



Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres de Proyectos de Infraestructura Pública

División de Evaluación Social de Inversiones | Diciembre 2017




Gobierno
de Chile

Ministerio de
Desarrollo
Social

gob.cl

Gobierno de Chile



El presente documento fue elaborado para dar cumplimiento a la Estrategia Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, a través de la coordinación de la Mesa 4.5.1 de la Plataforma Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, conformada por Ministerio de Desarrollo Social, Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Obras Públicas y Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN).

Agradecemos a todas las Instituciones Públicas y a todos los profesionales de distintos sectores que apoyaron el desarrollo de la Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública.

Un agradecimiento especial al Sr. Claudio Garuti por su contribución a la definición de la métrica, definición de umbrales y cuantificación de la escala de medida para la estimación del índice de riesgo de desastre.

Agradecimiento a las Instituciones Públicas:

- Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF)
- Departamento de Análisis de la Realidad Social División Observatorio Social, Ministerio de Desarrollo Social
- Dirección de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas
- Dirección de Arquitectura, Ministerio de Obras Públicas
- Dirección de Obras Portuarias, Ministerio de Obras Públicas
- Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas
- Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas
- ILPES, CEPAL
- Instituto Forestal (INFOR), Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Medio Ambiente
- Ministerio de Salud
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- Ministerio de Energía
- Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI)
- Policía de Investigaciones de Chile (PDI)
- Proyecto KIZUNA de JICA
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA)
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN)
- Subdirección de Agua Potable Rural, Ministerio de Obras Públicas

Agradecimientos a Profesionales de Distintos Sectores:

- Andrés Larraín, ALV Ingenieros
- Alondra Chamorro, Investigadora CIGIDEN.
- Carmen Paz Castro, Directora Docencia y Formación de CITRID, Programa de Reducción del Riesgo de Desastres
- Carolinas Valdés, Arquitecta. Profesora Diplomado en Construcción en Tierra: tradición e innovación UC
- Isabel Spencer, Fulcrum - Cepal
- Jason Rivera, Analista de MIDEPLAN, Costa Rica
- Johanna Salas, Analista de MIDEPLAN, Costa Rica
- Jorge Gironás, Investigador CEDEUS, Investigador CIGIDEN
- Patricio Catalán, Universidad Santa María, CIGIDEN
- Roberto Flores, Coordinador Programa MAGEA - MIDEPLAN, Costa Rica
- Roberto Moris, Profesor Asistente. Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile
- Rodrigo Raul, Geólogo, Xterrae Geología
- Sebastián Duarte, Fulcrum

MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL

Subsecretaría de Evaluación Social
División Evaluación Social de Inversiones

CONTENIDOS:

Orietta Valdés R.
Viviana Espinoza M.

EDICIÓN:

Viviana Espinoza M.

INTEGRANTES MESA 4.5.2 PNGRD:

Rosario Walker (CIGIDEN)
Eduardo Koffmann (MDS)
Marcos Rivera (MDS)
Héctor Briones (MOP)
Víctor Pérez (MOP)
Juan Piedra (ONEMI)
Maite Pizarro (ONEMI)
Mariela Trujillo (ONEMI)

DIAGRAMACIÓN:

Elizabeth Vargas B. (ONEMI)

FOTOGRAFÍAS:

Archivo ONEMI

IMPRESO POR:

Derechos Reservados

Ministerio de Desarrollo Social
Catedral 1575, piso 3, Santiago de Chile
www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl

Diciembre 2017

CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVO	9
ALCANCES DE LA METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL	10
1. Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres	12
2. Conceptos Reducción Riesgo de Desastres (RRD)	14
2.1. Amenaza	14
2.2. Exposición	14
2.3. Vulnerabilidad	15
2.4. Resiliencia	15
3. Conceptos en el Contexto del Sistema Nacional de Inversiones (SNI)	16
3.1. Componentes del Riesgo de Desastres	16
4. Medidas de Gestión	18
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	22
1. Análisis de Amenazas	27
1.1. Identificación de la Unidad Funcional	27
1.2. Análisis de Exposición a Amenazas	30
1.3. Identificación del Área Total Afectada	31
2. Evaluación del Riesgo	32
2.1. Cuantificación del Riesgo	32
2.2. Identificación de Alternativas de Medidas de Gestión	44
2.3. Selección de Alternativa de Medidas de Gestión	47
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	54
Anexo N° 1. Glosario	55
Anexo N° 2. Cuestionario de Exposición a Potenciales Amenazas	58
Anexo N° 3. Modelo Multicriterio de Riesgo de Desastres	59

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los principales desafíos como país es la realización de obras de infraestructura en territorios cuyas características históricas han estado marcadas por desastres de origen natural y antrópicos. Esta situación se ha traducido en la pérdida de vidas humanas y en un fuerte impacto social y económico, debido a la afectación de viviendas, la caída de puentes y edificios, destrucción de carreteras y puertos, daños en las redes de agua potable, alcantarillado y electricidad, comunicaciones, etc.

Según señala el Banco Mundial en su informe de Evaluación de Daños y Pérdidas Ocasionadas por los Desastres (2010), la frecuencia y el impacto de los desastres ha ido en aumento en los últimos años, situación que en Chile se hace evidente ya que en los últimos 35 años han ocurrido eventos destructivos en prácticamente todas las regiones del país, entre ellos: terremotos, erupciones volcánicas, remociones en masa, aluviones, tsunamis e incendios.

En términos de costos en infraestructura para el país, estos eventos han significado, para el periodo citado, una cifra aproximada de US\$ 33.200 Millones, lo que representa un valor anual promedio de US\$ 950 Millones, cifra que si es comparada con el presupuesto del Ministerio de Obras Públicas, equivale aproximadamente a un 37,5% del total de su inversión anual en los últimos 9 años (SERNAGEOMIN, 2016).

Debido a lo anterior, y considerando que la presencia humana y sus actividades seguirán siendo cada vez más extensivas e intensivas en el territorio, se ha desarrollado la presente metodología para analizar y evaluar el riesgo de desastres en proyectos de inversión pública.

OBJETIVO

La metodología tiene por objetivo incorporar el análisis y evaluación del riesgo de desastres en la formulación y evaluación de proyectos presentados al Sistema Nacional de Inversiones (SNI). Esto permitirá entregar orientaciones a formuladores, evaluadores y tomadores de decisión en torno a las posibilidades de proyectar y ejecutar proyectos de infraestructura en territorios expuestos a amenazas, al considerar no sólo su pertinencia, sino también al permitir la adopción de medidas de mitigación y/o adaptación.

ALCANCES DE LA METODOLOGÍA

La metodología debe ser aplicada complementariamente al análisis técnico y económico, de proyectos que ingresan al SNI, tanto en la formulación como en la evaluación, para determinar la alternativa de proyecto más conveniente en términos socioeconómicos. Su aplicación estará focalizada a proyectos de construcción, reposición, habilitación, mejoramientos, ampliaciones mayores y normalizaciones, en etapa de pre inversión.

La metodología contiene las indicaciones para evaluar el riesgo de desastres asociado a las siguientes amenazas: Inundación por Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa por Flujos e Incendios Forestales. No obstante, cuando el emplazamiento del proyecto se encuentre expuesto a cualquier otro tipo de amenazas (no detalladas en esta metodología), tales como: Fallas sísmicas, inundaciones pluviales y fluviales, marejadas, entre otras; el formulador deberá analizarlas y efectuar consideraciones al proyecto que permitan obtener mayor resiliencia en su operación.

La metodología está orientada a la reducción del riesgo de desastres de proyectos de infraestructura y no a la estimación del riesgo con fines de planificación y/o gestión de territorios. Por lo tanto, aquellos proyectos que sean formulados para reducir el riesgo de desastres a nivel territorial deberán efectuar consideraciones que permitan mayor resiliencia a nivel de ciudades con otro tipo de herramientas que sí consideren el enfoque territorial.

**CAPÍTULO 1:
MARCO
CONCEPTUAL**

1. POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

2. CONCEPTOS REDUCCIÓN RIESGO DE DESASTRES (RRD)

2.1. Amenaza

2.2. Exposición

2.3. Vulnerabilidad

2.4. Resiliencia

3. CONCEPTOS EN EL CONTEXTO DEL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES (SNI)

3.1. Componentes del Riesgo de Desastres

4. MEDIDAS DE GESTIÓN

1. POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

La actual Política Nacional para la Reducción de Riesgo Desastre (PNGRD), aprobada mediante DS Presidencial N° 1512 del 2016, tiene como objetivo “Otorgar al Estado de Chile un instrumento o marco guía que permita desarrollar una gestión integral del riesgo de desastres donde se articulen la política general con las políticas transversales y las políticas sectoriales, y en donde se lleven a cabo las acciones de prevención, respuesta y recuperación ante desastres, dentro del marco del desarrollo sustentable”¹.

La política se encuentra enmarcada dentro del Marco de Acción de Hyogo (MAH), que fue aprobado en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, celebrado en Kobe, Hyogo (Japón) el año 2005, cuyo compromiso nacional se renueva con la reciente adhesión al Marco de Sendai en marzo del año 2015. Este marco contempló un periodo de duración de 10 años y su principal objetivo fue el “aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres”.

En marzo del 2015 se celebró en Sendai, Miyagi (Japón), la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres, donde fue aprobado el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030.

El Marco de Sendai es el instrumento sucesor del Marco de Hyogo (2005–2015), que desarrolla la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, siendo el primer marco de política mundial de la agenda de las Naciones Unidas para después de 2015. El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 vincula la reducción del riesgo de desastres con los desafíos de desarrollo y resiliencia.

Por otra parte, en 2016, 193 países miembros de las Naciones Unidas se comprometen al desarrollo sostenible, estableciendo la denominada Agenda 2030 que contiene un total de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas, enfocadas a mejorar la calidad de vida. Se destaca que la Agenda 2030

reconoce las necesidades para reducir el riesgo de desastres en diferentes sectores, y lograr infraestructura resiliente para el desarrollo de ciudades sostenibles.

Para abordar las políticas globales de Reducción del Riesgo de Desastres, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI) establece en Febrero del 2016 las bases del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres 2015–2018 (PNGRD), inspirado en las prioridades del Marco de Sendai, y que contempló cinco ejes estratégicos:

1. DS Presidencial N° 1512 del 2016. Política Nacional para la Reducción de Riesgo Desastre.

1

FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL

Lograr que la RRD sea una prioridad nacional, regional y local con una sólida base institucional para su implementación.

2

FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO Y ALERTA TEMPRANA

Poner a disposición del SNPC la información técnica oportuna y de calidad que permita realizar una evaluación del riesgo eficiente y eficaz, para la toma de decisiones.

3

FOMENTO DE LA CULTURA DE LA PREVENCIÓN Y EL AUTO ASEGURAMIENTO

Fomentar en el país una cultura de seguridad y resiliencia, mediante la utilización del conocimiento, la innovación y la educación.

4

REDUCCIÓN DE LOS FACTORES SUBYACENTES DEL RIESGO

Considerar los factores subyacentes del riesgo de desastres del país en función de la toma de decisiones tanto en el ámbito público como privado, en pro de un desarrollo sustentable.

5

FORTALECIMIENTO DE LA PREPARACIÓN ANTE LOS DESASTRES

Para lograr una Respuesta Eficaz, Mantener mecanismos permanentes de coordinación interinstitucional para fortalecer la preparación ante los desastres con el objeto de lograr una adecuada GRD, que asegure una respuesta oportuna, eficaz y eficiente.

Para dar cumplimiento a la prioridad 4 “Reducción de los Factores Subyacentes del Riesgo” del PNGRD, se conformaron mesas de trabajo interinstitucionales para responder a cada uno de los objetivos estratégicos. Específicamente, el objetivo estratégico 4.5 indica: “Incorporar las variables asociadas a la reducción del riesgo de desastres en los sistemas de evaluación social y de impacto ambiental de proyectos dentro del Sistema Nacional de Inversiones Públicas”, haciendo responsable del cumplimiento de este objetivo al Ministerio de Desarrollo Social, a través de la elaboración de una metodología que permitiera analizar y evaluar el riesgo de desastres en proyectos de inversión pública, con el fin de obtener infraestructura resiliente.

2. CONCEPTOS REDUCCIÓN RIESGO DE DESASTRES (RRD)

El Plan Nacional de Protección Civil, oficializado mediante Decreto Supremo N° 156 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública del año 2002, corresponde a un instrumento indicativo para la Gestión Integral del Riesgo, descentralizada de acuerdo a las realidades específicas de riesgos y de recursos de cada área geográfica del país. Este Plan indica que la acción principal de la Protección Civil está centrada en el concepto de riesgo.

Riesgo corresponde a *“la potencialidad de experimentar daños y pérdidas de vidas humanas, sociales, económicas o ambientales en un área particular y durante un período de tiempo definido, como consecuencia de la interacción dinámica entre alguna amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos”* (ONEMI, 2016^a).

El año 2009, la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), define como Riesgo de Desastre a las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y

que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro. Asimismo, se considera que la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) corresponde a los esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y el mejoramiento ante los eventos adversos (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014).

En el ámbito de la reducción del riesgo de desastres (RDD) se distinguen cuatro componentes: **Amenazas, Exposición, Vulnerabilidad y Resiliencia.**

2.1 AMENAZA

Una amenaza es considerada como fenómeno de origen natural, biológico o antrópico, que puede ocasionar pérdidas, daños y trastornos a la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente (ONEMI, 2016^a).

Se evalúan en función de su intensidad o magnitud, frecuencia, duración y ubicación espacial, según el fenómeno a caracterizar. Se considera un factor externo (ONEMI, 2016^a).

2.2 EXPOSICIÓN

Está definida por la localización de la población, infraestructura, servicios, medios de vida, medio ambiente u otros elementos presentes en un área de impacto producto de la manifestación de una o varias amenazas (ONEMI, 2016^a).

Permite identificar los elementos susceptibles de ser afectados, emplazados en áreas de amenaza. Es un *sine qua non*² para expresar el riesgo de desastres, transformándose en la componente que permite que la interrelación entre amenaza y vulnerabilidad se traduzca en un determinado escenario de riesgo (ONEMI, 2016^a).

