

HACIA UN CHILE RESILIENTE FRENTE A DESASTRES: UNA OPORTUNIDAD

Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e
Innovación para un Chile resiliente frente a desastres
de origen natural

“Una nación *resiliente* a desastres de origen natural es aquella que abraza transversalmente una *cultura de resiliencia*, entendida como las capacidades de un sistema, persona, comunidad o país, expuestos a una amenaza de origen natural para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad” (CREDEN, 2016)

Noviembre, 2016

PREFACIO

La gran pregunta del futuro de Chile es ¿de qué vamos y cómo vamos a vivir los chilenos?

Esta es la interrogante que inspiró el trabajo de la Comisión Ciencia para el Desarrollo, creada en 2015 al alero del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID). Esa comisión entregó sus recomendaciones a la Presidenta de la República en julio de ese año. En estas se propuso identificar áreas prioritarias que guíen los esfuerzos en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI)¹. Acogiendo esta propuesta, la Presidenta mandató al CNID a proponer agendas de I+D+i para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos y para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural, que complementasen los esfuerzos ya realizados en Minería.

Asumimos esta tarea, convencidos de que el camino para el desarrollo de Chile pasa por generar la capacidad de hacernos cargo de vivir en un mundo complejo. En este contexto, los retos que enfrentamos deben ser emprendidos con una aproximación interdisciplinaria donde converjan las ciencias, las humanidades, la tecnología, y la innovación en una lógica colaborativa, en diálogo con otros saberes y al servicio de las personas de nuestro país. Abrazar esta opción nos permite, además, aportar valor al mundo a partir de nuestra historia, de lo que somos.

La ocurrencia de desastres de origen natural es un rasgo distintivo de Chile. La reiterada pérdida de vidas humanas, la desintegración de los mundos de quienes sobreviven, las condiciones de precariedad que se profundizan para muchos, las consecuencias ambientales, la destrucción de fuentes de empleo e ingresos, los daños en infraestructura, y los costos asociados a la reconstrucción, hacen de las amenazas naturales un desafío que nos afecta particular y dolorosamente como chilenos y chilenas, y a las que sabemos, seguimos expuestos.

En el afán de contribuir desde la I+D+i, a hacer de Chile un país más resiliente, nació la Comisión Nacional para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural, CREDEN. En ella y al alero del CNID, nos hemos reunido un grupo diverso de expertos provenientes de distintos ámbitos del quehacer humano —incluyendo las ciencias, la política, la ingeniería, la tecnología, la innovación, la sociedad civil y las organizaciones gubernamentales— relacionados con el tema de desastres, y que hoy entregamos nuestra propuesta.

Chile merece que atendamos esta preocupación compartida, se lo ha ganado a través de su propia historia. El tesón de nuestra gente, el sufrimiento que tanto desastre y tragedia ha causado y que han forjado una sufrida identidad como chilenos y chilenas, es una motivación constante, una fuerza motriz, para seguir trabajando y avanzando en este esfuerzo de afrontar la naturaleza y torcer la desgracia a nuestro favor solo con el intelecto y la acción humana.

En este contexto, la presente Estrategia busca ser una disrupción a un *status quo* que el desarrollo del área de la gestión de los riesgos siconaturales desencadenados por amenazas de origen natural y la resiliencia de los sistemas sociales y físicos ha tenido por mucho tiempo, y que solo se reactiva por unos pocos años luego de una nueva tragedia.

Es nuestra convicción que los investigadores, innovadores, autoridades de gobierno, empresarios, emprendedores, comunidades, y personas comunes y corrientes podemos influir en este destino y transformarlo a nuestro favor en una fuente de innovación que sirva también a otras naciones y personas en el mundo.

Este sueño, esta visión, es la que hemos querido plasmar como Comisión.

1 El informe recomienda que un 30% de los recursos en CTI estén orientados por seis áreas prioritarias.



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la contribución de muchas otras personas más allá del importantísimo aporte en las ideas y textos de los comisionados de CREDEN y miembros de sus Subcomisiones. Entre ellos se destacan el equipo de trabajo y apoyo del CNID, el equipo de apoyo de la Presidencia de la Comisión, la secretaria ejecutiva de CREDEN, los innumerables contribuyentes externos que aportaron sus distintas visiones en las Comisiones y Subcomisiones, los consejeros del mismo CNID, y los equipos que han editado y dado vida finalmente a este documento.

A todos muchas gracias por hacer de este trabajo uno que nos inspire y permita mirar con orgullo los logros históricos de nuestra Nación y, a la vez, con pasión su ansiada implementación en nuestra realidad cotidiana.

COMISIÓN NACIONAL PARA LA RESILIENCIA FRENTE A DESASTRES DE ORIGEN NATURAL, CREDEN

Comisión Central

JUAN CARLOS DE LA LLERA MARTIN, *Presidente CREDEN, Consejero CNID, Pontificia Universidad Católica de Chile*

GONZALO RIVAS GÓMEZ, *Presidente, Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo CNID*

PAULINA P. ALDUNCE IDE, *Universidad de Chile*

GONZALO M. BACIGALUPE ROJAS, *University of Massachusetts Boston*

SERGIO E. BARRIENTOS PARRA, *Centro Sismológico Nacional*

NICOLÁS BRONFMAN CÁCERES, *Universidad Andrés Bello*

CARLOS J. BUSSO VYHMEISTER, *ADEXUS*

FERNANDO R. BUSTAMANTE HUERTA, *Director de empresa*

JAIME A. CAMPOS MUÑOZ, *Universidad de Chile*

RODRIGO A. CIENFUEGOS CARRASCO, *Pontificia Universidad Católica de Chile*

CARLOS E. CRUZ LORENZEN, *Consejo Políticas Infraestructura*

HERNÁN E. DE SOLMINIHAC TAMPIER, *Pontificia Universidad Católica de Chile*

PABLO GALILEA VIAL, *Cámara Chilena de la Construcción*

LAURA E. GALLARDO KLENNER, *Universidad de Chile*

TOMÁS GUENDELMAN BEDRACK, *IEC Ingeniería S.A.*

JUAN CRISTÓBAL HERMOSILLA GUZMÁN/ALICIA CEBRIÁN LÓPEZ, *Ministerio del Interior*

GONZALO HERRERA JIMÉNEZ, *Consejero CNID, Universidad de Talca*

SERVET MARTÍNEZ AGUILERA, *Consejero CNID, Universidad de Chile*

ROBERTO C. MORIS ITURRIETA, *Pontificia Universidad Católica de Chile*

CHRISTIAN H. NICOLAI ORELLANA, *Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT*

FERNANDO A. PEÑA CORTÉS, *Universidad Católica de Temuco*

MARIO E. PEREIRA ARREDONDO, *Servicio Nacional de Geología y Minería*

SONIA PÉREZ TELLO, *Universidad de Chile*

KAREN P. PONIACHIK POLLAK, *Columbia University*

PEDRO C. SIERRA BOSCH, *Corporación de Fomento de la Producción CORFO*

M. CARLOS SOLAR ROJAS, *Ministerio de Defensa*

RICARDO A. TORO TASSARA, *Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior ONEMI*

Equipo de Apoyo

JAIME D. ÁLVAREZ GERDING, *Coordinador Ejecutivo, Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo CNID*

FELIPE A. RIVERA JOFRÉ, *Coordinador Técnico, Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales CIGIDEN*

MAGDALENA S. GIL URETA, *Pontificia Universidad Católica de Chile*

ÚRSULA SCHWARZHAUPT GUENEAU DE MUSSY, *Pontificia Universidad Católica de Chile*

Subcomisión Resiliencia

PAULINA P. ALDUNCE IDE* (Co-directora Subcomisión, Universidad de Chile), NICOLÁS BRONFMAN CÁCERES* (Co-director Subcomisión, Universidad Andrés Bello), GONZALO M. BACIGALUPE ROJAS* (Universidad de Massachusetts Boston), CARMEN P. CASTRO CORREA (Universidad de Chile), PABLO GALILEA VIAL* (Cámara Chilena de la Construcción), NANCY C. MAC-CANN ALFARO (Universidad de Atacama), CATALINA B. MERTZ KAISER (Fundación Paz Ciudadana), DANAE MLYNARZ PUIG (Ministerio Desarrollo Social), MIGUEL A. MUÑOZ BARRAZA (ONEMI), PAULINA I. OSORIO PARRAGUEZ (Universidad de Chile), SONIA PÉREZ TELLO* (Universidad de Chile), MARGARITA I. QUEZADA VENEGAS (Pontificia Universidad Católica de Chile), PAULA B. REPETTO LISBOA (Pontificia Universidad Católica de Chile), VERÓNICA G. YURETIC PÉREZ (Fundación para la Superación de la Pobreza). /Invitados: MATÍAS A. HUBE GINESTAR (Pontificia Universidad Católica de Chile), JULIO C. SARMIENTO MACHADO (Ministerio de Salud). /Facilitadora: ANAHÍ V.J. URQUIZA GÓMEZ (Universidad de Chile). /Equipo Apoyo: KATHERINE D. VILLARROEL GATICA (CNID), FELIPE A. RIVERA JOFRÉ (CIGIDEN), DANIELA P. GONZÁLEZ ESPINOZA (CIGIDEN).

Subcomisión Polo de Desarrollo

CHRISTIAN H. NICOLAI ORELLANA* (Co-director Subcomisión, CONICYT), PEDRO C. SIERRA BOSCH* (Co-director Subcomisión, CORFO), MARCELA A. ANGULO GONZÁLEZ (CORFO), L. ALEJANDRO BARROS CABERO (Universidad de Chile), ALEX K. BERG GEBERT (Universidad de Concepción), ASTRID C. BORGNA PUELLE (Start-Up Chile), CARLOS J. BUSSO VYHMEISTER* (ADEXUS), FERNANDO R. BUSTAMANTE HUERTA* (Director de Empresa), MARÍA EUGENIA CAMELIO RODRÍGUEZ (CONICYT), JAIME A. CAMPOS MUÑOZ* (Universidad de Chile), CLAUDIA A. CERDA SILVA (Instituto Nacional de Normalización), JUAN CRISTÓBAL HERMOSILLA GUZMÁN* (Ministerio del Interior), V. GONZALO HERRERA JIMÉNEZ* (Universidad de Talca), MARCELO C. LEIVA BIANCHI (Universidad de Talca), VÍCTOR M. ORELLANA ACUÑA (ONEMI), JAIME R. SAN MARTÍN ARISTEGUI (Universidad de Chile), R. HERNÁN SANTA MARÍA OYANEDEL (Pontificia Universidad Católica de Chile), CÁSTOR A. TOLEDO JOFRÉ (Verticalsoft), SERGIO TORO GALLEGUILLOS (Instituto Nacional de Normalización), FRANE ZILIC MONTANARI (Universidad de Concepción). /Invitados: JUAN PABLO LÓPEZ AGUILERA (CIREN), FERNANDO E. MERCADO BRAVO (CIREN), ALFREDO R. PIQUER GARDNER (OPTIMISA) AGUSTÍN A. SEPÚLVEDA OSORIO (MICOMO), JUAN I. YUZ EISSMANN (Universidad Técnica Federico Santa María). /Equipo Apoyo: ALEXANDER J. HAZBÚN RIUS (CNID), FELIPE A. RIVERA JOFRÉ (CIGIDEN), FABIÁN A. SANTIBÁÑEZ VÁSQUEZ (CONICYT).

Subcomisión Respuesta y Evaluación del Riesgo

HERNÁN E. DE SOLMINIHAC TAMPIER* (Co-director Subcomisión, Pontificia Universidad Católica de Chile), ROBERTO C. MORIS ITURRIETA* (Co-director Subcomisión, Pontificia Universidad Católica de Chile), ANDRÉS A. ALCALDE FURBER (Marsh SA), CLAUDIA E. GALAZ ASTROZA (Ministerio de Vivienda y Urbanismo), CARLOS E. CRUZ LORENZEN* (CPI), TOMÁS GUENDELMAN BEDRACK* (IEC Ingeniería S.A.), GONZALO A. MONTALVA ALVARADO (Universidad de Concepción), FERNANDO A. PEÑA CORTÉS* (Universidad Católica de Temuco), KAREN P. PONIACHIK POLLAK* (Columbia University), JOEL A. PRIETO VILLARREAL (Ministerio de Vivienda y Urbanismo), NATALIA A. SILVA BUSTOS (ONEMI), M. CARLOS SOLAR ROJAS* (Ministerio de Defensa), SERGIO R. TAPIA BENITO (Ministerio del Interior), CRISTÓBAL J. ZOLEZZI ITURRA (Ministerio de Economía). /Invitados: CARLOS V. PIAGGIO VALDÉS (Cámara Chilena de la Construcción). /Equipo Apoyo: JAIME D. ÁLVAREZ GERDING (CNID), FELIPE A. RIVERA JOFRÉ (CIGIDEN), DANIELA P. GONZÁLEZ ESPINOZA (CIGIDEN).

Subcomisión Procesos Físicos y Exposición

SERGIO E. BARRIENTOS PARRA* (Co-director Subcomisión, Centro Sismológico Nacional), RODRIGO A. CIENFUEGOS CARRASCO* (Co-director, Pontificia Universidad Católica de Chile), KLAUS D. BATAILLE BOLLWEG (Universidad de Concepción), PATRICIO A. CATALÁN MONDACA (Universidad Técnica Federico Santa María), LAURA E. GALLARDO KLENNER* (Universidad de Chile), JORGE A. GIRONÁS LEÓN (Pontificia Universidad Católica de Chile), FERNANDO E. MERCADO BRAVO (CIREN), JOSÉ LUIS PALMA LIZANA (Universidad de Concepción), MARIO E. PEREIRA ARREDONDO* (SERNAGEOMIN), PEDRO S. RESZKA CABELLO (Universidad Adolfo Ibáñez), FELIPE I. RIQUELME VÁSQUEZ (ONEMI), SEBASTIÁN R. RIQUELME MUÑOZ (Universidad de Chile), SERGIO B. SEPÚLVEDA VÁSQUEZ (Universidad de Chile), ALEJANDRA P. STEHR GESCHE (Universidad de Concepción), PATRICIO A. WINCKLER GREZ (Universidad de Valparaíso), CARLOS A. ZÚÑIGA ARAYA (SHOA). /Equipo Apoyo: PABLO DE BUEN NIETO (CNID), FELIPE A. RIVERA JOFRÉ (CIGIDEN), DANIELA P. GONZÁLEZ ESPINOZA (CIGIDEN).

*Nota: * indica a subcomisionados que también fueron miembros de la Comisión Central*



ÍNDICE

PREFACIO	III
AGRADECIMIENTOS	V
COMISIÓN NACIONAL PARA LA RESILIENCIA FRENTE A DESASTRES DE ORIGEN NATURAL, CREDEN	VII
RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN	17
1.1 Chile Resiliente: Lecciones del pasado	23
1.2 Alcance de la Comisión: tipos de desastres considerados y conceptos básicos	38
1.3 Estrategia Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres	40
VISIÓN DE UN CHILE RESILIENTE	43
ELEMENTOS DE LA ESTRATEGIA	51
3.1 La Comisión CREDEN	55
3.2 Condiciones Habilitantes para el Éxito de la Estrategia	58
LAS TAREAS DE LA ESTRATEGIA	69
Tarea 1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural	72
Tarea 2: Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica	76
Tarea 3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria	80
Tarea 4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres	85
Tarea 5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas	89
Tarea 6: Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes	94
Tarea 7: Escenarios de Desastres de Origen Natural	98
Tarea 8: Evaluación de las Pérdidas, Riesgo y Resiliencia frente a Desastres	103
Tarea 9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido	110
Tarea 10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales	115
Tarea 11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales	120
Tarea 12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales	126
Tarea 13: Sistemas de Alerta Temprana	131
Tarea 14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta frente a Desastres	135
PRESUPUESTO Y RETORNO ESPERADO	141
5.1 Metodología de Cálculo del Presupuesto	144
5.2 Comparación de Ambas Metodologías y Cálculo de Presupuesto Final	146
5.3 Presupuesto Estimado para los Elementos de la Estrategia y sus Condiciones Habilitantes	147
5.4 Análisis del Retorno Esperado de la Estrategia	149
INVOLUCRAMIENTO DE LA INDUSTRIA	157
CONCLUSIONES	165

RESUMEN EJECUTIVO

Contexto

El contexto andino nos confronta con amenazas geofísicas que presentan características conspicuas: gran diversidad, alta magnitud o tamaño y alta frecuencia. Por sus características geográficas y geológicas, Chile es un territorio en el que constantemente ocurren y seguirán ocurriendo terremotos, tsunamis, inundaciones, sequías, incendios forestales, deslizamientos, marejadas, trombas marinas y recientemente fenómenos como la "marea roja". Dada su localización en el Anillo de Fuego del Pacífico, nuestro país es uno de los que presenta la más alta actividad volcánica y sísmica del mundo, siendo dentro de los miembros de la OECD, el más expuesto a desastres de origen natural, con el 54% de su población y el 12,9% de su superficie total expuesta a tres o más tipos de estas amenazas (Dilley, 2015). Las consecuencias de esta condición se manifiestan en dimensiones y escalas que impactan a toda la sociedad y afectan el desarrollo del país.

Una contingencia hidrometeorológica de El Niño o de La Niña, que afecta cíclicamente con inundación o sequía, tiene muchas veces un fuerte impacto en las comunidades, ocasiona serios daños en la infraestructura vial y la industria minera y/o agropecuaria, y pueden llegar a reducir en un 0,19% el crecimiento del PIB y aumentar en un 0,39% la inflación en el país (Cashina, Mohaddesd y Raissi, 2015). Según el informe de la Superintendencia de Valores y Seguros, el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010 produjo pérdidas de alrededor de 30 mil millones de dólares, lo que corresponde al 18% del PIB de Chile (Superintendencia de Valores y Seguros de Chile, 2012).

Otro importante factor de peligro son los más de mil volcanes, 90 de ellos activos y dispersos a lo largo de nuestro territorio (Servicio Nacional de Geología y Minería [Sernageomin], 2015). En los últimos diez años se han registrado cinco erupciones volcánicas, siendo la más importante la del volcán Chaitén en 2008, causando cuantiosos daños y destruyendo casi por completo la ciudad del mismo nombre.

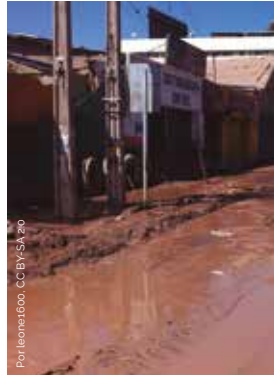
En promedio, cada año entre 1980 y 2011, Chile registró pérdidas cercanas al 1,2% de su PIB debido a desastres de origen natural (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres [UNISDR], 2015).

La posibilidad de sufrir con frecuencia importantes daños y pérdidas tanto en términos de vidas humanas, como económicas y financieras, es uno de los mayores desafíos que enfrenta el país.

Al contexto citado, es imperativo sumar el fenómeno global del cambio climático, según la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), Chile cumple con siete de las nueve características que definen a un país como vulnerable, por sus zonas costeras bajas, zonas áridas, su cobertura forestal, la exposición a la sequía y desertificación, la alta contaminación atmosférica urbana, entre otras.

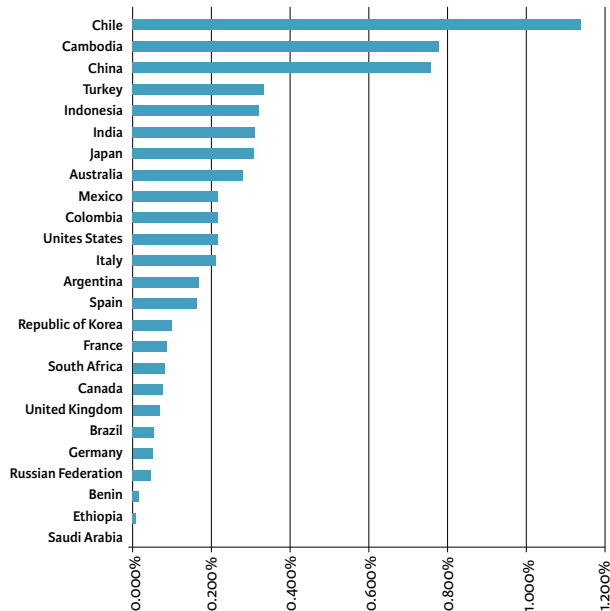
Finalmente, y como si fuera poco, debemos agregar una debilidad institucional para la reducción de riesgos, la que se manifiesta desde la incapacidad de regulación en distintos sectores productivos, hasta la sobre exigencia que recae sobre otros sectores que no cuentan con los recursos suficientes ni las atribuciones legales necesarias².

2 Por ejemplo, ONEMI. Actualmente está en discusión en el Senado de la República, el Proyecto de Ley que crea el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (Boletín 7550-06), en trámite desde marzo de 2011.



Pérdidas por desastres en G20 + otros países seleccionados en porcentaje del PIB

PROMEDIO ANUAL ENTRE 1980-2011



Por consiguiente, esta Estrategia busca contribuir al desarrollo de un Chile más resiliente frente a desastres de origen natural mediante la consolidación y el desarrollo de nuevas capacidades de Investigación y de Desarrollo e innovación (I+D+i) que hagan viable una respuesta más eficiente a través de la identificación y comprensión de los factores que inciden en la construcción de riesgos siconaturales que desencadenan estas amenazas, a objeto de prepararnos, responder y recuperarnos de mejor manera y sistemáticamente frente a eventos con baja probabilidad de ocurrencia, pero de gran intensidad e impacto en la población, el entorno construido, y el medio ambiente.

En particular, se busca fortalecer y acelerar el desarrollo de las capacidades que Chile tiene en I+D+i para generar el conocimiento y la evidencia científica requerida que permita reducir en la sociedad, los impactos psicosociales, económicos y ambientales que derivan de los desastres y, a la vez, aportar valor al mundo aprovechando esta singularidad como una ventaja innovadora sostenible del país, que se transforma en una oportunidad de mayor equidad y desarrollo.

Esto implica, entre otras cosas, identificar, entender y mitigar el riesgo de personas y comunidades expuestas, así como los factores de vulnerabilidad subyacentes; proveer evidencia para mejorar el diseño y los lineamientos de nuestros procesos de toma de decisión y la generación de políticas públicas que conduzcan a una mayor resiliencia del entorno físico y social; contribuir al diseño, desarrollo, prototipado e implementación de las diferentes tecnologías necesarias para alcanzar un estado de mayor resiliencia; posicionar al país como un foco mundial para el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural;



innovar y generar una nueva industria basada en este elemento diferenciador del país; posicionar y ganar reconocimiento global para nuestra investigación en riesgo y resiliencia; y liberar suficientes recursos económicos que permitan financiar esta Estrategia en el largo plazo y así reasignar estos excedentes hacia un crecimiento continuo de la resiliencia y otras prioridades del país.

Respecto de la mirada global, esta propuesta se enmarca en la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR) acordada en 2005 en la discusión sobre el Marco de Hyogo, donde se proponen acciones para aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. Ese mismo año, el Estado de Chile firmó este tratado, comprometiéndose a reducir de manera considerable las pérdidas que ocasionan los desastres, tanto en términos de vidas humanas como en cuanto a los bienes sociales, económicos y ambientales. Entre las recomendaciones de este acuerdo está la formulación de una Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Dado lo anterior, y las falencias transversales demostradas por el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, el Estado de Chile decidió formar el año 2012 la Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres liderada por la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI. Esta ha sido la encargada de elaborar la Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, y de esta se ha derivado un Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2015-2018).

Los objetivos de la Política Nacional se derivaron directamente del Marco de Hyogo, que no contempla acciones directas relativas al descubrimiento científico y técnico. Sin embargo, durante la elaboración de estas propuestas, un nuevo marco de acción fue desarrollado en la Naciones Unidas para el periodo 2015-2030, el denominado Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. Este segundo acuerdo, también firmado por el Estado de Chile, sí incluye de manera explícita el fomentar el conocimiento en desastres y garantizar su difusión promoviendo el acceso a datos fiables (Objetivo 1, Sendai). Estos compromisos también constituyen el marco en que se ha creado por mandato Presidencial la presente Comisión para el desarrollo de una Estrategia Nacional de I+D+i para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural, **CREDEN**.

El trabajo aquí propuesto, por lo tanto, está fuertemente inspirado en la literatura mundial, y en particular en la estructura del documento *National Earthquake Resilience* del National Research Council (NRC) de Estados Unidos (2011), con las necesarias adecuaciones que permiten dar cuenta de más tipos de amenaza y, en especial, de las particularidades orgánicas e institucionales de nuestro país.

Como Comisión, la primera tarea que asumimos fue la construcción de una *visión* que fuera compartida y que se expresa en cuatro componentes: un conjunto de valores centrales que esta Estrategia mantuviera a través de su desarrollo en el tiempo, un propósito central, un conjunto de metas que siendo alcanzables fueran a la vez audaces, y una descripción viva

del futuro que nos espera de alcanzar las metas de esta Estrategia (*futuro previsto*) (Collins y Porras, 2001). Estos cuatro componentes definen la visión de CREDEN y que se transmite en el cuerpo de este documento.

Consecuentemente, nuestro propósito compartido es "hacer de Chile un país más resiliente frente a amenazas naturales mediante respuestas originales en el I+D+i que impacten positivamente a su desarrollo", y que se construyen sobre la base de los siguientes valores:

- Un I+D+i de excelencia sensible a los contextos físicos y sociales
- El compromiso con la calidad de vida y bienestar de las personas y comunidades expuestas
- La aspiración a la equidad de las personas expuestas a riesgos naturales
- El fomento a la participación responsable y significativa de todos los actores
- La generación de una cultura resiliente para nuestro país
- Un I+D+i que aporte a una gobernanza efectiva en la gestión de riesgos naturales

El propósito compartido de esta Comisión es "hacer de Chile un país más resiliente frente a amenazas naturales mediante respuestas originales en el I+D+i que impacten positivamente a su desarrollo".

Lograr un Chile más resiliente frente a desastres de origen natural es una tarea tremendamente compleja, pero más alcanzable si se involucra a todos y cada uno de sus habitantes, ecosistemas, sociedad civil, gobierno e industria. En definitiva, a todos quienes actúan sobre el entorno físico, social y ambiental de nuestro país. Adicionalmente, alcanzar una mayor resiliencia,

implica un cambio cultural profundo que abarca estilos de vida, competencias específicas en las comunidades, y el desarrollo de un mayor capital socio-cultural entre muchos otros aspectos.

Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural

De las diversas definiciones de Resiliencia³, CREDEN adaptó y adoptó de la literatura la siguiente: **"Las capacidades de un sistema, persona, comunidad o país expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad"**.

Naturalmente, aumentar la resiliencia de un país frente a desastres de origen natural requiere de inversión económica.

Una parte de ella es la que conlleva la implementación de esta Estrategia de I+D+i que busca, en primer lugar, generar la información de base necesaria para el desarrollo de muy buenas políticas públicas en este ámbito, claramente fundamentadas en la evidencia científica y técnica, y en segundo lugar, propender al desarrollo de una nueva economía de la innovación en relación al tema de los desastres de origen natural. Motiva esta segunda innovadora aproximación el hecho de que no abundan los ámbitos en que Chile posee una ventaja innovadora sostenible en el tiempo tan pronunciada como lo es el tema de desastres de origen natural.



3 Resiliencia es un concepto cuyo origen nace desde la ecología para representar la persistencia de las relaciones dentro de un sistema, midiendo la habilidad de estos sistemas para absorber cambio en sus variables de estado, de control y parámetros en general. Actualmente existe un gran número de definiciones de resiliencia, pero todas ellas poseen componentes comunes en relación a la capacidad de un sistema de absorber perturbaciones y reorganizarse mientras cambia para así mantener función, estructura, identidad y la capacidad de retroalimentación.

La Estrategia CREDEN

La Estrategia de I+D+i para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural responde a los valores de la Visión y a los compromisos adquiridos por el Estado de Chile, principalmente el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastre, el cual promueve la inclusión, la protección de los Derechos Humanos, el enfoque de género, y la descentralización en la gobernanza.

Para ser efectiva, esta Estrategia se ha focalizado en aquellos fenómenos que, dado su alto impacto, pueden conducir a situaciones críticas. Además, se ha puesto énfasis en aquellas dimensiones en que existen las mayores brechas de conocimiento y capacidad de gestión. Así, las amenazas consideradas son solo seis y corresponden a las más relevantes en el caso de Chile en tiempos geológicos recientes: terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, aluviones, fenómenos climáticos extremos e incendios forestales.

Además de lo anterior, la Estrategia busca reconocer y dar cuenta de la naturaleza compleja de estos fenómenos, considerando que son multidimensionales, y que se expresan en las distintas fases del riesgo. Esta aproximación obliga a crear un marco conceptual interdisciplinario que conecte el estudio de la resiliencia del entorno físico con el estudio de la resiliencia del entorno psicosocial.

Para ello, la Estrategia se estructura como un conjunto integrado de catorce tareas específicas que generan y usan conocimiento básico, aplicado, asociativo e interdisciplinario relacionado al riesgo frente a desastres de origen natural, tanto en lo referido a las amenazas naturales, como a los ámbitos en que se manifiestan y evolucionan las vulnerabilidades y capacidades de resiliencia en nuestro país. Para mayor claridad y orden, las tareas se agrupan en torno a cuatro dimensiones clave para los propósitos de esta Estrategia: (i) la dimensión social de la resiliencia, (ii) la dimensión de proyección para el desarrollo, (iii) la dimensión de simulación y gestión del riesgo, y (iv) la dimensión física de las amenazas naturales y exposición.

Finalmente, para alcanzar los logros propuestos, se incluye complementariamente un conjunto de cinco condiciones habilitantes (CH), que representan elementos básicos para sostener una dinámica consistente en el largo plazo de la Estrategia de I+D+i, abordan las principales debilidades de la I+D+i en Resiliencia frente a Desastres en Chile y sustentan la asociación colaborativa del Estado, las Ciencias, la Tecnología y la Sociedad.

La Tabla RE.1 permite visualizar de manera más estructurada los elementos que conforman esta Estrategia.

A continuación, se resume muy brevemente cada una de las cinco condiciones habilitantes y las catorce tareas que integran la Estrategia en sus cuatro dimensiones.

Condición Habilitante 1: Institucionalidad para el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural

Chile requiere de una institucionalidad del conocimiento y la innovación para la gestión de los riesgos siconaturales desencadenados por amenazas de origen natural adecuada a las características particulares del país, la que -en una estrategia de desarrollo descentralizada- permita identificar las diferentes amenazas naturales y los niveles de exposición y vulnerabilidad frente a estos riesgos en cada una de nuestras regiones.

Además, esta institucionalidad debe posibilitar el acceso y disponibilidad de datos pertinentes, confiables y fidedignos a objeto de elaborar las políticas públicas de mitigación-preparación, prevención, reacción y recuperación, que permitan la reflexión y construcción de políticas públicas de largo aliento; generar productos para la gestión territorial (mapas de peligro y riesgos siconaturales); incorpore e integre el aprendizaje a la práctica institucional; brinde la información a la sociedad civil para su análisis y reflexión; y coordine a los diversos actores involucrados en el I+D+i correspondiente.

Un aspecto estratégico de esta propuesta es reforzar y promover la construcción e instalación de capacidades y competencias locales tecnológicas, culturales, históricas y académicas, para la elaboración de las políticas públicas y la implementación de una adecuada gestión territorial y de desarrollo sostenible.

