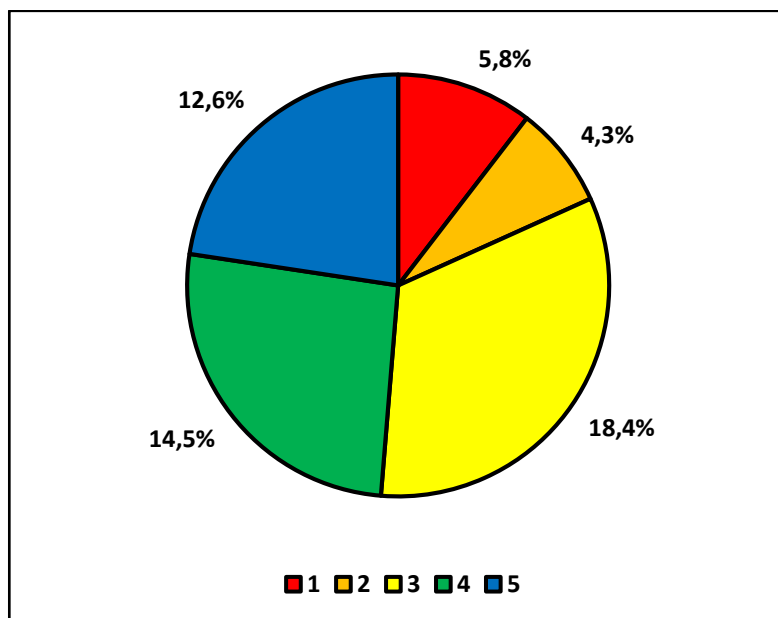


Figura 74 – Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 7. Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 75, el rango Adulto medio presenta una situación particular. En primer lugar, se encuentra el nivel 5 de confianza de conocimiento con un 7,7%, equivalente a 16 personas

encuestadas. Posterior a éste, se encuentra el nivel 3 con un 4,8%, que es igual a 10 respuestas. En tercer lugar, se encuentra el nivel 1 cuyo porcentaje es de 4,3% que corresponde a 9 personas encuestadas.

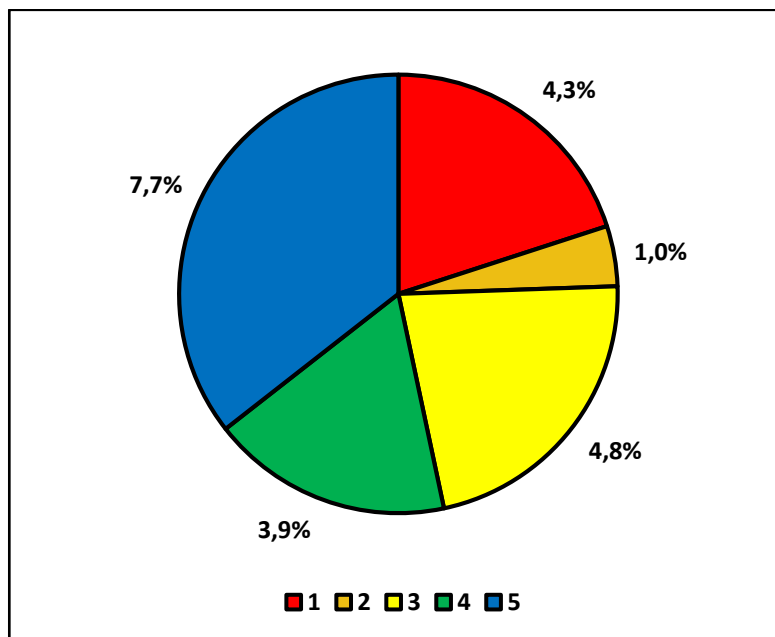


Figura 75– Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 7. *Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 76 se puede apreciar que la gran mayoría de este rango etario considera tener confianza en el conocimiento que tiene acerca de terremotos y tsunamis. Esto se puede apreciar en los porcentajes mostrados en la figura ya mencionada.

En primer lugar, se encuentra el nivel 4, el cual presenta un 3,9%, que es igual a 9 personas encuestadas. La siguiente opción en la figura es el nivel 5, con un 3,4%, equivalente a 7 personas.

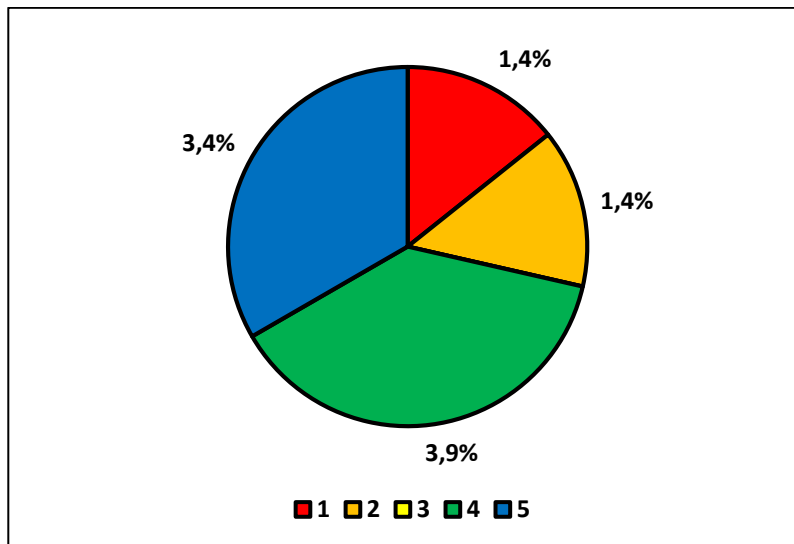


Figura 76– Respuestas del rango etario adolescente con respecto a la pregunta 7. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.4 PREGUNTA 9: INDIQUE SU CATEGORÍA DE RESIDENCIA

La pregunta 9 tiene como finalidad el establecer el nivel de conocimiento por parte del evacuado con respecto al territorio al cual eventualmente podrían verse expuesto.

Si bien en Chile existe la premisa de que, si el terremoto es fuerte se debe evacuar inmediatamente a una zona de evacuación (cota 30 m.s.n.m.), el tener un conocimiento del lugar agiliza la toma de decisión y, por ende, el tiempo de arribo a un lugar seguro.

Para efectos de esta pregunta en específico, se debe realizar un alcance, aclarando que existe un porcentaje de chilenos que se han categorizado como visitantes. Esto se debe a que no pertenecen al denominado Gran Valparaíso y sus alrededores (Quillota, Calera, Limache, entre otros).

Con respecto a la Figura 77, se aprecia en la primera fila de resultados que la gran mayoría corresponde a residentes de la región, con una cifra igual a 150 encuestados, cuyo valor es equivalente a un 72,5% del total. Por otra parte, solo 57 personas, entre chilenos y extranjeros, se han considerado visitantes. Al observar la segunda fila de la figura en cuestión se puede inferir que la mayoría de personas de sexo femenino son residentes, con una cantidad de 82 encuestadas. Esto también ocurre con el sexo masculino, presentando una mayor cantidad de residentes que visitantes con 68 encuestados.

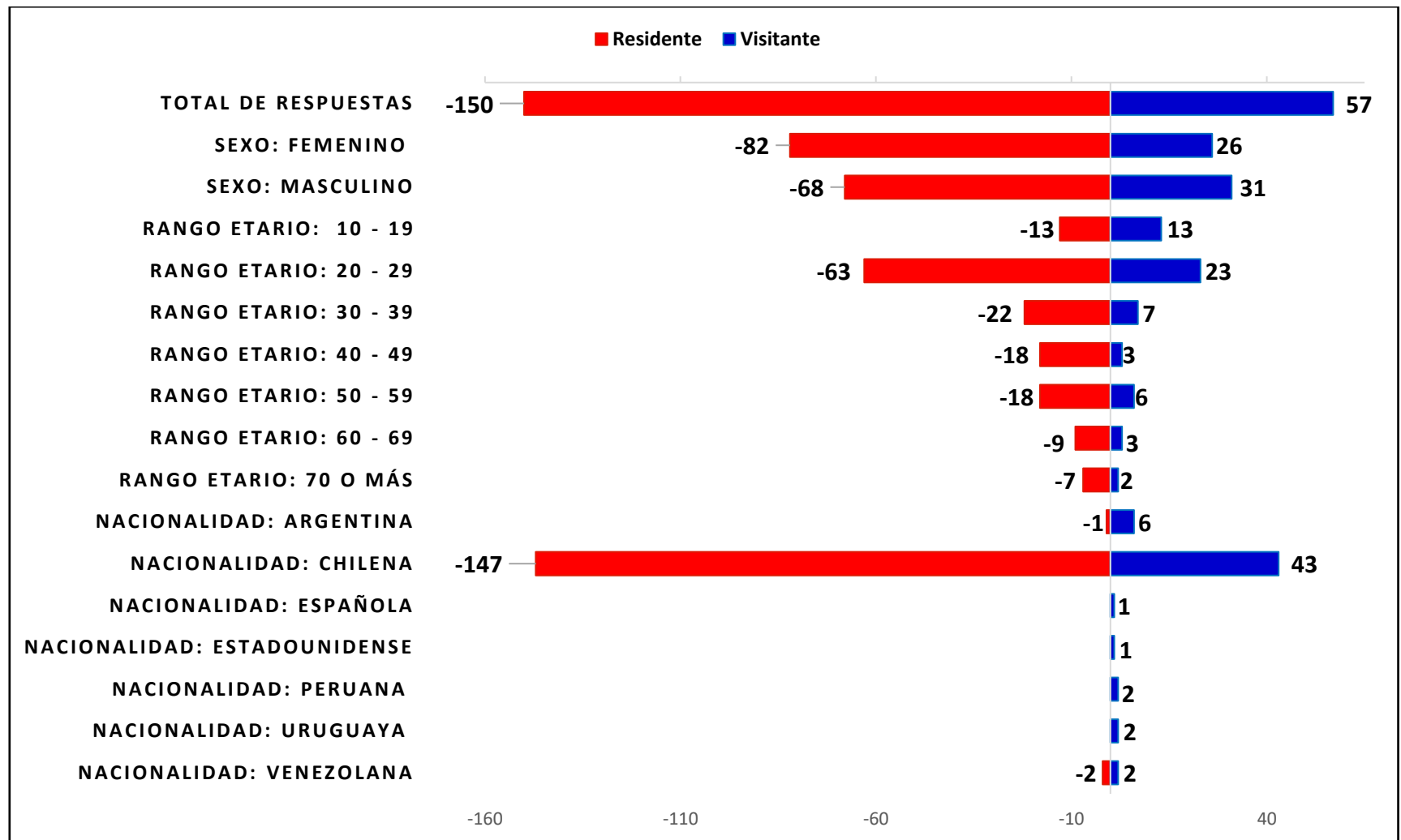


Figura 77 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 9. Fuente: Elaboración propia.

9.1.4.1 NACIONALIDAD

A diferencia de como sucede en la distribución de sexo, explicado al inicio de esta sección, la nacionalidad con respecto a la opción residente muestra en la Figura 78 una diferencia considerable en la cantidad de encuestados. La nacionalidad chilena residente consta de 147 personas encuestadas, el cual equivale al 71% del total, mientras que las nacionalidades extranjeras presentan sólo 3 personas encuestadas que equivalen a un 1%.