² Condición sin la cual no

2.3 VULNERABILIDAD

Características propias de la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, que los hacen susceptibles a sufrir trastornos, daños o pérdidas, por el impacto de una determinada amenaza (ONEMI, 2016^a).

Pueden clasificarse según diferentes tipologías tales como: Socio-demográficas, económicas, físicas, ambientales, psicológicas, entre otras. Se considera un factor intrínseco del elemento a analizar, sobre el cual se puede realizar gestión para reducirla. En términos simples, da cuenta de la propensión o predisposición a que un elemento resulte afectado (ONEMI, 2016^a).

2.4 RESILIENCIA

La resiliencia corresponde a un proceso dinámico asociado a la capacidad de un sistema y de sus componentes, tales como: población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, entre otros, para anticipar, resistir, absorber, adaptar y recuperarse de los efectos de un evento, de manera integral, oportuna y eficaz, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas (ONEMI, 2016^a).

3.

CONCEPTOS EN EL CONTEXTO DEL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES (SNI)

El Sistema Nacional de Inversiones (SNI) define a un **Proyecto** como una “Iniciativa de inversión cuyo objetivo es el de incrementar, mantener o mejorar la producción de servicios. Se materializa mediante la construcción de infraestructura y provisión de equipamiento cuando es necesario”.

Un proyecto de inversión pública viene a dar solución a un problema identificado que afecta a una determinada población objetivo, la cual corresponde a la **proporción de la población que puede ser sujeto de intervención**, y será la meta del proyecto, constituyendo la base de su alcance.

En este contexto, se entenderá por **unidad funcional** a la infraestructura del proyecto junto con su entorno inmediato, así como también sus características físicas que determinen el correcto funcionamiento y continuidad del bien y/o servicio que busca entregar.

Asimismo, se entenderá por **Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) para un proyecto de inversión** al esfuerzo por

reducir los daños y pérdidas que ocasionaría un evento en términos de población, infraestructura y servicios que podrían verse afectados en una unidad funcional en un periodo de tiempo, mediante la identificación e implementación de medidas de gestión que permitan reducir el grado de exposición frente a una o más amenazas, y la vulnerabilidad del servicio e infraestructura que forman parte de esa unidad funcional.

3.1 COMPONENTES DEL RIESGO DE DESASTRES

En el marco de la formulación y evaluación de proyectos que ingresan al Sistema Nacional de Inversiones (SNI) se entenderá por **Riesgo de Desastres (RD) de un proyecto de inversión** a los posibles costos y pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de población, infraestructura, medio ambiente y servicios en una unidad funcional, en un periodo de tiempo específico (Ver Anexo 1. Glosario³).

³ Se abordan los principales conceptos asociados al riesgo de desastres.

Este fenómeno ocurre por la sinergia entre la exposición frente a una o un conjunto de amenazas, presencia de vulnerabilidad (física, funcional y social) y resiliencia del entorno o proyecto (físico, funcional y social).

3.1.1 Amenazas

En el contexto de proyectos de inversión pública, en esta metodología se considerará el análisis de las siguientes amenazas⁴: Inundación por Tsunami, Remoción en Masa por Flujo, Erupciones Volcánicas, Incendios Forestales.

3.1.2 Exposición

La **exposición** será considerada como la ubicación de la unidad funcional de un proyecto.

3.1.3 Vulnerabilidad

Se entenderá por vulnerabilidad a las características de la unidad funcional de un proyecto que lo hacen susceptible a sufrir efectos negativos⁵, impidiendo la continuidad del servicio que presta. La

vulnerabilidad será analizada considerando factores físicos, funcionales y sociales.

Vulnerabilidad Física: Corresponderá a todos los factores que hacen que el proyecto sea susceptible a verse afectado por alguna amenaza; queda determinada por sus propias características físicas y técnicas (materialidad), que puede afectar a la calidad y/o continuidad del servicio que presta durante o posterior a una catástrofe.

Vulnerabilidad Funcional: Corresponderá a todos los factores que hacen que el servicio que entregará el proyecto sea susceptible a una amenaza, impidiendo o afectando su continuidad operacional durante y posterior a un evento catastrófico. Los factores determinantes que definen que la vulnerabilidad funcional de un proyecto sea mayor o menor dependerán de la criticidad del servicio entregado y la incidencia de los bienes y servicios que provee el proyecto en la economía local.

Vulnerabilidad Social: Corresponderá a todas las características sociales de la

población objetivo, considerando grupos etarios vulnerables, dependencia física, población potencialmente afectada por interrupción del servicio ante un desastre y población en situación de pobreza.

3.1.4. Resiliencia

Corresponderá a la capacidad de restablecer, recuperar o reponer el bien y/o servicio entregado por el proyecto en el menor tiempo posible. La resiliencia será analizada considerando factores físicos (dentro y fuera del emplazamiento del proyecto), funcionales y territoriales.

Capacidad Física dentro y fuera del emplazamiento: Corresponderá a todas las medidas de adaptación y/o mitigación presentes dentro o fuera del emplazamiento del proyecto, y que darán mayor capacidad de recuperación del servicio durante o posterior a una catástrofe.

Resiliencia Funcional: Corresponderá a todos los factores que interfieren en la capacidad de recuperación del servicio. Los factores determinantes de resiliencia

funcional para proyectos de infraestructura pública serán: la interdependencia de la red de servicios básicos, plan de continuidad operacional del proyecto, accesibilidad vial para situaciones de emergencia y redundancia del sistema para dar continuidad operacional.

Resiliencia Social a Nivel Local: Corresponderá a la capacidad local de enfrentar catástrofes a nivel local, a través de planes de contingencia (plan de emergencia o de gestión del riesgo) desarrollados a nivel local o municipal.

-
- 4 Se excluyen amenaza por terremotos por considerarse que las medidas de mitigación necesarias se encuentran incorporadas en las Normativas de Diseño Sísmico y Construcción Vigentes. No obstante, es de considerar que la normativa sísmica actual apunta al diseño sísmico que evite el colapso inmediato de las edificaciones ante un evento de gran magnitud, con el fin de proteger vidas humanas. Por lo que se está estudiando la manera de incorporar la amenaza en el análisis en futuras actualizaciones de la metodología, para considerar la protección de la infraestructura propiamente tal.
- 5 Deberá entenderse como "efectos negativos" aquellos que reduzcan el nivel del servicio y/o producto que desea entregar un proyecto para una determinada población frente al impacto de una amenaza. Algunos ejemplos corresponden a los siguientes: interrupción a la continuidad del servicio, disminución de la calidad del servicio, disminución en la cantidad entregada del servicio y/o producto, etc.

4. MEDIDAS DE GESTIÓN

La importancia de identificar los componentes del riesgo de desastres en una unidad funcional es que ello permitirá configurar alternativas de proyectos en vista de la conveniencia de efectuar inversión en infraestructura pública en una determinada localización, discerniendo por materialidad, diseño u otras variables que puedan incidir en el nivel de riesgo al que estaría sometida.

En el contexto de la formulación y evaluación de proyectos de infraestructura pública, las medidas de gestión que surjan para la **Reducción de Riesgo de Desastre (RRD)** deberán estar enfocadas, por una parte, a reducir la exposición a la amenaza mediante la identificación de medidas como la localización (proyecto nuevo) o relocalización de un proyecto existente; y por otra, a incrementar la resiliencia o reducir la vulnerabilidad del proyecto, a través de medidas de gestión del riesgo, como adaptar la infraestructura, adoptar planes de contingencia⁶, o incorporar medidas de mitigación, que permitirán reducir el impacto del riesgo asociado a desastres.

Para reducir el riesgo en una unidad funcional, se debe considerar:

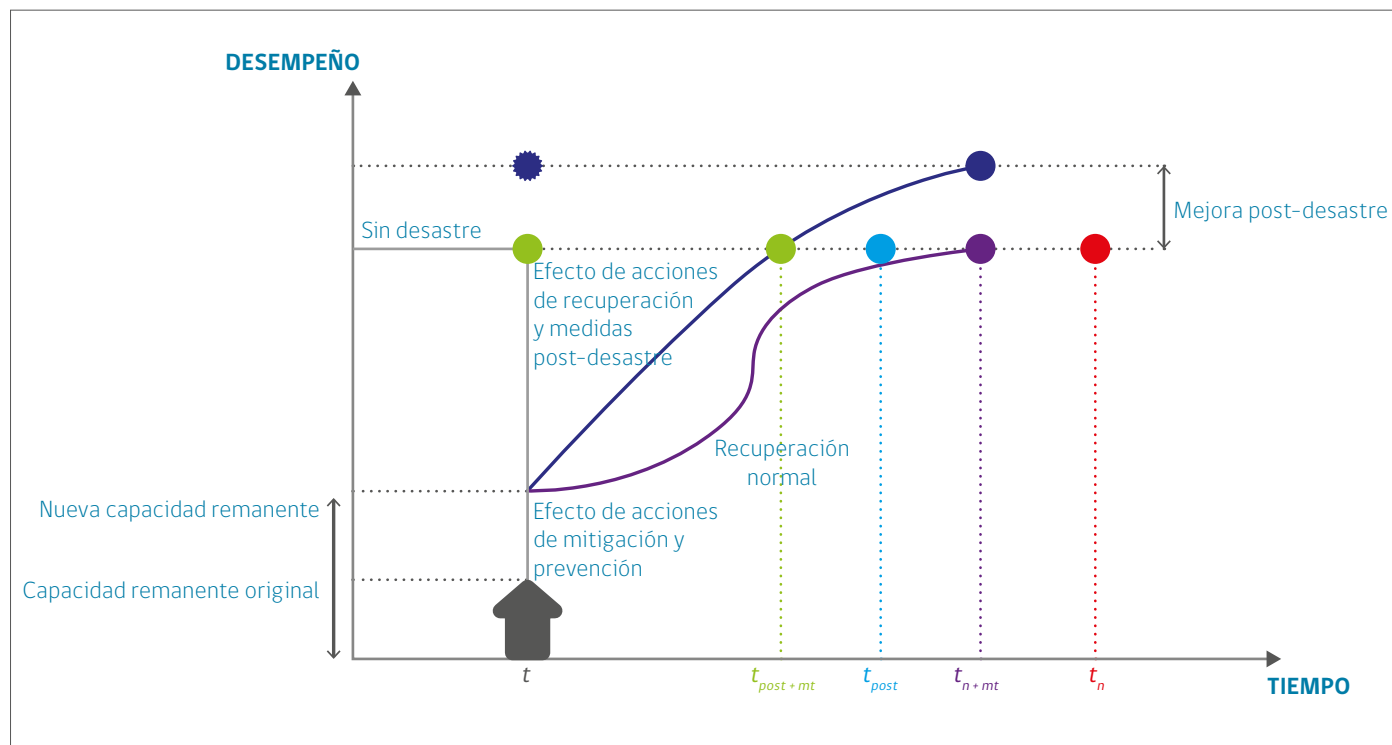
1. Reducir la vulnerabilidad de la unidad funcional mejorando la estructura, calidad de los materiales, tecnología y otros relacionados con la infraestructura propia del proyecto como también del entorno. Si bien un proyecto no se puede hacer cargo de la vulnerabilidad física del entorno inmediato, es importante identificar sus debilidades y recomendar medidas de gestión que permitan asegurar la entrega del servicio, tal como medidas de adaptación de su infraestructura, dado que un evento de desastre podría causar inhabilitación del acceso, causar daño a su infraestructura, generar daño al servicio o a la población atendida.

2. Incrementar la resiliencia de la unidad funcional, es decir, mejorar la capacidad de recuperación de la infraestructura, reposición del servicio o del acceso a éste por parte de la comunidad, considerando dentro de esto último, la recuperación de las vías de acceso a un servicio o infraestructura mediante planes de contingencia.

Esquemáticamente, la siguiente figura muestra cómo las acciones de reducción de la vulnerabilidad pueden influir positivamente en la curva de restauración del sistema:

⁶ Ver en Glosario. Anexo N° 1.

Figura N° 1. Curva de restauración del sistema post - desastre



Fuente: CNID (2016)

Para la identificación de medidas de gestión para la reducción del riesgo de desastres se analizará cada uno de sus componentes por separado, con el objetivo de obtener medidas focalizadas en resolver los problemas puntuales identificados y que están relacionadas

directamente con la intensidad y efecto de cada componente que genera el riesgo sobre la unidad funcional.

Finalmente, la identificación de todas las medidas de gestión permitirá la conformación de alternativas para la

reducción de riesgo de desastre, las que, posteriormente, serán sometidas a la evaluación socioeconómica, con el objetivo de seleccionar la alternativa más conveniente.