Para los propósitos de esta Estrategia, y como primer paso, se identificó la necesidad de crear un instituto, el que debería corresponder a un esfuerzo articulado del sector público donde el Ministerio del Interior deberá jugar un rol protagónico. Este instituto -que hemos denominado Instituto Tecnológico Público dedicado al I+D+i para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural (ITRenD)- debería ser, en el mediano y largo plazo, la entidad articuladora y coordinadora de la infraestructura pública de datos (CH2), así como constituirse en la herramienta

impulsora del desarrollo y evaluación de programas de formación de capital humano avanzado (CH3), de la infraestructura pública para el descubrimiento científico e innovación (CH4), de la coordinación e implementación de un programa nacional de *outreach* para la resiliencia (CH5), y la implementación, seguimiento, control y constante actualización de las catorce tareas específicas definidas dentro de esta Estrategia, articulándolas y desarrollándolas consistentemente en el tiempo.

La definición administrativa y el modelo de gobierno trascienden a esta Estrategia. Sin embargo, resulta fundamental la vinculación de ITRenD con el Estado —actor clave en la política y gestión de los desastres de origen natural—, siendo crítico el rol de este

instituto para el desarrollo de políticas basadas en ciencia y evidencia, así como para el apoyo y acompañamiento a la gestión pública. Para ello, no solo es necesario I+D+i, sino que también la prestación de servicios sofisticados y expertos como parte de la estrategia y funciones de ITRenD.

El éxito de esta iniciativa en el largo plazo, requiere conformar un gobierno corporativo moderno y balanceado para el instituto, que incluya a los diferentes actores relacionados al tema de resiliencia, con representantes de instituciones de educación superior, ONEMI, del sector público, la industria privada, y la sociedad civil. Esta institucionalidad debe ser creada con el concurso de todos los actores que hoy juegan un rol frente a este desafío.

Tabla RE. 1: Elementos de la Estrategia de CREDEN

PROPÓSITO	Hacer de Chile un país más resiliente frente a amenazas naturales mediante respuestas originales en el I+D+i que impacten positivamente a su desarrollo			
VALORES	<ul style="list-style-type: none"> • Un I+D+i de excelencia sensible a los contextos físicos y sociales • El compromiso con la calidad de vida y bienestar de las personas y comunidades expuestas • La aspiración a la equidad de las personas expuestas a riesgos naturales • El fomento a la participación responsable y significativa de todos los actores • La generación de una cultura resiliente para nuestro país • Un I+D+i para una gobernanza efectiva en la gestión de riesgos naturales 			
DIMENSIONES	Dimensión social de la resiliencia	Dimensión de proyección para el desarrollo	Dimensión de simulación y gestión del riesgo	Dimensión física de las amenazas naturales y exposición
TAREAS	<p>T1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural</p> <p>T2: Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica</p> <p>T3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria</p>	<p>T4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres</p> <p>T5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas.</p> <p>T6: Nuevas Aplicaciones de las TICC y otras Tecnologías Habilitantes</p>	<p>T7: Escenarios de Desastres de Origen Natural</p> <p>T8: Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres</p> <p>T9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido</p>	<p>T10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales</p> <p>T11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales</p> <p>T12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales</p> <p>T13: Sistemas de Alerta Temprana</p> <p>T14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta frente a Desastres</p>
CONDICIONES HABILITANTES	<ul style="list-style-type: none"> • Institucionalidad para el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural • Integración de datos e información • Desarrollo de capital humano avanzado en resiliencia • Desarrollo de infraestructura para el descubrimiento científico y la innovación en resiliencia • <i>Outreach</i> y diseminación científica 			

Condición Habilitante 2: Integración de datos e información

Una de las principales debilidades estructurales identificadas por CREDEN es la limitada disponibilidad, alta fragmentación, inconsistencia y falta de sistematización en la recolección, procesamiento y disponibilidad de datos en el país sobre las diversas fases del ciclo de riesgo frente a desastres de origen natural. Un ejemplo particular, entre muchos, es la recolección de información de campo única y perecible luego de un evento extremo.

La falta de datos pertinentes, confiables y fidedignos, con control de calidad, homogéneos y estandarizados para la generación de información de alta calidad, afecta negativamente prácticamente todos los aspectos del I+D+i propuesto en las catorce tareas de esta Estrategia, el desarrollo de buenas políticas públicas basadas en evidencia y que busquen aumentar la resiliencia, y también la imagen país de Chile como Laboratorio Natural de desastres de origen natural.

Consecuentemente, se considera un esfuerzo transversal para impulsar el desarrollo de una importante iniciativa de clase mundial que permita construir una infraestructura pública abierta (acceso libre) de datos para el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural. Este ecosistema de datos y metadatos debe asegurar la calidad y completitud de observaciones de diferente naturaleza, a partir de lo cual se genera información para la política pública en riesgos y desastres, así como garantizar el acceso de los mismos a las instituciones pertinentes del Estado, la academia, el sector privado y la sociedad.

La infraestructura de datos debe, además, ser capaz de centralizar la data histórica y nueva relacionada con los distintos aspectos de la resiliencia y la unicidad de nuestros fenómenos, y dar acceso a cualquier investigador, desarrollador e innovador en Chile y el mundo. La iniciativa será continuamente alimentada por la nueva investigación y desarrollo tecnológico local e internacional, y contribuirá a mejorar la resiliencia a través de proveer datos e información confiable y de alta calidad a todos los actores involucrados en las distintas fases del ciclo de riesgo.

Condición Habilitante 3: Desarrollo de capital humano avanzado en resiliencia

En 2012, Chile tenía una proporción de 0,9 personas involucradas en I+D por cada mil trabajadores, cifra que está bajo el promedio de 7,6 personas en los países de la OECD, y de 15,9 en Finlandia (Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 2015). Es evidente que como país tenemos una debilidad estructural en la falta de investigadores, desarrolladores tecnológicos e innovadores que impactará fuertemente el adecuado desarrollo no solo de esta Estrategia en el largo plazo, sino del país como un todo. Esto motiva a que esta condición habilitante necesite ser incorporada como un aspecto crítico y urgente, dado los ciclos que requiere la formación de especialistas capaces de avanzar el conocimiento y crear valor a partir de él. La escasez de capital humano avanzado afecta todos los aspectos de la Estrategia y requiere ser abordada.

Para ayudar a resolver esta preocupación, esta Estrategia presenta tres grandes propuestas complementarias que deberían funcionar como pilotos que permitan establecer estrategias futuras más agresivas en el país. Estas propuestas tienen una clara intencionalidad y generan externalidades positivas para el país, que van más allá de la formación especializada o beneficio propio del individuo.

En primer lugar, se propone crear y financiar un programa especial de dobles doctorados denominados "2+2" con prestigiosas universidades a nivel mundial en el campo de la resiliencia frente a desastres de origen natural. El nombre 2+2 proviene de que el programa considera doctorandos que se becan por el Gobierno de Chile para pasar dos años en una universidad extranjera de mucho prestigio y dos años en programas de doctorado en universidades chilenas, bajo convenios de doble titulación entre la universidad nacional y la internacional. El esquema es similar al de los CDT (*Centers for Doctoral Training*) que se han implementado en el Reino Unido, y que contienen requisitos importantes para el cumplimiento de metas. La externalidad positiva en este caso es el fortalecimiento de los doctorados nacionales, que constituyen una de las grandes debilidades estructurales del sistema de I+D+i de nuestro país.

En segundo lugar, CREDEN propone crear un Programa Postdoctoral en el extranjero financiado por el Gobierno de Chile con el propósito de absorber el conocimiento mundial, a través de la generación de investigación aplicada e innovación tecnológica en el área de resiliencia frente a desastres de origen natural.

El programa considera internados colaborativos de uno y dos años en institutos y centros tecnológicos y de innovación de frontera, e industrias mundiales altamente especializadas que lideren en soluciones para la resiliencia. Una externalidad positiva será el desarrollo de un mayor volumen de todo tipo de propiedad intelectual y la incubación desde Chile de nuevos emprendimientos tecnológicos globales en el área.

En tercer lugar, se busca mejorar las capacidades técnicas y profesionales nacionales, condición clave para la transferencia de conocimiento, herramientas y tecnologías desde y hacia la sociedad. Para ello se propone, por un lado, fortalecer el desarrollo de competencias locales, a través de un Plan Nacional de Formación que contempla el diseño y difusión de cursos masivos *on line*, la adecuación de mallas curriculares de carreras afines y la reconversión de profesionales e investigadores que se desempeñan en otras áreas. Y por otro, complementar estas ca-

pacidades con investigadores y profesionales extranjeros destacados, a través del desarrollo de un plan de atracción de capital humano avanzado en resiliencia.

Las condiciones habilitantes representan elementos básicos para sostener una dinámica consistente en el largo plazo de la Estrategia de I+D+i, abordan las principales debilidades de la I+D+i en Resiliencia frente a Desastres en Chile y sustentan la asociación colaborativa del Estado, las Ciencias, la Tecnología y la Sociedad.

Condición Habilitante 4: Desarrollo de infraestructura para el descubrimiento científico y la innovación en resiliencia

Otro aspecto central para favorecer el desarrollo de esta Estrategia es la disponibilidad de infraestructura experimental y de prototipaje de primer nivel en el país, que sea rápidamente reconocida y validada internacionalmente, permita el desarrollo de investigación de frontera e innovación de impacto global, y sea capaz de atraer el talento nacional e internacional.

Para abordar esta condición, proponemos crear un fondo nacional para equipamiento mayor e instalaciones experimentales sofisticadas, de uso abierto y compartido, con el objetivo de: (i) desarrollar al menos un laboratorio nacional de clase mundial por disciplina en resiliencia; (ii) avanzar el conocimiento y la publicación de los resultados de investigación en resiliencia en las mejores revistas científicas de investigación científica y aplicada del mundo; (iii) probar teorías, construir modelos físicos, ejecutar simulaciones híbridas (i.e., computacionales y experimentales), realizar instrumentación y sensorización exhaustiva para estudios de amenazas naturales, reproducir condiciones de terreno de manera realista, etc.; (iv) permitir el prototipado y prueba de productos innovadores, sofisticados y novedosos; y (v) atraer talento global a través de la disponibilidad de infraestructura física altamente sofisticada y vinculada a la geografía y demografía de nuestro país.

Como parte de esta propuesta se considera el desarrollo de los siguientes laboratorios nacionales de clase mundial: (a) laboratorio de terremotos, volcanes e infraestructura física; (b) laboratorio de cambio climático, incendios y sustentabilidad ambiental; (c) laboratorio de tsunamis y fenómenos de remoción en masa; (d) observatorio social de vulnerabilidad y resiliencia; y (e) laboratorio de manufactura, sensorización y tecnologías de la información, control y comunicaciones (TICC) para la resiliencia.





Por Darryl Bautista/Feature Photo Service for IBM, CC BY-SA



Por Ciencia, Dominio Público

Condición Habilitante 5: *Outreach* y disseminación científica

Es un consenso de la Comisión que esta Estrategia de I+D+i requiere de un programa muy activo de *outreach* hacia los distintos actores sociales y que asegure la activa participación ciudadana en la generación y transferencia del conocimiento y las tecnologías que se desarrollen. Este debe alcanzar transversalmente a las comunidades expuestas y a la sociedad chilena en general. En adición a las publicaciones científicas, capital humano avanzado, y el conjunto de otros bienes públicos generados por el I+D+i, es evidente la criticidad de que todo el trabajo científico, tecnológico y de innovación realizado involucre y se lleve a cabo en una relación bidireccional equitativa con las personas y las comunidades expuestas que participen o sean objeto de estos estudios. En ello, los aspectos éticos juegan un rol central y deben ser no solo resguardados cuidadosamente, sino que promovidos con insistencia en cualquier actividad realizada.

La relación con instituciones, comunidades y personas debe ser percibida como una situación de beneficio mutuo, y no como un tránsito unidireccional con el objeto de obtener datos e información que nutra la investigación, el desarrollo y la innovación propuesta. Consecuentemente, es un objetivo requerir a todos los proyectos financiados dentro de los lineamientos de esta Estrategia que contemplen diferentes maneras para que los resultados generados vuelvan hacia

quienes contribuyeron en su generación, incluyendo comunidades, organizaciones, industria, autoridades del gobierno central y local, tomadores de decisión en general, y personas para quienes esta información puede ser crítica en un evento natural extremo.

En un programa exitoso, la información debe no solo llegar a todos estos actores, sino hacerlo de manera oportuna, siendo clave que el programa de *outreach* favorezca una relación de trabajo fluida entre todos los involucrados. Otro resultado importante, es estimular el conocimiento público y el entusiasmo por el tema de resiliencia, que nos permita contar con una población más informada, preparada, activa, y orgullosa de su saber y del aporte que podemos hacer como país al mundo.

Nuestra hipótesis es que una parte sustantiva de la resiliencia de Chile en el futuro se juega, no solo en una infraestructura física y un ambiente construido resiliente, sino también en el interés, conocimiento y habilidad de cada chileno para enfrentar estos futuros eventos de forma adecuada como individuos y como comunidades.

A estas cinco condiciones habilitantes descritas, se suman las catorce tareas específicas de la Estrategia, agrupadas en cuatro dimensiones, que conforman el corazón de esta propuesta. Estas tareas se resumen brevemente a continuación y se explican con mayor profundidad en la Sección 4.

Dimensión social de la resiliencia

Tarea 1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural

Propósito: Apoyar investigación básica y aplicada asociativa en las ciencias sociales en temas relacionados a las distintas dimensiones de vulnerabilidad social, la comprensión de las motivaciones individuales y organizacionales para la resiliencia, y el estudio de las capacidades de anticipación, mitigación, respuesta y recuperación social frente a los desastres de origen natural, su evolución en el tiempo, y su implementación.

Tarea 2: Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica

Propósito: Apoyar la investigación básica y aplicada asociativa con el propósito de caracterizar de mejor forma la vulnerabilidad y resiliencia de las distintas redes de líneas vitales e infraestructura crítica del país, considerando su distribución geográfica y sus interdependencias con otras redes y sistemas públicos y privados, que pueden resultar en impactos imprevistos y efectos en cascada, enfatizando el desarrollo de estándares adecuados e implementaciones piloto que recorran todas las etapas del desarrollo y consideren las restricciones físicas, sociales, económicas, ambientales y territoriales reales.

Tarea 3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria

Propósito: Apoyar el desarrollo de proyectos piloto para la resiliencia desde las comunidades y en distintas regiones del país con el propósito de mejorar la conciencia de las personas, evaluar la efectividad de algunas de las acciones del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, y de la Estrategia de I+D+i.

Dimensión de proyección para el desarrollo

Tarea 4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres

Propósito: Promover desde el Estado la innovación a través de instrumentos no tradicionales que faciliten la incorporación de nuevas tecnologías y prácticas en ámbitos clave para la Resiliencia, tales como la generación y actualización de normas, estándares y mecanismos de verificación, e incorporación de criterios de resiliencia en las compras públicas.

Tarea 5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas

Propósito: Impulsar desde el I+D+i el desarrollo de una industria nacional de alto valor agregado en nuevas tecnologías, materiales y servicios asociados a generar un entorno construido, económico y social más resiliente. Esto a través de portafolios de políticas, abordar retos nacionales a través de concursos públicos y promover una imagen global de la industria chilena en desastres de origen natural. Parte del presupuesto asociado a esta tarea se considera dentro de la condición habilitante CH4 (Infraestructura para el descubrimiento).

Tarea 6: Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes

Propósito: Transformar en una oportunidad para todo tipo de organizaciones y comunidades, el desarrollo tecnológico y la innovación para la resiliencia, mediante el uso de TICC y de otras tecnologías habilitantes (p.ej., Internet de las cosas, sistemas de alerta temprana, ciencia de datos). Esto aprovechando la infraestructura de datos propuesta y el gran volumen de información que se haría disponible desde los sensores distribuidos, instrumentos físicos, imágenes, redes sociales y otros medios.

Dimensión de simulación y gestión del riesgo

Tarea 7: Escenarios de Desastres de Origen Natural

Propósito: Desarrollar escenarios complejos de desastres ocasionados por múltiples amenazas que integren las ciencias sociales, ciencias de la tierra y la ingeniería en contextos geográficos y sociales reales de forma que los gestores directos del riesgo y las comunidades puedan participar y percibir directamente los impactos del I+D+i a través de medidas concretas que apunten a mejorar su resiliencia como comunidades y organizaciones.

Tarea 8: Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres

Propósito: Desarrollar el I+D+i que permita construir los modelos y capacidad de simulación para la estimación acertada de las eventuales pérdidas económicas, ambientales y sociales como resultado de distintos escenarios de desastres de origen natural, la evaluación del riesgo y la resiliencia de distintas comunidades y redes (infraestructura, líneas vitales, etc.) frente a las amenazas consideradas, y la simulación de los complejos procesos de recuperación considerando las interdependencias entre sistemas. Esta tarea se conecta con la condición habilitante CH4 (Infraestructura para el descubrimiento), específicamente con la capacidad computacional de alto rendimiento (HPC), y su conexión con el Sistema Nacional Integrado de Información para el I+D+i en desastres de origen natural (condición habilitante CH2).

Tarea 9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido

Propósito: Desarrollar un programa de I+D+i colaborativo para la evaluación, reforzamiento y mejoramiento estructural de infraestructura (pública y privada), redes de servicios críticos y líneas vitales, considerando su interdependencia funcional, e incluyendo la natural obsolescencia de la infraestructura. Esta iniciativa debe considerar el necesario escalamiento espacial desde el nivel de sistemas individuales a redes, comunas y zonas urbanas completas con el propósito de evaluar la resiliencia del conjunto, e intervenir integralmente al entorno construido para mejorar su resiliencia bajo la premisa de que son sistemas complejos interrelacionados, cuyas dependencias debe ser cuidadosamente evaluadas.

Dimensión física de las amenazas naturales y exposición

Tarea 10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales

Propósito: Apoyar el I+D+i orientada a mejorar la comprensión de la física de los procesos de las amenazas naturales, tanto de manera individual, como en configuraciones de multiamenaza. Esto, a través de mejores bases de datos de eventos naturales históricos y de la adaptación y calibración de modelos, con el fin de mejorar su capacidad predictiva.

Tarea 11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales

Propósito: Enriquecer la cobertura espacial y temporal de las distintas amenazas naturales con un monitoreo continuo, que se base en la integración de las distintas redes existentes de observación nacional, la incorporación de nuevas capacidades satelitales de observación continua del territorio, la inclusión de nuevas redes masivas de sensores de muy bajo costo, y la conexión del conjunto de redes internacionales desplegadas en el país, entre otras alternativas. (El presupuesto descrito más adelante en esta Estrategia deja fuera explícitamente las redes de instrumentos de alto costo, p.ej. acelerómetros, sismómetros, GPS, debido a que ya existen distintos servicios nacionales a cargo de estas redes, por lo que es a través de sus presupuestos que se deberían canalizar una mayor cobertura y densificación).

Tarea 12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales

Propósito: Desarrollar el I+D+i que permita consensuar los criterios y valores para el desarrollo de los modelos y mapas nacionales de las distintas amenazas naturales, considerando la caracterización de multiamenazas y sus correlaciones espaciotemporales. Adicionalmente, se debe ampliar la cobertura nacional de la investigación de estos fenómenos y traducirla en mapas de amenaza, exposición y riesgo, en especial para las comunidades potencialmente más expuestas. En este sentido, es clave mejorar la calidad de la información contenida en ellos, priorizar el desarrollo de microzonificaciones a lo largo del territorio, e incluir por ejemplo, mapas urbanos de distintas amenazas naturales.

Tarea 13: Sistemas de Alerta Temprana

Propósito: Desarrollar sistemas de alerta temprana pre y post evento para distintos tipos de amenaza de forma de poder anticipar, por una parte, en tiempo real la ocurrencia u otras características de estos eventos, y por otra, en tiempo casi-real (horas) sus consecuencias en el entorno construido y social. Un aspecto central de este trabajo es que una vez conocido el evento, es posible anticipar muy rápidamente las eventuales consecuencias sobre el entorno construido y social en función de la información instrumental y satelital, la información preliminar de intensidad y daño (p.ej., desde redes sociales), y el trabajo de asociatividad con otros escenarios pre-analizados, entre varias otras estrategias. Esta actividad se relaciona con la condición habilitante CH4 (Infraestructura para el descubrimiento), y con el desarrollo de los escenarios pre-analizados de la Tarea 7.

Tarea 14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta frente a Desastres

Propósito: Desarrollar el I+D+i necesario para, por una parte, entregar a las comunidades información autorizada sobre la evolución en el tiempo de las distintas amenazas, incluyendo un conjunto de escenarios determinísticos que cubran el corto y el largo plazo; y por otra, mejorar la resiliencia a través de comprender el impacto de estas amenazas sobre decisiones operativas vinculadas a, por ejemplo, el desarrollo de distintos escenarios de evacuación masiva, o el tiempo de interrupción de diversas actividades productivas en diversas industrias o servicios, o la necesaria coordinación operativa entre los distintos agentes del gobierno central, gobiernos regionales, municipalidades, industria y sociedad civil.



Presupuesto

Para el desarrollo del presupuesto de la Estrategia se utilizaron dos metodologías cuyos resultados se contrastaron para llegar a un producto final que fuera coherente, tanto con la experiencia internacional en proyectos similares, como con las particularidades propias del caso chileno y su enfoque multiamenaza.

La primera consistió en una estimación de la inversión requerida para implementar los diferentes elementos de la Estrategia, sobre la base de una serie de supuestos anclados en la experiencia acerca del presupuesto disponible para proyectos de este nivel, a través de concursos a fondos de investigación existentes en la actualidad.

La segunda fue a partir de la transformación a escala chilena, del presupuesto observado por el NRC de Estados Unidos para llevar a cabo una agenda similar a la planteada, pero acotada a terremotos. Para ello se realizó una serie de transformaciones que reconocen las diferencias en la población expuesta a riesgo, precios relativos, entre otros.



Tabla RE.2: Presupuesto a 3 y 20 años para las condiciones habilitantes de la Estrategia

CONDICIONES HABILITANTES	PRESUPUESTO AÑOS 1-3 (US\$ MM/AÑO)	PRESUPUESTO AÑOS 4 -20 (US\$ MM/AÑO)	TOTAL 20 AÑOS (US\$ MM)
Institucionalidad de I+D+i	1,5	1,5	30,6
Integración de Datos e Información	2,9	0,9	24,6
Capital Humano Avanzado	4,5	2,3	52,8
Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación en Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural	19,2	1,7	86,5
<i>Terremotos e infraestructura sustentable</i>	6,0	0,3	23,4
<i>Cambio climático y ambiente</i>	5,0	0,3	19,5
<i>Tsunamis y procesos de remoción en masa</i>	4,0	0,2	15,6
<i>Observatorio nacional para la resiliencia comunitaria</i>	0,2	0,7	12,4
<i>Manufactura y TICC</i>	4,0	0,2	15,6
Outreach y Divulgación Científica	8,9	5,5	120,0
TOTAL	37,1	11,9	314,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla RE.3: Presupuesto a 3 y 20 años para las tareas de la Estrategia

TAREA	PRESUPUESTO AÑOS 1 -3 (US\$ MM/AÑO)	PRESUPUESTO AÑOS 4 - 20 (US\$ MM/AÑO)	TOTAL 20 AÑOS (US\$ MM)
T1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural	1,5	1,1	22,5
T2 :Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica	1,7	0,8	18,8
T3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria	1,0	0,8	17,1
T4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres	1,5	0,2	7,3
T5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas	3,5	2,5	52,6
T6: Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes	2,8	1,5	34,1
T7: Escenarios de Desastres de Origen Natural	0,4	1,9	33,9
T8: Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente Desastres	3,2	2,1	45,2
T9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido	2,6	2,9	57,9
T10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales	20,8	9,2	218,7
T11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales	0,9	0,7	14,5
T12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales	0,8	1,9	34,7
T13: Sistemas de Alerta Temprana	2,3	1,1	25,6
T14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta Frente a Desastres	1,7	0,7	16,9
TOTAL	44,7	27,4	599,8

Fuente: Elaboración propia

Impacto de la propuesta

El presupuesto se plantea en dos horizontes, uno de muy corto plazo (3 años) y uno de mediano-largo plazo (20 años). Las Tablas RE.2 y RE.3 resumen el presupuesto requerido en ambos horizontes para la implementación de la Estrategia nacional, tanto de las condiciones habilitantes como de las catorce tareas descritas.

El costo que alcanza la Estrategia, en promedio, es de 45,7 millones de dólares al año. Si bien este número es importante, se ha estimado que esta inversión está asociada a una razón de costo-beneficio de al menos 2,3; por lo que se espera que la propuesta cada año, en promedio, represente un ahorro al país cercano a los 106 millones de dólares, a través de las menores pérdidas ocasionadas por los desastres de origen natural. Este ahorro es menos del 4% de los más de 2.800 millones de dólares al año de costo promedio que representan los desastres de origen natural en Chile. Sin embargo, CREDEN considera que de concretarse el nivel de beneficios que se espera de esta propuesta, es razonable pensar en escalarla una vez alcanzado un cierto nivel mínimo de su desarrollo.

Es importante notar que existen beneficios adicionales que no se consideran en este cálculo, tales como los asociados al desarrollo de una nueva industria tecnológica de carácter global para Chile en el tema de resiliencia, pero que hacen aún más atractiva la implementación de la propuesta para el bienestar del país.

Esta Estrategia de I+D+i es una gran apuesta para el país, pues, de lograrse los objetivos planteados e ir alcanzando mayores niveles de resiliencia, de bienestar y equidad, indefectiblemente se producirían también más recursos que pueden destinarse a otros proyectos de alto impacto social tanto o más relevantes. Debe ser entendida como una inversión social que hemos estimado tiene una razón beneficio/costo de 2,3. Lograr materializar esta magnitud de beneficios requiere de la transferencia del I+D+i generado hacia políticas públicas que se traduzcan en cambios concretos en las capacidades de las comunidades para prepararse, responder y recuperarse ante desastres de origen natural, conduciendo en

definitiva a una sociedad más resiliente frente a estos fenómenos. Los grandes desastres de origen natural le significan a Chile hoy anualmente cerca de un 1,2% del PIB, sin siquiera considerar el drama psicosocial que acompaña a las devastadoras consecuencias y externalidades negativas en la vida de las personas, especialmente de aquellas familias y comunidades más desfavorecidas y marginadas por el desarrollo de nuestra sociedad.

El análisis crítico realizado por el Panel Asesor Internacional —conformado por seis destacados expertos mundiales en los temas de riesgo y resiliencia, de distintas disciplinas y perspectivas— relevó la oportunidad y potencial que Chile tiene para llevar adelante exitosamente esta Estrategia y producir realmente el impacto que se ha propuesto a nivel nacional y global. Se valora especialmente la unicidad

de la propuesta, y se recomendó resaltar la importancia de entender la resiliencia integralmente, esto es, no solo desde el impacto en los sistemas, sino también desde los procesos, la cultura y la interdisciplina.

Desplegar esta Estrategia de I+D+i para la Resiliencia en el territorio es un imperativo moral, que a la vez trae consigo una gran oportunidad para el desarrollo

de nuestra sociedad. Chile ha sido, es y será uno de los países más afectados en el mundo por los grandes eventos de origen natural. Es parte de nuestro *ethos*, y por ende tenemos una oportunidad de servir como piloto para el desarrollo de avanzadas tecnologías e innovación que impacten a otros países y territorios expuestos a similares condiciones de desastres. Consecuentemente, el gran desafío de esta Estrategia es doble: por un lado, avanzar en dominar y minimizar los impactos que nuestra loca geografía impone regularmente sobre cada habitante, y por otro, transformar este flagelo en una oportunidad para el desarrollo sostenible de Chile mostrando al mundo las capacidades de resiliencia que como país hemos sido capaces de construir y compartir.

Chile debería servir como un Laboratorio modelo de resiliencia frente a eventos extremos de origen natural, para que otros países, con eventos similarmente dañinos, pero menos frecuentes, puedan aprender de nuestra experiencia.

Desplegar esta Estrategia de I+D+i para la Resiliencia en el territorio es un imperativo moral que, a la vez, trae consigo una gran oportunidad para el desarrollo de nuestra sociedad.





1 | INTRODUCCIÓN

CHILE

Laboratorio y Centro Natural Mundial

*“Que el desafío de las amenazas naturales
sea a Chile, como el agua es a Holanda”*

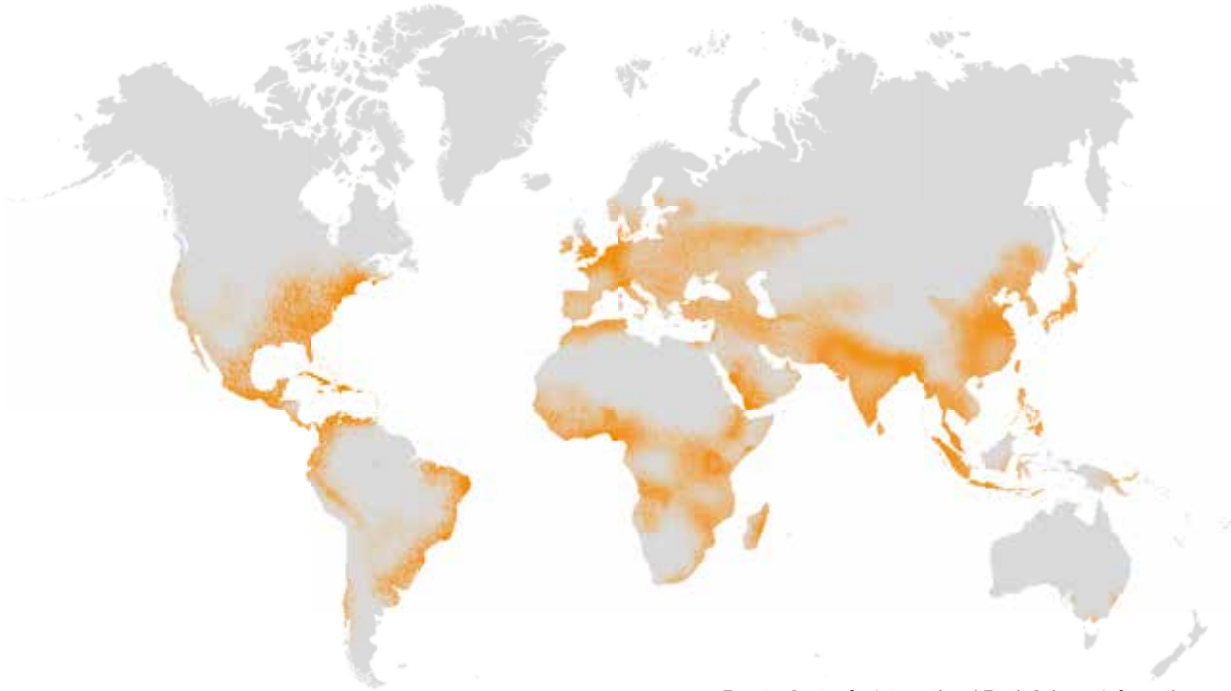


¿Chile está haciendo todo lo que tiene a su alcance para generar conocimiento y tecnología para que en el próximo evento catastrófico disminuya el drama de muertos y heridos, haya menos infraestructura dañada, y no tengamos fallas importantes en nuestros servicios básicos y líneas vitales?

En términos concretos, ¿qué ocurriría con un terremoto como el del año 1960 en la zona central de Chile, o en cualquier otro lugar altamente poblado del país? ¿Es el estado de nuestra ciencia y tecnología capaz de anticipar y reducir estos efectos para distintos escenarios posibles a lo largo del territorio? ¿Tenemos la capacidad de generar información pertinente, rápida y de acceso público a partir del monitoreo continuo y exhaustivo de estos fenómenos? ¿Entendemos cómo las personas y comunidades se auto-organizan frente a distintos eventos extremos y factores actúan como protectores o las hacen más vulnerables? ¿Hemos construido una clara hoja de ruta como país que nos permita alcanzar una mayor resiliencia como país frente a otras amenazas de origen natural?