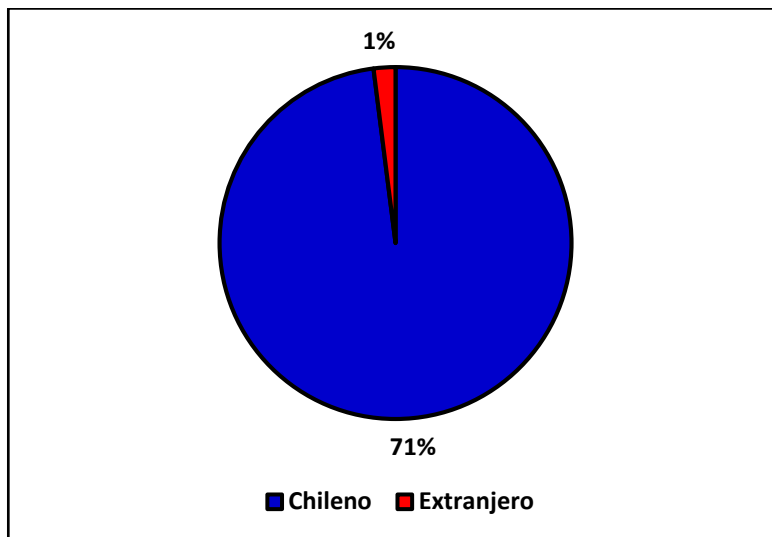


Figura 78 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base a la nacionalidad. Fuente: *Elaboración propia.*

Por otra parte, la cantidad correspondiente a la opción visitante, presente en la Figura 79, muestra una diferencia considerable. La cantidad de encuestados de nacionalidad extranjera corresponden a un tercio aproximadamente de la cantidad de chilenos visitantes. Estos últimos poseen un 21% del total de encuestados, con una cantidad de 43 personas, mientras que los extranjeros solo presentan una cantidad de 14 personas encuestadas equivalente a un 7% del total.

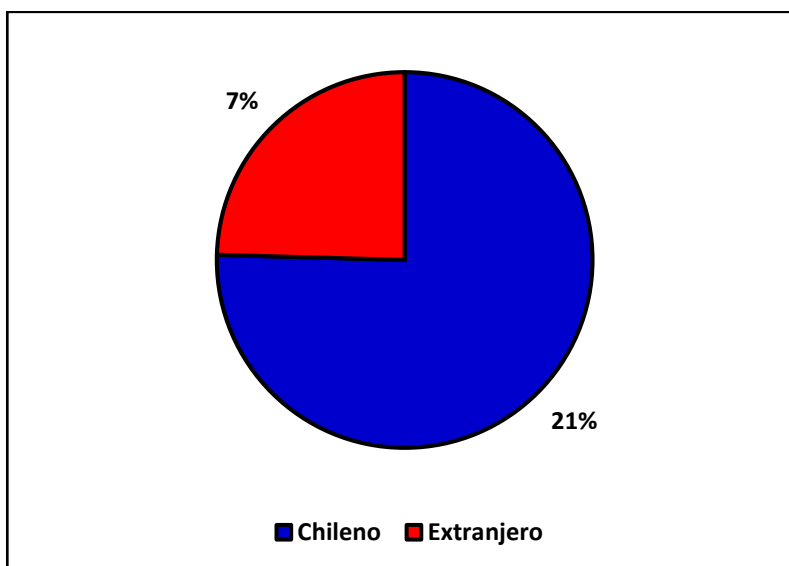


Figura 79 - Porcentaje de visitantes del Gran Valparaíso en base a la nacionalidad. Fuente: Elaboración propia.

9.1.4.2 RANGO ETARIO

Con respecto a la pregunta 9, se puede ver claramente en la Figura 80, que la mayor cantidad de residentes corresponde al rango de Adulto Joven con un 41% del total, el cual es igual a 85 personas encuestadas. En segundo lugar, se encuentra el rango del adulto medio, con un 17% del total de encuestados, equivalente a 36 personas.

También se puede apreciar como el rango del adolescente y adulto mayor tienen prácticamente el mismo porcentaje. El primero presenta un 6%, y el segundo un 8% del total de encuestados, diferenciándose solo en 3 personas encuestadas, 13 y 16 personas respectivamente.

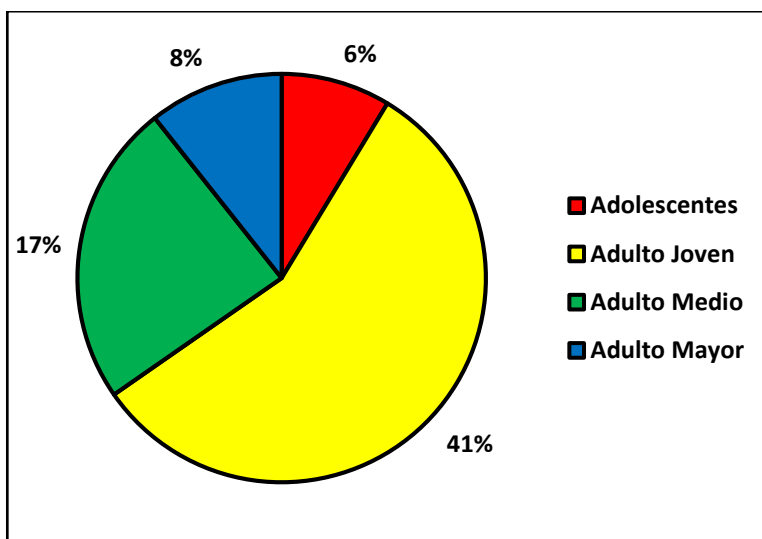


Figura 80 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la opción visitante, se puede ver en la Figura 81, que la mayoría se encuentra en el rango del Adulto Joven con un 14% del total, esto es igual a 30 encuestados.

A diferencia de la opción residente, la alternativa visitante tiene en segundo lugar el rango de Adolescentes con un 6% del total de encuestados, siendo equivalente a 13 personas.

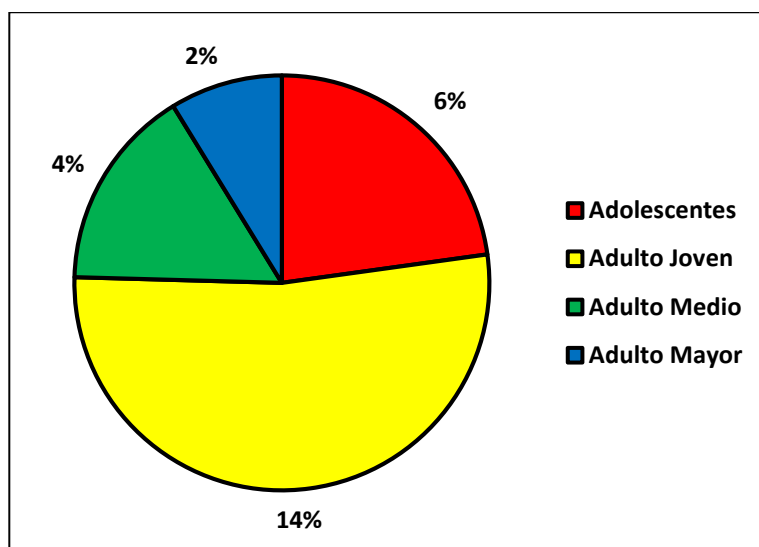


Figura 81 - Porcentaje de residentes del Gran Valparaíso en base al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

9.1.5 PREGUNTA 11: ¿CÓMO DEFINIRÍA UD. SU REACCIÓN DURANTE UN TERREMOTO Y/O TSUNAMI? UTILICE UNA ESCALA DE 1 A 5, DONDE 1 ES “PÉRDIDA ABSOLUTA DEL AUTOCONTROL” Y 5 ES “MUY TRANQUILO”

La pregunta 11 corresponde a un indicador importante para este estudio, puesto que presenta las respuestas de los encuestados con respecto al autocontrol. Sin embargo, cabe mencionar como limitación, que esta pregunta se les hizo a los encuestados en un estado de confort, por lo que no se sabría si en una situación de emergencia se mantendrían los porcentajes.

Hay que tener en consideración que una evacuación ideal debe ejecutarse de manera calmada pero alerta. Por ende, se sugiere realizar un trabajo adicional por parte de las autoridades para poder disminuir de una u otra manera el conflicto del autocontrol, y por ende la ansiedad de la población.

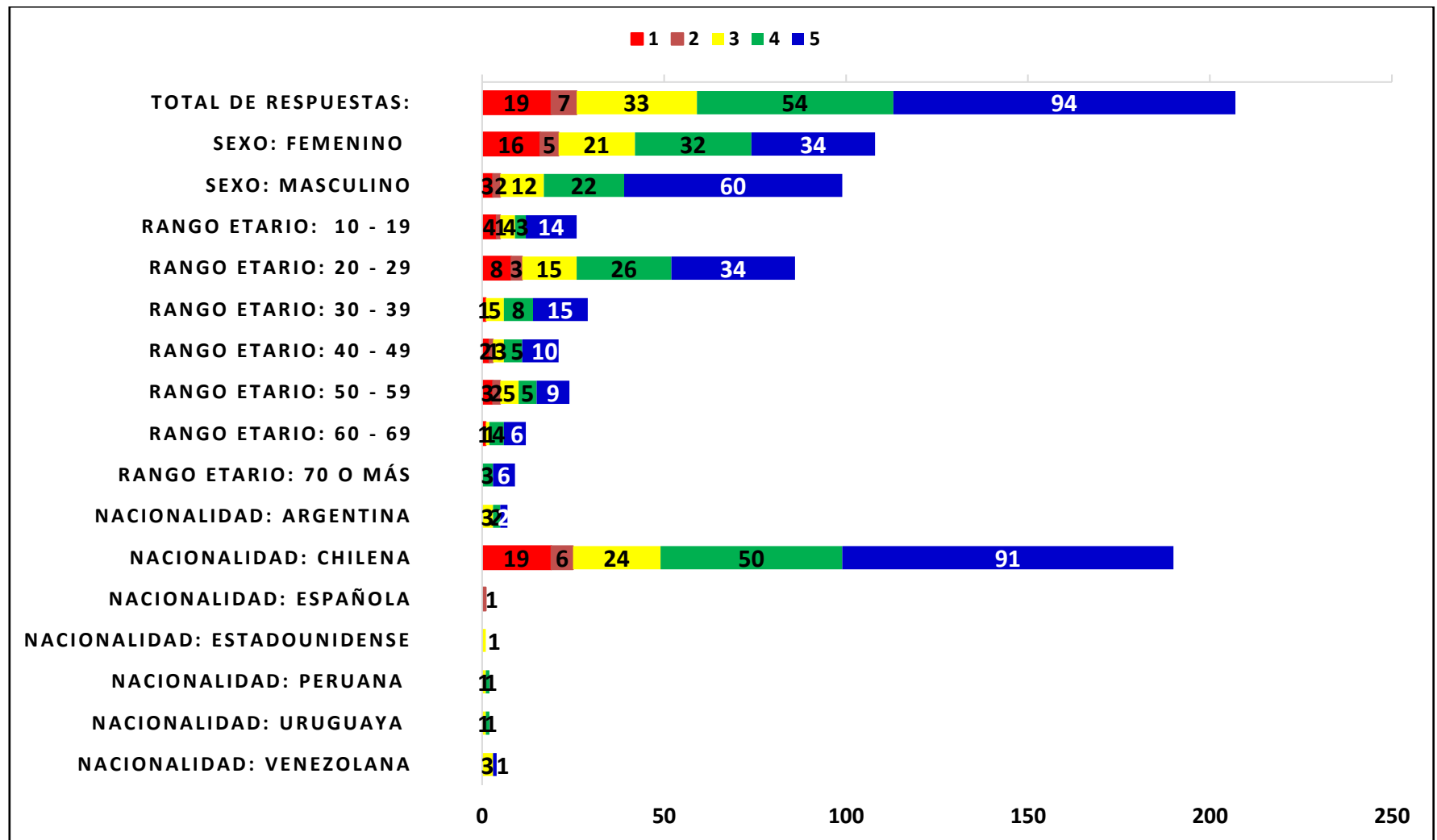


Figura 82 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 11. Fuente: *Elaboración propia.*

La Figura 82 presente a continuación, muestra el total de las respuestas de esta pregunta. Resulta interesante resaltar que, del total de los encuestados un 45% dice mantenerse en tranquilidad frente a un estado de emergencia. En segundo lugar, se encuentra el nivel 4 con un 26%, lo que es equivalente a 54 personas encuestadas.