Figura N° 2. Identificación de Medidas de Gestión



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

1. ANÁLISIS DE AMENAZAS

- 1.1. Identificación de la Unidad Funcional**
- 1.2. Análisis de Exposición a Amenazas**
- 1.3. Identificación del Área Total Afectada**

2. EVALUACIÓN DEL RIESGO

- 2.1. Cuantificación del Riesgo**
- 2.2. Identificación de Alternativas de Medidas de Gestión**
- 2.3. Selección de Alternativa de Medidas de Gestión**

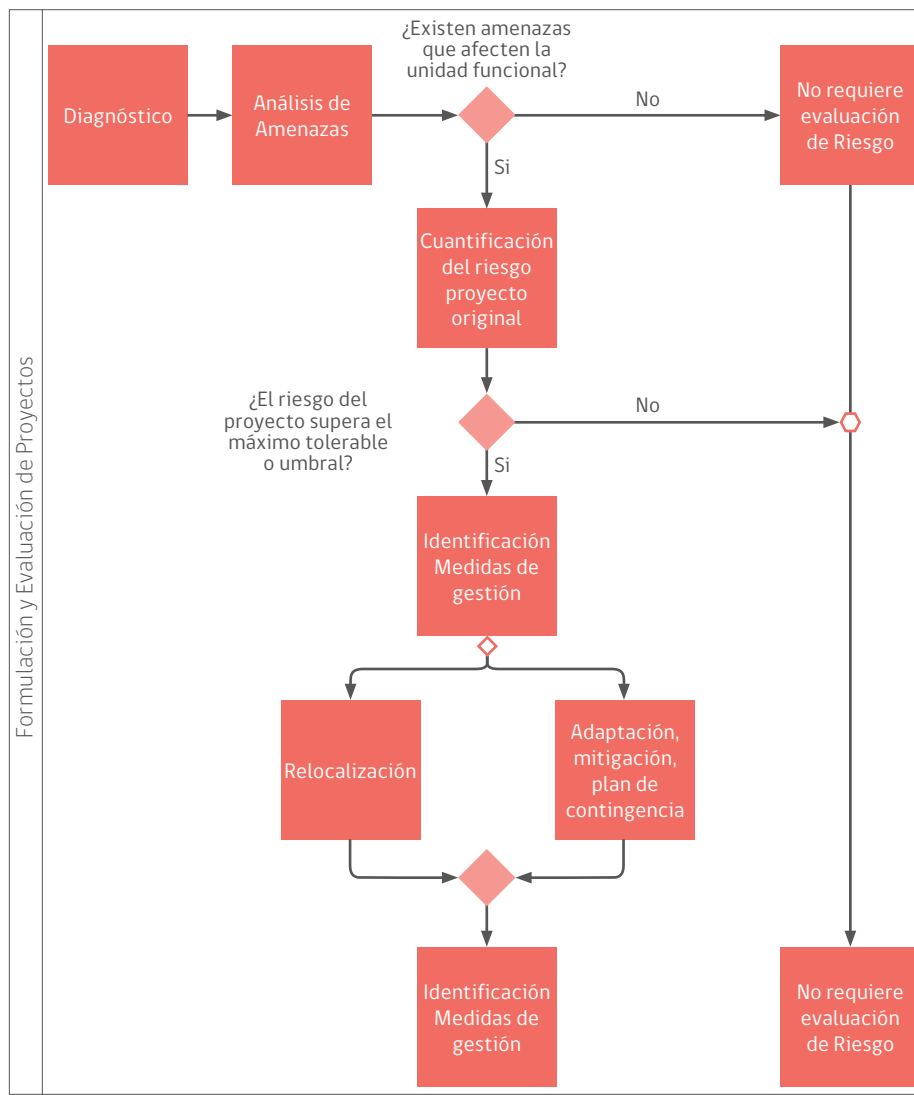
El siguiente capítulo indica el proceso de aplicación de la metodología complementaria para el análisis y evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura pública.

Esta metodología debe ser aplicada durante la formulación y evaluación de proyectos que ingresan al SNI.

Para cada alternativa de solución identificada en la formulación del proyecto se debe efectuar el análisis para verificar si está expuesta a una amenaza. Cuando se identifique algún tipo de exposición frente a distintas amenazas (remoción en masa, tsunamis, incendios forestales o erupciones volcánicas), se tendrá que cuantificar el riesgo de desastres, en términos del grado de exposición, vulnerabilidad y resiliencia, con el propósito de identificar y seleccionar la alternativa o el conjunto de alternativas de gestión más convenientes para reducir el riesgo de desastres. La siguiente Figura (Figura N° 3) indica el proceso por el cual un proyecto que ingresa al SNI debe analizar la pertinencia de evaluar el riesgo de desastre.

La metodología complementaria para el análisis y evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura pública deberá ser aplicada en la etapa de pre inversión, específicamente al momento de elaborar el perfil del proyecto o según los requerimientos definidos por el sector, siguiendo los requisitos secto-

Figura N° 3. Diagrama de Proceso Proyecto de Inversión Pública

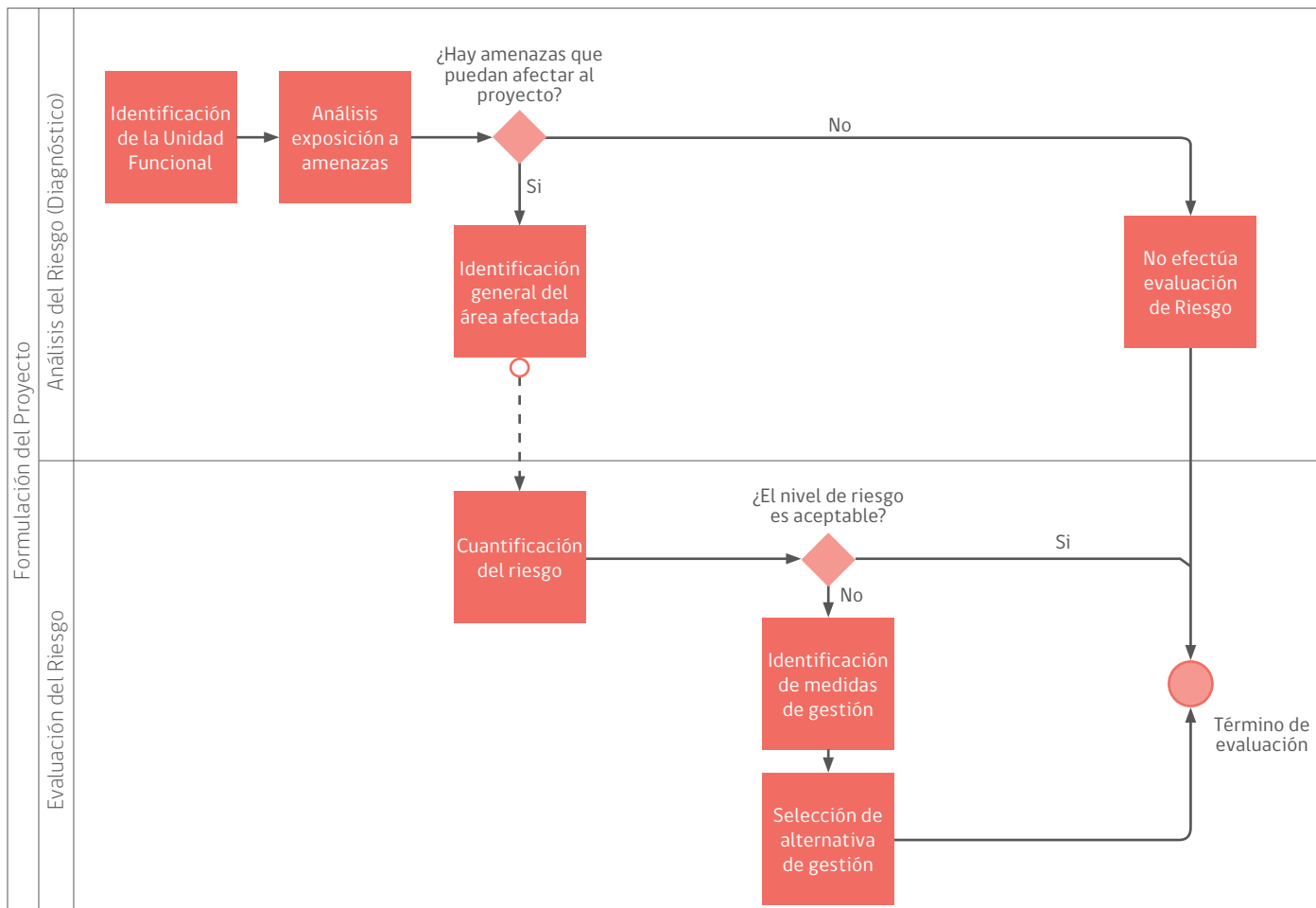


Fuente: Elaboración propia.

riales para la formulación de proyectos, contenidos en las Normas de Inversión Pública (NIP).

La metodología consta de 2 etapas: Análisis de Amenazas y Evaluación del Riesgo (Ver Figura N° 4).

Figura N° 4. Estructura del Análisis y Evaluación del Riesgo



Fuente: Elaboración propia.

En la primera etapa de **Análisis de Amenazas** se efectúa el diagnóstico del territorio, donde se aborda cómo reconocer de manera simplificada la exposición a amenazas en la unidad funcional. Para analizar el grado de exposición del proyecto se deberán abordar los siguientes pasos:

1. Identificación de la Unidad Funcional
2. Análisis de Exposición a Amenazas
3. Identificación del Área Total Afectada

En la *identificación de la Unidad Funcional* el formulador debe caracterizar el área de emplazamiento del proyecto y su entorno inmediato, así como también a sus características físicas que determinen el correcto funcionamiento del bien y/o servicio que busca brindar el proyecto. Posteriormente, debe *analizar la exposición a amenazas* mediante la aplicación de dos herramientas. La primera consiste en la delimitación de las zonas afectadas por inundación por tsunamis, erupciones volcánicas e incendios forestales utilizando el **Visor Web "Chile Preparado"**⁷ de ONEMI, mientras que la segunda herramienta consiste en la aplicación de un **Cuestionario** que permite identificar la exposición de otras amenazas.

La intersección entre la unidad funcional y la exposición a amenazas de la unidad funcional da como resultado la *identificación del área total afectada* o expuesta a amenazas.

Cuando el proyecto presente evidencia de exposición a amenazas por tsunamis, erupciones volcánicas, remoción en masa y/o incendios forestales, entonces el formulador deberá efectuar la evaluación del riesgo.

La segunda etapa de la metodología, **Evaluación del Riesgo**, tiene por objetivo evaluar el nivel de riesgo del proyecto mediante la cuantificación del grado de exposición a las amenazas, vulnerabilidad y resiliencia del proyecto y su entorno y, de este modo, plantear medidas de gestión que permitan reducir el riesgo de desastres. Para esto, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Cuantificación del Riesgo Sin Medidas de Gestión
2. Identificación de Medidas de Gestión
3. Selección de Alternativas de Medidas de Gestión

La *Cuantificación del Riesgo Sin Medidas de Gestión* se efectuará mediante una escala de valorización del riesgo, conjugando la exposición a amenazas, vulnerabilidad y resiliencia de la unidad funcional, con un modelo desarrollado para esta metodología con el enfoque multicriterio. A partir de esto se debe efectuar la *Identificación de Medidas de Gestión para la Reducción de Riesgo*, lo que permite proponer alternativas tales como medidas de mitigación, adaptación y planes de contingencia, que permitirán reducir el riesgo del proyecto en distinto grado.

Finalmente, el formulador debe efectuar la *Selección de la Alternativa de Medidas de Gestión* para la reducción de riesgo más conveniente aplicando el criterio de decisión indicado en esta metodología.

⁷ Visor Web Chile Preparado www.onemi.cl/visor-chile-preparado

1. ANÁLISIS DE AMENAZAS

El **análisis de amenazas** tiene por objetivo reconocer de manera preliminar la exposición a amenazas en la unidad funcional y verificar la pertinencia de la aplicación de la presente guía metodológica.

Para asegurar una correcta identificación del riesgo en la unidad funcional se deben abordar los siguientes pasos:

- 1) Identificación de la Unidad Funcional,** que consiste en caracterizar el área de emplazamiento del proyecto y su entorno inmediato, así como también a sus características físicas que determinen el correcto funcionamiento del bien y/o servicio que busca brindar el proyecto.
- 2) Análisis de Exposición a Amenazas,** corresponde a la identificación de amenazas presentes en la unidad funcional, mediante la aplicación de herramientas de información geográfica y un cuestionario.
- 3) Identificación del Área Afectada,** corresponde a la intersección entre la unidad funcional y la zona afectada por amenazas.

Como resultado de este diagnóstico se determina la necesidad de efectuar la **evaluación del riesgo**.

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional es un componente del área de estudio, y corresponde a la infraestructura junto con su entorno inmediato (calles de acceso y ubicación de transporte público), así como también a sus características físicas que determinen el correcto funcionamiento del bien

y/o servicio que busca brindar el proyecto en términos de continuidad, calidad y cantidad. Implica su entorno inmediato, específicamente a su área de ubicación y los terrenos aledaños a él, considerando calles de acceso y ubicación de transporte público que especificarán los puntos desde dónde accederá la población objetivo. (Ver Figura N°1)

Figura N° 1. Componentes del área de estudio

ÁREA DE ESTUDIO

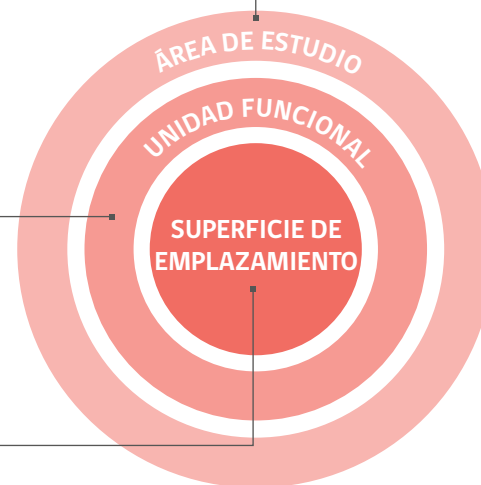
Corresponde a la unidad territorial, que puede estar determinada por el radio urbano o rural, sus límites geográficos y político-administrativos, sus condiciones de accesibilidad, densidad de población, infraestructuras existentes, principales actividades económicas, centros urbanos (si los hubiera), además de aspectos sociales, culturales y económicos.

UNIDAD FUNCIONAL

Corresponde a la infraestructura junto con su entorno inmediato (calles de acceso y ubicación de transporte público), así como también a sus características físicas que determinen el correcto funcionamiento del bien y/o servicio que busca brindar el proyecto en términos de continuidad, calidad y cantidad.

SUPERFICIE DE EMPLAZAMIENTO

Corresponde a la ubicación exacta que ocupa y los aspectos locales que configura su ubicación física.



Fuente: Elaboración propia.

El **área de estudio** tiene por propósito ser la unidad de análisis a nivel territorial. En este sentido, el área de estudio sigue los mismos principios que los expuestos en la *Metodología General de Formulación y Evaluación de Proyectos*. Cuando el área de estudio presente un entorno expuesto a alguna amenaza, esto debe ser destacado como características propias del entorno.

Para determinar la **unidad funcional** de un proyecto, el formulador debe visualizar, a nivel territorial, el funcionamiento del proyecto como un todo, considerando cuál es el producto final a ser entregado y el beneficiario de este bien y/o servicio. Por ejemplo, para un proyecto de agua potable rural (APR), el producto final corresponde a “agua potabilizada” entregada directamente por medio de la red de distribución que conecta los arranques o puntos de entrega de agua en la propiedad de los beneficiarios, donde la infraestructura del proyecto corresponde a la de extracción y potabilización de agua, sumado a la red de distribución, que concluye en los puntos de arranque de cada beneficiario.