Puede haber múltiples respuestas a estas preguntas, pero lo que no podemos negar, es la observación de que la complejidad de nuestras ciudades e interacciones ha crecido de tal manera con el desarrollo del país, que nuestra exposición —lo que está en riesgo— frente a eventos extremos de la naturaleza es cada día mayor y requiere de respuestas elaboradas que naturalmente involucran no solo a las ciencias y la tecnología, sino a la sociedad en su conjunto. Solo por nombrar algunos desastres recientes, nuestro país ha experimentado en la última década tres terremotos de gran intensidad; el gran terremoto del Maule de magnitud M_w 8,8 en el 2010, el terremoto de Pisagua de magnitud M_w 8,2 en el 2014, y el terremoto de Illapel M_w 8,3 en el 2015. Todos ellos fueron seguidos de destructivos tsunamis que atacaron las zonas centro-sur, norte y centro-norte, respectivamente. Además, hemos pasado por tres erupciones volcánicas relevantes; el volcán Chaitén se hizo sentir en 2008, el volcán Puyehue en 2011 y el volcán Calbuco en 2015. Sumémosle a esto el gran incendio en la ciudad de Valparaíso en 2014 y los devastadores aluviones en la región de Atacama el 2015.

Distribución y densidad poblacional



Fuente: Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, Ramón Gilsanz, 2015.

Todos estos desastres nos han mostrado las importantes amenazas que estos eventos presentan para nuestra sociedad y los enormes impactos que pueden causar en las personas, comunidades y ecosistemas.

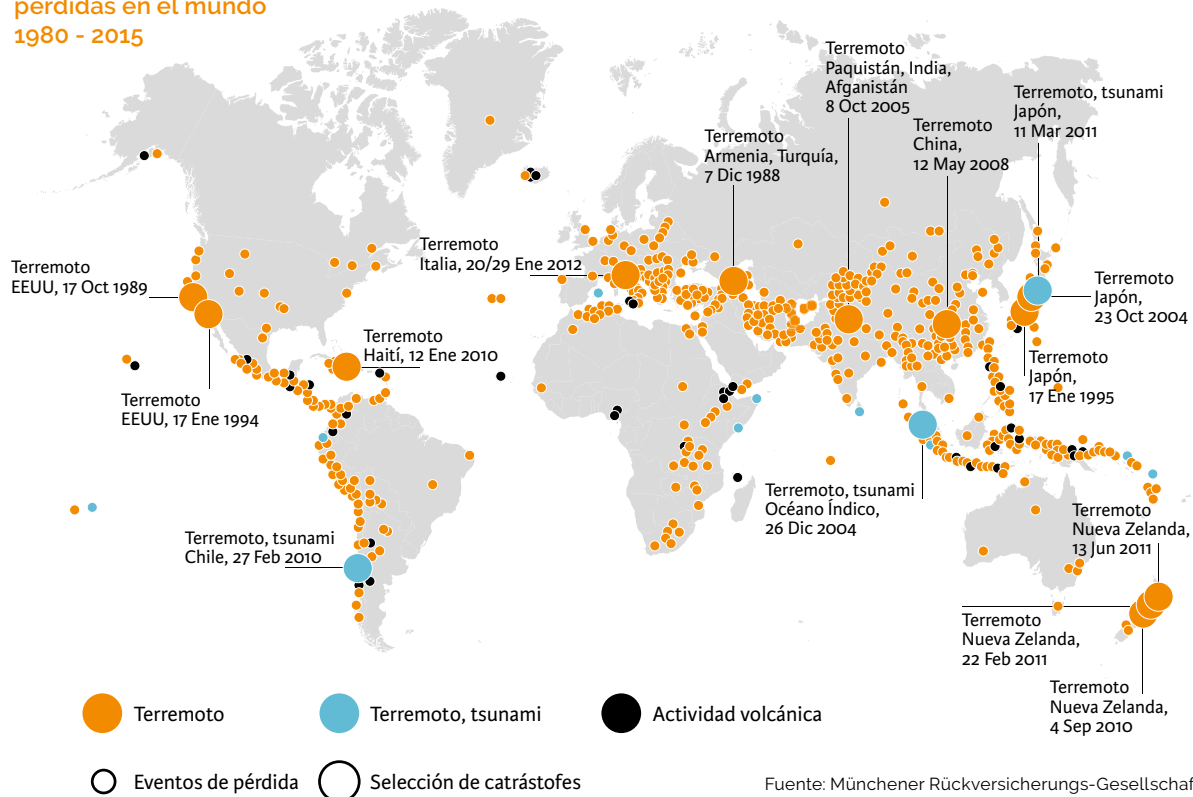
Ciertamente, nuestra herencia histórica es un gran activo que ha forjado nuestra resiliencia como país frente a grandes eventos que usualmente impresionan al mundo, pero claramente, no lo es todo. Por un lado, hay mucho que se ha hecho para mitigar el gran impacto de los desastres de origen natural, mejorar la respuesta del Estado en la emergencia y la reconstrucción, y cimentar la resiliencia de las comunidades. Por ejemplo, se ha implementado el uso de alertas tempranas y respuesta rápida, se han creado también políticas gubernamentales de asistencia, y se han incorporado normativas adecuadas de diseño de infraestructura, entre otros. Esto ha llevado, en parte, a que el país haya soportado relativamente bien grandes terremotos como el de Pisagua y el de Illapel, y que afectaron a varias regiones del país.

Pero por otro lado, la sobre-confianza que puede resultar por este buen desempeño en eventos pasados debe ser moderada por numerosos factores, entre ellos, condiciones aleatorias que en muchos casos han jugado a nuestro favor como sociedad. Es el caso

del lugar de los epicentros y la hora en que han ocurrido sismos de gran magnitud. Todavía hay mucho que se puede hacer en términos de prevención, respuesta, recuperación y mitigación, como por ejemplo en planificación urbana y regulación en el uso apropiado del suelo, el uso masivo de las tecnologías en la respuesta rápida y la creación de instrumentos como los seguros que permitan una rápida recuperación económica, entre muchos otros. Además, queda mucho camino por recorrer en términos de entender cómo las comunidades se reconstruyen y las claves para recuperar en forma efectiva su plena actividad anterior al desastre, o incluso superarla.

De este modo, el objetivo de esta Estrategia es impedir que el azar pueda probarnos equivocados en el futuro frente a nuevos eventos naturales extremos y anticiparnos a sus consecuencias utilizando el máximo de nuestras capacidades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). El orgullo y reconocido temple histórico de Chile frente a los desastres está en juego. La Estrategia busca transformar esta preocupación compartida en una oportunidad no solo para responder mejor como sociedad, sino que también para desarrollar y transferir hacia el resto del mundo enfrentado a una realidad similar, nuestra capacidad

Eventos geofísicos de pérdidas en el mundo 1980 - 2015



Fuente: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE, abril 2016.

como polo de desarrollo mundial en el conocimiento, la tecnología, y la innovación requerida para lograr sociedades más resilientes frente a estas catástrofes naturales.

Reconociendo que el problema es muy complejo y las capacidades y recursos son siempre limitados, es que aparece como un imperativo para nuestro país alinear su motor de creación de conocimiento, desarrollo e innovación en torno a una estrategia integrada en el ámbito de resiliencia frente a desastres.

Consecuentemente, planteamos como supuesto maestro que Chile, al estar expuesto frecuentemente a los más grandes desafíos impuestos por la naturaleza, posee una ventaja innovadora sostenible que le puede significar tomar un rol de liderazgo a nivel mundial, transformando este gran desafío en una verdadera oportunidad de desarrollo. Mediante este trabajo, nuestros investigadores e innovadores deben además aportar al objetivo irrenunciable como sociedad de alcanzar un muy alto estándar de resiliencia frente a las distintas amenazas naturales, esto es, lograr desde el diseño y la preparación la máxima efectividad en la respuesta inmediata y recuperación integral del sistema a un nivel de desempeño igual o superior al existente previo al desastre.

Esta es, sin duda, una tarea extraordinaria que requiere del aporte de todos quienes dedican su vida a mitigar el impacto de estos desastres. Pero este objetivo no requiere solo de la acción individual, sino del trabajo colaborativo y colectivo entre todos los actores involucrados. El trabajo debe estar centrado en la colaboración y la entrega de un bien público que representa una mayor resiliencia frente a estos eventos de origen natural y consecuencias en múltiples dimensiones para cada uno de los habitantes de nuestro territorio. La evidencia mundial así lo demuestra. Esta no es una tarea que pueda ser resuelta ni por un grupo específico, ni solamente desde una disciplina en particular, ni desde la actividad de investigación, desarrollo e investigación por sí sola. Es una cadena de acciones y procesos que debe además comenzar por entender y resolver las preocupaciones de quienes se ven hoy más afectados, dando un sentido al conocimiento que proviene de las ciencias, la tecnología y la innovación.

Es en este contexto que esta Estrategia busca presentar una hoja de ruta que plantea objetivos bajo la perspectiva del I+D+i que se requiere para generar los insumos desde el conocimiento que permitan a Chile mejorar su resiliencia frente a amenazas naturales

extremas y convertirse a la vez en un polo de desarrollo. *Que los desafíos de las amenazas naturales sean a Chile como el agua es a Holanda.* La estructura de esta Estrategia contempla, principalmente, la identificación de un conjunto de metas compartidas a las que hemos asociado ciertos desafíos y oportunidades, y recomendado acciones transversales y específicas que se reflejen en este camino planteado.

Para abordar este desafío, el trabajo se organizó en cuatro grandes grupos, cada uno de ellos dedicado a una meta particular que nemotécnicamente se denominó: (i) Resiliencia, (ii) Polo de Desarrollo, (iii) Respuesta y Evaluación del Riesgo; y (iv) Procesos físicos y Exposición. No fue casualidad que los cuatro comités fuesen nombrados en un sentido inverso a la lógica temporal del ciclo de riesgo, ya que responde a una cierta lógica de causalidad. Como Comisión, quisimos relevar el sentido último de nuestro trabajo como investigadores, desarrolladores, e innovadores, y que es lograr finalmente *un Chile más resiliente* frente a desastres de origen natural, y desde ahí apalancar además, su desarrollo.

El fruto de este trabajo se presenta en siete capítulos y una sección de apéndices que estarán disponibles en formato digital. El documento comienza por este Capítulo introductorio que entrega el contexto general sobre el que se construye luego la Estrategia. En él se presentan algunos antecedentes relevantes como una breve mirada general del activo que Chile posee dada la alta recurrencia de eventos extremos y la forma en que nuestra nación los ha hecho parte de su historia.

Adicionalmente, se presenta una breve introducción a las amenazas consideradas y una breve justificación de esta decisión junto a la definición de cinco conceptos que son claves en este documento: peligro, exposición, vulnerabilidad, riesgo y resiliencia.

El Capítulo 2 presenta el resultado de la Visión que —como organización temporal— CREDEN estableció para el desarrollo de la Estrategia, a través de los cuatro elementos que la definen, esto es, valores, propósito, un conjunto de metas audaces, y el futuro previsto al alcanzar estas metas. Luego, en su Capítulo 3, se describen las condiciones que hemos denominado habilitantes para el resto de la propuesta, esto es, un conjunto de cinco acciones que viabilizan a esta Estrategia y su implementación en el país, y que surgieron casi simultáneamente del análisis de las distintas mesas de trabajo.

El Capítulo 4 es el centro de la Estrategia y presenta las catorce tareas que definen el trabajo propuesto, agrupadas en cuatro dimensiones de resultados. Estas tareas son el fruto directo del trabajo de cada una de las subcomisiones durante la mayor parte de los diez meses, pero finalmente se cruzan también con elementos del trabajo de coordinación y análisis de la Comisión Central CREDEN.

Un resumen de la memoria del presupuesto de la Estrategia se explica sintéticamente en el Capítulo 5, y los detalles se derivan a uno de los apéndices. Este capítulo explica los supuestos centrales del presupuesto e introduce la razón Beneficio/Costo del proyecto. En el Capítulo 6 se presenta un resumen de las actividades específicas y una hoja de ruta para propiciar el involucramiento de la industria privada en esta Estrategia y en la consecución de un país más resiliente. Finalmente, en el Capítulo 7 se presenta un breve resumen y las principales conclusiones del trabajo de la Comisión.

Este trabajo también incluye la mirada global y comentarios aportada por el panel de expertos internacionales.

Resumen

Dada la gran importancia y prevalencia de los eventos catastróficos de origen natural en nuestro país y en el mundo, junto con la convicción de que la enorme tarea de prevenir, mitigar, responder y reconstruir es responsabilidad de todos los actores de la sociedad, se ha creado, al alero del CNID, una Comisión de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para la Resiliencia Frente a Desastres de Origen Natural, CREDEN.

Esta Comisión está conformada por expertos provenientes de distintas áreas del conocimiento, la política y la industria para plantear una hoja de ruta para el desarrollo de I+D+i en el país con el objetivo de que Chile se vuelva más resiliente a estos desastres y, a la vez, sea capaz de convertirse en un polo de desarrollo en este tema. El presente informe presenta el resultado del trabajo de la Comisión.

1.1 Chile Resiliente: Lecciones del pasado

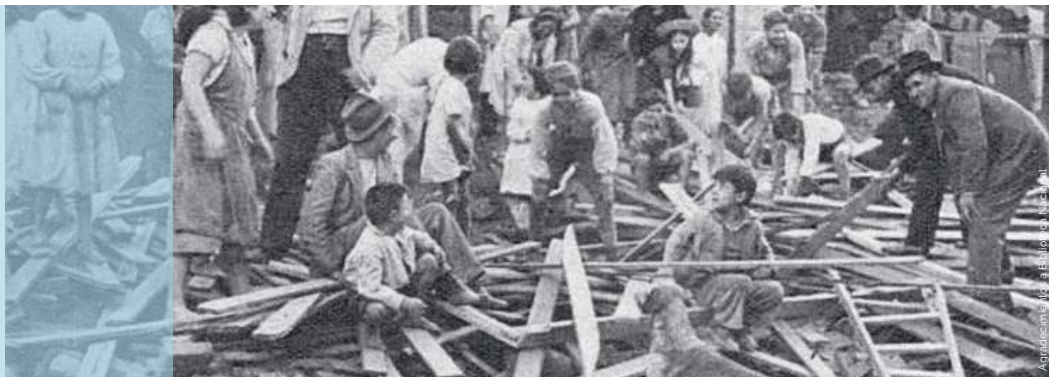
En sus poco más de 200 años de existencia, al menos 97 terremotos de magnitud 7 ó más han azotado Chile, 18 de ellos considerados altamente destructivos ($M_s > 8$) (Centro Sismológico Nacional, s.f.). Además, de acuerdo a los datos de *The International Emergency Disaster Database* (EM-DAT), desde 1810 a la fecha Chile ha sido afectado por al menos 19 inundaciones, diez incendios mayores, nueve explosiones volcánicas, cuatro remociones de tierra y dos sequías (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters [CRED], 2009). Sin duda, los desastres de origen natural son eventos recurrentes en la historia de Chile, siendo uno de los países con mayor prevalencia en el mundo. Evidentemente esto nos ha marcado como nación y como pueblo, así también al Estado y la política chilena. Pero ¿cuál ha sido en concreto el legado de estos eventos? ¿Qué hemos aprendido? Y ¿cómo hemos avanzado?

De acuerdo a Charles Darwin, quien fue testigo de la ruina de Concepción en 1835, esta situación de inestabilidad debería ser suficiente para destruir la prosperidad de cualquier país, pronosticando que éste caería en bancarrota, desorden y caos total (Darwin, xxxx). Sin embargo, si Darwin se hubiese quedado en Concepción lo suficiente, habría descubierto que esto no es lo que pasó en 1835, ni en ninguna de las otras grandes catástrofes que ha sufrido nuestro país. Al contrario, luego del terremoto de Concepción el orden fue solo momentáneamente interrumpido; rápidamente la Intendencia organizó la ciudad desde una carpa en la Plaza de Armas y luego el Gobierno Central se preocupó de organizar la reconstrucción de los pueblos afectados. En el 2010 el Estado Chileno tampoco colapsó ni fue incapaz de mantener las finanzas fiscales y orden institucional, como Darwin pronosticaba. Al contrario, al igual que en 1835, luego de unos días de desorden inicial el Estado logró tomar control de la situación y luego organizar la reconstrucción y recuperación económica.

Si bien ninguno de estos procesos ha sido perfecto ni todo lo rápido que la ciudadanía quisiera, es claro que Chile probó que Darwin estaba equivocado, y que nuestro país no solo ha sabido lidiar con sus desastres, sino que ha salido fortalecido de este proceso.

“Si las fuerzas subterráneas de Inglaterra, hoy inertes, volvieran de nuevo a ejercer su potencia, como seguramente lo hicieron durante épocas geológicas en la actualidad muy lejanas de nosotros, ¡qué cambios se producirían en el país entero! ¡Qué sería de las altas casas, de las populosas ciudades, de las grandes manufacturas, de los espléndidos edificios públicos y privados? Si algún terremoto tuviera lugar en medio de la noche, ¡qué horrible carnicería! La bancarrota sería inmediata; todos los papeles, todos los documentos, todas las cuentas desaparecerían en un instante. No pudiendo el Gobierno ni percibir los impuestos ni afirmar su autoridad, lo dominarían todo la violencia y la rapiña. El hambre se declarararía en todas las grandes ciudades y la peste y la muerte seguirían muy pronto.”

Charles Darwin a propósito del terremoto de Concepción en 1835, En The Voyage of the Beagle. The Collier Press: New York. Pp. 323.



Específicamente, los desastres han sido una oportunidad para que la sociedad chilena, y especialmente el Estado, se organice de mejor manera y perfeccione sus capacidades (Gil, 2016), tal como se mostrará a continuación.

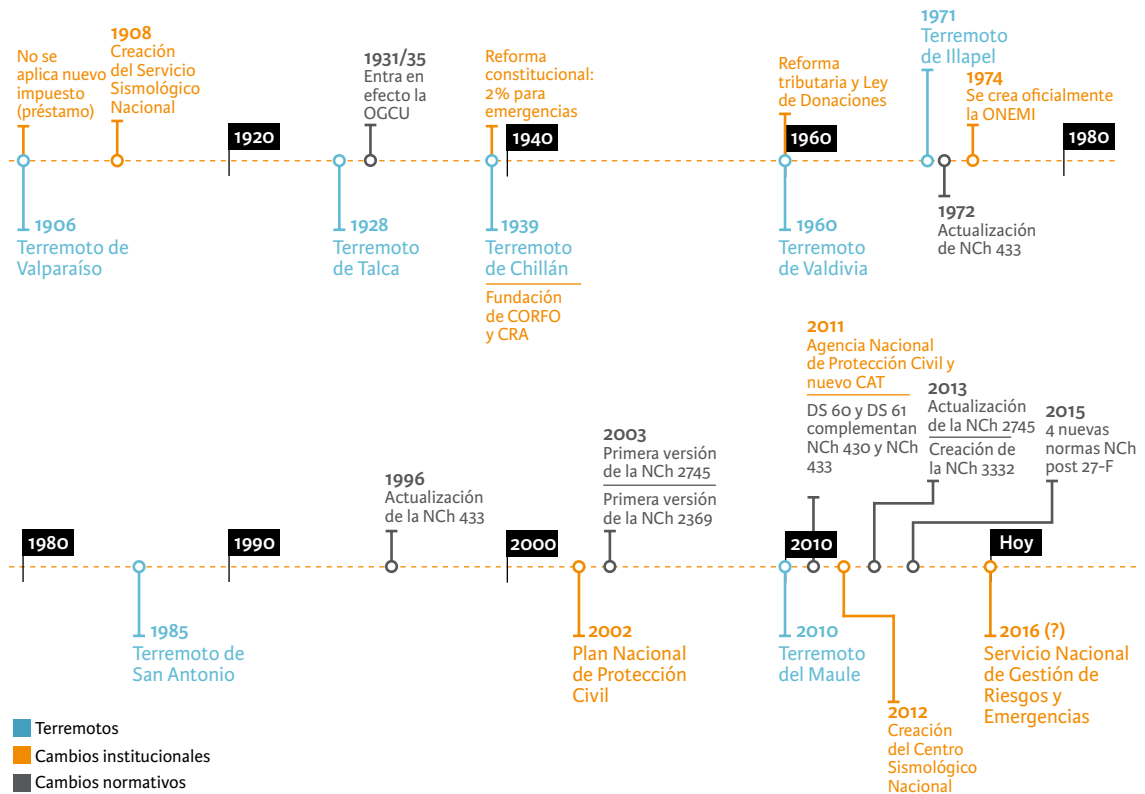
Terremotos

Cuando los españoles llegaron al territorio chileno en 1541 la geografía los sorprendió enormemente. El clima era muy agradable y la belleza natural les cautivó, pero no había oro y estaban completamente aislados, constantemente atacados por los indígenas, y amenazados por los terremotos. Según los historiadores, al menos seis terremotos catastróficos afectaron a Chile durante la colonia (1570, 1575, 1647, 1657, 1730 y 1751). En términos de reconstrucción, el Gobierno colonial solo estaba preocupado con reparar los "símbolos del poder", edificios reales e iglesias, y rara vez pagó por la reconstrucción de edificios privados (Onetto, 2007). No obstante, ya en esta época los terremotos fueron utilizados políticamente. En primer lugar, las autoridades solicitaron ayuda de la Corona, que más de una vez no aplicó impuestos a la colonia (durante 1, 3 o 6 años) para que pudieran reconstruir. Y en segundo lugar por los sacerdotes que, simbólicamente controlaban las fuerzas naturales, como terremotos, e interpretaban la voluntad de Dios (Onetto, 2007 y Valenzuela, 2012). Como consecuencia, estos desastres no fueron vistos como prevenibles o mane-

jables en este periodo, y es poco lo que se avanzó en términos de resiliencia. Sin embargo, existen registros de que las personas intuitivamente intentaban hacer frente a los problemas de la naturaleza, por ejemplo, con la recomendación de construir casas de un piso, lo que también demuestran los recientes descubrimientos en la iglesia de San Francisco (Arredondo, 2015).

Ya en el Chile republicano veremos algunas notables diferencias en cuanto a la respuesta social a los desastres. El siglo XIX fue de relativa paz sísmica, con solo dos terremotos considerados como grandes catástrofes. En 1822, el puerto más importante de Chile, Valparaíso, fue destruido agrandando una crisis política: Bernardo O'Higgins abdicó como director supremo unos meses después. Aun así, después de este terremoto los edificios públicos fueron reparados por el Estado, mientras que los edificios privados tenían que cuidar de su propia tragedia. El segundo gran terremoto del siglo XIX fue la ya mencionada ruina de Concepción en 1835, la segunda ciudad más grande de Chile en el momento. Después de este terremoto, el Gobierno nacional supervisó la reconstrucción de las ciudades y envió ayuda a las poblaciones más afectadas. Ahora bien, cabe recalcar que estas acciones se entendieron sobre todo en el contexto de la "filantropía" y no de la responsabilidad. Es decir, en el siglo XIX, el Estado no era visto como responsable de la reconstrucción y mucho menos de la prevención, pero estaba preocupado por proporcionar seguridad y ayuda después del evento (Gil, 2016).

Legado institucional de los terremotos



Aparte de estos dos terremotos, poco se ha puesto de relieve por los historiadores acerca de los otros once terremotos en este siglo. Probablemente, la razón es que estos fueron en Coquimbo, Copiapó (dos veces), Huasco, La Ligua, Illapel (dos veces), Punta Arenas y Puerto Montt. Esto significa que los terremotos no afectaron la zona central del país donde habita la gran mayoría de la población y se encuentra el poder social y político nacional. Por lo demás, al ser zonas eminentemente rurales el daño de estos sismos fue menor.

Por el contrario, el siglo XX chileno fue testigo de las tres catástrofes más destructivas de nuestra historia. En un contexto político agitado, con una clase media emergente y una fuerza trabajadora por primera vez organizada, los terremotos fueron una prueba importante para un Estado aún incipiente en cuanto a su función social. Dado que el país era bastante más numeroso que en el siglo anterior, y también más urbanizado y económicamente más diverso, los desastres causaron considerablemente más daño.

En 1906, Valparaíso —nuestro principal puerto y fuente de ingresos en la época— quedó completamente destruida por dos terremotos, seguidos de un

pequeño tsunami e innumerables incendios. La ciudad sufrió el cese casi completo de servicios públicos, y se contaron al menos 3.800 víctimas fatales. En el resto de Chile central la situación era parecida pero menos crítica. El desorden inicial fue controlado con la policía, marinos y ejército disponible en la zona esa noche, organizados por el Intendente Enrique Larraín. El juicio histórico a las medidas adoptadas por Larraín, que incluían fusilamientos *in situ* a posibles saqueadores y la restricción de movimiento a los trabajadores del puerto, han sido contradictorias. Pero más allá del manejo de la emergencia, el proceso de reconstrucción de Valparaíso ha sido recalcado como un modelo temprano de planificación urbana en Chile. El Estado tomó el liderazgo no solo en organizar ayuda, sino que en la recuperación de la ciudad por medio de la Junta de Reconstrucción. Esta Junta estuvo a cargo de la zonificación y regulación para la reconstrucción, así como también de la reconstrucción misma del barrio de El Almendral, el más afectado en el plano de Valparaíso. Fue creada por ley (Ley 1.887) por el Presidente de la República, Don Pedro Montt, quien se reservó el derecho de nombrar personalmente a tres de sus cinco miembros (Gil, 2016). Lo

anterior significó que el Estado tuvo un considerable liderazgo en las políticas de la ciudad, algo inusitado en el contexto de la época⁴. Para la Junta, el terremoto era una oportunidad de desarrollo, para arreglar el espacio público y hacerlo más moderno, más higiénico y, sobretodo, más hermoso (Páez, 2008). En el nuevo plano, sin embargo, los edificios privados deberían ser reconstruidos por sus propios dueños, para lo cual se crearon préstamos blandos. Desgraciadamente esto no se concretó fácilmente y en 1910 muchos lotes continuaban vacíos⁵.

“Los tripulantes del Pinita se quedaron especulando sobre cómo estaría su ciudad. Pero entonces, a 10 minutos del terremoto, ocurrió algo que nunca habían visto. El mar empezó a succionarlos, a llevarlos aguas adentro con tal fuerza que cortó de un tirón la sogu de 10 centímetros de diámetro que los ataba al ancla. Lo que los absorbía era una ola de 15 metros de alto que cerraba el horizonte. Estaba a 200 metros y se acercaba a toda velocidad por el costado de la nave. —¡Tsunami, tsunami! ¡Apróate!, ¡apróate! —le gritaron los tripulantes al capitán.”

“La ola Maldita.” Andrés Guzmán. Revista Paula 2010.

Finalmente, el desastre de 1906 fue también un impulso para las ciencias en Chile, creándose el Servicio Sismológico Nacional, que quedó en manos de Fernand de Montesuss de Ballore, un noble francés que ya era muy famoso sismólogo a nivel internacional. En los años siguientes se instaló un intensivo plan de estudios de la geografía nacional, con un respectivo énfasis en terremotos. Montesuss de Ballore

4 En el contexto de la Ley de la Comuna Autónoma, vigente desde 1891, las municipales tenían prácticamente total autonomía en el manejo de las políticas locales, especialmente en decisiones urbanas.

5 La Junta no contaba con que la población más rica se moviese a Viña, tal como ocurrió finalmente. Ver: Páez (2008).

escribió así una historia sísmica nacional, además de advocar en sus escritos por una política nacional de construcción antisísmica. Algo que no alcanzaría a ver realizado pero que vendría en los años y siglo siguientes.

Pero luego de 1906 la tierra no se quedó quieta. Incesantes terremotos azotaron el territorio nacional en los años veinte. Primero fue en 1922, en el norte del país, con alta destrucción y acompañado por un tsunami. En 1927 en Aysén y en 1928 el gran terremoto de Talca.

Esta seguidilla de terremotos tuvo importantes desarrollos institucionales. Principalmente la creación de un comité para generar una ley de construcción que incluyera disposiciones sísmicas. La Ley General de Urbanismo y de Construcciones (Ley 4563) de 1929 prescribe los primeros códigos sísmicos, definiendo nueve tipos de edificios y una norma para cada tipo. Incluye la definición de materiales, procedimientos de construcción, y resistencia al viento, entre otros. A partir de entonces, si se quería construir en ladrillo, había normas específicas al uso del material, restricciones al ancho de las paredes, la profundidad de los cimientos, etc. De este modo, la ley cambiaría por siempre la manera en que se podría edificar en el país, abriendo la puerta para el desarrollo de una arquitectura realmente moderna. En segundo lugar, el terremoto impulsó al gobierno de la época a tramitar la ley que obliga a las municipalidades a tener un plano oficial para transformación y extensión de las ciudades, incorporando disposiciones sobre altura y aspecto de los edificios. Es decir, un plan regulador. Y en tercer lugar, se crea el Colegio de Arquitectos, entidad que pretende regular el campo profesional para asegurar que estos procedimientos y estándares sean cumplidos en cabalidad.

Toda esta nueva institucionalidad sería probada unos cuantos años más tarde, cuando nuevamente la tierra nos sorprendió. En 1939 Pedro Aguirre Cerda había asumido la presidencia hacía solo un mes cuando Chile sufrió su peor catástrofe a la fecha, con más de 5.000 víctimas fatales concentradas en la ciudad de Chillán⁶.

6 Aunque la prensa señaló que hubo 20.000 o hasta 30.000 muertos la cifra oficial es de 5648 fallecidos. Sin duda, esta cifra es mayor si se cuenta a los muertos en los meses posteriores por heridas causadas por el evento o enfermedades derivadas de dormir en la intemperie.

Daño producido por un terremoto a casas de madera de buena calidad en Valdivia, Chile, 1960.



Por Pierre St. Amant, Dominio Público

Todas las comunicaciones estaban caídas. Sin telégrafo, teléfono o electricidad, y sin noticias sobre Chillán, Aguirre Cerda se movilizó como pudo a la zona. Ya en Chillán, los servicios públicos se organizaron en la Plaza de Armas y el Presidente ordenó que los distintos empleados públicos se dedicaran a remover escombros y limpiar lo que quedaba de la ciudad. De acuerdo al informe oficial, solo quince de las 4.000 viviendas de Chillán continuaban en pie (Quezada, 2010).

En este caso, para organizar el proceso de reconstrucción el Estado tuvo una reacción aún más impresionante que en las catástrofes anteriores. Dos nuevas agencias fueron creadas; primero, una agencia de reconstrucción llamada Corporación de Reconstrucción y Auxilio (CRA), y luego una agencia dedicada a la recuperación económica, la Corporación de Desarrollo y Fomento (CORFO). La primera luego se convirtió en un ente permanente dedicado a la construcción de viviendas estatales y fue eventualmente fundida en el actual Ministerio de Vivienda. La segunda es hasta hoy una de las más importantes instituciones del aparato estatal chileno, dedicándose al desarrollo de la economía nacional.

En el largo plazo, CORFO sirvió para ejecutar gran parte de la agenda de Aguirre Cerda y el Frente Popular, creando ENDESA y CAP; y luego, los proyectos de otros gobiernos, con Laboratorio Chile, INSA, Chile-Films y Madeco, entre otras.

Es decir, si bien ambas corporaciones comenzaron como agencias dedicadas a tratar con la eventualidad del terremoto, estas terminaron siendo parte del aparato estable del estado Chileno. Si bien esta siempre

fue la idea con CORFO, no así con la CRA, cuyo mandato se fue alargando cada vez que estaba por expirar dado que nuevos desastres seguían ocurriendo en el país (Gil, 2016).