Por otra parte, las personas que dicen perder el autocontrol corresponden a los dos últimos rangos escogidos por todos los encuestados. El nivel 1 se encuentra en el antepenúltimo lugar con 19 personas que dicen perder totalmente el control, cuyo porcentaje equivale a un 9% del total. Por otra parte, en último lugar se encuentra el nivel 2, la cual presenta un 3%.

9.1.5.1 NACIONALIDAD

La Figura 83 muestra las respuestas de nacionalidad chilena con respecto al total de los encuestados. Como se aprecia en la figura mencionada, el 44% corresponden a chilenos que dicen tener un muy buen nivel de autocontrol. En segundo lugar, se encuentran los chilenos que consideran tener un buen autocontrol frente a una situación de emergencia con un 24%.

Las opciones asociadas a la pérdida del autocontrol presentan porcentajes bajos. El nivel 1 posee el 9% del total de encuestados, mientras que la opción dos sólo el 3%. Esto evidencia, que existe una cultura sísmica debido a la presencia histórica de estos fenómenos.

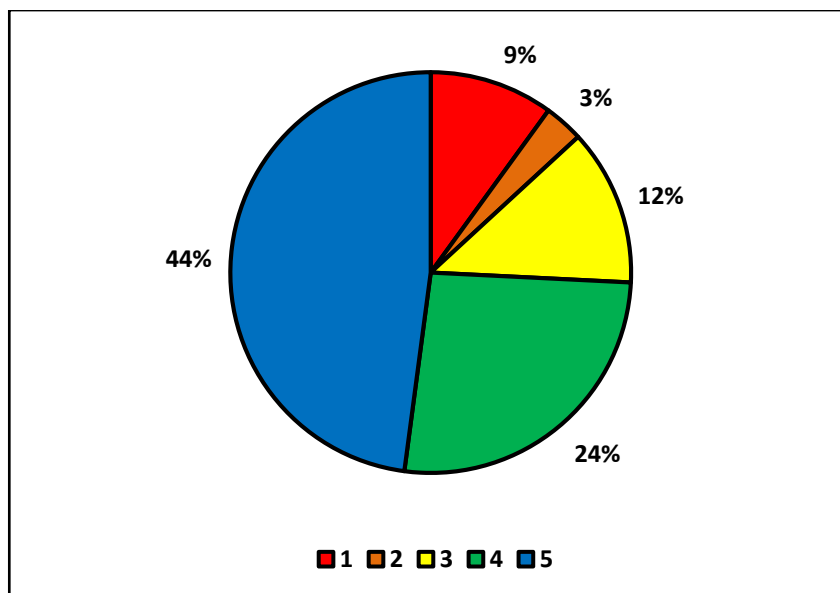


Figura 83 – Respuestas de la pregunta 11 con respecto al nivel de autocontrol de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: *Elaboración propia.*

Por otra parte, los extranjeros encuestados presentan un comportamiento distinto al de los chilenos frente al nivel de autocontrol esperable. Como se ve en la Figura 84, el 4% del total de encuestados corresponde a extranjeros que dicen tener un autocontrol nivel 3. El segundo lugar, corresponde al nivel 4 del autocontrol con un 2%.

Las opciones que reflejan un mal manejo del autocontrol poseen porcentajes bajos, como es el caso del nivel 2, con un 0,5% del total de encuestados. Análogamente, el nivel 1 no posee porcentaje, lo cual es un buen indicador.

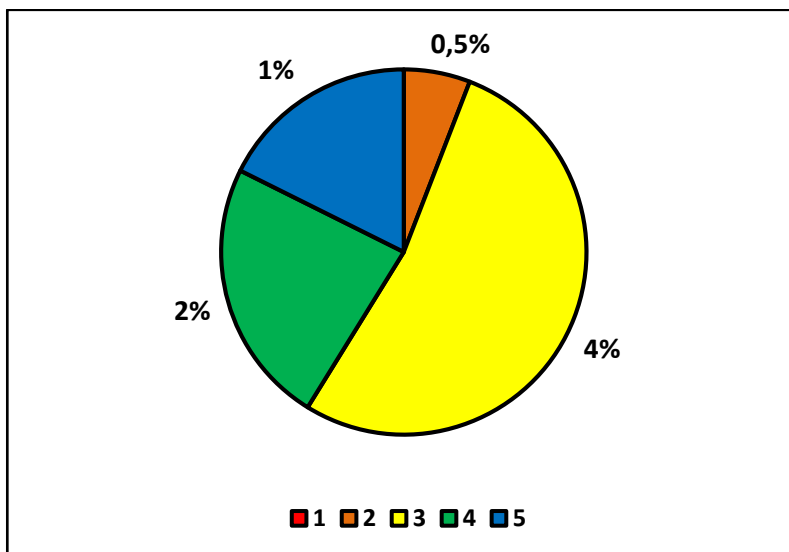


Figura 84 – Respuestas de la pregunta 11 con respecto al nivel de autocontrol de los encuestados de nacionalidad extranjera. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.5.2 RANGO ETARIO

Según la encuesta realizada, el 7% del total corresponden a adolescentes que afirman tener un autocontrol nivel 5, tal como se puede ver en la Figura 85. Posterior a este, se encuentran el nivel 1 y nivel 3 con un 2% de encuestados. Sin embargo, si se suman los niveles 4 y 5, el porcentaje duplica la cantidad de personas que se autocontrolan frente a emergencias, de aquellas que entran en pánico perdiendo completamente la razón.

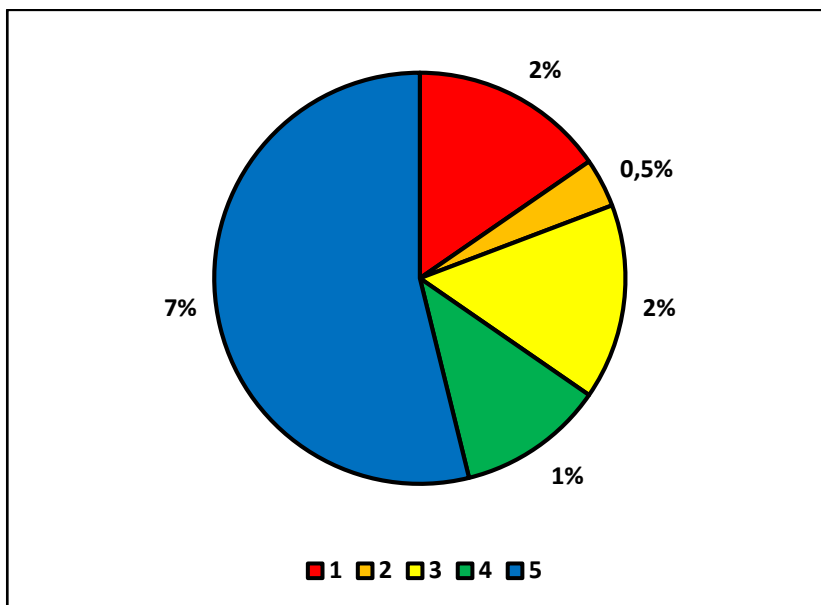


Figura 85 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 11. Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados de la encuesta con respecto al adulto joven (ver Figura 86), muestran como el nivel 5 de autocontrol predomina con un 24% del total de encuestados, lo que equivale a 49 personas. En un segundo lugar se encuentra el nivel 4 de autocontrol con un 24%, el cual aproximadamente corresponde a 34 personas.

Por otra parte, los rangos más problemáticos, como lo son el nivel 1 y 2 presentan los porcentajes más bajos, correspondientes a un 4% y un 1% respectivamente.

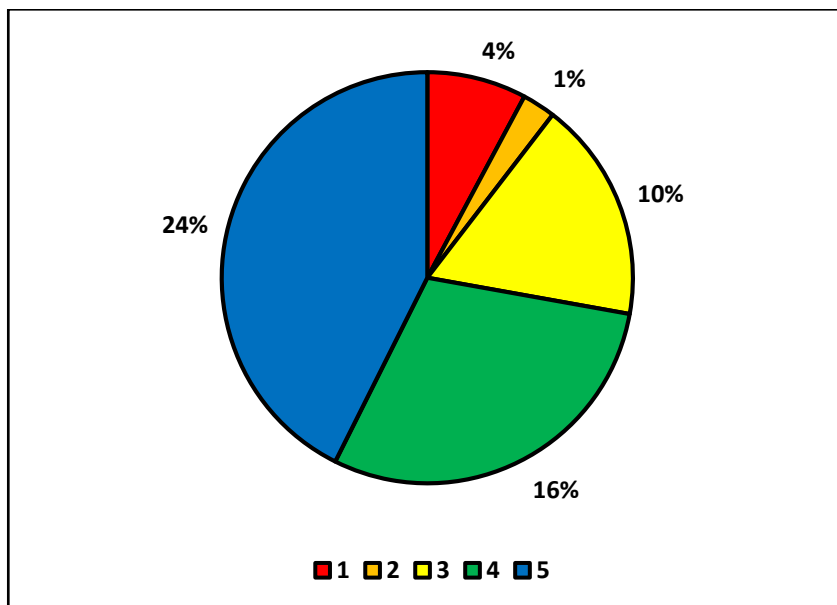


Figura 86 - Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 11. Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados de la encuesta aplicada en la conurbación Valparaíso – Viña del Mar con respecto al rango adulto medio se presentan a continuación en la Figura 87. Al igual que en los rangos etarios anteriores, el nivel 5 del autocontrol predomina con un 9%. Este porcentaje equivale a 19 personas encuestadas.

Por otra parte, en segundo lugar, se encuentra el nivel 4 de autocontrol, seguido desde muy cerca por el nivel 3. Ambos con porcentajes iguales a 5% y 4% respectivamente, diferenciándose sólo en 2 personas.

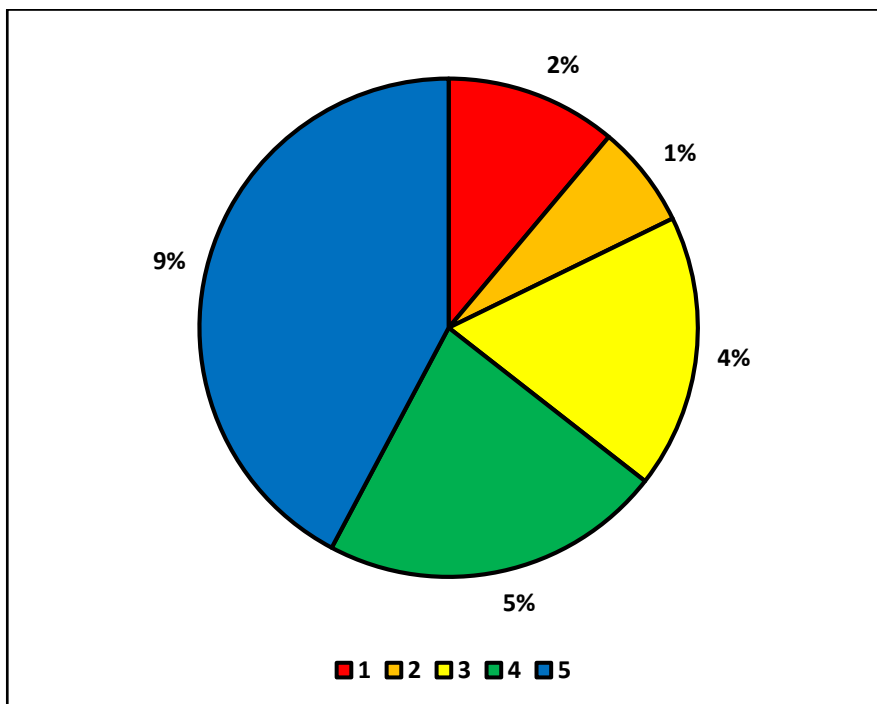


Figura 87 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 11. Fuente: *Elaboración propia.*

Por último, la Figura 88, presenta los resultados de la encuesta con respecto a la pregunta 11, considerando el rango etario de adulto mayor. Como se puede apreciar, al igual que todos los intervalos de edad de esta pregunta, el rango 5 de autocontrol es aquel que presenta una mayor cantidad de encuestados con un 6%. En segundo lugar, se encuentra el nivel 4 de autocontrol, con un 3%.