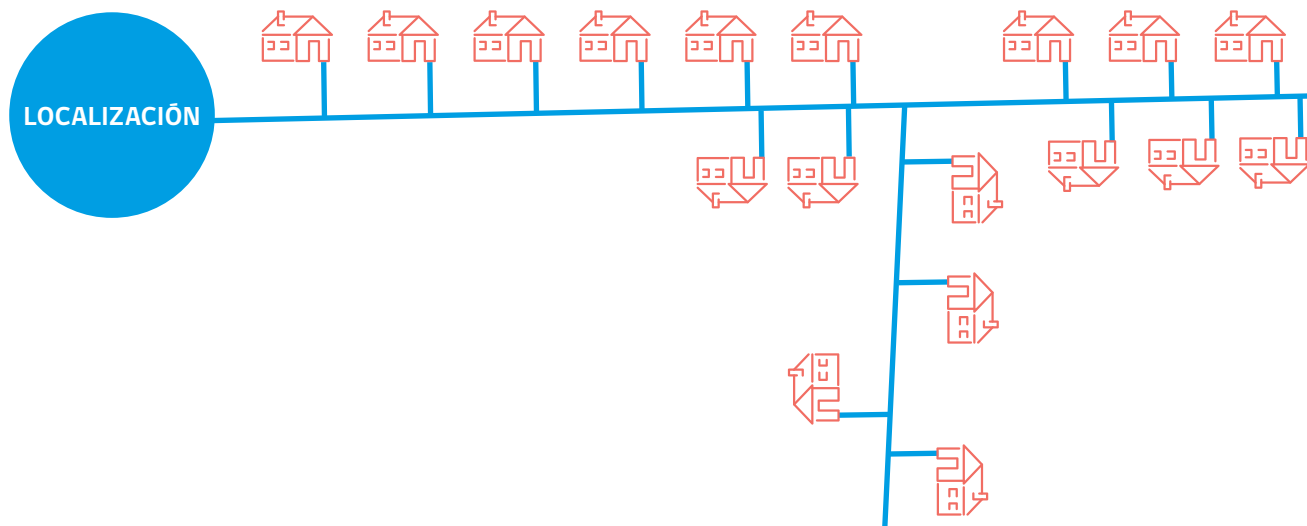
La unidad funcional podrá variar dependiendo de las vías de acceso (Ver Imagen N° 1.), cuando se trata de un área urbana.

Imagen N°1. Unidad Funcional del proyecto



Fuente: Digital Millenium Copyright Act, DMCA.

Figura N° 2. Unidad Funcional Proyecto Agua Potable Rural (APR)



Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que el formulador debe identificar es la localización del proyecto, es decir, la superficie de emplazamiento del proyecto. Luego, se debe identificar la unidad funcional del proyecto.

Por ejemplo, la identificación de componentes de la unidad funcional en un proyecto de APR, la superficie de emplazamiento es exactamente igual

a la unidad funcional del proyecto y se visualiza según lo indicado en la figura (Figura N° 6).

La unidad funcional corresponderá a la sumatoria entre la superficie de emplazamiento del proyecto con todos sus componentes.

1.2 ANÁLISIS DE EXPOSICIÓN A AMENAZAS

La unidad funcional corresponderá a la sumatoria entre la superficie de emplazamiento del proyecto con todos sus componentes junto con su entorno inmediato. No obstante, para para efectos de la aplicación de la metodología, se podrá efectuar el análisis y evaluación de riesgo por componente, específicamente en proyectos que contemplan varios componentes de obras civiles.

1.2.1 Amenazas por Tsunami, Erupciones Volcánicas e Incendios Forestales

Para este análisis, se debe visualizar las amenazas a nivel territorial mediante la aplicación del **Visor Web Chile Preparado**⁸, herramienta elaborada por la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) que permite conocer la superficie de exposición frente a las amenazas por tsunamis, erupciones volcánicas e incendios forestales (Ver Imagen N° 2).

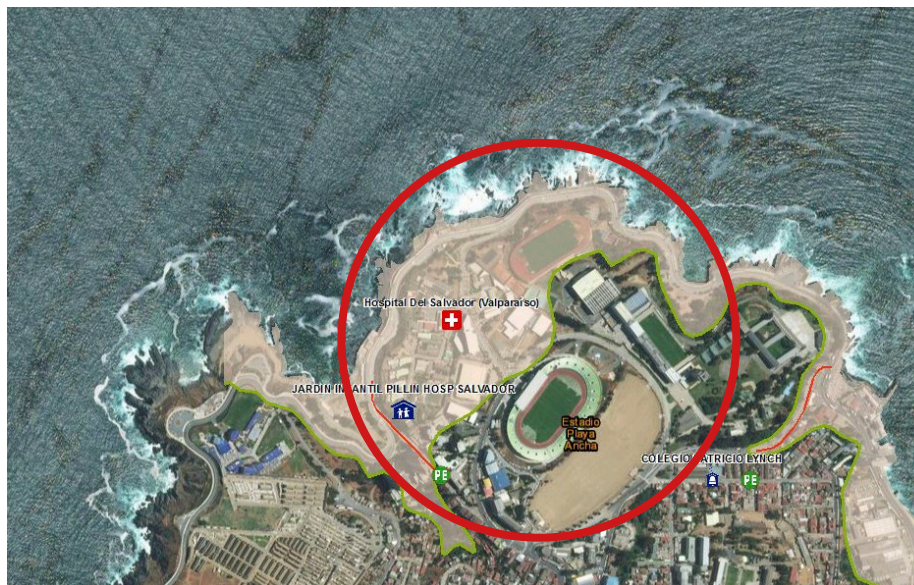
Esta herramienta permite visualizar el territorio, el entorno y topografía, así como también elementos relativos a los planes de evacuación costera, como puntos de encuentros, vías de evacuación y línea de seguridad.

Las fuentes de información utilizadas por el Visor Web "Chile Preparados" son:

- Para amenazas volcánica: Estudio de Peligro Volcánicos de Chile, escala 1:2.000.000, año 2011 y Planos Específicos de Peligros Volcánicos. SERNAGEOMIN.
- Para la amenaza de tsunami:
 - Cota 30: Instituto Geográfico Militar y Planos Marítimos Costeros de la Subsecretaria para Fuerzas Armadas.
- Para amenazas de incendios forestales: Estadísticas de densidad de ocurrencia de incendios forestales 2011-2015, CONAF.

Para acceder a esta herramienta se debe ingresar al siguiente link: www.onemi.cl/visor-chile-preparado y seguir las indicaciones que se señalan en el sitio web.

Imagen N° 2. Identificación de amenazas del territorio



Fuente: Ubicación Estadio Playa Ancha, Valparaíso. Visor Web ONEMI. Línea verde indica cota 30.

⁸ www.onemi.cl/visor-chile-preparado

1.2.2 Exposición Frente a Otras Amenazas

Adicional al análisis anterior, se debe aplicar un cuestionario que corresponde a una herramienta complementaria que determina de manera cualitativa la exposición a las amenazas que el visor web no registra, tales como marejadas, lluvia intensa, inundaciones, derrumbes, aluviones, existencia de fallas geológicamente activas o potencialmente activas, procesos de subsidencia o licuefacción del suelo, mala calidad o inestabilidad del suelo (Ver Anexo N°2. Cuestionario de exposición a potenciales amenazas).

El cuestionario da una visión general de la existencia de amenazas sobre la unidad funcional, permitiendo detectar aquellos aspectos que hacen que un proyecto sea susceptible a desastres.

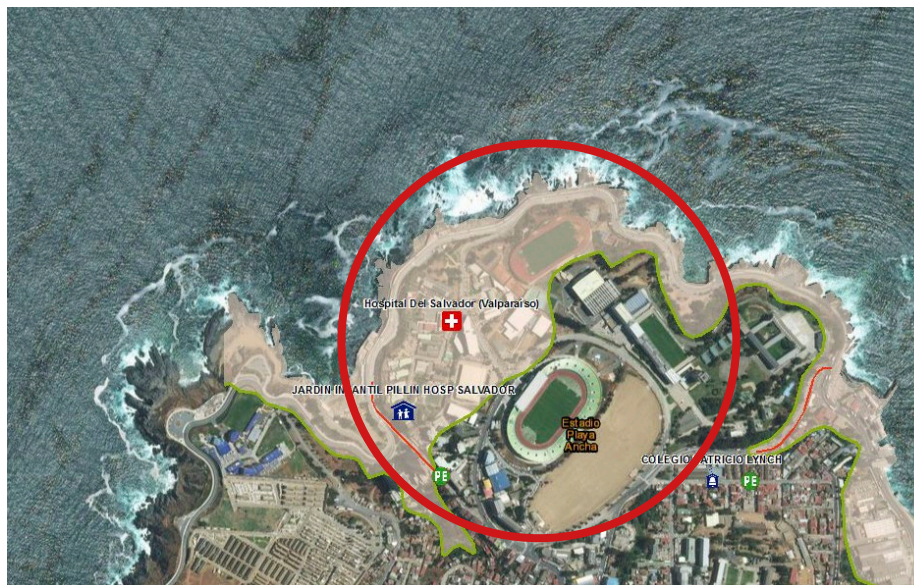
En caso de identificar exposición potencial por existencia de amenazas a inundación por tsunamis, erupciones volcánicas, remoción en masa o incendios forestales en la unidad funcional, ya sea a través del Visor Web de ONEMI o por medio del cuestionario, entonces será necesario continuar con el proceso de evaluación de riesgo.

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA TOTAL AFECTADA

El **área total afectada** corresponde a la a la intersección entre la unidad funcional y la zona expuesta a amenazas.

Cuando la unidad funcional esté en una zona expuesta a amenazas, entonces debe efectuarse la evaluación de riesgo.

Imagen N° 3. Identificación del área total afectada



Fuente: Ubicación Estadio Playa Ancha, Valparaíso. Visor Web ONEMI.

2. EVALUACIÓN DE RIESGO

En esta etapa el formulador deberá cuantificar el riesgo asociado a la exposición a amenaza, vulnerabilidad y resiliencia en la unidad funcional e identificar las medidas de reducción de riesgo más convenientes.

Para una adecuada aplicación de la evaluación de riesgo se deben abordar los siguientes pasos:

1) Cuantificación del Riesgo sin Medidas de Gestión, que consiste en valorar, de acuerdo a una escala pre-establecida, el grado de exposición a cada amenaza y a su vez, medir el grado de vulnerabilidad y resiliencia de la unidad funcional del proyecto. La **Cuantificación de Riesgo** corresponde a una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen (UNISDR, 2009).

2) Identificación de las Medidas de Gestión, que corresponde a la caracterización de las medidas de reducción de riesgo que permiten disminuir el nivel de riesgo del proyecto al nivel máximo tolerable o umbral.

3) Selección de Alternativa de Medidas Gestión, consiste en obtener la o las alternativas de medidas más convenientes en cuanto a la reducción del riesgo y costo de la alternativa.

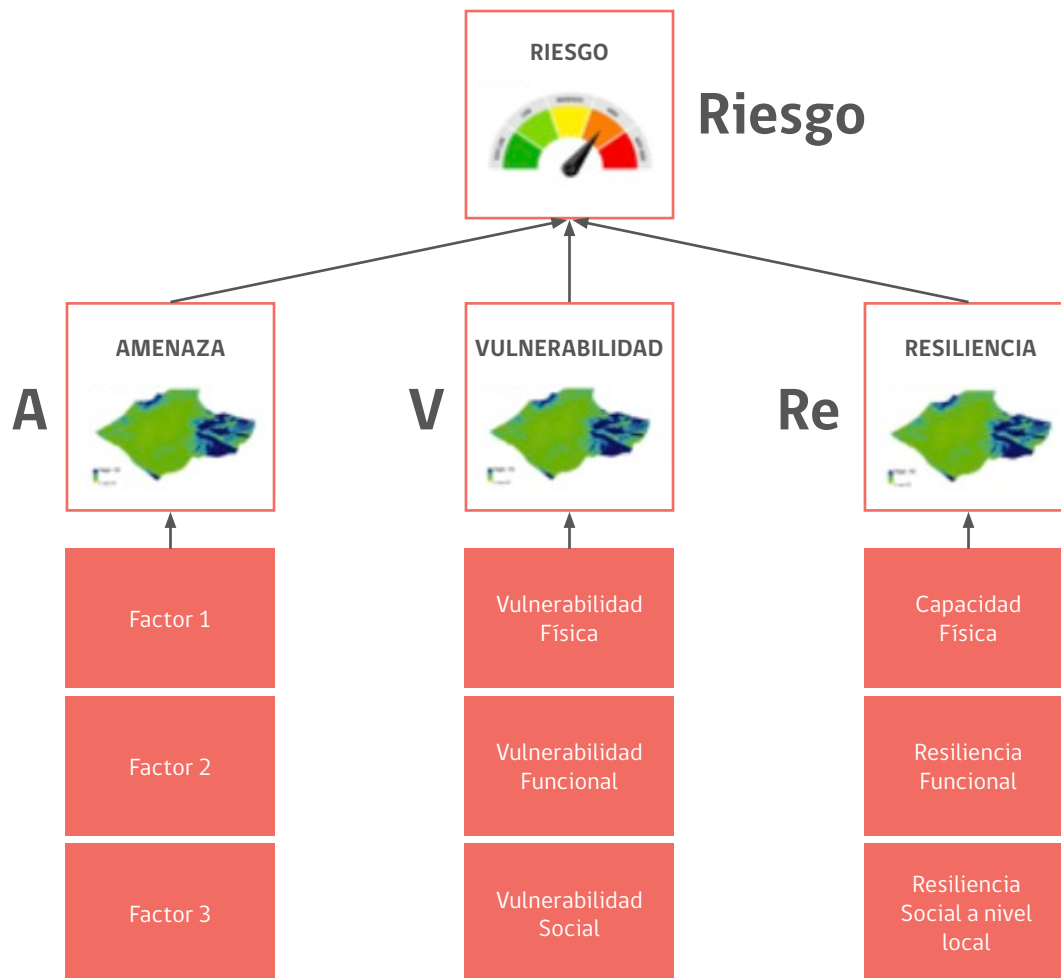
Como resultado de esta etapa, el formulador será capaz de seleccionar la alternativa o el conjunto de alternativas de medidas de gestión de riesgo más eficiente para un proyecto en particular.

todos los factores del riesgo de desastres (Ver Figura N°3).