En términos de regulación sísmica, el código creado y mejorado en los años anteriores demostró su efectividad. Según informes relacionados a los daños del terremoto de Chillán, solo un 20% de las nuevas construcciones sufrió daño irreparable, comparado con 67% de las construcciones tradicionales de adobe. Esto llevó a que la población aceptara más abiertamente las nuevas regulaciones, por lo que se procedió a incorporar una ley que obligase a las municipalidades a contar con un plan de regulación, y que este contemplara regulación sísmica. Finalmente, una pequeña pero crucial reforma fue consecuencia de esta catástrofe y un terremoto menor en 1965. Conocido como "2% constitucional" esta ley (Ley 7.727) permite al Presidente dictar decretos de emergencia económica que le permiten gastar hasta un 2% extra del presupuesto para emergencias derivadas de calamidades públicas que no pueden ser pospuestas, o servicios que no pueden cerrar sin causar daño al país. Como en los otros ejemplos, esta institución ha estado al beneficio de los chilenos en muchos desastres posteriores (Gil, 2016).

Así es como en 1960, cuando el peor terremoto registrado en la historia golpeó nuestro país, destruyendo el sur de Chile, las consecuencias en términos de vidas humanas fueron significativamente menores que en 1939. En esta ocasión, el Estado también desarrolló un comprensivo plan de reconstrucción, liderado por el Ministerio de Economía y Reconstrucción, especialmente fundado para la ocasión⁷. Es decir, el

7 Antes era simplemente Ministerio de Economía.

Presidente Alessandri una vez más decidió enfrentar el terremoto creando una nueva institucionalidad que ayudase al Estado a enfrentar la emergencia, incorporando la función de Reconstrucción al Ministerio de Economía, cambiando su nombre a Economía y Reconstrucción (Ley 14.171). A este ministerio se le otorgó la tarea de coordinar la reconstrucción, en conjunto con CORFO, que ya había ganado una reputación como asistente técnico del Estado, en el nuevo Comité de Planificación y Reconstrucción, COPERE. Además se desarrolló un completo Plan Nacional de Emergencias que pudiese preparar al país para enfrentar futuros desastres, en conjunto con una Ley de terremotos y catástrofes que aumentó las atribuciones al Presidente en momentos de emergencia.

Esta ley le permite gobernar por decreto en temas relacionados con la emergencia. También define qué se considera un damnificado, regula las donaciones hechas en el contexto de la emergencia, da atribuciones a tribunales y municipalidades, penaliza la especulación con productos básicos y da atribuciones a los militares, entre otros. Finalmente, luego de este terremoto CORFO creó la empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL). La necesidad de mejorar las comunicaciones fue clara, y por ende luego del desastre todo el sistema fue modernizado.

El desarrollo de una institucionalidad de emergencia tuvo un nuevo *boom* en 1971, cuando un terremoto significativo afectó la ciudad de Illapel, acompañado de un maremoto moderado. Luego de éste terremoto, el Presidente Salvador Allende decide crear la Oficina Nacional de Emergencia, ONEMI, en el Ministerio del Interior. Esta institución es la directa heredera del COPERE en 1960, que no se disolvió pasada la emergencia y elaboró un Plan Nacional de Emergencias. ONEMI es, hasta el día de hoy, el organismo central para el manejo de estos eventos destructivos. Sus funciones fueron definidas como planificar, coordinar y ejecutar las actividades destinadas a prevenir o solucionar problemas derivados de sismos o catástrofes (Oficina Nacional de Emergencia [ONEMI], s.f.).

Finalmente, el ya mencionado terremoto del Maule de 2010 vino una vez más a probar la resiliencia de los chilenos ante catástrofes de origen natural. Con una magnitud 8,8, afectó la mayor parte del territorio del país, llevándose consigo 525 vidas y causando al menos 30 mil millones de dólares en pérdidas materiales. En término del manejo de prevención, es claro que las

regulaciones y medidas tomadas en las últimas décadas dieron fruto, y la mayoría de los edificios logró soportar bien el movimiento. Pero en términos de manejo de la emergencia, el sistema demostró amplias falencias. Especialmente, la ciudadanía ha juzgado particularmente mal el error de no anunciar el tsunami por parte de la ONEMI y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), junto con la reticencia del Gobierno a poner a los militares a cargo de la seguridad de las personas en la zona más afectada.

Por eso es que Chile sigue aprendiendo. Luego de este desastre, se ha efectuado una renovación completa de la ONEMI, modernizando sus protocolos e incorporando nueva tecnología. La nueva ONEMI tiene mucho más desarrollado el ámbito de la prevención, así como también se han efectuado importantes avances en término de manejo de emergencia y en el aumento de personal en las distintas regiones. Por ejemplo, de cuatro personas por región en 2010 hoy se cuenta con un promedio de dieciseis, lo que significa turnos 24 horas al día y 7 días a la semana. Otro ejemplo es que se efectúan continuas operaciones de evacuación ante tsunamis que mantienen a la población en alerta y preparadas para un posible desastre. Es así como en el reciente terremoto en la región de Coquimbo, de magnitud 8.4, solo trece personas murieron y la evacuación fue catalogada como un éxito.

Mirando hacia el futuro, el nuevo Sistema de Gestión de Riesgo y Emergencia contempla la creación de un Servicio de Gestión de Riesgo y Emergencia que reemplace a la ONEMI. El Sistema cuenta también con un Consejo Asesor de expertos que ayudará periódicamente a revisar la política y estrategia de gestión de riesgo nacional.

Asimismo, el Sistema contempla la formación de un Comité de Ministros que sesione seis veces al año y revise la estrategia y los planes nacionales. Además, la nueva institucionalidad contempla la inclusión formal de las Fuerzas Armadas y Bomberos en los comités de emergencia (COE); encargados de gestión de riesgo en cada ministerio, y en cada municipalidad, junto con la creación de oficinas de emergencia en las distintas gobernaciones (actualmente existen solo a nivel regional). Diseñado así de manera descentralizada, el sistema proveerá e implementará acciones de mitigación, prevención, preparación y respuesta, con el objetivo de fortalecer la gestión de emergencias.

Incendios

El incendio de Santiago por los indígenas, el 11 de Septiembre de 1541, fue el primer gran desastre registrado en el territorio chileno (Urrutia y Lanza, 1993). Luego, la época de la colonia conoció múltiples grandes incendios; Chillán y Valdivia en 1599, Valdivia en 1682 y 1748, Valparaíso en 1827 y 1828 y finalmente, el gran incendio de la Iglesia de la Compañía de Jesús, en Santiago, el 8 de Diciembre de 1863 (Urrutia y Lanza, 1993). Esto llevó a una temprana formación del primer cuerpo de Bomberos de Santiago, aun cuando ya había uno en la ciudad de Valparaíso desde 1850. Si bien el origen de estos incendios rara vez fue natural, estos tempranamente les enseñaron a los nuevos habitantes de Santiago que los desastres serían parte integral de su vida en el nuevo territorio.

Ya en el siglo XX, los incendios irían cambiando su foco, pero no así su importancia. Con la acción del hombre en el territorio se incorporaron nuevos riesgos, siendo más comunes los incendios forestales que los grandes fuegos en ciudades. El primer gran incendio forestal registrado fue en febrero de 1922⁸, arrasando con una gran zona de bosques en la provincia de Cautín, y también en Osorno y Villarrica. Después de estas catástrofes, se legisló sobre los roces de fuego, que habían ocasionado estos siniestros (Urrutia y Lanza, 1993). Pero luego, en 1924 se produjeron nuevos incendios y recurrentemente estos han ido en aumento, con incendios significativos cada cinco, tres y dos años. Esto llevó a la promulgación en 1931 de la Ley de Bosques y posteriormente del programa de desarrollo de la industria forestal de CORFO que culminaron en la década de los sesenta con la creación de un Programa Nacional de Prevención y Combate de los Incendios Forestales (1967) y la Administración de Parques Nacionales y Reservas Forestales. Finalmente, en 1972 se crea la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con el objetivo de aunar en una sola institución las tareas forestales del Ministerio de Agricultura y así "contribuir a la conservación, incremento, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales del país" (Corporación Nacional Forestal [CONAF], s.f.). En este contexto, se crea en 1974 la primera Brigada Profesional de Combates de Incendios Forestales.

8 Es bastante probable que existieran incendios forestales desde la época colonial, sin embargo estos no han quedado registrados como desastre. Para los registros se utilizará el realizado por Urrutia, Rosa y Carlos Lanza. 1993. Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria.



Hoy en día, la superficie susceptible a ser afectada por un evento de éste tipo es de alrededor de 40 millones de hectáreas de vegetación, entre las regiones de Coquimbo y Magallanes (Revista Lignum, 2013). Y de acuerdo a los datos de CONAF, entre cada primavera y otoño un promedio de 5.800 incendios ocurren en el país, aunque unos pocos son considerados de gran magnitud, como el incendio del Parque Nacional Torres del Paine en el verano del año 2012⁹. El cien por ciento de estos son producto de la acción humana, y de ellos alrededor de la mitad son intencionales (CONAF, s.f.). Esto es muy relevante, considerando que un incendio forestal no solo destruye vegetación, sino también viviendas, animales e incluso vida humana.

Es por ello que en todos estos años el cambio en la gestión de este problema ha sido orientado a la mejorar la prevención y los resultados en manejo de emergencia. Hace unas décadas, cada vez que un torrero de una empresa forestal detectaba humo demoraba varias horas en dar aviso a la empresa afectada, y lo más pronto que se lograba atacar el incendio era al día siguiente. Hoy, desde la detección hasta el ataque inicial transcurren quince minutos (Revista Lignum, 2013). Este camino hacia el manejo de riesgos forestales comenzó hace unos 50 años, adoptando modelos

9 El 90% de los incendios detectados por CONAF es extinguido con una superficie igual o menos a 5 hectáreas. CONAF, Por un Chile Forestal Sustentable. CONAF, 2014.

empleados en Estados Unidos y Canadá. En éste, las empresas forestales protegen sus plantaciones, la CONAF vela por el patrimonio forestal del Estado y el entorno urbano lo protegen los Cuerpos de Bomberos (CONAF, s.f.). En lo que respecta al Estado, CONAF cuenta con once centrales de coordinación regional que reciben los avisos de detección y despachan los recursos coordinando la operación de combate. En Santiago, la Central Nacional de Coordinación monitorea y supervisa la operación nacional, coordinando con ONEMI (CONAF, s.f.). En 1989 se crea también el Consejo Técnico de Coordinación de Manejo en Fuego, que sesiona todos los años evaluando los riesgos de la temporada y los avances en investigación y desarrollo en el manejo de incendios. Y en la medida que avanza la historia, se han incorporado también

reconocidos en el mundo, lo que se ejemplifica por la gran cantidad de capacitación a brigadas extranjeras que se hacen cada año.

Hoy, CONAF cuenta con más de 120 brigadas a nivel nacional y cerca de 1.500 brigadistas (Revista Lignum, 2013). Los recursos para lograr este nivel de desarrollo provienen del Estado, con presupuestos que se han ido incrementando progresivamente con los años, alcanzando al año 2016 un monto de US 26 Millones. A lo que se suma cerca de cuatro millones de dólares invertidos por los privados (Empresas Forestales) en operaciones que resguardan sus predios. Cuando esto se hace insuficiente para el trato de una emergencia, CONAF solicita recursos adicionales del Ministerio del Interior, a través de ONEMI.

En materia de prevención ha habido avances en todos los aspectos; se han mejorado las relaciones entre las empresas forestales y CONAF, ONEMI, CORMA, Carabineros, la PDI y Bomberos; focalizándose en la acción preventiva e intensificando la presencia de las instituciones en días críticos (Revista Lignum, 2013). Además, se han incorporado nuevos equipos y tecnologías para la detección y combate de los incendios. En términos de manejo de la emergencia, el incendio de enero de 2012 en Pichiqueime, Quillón y Florida constató varias falencias en la coordinación de las distintas entidades participantes (Revista Lignum, 2013). Para remediar esta situación, CONAF, con ayuda de la Oficina de Asistencia para Desastres de Estados Unidos para América Latina (OFDA) estableció un Sistema Nacional de Comando de Incidentes (SCI) que permite organizar los recursos para eventos de mayor envergadura (CONAF, 2014). De este modo se homologó el sistema de CONAF con el estándar internacional. Aun así, existe un acuerdo de que queda mucho por hacer, tanto en prevención como en combate de incendios, pero especialmente en prevención (Revista Lignum, 2013). Considerando que la mitad de los incendios son causados por el descuido de las personas, es claro que el asunto cultural y de educación es fundamental.

“Tengo pena y frustración, pero lo material se puede recuperar, lo que me importaba era que mi familia estuviese bien, y todos se salvaron (...) Estoy agotado, adolorido, cansado, pero si hay que seguir luchando contra el fuego, ahí estaré”.

Victor Hernández, bombero de Valparaíso. En Bomberos voluntarios, héroes en el voraz incendio de Valparaíso. Lunes, 14 de Abril de 2014. La nueva opción.cl

innovaciones propias, incluido diseños tecnológicos y esquemas de organización adecuados a las condiciones del país (Revista Lignum, 2013). Por ejemplo, respecto a las tecnologías de información, CONAF concretó el desarrollo del Sistema Digital de Control de Operaciones (SIDCO), un software con todas las centrales de coordinación regionales de incendios forestales. Este software está en línea con información a tiempo real para el uso de CONAF, ONEMI y distintos ministerios interesados. Esto permite la toma de decisiones más rápida y efectiva (CONAF, s.f.). Y como resultado, las áreas afectadas por incendios se han reducido drásticamente en los últimos años y los sistemas de protección contra incendios chilenos están



Por Philip Oyarzo Calafio, CC BY-NC 2.0



Por NASA, Dominio Público

Volcanes

Otro fenómeno que ha sido una compañía constante en la vida de los chilenos son las erupciones volcánicas. Ubicado en el "círculo de fuego del pacífico", Chile es uno de los países con mayor actividad volcánica en el planeta.

Los volcanes que registran más episodios de erupción han sido el Llaima (8), Villarrica (6) y Antuco (4), seguidos del Peteroa (3), Lonquimay (3) y Calbuco (3) (Urrutia y Lanza, 1993). El primer registro de una erupción es del año 1600 cuando todo el territorio en la actual frontera peruano-chilena se vio conmovido por la explosión del volcán Huaina Putina (o volcán Omate), especialmente la ciudades de Arica y Arequipa (Urrutia y Lanza, 1993). Y luego, durante toda la época colonial al menos catorce erupciones de distinta intensidad ocurrieron en el territorio, siendo la más grande la erupción del volcán Chillán en 1751 que

"Ha sido muy duro abandonar la vida ahí. Yo he vivido en Chaitén durante 39 años y nunca me fui porque ahí están las tumbas de mi padre y de mi hija. Yo siempre iba al cementerio a ponerles flores."

Ana María Gallego Matei, 48 años, pequeña empresaria. Entrevista BBC. En <http://news.bbc.co.uk/>

dejó cubiertas de cenizas hasta quince leguas a la redonda del volcán (Urrutia y Lanza, 1993).

Ya en el Chile republicano, los volcanes han tenido irrupciones notables. Particularmente en el siglo XIX la erupción del volcán Antuco en 1820, con proyectiles de piedra, arenas y cenizas acompañadas de corrientes de lava. Luego,

en 1861 y 1864 fue el turno de nuevo del Chillán, despertando el interés de los naturalistas del país. Esta erupción duró alrededor de diez meses y fue acompañada por un gran aluvión, causado por los deshielos (Urrutia y Lanza, 1993).

Finalmente, en 1872 hizo erupción el volcán Llaima y en 1887 el Lonquimay. Pero como el Chile del siglo XIX era escasamente poblado, ninguno de estas erupciones tuvo los efectos que tendrían algunas en el siglo siguiente.

Durante el siglo XX, se contabilizaron al menos 30 erupciones volcánicas en nuestro país, siendo geológicamente la más relevante la erupción del Quizapú en 1932, cuyas cenizas llegaron hasta Montevideo. Es considerada la segunda erupción más violenta en la historia de Chile. En cuanto a sus efectos sociales, tenemos la erupción del Villarrica, que dejó la enorme cifra de 200 personas entre muertos y desaparecidos. La recientemente creada ONEMI y el Ejército trataron de hacerse cargo de la emergencia, pero mayormente proporcionaron alimentos y ayuda, incluido un hospital de campaña. Se debe agregar además de la importante erupción del Calbuco en 1961 luego del terremoto de 1960; el Villarrica en 1964, que dejó 22 víctimas fatales y destruyó el pueblo de Coñaripe; el Hudson en 1971 que destruyó por completo valle Humules y afectó gran parte del territorio; y luego el Lonquimay en 1988-89 y el Hudson en 1991 que duraron meses y donde se debió evacuar pueblos completos. Aun así, el siglo XX tiene un magro desarrollo del manejo de este tipo de emergencias, más allá de la creación de la Ley de catástrofes y terremotos y de la ONEMI, cuyas funciones incluyen este tipo de desastres, aunque fueron diseñadas especialmente para el caso de terremotos.

Distinto será el siglo XXI, que despertó con la impresionante explosión del Chaitén, el año 2008, que es considerada la erupción más violenta desde la del Quizapú en 1932. Considerado hoy el cuarto volcán más peligroso de Chile (Sernageomin, 2015), para 2008 no era considerado como un volcán activo, ya que no se tenían registros históricos, hasta que ese año decidió despertar con una repentina erupción la noche del 1 de mayo. La columna de humo y ceniza alcanzó el impresionante nivel de 20 km de altura que se dispersó hacia Argentina con rapidez. Finalmente, fue el turno del río Blanco, que se desbordó debido al acarreo de cenizas y piedra pómez el 10 de mayo de 2008 (Sernageomin, 2008). Las consecuencias de semejante catástrofe no se hicieron esperar. Se estableció una exclusión total en un radio de 30 km y se evacuaron los pueblos aledaños —en total más de diez mil personas—. Los sedimentos cubrieron 95% de la ciudad, convirtiendo a Chaitén en un pueblo fantasma. A raíz de esta erupción el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (Sernageomin) creó la Red Nacional de Vigilancia Volcánica y se fortaleció la ONEMI para incluir el manejo de emergencias volcánicas más centralmente en su labor.

Luego del Chaitén, el siglo XXI chileno ha visto otras erupciones significativas, principalmente las del volcán Puyehue en 2011, el Copahue en 2012 y 2013 y finalmente el Calbuco y Villarrica en el 2015. Gracias a los últimos desarrollos tecnológicos de SERNAGEOMIN y su Red de Vigilancia Volcánica estas erupciones pudieron ser monitoreadas desde el inicio y la prevención de mayores desgracias, prevista con anticipación.

Es muy importante remarcar la clara correlación que existe entre las grandes erupciones volcánicas descritas en Chile y los importantes terremotos ocurridos y descritos anteriormente. El efecto en cascada de algunas de las grandes erupciones evidentemente tiene implicancias prácticas, entre muchos otros aspectos posibles, para la definición de alertas tempranas volcánicas en el caso de un futuro terremoto de gran magnitud.

Fenómenos Climáticos

Los fenómenos climáticos han estado en constante aumento en las últimas décadas como consecuencia de los innegables efectos del cambio climático. Y más aún, se ha pronosticado que estos seguirán aumentando en cantidad e intensidad en las siguientes décadas, generando nuevos desastres, incluso en zonas donde antes no se les consideraba una amenaza. Entre los fenómenos climáticos más relevantes para Chile se cuentan las inundaciones, tormentas y sequías, todas las cuales han estado presentes recientemente en nuestro territorio.

“Lo sucedido fue totalmente inesperado. Cuando comenzó a llover, todos estaban felices, era una novedad que nadie se quería perder, hacía más de veinte años que no llovía con esa fuerza. Muchos salieron a la calle a ver correr el agua.”

“25M: Atacama, Aluvión en el Desierto”. 2016. Giovanna Dodino. Sociedad Nacional de Minería (SONAMI)



En primer lugar, las inundaciones son uno de los fenómenos extremos más comunes en nuestro país. Los desbordes del río Mapocho, por ejemplo, ya eran un problema en 1574. Ese invierno llovió más que otros años y el río desbordado corrió por las calles de la nueva ciudad llegando más allá de la Plaza de Armas. Cuentan los cronistas que los habitantes de Santiago pasaron varias noches sin dormir, presos del pánico en sus propias casas. Después de este desastre, en que se perdió el único puente sobre el Mapocho, el Cabildo acordó una contribución extraordinaria para efectuar las reparaciones necesarias a los edificios públicos y el mismo puente.

Además de estas inundaciones, Santiago ha visto muchas otras con al menos diez grandes eventos en el periodo colonial. Y como se ha remarcado para otros fenómenos, con el crecimiento de las grandes urbes y la modificación del territorio por la mano del hombre, los riesgos de un desastre ocasionado por causas naturales han aumentado notoriamente.

En el caso de las inundaciones esto es muy extremo y solo en el siglo XX se contaron más de 80 temporales destructivos, versus los veinte reportados en toda la época colonial. De estos, la mayoría han afectado a la zona central del país, pero han sido también enormemente destructivos los del Norte Chico, especialmente en 1905. Algunos también han afectado extensas porciones del territorio desde Atacama hasta Chiloé, como en 1877.

Dentro de los más impactantes se encuentran los temporales de 1993 en la Región Metropolitana y más recientemente, los del año 2015 en Atacama. De acuerdo a EM-DAT, los cuarenta peores temporales en la historia republicana han dejado un total de 1.340 muertos y daños por 2.4 billones de dólares.

En cuanto a las sequías, dos han sido las más relevantes en nuestra historia reciente.

En 1968, se declaró "la peor sequía en cien años" (Urrutia y Lanza, 1993). El déficit de agua de superficie en ríos, lagos y lagunas fue de 80% entre Valparaíso y Santiago. La sequía afectó una superficie total de seis millones y medio de hectáreas a lo largo de once provincias. Los principales embalses quedaron prácticamente secos y el déficit de energía eléctrica se hizo notar. Para enfrentar el problema se creó una comisión coordinadora para la sequía, asesora del Ministerio de Agricultura e integrada por el jefe de la OEMI (futura ONEMI). Las medidas tomadas por esta comisión fueron, en resumen, un programa de asistencia alimentaria gratuita, la distribución de forraje, otorgamiento de créditos y descuentos a letras agrícolas recibidas por los bancos, entre otras. En total, se calcula que en el sector agrícola las pérdidas llegaron hasta 55 millones de dólares de la época, con al menos 120.000 personas afectadas directamente.

Luego, en 1991 se decretó "zona de catástrofe" a diecisiete comunas de la II, IV y V región debido nuevamente a la sequía. A fines de año la situación se volvió más crítica, con pérdidas de ganado de hasta el 80% en algunas zonas, además del 100% de los huertos. Dada esta situación se creó una Comisión de sequía, presidida por el director del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) que organizó planes extraordinarios de empleo y distribución de forraje y alimento. El costo de esta catástrofe fue de al menos 200 millones de dólares (CRED, 2009).

"Vi caer mi casa completa, dos embarcaciones de madera que tenía al frente y a pesar de todo eso nos organizamos para apoyar las labores de rescate y en una de las mismas embarcaciones que nos quedó flotando pudimos gestionar rescates en la zona de abajo".

Héctor Alfaro, pescador de Chañaral. Tele 13 "Estos son los testimonios tras la catástrofe en Chañaral."

Remociones en Masa

Las remociones en masa acarrearán en su movimiento descendente un volumen significativo de roca y suelo, en los conocidos aluviones y avalanchas. Estos son generalmente desencadenados por otros fenómenos como la recolección de lluvias en cuencas muy amplias o terremotos como fue el caso de Aysén en 2007.

De acuerdo a los registros del SERNAGEOMIN, cinco son los aluviones mayores que deben ser considerados por sus pérdidas materiales y en vidas humanas; tres de ellos en Santiago (1980, 1987 y 1993) y luego Antofagasta en 1991 y Atacama en 2015. Esto ha significado cerca de 46 millones de dólares al año en pérdidas materiales en promedio, y alrededor de mil muertos y desaparecidos en total desde 1900. Es importante recalcar que en términos de vidas humanas los números superan con creces a los fallecidos por efecto de erupciones volcánicas, pero no así de terremotos.

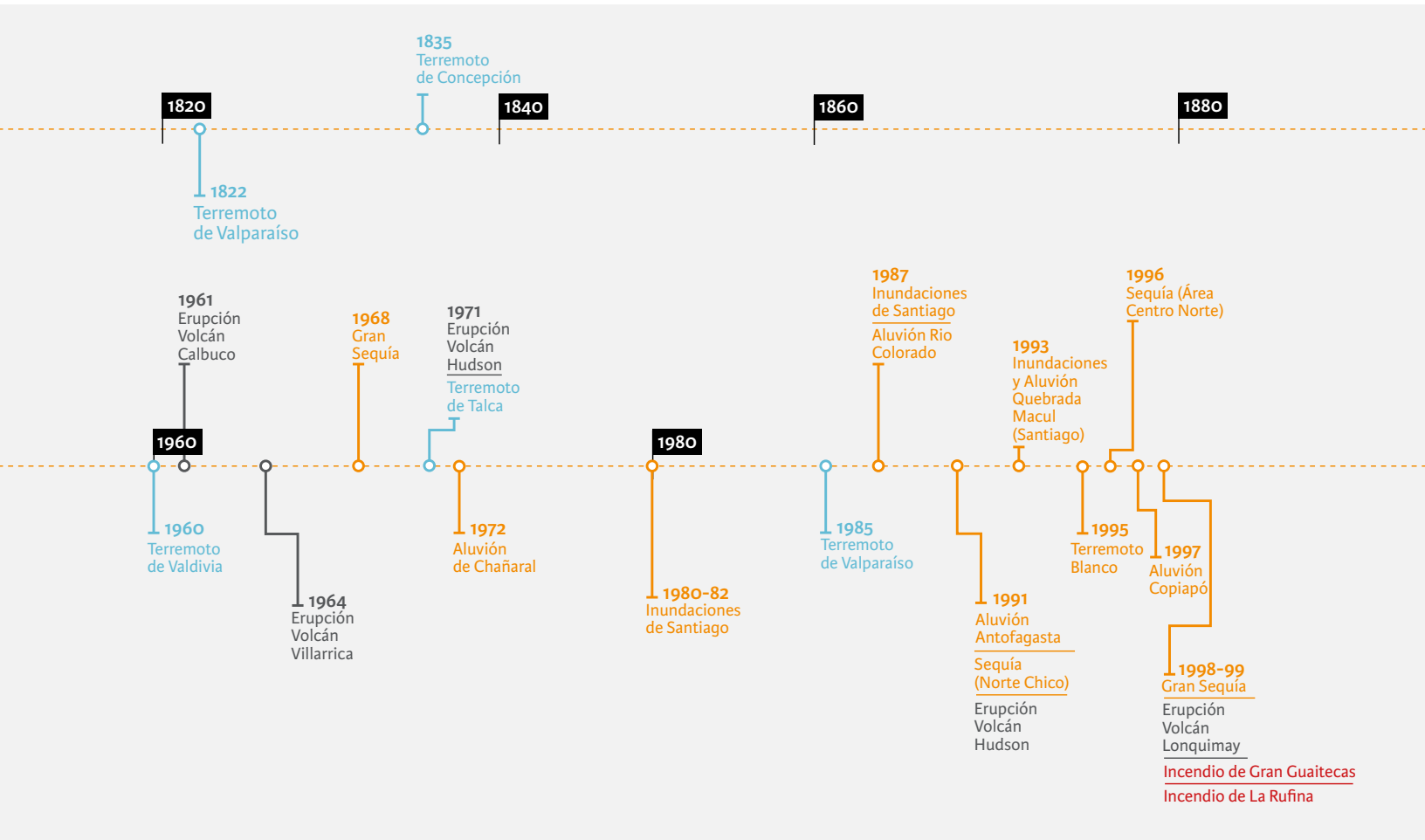
El país no cuenta aún con una Red instalada de Monitoreo de Peligros Geológicos, proyecto que ha comenzado luego de los aluviones de 2015, pero que aún se encuentra en un periodo exploratorio (Sernageomin, 2016).

Conclusión

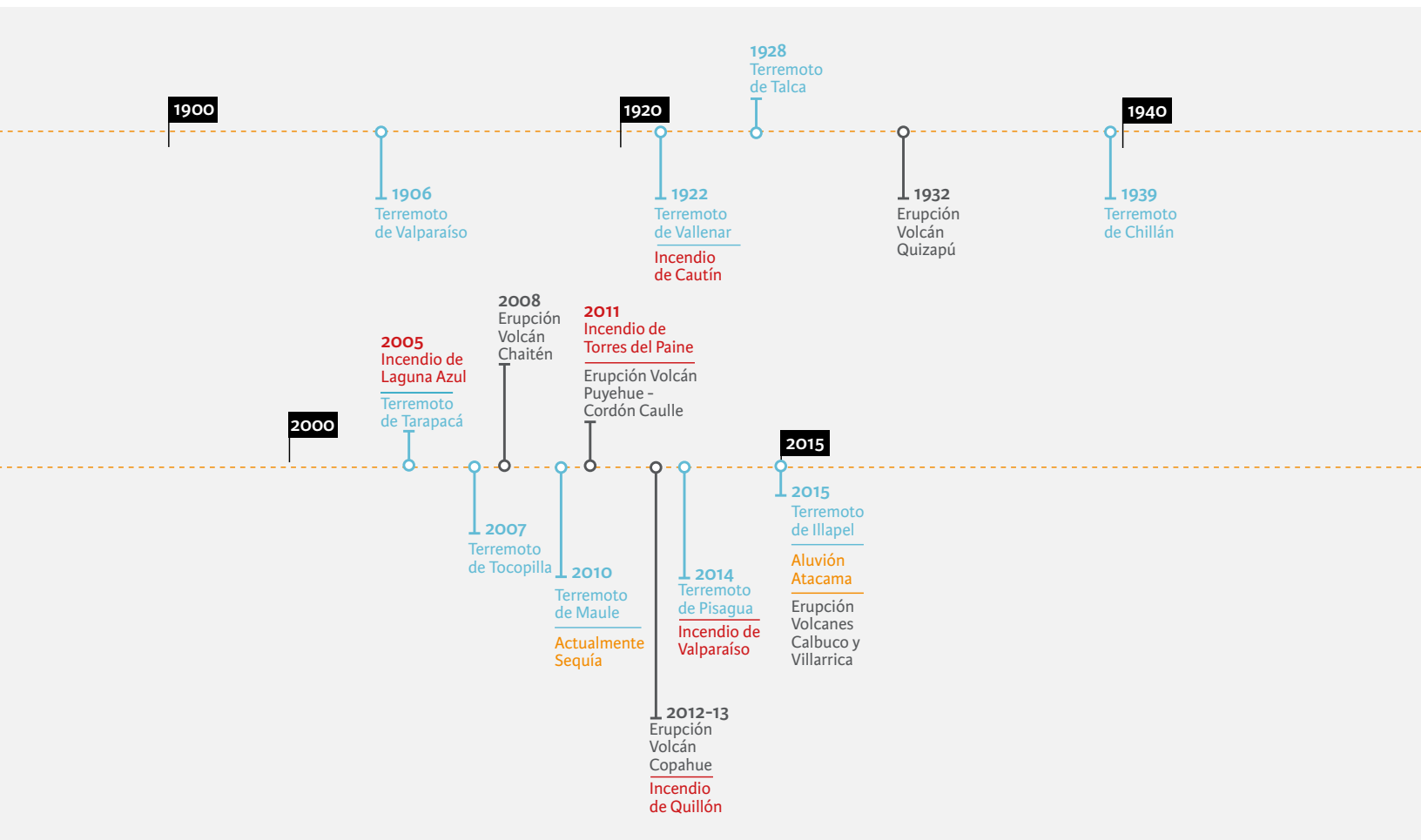
Un resumen histórico muestra que los desastres causados por amenazas naturales han sido una constante compañía en la historia de nuestro país. Entre estos, los más prominentes son los terremotos y tsunamis, seguidos por las erupciones volcánicas y las inundaciones. En el futuro, se espera que estas últimas sufran un notable aumento debido al proceso de cambio climático. Sin embargo, Chile no solo ha mostrado una notable resiliencia frente a estos desastres, sino que ha generado nuevas capacidades como respuesta a estas catástrofes, lo que le ha permitido mejorar su institucionalidad de manera constante y posicionarse hoy como un referente en el mundo en los temas de resiliencia frente a desastres de origen natural. Es claro que aún queda mucho por hacer en términos tanto de prevención y manejo de estas emergencias, como de recuperación de los sistemas. Esperamos que esta hoja de ruta allane el camino para que este progreso constante del país alcance todo su territorio.