Análogamente, el nivel 1 de autocontrol presenta un 0,5%, al igual que el nivel 3. Como se puede apreciar, el nivel 2 no presenta ningún encuestado.

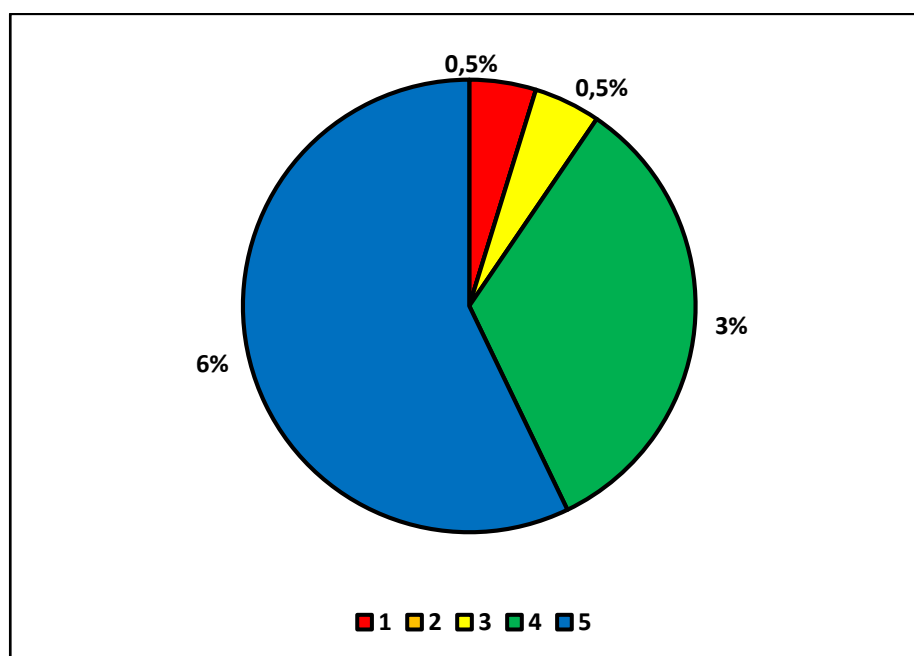


Figura 88 - Respuestas del rango etario Adulto Mayor con respecto a la pregunta 11. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.6 PREGUNTA 13: ¿SABE O CONOCE ALGUNA VÍA DE EVACUACIÓN EN CASO DE QUE TUVIESE QUE EVACUAR AHORA?

Como se ha explicado en la sección 9.1.4, Chile al ser un país sísmico de una u otra manera ha generado una vaga consciencia frente a este tipo de emergencia. Si bien, el conocimiento no se encuentra en su máximo nivel, se sabe que en caso de un terremoto se debe arrancar a altura. No obstante, y para efectos de este estudio, se considera que esta deducción puede generar una demora en la toma de decisión e incluso llevar a un error en la evacuación, generando pérdidas humanas. Esto ocurre debido a que, en el momento en que el evacuado toma la decisión, debe considerar muchos factores en muy poco tiempo. Es en este punto donde la pregunta 13 juega un rol importante, puesto que al tener un conocimiento del territorio se puede generar una evacuación acorde al Plan de Evacuación, planteado por la ONEMI (2016).

A continuación, se presenta la Figura 89, donde se puede ver que el 70% de los encuestados dice conocer la vía de evacuación en caso que tuviesen que actuar al momento de ser consultados. Sin embargo, al responder la encuesta, muchas de las personas consultadas dijeron tener claras las vías de evacuación y la dirección de la zona segura, pero en el proceso de completar la encuesta demostraron no tener un conocimiento real de las vías de evacuación.

Por otra parte, el 30% restante correspondiente a visitantes, dijeron no conocer las vías de evacuación pero que en caso de una emergencia evacuarían en búsqueda de altura.

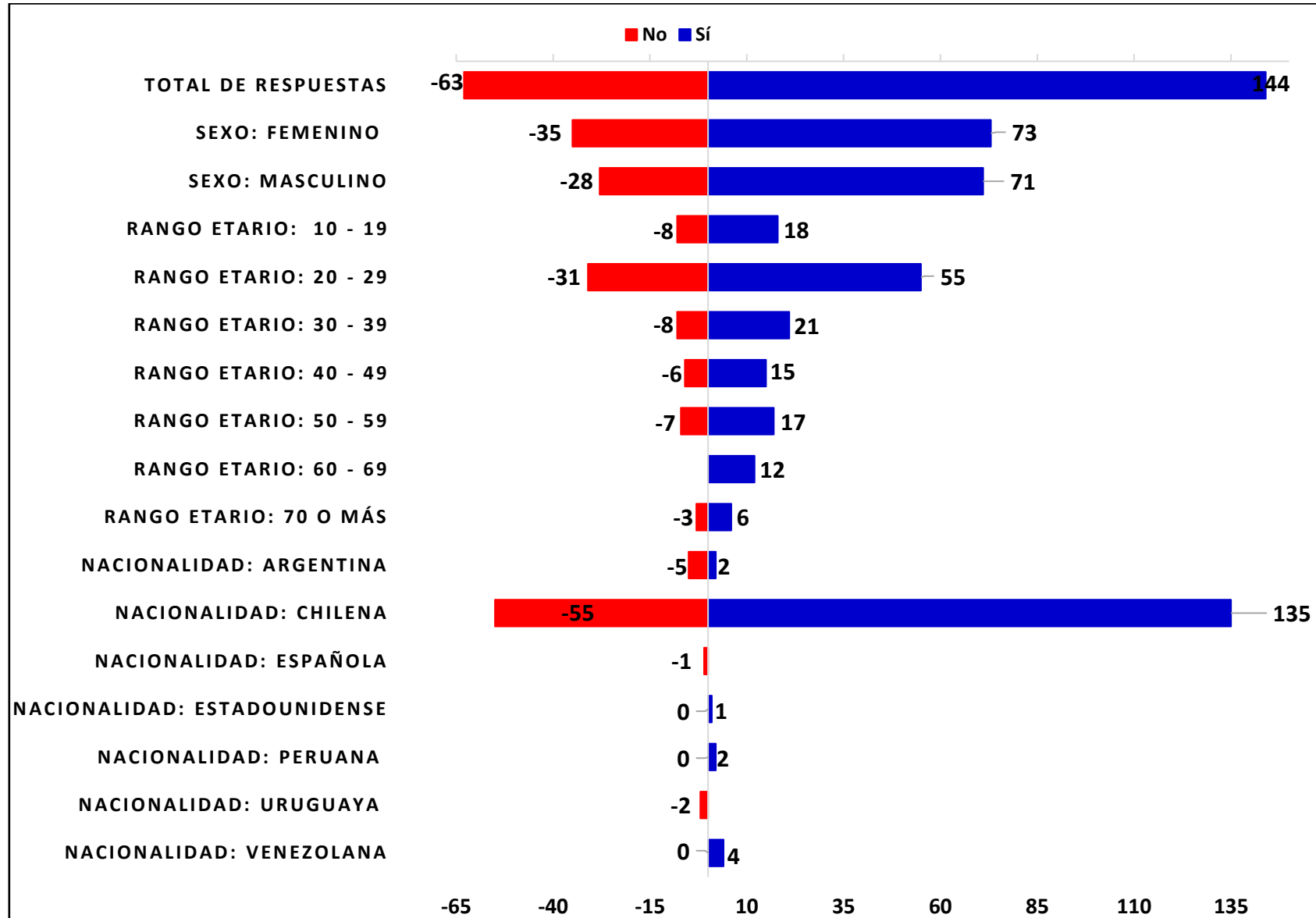


Figura 89 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 13. Fuente: Elaboración propia.

9.1.6.1 NACIONALIDAD

En la Figura 90 se presentan las respuestas de los encuestados que afirman conocer las vías de evacuación con respecto a las nacionalidades.

Del total de encuestados, existe un 65% de chilenos que dicen sí saber la ubicación de la vía de evacuación más cercana al lugar donde se les aplicó el instrumento, evidenciando que si existe un conocimiento del territorio. Por otra parte, la mitad de los extranjeros, correspondiente al 4% del total, dicen tener conocimiento de las vías de evacuación al momento de ser encuestados. Cabe mencionar que este porcentaje de extranjeros componen una cierta cantidad de los que afirman ser residentes de la zona en cuestión, puesto que hay una fracción de residentes extranjeros que niega tener conocimiento de la vía de evacuación más cercana.

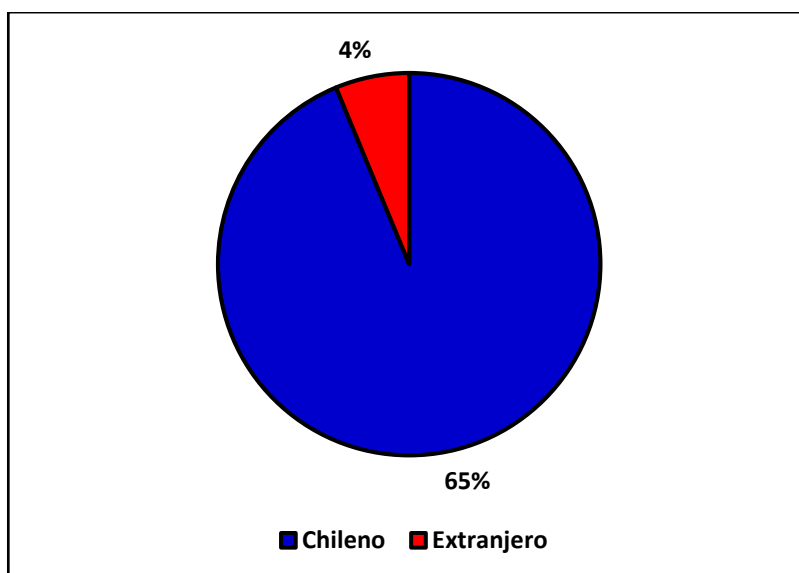


Figura 90 - Respuesta afirmativa de la pregunta 13 con respecto a la nacionalidad. Fuente: *Elaboración propia.*

Por otra parte, en la Figura 91 se presentan las respuestas de los encuestados que dicen no tener conocimiento de las vías de evacuación con respecto a su ubicación al momento de ser consultados. De la figura mencionada, se puede observar que del total de encuestados el 27% corresponden a personas de nacionalidad chilena, siendo este porcentaje casi la mitad de los chilenos que afirman saber por dónde evacuar en caso de emergencia.

Con respecto a los extranjeros, existe un 4% del total de los encuestados que dicen no conocer la vía de evacuación al momento de preguntarles. Esto ocurre debido a que este sector encuestado corresponde en su totalidad a la categoría de visitantes y algunos residentes.