2.1 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

La presente metodología considera la evaluación de cuatro tipos de amenazas. Cada una de las amenazas debe ser analizada en conjunto con los determinantes de vulnerabilidad y resiliencia del proyecto y su entorno, con el propósito de obtener un puntaje total que incorpore

Figura N° 3. Cuantificación del riesgo bajo enfoque multicriterio



Fuente: Elaboración propia.

La determinación del nivel total de riesgo estará dada por la aplicación de la siguiente fórmula:

$$IRD_{ai} = E_a * V_a * (1 - R_a)$$

Donde,

IDR_a = Índice de Riesgo de Desastres del proyecto de la amenaza a, siendo i= 1: Tsunami, 2: Remoción en Masa, 3: Incendios Forestales, 4: Erupciones volcánicas, medido en una escala entre 0 y 1

E_a = Exposición a la amenaza a, medida en una escala entre 0 y 1.

V_a = Vulnerabilidad asociada a la amenaza a, medida en una escala entre 0 y 1.

R_a = Resiliencia asociada a la amenaza a, medida en una escala entre 0 y 1.

Las amenazas abordadas en esta metodología y los factores que inciden en su calificación son:

- **Inundaciones por Tsunamis:** Altura de inundación.
- **Erupciones Volcánicas:** Flujo volcánico, Caída de Piroclastos.

- **Remoción en Masa por Flujos:** Condicionantes de Generación, Área de Alcance.

- **Incendios Forestales:** Distancia, Pendiente, Masa Combustible.

Cada amenaza debe ser analizada considerando el grado de exposición de la unidad funcional.

Por otra parte, los factores que determinan la vulnerabilidad y resiliencia son:

- **Vulnerabilidad:** Vulnerabilidad Física, Vulnerabilidad Funcional y Vulnerabilidad Social.
- **Resiliencia:** Capacidad física dentro y fuera del emplazamiento del proyecto, Resiliencia Funcional y Resiliencia Social a Nivel Local.

Todos los proyectos de infraestructura pública que evalúen el riesgo de desastre deben considerar la evaluación de los factores de amenazas y vulnerabilidad y resiliencia. Para facilitar la estimación del nivel de riesgo, se cuenta con planillas Excel desarrolladas para estos efectos. Las escalas para valorar los factores que determinan los niveles de exposición, vulnerabilidad y resiliencia se detallan en documento suplementario denominado *“Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”*.

2.1.1 Exposición por Tipo de Amenaza (Ea)

a) Inundación por Tsunamis

Todas las zonas costeras del mundo pueden ser afectadas por tsunamis, pero dada la extensión de las costas de Chile, nuestro país está particularmente expuesto a esta amenaza. También es factible que sismos en latitudes y/o longitudes opuestas puedan generar tsunamis que afecten las costas chilenas. Por ejemplo, si se produce un sismo con características de terremoto en Japón, es probable que un tsunami afecte la costa chilena.

El único factor determinante para evaluar la exposición a inundaciones por tsunami corresponde a altura de inundación.

i. Altura de inundación

Corresponde a la *“diferencia entre la superficie libre del fluido en cada punto durante el evento y el nivel de referencia de éste relevante al tsunami. Se mide en cualquier punto dentro del área de inundación”* (SHOA, 2015).

La altura de inundación deberá ser calificada en los niveles “Muy Alto”, “Alto”, “Medio” y “Bajo”, según escala de valoración detallada en el documento suplementario *“Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”*.

Para identificar la altura de inundación, el formulador deberá verificar si la unidad funcional del proyecto se encuentra dentro de la zona de peligro, utilizando como primera fuente el **Plan Regulador Comunal**, disponible en el sitio web del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, para proyectos localizados en zona urbana. Cuando no estén señaladas las zonas de peligro a inundación por tsunami en el Plan Regulador Comunal, entonces el formulador deberá verificar en las cartas de inundación por tsunami (CITSU) elaboradas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Las cartas de inundación se encuentran disponibles en el siguiente sitio web: <http://www.shoa.cl/nuestros-servicios/tsunami>.

Para la toma de decisiones, en cuanto al grado de exposición, el formulador deberá considerar el peor escenario de las herramientas disponibles.

Finalmente, cuando la localización del proyecto no disponga de zonas de riesgo detalladas en el Plan Regulador o de cartas de inundación por tsunami (CITSU), y el proyecto se sitúe bajo la cota 30, se deberá calificar la exposición al riesgo por tsunami con nivel “muy alto”.

b) Erupciones volcánicas

Las erupciones volcánicas corresponden al “proceso durante el cual los productos volcánicos (sólidos, líquidos y/o gases)

llegan a la superficie y la atmósfera terrestres. Las erupciones pueden ser efusivas o explosivas y pueden tipificarse de acuerdo a su envergadura considerando la magnitud o el Índice de Explosividad Volcánica” (ONEMI, 2016)^b.

Para identificar la existencia de esta amenaza, el formulador deberá verificar si la unidad funcional del proyecto se encuentra dentro de la zona de peligro utilizando como el Plan Regulador Comunal, disponible en el sitio web del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, para proyectos emplazados en zona urbana. Cuando no estén señaladas las zonas de riesgo a erupciones volcánicas en el Plan Regulador Comunal, entonces el formulador deberá verificar en los mapas de amenaza o peligro volcánico elaborados por SER-NAGEOMIN. Estos mapas se encuentran disponibles en el siguiente sitio web: <http://www.sernageomin.cl/volcanes-mapas.php>⁹

9 En caso de la existencia de más de un mapa de amenaza o peligro volcánico para un solo volcán, el orden de relevancia en uso corresponderá al siguiente:

1. Mapas específicos (generalmente escala 1:50.000 ó 1:75.000)
2. Mapas regionales (generalmente escala 1:200.000 ó 1:250.000)
3. Mapa nacional (escala 1:2.000.000) utilizar sólo como referencia, se requiere de un estudio de mayor detalle.

Los factores determinantes de la exposición a erupciones volcánicas, son los siguientes: Flujo Volcánico y Caída de Piroclastos.

i. Flujo Volcánico

Se deberá determinar si la unidad funcional está en zona de peligro por alcance de flujo volcánico producto de una erupción volcánica.

El flujo volcánico está compuesto por flujos de lavas, lahares y piroclastos, donde el flujo de lava corresponde por una parte al “magma que alcanza la superficie terrestre sin fragmentarse durante una erupción volcánica. El término se aplica tanto al material líquido que se expulsa durante la erupción como al material ya frío y solidificado” (ONEMI, 2016)^b; el flujo de lahares corresponde al “flujo formado por una gran descarga de fragmentos volcánicos frescos, cuyo agente de transporte es el agua. Se puede formar por fusión repentina de hielo y/o nieve durante una erupción o por el arrastre de material no consolidado en las laderas de un volcán durante lluvias torrenciales. Se desplazan por los cauces que descienden de un edificio volcánico, a velocidades que pueden alcanzar los 80 km/h.” (ONEMI, 2016)^b; el flujos piroclásticos se refiere a “Nube o corriente densa formada por piroclásticos (de tamaño variable, de milímetros a varios metros) y gases, que se desplaza por gravedad por

las laderas de un volcán principalmente a lo largo de depresiones. Se caracteriza por su alta temperatura (decenas a centenas de °C) y alta velocidad (100–500 km/h), siendo altamente destructiva. La mayoría se origina por el colapso de una columna eruptiva explosiva, densa y cargada de partículas incandescentes, pero también por colapso y/o explosión de domos o lavas viscosas, los que se denominan flujos de bloques y ceniza” (ONEMI, 2016)^b.

La exposición a flujo volcánico deberá ser calificada en los niveles “Muy Alto”, “Alto”, “Moderado” y “Bajo”, en los subfactores lavas, lahares y flujos piroclásticos, según escala de valoración detallada en el documento suplementario “Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”.

ii. Caída de Piroclastos

Se deberá determinar si la unidad funcional está en zona de peligro por caída de piroclastos producto de una erupción volcánica.

El peligro de caída de piroclastos corresponde a “Lluvia de piroclastos sobre la superficie desde columnas eruptivas y penachos volcánicos. El depósito resultante puede provocar caída de techos y daños severos a la flora y fauna en localidades cercanas, así como efectos

en la agricultura y aeronavegación en zonas alejadas. La ceniza más fina puede ascender a las capas superiores de la atmósfera y se transportada miles de kilómetros. En el caso de grandes erupciones explosivas, puede eventualmente producirse enfriamiento de la superficie terrestre (por la interacción de aerosoles volcánicos y radiación solar) y forzar cambios en el sistema climático. Depósito de: Acumulación de piroclastos de caída. Se reconocen por formar capas de bordes nítidos y espesor constante, en cuyo interior los fragmentos piroclásticos poseen similar tamaño entre sí.” (ONEMI, 2016)^b.

La exposición a caída de piroclastos deberá ser calificada en los niveles “Existe” y “No existe”, en los subfactores piroclastos balísticos y acumulación de piroclastos, según escala de valoración detallada en el documento suplementario “Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”. Finalmente, el puntaje de la exposición para la amenaza erupciones volcánicas, se calculará ponderando cada uno de los subfactores señalados:

$$E_{\text{er.volcánica}} = \sum_{i=1}^5 F_i * PSF_i$$

Dónde:

F_i = Puntaje subfactor i , donde i = lavas, lahares, flujos piroclásticos, piroclastos balísticos y acumulación de piroclastos.

PF_i = Ponderador subfactor i , indicado en modelo multicriterio.

c) Remoción en Masa por Flujos

Corresponde al movimiento descendente por efectos de la gravedad de un volumen de material constituido por suelo, roca, detrito (fragmento de roca), nieve, o su combinación. A mayor abundamiento, puede hablarse de remoción en masa para aludir a todo movimiento descendente de material de la corteza terrestre. Por ejemplo: deslizamiento, aluvi6n, alud, etc. (SERNAGEOMIN, 2017).

Los **flujos** corresponden al tipo de remoción en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido, pero que en principio se origina en otro movimiento como un deslizamiento o caída. Hungr et al. (2001) los clasifica de acuerdo con el tipo y las propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles. Los principales tipo de flujo son: flujo de detritos, flujo de barro, flujo de tierra, flujo seco, flujo de origen volcánico, entre otros, dependiendo de la cantidad de agua y material involucrados.

Esta amenaza puede, en la mayoría de los casos, ser causada por una combinación de sucesos y potenciada, por ejemplo, por la intensidad de lluvias; las características geofísicas del territorio determinarán si una zona en particular es propensa o no a la ocurrencia de remoción en masa.

Para el análisis se deberá revisar información territorial disponible sobre el grado de exposición de la amenaza, a través del **plan regulador comunal vigente**, disponible en el sitio web del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; y en los **mapas de peligros geológicos y ordenamiento territorial** de SERNAGEOMIN.

Para la toma de decisiones, en cuanto al grado de exposición, el formulador deberá considerar el peor escenario de las herramientas disponibles.

Los factores a considerar para medir la exposición a remoción en masa por flujos, son los siguientes: Condicionantes de Generación, Área de Alcance. Sin embargo, cada factor representará una exposición en sí misma, debiendo ser evaluados en forma separada. Eso es debido a que cada evento de remoción en masa es el resultado de una combinación aleatoria de *Condicionantes de Generación* (variables, externos, generalmente asociados al clima local y

eventos sísmicos o acciones antrópicas) y *Área de Alcance* (estables, intrínsecos, constitutivos del medio).

i. Condicionantes de Generación

Este factor tiene por propósito dimensionar el peligro de variables externas, generalmente asociados al clima local y eventos sísmicos o acciones antrópicas. Los factores desencadenantes o detonantes son aquellos que inician el movimiento y que dan origen al proceso de remoción en masa. Estos factores son agentes externos, en algunos casos relacionados indirectamente con las características geológicas, geomorfológicos y/o antrópicas del áreas, pero que, por lo general, se originan por las condiciones medio-ambientales en un periodo de tiempo definido.

Los subfactores desencadenantes relacionados son: Pendiente de Ladera, Coeficiente de Escorrentía, Suelo de Fundación; los que deberán ser valorados según escala de valoración detallada en el documento suplementario *“Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”*.

El puntaje de la exposición para la amenaza remoción en masa por condicionantes de generación se calcula ponderando cada uno de los subfactores señalados.

$$E_{rem. en masa}^{CG} = \sum_{1}^{3} SF_i * PSF_i$$

Dónde:

$E_{rem. en masa}^{CG}$ = Exposición remoción en masa por condicionantes de generación

SF_i = Puntaje subfactor i, donde i= pendiente de ladera, coeficiente de escorrentía, suelo de fundación.

PSF_i = Ponderador subfactor i (indicado en modelo multicriterio)

ii. Área de Alcance

El factor tiene por propósito determinar la influencia de aspectos estables, intrínsecos, constitutivos del medio que puedan afectar el grado de peligro de remoción en masa en una unidad funcional.

El área de alcance está determinada por la influencia de los gatillantes o detonantes del proceso de remoción en el territorio.

Los subfactores relacionados son: Localización del terreno, Distancia respecto a Taludes, Intervención del Cauce.

La escala de valoración de cada factor para Remoción en Masa por Flujos está

detallada en el documento suplementario denominado “Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”

El puntaje de la exposición para la amenaza remoción en masa por área de alcance se calcula ponderando cada uno de los subfactores señalados.

$$E_{rem.en\ masa} = \sum_{i=1}^3 SF_i * PSF_i$$

Dónde:

$E_{rem.en\ masa}^{AA}$ = Exposición remoción en masa por área de alcance

SF_i = Puntaje subfactor i , donde i = Localización del terreno, Distancia respecto a Taludes, Intervención del Cauce.