Principales desastres de origen natural en Chile en los últimos 200 años



- Terremotos
- Fenómenos climáticos extremos
- Erupciones Volcánicas
- Incendios



1.2 Alcance de la Comisión: tipos de desastres considerados y conceptos básicos

Dada la complejidad del problema de resiliencia, una de las primeras tareas de CREDEN tuvo que ver con la correcta delimitación de su ámbito de trabajo que corresponde esencialmente al de ciencia, desarrollo e innovación. Adicionalmente fue necesario limitar a seis el número de amenazas naturales sobre los que se decidió trabajar en una primera instancia: terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, fenómenos climáticos extremos, remoción en masa, e incendios forestales.

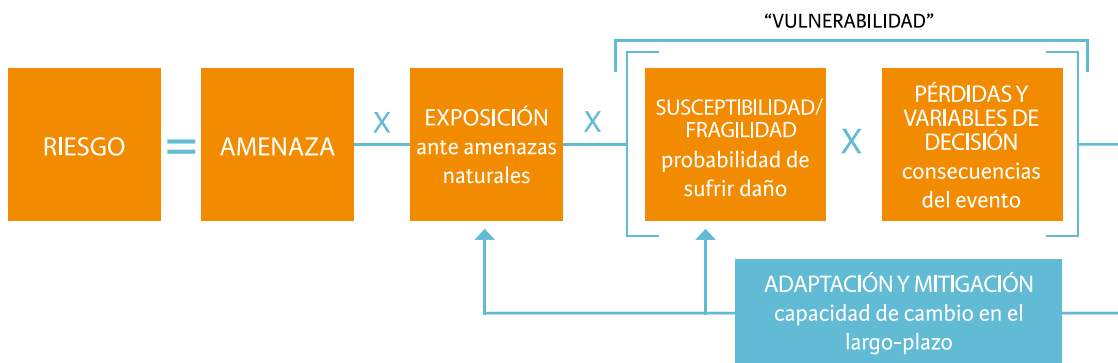
Para cumplir esta labor, diversos documentos han servido de inspiración al trabajo de esta Estrategia. Destacan entre estos documentos clave los Marcos de Acción de las Naciones Unidas, como son el *Marco de Hyogo Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres (2005-2015)* y el *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015- 2030)*. Además, se incluye el documento *Disaster Resilience: A National Imperative*, aprobado por el *National Research Council (NRC)* de Estados Unidos. También se ha considerado el reporte *National Earthquake Resilience* del NRC y, naturalmente, la Política Nacional y el Plan Estratégico Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres del Gobierno de Chile.

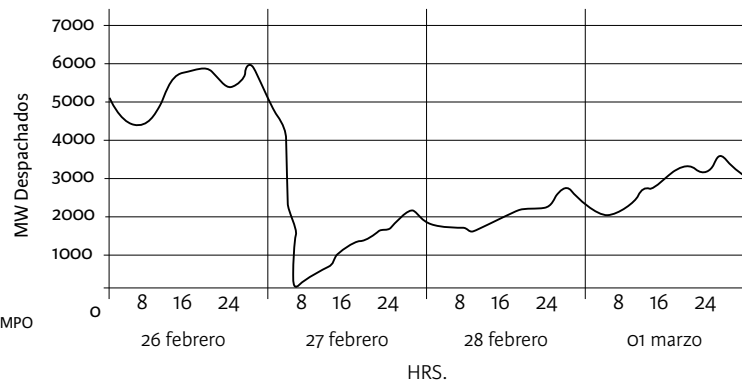
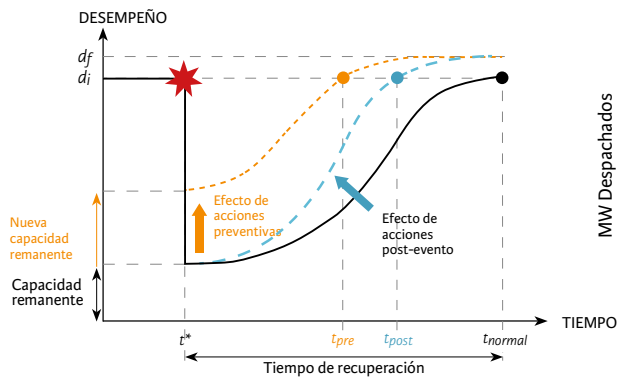
Para facilitar la lectura de este documento, especialmente para aquellas personas más distantes de las disciplinas de riesgo y resiliencia frente a desastres de origen natural, se incluye en el Apéndice G un glosario con la definición de los términos técnicos. Este léxico propio de desastres se construye sobre definiciones ampliamente aceptadas en la literatura

actual y, dada su gran relevancia para este texto, es al menos imprescindible resaltar cinco términos que su comprensión facilitará significativamente la lectura de esta estrategia. Ellos son peligro, exposición, vulnerabilidad, riesgo y resiliencia, conceptos que pueden ser utilizados cualitativamente en diversos contextos de las ciencias sociales y naturales, pero que además desde el punto de vista de la ingeniería, están precisamente definidos y son cuantificables.

Sin embargo, lo primero es distinguir que el uso muy frecuente del concepto de *desastre natural* es fundamentalmente erróneo. Los desastres nacen de la interacción que ocurre entre eventos que se originan en la naturaleza y el entorno social y físico construido por el hombre. Una erupción y el flujo de lava correspondiente podrían evidentemente causar un incendio forestal devastando junto a los bosques la flora y fauna de un ecosistema natural, causando un desastre natural, pero habitualmente el concepto de *desastre natural* se refiere al desastre ocasionado sobre las personas y el entorno construido cuyo origen es una amenaza natural, que queda mejor reflejado en el concepto de *desastre de origen natural*.

El término *peligro* se refiere en este caso a la condición que genera una determinada amenaza natural, y se especifica mediante una medida de la intensidad que dicha amenaza puede alcanzar en uno o varios lugares geográficos, o incluso en una región. En la mayoría de los casos este *peligro* se caracteriza por una variable aleatoria que solo puede ser definida de forma probabilística o por alguna propiedad estadística de dicha variable. Usualmente en la literatura ingenieril, el *peligro* se cuantifica por una tasa media de excedencia anual asociada a una medida de intensidad relevante para el diseño o evaluación del riesgo y la resiliencia del sistema considerado.





La resiliencia de un sistema puede ser representada esquemáticamente en una curva de desempeño en el tiempo (izquierda). Distintas alternativas preventivas y reactivas pueden mejorar la resiliencia del sistema, recuperando su funcionalidad en menos tiempo, y alcanzando un desempeño superior al inicial. El sistema de transmisión eléctrica luego del 27 de febrero de 2010 se comportó según lo anticipado conceptualmente (derecha)

Por otra parte, la *exposición* define al conjunto de personas o componentes existentes en un entorno físico o social que pueden ser afectados por una determinada amenaza. Si la *exposición* fuera nula, entonces no hay riesgo, ya que no existe sistema sobre el que actúa la amenaza y su peligro asociado. Si por el contrario la *exposición* es muy alta, existe un alto potencial de pérdidas si es que el peligro en la zona es también alto. Cuando se habla de *exposición* en la literatura también se subentiende la distribución de los diversos componentes que caracterizan a ese entorno construido y social.

Todo sistema tiene características propias que lo hacen más o menos vulnerable a una cierta amenaza. La *vulnerabilidad* de un sistema mide esta propensión intrínseca del sistema a ser afectado por una determinada medida de intensidad de la amenaza (peligro). En el caso de sistemas físicos, la *vulnerabilidad* se mide habitualmente por el costo asociado al daño ocasionado para un determinado nivel de intensidad de dicha amenaza. Así, a distintos niveles de intensidad le corresponden distintos niveles crecientes de vulnerabilidad hasta alcanzar un máximo que corresponde al daño total (o pérdida total de funcionalidad) del sistema. Evidentemente, en el caso de sistemas sociales, comunidades, y personas, el concepto de *vulnerabilidad* es más complejo y se define como todas las características y situación de una persona o grupo que afectan su capacidad de anticipar, hacer frente, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural.

El concepto de *riesgo* es aún más complejo en su definición, ya que dependiendo del ámbito en que se usa, existe una definición distinta. Para nuestro propósito, utilizamos una definición adecuada al propósito del documento en el ámbito de desastres. En la definición del riesgo es esencial considerar, primero, un sistema sobre el cual actúa la amenaza y se evalúa el riesgo. Si es una estructura —un edificio, puente, o túnel— es el riesgo de dicha estructura. Si es una red de agua o telecomunicaciones distribuida en la ciudad, es en relación a esa red que se define y calcula el riesgo. Y, si es un sistema social, es la persona, comunidad, o el sistema social completo sobre el que queremos evaluar el riesgo. El riesgo mide los efectos negativos o el potencial perjuicio que conlleva una cierta amenaza sobre el sistema considerado. Matemáticamente el riesgo es también una variable aleatoria cuyas propiedades estadísticas se obtienen de la composición de un determinado nivel de peligro

[Resiliencia se define como...] "las capacidades de un sistema, persona, comunidad o país, expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad".

y de la vulnerabilidad del sistema enfrentado a los distintos niveles de intensidad de dicho peligro. En rigor, bajo el concepto de riesgo se enmarca también el concepto de resiliencia, aun cuando en la literatura aparecen muchas veces como conceptos distintos.

El concepto de *resiliencia* nace desde la ecología (Holding, 1973) para representar la persistencia de las relaciones dentro de un sistema, midiendo la habilidad de estos sistemas para absorber cambio en sus variables de estado, de control y parámetros en general (Atton-Okine, 2016). Actualmente existe un gran número de definiciones de *resiliencia*, y CREDEN adoptó y adaptó la que ha sido planteada anteriormente en este mismo documento: *"Las capacidades de un sistema, persona, comunidad o país, expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad"*.

1.3 Estrategia Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

El Marco de Acción de Hyogo (2005-2015) para el Aumento de la Resiliencia de las Naciones y Comunidades ante los Desastres fue firmado por el Estado de Chile en el año 2005. En este tratado no vinculante, Chile se comprometió a reducir de manera considerable las pérdidas ocasionadas por desastres, tanto en términos de vidas humanas como de bienes sociales, económicos y medioambientales (UNISDR, 2005). Años después, post-terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, la ONU realizó una evaluación del estado de avance de este Marco de Acción en el país

"Uno de los objetivos específicos de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre del Estado de Chile es 'fomentar la investigación en Reducción del Riesgo de Desastres, con especial consideración en el conocimiento de las comunidades y las culturas ancestrales'"

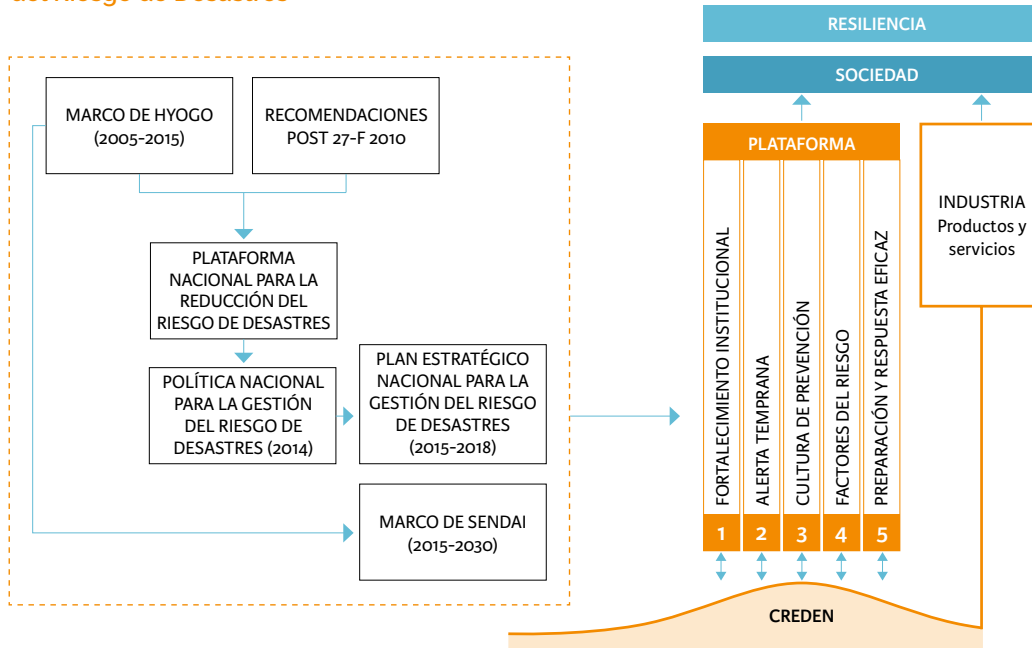
Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres. ONEMI, página 39.

y estableció que existían una serie de falencias que debían ser mejoradas. Como consecuencia de este diagnóstico se entregó un documento con setenta y cinco recomendaciones, siendo la primera de ellas formular una Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (Onemi, 2014).

Es así como en 2012 se constituyó una *Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres*, una instancia multisectorial e interdisciplinaria coordinada por ONEMI que a la fecha reúne a más de setenta y cinco organismos. Su función es lograr una plena incorporación de la Gestión de Riesgo de Desastres a las políticas, la planificación y los programas de desarrollo (Onemi, 2015, p. 11). La primera misión de esta Plataforma ha sido la elaboración de la política requerida por las Naciones Unidas que permita desarrollar una gestión integral del riesgo de desastres en el país (Onemi, s.f.). Durante más de un año (2012-2013), los miembros de la Plataforma trabajaron en cinco mesas sectoriales que corresponden a las cinco prioridades del Marco de Acción de Hyogo: (1) velar por que la reducción de los riesgos de desastre constituya una prioridad nacional y local dotada de una sólida base institucional de aplicación; (2) identificar, evaluar y vigilar los riesgos de desastre y potenciar la alerta temprana; (3) utilizar los conocimientos, las innovaciones



Estrategia Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres



y la educación para crear una cultura de seguridad y resiliencia a todo nivel; (4) reducir los factores de riesgo subyacentes; y (5) fortalecer la preparación para casos de desastre a fin de asegurar una respuesta eficaz a todo nivel.

El resultado de este trabajo fue la publicación de una *Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres*, cuyo objetivo es "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" (Onemi, s.f.).

Los objetivos planteados por esta política se articulan en cinco ejes fundamentales, en directa relación con el Marco de Hyogo, estableciendo acciones concretas para lograr estos objetivos:

1. *Fortalecimiento de la Institucionalidad* de manera que la reducción de riesgos sea una prioridad en todo el territorio nacional (Hyogo 1). Este objetivo contempla distintas tareas, entre las que destacan incorporar la Gestión del Riesgo en políticas, estrategias y planes sectoriales y territoriales; considerar en la elaboración del presupuesto la realización de acciones tendientes a la reducción del riesgo; entre otros.

2. *Fortalecimiento de los Sistemas de Monitoreo y Alerta Temprana*, lo que permitirá contar con información de calidad para la oportuna toma de decisiones (Hyogo 2). Específicamente este objetivo contempla tener un sistema de monitoreo y de comunicaciones robusto, eficaz y eficiente; así como también otorgar apoyo a organismos técnicos que monitorean las distintas amenazas; y finalmente, "desarrollar las capacidades científicas del país en la identificación y pronóstico de riesgos" (Onemi, s.f.).

3. *El Fomento de la Cultura de Prevención y el Autocuidado*, que es considerada como la mejor herramienta de prevención (Hyogo 3). Para ello se contempla el fortalecimiento de las capacidades comunitarias existentes para mejorar la resiliencia; formar profesionales en Gestión del Riesgo de Desastres; fomentar la investigación en reducción de riesgo de desastres y fomentar el acceso público a información de calidad.

4. *La Reducción de los Factores Subyacentes del Riesgo*, de manera que tengamos una adecuada planificación territorial que tome en consideración los riesgos presentes (Hyogo 4). Para esto es necesario desarrollar mapas de riesgo y de amenaza, así como planes



Por Paul Kim, CC BY-NC-SA 2.0



Pixabay



Por leonardo, CC BY-SA 2.0



Por Annais Ferreira, CC BY-NC-ND 2.0



Por Agusha, CC BY-NC-SA 2.0

de continuidad operativa. Además, se debe considerar los factores de riesgo en el desarrollo de los Instrumentos de Ordenamiento Territorial, los Sistemas de Evaluación Social y de Impacto Ambiental, el Sistema Nacional de Inversiones Públicas y actualizar las normativas de diseño y cálculo estructural considerando la experiencia internacional.

5. Fortalecimiento de la *Capacidad de Respuesta ante las Emergencias*, lo que implica una mejor coordinación institucional (Hyogo 5). Aquí se considera importante mantener actualizada la Plataforma Nacional de Reducción del Riesgo de Desastres y el nuevo el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias, definiendo ámbitos de acción para cada una de las instituciones gubernamentales.

De esta Política se deriva el *Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres* y los planes equivalentes a nivel regional, provincial y comunal; así como los planes sectoriales de cada uno de los organismos de gobierno. El Plan es el instrumento que define los objetivos estratégicos, programas, acciones, plazos y responsabilidades para materializar lo establecido en la Política Nacional vigente (Onemi, s.f., p. 7). En lo concreto, propone 84 acciones estratégicas. Entre estas se cuentan el nuevo Sistema Nacional de Protección Civil (en discusión en el Congreso), el fortalecimiento y modernización de la actual ONEMI, y el desarrollo de la investigación científica y la innovación en este tema.

Es en este marco que el *Plan Estratégico Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres* señala como su objetivo 2.5 "desarrollar las capacidades científicas del país en la identificación y escenarios de riesgos" (Onemi, s.f., pp. 97-98), señalando como tareas el generar alianzas con centros de investigación nacionales e internacionales en el ámbito de la Gestión del Riesgo de Desastres e incentivar la creación de un área prioritaria de investigación dedicada a la especialización en el ámbito de la Gestión del Riesgo de Desastres.

Finalmente, cabe señalar que este Plan Estratégico incorpora las recomendaciones del nuevo Marco de Acción de las Naciones Unidas para el periodo 2015-2030, llamado *Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastres*. Firmado por Chile en 2015, este marco es una continuación y complemento del Marco de Hyogo por lo que en ningún caso lo invalida. Sin embargo, presenta algunas innovaciones relevantes. Al igual que el Marco de Hyogo, este reconoce que el Estado tiene la función primordial en la reducción de riesgo de desastres, pero agrega también que la responsabilidad debe ser compartida con otras partes interesadas (*stakeholders*), incluidos los gobiernos locales, el sector privado y la academia.

En función de lo anterior, el Marco de Sendai señala cuatro líneas de acción prioritarias que han sido incorporadas en esta estrategia tanto en su visión como en las tareas específicas recomendadas. Estas líneas son las siguientes:

1. *Comprensión de los riesgos de desastre en todas sus dimensiones: exposición, vulnerabilidad, características de las amenazas, entre otros.* Para ello es necesario fomentar el conocimiento en desastres y garantizar su difusión promoviendo el acceso a datos fiables. Específicamente, el Marco pone como acciones prioritarias el promover y mejorar el diálogo y la cooperación entre las comunidades científica y tecnológica con los encargados de formular las políticas con el objetivo de lograr un proceso de toma de decisiones eficaz. Además, enfatiza el reforzar la capacidad técnica y científica para consolidar el conocimiento existente y elaborar nuevos modelos para evaluar los riesgos de desastre, las vulnerabilidades y el grado de exposición a todas las amenazas.

Para lograr lo anterior, el Marco de Sendai señala específicamente que el sector académico y las entidades y redes científicas y de investigación son fundamentales para apoyar la toma de decisiones. Para ello se debe fomentar las inversiones en ciencia, innovación y desarrollo a fin de abordar las carencias y retos del riesgo de desastres.

2. *Fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo, tanto en el plano nacional como regional y mundial.* Esto es de gran importancia para una gestión eficaz y eficiente del riesgo. Para ello es necesario contar con objetivos y planes claros, así como coordinación entre los sectores y actores pertinentes.

En esta labor se debe tomar en cuenta el fortalecimiento de la gobernanza para todo el ciclo del riesgo (prevención, mitigación, preparación, respuesta, recuperación y rehabilitación), fomentando la colaboración y las alianzas entre mecanismos e instituciones. Entre las acciones orientadas a este fin, Sendai considera la promoción de normas de calidad en materia de riesgo de desastres, con la participación de todos los sectores incluidas las organizaciones científicas.

3. *Inversión en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.* Se necesita de inversiones públicas y privadas para la prevención y reducción del riesgo de desastres mediante medidas estructurales y no estructurales, y así aumentar la resiliencia económica, social, sanitaria y cultural de las personas, las comunidades, los países y sus bienes, así como del medio ambiente.

Estos factores pueden ser clave en impulsar la ciencia y la innovación, y son fundamentales para salvar vidas, prevenir y reducir pérdidas, además de para asegurar la recuperación de las zonas afectadas. En consecuencia, el marco señala que se debe promover la cooperación entre las entidades y redes académicas, científicas y de investigación a fin de desarrollar nuevos productos y servicios para ayudar a reducir el riesgo de desastres.

4. *Aumento de la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para "reconstruir mejor" en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.* Señala Sendai que los desastres han demostrado que la fase de recuperación, rehabilitación y reconstrucción es una oportunidad para reconstruir mejor ("bounce back better"), siempre cuando esta haya contado con alguna preparación anterior al desastre.

Para lograr lo anterior es importante contar con estudios que informen los planes, políticas y programas de preparación y contingencia para casos de desastre, en lo cual la academia y el mundo científico juegan un rol fundamental.

De este modo, queda claro que el desarrollo de una estrategia de I+D+i debe ser considerado como un foco crucial en el marco de la Gestión del Riesgo de Desastres a nivel nacional y global. Es con este objetivo que la presente comisión CREDEN busca identificar las acciones específicas que se requieren para permitir a Chile generar el I+D+i que ayude a construir un país ejemplar en resiliencia frente desastres de origen natural.





2 | VISIÓN DE UN CHILE RESILIENTE



Durante la formulación de esta Estrategia se planteó la necesidad de construir un sueño, una *Visión* que fuese primero compartida por todos quienes conformaban CREDEN, pero también con la esperanza de que fuera el sueño compartido por todos los que anhelan un Chile resiliente. Necesariamente una estrategia de I+D+i para la resiliencia frente a desastres de origen natural debe implicar cambios en la forma en que se ha enfrentado hasta ahora el desarrollo de esta preocupación social compartida. Y como toda estrategia, va a requerir necesariamente que quienes la transformen finalmente en una realidad desde sus respectivos ámbitos de trabajo e influencia la suscriban plenamente y la sientan como propia.

Esta sección describe brevemente el resultado de este proceso de reflexión que condujo a una visión compartida para CREDEN. La metodología para construirla se compuso de lo que se conoce como el desarrollo de un *Ideario Fundamental* y un *Futuro Previsto* (Collins y Porras, 2001); etapas que a su vez se estructuran en función de cuatro puntos: (i) la definición de un conjunto pequeño de valores centrales compartidos por todos; (ii) un propósito claro de la comisión entregado en este caso por un encargo presidencial; (iii) un conjunto de metas audaces pero

a la vez realistas; y (iv) una descripción vivida de lo que implicaría alcanzar este conjunto de metas audaces. La integración de estos cuatro componentes es lo que denominamos en este documento la Visión de CREDEN.

Los valores centrales que fueron descubiertos al interior de la Comisión se resumen en la Tabla 2.1 sin un orden particular de prelación. El primer valor dice relación con un aspecto esencial de la Comisión, su compromiso con la excelencia en el desarrollo de las actividades de investigación, desarrollo e innovación centradas en los distintos contextos del ambiente construido y social. El segundo valor corresponde al sentido de este trabajo que no es otro que el de mejorar la calidad de vida de las personas y comunidades más expuestas a los desastres de origen natural. El tercer valor es sobre la equidad, y aspira a que el riesgo de todo habitante expuesto a un mismo nivel de peligro de origen natural sea similar y no esté condicionado por otro tipo de variables de tipo socioeconómico, cultural, etc. Como es necesario para poder lograr una mayor resiliencia frente a desastres que todo actor se involucre activa y responsablemente en los diversos procesos que conducen a esa resiliencia, el cuarto valor es el compromiso de fomentar este

Tabla 2.1: **Valores centrales de la Comisión CREDEN**

I+D+i de excelencia sensible a los contextos físicos y sociales
Compromiso con la calidad de vida y bienestar de las personas y comunidades expuestas
Aspiración a la equidad de las personas expuestas a riesgos naturales
Fomento a la participación responsable y significativa de todos los actores
Generación de una cultura resiliente para nuestro país
I+D+i para una gobernanza efectiva en la gestión de riesgos naturales

aspecto a través de la Estrategia. Adicionalmente, como la resiliencia requiere penetrar en las raíces de nuestra cultura, el quinto valor dice relación con un I+D+i que apoya este cambio cultural transversalmente, desde intervenciones en la educación escolar, pasando por la definición de proyectos públicos y privados en que la resiliencia sea un factor relevante en su decisión de inversión, hasta las prácticas más personales y comunitarias en favor de una mayor resiliencia. Por último, un sexto valor es el apoyo que el I+D+i debe dar a una gobernanza efectiva para la gestión de los riesgos de origen natural, incluyendo por supuesto el estudio del impacto de diversas políticas públicas y sus mejoras basadas en evidencia científica y tecnológica

Consecuentemente, el propósito central formulado para CREDEN es hacer de Chile un país más resiliente frente a riesgos originados por eventos naturales extremos mediante propuestas originales de I+D+i que impacten positivamente su desarrollo.

Este *Ideario Fundamental* descrito y resumido en este conjunto de valores y propósito fundamental de CREDEN deben perdurar en el tiempo independiente de los vaivenes políticos, tecnológicos, económicos y sociales, o los líderes nacionales que estén al mando de su ejecución. Este Ideario es la expresión mínima común de la consistencia dinámica que esperamos alcanzar con esta Estrategia.

Por otra parte, en esta visión de futuro, las metas que se esperan alcanzar en un horizonte de 20 años

se listan en la Tabla 2.2. Si bien estas metas son bastante audaces, y algunas de ellas requerirán la definición de una línea base para verificar su cumplimiento en el tiempo, todas ellas están basadas, de acuerdo a las opiniones de la Comisión, en una importante dosis de realismo. Sin duda, ellas requieren de un importante esfuerzo coordinado entre los distintos actores nacionales para poder ser alcanzadas, ya que esta Estrategia solo toca la dimensión de I+D+i del problema. Entre ellos, se postula que el trabajo que resulte de su implementación sea un insumo a la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Por otra parte, esta Estrategia debe conversar cercanamente con las políticas de I+D+i de CONICYT, CORFO, diversos ministerios, y los distintos fondos de investigación, desarrollo e innovación en el tema de desastres de origen natural a nivel nacional e internacional.

Queremos hacer de Chile un país más resiliente y, en el proceso, generar mediante su I+D+i una diferenciación innovadora sostenible que le permita desarrollarse y a la vez posicionarse en el mundo como un líder en el conocimiento y la innovación en temas de desastres originados por eventos naturales extremos. Esta ventaja proviene de nuestro país, un reconocido laboratorio de desastres causados por condiciones naturales extremas, uno de los más activos y geográficamente extensos del mundo.

El solo propósito de lograr un Chile resiliente traerá como consecuencia una reducción significativa de los recursos que el país debe emplear año a año en responder a las distintas emergencias y procesos de recuperación de eventos mayores.

Tabla 2.2: **Metas audaces de la Estrategia a 20 años**

Contribuir a disminuir a través del I+D+i el gasto en desastres en el país en un mínimo de un 10% como proporción del PIB
Construir una nueva industria tecnológica de tamaño mayor al 1% del PIB en torno a las distintas fases del ciclo de riesgo y resiliencia frente a desastres de origen natural
Transformar a Chile en el mayor centro de atracción Latinoamericano para el desarrollo de conocimiento de frontera e innovación sobre desastres de origen natural y en el laboratorio natural de eventos naturales extremos y resiliencia más interesante del mundo
Incorporar en cada persona, comunidad, e institución en Chile usando la evidencia, prácticas efectivas de mejora continua y autocuidado que apunten a una resiliencia creciente frente a desastres de origen natural
Quintuplicar el número de investigadores e innovadores trabajando en Chile en el área de resiliencia a desastres de origen natural
Constituir a través del ahorro en veinte años un Endowment Estratégico Nacional de 1.000 millones de dólares para el I+D+i en resiliencia frente a desastres causados por eventos naturales extremos

Descripción Viva del Futuro

"En cincuenta años, esta Estrategia habrá marcado el desarrollo de Chile y nuestra ciencia, tecnología e innovación serán reconocidas mundialmente por sus logros en la resiliencia del territorio frente a grandes catástrofes de origen natural. Chile será garante de seguridad en los distintos ámbitos del bienestar frente a los riesgos de desastres, con planes integrados e intersectoriales orientados a la construcción de ciudades y hábitats resilientes en que se considere la calidad de vida y el bienestar subjetivo de las comunidades.

Seremos un país modelo para Latinoamérica en la excelencia del I+D+i desarrollado con un claro propósito: una sociedad donde los servicios sociales permitirán prevenir y enfrentar situaciones de riesgo y las instituciones serán actores relevantes, fiables y reconocidos en las distintas fases del ciclo del riesgo. Un país que tras cada evento aprovechará su aprendizaje para levantarse y llegar a ser mejor de lo que era, potenciando en momentos de la reconstrucción aspectos que enriquezcan también el tejido social.

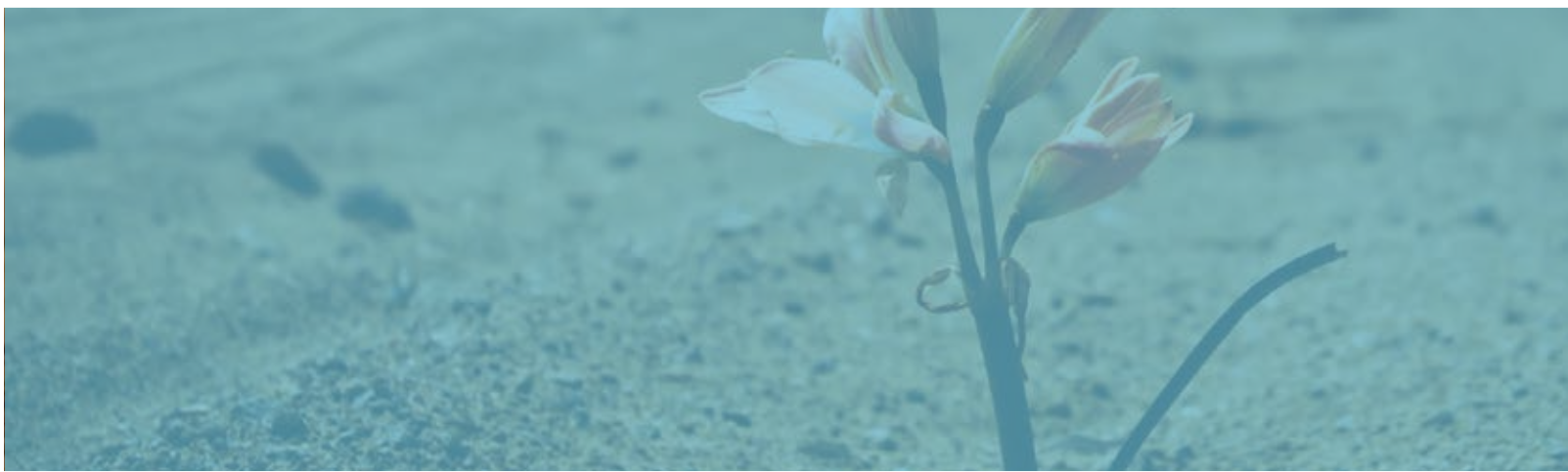
Habremos creado también un mecanismo sostenible de financiamiento que conducirá a importantes masas críticas de investigadores e innovadores estables en el tiempo, los que habrán impulsado una nueva industria a partir del conocimiento y la innovación generada en nuestro país y que nos diferenciará y posicionará de forma distintiva y sostenible en relación al resto del mundo.