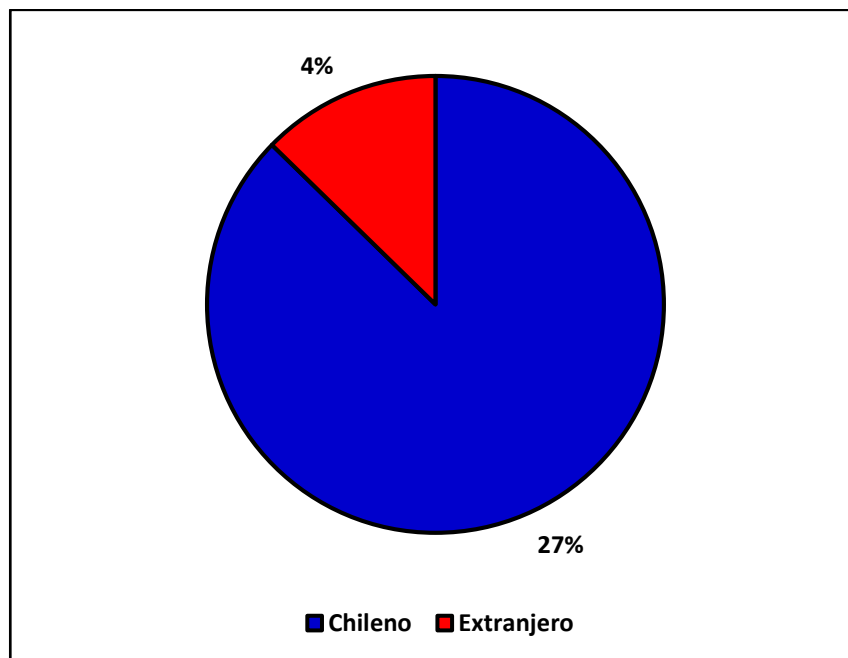


Figura 91 - Respuesta negativa de la pregunta 13 con respecto a la nacionalidad. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.6.2 RANGO ETARIO

En la Figura 92, se presenta la respuesta de los encuestados que dicen sí saber la vía de evacuación más cercana en caso de una emergencia. Del total de encuestados, existe un 37% que corresponde al rango adulto joven. En segundo lugar, se encuentra con un 15% el grupo adulto medio. En último lugar, se encuentran los rangos adolescentes y adulto mayor con 9% del total de encuestados.

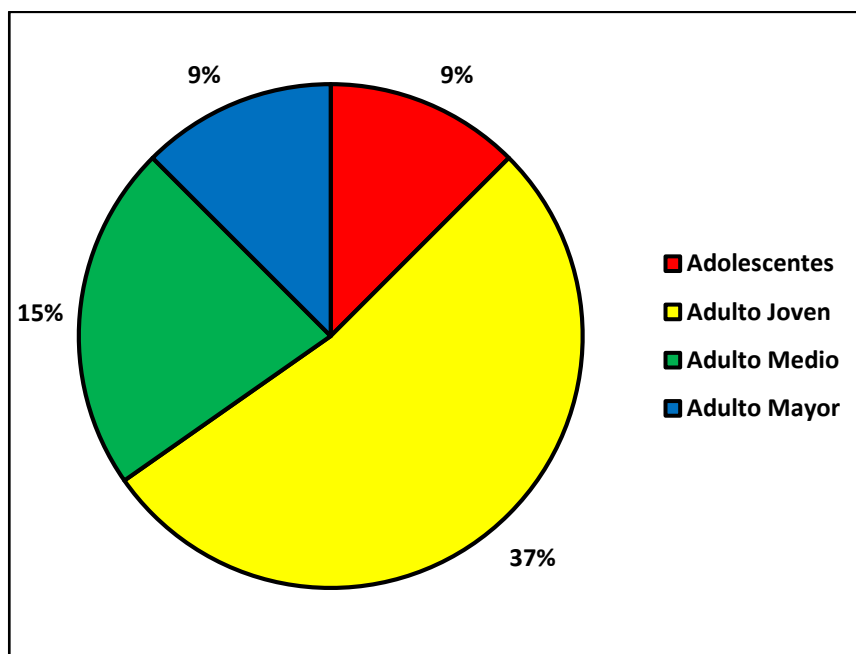


Figura 92 - Respuesta afirmativa de la pregunta 13 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

Si bien, las respuestas de los encuestados que afirman no tener conocimiento de la vía de evacuación (ver Figura 93), se comporta parecido a la figura anterior, existiendo unas leves diferencias. En primer lugar, destaca nuevamente el rango adulto joven con un 19% del total de la encuesta, seguido por un 6% de adulto medio. Los adolescentes, presentan un 4%, mientras que el adulto mayor solo un 1%.

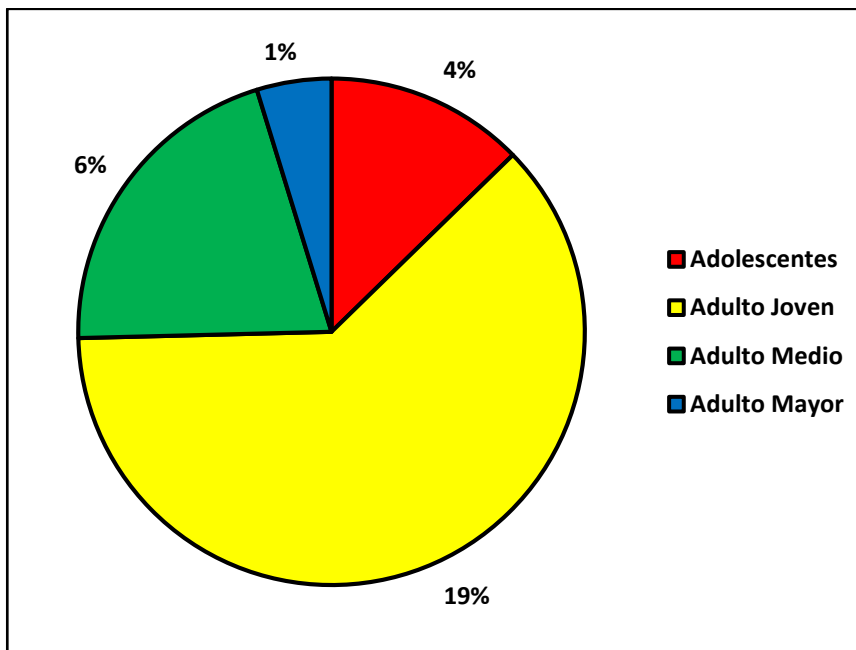


Figura 93 - Respuesta negativa de la pregunta 13 con respecto al rango etario. Fuente: Elaboración propia.

9.1.7 PREGUNTA 14: ¿QUÉ MEDIO UTILIZARÍA PARA EVACUAR EN CASO DE TSUNAMI?

Esta pregunta fue articulada a fin de poder saber cuál es el medio de evacuación más utilizado por la población, entendiendo que el escenario crítico de una evacuación, en cuanto a tasas de mortalidad, ocurre cuando se utilizan automóviles (Wafda et al. 2013). Esto se debe a que los autos generan cuellos de botella, los cuales quitan espacio para que las personas evacúen, teniendo en consideración que posterior a un terremoto existen varios riesgos que potencialmente pueden afectar a las vías de evacuación, en específico a las veredas. Un ejemplo claro de esto son las cornizas, tendido eléctrico, árboles, entre otros, los cuales pueden obstaculizar la acera.

Como se puede apreciar en la Figura 94, el 91% de los encuestados dice evacuar a pie. Siendo este porcentaje satisfactorio. Hay que tener en cuenta que este porcentaje también considera nacionalidades extranjeras. Llama la atención que pese a todas las emergencias que han sucedido en Chile, aún existan personas que escojan evacuar en automóvil, como ocurre con el 5% que afirma utilizar este medio de transporte. De igual manera, ocurre con el 2% de personas que dicen evacuar utilizando bicicleta.

Análogamente, no se registran personas que hayan escogido la opción transporte público.

Cabe mencionar, que esta pregunta considera un total de 211 respuestas, cuya cantidad es superior a los 207 encuestados. Esto ocurre debido a que 4 encuestados pusieron más de una opción como posible método para evacuar u otro medio para movilizarse.

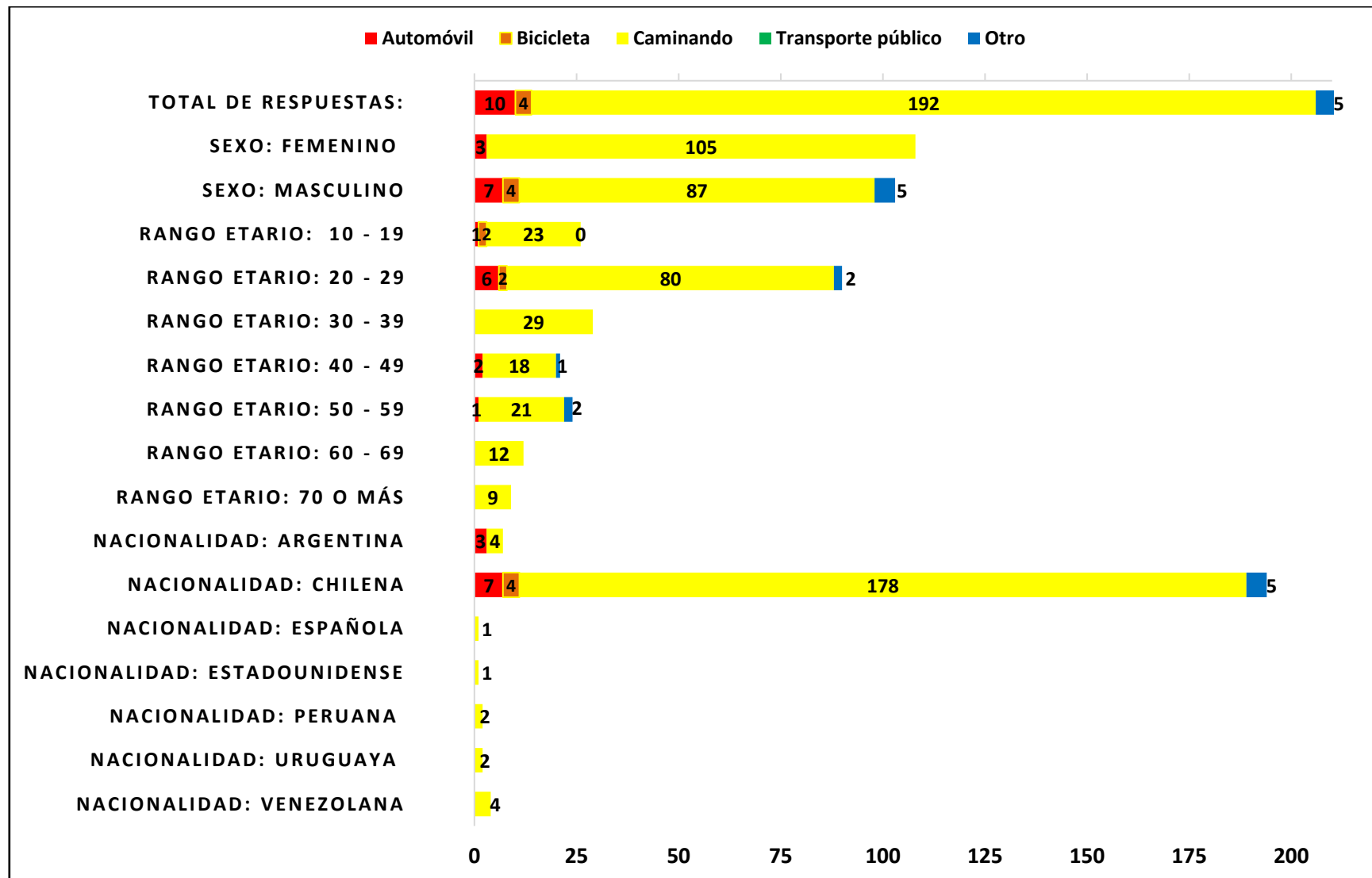


Figura 94 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 14. Fuente: Elaboración propia.

9.1.7.1 NACIONALIDAD

A continuación, se presentan las opciones de la pregunta 14 con sus respectivos porcentajes categorizados en nacionalidad.