PSF_i = Ponderador subfactor i , (indicado en modelo multicriterio)

d) Incendios Forestales

Corresponden a fuego que se propaga sin control a través de vegetación rural o urbana y pone en peligro a las personas, los bienes y/o el medio ambiente.

La medición del grado de exposición de incendios forestales está basada en los factores asociados a la pendiente, área de afectación y tipo de masa combustible, los cuales deben ser analizados en el contexto de la unidad funcional del proyecto.

El comportamiento del fuego en un incendio forestal está regulado por la *topografía, tiempo atmosférico y combustible*, donde este último corresponde a la vegetación. En este contexto, el grado de exposición a incendios forestales estará determinado por los siguientes factores: Área de Afectación, Pendiente y Masa Combustible.

La estimación de la exposición a Incendios Forestales deberá efectuarse utilizando la siguiente ecuación

$$E_{Incendios\ Forestales} = MAX[M_c * (1 - D_c * \text{Coseno}(P_c))]^{10}$$

Donde

$E_{Incendios\ Forestales}$ = Exposición a Incendios Forestales

M_c = Masa combustible de celda c , donde $c = 1$ hasta m , siendo m el número de celdas en que se divide el área afectada para efectos de análisis.

¹⁰Fórmula propuesta por el Sr. Claudio Garuti y trabajada con la mesa de trabajo de protección civil de Incendios Forestales.

D_c = Distancia desde el proyecto al centro de la celda c , donde $c = 1$ hasta m .

P_c = Pendiente de la celda c , donde $c = 1$ hasta m .

c = Celda de superficie cuadrada de 50 metros por 50 metros.

i. Área de Afectación

El área a ser evaluada corresponde al radio considerando desde el borde del proyecto hasta una distancia de 100 metros a la redonda. Para efectuar esta medición, se deberá subdividir el área a la redonda en celdas de 50 metros por 50 metros, con el fin de determinar la exposición a la amenaza de incendios forestales según las características del área circundante o que rodea al proyecto.

ii. Pendiente

La intensidad de los incendios forestales se ve incrementada cuando la topografía incrementa su pendiente, por ejemplo en una ladera, debido a que a medida que avanza el incendio, la vegetación comienza a secarse en los tramos superiores, facilitando la expansión del incendio; especialmente en zonas de quebradas, donde el viento circula con mayor intensidad, la expansión del incendio puede alcanzar áreas mayores en un menor tiempo.

iii. Cobertura Vegetal

Se deberá caracterizar la zona defendible para determinar la susceptibilidad a la propagación de incendios en la unidad funcional.

Los incendios forestales son más intensos dependiendo de la cobertura vegetal próxima, en el área expuesta. La masa combustible podrá contener distintos tipos, tales como: Casas de material ligero, bosque nativo, basural, pastizal, plantación forestal, matorral o desecho forestal. Se deberá cuantificar la presencia de estos tipos de masas combustibles, evaluando aquella de mayor predominancia dentro de cada área de celda de 50 por 50 metros.

La escala de valoración de cada factor para Incendios Forestales de los distintos tipos de cobertura vegetal está detallada en el documento suplementario denominado “Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”.

2.1.2 Factores de Vulnerabilidad y Resiliencia

La vulnerabilidad se relaciona con la **intensidad** del daño que puede causar un desastre, tanto en la infraestructura como a la población a la cual ésta brinda servicios, dependiendo de las condi-

ciones demográficas, sociales y económicas propias de su emplazamiento. Es decir, la vulnerabilidad eventualmente podría potenciar o intensificar el efecto de la exposición a las amenazas en el territorio.

Evidentemente, si la infraestructura no corre un riesgo significativo de daños por desastres, entonces el análisis de vulnerabilidad se vuelve prescindible.

Por otra parte, **la resiliencia** se relaciona con la capacidad y habilidad de recuperación ante la ocurrencia de un evento catastrófico. Es decir, la resiliencia podría tener un efecto de reducir el impacto de las amenazas en el territorio.

El análisis de vulnerabilidad y resiliencia deberá ser aplicado adicionalmente, cuando la unidad funcional del proyecto se vea afectada por alguna amenaza, considerando los siguientes ámbitos, factores y subfactores:

Ambito	Factor	Subfactor
Vulnerabilidad	a) Vulnerabilidad Física	i. Estructura Principal
		ii. Estado Actual
		iii. Plan de Mantenimiento
	b) Vulnerabilidad Funcional	i. Criticidad del servicio
		ii. Incidencia en la economía local
		iii. Dependencia de la economía local
	c) Vulnerabilidad Social	i. Grupo etario vulnerable predominante
		ii. Grado de dependencia física predominante
		iii. Población potencialmente afectada por la interrupción del servicio
iv. Pobreza por Ingresos		
v. Pobreza Multidimensional		
Resiliencia	a) Capacidad Física dentro y fuera del emplazamiento	i. Instalaciones de protección y/o mitigación del proyecto, dentro del emplazamiento del proyecto
		ii. Obras existentes de protección y/o mitigación, fuera del emplazamiento del proyecto para la misma amenaza.
	b) Resiliencia Funcional	i. Plan de Continuidad Operacional
		ii. Autonomía de la red de los servicios básicos
		iii. Conectividad al servicio
		iv. Redundancia del sistema o servicio
	c) Resiliencia Social a Nivel Local	i. Plan de emergencia o Plan de Gestión de riesgo

a) Vulnerabilidad

Vulnerabilidad contempla todos los factores que hacen que el proyecto sea susceptible a alguna amenaza, y está determinada por sus propias características físicas, estado actual y grado de mantenimiento de la infraestructura, sumado a la criticidad de las instalaciones del proyecto en cuanto al servicio que presta y el tamaño de la población que pueda ser afectada.

Por lo tanto, vulnerabilidad estaría condicionada por los siguientes factores: Vulnerabilidad Física, Vulnerabilidad Funcional, Vulnerabilidad Social.

i. Vulnerabilidad Física

La valoración de la vulnerabilidad física tiene por propósito determinar la susceptibilidad física de las instalaciones

del proyecto en presencia de alguna amenaza, considerando sus características de la materialidad estructural y del revestimiento, su plan de mantenimiento y el estado actual de la obra, en caso de proyectos de mejoramiento y ampliación.

Los subfactores relacionados son: Estructura Principal, Estado Actual, Plan de Mantenimiento.

ii. Vulnerabilidad Funcional

La valoración de la vulnerabilidad funcional tiene por propósito determinar el grado de importancia de mantener continuidad operacional de los bienes y servicios, según la criticidad del servicio que entregará el proyecto y el grado de incidencia en la economía local.

Los subfactores relacionados son: Criticidad del Servicio, Incidencia en la Economía Local.

iii. Vulnerabilidad Social

La valoración de la vulnerabilidad social tiene por propósito determinar el grado de susceptibilidad de la población objetivo que podría ser afectada por un evento catastrófico y, que vería mermado su acceso a servicios públicos, por características propias, considerando aspectos demográficos, grado de dependencia física, entre otros.

Los subfactores relacionados son: Grupos etarios vulnerables predominantes, Dependencia Física Predominante de la población, Población potencialmente afectada por la interrupción del servicio, pobreza por ingresos y pobreza multidimensional.

La vulnerabilidad para cada amenaza se cuantificará a partir de la siguiente función:

$$V_{ai} = \sum_{i=1}^{i=3} Vf_{ai} * PSF_{ai} + \sum_{i=1}^{i=3} Vfu_{ai} * PSF_{ai} + \sum_{i=1}^{i=4} Vs_{ai} * PSF_{ai}$$

Dónde:

Vf_{ai} = Puntaje estimado para la Vulnerabilidad física frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i=Estructura, estado actual, plan de mantenimiento.

Vfu_{ai} = Puntaje estimado para la Vulnerabilidad funcional frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i=Criticidad del servicio, incidencia en la economía local.

Vs_{ai} = Puntaje estimado para la Vulnerabilidad funcional frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i= Grupos etarios vulnerables predominantes, Dependencia Física Predominante de la población, Población potencialmente afectada por la interrupción del servicio, Pobreza por ingresos, Pobreza multidimensional.

PF_i = Ponderador subfactor i (indicado en modelo multicriterio)

La valoración de cada uno de los subfactores señalados deberá realizarse según escala de valoración detallada en

el documento suplementario “Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública”.

b) Resiliencia

La resiliencia corresponde a la capacidad de restablecer, recuperar o reponer el bien y/o servicio entregado por el proyecto a la población objetivo. Por lo anterior, para la cuantificación de la resiliencia a cabalidad, el formulador deberá valorizar la capacidad de reponer, sustituir, mantener el servicio y actividades económicas productivas.

La resiliencia está condicionada por los siguientes factores: Capacidad Física dentro y fuera del Emplazamiento, Resiliencia Funcional, Resiliencia Social a Nivel Local.

i. Resiliencia Física

La valoración de la resiliencia física tiene por propósito determinar la capacidad física dentro y fuera del área de emplazamiento, considerando las instalaciones de protección y mitigación, además de los aspectos del diseño que permitirán aminorar el efecto durante y posterior a una catástrofe, en término de entrega de bienes y servicios.

Los subfactores relacionados son: Instalaciones de Protección, Mitigación o Adaptación dentro del Emplazamiento del Proyecto; Obras Existentes de Protección y/o Mitigación fuera del Emplazamiento del Proyecto para la misma Amenaza. Estos deberán ser valorados según escala de valoración detallada en el documento suplementario *"Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública"*.

ii. Resiliencia Funcional

La valoración de la resiliencia funcional tiene por propósito determinar la capacidad de absorber la demanda durante y posterior a una catástrofe, dando continuidad operacional y capacidad de reponer en corto tiempo, a través de la implementación de planes de continuidad operacional, de asegurar el funcionamiento de servicios básicos a través de instalaciones de emergencia, características de conectividad al proyecto y la propia redundancia del servicio.

Los subfactores relacionados son: Plan de Continuidad Operacional, Autonomía de la Red de Servicios Básicos (Lifelines), Conectividad al Servicio, Redundancia del Sistema o Servicio, los que deberán ser valorados según escala de valoración detallada en el documento suplementario *"Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública"*.

iii. Resiliencia Territorial

La valoración de la resiliencia territorial tiene por propósito determinar la capacidad institucional de reacción durante y posterior a una catástrofe a nivel local o comunal.

El subfactor relacionado es: Plan de emergencia o Plan de Gestión de Riesgo, el cual deberá según escala de valoración detallada en el documento suplementario *"Manual de Escalas para la Cuantificación del Riesgo de Desastres en Proyectos de Infraestructura Pública"*.

Finalmente, la resiliencia para cada amenaza se cuantificará a partir de la siguiente función:

$$Re_{ai} = \sum_{i=1}^{i=2} Ref_{ai} * PSF_{ai} + \sum_{i=1}^{i=4} Refu_{ai} * PF_{ai} + Ret_{ai} * PF_{ai}$$

Dónde:

Ref_{ai} = Puntaje estimado para la resiliencia física frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i= Instalaciones de Protección, Mitigación o Adaptación dentro del Emplazamiento del Proyecto; Obras Existentes de Protección y/o Mitigación fuera del Emplazamiento del Proyecto para la misma Amenaza.

$Refu_{ai}$ = Puntaje estimado para la resiliencia funcional frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i= Plan de Continuidad Operacional, Autonomía de Servicios Básicos, Conectividad al Servicio, Redundancia del Sistema o Servicio.

Ret_a = Puntaje estimado para la resiliencia social frente a amenaza a y subfactor i, donde a = Tsunami, Erupciones Volcánicas, Remoción en Masa, Incendios Forestales; i= Plan de Emergencia o Plan de Gestión de Riesgo.

PSF_i = Ponderador subfactor i

2.1.3 Riesgo del Proyecto

La estimación del índice de riesgo de desastres se obtiene a través de la agregación de los puntajes obtenidos en la etapa anterior, asociados a exposición a amenazas, vulnerabilidad y resiliencia del proyecto y su entorno.

A través de la aplicación del enfoque multicriterio se estimaron los ponderadores y escalas para determinar y cuantificar la exposición a amenazas, vulnerabilidad y resiliencia del proyecto.

El resultado de esta evaluación permite comparar la situación sin medidas de gestión de reducción de riesgos con la situación con medidas de gestión y, seleccionar la alternativa más conveniente, que permita disminuir el riesgo al máximo tolerable de la manera más eficiente.

Para facilitar la Evaluación de Riesgo, el formulador del proyecto podrá hacer uso de un formulario Excel, para obtener de manera rápida el puntaje del índice de riesgo de desastre del proyecto en su condición original o sin medidas de gestión.

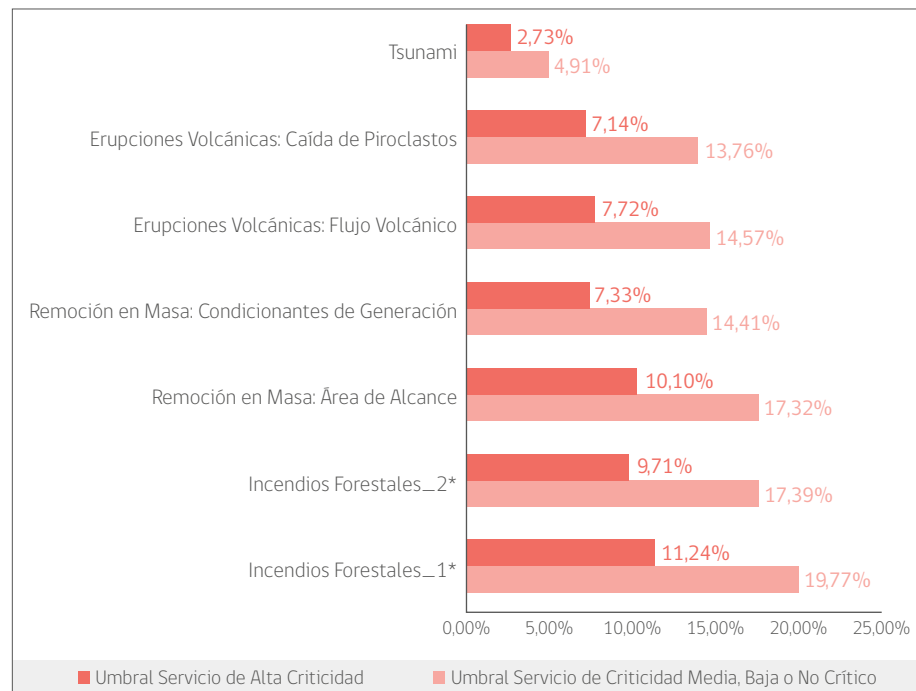
2.1.4 Nivel de Tolerancia Máxima o Umbral

El nivel de tolerancia máximo del proyecto indica el máximo riesgo que debería tener el proyecto.