Una sociedad donde cada persona expuesta a una amenaza similar dispondrá de las mismas posibilidades para protegerse y sobrevivir en escenarios de eventos extremos. Viviremos en ciudades y entornos altamente tecnologizados e interconectados, donde recibiremos señales premonitoras de eventos que serán muy precisas y concluyentes en relación a las acciones individuales y colectivas que deberemos tomar para evitar que dichos eventos se transformen en desastres.

Nuestra sociedad será más equitativa en la resiliencia de cada habitante frente a desastres, cuya ocurrencia habrá aumentado considerablemente en magnitud y frecuencia.

Un país en donde la educación sobre riesgos habrá penetrado distintos niveles escolares y universitarios, y reconocerá los saberes locales y ancestrales respecto de la naturaleza, sus amenazas y los conflictos y decisiones sobre los territorios que surgen en momentos de desastres.

Juntos, habremos creado de Chile un lugar de atracción del mayor talento mundial para la investigación y la innovación en resiliencia frente a desastres de origen natural".





3 | ELEMENTOS DE LA ESTRATEGIA





La Estrategia de I+D+i para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural responde a los valores que plantea la Visión, garantizando en la generación y uso del conocimiento la excelencia científica y académica, la construcción social del conocimiento desde y para las personas, la transferencia y retroalimentación oportuna innovadora a la sociedad, mercado y Estado y el sentido de responsabilidad. Además, el trabajo realizado debe proveer insumos para apoyar a los compromisos adquiridos por el Estado de Chile, principalmente el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastre, el cual promueve la inclusión, la protección de los Derechos Humanos, el enfoque de género, y la descentralización en la gobernanza.

La Estrategia tiene como objetivo general fortalecer las capacidades básicas que Chile tiene en I+D+i para generar el conocimiento y la evidencia científica requerida que permita reducir los impactos psicosociales, económicos, ambientales y físicos de los desastres de origen natural en la sociedad, y a la vez aprovechar esta singularidad del país, para transformarla en una oportunidad de mayor equidad y desarrollo.

Dentro del proceso de elaboración de esta Estrategia se ha buscado incorporar el contexto y singularidades de nuestro país, considerando el grado de avance actual de la I+D+i en el área de desastres. En consecuencia, se ha elaborado un plan de trabajo consistente con la realidad nacional y que entrega solución a la necesidad imperativa de Chile de reducir el riesgo frente a desastres de origen natural, disminuir su impacto social, ambiental, económico y físico, y aprovechar su particular condición para ofrecer valor al mundo. Para ello, la atención de esta Estrategia se ha focalizado en aquellos fenómenos que, dado su alto impacto, pueden conducir a situaciones críticas. Además se ha puesto énfasis en aquellas dimensiones en que existen las mayores brechas de conocimiento y capacidad de gestión.

Así, las amenazas consideradas son solo seis y corresponden a las más relevantes en el caso de Chile en tiempos geológicos recientes: terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, aluviones, fenómenos climáticos extremos, e incendios forestales.

Además de lo anterior, la Estrategia busca reconocer y dar cuenta de la naturaleza compleja de estos fenómenos, considerando que son multidimensionales y que se expresan en las distintas fases del riesgo —prevención, preparación, mitigación, alerta, respuesta, rehabilitación y reconstrucción—. Para la construcción de las tareas se ha tomado en cuenta la relación entre estas dimensiones; los distintos niveles o escalas que afecta simultáneamente —personas y comunidades, organizaciones, instituciones, servicios, industria, territorios, y funciones sociales—; la correlación entre las distintas amenazas en términos de espacio y tiempo¹⁰; y el escalamiento espacial de las zonas geográficas y físicas. Esta aproximación obliga a crear un marco conceptual interdisciplinario que conecte el estudio de la resiliencia del entorno físico con el estudio de la resiliencia del entorno psicosocial.

Para ello, la Estrategia se estructura como un conjunto integrado de tareas que generan y usan conocimiento básico, aplicado, asociativo e interdisciplinario relacionado al riesgo frente a desastres de origen natural, tanto en lo referido a las amenazas naturales, como a los ámbitos en que se manifiestan y evolucionan las vulnerabilidades y capacidades de resiliencia en nuestro país.

El sistema de tareas incluye funciones complementarias (p.ej., identificación, medición, anticipación, evaluación, monitoreo de las amenazas naturales y de su impacto en la sociedad), hace uso de distintos modos de producción (p.ej., análisis de datos, observación, experimentación, recopilación histórica, simulación, desarrollo de prototipos, pilotajes), y genera productos diversos, tales como modelos, sistemas, redes, zonificaciones, normas, estándares y protocolos, creación tecnológica, sistemas, mapas, instrumentos financieros, instrumentos en red, programas e infraestructura, entre otros.

Para mayor claridad y orden, las tareas se agruparon en torno a cuatro dimensiones clave para los propósitos de esta Estrategia: (i) dimensión social de la resiliencia, (ii) dimensión de proyección para el desarrollo, (iii) dimensión de simulación y gestión del riesgo, y (iv) dimensión física de las amenazas naturales y exposición. Sin embargo, no debe desconocerse las profundas interrelaciones que existen entre estos cuatro grupos para una comprensión exhaustiva de los fenómenos en estudio.

Finalmente, la Estrategia incluye un conjunto de condiciones habilitantes complementarias, las que buscan generar un nivel de capacidades institucionales, capital humano y de infraestructura técnica mínima para posibilitar la implementación efectiva de las tareas planteadas.

Estas condiciones se relacionan con las principales debilidades observadas para la conducción de la I+D+i en nuestro país y que perjudican la capacidad actual de nuestros investigadores, desarrolladores e innovadores de generar un impacto en la toma de decisiones y la cultura del país.

A través de estas condiciones se proponen mecanismos para paliar las brechas identificadas, permitiendo asegurar al país un flujo continuo y sostenido de I+D+i de excelencia con datos e información de calidad y capital humano avanzado, a través de la asociación colaborativa del Estado y la ciencia (centros de investigación, núcleos e institutos existentes junto a los servicios públicos).

La Tabla 3.1 permite visualizar de manera más estructurada los elementos que conforman esta Estrategia.

10 Los eventos naturales extremos pueden involucrar a zonas geográficas extensas, con la posibilidad de que varios sistemas se vean afectados simultáneamente, algunos de ellos impactados por su dependencia en cascada con otros sistemas, o bien, debido a las interdependencias existentes entre sistemas. Esto último implica que el efecto sobre uno de los sistemas impacta a otro(s) sistema(s) incrementando así la complejidad y el riesgo enormemente. Esto implica que el marco conceptual más apropiado para abordar la resiliencia del entorno físico (i.e., infraestructura, productos, procesos y servicios) sea el de sistemas de sistemas, con especial cuidado en la evolución de dichos sistemas, sus interacciones y sus ambientes.

Tabla 3.1: Elementos de la Estrategia de CREDEN

PROPÓSITO	Hacer de Chile un país más resiliente frente a amenazas naturales mediante respuestas originales en el I+D+i que impacten positivamente a su desarrollo			
VALORES	<ul style="list-style-type: none"> • Un I+D+i de excelencia sensible a los contextos físicos y sociales • El compromiso con la calidad de vida y bienestar de las personas y comunidades expuestas • La aspiración a la equidad de las personas expuestas a riesgos naturales • El fomento a la participación responsable y significativa de todos los actores • La generación de una cultura resiliente para nuestro país • Un I+D+i para una gobernanza efectiva en la gestión de riesgos naturales 			
DIMENSIONES	Dimensión social de la resiliencia	Dimensión de proyección para el desarrollo	Dimensión de simulación y gestión del riesgo	Dimensión física de las amenazas naturales y exposición
TAREAS	<p>T1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural</p> <p>T2: Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica</p> <p>T3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria</p>	<p>T4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres</p> <p>T5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas.</p> <p>T6: Nuevas Aplicaciones de las TICC y otras Tecnologías Habilitantes</p>	<p>T7: Escenarios de Desastres de Origen Natural</p> <p>T8: Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres</p> <p>T9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido</p>	<p>T10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales</p> <p>T11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales</p> <p>T12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales</p> <p>T13: Sistemas de Alerta Temprana</p> <p>T14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta frente a Desastres</p>
CONDICIONES HABILITANTES	<ul style="list-style-type: none"> • Institucionalidad para el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural • Integración de datos e información • Desarrollo de capital humano avanzado en resiliencia • Desarrollo de infraestructura para el descubrimiento científico y la innovación en resiliencia • <i>Outreach</i> y diseminación científica 			

Fuente: Elaboración propia

3.1 La Comisión CREDEN

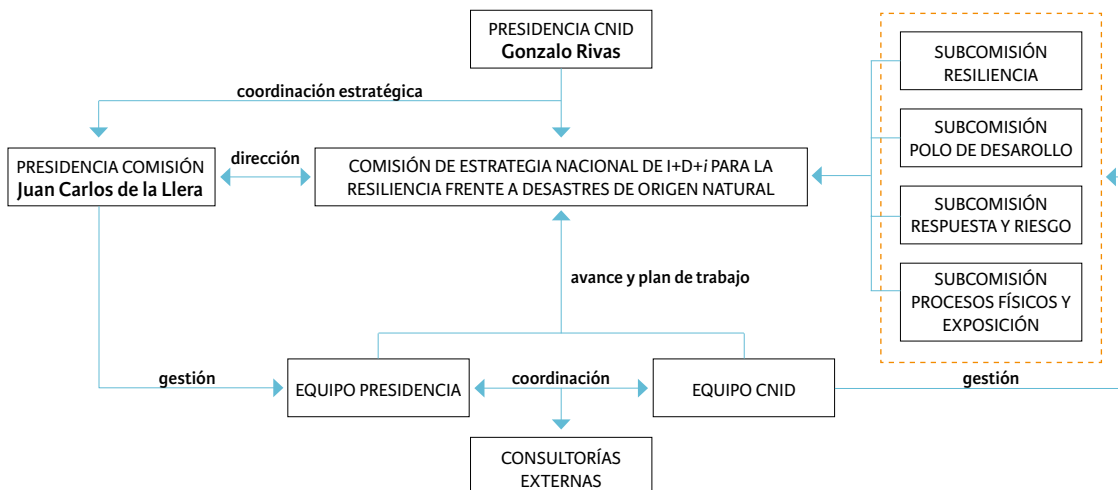
La comisión central de CREDEN estuvo integrada por 27 representantes del gobierno, mundo político, academia, y mundo privado, y trabajó en el periodo comprendido entre enero y noviembre de 2016. Su trabajo fue estructurado en torno a cuatro grandes metas: (i) mejorar la resiliencia del país frente a desastres de origen natural; (ii) transformar el problema de los desastres de origen natural en una ventaja innovadora sostenible al servicio del desarrollo del país; (iii) desarrollar herramientas costo-efectivas para la estimación de la respuesta y la evaluación del riesgo y la resiliencia en sistemas; y (iv) mejorar la comprensión de los procesos físicos asociados a las amenazas naturales, y la exposición de las comunidades y el entorno construido. Para trabajar en paralelo en las cuatro grandes metas de la Estrategia, se constituyeron cuatro subcomisiones cuyos resultados

fueron discutidos centralmente. Estas fueron denominadas como: (i) *Resiliencia*; (ii) *Polo de Desarrollo*, (iii) *Respuesta y Evaluación del Riesgo*, y (iv) *Procesos Físicos y Exposición*.

El trabajo de la Comisión fue apoyado por dos equipos, uno directamente bajo la responsabilidad de la Dirección de CREDEN, y otro bajo la dirección y apoyo del CNID, de acuerdo al organigrama esquemático presentado en la Figura 3.1. El equipo de la Dirección de CREDEN fue integrado por tres profesionales: un coordinador técnico y contraparte de la Dirección con el equipo CNID, y dos profesionales que apoyaron el análisis, escritura, presupuesto y una importante variedad de otros temas de este documento.

Por otro lado, el equipo CNID proporcionó mayoritariamente apoyo ejecutivo directo al trabajo de la Comisión Central y a las cuatro subcomisiones.

Figura 3.1: Organigrama esquemático del funcionamiento de CREDEN



A cada subcomisión le fue encomendada una macro-meta, a la cual cada subcomisión asoció un conjunto de entre cuatro a cinco objetivos transversales que permitieran alcanzar dicha meta. Del mismo modo, cada subcomisión definió entre tres y cinco tareas que, en su conjunto, establecieron los lineamientos estratégicos mediante los cuales el I+D+i permite alcanzar el conjunto de objetivos asociados a cada una de las cuatro macro-metas.

Las subcomisiones fueron integradas por un pequeño subconjunto de miembros de la Comisión Central, y fueron completadas por invitados externos provenientes de distintos sectores, según las necesidades de la subcomisión y el perfil de trabajo de la meta, objetivos y tareas. Cada subcomisión fue liderada por dos miembros pertenecientes a la Comisión Central. En promedio, en cada subcomisión participaron quince personas de manera permanente representando a los distintos sectores interesados en el país en los aspectos de resiliencia frente a desastres de origen natural (p.ej., academia, Estado, industria, ONGs, mundo político), además de eventuales invitados para la discusión de ciertos aspectos específicos de las tareas.

Las subcomisiones trabajaron de manera paralela y sesionaron de manera regular aproximadamente cada dos semanas. Inicialmente, el trabajo se realizó de manera independiente en cada una de las tareas, para luego en las últimas sesiones revisar integralmente la propuesta de la subcomisión y hacer

los ajustes de consistencia necesarios. Finalmente, cada subcomisión entregó un documento de trabajo a la Comisión Central para su integración final en la Estrategia.

Adicional al trabajo de la Comisión Central y Subcomisiones, el CNID encargó dos estudios a consultoras externas que permitieron reunir antecedentes clave para el desarrollo del trabajo de la Comisión. Estas consultorías fueron: (i) "Dimensionamiento del mercado de desastres naturales: impacto y tamaño en Chile y el mundo" (IDOM Ingeniería y Consultoría), y (ii) "Capacidades de investigación, desarrollo e innovación en desastres naturales en Chile" (Cameron Partners).

A continuación se presenta una breve descripción del trabajo y discusión de cada subcomisión, el conjunto de objetivos asociados a cada meta de la Estrategia, y las tareas definidas para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Subcomisión de Resiliencia

La meta asociada a la Subcomisión de Resiliencia fue la Meta 1: "Mejorar la resiliencia del país frente a desastres de origen natural". De este modo, la subcomisión tuvo como propósito proponer recomendaciones desde el I+D+i para la mejora de la resiliencia del país frente a la ocurrencia de futuros desastres de origen natural con un énfasis social, es decir, las personas y comunidades.

Como punto de partida, la Subcomisión de Resiliencia trabajó en la generación de una definición del concepto de resiliencia que se adecua al contexto nacional y al alcance del trabajo de la Subcomisión. Esta definición fue adoptada por CREDEN como base fundamental de la Estrategia, y fue presentada en el Capítulo 1.

Subcomisión de Polo de Desarrollo

La meta propuesta por la Subcomisión de Polo de Desarrollo fue la Meta 2: *"Transformar el problema de los desastres de origen natural en una ventaja innovadora sostenible al servicio del desarrollo del país"*. La definición de una estrategia para alcanzar esta meta se plantea desde la oportunidad que significa esta singularidad de Chile en términos de la diversidad de eventos extremos, la frecuencia de dichos eventos, y su intensidad.

Para poder cumplir este objetivo, la Subcomisión propuso declarar la temática *"Comunidades Resilientes frente a Desastres de Origen Natural"* como una de las prioridades estratégicas de la Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chile, la cual debiera ser reconocida y conducida por toda las instituciones y agencias relacionadas. Esta definición político-estratégica se deberá apalancar y sostener en un gran acuerdo público-privado-academia-sociedad que permita a Chile aprovechar su condición de gran *laboratorio natural* a nivel mundial, con condiciones idóneas para el diseño, desarrollo, pilotaje y prueba de tecnología, productos y servicios asociados a la resiliencia frente a desastres.

Subcomisión de Respuesta y Evaluación del Riesgo

La meta asociada a la Subcomisión de Respuesta y Evaluación del Riesgo fue la Meta 3: *"Desarrollar herramientas costo-efectivas para la estimación de la respuesta y la evaluación del riesgo y la resiliencia en el entorno construido y social"*. El desarrollo de dichas capacidades y los resultados generados, además de diferenciar a Chile como un país líder en el estudio del ciclo de riesgo frente a desastres, contribuirá a mejorar la resiliencia de las comunidades en la medida que estas herramientas y conocimiento se utilicen adecuadamente para informar y educar a las personas sobre las distintas amenazas y riesgos a las que están expuestas, fortalecer las estrategias de prepa-

ración, proponer obras de mitigación en el ambiente construido y, en general, realizar una adecuada gestión para la reducción de los riesgos.

De este modo, la continua comunicación entre los actores involucrados en el desarrollo e implementación de dichas capacidades con las autoridades y tomadores de decisión, además de su participación en el diseño y constante actualización de los programas de *outreach* en relación a los riesgos de origen natural en el país, es clave para aprovechar que los resultados y productos de la implementación de esta Estrategia lleguen a toda la población y permitan, finalmente, general los cambios que se requieren para lograr el aumento de la resiliencia de las comunidades.

Subcomisión de Procesos Físicos y Exposición

La meta definida por la Subcomisión de Procesos Físicos y Exposición fue la Meta 4: *"Mejorar la comprensión de los procesos físicos asociados a amenazas naturales y la exposición de las comunidades y del entorno construido"*. Si bien el trabajo realizado por la Subcomisión estuvo acotado a la base científica de los procesos naturales que dan origen a los desastres, implicó también revisar aspectos globales del ciclo del riesgo. Esto hace mucho sentido cuando se reflexiona sobre el objetivo de hacer de Chile un país resiliente, ya que la actividad impulsada por la ciencia e ingeniería, junto con la de otras disciplinas y prácticas necesarias para lograr dicho propósito, son un engranaje más en una compleja red de procesos y, por lo tanto, no es sencillo muchas veces aislar componentes del fenómeno y el entorno.

El foco de esta investigación puede abarcar la caracterización detallada de amenazas, el conocimiento de las interrelaciones entre fenómenos físicos, los eventuales efectos en cascada, y el enfoque multi-amenaza y multi-riesgo. Para lograr lo anterior, se requiere de un sustrato potente de I+D+i que considere componentes de observación y monitoreo de las amenazas que alimenten el desarrollo de modelos predictivos y sistemas de alerta temprana.

Estas acciones debieran reforzar la capacidad de respuesta ante un desastre mediante un modelo de transferencia del conocimiento levantado entre las instituciones científicas, los tomadores de decisión y la ciudadanía, de forma de apuntar al fortalecimiento de la resiliencia nacional frente a desastres.

3.2 Condiciones Habilitantes para el Éxito de la Estrategia

Casi en forma simultánea, la discusión estratégica en la Comisión Central y en las cuatro Subcomisiones mostró rápidamente la necesidad de adoptar un conjunto de acciones estratégicas que eran transversales a la Estrategia. Esta sección describe el contenido de cada una de las 5 condiciones habilitantes transversales identificadas: Institucionalidad de I+D+i para la resiliencia; Integración de datos e información; Desarrollo de capital humano avanzado; Desarrollo de infraestructura para el descubrimiento y la innovación en resiliencia frente a desastres de origen natural; y *Outreach* del I+D+i.

a) Institucionalidad de I+D+i para la Resiliencia

La discusión sobre la institucionalidad para I+D+i cruzó muchas de las discusiones de CREDEN. Actualmente no existe coordinación ni coherencia entre las capacidades y los esfuerzos de investigación y desarrollo que se llevan a cabo en los diferentes centros y grupos de investigación del país. Además, no existe una institución con el rol de sintetizar y difundir los resultados de la investigación, por lo que la investigación realizada no alcanza el máximo impacto que podría lograr en términos de aplicabilidad en la industria y en las políticas públicas. Esto conlleva a un uso poco eficiente de los escasos recursos existentes, sean estos financieros, humanos o de infraestructura. Por otro lado, la falta de coordinación entre los actores deriva en la deficiente colaboración disciplinaria e interdisciplinaria entre las instituciones nacionales, tanto en la academia como en el sector productivo, lo cual no favorece el desarrollo de innovaciones y desaprovecha las potenciales sinergias que nacen de la interacción de los distintos grupos de investigación. Del mismo modo, la ausencia de una institucionalidad central dificulta la relación de nuestro país en temáticas de I+D+i con las redes profesionales y de investigación del mundo en materias de resiliencia. De este modo, la colaboración internacional se encuentra atomizada en los distintos centros a lo largo del país, dificultando el establecimiento de una visión común y de una interacción de largo plazo en temas estratégicos que impacten directamente nuestro desarrollo.

Como un primer paso en la solución de este problema, la Comisión propone la creación de un Instituto Tecnológico Público para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural (ITRenD), el que proveerá

la institucionalidad necesaria para generar una visión de largo plazo del I+D+i para la resiliencia frente a desastres de origen natural. Como tal, ITRenD tendrá dos grandes misiones. La primera de ellas consiste en desarrollar las condiciones habilitantes para el desarrollo de I+D+i anteriormente identificadas, es decir: (i) disponibilizar datos e información de calidad que permitan el desarrollo de nuevo I+D+i; (ii) aumentar la cantidad de investigadores e innovadores a través de la formación de capital humano avanzado en resiliencia; (iii) desarrollar y coordinar la infraestructura de laboratorios de clase mundial para el descubrimiento científico y tecnológico; y (iv) generar actividades de *Outreach* del I+D+i, velando por la adecuada transferencia y difusión de los resultados. La segunda misión de ITRenD será coordinar los esfuerzos y capacidades de investigación y desarrollo instaladas a lo largo del país en torno a líneas estratégicas coherentes con los objetivos de desarrollo del país. A través de estas líneas de acción, el Instituto contribuirá a focalizar y a hacer más eficiente la inversión en I+D+i del país, posibilitando la reducción gradual del gasto total asociado a desastres.

ITRenD se constituirá como un Instituto Tecnológico Público con un gobierno corporativo moderno y equilibrado, cuyo mandante será el Ministerio del Interior. Su diseño específico —gracias a financiamiento CORFO— buscará la convergencia de una gran red de universidades, institutos y centros de investigación, organizaciones públicas, industrias e instituciones de representación de la sociedad civil interesadas en desarrollar o utilizar el I+D+i que se genere.

En términos de estructura organizacional, ITRenD debe ser *lean* y ubicarse neutralmente en el centro de una gran red de universidades, institutos y centros de investigación, organizaciones públicas, industrias e instituciones de representación de la sociedad civil, interesadas en desarrollar o utilizar el I+D+i generado. ITRenD contaría con un gobierno corporativo moderno y equilibrado que considere a representantes de las diferentes instituciones asociadas

En términos de financiamiento, ITRenD debería ser creado con recursos públicos para, en un plazo no superior a 3 años, tener constituida su base estructural en términos de capital humano, infraestructura tecnológica mínima y presupuesto operacional para el plan de acción prioritario. Luego de ello, ITRenD debería contar con un modelo de financiamiento mixto que asegure, por un lado, mediante un fondo basal, una proporción importante de su operación y la

mantención de capacidades y, por otro, el desarrollo de programas y productos prioritarios de la Estrategia mediante convenios de desempeño con sus entidades mandantes. En el largo plazo, ITRenD debiera ser financiado a partir del ahorro que genera en el país en relación al impacto económico y social de los distintos desastres.

b) Integración de Datos e Información

Una de las debilidades estructurales más significativas que identificó CREDEN para impulsar el I+D+i en resiliencia frente a desastres de origen natural es la escasa disponibilidad, alta fragmentación, incoherencia y falta de sistematización en el tratamiento de datos e información disponible en nuestro país en relación a la resiliencia frente a desastres. Nuestra alta valoración e imagen internacional como laboratorio natural mundial y espacio privilegiado para el estudio integral de los desastres de origen natural se ve altamente afectada por la escasez de datos e información de calidad.

Consecuentemente, esta Estrategia considera crítico impulsar la construcción de una **infraestructura pública de datos de acceso abierto que centralice todos los datos** nuevos e históricos y la información más relevante en los distintos temas de resiliencia frente a desastres de origen natural, la que pueda ser accedida por cualquier investigador, innovador y desarrollador en Chile. Ello representará una iniciativa de clase mundial sin parangón en el desarrollo de la investigación de desastres en Chile. El proyecto se irá alimentando continuamente con las contribuciones de todos los actores públicos y privados involucrados, y contará con una política de acceso libre bajo el compromiso formal de reconocer la procedencia de los datos y contribuir continuamente a la actualización de los contenidos de la misma infraestructura.

La nueva infraestructura de datos debe hacer conversar las muchas bases y estructuras de datos disponibles en los diversos organismos del país que se relacionen de alguna forma al tema de resiliencia (p.ej., ministerios, universidades, industrias). Esta es una tarea que tomará años en completarse y que



requerirá el apoyo de diversas instituciones públicas y privadas, pero que creemos imprescindible para posicionar nuestro país como destino de elite para el estudio de desastres, facilitando con ello el trabajo asociativo de nuestros investigadores e innovadores con sus pares internacionales.

La implementación y manejo de bases centrales de datos a las que contribuyen diversas instituciones implica superar una serie de dificultades de coordinación de modo de conseguir una estrategia general coherente con las políticas de manejo de bases de datos de las diferentes organizaciones involucradas. Para ello es crítico el desarrollo e implementación de una política central de manejo de datos que gobierne a todas las instituciones. Ella debe incluir un manual de buenas prácticas que permita a los colaboradores mantener altos estándares en el manejo de datos y que garantice la calidad de la información reunida. Además, debe proveer adecuada documentación para todas las variables que componen la base de datos, de manera que investigadores y otros interesados puedan comprender el contexto y origen de los datos, el método de recolección de los datos, las validaciones y manipulaciones que sufrieron, sus limitaciones, y condiciones de uso y confidencialidad, entre muchos otros aspectos.

Para un correcto diseño de esta infraestructura de datos, es necesario anticipar una audiencia principal y las herramientas que se utilizarán para procesar estos datos, procurando que la base esté almacenada en formatos compatibles con estas herramientas. El uso de formatos abiertos, compatibles con una variedad de aplicaciones, permite alcanzar una mayor audiencia y facilita el uso de la base para la mayor cantidad posible de interesados. Dentro de las regulaciones que gobiernan el uso de la infraestructura de datos debe incluirse una política de control de calidad de las bases de datos incorporadas a diferentes niveles: recolección, digitalización y procesamiento. Es primordial que el diseño considere estrategias para evitar la obsolescencia de los archivos en las bases de datos y la realización de revisiones periódicas (p.ej., cada dos o tres años), en las que se analice la idoneidad de los formatos utilizados y se propongan formatos alternativos para aquellos que comiencen a estar en desuso. Entre estos, considerar la transferencia de archivos multimedia en soportes ópticos o magnéticos a nuevos soportes para evitar su degradación.

Dentro de las características esenciales que debe cumplir esta infraestructura de datos está la mantención de protocolos de ética y confidencialidad cuando se trabaje con información sensible. Los investigadores deberán seguir los protocolos claramente establecidos hoy en Chile para el uso científico o técnico de los datos.

Finalmente, el diseño de la infraestructura debe incluir un cuidadoso análisis de las capacidades técnicas necesarias para un acceso eficiente a las bases de datos y la integración de las diferentes instituciones asociadas. Para ello debe considerarse una estructura de servidores apropiada a la complejidad de la red a integrar, la que debe comprender un incremento en su capacidad a medida que sea necesario, además de la adquisición o arriendo de software profesional muy robusto para el manejo de bases de datos que esté altamente validado en el mercado. En forma preliminar, se propone la creación de una infraestructura de datos abiertos, la que posea cierta capacidad de almacenamiento para resguardar y centralizar los datos e información de algunos de los centros asociados, pero que posea una estructura federada de servidores, que permita aprovechar la capacidad ya instalada en las instituciones más grandes, manteniendo éstas la administración de sus bases de datos, pero permitiendo la búsqueda y descarga de toda la información en el portal digital central.

La definición detallada de esta iniciativa de infraestructura pública de datos y las políticas de uso de la información van más allá del ámbito de esta Comisión y amerita un trabajo específico una vez que se le asigne un responsable por parte del Estado.

c) Desarrollo de Capital Humano Avanzado

Chile posee un déficit estructural (y dramático) de personas dedicadas a I+D. En 2012, solo 2,46 de cada mil trabajadores chilenos poseía un empleo relacionado a I+D, contra un promedio de 12,31 trabajadores en los países de la OECD, y 21,45 en Finlandia, el país con la mayor tasa (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2015). Esta falta de capital humano en actividades de I+D compromete el éxito de esta Estrategia e impacta muy negativamente el desempeño del país en otras actividades de I+D vitales para su desarrollo.

Para lograr incrementar el número de personas dedicadas a I+D en nuestro país, es crucial entender primero las causas que explican este déficit. En primer lugar, el gasto en I+D de Chile es extremadamente bajo; en 2013 el gasto en I+D del país alcanzó el 0,39% del PIB, contrastando fuertemente con 2,37% promedio en los países OECD (s.f.). Esto impacta en forma muy negativa el número de vacantes disponibles para I+D.

Analizando las características de los investigadores en Chile, un 41,7% de estos poseen grado de doctor (ver Tabla 4.1), una proporción bastante alta en comparación con otros países de la OECD, como por ejemplo Bélgica (30,8%) y Japón (17,4%) (Consultora de Educación Superior Verde Limitada, 2013). Adicionalmente, el *stock* de doctorados en el país es extremadamente bajo en comparación con otros países OECD: solo 454 de cada millón de personas posee doctorado, 40 veces menos que Suiza, 10 veces menos que Alemania y 5 veces menos que EE.UU. (Consultora de Educación Superior Verde Limitada, 2013). Pese a que el 85% de los doctores participa ya en I+D (Consultora de Educación Superior Verde Limitada, 2013), su bajo número dificulta la expansión de estas actividades.

Tabla 4.1: Investigadores en Chile según nivel de titulación en 2009

NIVEL DE TITULACIÓN	PORCENTAJE SOBRE TOTAL
Doctorado	41,7%
Magister	19,2%
Título Profesional	32,8%
Otro	6,3%
TOTAL	100%

Fuente: Verde 2013, pág. 28.

Del resto de los investigadores, observamos que un 19,2% posee título de magister y 32,8% posee título profesional (Tabla 4.1). Ambos grupos suman más de la mitad del total de investigadores. Sin embargo, el número total de personas con este grado de educación es bastante mayor que el de doctorados, por lo que

el porcentaje que se dedica a investigación se mantiene bajo. Por ejemplo, de los trabajadores con magister, solo un 2,6% realiza investigación (Consultora de Educación Superior Verde Limitada, 2013)¹¹. Por lo tanto, aún existe espacio para incrementar el número de trabajadores con este grado de educación dedicados a I+D, aumentando los incentivos ofrecidos en estas actividades.