La población chilena de los encuestados, en un 84% del total de los casos, escogió la opción de evacuar caminando, tal como se ve en la Figura 95. Este porcentaje corresponde a 178 personas. El resto de las opciones corresponden a bajos porcentajes: 3% Automóvil, 2% Bicicleta y Otro. Resulta extraño pensar que, pese a la cantidad de sismos y la mejora de la ONEMI posterior al terremoto y tsunami del 2010, existan aún chilenos que decidan evacuar usando cualquier otro método distinto a caminar

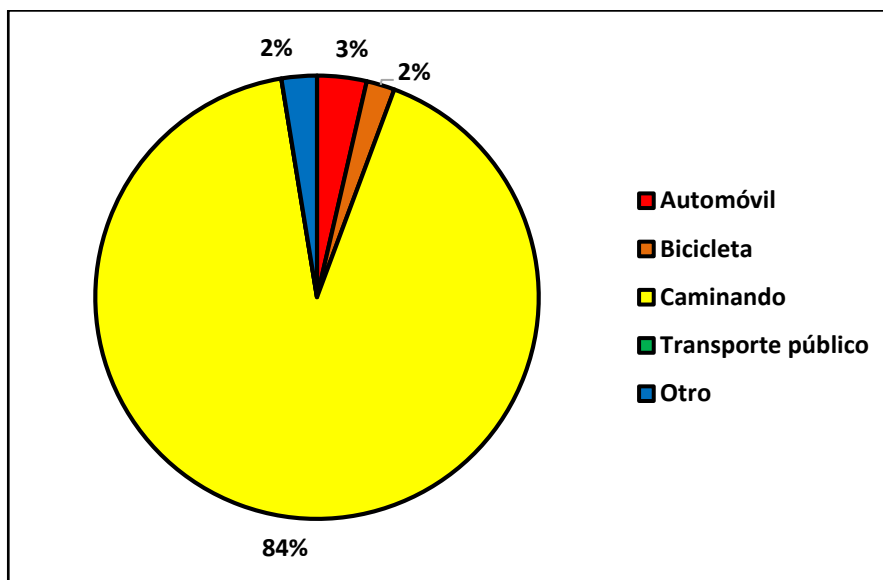


Figura 95 – Respuestas de la pregunta 14 con respecto al método de evacuación de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: *Elaboración propia.*

En cambio, la población extranjera encuestada, pese a ser un porcentaje considerablemente menor al chileno, prácticamente en su totalidad dice evacuar a pie. Esto se ve reflejado en el 7% de la Figura 96, y al mismo tiempo, corresponde al 82% de los extranjeros. Sin embargo, existe un 1% de los encuestados que dice evacuar en automóvil.

Las opciones correspondientes a nacionalidades extranjeras no han considerado como un método viable de evacuación las bicicletas, transporte público u otro medio.

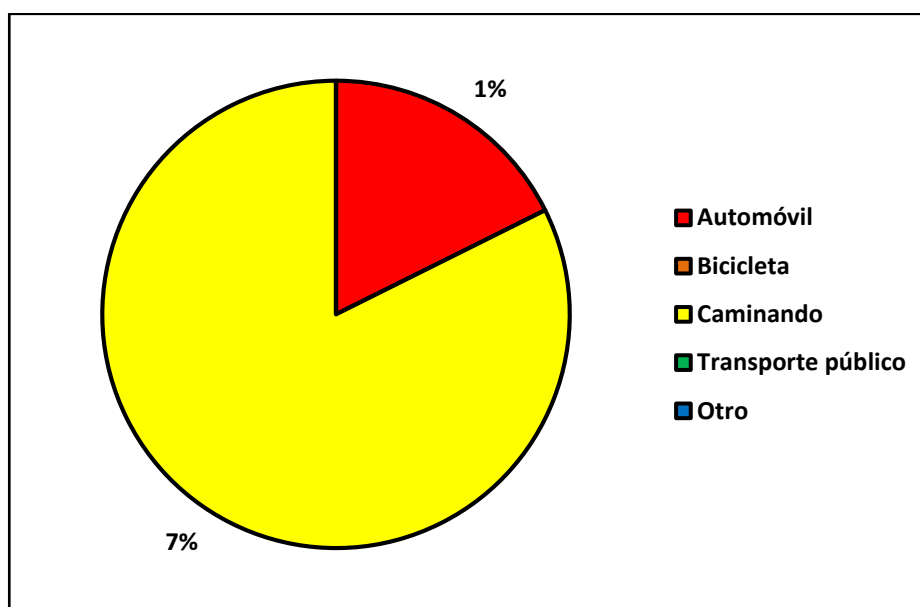


Figura 96 – Respuestas de la pregunta 14 con respecto al método de evacuación de los encuestados de nacionalidades extranjeras. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.7.2 RANGO ETARIO

Según la Figura 97, el 11% del total corresponde a adolescentes que dicen evacuar caminando, siendo este el 88% del total del universo de adolescentes a los que se le aplicó el instrumento. Por otra parte, existe un 1% del total que dice evacuar en bicicleta, así como un 0,5% que dice usar un automóvil para estas emergencias, siendo ambas partes del 12% restante de adolescentes.

Simultáneamente, ninguno de los encuestados de este rango etario considera posible evacuar utilizando el transporte público u otro método.

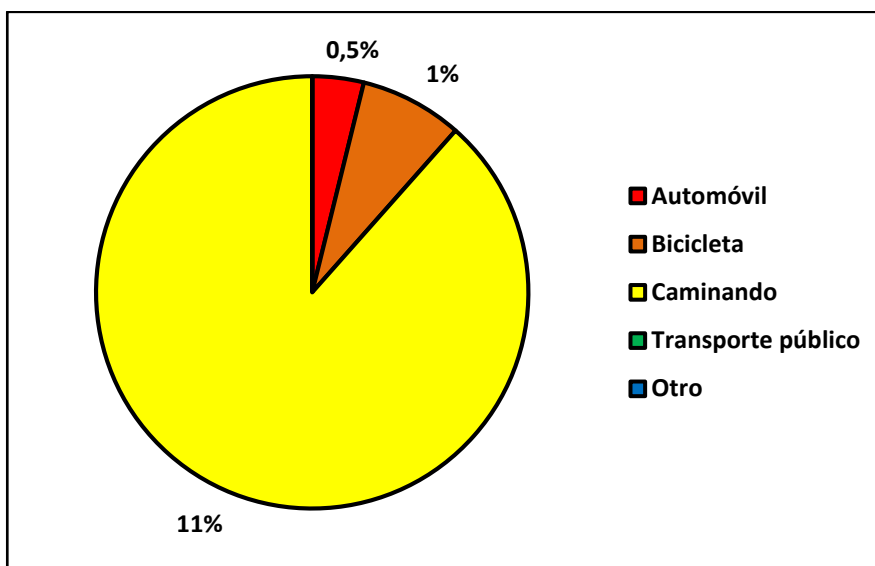


Figura 97 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 14. Fuente: *Elaboración propia.*

Como se aprecia en la Figura 98, al igual que en todas las figuras anteriores de esta sección, el método de evacuación con mayor preferencia por parte de los adultos jóvenes corresponde a caminar con un 52% de los encuestados, opción que equivale a 109 personas. Sin embargo, este rango también presenta un 3% de personas que evacuarían utilizando automóvil, así como adultos jóvenes que evacuarían en bicicleta y utilizando otros medios, con un 1% del total.

Este rango no presenta valores en las opciones transporte público y otros métodos.

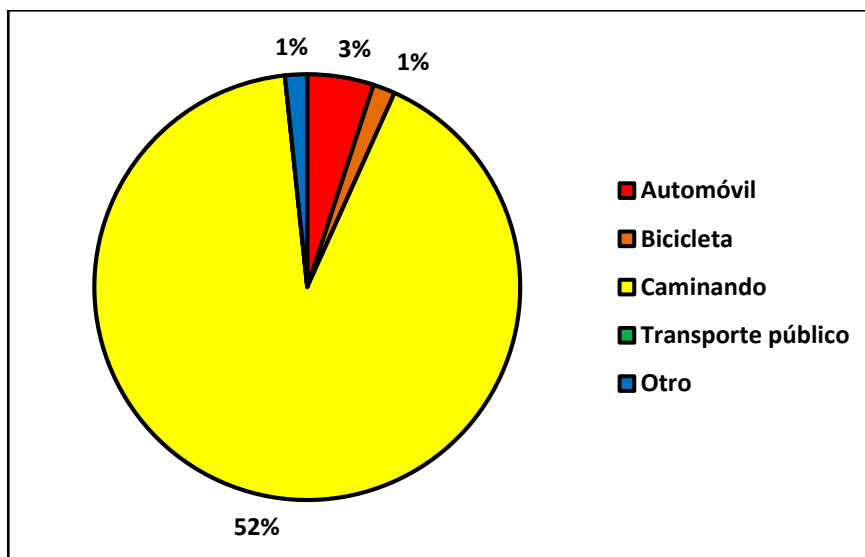


Figura 98 - Respuestas del rango etario Adulto joven con respecto a la pregunta 14. Fuente: *Elaboración propia.*

Las respuestas del rango adulto medio con respecto a la pregunta 14, se presentan en la Figura 99. Estas siguen el mismo patrón que los gráficos anteriores predominando la alternativa de evacuación caminar con un 18%, equivalente a 39 encuestados. Al igual que en casos anteriores, se presentan porcentajes de menor incidencia, pero que se consideran relevantes. El primer caso

es el 3% del total correspondiente a evacuaciones utilizando automóvil, así como un 1% para evacuaciones utilizando bicicleta u otro método.

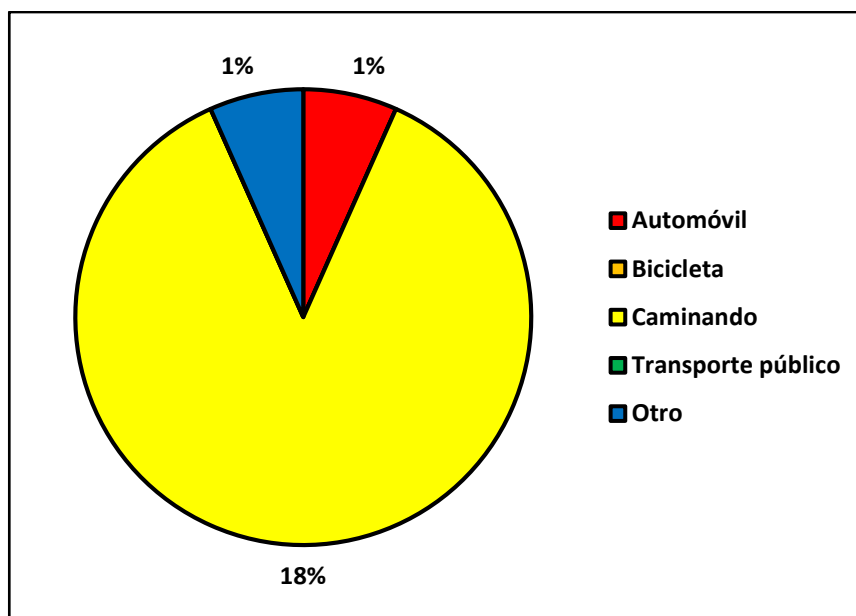


Figura 99 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 14. Fuente: *Elaboración propia.*

A diferencia de los rangos anteriores, el 100% de los adultos mayores dicen evacuar caminando. Este valor corresponde a un 10% del total de encuestados, tal como se presenta la Figura 100.