Cuando un proyecto presenta un índice de riesgo de desastres menor al nivel de tolerancia o umbral, entonces no será necesario implementar medidas de gestión para la reducción del riesgo. Al contrario, cuando un proyecto supere el nivel de tolerancia o umbral, se deben identificar medidas de gestión para reducir los factores y subfactores críticos que superan el umbral y, seleccionar la alternativa de medida de gestión más conveniente en términos de costo.

El nivel de máxima tolerancia o umbral está determinado según Amenaza y criticidad del servicio, por lo tanto, los proyectos de infraestructura pública que se vean expuestos a amenazas no deberán superar los siguientes umbrales:

Cuando las alternativas de solución del proyecto presenten un nivel de riesgo superior al umbral, entonces deberá identificar las alternativa de medida de gestión de reducción de riesgo, y evaluar posteriormente, la alternativa de proyecto más conveniente.



Incendios Forestales_1* Corresponde a los umbrales para las celdas con masa combustible Casas material ligero, Bosque Nativo o Pastizal.

Incendios Forestales_2* Corresponde a los umbrales para las celdas con masa combustible Plantación, Matorral, Desecho Forestal o Basural.

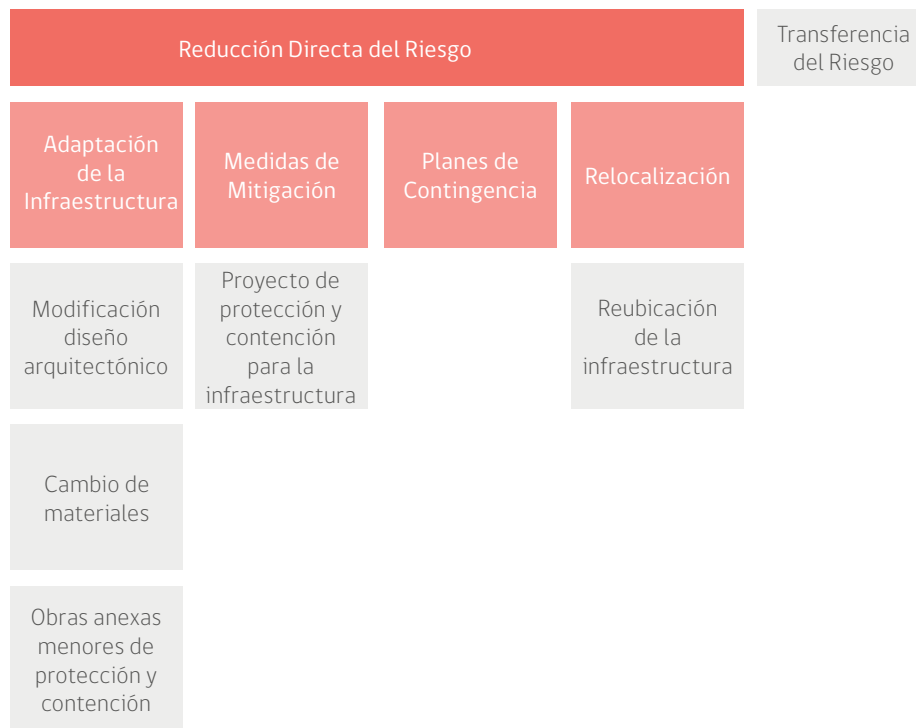
2.2 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEDIDAS DE GESTIÓN

La formulación y evaluación de proyectos que ingresan al SNI en etapa de pre inversión, identifican alternativas de solución al problema que identificado en el diagnóstico y que se pretende mediante un proyecto de inversión. Cada una de las alternativas de solución planteadas deberá cuantificar su nivel de riesgo. Solo para las alternativas de solución que presenten un nivel de riesgo superior al nivel de tolerancia, se deberá identificar los factores que influyen mayormente en el nivel de riesgo (según los resultados de la evaluación), con el propósito de abordar asertivamente el planteamiento de medidas de gestión para la reducción del riesgo del proyecto.

Conociendo el riesgo asociado a un proyecto, se plantean medidas o acciones para disminuir la exposición a amenazas y vulnerabilidad e incrementar su resiliencia.

Recurrentemente, podrán existir varias alternativas para disminuir el riesgo, siendo importante identificarlas para luego seleccionar la más conveniente en términos socioeconómicos. La siguiente figura indica las medidas de gestión del riesgo existentes para un proyecto de infraestructura.

Figura N° 14. Medidas para la Gestión del Riesgo



Fuente: Elaboración propia.

La totalidad de las opciones de reducción de riesgo, exceptuando la transferencia del riesgo, buscan reducir los daños físicos, impacto en el servicio, ambiente y comunidades producto de situaciones de emergencia que afecten a la infraestructura.

Reducir el riesgo mediante transferencia (seguros) no disminuirá los daños y consecuencias de una infraestructura afectada por un desastre, sin embargo, se permitirá:

- Cumplir con los niveles e indicadores de desempeño relacionados con la pérdida de capital, rentabilidad y costos adicionales.

- Asegurar liquidez financiera para asumir las acciones de recuperación, rehabilitación y reconstrucción.

Para la **reducción del riesgo** se pueden implementar medidas asociadas a la **adaptación de la infraestructura**, es decir, adaptar el diseño arquitectónico con el fin disminuir el riesgo. También, se pueden adoptar **medidas de mitigación**, relacionadas con infraestructuras anexas en cuanto al diseño, tamaño y localización, que en conjunto con el proyecto permitirán disminuir el riesgo asociado a desastres. Por otra parte, los **planes de contingencia** son planes preventivos asociados a manejar situaciones de

emergencia. Finalmente, un **plan de relocalización** consiste en buscar una mejor localización del proyecto y así disminuir la exposición a la amenaza, y por lo tanto, el riesgo.

Identificadas las medidas de gestión, el formulador deberá especificarlas indicando el tipo de medida y el aspecto o factor de riesgo que logra reducir con su implementación. El formulador podrá tomar como referencia medidas de gestión efectuadas previamente por otros servicios públicos o privados, y ajustarlas al proyecto para generar un pool de alternativas de medidas de gestión adecuadas para la reducción de riesgo.

Figura N° 13. Medidas de Gestión para la reducción del riesgo



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1 Configuración de Alternativa Medidas de Gestión de Riesgo

La configuración de alternativas vincula la formulación y evaluación de proyectos tradicional (alternativas de solución de proyectos) con la definición de alternativas de medidas de gestión asociadas. Lo anterior implica identificar complementariedad de las medidas de gestión para idear alternativas de proyectos robustas que incorporen medidas de reducción de riesgo desde la etapa de formulación, para que respondan eficientemente a las amenazas identificadas.

Para identificar las medidas que califiquen como alternativas de reducción del riesgo, se recomienda responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de medidas o acciones son posibles de implementar para solucionar el riesgo identificado?
- ¿Las medidas o acciones identificadas solucionan el problema de riesgo detectado?
- ¿Qué factor de riesgo es posible abordar a través de medidas de gestión?
- ¿Qué tipos de medidas de gestión son posibles de implementar?

- ¿Las soluciones identificadas son complementarias en la práctica?
- ¿La complementariedad de la solución disminuye el nivel de riesgo identificado?
- ¿Cuáles son las medidas de gestión que podrían ser implementadas, considerando restricción presupuestaria?

Una vez respondidas las preguntas, se recomienda construir una tabla por tipo de amenaza que afecte al proyecto, con el propósito de obtener **alternativas de gestión del riesgo** acorde a su necesidad.

Se debe tener claro que las alternativas de gestión del riesgo deberán respon-

der al problema del proyecto y, a su vez, al riesgo identificado, dando solución a la población objetivo identificada originalmente.

Los pasos generales a seguir en la identificación de alternativas de gestión son los siguientes:

Una vez configuradas las alternativas de medidas de gestión, el formulador deberá incorporarlas en las alternativas de solución planteadas, considerando las medidas de gestión recomendadas. Las medidas de gestión deberán considerar una estructura de costos, tamaño y capacidad.

Paso	Descripción
Nº 1	Enumerar los tipos de medidas de gestión posibles para reducir el o los riesgos identificados en la evaluación.
Nº 2	Asociar a cada tipo de medidas de gestión un tipo de solución (adaptación de la infraestructura, medidas de mitigación, planes de contingencia o relocalización).
Nº 3	Categorizar alternativas complementarias.
Nº 4	Obtener alternativas de gestión del riesgo agrupadas, contemplando todas las opciones de alternativas complementarias.
Nº 5	Seleccionar alternativas posibles de implementar.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE MEDIDA DE GESTIÓN

Para la selección de la alternativa de medida de gestión más efectiva y conveniente en términos económicos y de reducción de riesgo, el enfoque de evaluación adoptado es costo eficiencia. A continuación se describe el criterio de decisión y las indicaciones para la incorporación de los costos de las medidas de gestión en la evaluación social de proyectos.

2.3.1 Criterio de Decisión

Dada la dificultad de valorizar los beneficios asociados al riesgo de desastres, se asume que los beneficios asociados a la reducción del riesgo superan a los costos de la medida de gestión vinculada al proyecto, justificando así el análisis costo eficiencia para la evaluación de la alternativa de solución de proyecto que incorpore la medida de gestión más conveniente en términos económicos.

Todas las **alternativas de medidas de gestión "i" que no logren reducir el índice de riesgo de desastres del proyecto al máximo tolerable o umbral (es decir, $R_{ki} > \text{Umbral}$), deben ser descartadas y desechadas**, pues no cumplen el objetivo planteado de reducir a un nivel aceptable el nivel de riesgo.

La estimación del criterio de decisión deberá ser aplicado de manera diferenciada, dependiendo del enfoque de evaluación del proyecto original (costo beneficio o costo eficiencia).

a) Análisis Costo Eficiencia

La aplicación del enfoque costo eficiencia para seleccionar la alternativa de medida de gestión más conveniente variará según el enfoque de evaluación original del proyecto (ya sea, costo eficiencia o costo beneficio)¹¹. Sin embargo, en ambos casos, el cálculo del indicador o criterio de decisión debe considerar:

- El costo de inversión total de la alternativa de solución "k" sin medida de gestión (I_{k0}), como parte de la formulación del proyecto en etapa de pre inversión.
- Alternativas de medida de gestión "i" con un costo asociado C_{ki} para cada alternativa de solución "k".

i Proyectos evaluados bajo enfoque costo eficiencia

Para cada alternativa de solución "k" con alternativa medida de gestión "i" se deberá calcular el "Valor Actual de los Costos" (VAC_{ki}) de la siguiente manera:

$$VAC_{ki} = (I_{k0} + IM_{ki}) + \sum_{t=1}^t \frac{CT_{ki}}{(1+r)^t} + \frac{VR_{ki}}{(1+r)^t}$$

Donde:

VAC_{ki} = Valor actual de los costos de la alternativa de solución k, alternativa de medida de gestión i.

I_{k0} = Costo de inversión de la alternativa de solución k, sin medidas de gestión.

IM_{ki} = Costo de inversión de la alternativa de medida de gestión i

CT_{ki} = Costo Total de operación y mantenimiento de la alternativa de solución "k", alternativa de medida de gestión "i"

VR_{ki} = Valor Residual de la alternativa de solución k, medidas de gestión "i".

r = Tasa social de descuento (expresada en términos reales).

t = Horizonte de evaluación del proyecto.

¹¹ Revisar Normas de Inversión Pública (NIP).

El criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa de solución (con medida de gestión) que presente el menor Costo Anual Equivalente (CAE), que debe ser calculado considerando:

$$CAE_{ki} = VAC * \left[\frac{(1+r)^t * r}{(1+r)^t - 1} \right]$$

Donde:

CAE_{ki} = Costo Anual Equivalente de la alternativa de solución k, alternativa de medida de gestión i.

VAC_{ki} = Valor actual de los costos de alternativa de solución k, alternativa de medida de gestión i.

r = Tasa social de descuento (expresada en términos reales).

t = Horizonte de evaluación del proyecto.

ii Proyectos evaluados bajo enfoque costo beneficio

Para proyectos que son evaluados bajo el enfoque costo beneficio se debe considerar que:

- La alternativa de solución (sin medidas de gestión) "k" presenta un Valor Actual Neto mayor o igual a cero ($VAN_{k0} \geq 0$).

- Se seleccionan las alternativa de medida de gestión "i" con menor CAE para cada alternativa de solución del proyecto "k" (es decir, cada alternativa de proyecto selecciona la alternativa de medida de gestión menor indicador costo eficiencia). Se adopta este enfoque por la dificultad de valorar los beneficios esperados (dado que no se cuenta con probabilidades de ocurrencia de los distintos eventos ni con funciones de intensidad-daño).

Se deberá calcular el Valor Actual Neto (VAN) de cada alternativa de solución "k", sin incluir en la inversión inicial los costos de inversión de la medida de gestión de riesgo:

$$VAN_{ki} = - (I_{k0}) + \sum_{t=1}^T \frac{FT_{ki}}{(1+r)^t} + \frac{VR_{ki}}{(1+r)^t}$$

Dónde:

VAN_{ki} = Valor Actual Neto del proyecto k, alternativa de medida de gestión i.

I_{k0} = Costo de inversión de la alternativa de solución del proyecto k, sin medidas de gestión.

IM_{ki} = Costo de inversión de la alternativa de medida de gestión i

FT_{ki} = Flujo de Beneficios Netos de la alternativa de solución "k".

r = Tasa social de descuento (expresada en términos reales).

t = Horizonte de evaluación del proyecto.