Para incrementar el número de personas dedicadas a I+D, especialmente en temas relacionados a desastres de origen natural y resiliencia, es crucial aumentar fuertemente el gasto en I+D para generar nuevas vacantes y mejores perspectivas laborales. Ello atraería a trabajadores que actualmente se desempeñan en otras áreas, especialmente aquellos que tienen grado profesional o magister, a especializarse en tareas de I+D. La implementación total de esta Estrategia implica un esfuerzo importante en términos de inversión en I+D+i, lo que por sí solo generaría nuevas vacantes en el área y produciría fuertes incentivos a la especialización en temas de desastres y resiliencia.

En el caso de doctorados, una alta proporción de ellos ya se dedican a actividades de I+D, por lo que su incremento se encuentra acotado por la escasa oferta. Por tanto, es crítico incrementar su número. Para ello, se propone crear un **programa especial de dobles doctorados** con las mejores instituciones del mundo en los temas relacionados con la resiliencia frente a desastres de origen natural. Este programa estará disponible para estudiantes de diferentes disciplinas, y será requisito que estos se comprometan a realizar sus tesis de grado en un tema asociado a los de esta Estrategia. Para el éxito del programa, es clave que los estudiantes pasen la mitad de su tiempo (2 años de un total de 4) en Chile y la mitad en el Extranjero en bloques bi-anales, y que tanto la institución local como la internacional le entreguen, típicamente por separado, su grado de doctor. Es decir, el doctorando acaba con un grado de Doctor pero con dos diplomas por el mismo trabajo, uno de cada universidad. Esta modalidad es mucho más sencilla que un doctorado común con la universidad extranjera aunque, naturalmente, esa opción no queda excluida.

Las ventajas de un programa de este tipo sobre uno de estudios en el extranjero son las siguientes: (i) con

11 Es importante notar que este cálculo no considera a aquellas personas dedicadas a actividades de desarrollo. De incluirlas, el porcentaje aumentaría, puesto que la actividad de desarrollo frecuentemente emplea una menor proporción de doctorados, y mayor proporción de individuos con grado profesional y magister.



igual presupuesto, se pueden formar cercano a un 30% más de doctores¹², ya que localmente los costos son mucho menores; (ii) como es necesario tener un director de tesis de ambas universidades, se incentiva enormemente la interacción y desarrollo de redes científicas productivas internacionales que pueden escalar a otros proyectos; (iii) al ser Chile por excelencia un Laboratorio Natural en el tema, es altamente probable que la investigación se relacione a las condiciones locales de nuestro país, con lo que los resultados de la tesis son de directa aplicación a nuestra realidad —también se puede exigir que al menos un capítulo de la tesis doctoral cumpla esta condición—; (iv) potencia enormemente los doctorados locales, lo que redundará en un mayor prestigio internacional de nuestras instituciones educacionales; y (v) aumenta las posibilidades de retener este talento en Chile.

12 Cálculos propios. Utilizando información financiera de CONICYT entre los años 2012 y 2015, y cohortes de doctorados cuyos programas de estudio se iniciaron en 2012 y 2013, se calcula que en 2012 se puede financiar un 25% más doctorados utilizando un doctorado mixto (2 años en el extranjero, 2 años de costo nacional) y en 2013, un 31% más. La data tiene la limitación de que no todos los doctorados han terminado sus programas a la fecha de corte, por lo que no necesariamente se incluye el historial completo de pagos. Sin embargo, no se cuenta con información anterior a 2012 para conseguir historias de pago completas. Para contrastar los datos, se calculó el costo del doctorado internacional y nacional utilizando estimación de los costos de los diversos ítems que los programas cubren según bases, ponderando según proporción de estudiantes por destino (datos CONICYT). Utilizando esta metodología, se estimó que a través de un doctorado mixto, se puede financiar un 34% más de estudiantes. De este modo se concluye que la cifra es aproximadamente 30%, tomando en consideración el promedio de las 3 medidas anteriores.

Se propone que el número de becas disponible anualmente a través de este programa sea cercano al 3% del total de becas de doctorado (nacional y en el extranjero) ofrecidas actualmente al año a través de CONICYT. Este programa estaría disponible de manera piloto durante los primeros 10 años de la Estrategia, permitiendo formar a un total de 230 doctorados especializados en temas de resiliencia. Se han identificado un total de 319 doctores que actualmente se desempeñan en trabajos relacionados a desastres de origen natural en nuestro país (Cameron Partners, 2016), por tanto, la implementación de este programa aumentaría en un 72% la cantidad de investigadores de alto nivel dedicados a estos temas, permitiendo empujar con más fuerza la implementación de las tareas propuestas en la Estrategia.

Esta propuesta supone programas de duración de 4 años, una condición similar a la de los programas CDT del Reino Unido. Al cabo de 14 años se gradúan los últimos estudiantes y se encuentran en el país el total de doctores formados por el programa. Evidentemente, dada la importante vida útil de los doctorados el programa luego requerirá simplemente de una política de renovación y más lento crecimiento en el tiempo. A los 7 años de vigencia del programa, se realizaría una evaluación para determinar si éste efectivamente cumple con los objetivos planteados en su inicio, y se evaluaría la redefinición de una segunda etapa para continuar con la formación de doctorados especializados.

La puesta en marcha del programa de becas requeriría acciones inmediatas de parte de las universidades chilenas, dado que la planificación de un doble doctorado con universidades extranjeras puede tomar fácilmente un año. Es importante aclarar que aun cuando el estudiante haya realizado sus estudios en dos universidades específicas, una chilena y otra extranjera, el estudiante posteriormente quedaría libre para trabajar en el lugar de su preferencia (cumpliendo con el convenio suscrito), con el único requisito de mantener residencia en Chile. Esto con el fin de potenciar el desarrollo de distintas instituciones regionales nacionales, tanto públicas como privadas, y permitir flexibilidad en el mercado laboral de estos investigadores.

Una segunda propuesta, complementaria a la anterior, consiste en el **desarrollo de un programa de pasantías postdoctorales en investigación aplicada e innovación en institutos tecnológicos, centros de innovación tecnológica, e industrias altamente especializadas** en el extranjero y en temas asociados a esta Estrategia. La duración del programa sería de dos años, y su finalidad en el mediano plazo sería la de incubar emprendimientos tecnológicos o sociales desde Chile una vez que el postdoctorado haya regresado. La intencionalidad de este programa es que estando el postdoctorando inserto en un grupo extranjero que desarrolla tecnología o conocimiento aplicado en la frontera del conocimiento, absorba el conocimiento de frontera suficiente en las distintas áreas y tecnologías tal que le permitan desde ahí descubrir nuevas oportunidades para la creación de valor desde Chile. Esta estrategia ha sido muy utilizada por otros países y es extraordinariamente efectiva si las oportunidades son bien escogidas.

Se propone ofrecer un pequeño número de becas de postdoctorado, partiendo el primer año de implementación de la Estrategia, las que aumentarían gradualmente hasta llegar a 10 becas anuales en el año 5, complementando el programa de doctorados mixtos descritos con anterioridad. Estas becas se planificarían por un total de 20 años, realizándose una evaluación luego de los primeros cinco años de implementación para analizar su desempeño y la conveniencia de crecer en una segunda etapa. Algunos de estos postdoctorados también sumarían al número total de profesionales con conocimientos especializados en los temas de interés, permitiendo incrementar la masa crítica de capital humano avanzado necesario para el éxito de la Estrategia.

Adicional a la formación de doctorados y postdoctorados, la Comisión identificó como crítico el desarrollo de un **programa nacional de formación técnica y profesional** que permita incorporar al a individuos con diversos niveles de estudio, al trabajo en I+D+i en temas de resiliencia, incluyendo entre estos, a trabajadores de los sectores públicos y privado a través de la transmisión de conocimientos y capacitación en temas de desastres y resiliencia.

Para su diseño, se propone tomar como base el trabajo realizado por ONEMI en el Programa de Formación de Recursos Humanos para Latinoamérica y el Caribe en Reducción del Riesgo de Desastre, desarrollado de forma colaborativa por los gobiernos de

Chile y Japón¹³. La experiencia de este programa debe ser evaluada para potenciar y escalar su impacto ante posibles buenos resultados.

Este programa incluiría en primer lugar la transferencia de conocimiento a través de formación continua de profesionales en los sectores privado y público, tanto a nivel central (i.e., ministerios) como a nivel local (p.ej., profesores de colegios, empleados municipales, funcionarios de servicios regionales) a través cursos y diplomados específicos en desastres y resiliencia o similares. A través de estos se entregaría formación especializada a un total de 2000 profesionales en los primeros 5 años de la Estrategia. Adicionalmente, se propone el desarrollo de 20 cursos online masivos abiertos en modalidad MOOC para la transmisión de conocimiento específico a riesgo y resiliencia hacia profesionales y actores relevantes de la sociedad. Los cursos abordarían temáticas variadas asociadas al riesgo y resiliencia causada por distintas amenazas naturales y vulnerabilidades y contextos sociales y físicos, con temáticas que van desde la descripción de los fenómenos naturales hasta la gestión integrada de los riesgos asociados a estos eventos. Se planifica el desarrollo de diez cursos durante los primeros tres años, que estarían activos hasta el año 9, y desde el año 10 se inicia el desarrollo de nuevos cursos, actualizando los contenidos de los ya existentes, e incorporando los avances científicos y tecnológicos producto de esta Estrategia. Finalmente se propone incorporar contenido curricular con claros objetivos educacionales y competencias adecuadas a los contextos estudiantiles en las temáticas de riesgo y resiliencia frente a desastres tanto en carreras técnicas como profesionales. Idealmente los contextos deben estar relacionadas con áreas donde el riesgo y la resiliencia causen gran impacto en el país (p.ej., minería, agricultura, construcción).

Dentro de las discusiones que se llevaron a cabo en el contexto de CREDEN surgió la importancia de ofrecer posibilidades de inserción laboral de buen nivel a profesionales interesados en desarrollarse en temas de resiliencia a desastres en Chile. De esta forma se planteó la relevancia de diseñar un **plan nacional de incorporación de capital humano avanzado**, que tuviera como fin la inserción de nuevas vacantes

13 Esta iniciativa formará a cerca de 2000 profesionales latinoamericanos, en un plazo de cinco años, posicionando a Chile como polo de formación sobre estas temáticas, recogiendo la experiencia y resiliencia que han desarrollado ambas naciones. Se realiza a través de la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID), la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI).

para los nuevos profesionales formados a través de los programas descritos anteriormente, y otros que también tuvieran inquietudes en áreas relacionadas.

El diseño de este plan se desarrollaría dentro de los primeros 3 años de la Estrategia, y debiera considerar además de plazas para investigadores nacionales, la entrega de beneficios que faciliten y promuevan la llegada de investigadores y profesionales extranjeros, de modo de fomentar la incorporación de nuevos talentos al sistema nacional. Estos podrían consistir, por ejemplo, en Visas especiales, beneficios de instalación en el país (i.e., estipendios para vivienda, educación y salud), y la posibilidad de participar en concursos para la adjudicación de fondos públicos para investigación. Además debiera incluir un programa de reconversión de capital humano avanzado aprovechando profesionales e investigadores que reconvirtan su actividad de investigación e innovación hacia el tema de riesgo y resiliencia de los desastres de origen natural, tanto desde las ciencias sociales como naturales.

Ello sería de gran utilidad para nutrir la formación nacional de capital humano avanzado y poder alcanzar masas críticas relevantes en centros de investigación, empresas y otras instituciones vinculadas a la Estrategia. La lógica de esta iniciativa es complementar de una manera costo y tiempo eficiente la formación local de capacidades, además de la generación de nuevas redes. Esto es eficiente en términos de recursos, ya que permite nutrir en corto tiempo una masa crítica relevante, y a un costo muy inferior que el de financiar la formación completa de un investigador.

La existencia de una masa crítica de capital humano avanzado especializado en temas de resiliencia a desastres es un pilar fundamental para la correcta ejecución de las tareas propuestas por CREDEN. La implementación conjunta de los programas descritos anteriormente permitirá formar, atraer e insertar a los profesionales que se requieren para el desarrollo de esta Estrategia. Ello se complementará con la implementación del programa de *Outreach* y Divulgación Científica (Sección 3.2.e), que busca devolver el conocimiento y tecnología desarrollada a las comunidades y a la sociedad Chilena en general.

d) Desarrollo de Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación en Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural

Otro aspecto central en el desarrollo de esta Estrategia de I+D+i es la disponibilidad de infraestructura experimental y de manufactura de primer nivel para poder desarrollar localmente la investigación de base y aplicada, el desarrollo tecnológico, y la innovación de forma que pueda ser rápidamente reconocida y validada globalmente. Dentro del diagnóstico realizado por CREDEN se identificó una escasez de infraestructura experimental y de manufactura de primer nivel para poder desarrollar localmente la investigación de base y aplicada necesaria para fomentar el desarrollo y la transferencia tecnológica en temas de desastres y resiliencia. Más aún, la infraestructura existente se encuentra atomizada entre diversos centros de investigación, con bajas posibilidades de ser compartida entre los diferentes entes e investigadores, lo que fomenta la duplicidad de inversiones y una menor intensidad de uso de los recursos.

Como piso mínimo para poder llevar adelante la Estrategia se requiere **crear un concurso de equipamiento mayor sofisticado** cuyo uso permita: (i) el desarrollo de al menos un Laboratorio Nacional de Clase Mundial por área de vulnerabilidad que sea de acceso abierto y con costos operativos preestablecidos —estos laboratorios pueden estar alojados en las dependencias de una universidad u otras instituciones existentes o nuevas (p.ej., ITRenD)—; (ii) avanzar el conocimiento y publicar en las mejores revistas científicas y de investigación aplicada del mundo; (iii) poder probar diversas teorías, fabricar y ensayar modelos físicos, realizar simulaciones híbridas (computacionales/experimentales), instrumentar exhaustivamente, recrear condiciones de terreno, etc.; y (iv) atraer el talento mundial a los distintos programas por la disponibilidad de infraestructura sofisticada.

Estos laboratorios seguirían un esquema de uso compartido similar al modelo usado en observación astronómica, permitiendo a todas las instituciones nacionales (e internacionales) el uso de estos laboratorios de primer nivel. Una primera idea de propuesta considera la creación de laboratorios en: (i) terremotos e infraestructura sustentable; (ii) cambio climático y ambiente; (iii) tsunamis y procesos de remoción en masa; (iv) observatorio nacional de vulnerabilidad social y resiliencia; y (v) manufactura y tecnologías de

información, control y comunicaciones (TICC). Estos laboratorios serían desarrollados para ser operados de forma presencial o remota y estarían disponibles para toda la red de centros asociados, procurando así un uso óptimo y evitando una costosa duplicidad de instalaciones en el país. La idea es hacer que estas capacidades estén distribuidas en distintas regiones del país, siendo alojadas en las distintas instituciones que impulsan el I+D+i, y quedando disponible para quien las quiera utilizar. Una descripción muy preliminar de estos laboratorios se presenta a continuación:

- Terremotos e infraestructura sustentable

Este laboratorio consiste en al menos dos capacidades experimentales fundamentales que no existen en Chile hoy: una mesa vibradora que permita el ensayo y evaluación del comportamiento tridimensional de estructuras y componentes a escala real; y un muro de reacción con una capacidad suficiente de carga que permita el desarrollo de ensayos pseudo-dinámicos en dos y tres direcciones, desplazamientos y velocidades de deformación reales, y una gran versatilidad y modularidad para la adaptación de diferentes ensayos de componentes para el desarrollo de innovación y nuevos productos.

- Cambio climático y ambiente

Este laboratorio consiste en una red de instrumentación avanzada y habilitante orientada al monitoreo temporal fino (escala infrahoraria y horaria), así como al estudio y desarrollo de herramientas de pronóstico operacional de escala horaria, diaria, estacional, decadal y multidecadal del sistema climático y sus impactos, abordando fenómenos complejos como crecidas rápidas, inundaciones, sequías, lluvias intensas, incendios, cambios en la composición atmosférica y de cuerpos de agua, etc. Estas herramientas consideran además un componente de transferencia e información para garantizar su uso por parte de la comunidad científica y organismos públicos interesados. Este centro desarrolla, maneja y adapta instrumentación avanzada como estaciones meteorológicas, fluviométricas, radares, lidars, boyas oceanográficas y dispone de infraestructura de aviones instrumentados, barcos de investigación, y acceso amplio a técnicas de identificación, monitoreo y productos de percepción remota para la caracterización espaciotemporal de sistemas naturales, ecosistemas y el territorio involucrado. Para la definición estratégica, este laboratorio cuenta con un directorio en el que

convergen científicos, servicios públicos y operacionales, universidades, etc., que guían el seguimiento de estaciones e instalaciones de referencia multiparámetro (al menos una por zona climática y macroterritorio vulnerable), las que complementan otras redes ya existentes.

- Tsunamis y procesos de remoción en masa

Este laboratorio combina diferentes capacidades experimentales, dada la variedad de procesos físicos que deben ser analizados dentro de esta categoría. Uno de estos procesos es el comportamiento hidrodinámico de los tsunamis, en relación a sus procesos de propagación en condiciones bidimensionales. Su análisis puede llevarse a cabo a través de canales de olas bidimensionales con una paleta de generación de oleaje multidireccional de largo desplazamiento. Para el estudio de los procesos de remoción en masa, también es deseable contar con un generador neumático que permita analizar los efectos de este tipo de eventos. Otro de los procesos físicos que debe ser estudiado es el comportamiento de obras de mitigación. Para ello es deseable un canal de modelado físico unidimensional de grandes dimensiones, que permita la evaluación de especímenes a escalas reducidas pero relevantes físicamente. Es importante considerar que el modelado físico de los tsunamis es un área que requiere de un análisis detallado de las características de las instalaciones experimentales. Dadas las dimensiones propias de los tsunamis, los laboratorios de escala mundial consideran canales o piscinas de modelado de varias decenas de metros de longitud, con sistemas de generación de oleaje específicos que son complejos y una alta densidad de instrumentación.

- Observatorio nacional para la resiliencia comunitaria

Consiste en una red permanente de observatorios de vulnerabilidad social y resiliencia comunitaria en contextos de riesgos de desastres de origen natural. Estos permitirán medir, monitorear, articular, sistematizar, registrar cambios y modelar la vulnerabilidad social y resiliencia comunitaria, permitiendo la recolección, producción, difusión, intercambio, uso eficiente de datos y toma de decisiones a los distintos actores vinculados a riesgos de desastres de origen natural (p. ej., sector público, organismos privados, sociedad civil, organizaciones locales y centros de investigación). La red incorporará información básica sobre recursos y capacidades organizativas, institucionales y socia-



les importantes para la gestión de riesgos, realizará monitoreo de vulnerabilidad social y sistematizará los conocimientos locales, ancestrales y tradicionales relacionados con la preparación, respuesta y recuperación frente a los diferentes riesgos de desastres de origen natural en el territorio nacional. Asimismo, estandarizará protocolos de recolección y producción de información, archivo de datos, y seguimiento de largo plazo de la resiliencia comunitaria y vulnerabilidad, y generará protocolos que permitirán evaluar y desarrollar estrategias diversas y efectivas de respuesta y recuperación para proteger poblaciones vulnerables en sus diferentes dimensiones.

- **Manufactura y TICC**

Este laboratorio busca desarrollar un espacio de interacción interdisciplinaria que permita por una parte la interacción fluida de profesionales de diferentes disciplinas en torno al desarrollo de una idea de proyecto (p.ej., *Media-Lab* en MIT), y por otra la posibilidad de ensayar, fabricar y prototipar componentes con distintos grados de sofisticación, pero utilizando tecnologías de manufactura de punta a nivel mundial. El espacio debiera considerar al menos tres componentes: una sala limpia de un estándar razonable al tipo de desarrollos que se pretende realizar, un muy buen laboratorio de caracterización de materiales (sólidos) y componentes mecano-electrónicas (p.ej., microelectrónica), y un espacio para el desarrollo de aplicaciones y computación de alto rendimiento HPC. Estos espacios, al igual que los laboratorios anteriores, pueden estar en conexión con grupos existentes en el país de forma de aprovechar los avances realizados y destinar los recursos a escalar internacionalmente las capacidades.

e) *Outreach* y Divulgación Científica

En las reuniones de CREDEN se discutió extensamente la urgencia de asegurar un canal fluido entre el I+D+i y las personas, comunidades, y actores que apoyan la generación de este I+D+i o bien son usuarios de él. Por una parte, aparece como un componente fundamental el retorno hacia las comunidades y sociedad chilena en general del conocimiento generado, de manera de cumplir con el fin último que es generar un país más resiliente frente a eventos naturales de carácter extremo. Esto solo se podrá alcanzar si la sociedad en su conjunto es capaz de absorber y adaptar este conocimiento e innovación que surgirán como resultado de esta Estrategia. Es obvio que el incremento en el nivel de resiliencia de Chile depende no solo de la existencia de un entorno construido que sea resiliente, sino por sobre todo del interés, conocimiento y habilidad de cada persona para enfrentar eventuales consecuencias de estos fenómenos de manera apropiada. Por esto se ha definido como una tarea esencial que la comunidad científica trabaje en conjunto con las comunidades, no solo nutriéndose de sus experiencias ante la ocurrencia de desastres, sino también transfiriendo de vuelta el conocimiento descubierto, lo que permitirá afrontar de mejor manera eventos futuros.

Una dimensión adicional que aparece también muy relevante, especialmente en las componentes de ciencias sociales de desastres, es que una parte muy importante de la investigación y desarrollo proviene de la misma interacción con las personas y comunidades objeto del impacto de grandes amenazas naturales. Los ejemplos abundan, pero el punto es hacer ver la importancia de que esta componente de *outreach* puede también ser parte central de la misma investigación. Esto mismo ocurre casi naturalmente en los temas de innovación, donde la interacción con el usuario no es solo necesaria, sino indispensable.

En este contexto, CREDEN reconoció una deficiencia estructural de los distintos programas de I+D+i en relación al *outreach* con las comunidades. Un buen programa de *outreach* es el único instrumento que puede facilitar que el I+D+i desarrollado localmente consiga un impacto real en la resiliencia de las comunidades, generando un ciclo virtuoso de investigación, desarrollo y transferencia que facilite el fomento de una cultura de resiliencia en el país que luego demande mayor investigación y desarrollo. Se identifica así la necesidad de que todas las iniciativas de resiliencia financiadas por fondos públicos contemplen

necesariamente distintos mecanismos para educación y transferencia de los resultados de investigación más relevantes, incluyendo no solo a las comunidades, sino también a todas las autoridades relevantes y tomadores de decisión en la eventualidad de un desastre.

La tarea de *outreach* y divulgación científica es un componente muy importante en propuestas similares a esta Estrategia en otras partes del mundo. Por ejemplo, en el documento del NRC, las tareas relacionadas de manera directa con *outreach* y divulgación agregan un 17% al presupuesto total del Plan, sin contar las actividades de *outreach* que están incluidas dentro de las mismas tareas relacionadas con la investigación científica. En otro proyecto similar desarrollado por el Earthquake Engineering Research Institute (2003), las tareas relacionadas con *outreach*, divulgación y educación suman entre ellas un 33% del presupuesto.

Dado lo anterior, es clave la creación de un programa independiente dentro del contexto de esta Estrategia que se enfoque en potenciar la interacción de los diferentes actores involucrados incluyendo a la comunidad científica, la academia, el sector público y privado, considerando a ONGs y organizaciones comunitarias, y fomente las instancias de sinergia y colaboración. El objetivo de este programa debe ser estimular el interés y conocimiento público en temas relacionados con la resiliencia ante desastres, con el propósito de aumentar la información y preparación para enfrentar de manera efectiva futuros eventos. Para este programa debiera destinarse parte importante de los recursos de la Estrategia, equivalente a una proporción del orden de un 20% del presupuesto destinado a las tareas.

Entre las actividades más directas de *outreach* y divulgación contempladas se incluyen las siguientes:

- Difusión de investigaciones: todos los proyectos financiados bajo los lineamientos de esta Estrategia deberán contemplar actividades y procedimientos en las cuales el conocimiento generado sea comunicado al público en general, y en especial, a quienes contribuyeron en su desarrollo.

- Transferencia a políticas públicas: deben preverse instancias de comunicación con las autoridades que permita la transferencia de información relevante para la toma de decisiones. Todas las etapas del ciclo del riesgo —prevención, mitigación, respuesta y reconstrucción— pueden ser gestionadas más efectivamente con mejor información, por lo que debe contemplarse la transferencia de conocimientos para todas ellas.
- Educación a la población: existe abundante evidencia de que los programas de educación a la población respecto a cómo prevenir, enfrentar y recuperarse frente a desastres de origen natural poseen un gran retorno en términos de salvar vidas. Es decir, lo que las personas saben es tan relevante como sus recursos a la hora de sobrevivir a un desastre.

Es por esto que la incorporación de contenidos de gestión desastres en los planes curriculares desde el nivel de educación parvularia, junto con instancias que rescaten la memoria histórica de los eventos más catastróficos, permitiría generar mayores conocimientos, capacidades y actitudes, permitiendo finalmente incrementar la resiliencia de las comunidades frente a estos eventos.

- Traspaso a la industria: deberán planificarse instancias de transferencia de conocimiento y tecnología desarrollada al sector privado, de manera de fomentar actividades de I+D+i que permitan a la industria convertirse también en un actor clave en la generación de mayor resiliencia ante desastres de origen natural. Ello es especialmente clave en relación a la operación por ejemplo de líneas vitales, debido a la función crítica que éstas cumplen.

Para la implementación de la estrategia de *outreach*, se considera clave la generación de alianzas estratégicas con medios de comunicación masiva, ONGs e instituciones públicas y privadas con alto alcance de la población, así como articular las iniciativas de *outreach* adecuada mente con los programas existentes. Además, se debe trabajar articuladamente con el Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d) en el desarrollo de un conjunto de metodologías evaluar la efectividad de los programas implementados.





4 | LAS TAREAS DE LA ESTRATEGIA





Las 14 tareas de CREDEN constituyen el corazón de la Estrategia de I+D+i propuesta. Sus acciones dan cumplimiento de manera transversal a los objetivos y metas propuestas para la Estrategia que busca como prioridad alcanzar una sociedad más resiliente frente a desastres. Para cada tarea individualmente, las subcomisiones a cargo tuvieron que describir su alcance, el estado actual del conocimiento, las capacidades existentes en nuestro país, y las experiencias previas que puedan contribuir a su avance; identificar las brechas existentes; definir la situación ideal del país en un horizonte de 20 años una vez implementada la tarea; identificar los requerimientos y consideraciones para su implementación; y construir un presupuesto para horizontes de 3 y 20 años, esto es corto y largo plazo,

respectivamente. Complementando el trabajo de las subcomisiones, uno de los estudios externos encargados por CREDEN permitió entregar mayor detalle y claridad sobre las capacidades instaladas en Chile que permiten avanzar en el I+D+i en el tema de riesgo y resiliencia frente a desastres.

Para no extender el cuerpo de esta Estrategia innecesariamente, se resumen a continuación las 14 tareas junto a la descripción de la situación esperada en 20 años, las acciones propuestas agrupadas bajo distintos proyectos de I+D+i, y los requerimientos y consideraciones necesarios para su adecuada implementación. El detalle de las brechas identificadas y las experiencias pasadas y capacidades actuales del país asociadas a la tarea se presentan en el Apéndice F.

Tarea 1:

Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural

Esta tarea tiene tres objetivos fundamentales. Primero, comprender cómo y por qué los sistemas, personas, comunidades y regiones son capaces de auto-organizarse y proveer actividades efectivas —tanto planificadas como improvisadas— de anticipación, mitigación, respuesta a la emergencia y recuperación, considerando los múltiples saberes acumulados y los diferentes contextos territoriales. En segundo lugar, pretende comprender las diferentes vulnerabilidades, las posibilidades de auto-organización de las comunidades y cómo deben ser complementadas con ayuda externa para enfrentar riesgos asociados a desastres de origen natural, dependiendo de las realidades específicas de cada contexto geográfico y social. Tercero, desarrollar I+D+i en ciencias sociales, junto a otras disciplinas relacionadas como educación, planificación, administración, y comunicación, para que contribuyan a la mejora de las medidas y procesos de anticipación, mitigación, respuesta y recuperación frente a estos desastres.

Situación país post-estrategia a 20 años

El I+D+i permite caracterizar las vulnerabilidades física, demográfica, psicosocial y financiera en el territorio nacional frente a los riesgos de desastres de origen natural. Permite además la identificación y desarrollo de estrategias para fortalecer las capacidades de resiliencia pre y post desastre y mejorar las condiciones de poblaciones vulnerables. Del mismo modo, es posible identificar y medir las capacidades que conducen a la resiliencia y sus factores determinantes, permitiendo la descripción y proyección (modelación) de posibles comportamientos humanos en eventos de desastres de origen natural. Por otro lado, existen las capacidades para caracterizar las estrategias educacionales, de socialización y de comunicación efectivas para el desarrollo de planes y programas de preparación, mitigación, respuesta y recuperación a nivel individual, comunitario y organizacional. Estos planes favorecen la toma de conciencia, percepción real del riesgo y la responsabilidad en la relación sociedad-naturaleza. Adicionalmente, se pueden identificar los riesgos sociales y las potenciales conductas pro-sociales o resilientes de seguridad ambiental de las diferentes comunidades en el territorio nacional en situación pre y post desastre, considerando la influencia de los movimientos migratorios y la percepción de riesgo. Por último, existe la capacidad de generar investigación e innovación que potencie la resiliencia en comunidades organizadas y empoderadas que combinen el saber científico y local considerando su experiencia, conocimiento, territorio, y hábitat.

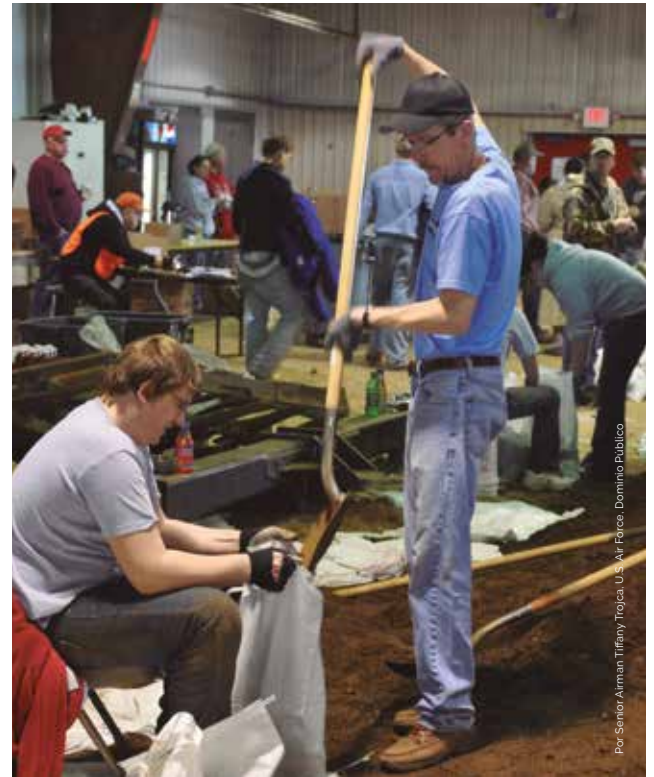


Foto: Senior Arman, Tiffany Trojca, U.S. Air Force. Dominio Público

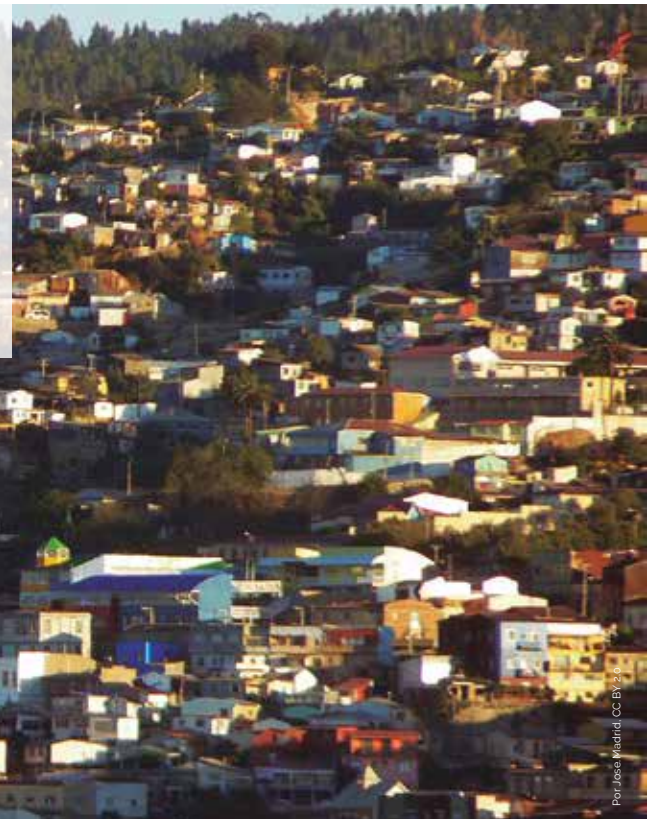


Foto: José Madrid, CC BY-SA

Acciones por realizar

Proyecto 1

Desarrollar e implementar protocolos para el levantamiento y la transferencia de información que permita análisis comparados y establezcan consideraciones éticas de las investigaciones (requerimiento para tareas 2 y 3, y para el Observatorio Nacional para la Resiliencia, Sección 3.2.d).