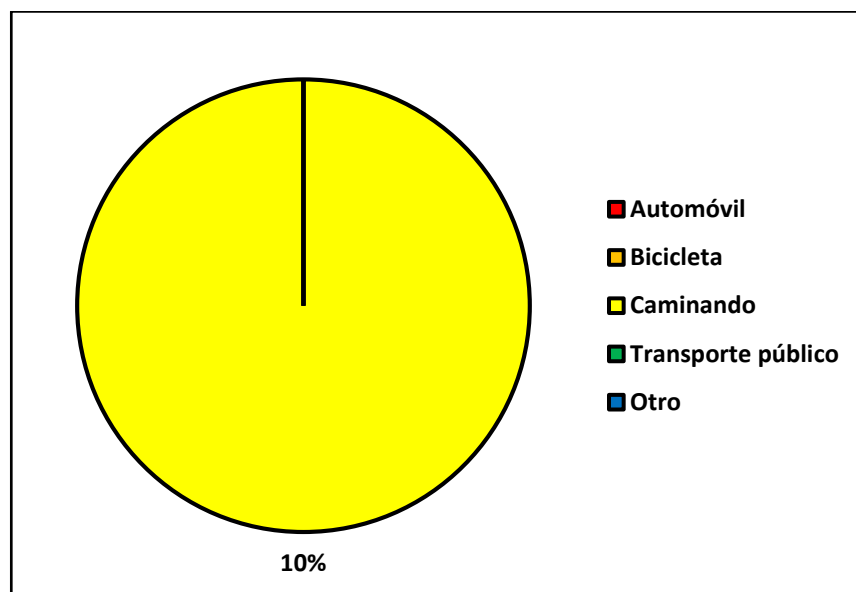


Figura 100 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 14. Fuente: *Elaboración propia.*

9.1.8 PREGUNTA 15: ¿EN QUÉ MOMENTO DECIDIRÍA UD. EVACUAR EN CASO DE TSUNAMI?

La pregunta 15, presenta una dualidad en el fundamento de utilización. Como primer factor, corresponde al resumen de las preguntas 4, 7, 9, 13, 14 y 15, categorizadas como el nivel de conocimiento que el evacuado tiene con respecto a terremotos y tsunamis. Esto se deduce, debido a que el proceso de evacuación relaciona: el nivel de experiencia en eventos similares, en la confianza que cada persona presenta al momento de la emergencia, el nivel de conocimiento del territorio con respecto a la exposición y vulnerabilidad al momento de la emergencia y el método de evacuación a emplear.

Por otra parte, esta pregunta también se utiliza para saber en qué momento exactamente debe evacuar. Para esto se debe tener en consideración las opciones que claramente evidencian si la persona tiene conocimiento concreto o no.

En la Figura 101, se aprecian las respuestas totales entregadas por los encuestados. En la primera fila de esta figura, se puede ver claramente como la mayoría respondió que el momento correcto para evacuar es cuando el terremoto es muy fuerte, siendo según los especialistas, el mejor momento para ejecutar esta acción. La cantidad de esta opción corresponde a 126 personas, siendo un 59% del total de encuestas realizadas.

En segundo lugar, las personas encuestadas aseguraron evacuar posterior a la emisión de la alerta de emergencia entregada por las autoridades, con un 32% del total de encuestados. Este valor es equivalente a 69 personas.

Para efectos de esta pregunta, se ha considerado un universo de 214 respuestas, valor mayor a las 207 personas encuestadas. Esto ocurre por el mismo motivo que se explicó en la sección 9.1.7.

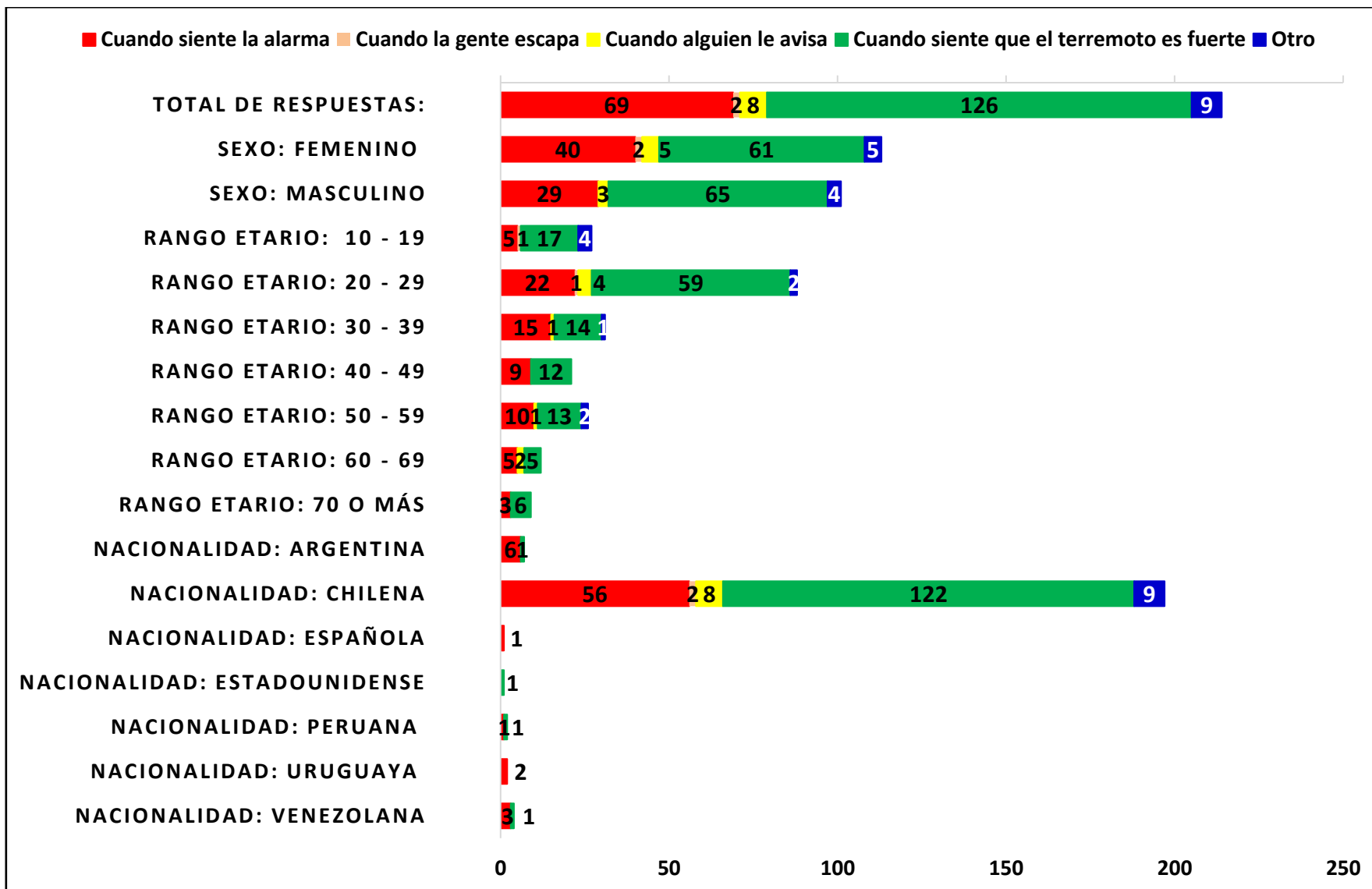


Figura 101 - Respuesta del total de encuestados con respecto a la Pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.

9.1.8.1 NACIONALIDAD

Como se muestra en la Figura 102, el 57% del total de chilenos dice evacuar cuando sienten que el terremoto es muy fuerte, evidenciando que Chile tiene un conocimiento básico frente a situaciones de emergencia generadas por terremotos y/o tsunamis. En segundo lugar, se encuentra la opción de evacuar cuando se siente la alarma, la cual para efectos de evacuación no es lo más aconsejable, debido a que pueden existir fallas debido a múltiples factores. Un ejemplo claro de esto fue lo ocurrido para el terremoto del 2010, en donde todo el sistema de alerta temprana se vio alterado por el terremoto.

Las tres opciones restantes no superan el 4%, por lo que se considerarán prácticamente nulas para efectos de este estudio.

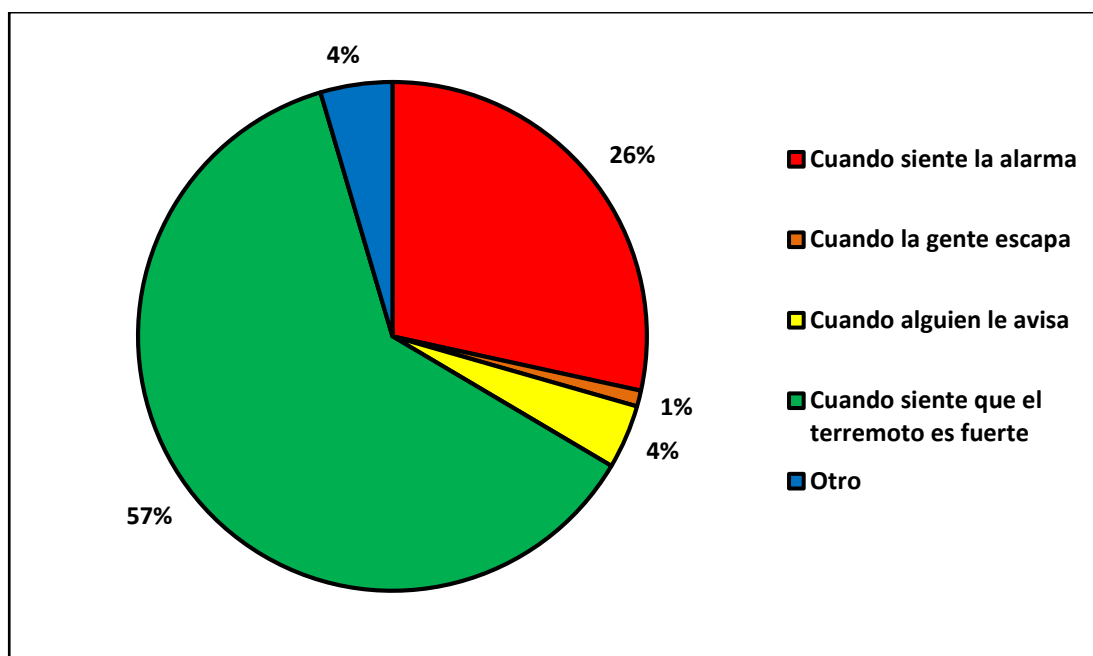


Figura 102 – Respuestas de la pregunta 15 con respecto a la elección del momento de evacuación frente a un tsunami de los encuestados de nacionalidad chilena. Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de los encuestados de nacionalidad chilena, los extranjeros en caso de emergencia prefieren evacuar una vez que escuchan la alarma, tal como se presenta en la Figura 103. Esta elección corresponde al 6% del total de la encuesta, evidenciando un cierto nivel de ignorancia o falta de información.

En segundo lugar, las nacionalidades extranjeras dicen evacuar cuando sienten que el terremoto es fuerte, esta opción corresponde al 2% del total de encuestados.

Análogamente, el resto de las alternativas no presentan porcentajes.

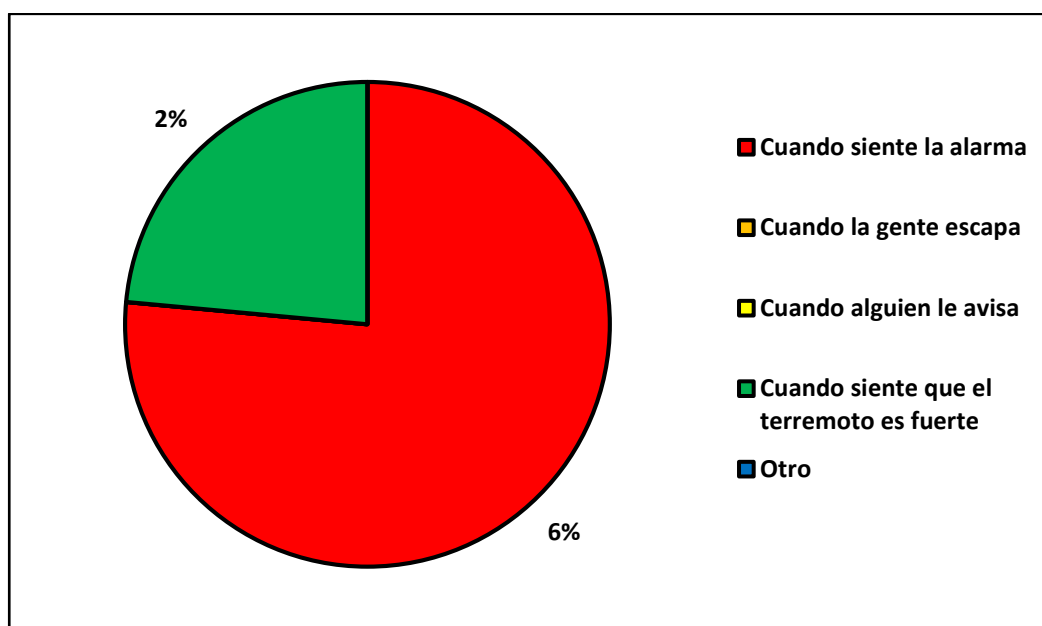


Figura 103 – Respuestas de la pregunta 15 con respecto a la elección del momento de evacuación frente a un tsunami de los encuestados de nacionalidad extranjera. Fuente: *Elaboración propia*.