El **criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa** de proyecto con **mayor VAN**; y la medida de gestión de riesgo con menor CAE.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado y Spolmann (2009), Análisis de competencia de sector de la construcción chileno y sus procesos de licitaciones públicas de contratos de obras: Estructura, Agentes y Prácticas, estudio realizado para la Fiscalía Nacional Económica
2. Cepal (2003), Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres.
3. Cepal (2012). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe.
4. China (2009). Compilation of Disaster Risk Atlas and its Application in –Taking Compilation of China Natural Disaster (System) Atlas Compilation of Disaster Risk Atlas and its Application in Integrated Disaster Risk Governance and Wenchuan Earthquake Disaster Atlas as Examples.<http://www.oecd.org/finance/insurance/43684372.pdf>
5. CNID (2016). HACIA UN CHILE RESILIENTE FRENTE A DESASTRES UNA OPORTUNIDAD. Sitio web: <http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2016/12/CREDEN-27122016-2.pdf>
6. Comisión Europea (2009). Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management.
7. Dirección General de Programación Multianual del Sector Público, Ministerio de Economía y Finanzas (DGPM-MEF) (2007). Pautas metodológicas para la incorporación del análisis del riesgo de desastres en los Proyectos de Inversión Pública. 1ra. Ed., Lima - Perú, 97 pp.
8. DS Presidencial N° 1512 (2016). Política Nacional para la Reducción de Riesgo Desastre.
9. Echaveguren, T. (2016) Resiliencia de las Redes Viales. Seminario Desafíos para una Red Vial Resiliente - Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción UC, FONDEF, y la Universidad de Concepción.

10. G2012 México -OECD (2009) METHODOLOGICAL FRAMEWORK. Disaster Risk Assessment and Risk Financing.
11. Informe Macroeconomía y Construcción de la Cámara Chilena de la Construcción (2015).
12. Ministerio de Obras Públicas (2012), Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021.
13. Ministerio de Obras Públicas (2015a), Infraestructura aeroportuaria, Agenda de infraestructura, desarrollo e inclusión: Chile 3030.
14. Ministerio de Obras Públicas (2015b), Edificación, Equipamiento y Espacio Público, Agenda de infraestructura, desarrollo e inclusión: Chile 3030.
15. Ministerio de Obras Públicas (2015c), Transporte público sustentable, Agenda de infraestructura, desarrollo e inclusión: Chile 3030.
16. Ministerio de Obras Públicas (2015d), Infraestructura Vial Urbana e Interurbana, Agenda de infraestructura, desarrollo e inclusión: Chile 3030.
17. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica ;; Ministerio de Agricultura y Ganadería y Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. -- San Jose, CR : MIDEPLAN, 2014.
18. Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2014). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
19. Nat Hazards (2009) 50 :211-233 . IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability.

20. ONEMI (2016)a. Grupo de Trabajo a cargo del desarrollo de la acción estratégica 4.2.1 del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
21. ONEMI (2016)b Glosario Riesgo Volcánico. División Protección Civil
22. Public Safety Canada (2015). Guidelines. NATIONAL DISASTER MITIGATION PROGRAM (NDMP). <http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dss-tr-prvntn-mtgtn/ndmp/prgrm-gdlns-prnt-eng.pdf>
23. Public Safety Canada (2015). Información territorial de desastres en Canadá.
24. Sernageomin (2017). Glosario ilustrado para la comprensión básica de peligros geológicos. Sitio web <http://www.sernageomin.cl/pdf/mapa-geo/Glosario-ilustrado-de-peligros-geologicos.pdf>
25. SHOA (2015). Instrucciones oceanográficas N°4. Especificaciones Técnicas de Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU). Pub SHOA 3209. http://www.shoa.cl/datos/descargas/pdf/NE_3204_v2.pdf
26. Unasur (2009). Metodología de Gestión y Prevención de Riesgos y Catástrofes en la Infraestructura.
27. UNISDR (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. 2009. Disponible en www.eird.org

ANEXOS

ANEXO N° 1. GLOSARIO¹¹

Según la estrategia internacional para la reducción de desastres de las Naciones Unidas (2009), los **principales conceptos que son considerados en la actual metodología, asociados al riesgo de** desastres son los siguientes:

Concepto	Definición
Adaptación al cambio climático	Un ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a los estímulos climáticos reales o esperados o sus efectos los cuales moderan el daño o explotan las oportunidades beneficiosas. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) la adaptación al cambio climático se define como al ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada.
Amenaza	Una amenaza es considerada como fenómeno de origen natural, biológico o antrópico, que puede ocasionar pérdidas, daños y trastornos a la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente. (ONEMI, 2016 ^a) Se evalúan en función de su intensidad o magnitud, frecuencia, duración y ubicación espacial, según el fenómeno a caracterizar. Se considera un factor externo. (ONEMI, 2016 ^a)
Cambio Climático	Cambio del clima atribuido directa o indirectamente actividades humanas que alteran la composición de la atmosfera mundial.
Desastre	Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.
Evaluación del riesgo	Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

11 UNISDR (2009)

Concepto	Definición
Exposición	<p>Está definida por la localización de la población, infraestructura, servicios, medios de vida, medio ambiente u otros elementos presentes en un área de impacto producto de la manifestación de una o varias amenazas. (ONEMI, 2016⁹)</p> <p>Permite identificar los elementos susceptibles de ser afectados, emplazados en áreas de amenaza. Es un sine qua non para expresar el riesgo de desastres, transformándose en la componente que permite que la interrelación entre amenaza y vulnerabilidad se traduzca en un determinado escenario de riesgo. (ONEMI, 2016⁹)</p>
Gestión del riesgo	El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales.
Medidas estructurales y no estructurales¹²	<p>Medidas estructurales: Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas.</p> <p>Medidas no estructurales: Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación.</p>
Mitigación¹³	Disminución o limitación de los impactos adversos de las amenazas y desastres afines.
Obras de Mitigación	Acciones físicas ejecutadas en el territorio, enfocadas a disminuir el impacto de la amenaza de Tsunami en la población y sus bienes
Plan de contingencia	Es un documento que describe "aquellos procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta y respuesta ante la manifestación o la inminencia de una amenaza agroclimática" (modificado a partir de La Red de Desastres, 2001).
Pronóstico	Una declaración certera o un cálculo estadístico de la posible ocurrencia de un evento o condiciones futuras en una zona específica.

¹²Ídem anterior.

¹³Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres. Santiago: ONEMI. 2014. Disponible en: www.onemi.cl

* Mesa técnica interinstitucional de recomendaciones para la preparación y respuesta ante tsunamis. Recomendaciones para la preparación y respuesta ante tsunamis. Santiago: ONEMI. 2014. Disponible en: www.onemi.cl

Concepto	Definición
Resiliencia	La resiliencia corresponde a un proceso dinámico asociado a la capacidad de un sistema y de sus componentes, tales como: población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, entre otros, para anticipar, resistir, absorber, adaptar y recuperarse de los efectos de un evento, de manera integral, oportuna y eficaz, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas. (ONEMI, 2016 ³)
Riesgo¹⁴	La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Puede calcularse mediante el cálculo de daños y pérdidas esperables.
Reducción del riesgo de desastres	El concepto y la práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y del medio ambiente, y el mejoramiento de la preparación ante los eventos adversos.
Riesgo aceptable	El nivel de pérdidas potenciales que una sociedad o comunidad consideran aceptable, según sus condiciones sociales, económicas, políticas, culturales, técnicas y ambientales existentes.
Riesgo de desastres	Corresponde a las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro. El riesgo de desastres abarca diferentes tipos de pérdidas posibles que con frecuencia son difíciles de cuantificar.
Transferencia del riesgo	El proceso de trasladar formal o informalmente las consecuencias financieras de un riesgo en particular de una parte a otra medida el cual una familia, comunidad, empresa o autoridad estatal obtendrá recursos de la otra parte después que se produzca un desastre, a cambio de beneficios sociales o financieros continuos o compensatorios que se brindan a la otra.
Unidad Funcional	Superficie de emplazamiento de la infraestructura, detallando la localización, su entorno inmediato y alcance de su funcionalidad
Vulnerabilidad	Características propias de la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, que los hacen susceptibles a sufrir trastornos, daños o pérdidas, por el impacto de una determinada amenaza. (ONEMI, 2016 ³) Pueden clasificarse según diferentes tipologías tales como: socio-demográficas, económicas, físicas, ambientales, psicológicas, entre otras. Se considera un factor intrínseco del elemento a analizar, sobre el cual se puede realizar gestión para reducirla. En términos simples, da cuenta de la propensión o predisposición a que un elemento resulte afectado. (ONEMI, 2016 ³)

14UNISDR. Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. 2009. Disponible en www.eird.org

ANEXO N° 2. CUESTIONARIO DE EXPOSICIÓN A POTENCIALES AMENAZAS

1. AMENAZAS		
1.1 General	SI / NO	¿Cuál(es)?
a. ¿Existe un historial de marejadas, lluvia intensa, inundaciones, derrumbes, aluviones, erupciones volcánicas, incendios forestales, existencia de fallas geológicamente activas o potencialmente activas, procesos de subsidencia o licuefacción del suelo, mala calidad o inestabilidad del suelo por condiciones naturales tales como acantilados, arenales, pantanos, mallines u otros de similar naturaleza, anegamiento por napas freáticas, terrenos deteriorados por actividades humanas extinguidas u otro peligro que exponga a la unidad funcional a riesgo de desastre?		
1.2 Amenazas hidrometeorológicas	SI / NO	¿Cuál(es)?
a. ¿Existe sedimentación en quebradas o ríos que puedan ser una amenaza para la unidad funcional?		
b. ¿La unidad funcional interfiere la <u>planicie de inundación*</u> de un cauce o río?		
c. ¿La unidad funcional ha sido afectada por tsunamis en el pasado?		
d. ¿La unidad funcional está en una zona alemana o cercana a pendientes altas, que pueda potenciar el riesgo de deslizamiento y constituir un desastre?		
e. ¿La unidad funcional genera cambio de flujos de ríos o acequias, que pueda potenciar un evento de desastre?		
f. ¿Existen terrenos alemanos o cercanos a la unidad funcional con proceso de erosión y que pueda potenciar un evento de desastre?		
g. ¿Hay problemas de drenaje en zonas alemanas o cercanas a la unidad funcional que puedan potenciar un evento de desastre y significar pérdidas directas para el proyecto?		
1.2 Incendios Forestales	SI / NO	¿Cuál(es)?
a. ¿Existe cobertura vegetal abundante en la unidad funcional que puedan exponerlo a riesgo de incendio?		
1.2 Otros	SI / NO	¿Cuál(es)?
a. ¿Es probable, en vista al Cambio Climático, que ocurra una situación de amenaza durante la vida útil del proyecto?		
b. ¿El Proyecto se encuentra dentro de zona de peligro de coladas de lavas/lahares, flujo piroclásticos y/o caída de piroclastos?		
c. ¿Está el Volcán Activo?		

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 3. MODELO MULTICRITERIO DE RIESGO DE DESASTRES

Modelo Multicriterio Amenaza Inundación por Tsunami

Factor	Subfactor
Altura de Inundación (100%)	a) Altura de Inundación (100%)

Modelo Multicriterio Amenaza Erupciones Volcánicas

Factor	Subfactor
Flujo Volcánico (79,62%)	a) Flujo de Lava (6,29%)
	b) Flujo de Lahares (19,88%)
	c) Flujo de Piroclastos (53,45%)
Caída de Piroclastos (20,38%)	a) Piroclastos Balísticos (14,59%)
	b) Acumulación de Piroclastos (5,79%)

Modelo Multicriterio Amenaza Remoción en Masa por Flujos

Factor	Subfactor
Condiciones de Generación (100%)	a) Pendiente de Ladera (65,8%)
	b) Coeficiente de Escorrentía (23,2%)
	c) Suelo de Fundación (11%)
Área de Alcance (100%)	a) Localización del Terreno (73,3%)
	b) Distancia con Respecto a Taludes (6,8%)
	c) Intervención del Cauce (19,9%)

Modelo Multiplicativo Amenaza Incendios Forestales

Amenaza	Subfactor
Flujo Volcánico (79,62%)	a) Área de Afectación
	b) Pendiente
	c) Masa Combustible

El modelo de amenaza de incendios, corresponde a un modelo multiplicativo.

Modelo Multicriterio de Vulnerabilidad

Factor	Subfactor
Vulnerabilidad Física (31,14%)	a) Material Estructura Principal (17,45%)
	b) Estado Actual (10,47%)
	c) Plan de Mantenimiento (3,22%)
Vulnerabilidad Funcional (33,29%)	a) Criticidad del Servicio (24,97%)
	b) Incidencia del Servicio en la Economía Local (8,32%)
Vulnerabilidad Social (35,56%)	a) Grupos Etarios Vulnerables Predominantes (5,27%)
	b) Dependencia Física Predominante de la Población Objetivo (3,75%)
	c) Población Potencialmente Afectada por la Interrupción del Servicio (13,36%)
	d) Pobreza por Ingresos (6,59%)
	e) Pobreza Multidimensional (6,59%)

Modelo Multicriterio de Resiliencia

Factor	Subfactor
Capacidad Física Dentro y Fuera del Emplazamiento (25,78%)	a) Instalaciones de Protección, Mitigación o Adaptación dentro del Emplazamiento del Proyecto (10,07%)
	b) Obras Existentes de Protección y/o Mitigación fuera del Emplazamiento del Proyecto para la misma Amenaza (15,71%)
Resiliencia funcional (63,77%)	a) Plan de Continuidad Operacional (4,38%)
	b) Autonomía de la red de los servicios básicos (luz, agua, gas, comunicaciones) (22,8%)
	c) Conectividad al Servicio (10,89%)
	d) Redundancia del Sistema o Servicio (25,70%)
Resiliencia Social a Nivel Local (10,45%)	a) Plan de Emergencia o Plan de Gestión de Riesgo (10,45%)

Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres de Proyectos de Infraestructura Pública

División de Evaluación Social de Inversiones | Diciembre 2017



Gobierno
de Chile

gob.cl

Ministerio de
Desarrollo
Social

Gobierno de Chile