9.1.8.2 RANGO ETARIO

Los adolescentes, en un 8% del total de encuestados dicen evacuar cuando el terremoto es fuerte, tal como se muestra en la Figura 104. A diferencia de los casos anteriores, este rango etario presenta una igualdad en el segundo lugar, ya que existe un 2% del total que dice evacuar cuando siente la alarma, mismo porcentaje que tiene la opción otro momento para evacuar.

Al mismo tiempo, no se presenta persona encuestada que asegure evacuar cuando alguien le avisa.

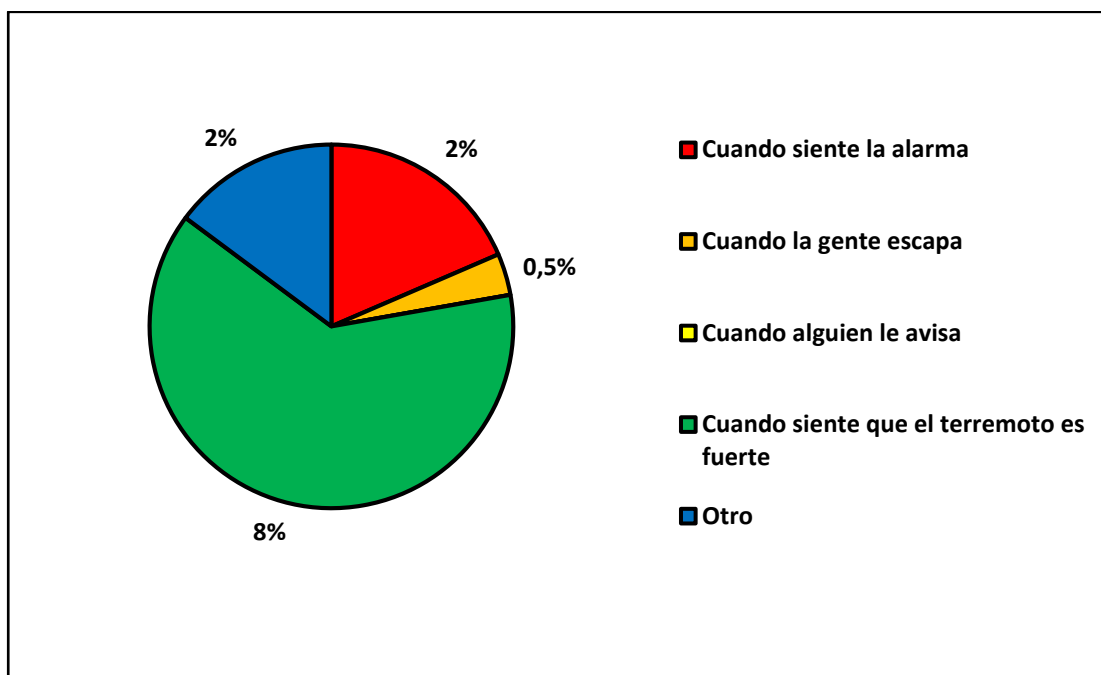


Figura 104 - Respuestas del rango etario Adolescente con respecto a la pregunta 15. Fuente: *Elaboración propia.*

Como se aprecia en la Figura 105, con un 34% del total de encuestados, el rango etario adulto joven asegura que en su mayoría evacuarían una vez que sienten que el terremoto es muy fuerte. Posterior a este, con un 17% del total de encuestados se presenta la opción “cuando siente la alarma”.

Las otras opciones presentan porcentajes bajos, los cuales podrían ser prácticamente despreciables.

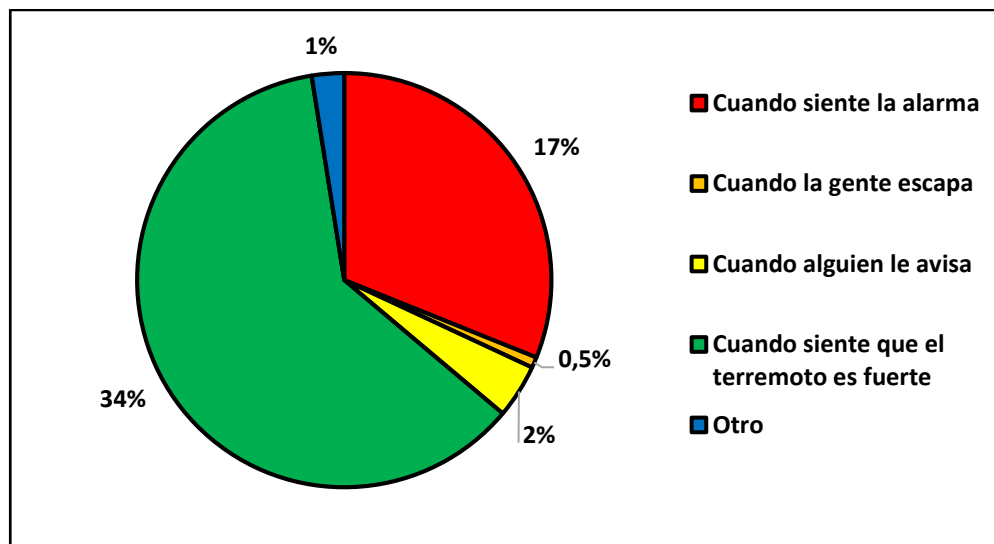


Figura 105 - Respuestas del rango etario Adulto Joven con respecto a la pregunta 15. Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados del rango adulto medio, presente en la Figura 106, exponen que el 12% del total de encuestados aseguran que frente a una emergencia decidirían evacuar al sentir que el terremoto es fuerte. A diferencia de los casos anteriores, destaca la cercanía de porcentajes entre la primera y segunda opción con más respuestas, separándose sólo por 3% del universo encuestado.

Así mismo, las opciones “cuando alguien avisa” y “otro” no superan el 1% del total de encuestados. La última opción, “cuando la gente escapa” no presenta encuestados.

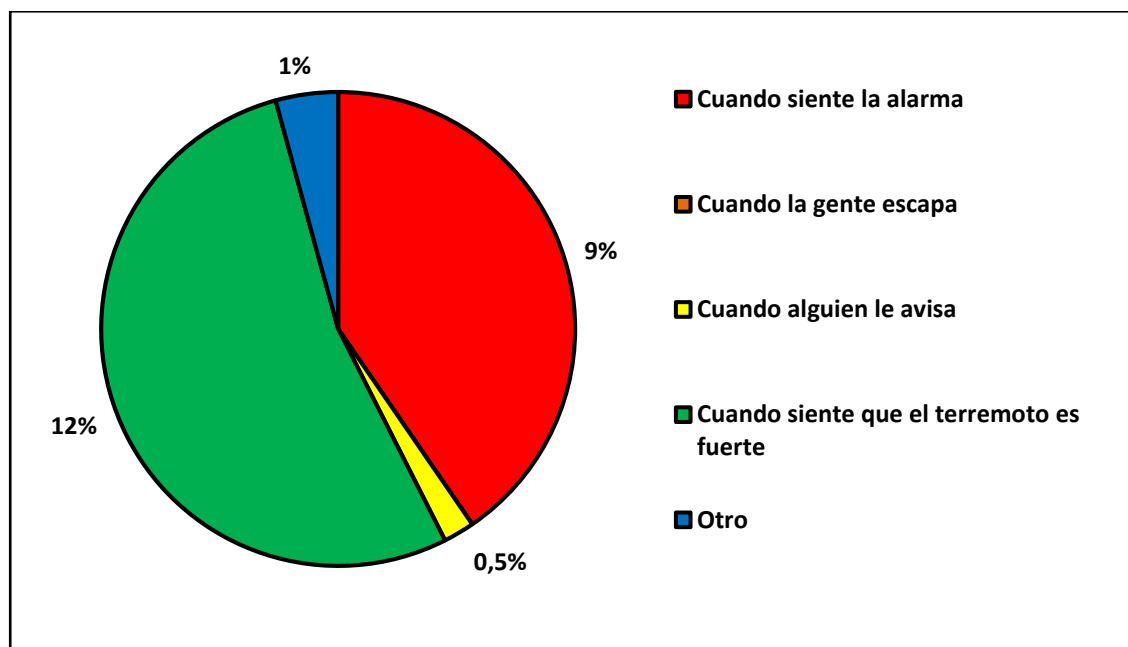


Figura 106 - Respuestas del rango etario Adulto Medio con respecto a la pregunta 15. Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de las opciones anteriores, el adulto mayor solo presenta 3 opciones con porcentaje de respuestas, tal como se ve en la Figura 107. En primer lugar, el adulto mayor dice evacuar cuando siente que el terremoto es fuerte con un 5% del total de encuestados. En segundo lugar, se encuentra la opción cuando siente la alarma, con un 4% del universo. Finalmente, y con un 1% del total de encuestados, aparece la opción “cuando alguien le avisa”.

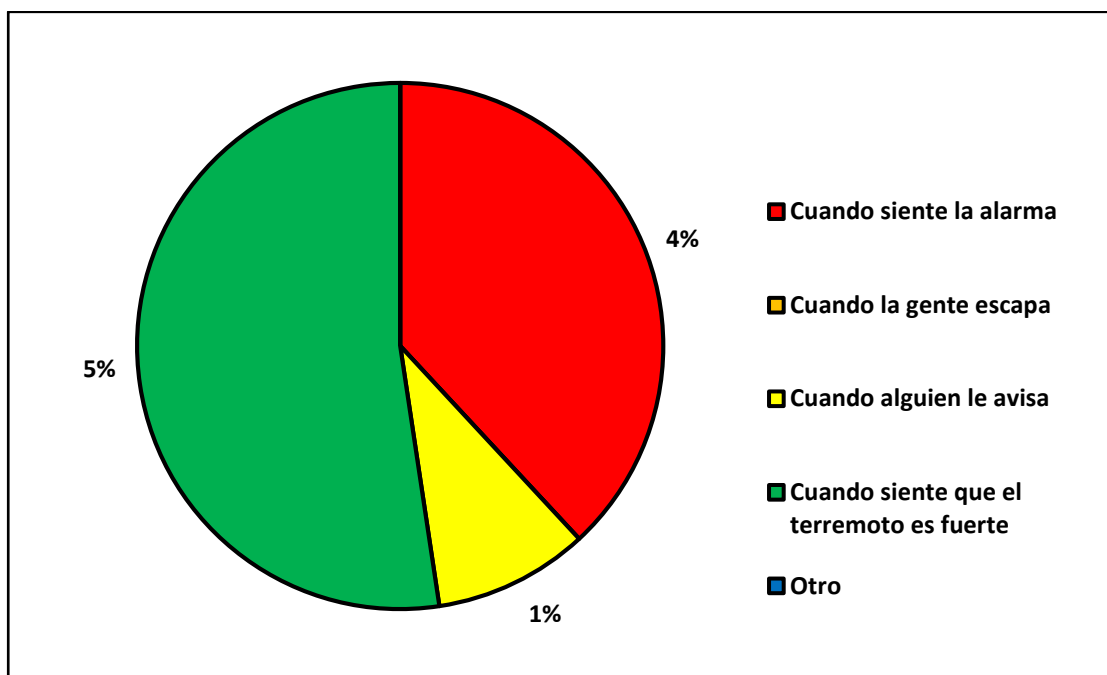


Figura 107 - Respuestas del rango etario Adulto Mayor con respecto a la pregunta 15. Fuente: *Elaboración propia.*