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 3, e incluye:

- Desarrollar protocolos que establezcan consideraciones éticas de las investigaciones y metodologías de investigación asociadas;
- Diseñar e implementar protocolos para levantamiento de información que permita el análisis comparado;
- Diseñar e implementar protocolos para la gestión de información (i.e., almacenamiento, publicación, propiedad intelectual y difusión de resultados);
- Diseñar e implementar protocolos para la transferencia del conocimiento a otros lenguajes y canales de comunicación social que favorecen la preparación de las comunidades (p.ej., materiales socioeducativos).

Proyecto 2

Determinar las dimensiones que caracterizan a una comunidad resiliente en diferentes contextos ecológicos y socioculturales e identificar sus factores críticos frente a diferentes amenazas naturales.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 10, e incluye:

- Analizar la experiencia internacional en la definición de las dimensiones de resiliencia;
- Identificar y caracterizar cuáles son las dimensiones que definen una comunidad resiliente;
- Definir los factores críticos, internos y externos, que permiten a una comunidad ser resiliente frente a desastres de origen natural.

Proyecto 3

Identificar y caracterizar las respuestas comunitarias frente a todo el ciclo de gestión del riesgo de desastre, considerando múltiples vulnerabilidades y diversas fuentes de conocimiento.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye:

- Identificar y caracterizar vulnerabilidades físicas de las personas (salud), psicosociales, laborales, económicas y sociopolíticas en función de contextos territoriales y los mecanismos que las generan;
- Identificar y caracterizar acciones de respuesta y recuperación considerando conocimiento local, tradicional e histórico;
- Identificar y caracterizar actores y roles que emergen y se hacen relevantes en la gestión de riesgos de desastres de origen natural. Realizar un mapeo periódico de actores, roles e interrelaciones en la gestión de desastres, y generar instrumentos para identificar nuevos recursos sociales que permitan enfrentar estos desastres;

- Identificar factores protectores y sus causas de debilitamiento: tejido y cohesión social; salud mental individual, familiar y comunitaria; impacto epidemiológico; e impacto en seguridad ambiental;
- Identificar factores de riesgo y de protección frente a la violencia en contextos de amenazas naturales;
- Construir modelos explicativos de conflicto social y vulneración de derechos en contextos de amenazas naturales (p.ej., violencia y maltrato);
- Desarrollar modelos de predicción sobre factores de riesgo y protección.

Proyecto 4

Identificar comunidades con diferentes expresiones de resiliencia en contextos socioculturales y ecológicos diversos (requerimiento para Tarea 3).

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 7, y considera:

- Desarrollar tipologías de resiliencia para sus diferentes dimensiones, considerando cualidades específicas de la población (p.ej., ciclo de vida —niños, jóvenes, adultos mayores— y necesidades especiales);
- Clasificar las comunidades del territorio nacional a partir de la información disponible;
- Considerar desplazamientos de población y poblaciones vulnerables;
- Identificar relevancia de desigualdades como género, ingreso socioeconómico y origen étnico para enfrentar riesgos de desastres de origen natural.

Proyecto 5

Identificar factores clave de las estrategias de educación y comunicación para resiliencia en distintos niveles.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 6 y 8, e incluye:

- Identificar y sistematizar experiencias exitosas en preparación y respuesta de la población para enfrentar riesgos naturales;
- Caracterizar dificultades de comunicación en contextos de emergencia ocasionados por desastres;
- Desarrollar material educativo adecuado a los diferentes contextos territoriales y culturales para favorecer la preparación de la población frente a estos riesgos.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para la implementación de los proyectos de esta tarea se requiere que ciertas funciones y resultados del Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d) estén disponibles y en operación, en particular las siguientes:

- Identificación y caracterización de las organizaciones e investigadores nacionales cuya misión se relacione con la resiliencia comunitaria y la reducción del riesgo de desastres de origen natural: centros de investigación, sociedad civil, organismos públicos y privados;
- Sistematización y disponibilidad de la información base que soporte la gestión del riesgo a desastres.

Tarea 2:

Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica

Esta tarea trata sobre la investigación de la resiliencia de las distintas líneas vitales (redes) y la infraestructura crítica (distribuida) de los sistemas públicos y privados del país al verse enfrentados a condiciones naturales extremas, considerando aspectos locales y territoriales. Para controlar el desempeño de los sistemas frente a eventos extremos, disminuyendo el riesgo de pérdida vidas y el daño físico y funcional, y manteniendo continuidad operativa, es clave desarrollar el I+D+i que permita evaluar correctamente el riesgo y la resiliencia de los distintos sistemas geográficamente distribuidos e interdependientes, incluyendo los efectos en cascada que pueden ocasionarse entre ellos, transferir este conocimiento a los distintos actores relevantes reforzando comportamientos deseables y aspectos que han conducido a resiliencia, y desarrollar tecnología capaz de mitigar los efectos inmediatos de estos eventos extremos sobre los sistemas y acelerar su recuperación.

Situación país post-estrategia a 20 años

El I+D+i sobre la resiliencia de las redes de líneas vitales e infraestructura crítica requiere modelar los distintos sistemas como sistemas complejos (sistemas de sistemas) distribuidos geográficamente, con relaciones de interdependencia y capacidades de redundancia. La vulnerabilidad física de estas redes complejas debe considerar además de vulnerabilidades propias de los distintos componentes, aspectos territoriales y socioculturales, así como la capacidad de recuperación oportuna a nivel integrado mediante una priorización anticipada y participativa de los distintos actores sobre que líneas e infraestructura son esenciales según los distintos territorios. Para ello es clave identificar las deficiencias del estado actual de estas líneas vitales y las consecuencias del cese de su funcionamiento considerando las eventuales interdependencias físicas, económicas y funcionales entre ellas. Todo esto con el fin de dar prioridad a las modernizaciones más eficaces que aseguren redundancia y permitan realizar modificaciones funcionales que consideren la participación activa de la ciudadanía. Dentro de las más importantes se encuentra la revisión de las diversas normas, procesos y procedimientos relevantes, y la innovación en la creación de infraestructura paliativa o de integración para mejorar la resiliencia a nivel comunitario, local y regional.



Por Presidencia de la República del Ecuador, CC BY-NC-SA 4.0



Por Senior Airman Tiffany Tropea, U.S. Air Force, Dominio Público

Acciones por realizar

Proyecto 1

Reconocer y caracterizar la vulnerabilidad, así como las capacidades y desarrollo necesario de las redes de infraestructura crítica y líneas vitales, identificando y dimensionando las posibles consecuencias de distintas amenazas de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5, e incluye:

- Caracterizar la vulnerabilidad física y el tiempo de recuperación (*downtime*) de las redes de infraestructuras críticas y líneas vitales, considerando la interconexión e interdependencia entre los distintos sistemas;
- Investigar las condiciones y variables socioculturales que más influyen en la gestión de estas líneas vitales e infraestructuras críticas (p.ej., capacidad auto-adaptativa post-desastre, percepción y cultura sobre los riesgos, dependencia y uso de recursos críticos);
- Elaborar metodologías y modelos para anticipar los potenciales impactos de la interrupción del servicio de la infraestructura y la operatividad de las líneas vitales en las comunidades;
- Investigar los problemas de coordinación entre las distintas instituciones involucradas en la gestión de las redes de infraestructuras críticas y líneas vitales en contextos de amenazas de origen natural.

Proyecto 2

Desarrollar metodologías y procesos para el monitoreo continuo y las alertas tempranas en las condiciones de operación de las líneas vitales e infraestructuras en el contexto de eventos extremos, considerando su inter-sectorialidad e interdependencia entre sistemas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 10, e incluye:

- Implementar metodologías participativas en el diseño, localización y trazado de nueva infraestructura crítica y líneas vitales que además del conocimiento técnico incorporen los saberes locales y tradicionales de las comunidades;
- Investigar y desarrollar sistemas comunitarios de monitoreo de la infraestructura crítica a nivel local, regional y nacional, que contemple la participación de los usuarios y los múltiples sectores involucrados en su diseño, operación, y mantenimiento en el tiempo;
- Investigar sistemas de alertas tempranas de falla de infraestructura y líneas vitales en eventos extremos que permita actuar con prontitud para evitar consecuencias fatales y responder prontamente con alternativas que aumenten la resiliencia.

Proyecto 3

Desarrollar estrategias para incorporar los factores críticos identificados en el diseño, operación y mantenimiento de nueva infraestructura y líneas vitales.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 5 y 6, e incluye:

- Investigar las brechas entre las normativas y estándares nacionales actuales y los internacionales relativo a la resiliencia de infraestructura crítica y líneas vitales;
- Investigar y desarrollar estrategias de articulación entre las infraestructuras críticas y líneas vitales en contextos de riesgos frente desastres);
- Diseñar y proponer nuevos estándares, normativas de construcción y reglamentos de gestión que apunten a la resiliencia a partir del resultado de las investigaciones desarrolladas;
- Diseñar mecanismos que consideren la memoria histórica sobre la respuesta a desastres de origen natural en el diseño y planificación urbana y territorial.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

La adecuada implementación de esta tarea requiere de productos e interacciones con acciones asociadas a otras tareas de esta Estrategia. En particular, se requiere del desarrollo e implementación de protocolos efectivos de levantamiento y transferencia de información que permita análisis comparados y establezca las consideraciones éticas de las investigaciones, acción que corresponde a la Tarea 1 y que es también un requerimiento para las tareas 2 y 3, y para el Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d). Del mismo modo, debido a que esta tarea involucra redes de infraestructura cuya operación está hoy en manos de distintos sectores, se requiere desarrollar una capacidad de gestión intersectorial y multi-nivel entre el Estado, el sector privado, la academia y la sociedad civil ante eventos extremos de origen natural.

Por otro lado, el desarrollo de la Plataforma de Datos e Información (ver Sección 3.2.b) es crítica en visualizar e integrar información georreferenciada asociada a las condiciones de las distintas líneas vitales e infraestructuras del país, como de entender mejor sus interdependencias. Esta tarea se vincula también con la Tarea 9, asociada a Mitigación, donde se hace explícita mención al tema de medidas que apunten a la resiliencia de las distintas infraestructuras críticas. Finalmente, esta tarea debe integrarse con el desarrollo de mapas de amenaza y vulnerabilidad actualizados a nivel local, regional y nacional (tareas 8 y 12).

Tarea 3

Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria

Para propender a una sociedad con una cultura resiliente frente a futuros desastres ocasionados por causas de origen natural, un aspecto central es que las comunidades dispongan de espacios de aprendizaje para la preparación y reflexión pre y post desastre, tales que desarrollen capacidades adaptativas que les permitan mantener sus funciones comunitarias importantes y recuperarse rápidamente cuando se genera un desastre por un evento extremo. Esto requiere del desarrollo de una serie de proyectos demostrativos de intervención comunitaria a nivel nacional, donde se puedan comunicar y desarrollar propuestas innovadoras y efectivas que apunten a la resiliencia y permitan luego escalar y propagar este conocimiento perfeccionado por las mismas comunidades al resto del país.

Situación país post-estrategia a 20 años

Se han implementado proyectos demostrativos comunitarios para promover el desarrollo de una cultura resiliente que sea capaz de reconocer las diferentes amenazas de origen natural y sus consecuentes riesgos sobre el entorno físico, social y económico, participando activamente de la gestión para su reducción. Este programa de proyectos demostrativos se constituye en espacios de aprendizaje y ensayos que propician avances en la protección de la comunidad —mediante mayor prevención y capacidad de mitigación del riesgo— y del ambiente natural y construido, y en la comprensión de estos fenómenos de manera que ante un desastre los ciudadanos, comunidades e instituciones experimenten una menor disrupción de sus funciones, así como una recuperación más rápida con efectos adversos muy reducidos en el largo plazo, y que su sistematización y estudio permita la réplica y escalabilidad a través de estrategias innovadoras a nivel comunal, regional y nacional.



Acciones por realizar

Para abordar esta tarea se propone ejecutar cuatro proyectos demostrativos en intervención y seguimiento comunitario en localidades a nivel nacional de manera simultánea por los primeros diez años de ejecución de la Estrategia. Estas cuatro localidades corresponderían a una por macro-región del país (i.e., zona norte, zona centro, zona sur y zona austral).

Los proyectos de intervención comunitaria deben ser ejecutados simultáneamente en las cuatro localidades por un grupo de investigadores distribuido a lo largo del país, centralmente coordinado. Para ello, se proponen los siguientes proyectos independientes en un ciclo inicial de 10 años de desarrollo:

Proyecto 1

Desarrollo de metodologías e instrumentos para el monitoreo de comunidades expuestas a riesgos de desastres.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 3, e incluye:

- Diseñar sistemas de seguimiento para la población vulnerable expuesta a los riesgos ocasionados por desastres de origen natural;
- Investigar y desarrollar instrumentos ajustados a las realidades locales y al contexto nacional que permitan monitorear las capacidades de resiliencia en las comunidades y comunidades resilientes;
- Diseñar un sistema de monitoreo continuo de programas de intervención comunitaria;
- Monitorear factores críticos para la resiliencia en comunidades altamente expuestas a los riesgos de un desastre.

Proyecto 2

Investigación, desarrollo e implementación de metodologías participativas innovadoras para favorecer la generación de conocimiento transdisciplinario, la evaluación de políticas públicas y la gobernanza en contextos de riesgos ocasionados por desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 10, e incluye:

- Diseñar plataformas y espacios de participación de las comunidades involucradas en el desarrollo de los proyectos demostrativos;
- Generar conocimiento desde la valoración de la experiencia comunitaria y desarrollo de mecanismos e instancias de retroalimentación;
- Desarrollar metodologías para evaluar participativamente políticas públicas y gobernanza en relación a la resiliencia frente a desastres de origen natural;
- Implementar metodologías participativas innovadoras para favorecer el desarrollo de conocimiento transdisciplinario;
- Dotar de capacidades, herramientas y diseños que permitan desarrollar un enfoque horizontal de transferencia de conocimiento;
- Diseñar mecanismos de devolución de información y promoción de aprendizaje a nivel comunitario;
- Generar investigación longitudinal de comunidades en relación a su vulnerabilidad y resiliencia.

Proyecto 3

Desarrollar estrategias y mecanismos para mejorar la comunicación institucional y comunitaria en contextos de riesgos ocasionados por desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 5, e incluye:

- Desarrollar plataformas para el intercambio en tiempo real de información entre las personas expuestas a múltiples riesgos;
- Identificar problemas de comunicación entre las instituciones críticas durante y después de eventos extremos de origen natural;
- Diseñar estrategias de articulación entre las infraestructuras críticas y líneas vitales antes, durante y después de los desastres.

Proyecto 4

Desarrollar I+D+i que permita modelar el comportamiento humano frente a riesgos de desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 10, e incluye:

- Desarrollar modelos de predicción sobre factores de riesgo y protección;
- Desarrollar herramientas que permitan modelar a nivel agregado y desagregado el comportamiento humano y predecir sus resultados en contextos de riesgo;
- Investigar y modelar los comportamientos humanos en procesos de evacuación, ayuda humanitaria, desplazamiento geográfico, etc., teniendo en cuenta las culturas, historias y saberes locales junto con los comportamientos sociales globalmente reconocidos.

Proyecto 5

Diseñar mecanismos y metodologías para replicar intervenciones exitosas en otras comunidades, así como estrategias de adaptación y traducción hacia contextos particulares.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 8, e incluye:

- Investigar, identificar y evaluar los distintos componentes de intervenciones exitosas, para desde ahí generar propuestas de soluciones innovadoras;
- Investigar formas emergentes o soluciones innovadoras a partir de experiencias registradas;
- Identificar oportunidades de innovación y desarrollo en el contexto de los proyectos demostrativos;
- Investigar y diseñar el alineamiento de protocolos, estándares, procedimientos y materiales de intervención acordes a los fenómenos, contexto y culturas locales;
- Diseñar estrategias para la replicabilidad y escalabilidad de intervenciones exitosas en diferentes contextos socioculturales.

Proyecto 6

Mantenimiento de los proyectos demostrativos en el tiempo.

Los proyectos demostrativos implementados en los primeros 10 años de acción de la Tarea 3 se deben mantener por al menos 10 años más, alcanzando un periodo de acción de 20 años. Durante la mantención de los cuatro proyectos demostrativos, se deben desarrollar solamente los Proyectos 2, 3 y 4 de la Tarea 3 explicitados previamente, aprovechando los instrumentos y metodologías desarrollados en la fase inicial.

Eventualmente, después de la experiencia con los primeros cuatro proyectos demostrativos (i.e., a los 10 años), se podrán desarrollar nuevos proyectos en otros lugares de Chile, los que deben considerar las pautas y conocimientos desarrollados en los casos iniciales.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para la implementación de los proyectos demostrativos de intervención comunitaria, esta tarea requiere de una priorización de territorios, localidades y comunidades. Además, se requiere del desarrollo e implementación de protocolos para el levantamiento y transferencia de información que permita el desarrollo de estudios longitudinales y análisis comparados estableciendo las consideraciones éticas de las investigaciones. Estos también son requerimiento para las tareas 2 y 3, y para el Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d).

De la Tarea 1 se desprende la necesidad de identificación de comunidades con diferentes expresiones de resiliencia en contextos socioculturales y ecológicos diversos, la que alimentará la selección de las comunidades donde aplicar los primeros cuatro proyectos demostrativos. Al mismo tiempo, se requiere del Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d) para la sistematización y disponibilidad de la información base que soporte la gestión del riesgo frente a desastres, además del desarrollo e implementación de protocolos para el levantamiento de la información. Finalmente, a nivel institucional, la implementación de estos proyectos demostrativos requiere de articular una capacidad de gestión intersectorial y multi-nivel en el Estado, el sector privado, la academia y la sociedad civil ante riesgos de desastres de origen natural, debido a que se interactuará fuertemente con todos los sectores en la medida que se diseñan, implementan y evalúan las medidas de intervención.

Nota: Se debe considerar que las acciones de otras tareas de esta Estrategia deberán ser implementadas en los proyectos demostrativos. Esto implica que estos proyectos demostrativos no solo abarcarán la dimensión de intervención comunitaria, sino que también la prueba e implementación de observación social (Observatorio Nacional para la Resiliencia, Sección 3.2.d), la prueba e implementación de monitoreo de procesos físicos de amenaza (Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales, Tarea 11), de los Sistemas de Alerta Temprana (Tarea 13), y la "sensorización" del territorio para el desarrollo y prueba de tecnologías e innovaciones para la resiliencia (Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes, Tarea 6). La complejidad que involucra la implementación de estos proyectos integrados es alta, pero refleja el nivel que debe alcanzar esta Estrategia en su implementación de forma de poder aumentar finalmente la resiliencia de estas comunidades y país.

Tarea 4

Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres

El hecho de transformar a Chile en un referente mundial en innovación en riesgo y resiliencia frente a desastres de origen natural se logrará, en parte, gracias al fortalecimiento de las capacidades existentes en el Estado y sector privado para fomentar la creación de valor en estas temáticas. De este modo, se pretende que, por un lado, la actualización de normas, estándares y mecanismos de verificación de conformidad de la calidad y, por otro, la activación de la demanda por parte del sector público, se constituyan como catalizadores del proceso de innovación y creación de valor en resiliencia frente a desastres en el país. Es esencial en esta transformación no limitarse a áreas convencionales sino pensar más allá de lo que se considera habitual. Por ejemplo, Chile puede llegar a ser un gran innovador en el desarrollo de nuevos instrumentos financieros para el manejo del riesgo frente a desastres, o directamente en la incorporación de criterios de resiliencia en la industria mundial de seguros. También lo puede ser en el desarrollo de un Estado resiliente, como un actor fundamental que demanda enorme tecnología e innovación en ese proceso.

Situación país post- estrategia a 20 años

Chile se ha constituido como un polo de desarrollo de soluciones innovadoras basadas en generación de I+D+i de excelencia. En particular, el Estado de Chile se ha modernizado como uno de los más resilientes en el mundo y ha generado desde allí una demanda por constante innovación en la materia. Este desarrollo es impulsado en parte por un conjunto de normativas y estándares de clase mundial para la resiliencia y sustentabilidad de su entorno construido, económico y social. Dicho desarrollo viene de la capacidad del país de prospectar la necesidad de nuevas normativas, de desarrollar la investigación aplicada que da origen a estas normas, de diseñarlas y aplicarlas efectivamente, y de verificar su cumplimiento. Por otro lado, el Estado ha actuado como catalizador del I+D+i aplicado, activando la demanda de investigadores, centros de investigación, empresas privadas y sociedad civil enfocados en generar valor asociado a la reducción del riesgo y aumento de la resiliencia frente a desastres de origen natural. Esta activación aumenta el tamaño del mercado de innovación de productos y servicios para la resiliencia a nivel nacional e internacional y la vez produce modernidad en la organización misma del Estado ahorrándole cuantiosos recursos por la reducción del daño asociado a estos desastres.



Acciones a Realizar

Proyecto 1

Estrategia de modernización de normas, estándares y mecanismos de verificación de conformidad y calidad frente a resiliencia.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye:

- Realizar prospectiva a nivel nacional e internacional de nuevas normas asociadas a la resiliencia frente a desastres de origen natural, potenciando la labor del Instituto Nacional de Normalización a través de un presupuesto específico para ello;
- Promover la actualización de normas y estándares mediante fondos para el desarrollo de dicha normativa en conjunto con universidades y centros de investigación en el país, y para llevar el proceso de discusión y publicación de la nueva normativa;
- Incorporar los temas de riesgo y resiliencia frente a desastres en las evaluaciones de los proyectos del Estado y su priorización, tal como se ha hecho en el tema medio-ambiental;
- Generar nacionalmente una certificación de resiliencia para cualquier obra construida de forma de establecer patrones comparativos y que sea la misma sociedad la que exija sobre resiliencia de las obras que habita o utiliza.

Proyecto 2

Innovación en la estrategia de Compras Públicas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 3, e incluye:

- Diseñar e implementar junto al Ministerio de Economía una Política de Compras Públicas Innovadoras coherente con la resiliencia frente a desastres y que fomente la incorporación de nueva tecnologías e innovación en resiliencia frente a desastres de origen natural a través de los diferentes ministerios y agencias;
- Incorporar nueva tecnología y nuevas soluciones pro-resiliencia en las compras públicas asociadas al desarrollo de infraestructura crítica y líneas vitales estratégicas para el país;
- Desarrollar criterios de priorización de compras públicas que consideren estándares de resiliencia superiores a los actuales (p.ej., exigiendo un sello de resiliencia);
- Estudiar y desarrollar mecanismos para que cualquier infraestructura pública cuente con un nivel de resiliencia adecuado, no permitiendo a través de procesos de concesión u otros, que privados decidan unilateralmente sobre el nivel de riesgo y resiliencia adecuado de la infraestructura pública (p.ej., aeropuertos, puertos, carreteras, hospitales, redes de agua, etc.).

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Si bien el Instituto Nacional de Normalización (INN) ha trabajado junto a CORFO en el desarrollo de normativa específica para desastres, como fue el caso post-terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, se requiere que la institución tenga mayor libertad para mandar estudios de normas según lo requiera, de manera autónoma e independiente. Por ello, se requiere dotar al INN de esa capacidad y recursos, de modo que la institución lidere la discusión de normativas modernas de acuerdo a las necesidades del país, y no siempre de manera dependiente de grupos de interés que generan procesos de discusión esporádicos, poco continuos y muchas veces técnicamente sesgados.

Por otro lado, la implementación de compras públicas innovadoras requiere de la voluntad de los servicios e instituciones pertinentes para atreverse a presentar desafíos que promuevan la innovación en la industria. Antecedentes de este tipo de iniciativas ya existen en el país, como el caso del Ministerio de Salud y el requerimiento de diseño de los nuevos hospitales con aislación sísmica, que ha impulsado mayor desarrollo y mercado para las firmas de ingeniería en el ámbito de la protección sísmica. Lo mismo debería esperarse de toda otra infraestructura pública esencial para el país, independiente de que esté concesionada o administrada por privados. Ejemplo de esto son los aeropuertos, puertos, carreteras, líneas vitales de electricidad, agua, alcantarillado, comunicaciones, redes de salud, escuelas, industrias críticas, etc.

Tarea 5

Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas

Esta tarea busca impulsar desde el I+D+i el desarrollo de una ventaja innovadora sostenible, a través de la generación de una nueva industria de nuevas tecnologías, materiales y servicios asociados a resiliencia frente a desastres de origen natural. Un aspecto fundamental de este objetivo se centra en desarrollar y promover todas las tecnologías, procesos y servicios innovadores que aporten a lograr un ambiente construido, económico y social más resiliente frente a desastres. Estos ambientes deben ser capaces de recibir un menor impacto, adaptarse y responder de manera más rápida, eficiente y eficaz, reduciendo así las consecuencias sociales, ambientales, físicas y económicas de los diversos desastres en Chile. Con esto, se abre la posibilidad de crear una nueva industria nacional de alto valor agregado a través de la generación de soluciones de impacto global para la preparación, respuesta y recuperación del ambiente construido, económico y social. Se espera que el impacto de esta industria sea tal que solo una fracción de los recursos liberados por el país para su implementación en el próximo decenio, sea suficiente para rentabilizar la inversión de esta Estrategia.



Por: José Pomarés GNU v1.2.0 posterior



Por: SIVE ©

Situación país post-estrategia a 20 años

Chile es líder global en el desarrollo aplicado y exportaciones de productos, procesos y servicios asociados a los temas de riesgo y resiliencia frente a desastres de origen natural. Específicamente, Chile destaca globalmente como un ambiente construido, económico y social resiliente frente a grandes eventos naturales, respondiendo de manera articulada e integral a la disrupción que ellos ocasionan. En particular, existen capacidades permanentes de monitoreo y alerta temprana del estado de la infraestructura, la que es evaluada a lo largo de su ciclo de vida y específicamente durante y después de grandes eventos naturales, lo que permite el aprendizaje constante respecto a su comportamiento, traduciendo el conocimiento en mejores prácticas de diseño y construcción. Todo esto se basa en desarrollos tecnológicos de punta y servicios con alto nivel de innovación y potencial de escalabilidad global.

Lo anterior es acompañado por un conjunto de desarrollos tecnológicos de alta relevancia. Una industria de la construcción líder en Latinoamérica, acostumbrada a que sus obras sean sometidas a inclementes pruebas de la naturaleza, con un foco claro en el desarrollo y uso de nuevos materiales sustentables, con estructuras seguras y resilientes que dejan a su vez una baja huella de carbono, con sistemas y redes que se encuentran certificadas en resiliencia de acuerdo a estándares internacionales, con una gran capacidad de innovación y reacción rápida ante desastres, y con un alto estándar de calidad. La nueva infraestructura se construye en base a nuevos materiales, componentes y sistemas sustentables y las acciones de recuperación y reconstrucción permiten alcanzar un estado post-evento con un estándar superior al que lo precede. Estas aplicaciones se sustentan en la transferencia efectiva del I+D+i basados en el conocimiento y es facilitada por una normativa e incentivos que articulan correctamente a los distintos actores de la sociedad.

Acciones por realizar

Proyecto 1

Portafolio de políticas para la generación de investigación, desarrollo e innovación en resiliencia frente a desastres de origen natural.

Para ello se busca promover el concepto de un *cluster* natural que articule y potencie los desarrollos científicos y tecnológicos a través de un encadenamiento de programas de las agencias financiadoras y el sector privado especialmente dirigidos a resiliencia y desastres de origen natural. Este encadenamiento se compone de programas de CONICYT, enfocados en la etapa de investigación básica y aplicada, y programas de CORFO, concentrados en la etapa de desarrollo experimental, prototipaje y escalamiento. De este modo, se fortalecería la cadena completa de valor. Es importante también reconocer que existe la posibilidad de duplicidades y que la articulación de dicho *cluster* aparece como un factor central en la efectividad del trabajo en esta tarea.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye las siguientes dimensiones:

- Asignar nuevos recursos y crear una estrategia para alinear los programas existentes para brindar un espacio específico a las temáticas asociadas a riesgo y resiliencia. Algunos de estos programas podrían ser: Programa de Centros Tecnológicos para Bienes Públicos (CORFO), programas como FONDEF y FONDAP (CONICYT), un llamado nacional e internacional específico de Start-Up Chile (CORFO) en riesgo y resiliencia a desastres, un llamado internacional de *Seed Funds* con partners mundiales en riesgo y resiliencia, y la creación de centros de investigación con apoyo en el sector privado al interior de las universidades, solo por mencionar algunos;
- Incluir en el presupuesto de CONICYT una línea presupuestaria dedicada especialmente a riesgo y resiliencia frente a desastres, que fomente la investigación científica y tecnológica orientada a la comprensión fundamental y la solución de problemas en esta área, así como su horizonte de transferencia tecnológica¹⁴;
- Promover la cadena de valor para soluciones a partir de tecnologías de la información como herramientas para la prevención, respuesta y recuperación frente a desastres. Por ejemplo, desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, software de optimización dinámica de rutas de evacuación, y aplicaciones para levantamiento o evaluación rápida de daños físicos post-desastre;
- Promover la cadena de valor para soluciones tecnológicas y de ingeniería. Por ejemplo, el desarrollo de sensores de bajo costo para monitoreo de amenazas naturales, o monitoreo de la salud estructural y la respuesta de la infraestructura frente a eventos naturales;
- Promover el desarrollo de tecnologías y sistemas para el diseño y construcción de un ambiente construido resiliente en base a materiales existentes o nuevos, que logren desempeños superiores a los actuales frente a eventos naturales extremos. Las soluciones constructivas deberán apuntar a un alto nivel de sostenibilidad, tendiendo a un modelo productivo replicable en el tiempo, con bajas consecuencias ambientales. Específicamente, se deberán buscar soluciones que apunten a una reducción de la huella de carbono, a una alta eficiencia térmica, a

14 Este mecanismo ya ha sido utilizado para crear la línea de financiamiento exclusiva para minería bajo el "Programa en Minería Virtuosa, Inclusiva y Sostenible" de CONICYT. Ver en <http://www.conicyt.cl/fondef/2016/05/23/primer-concurso-de-investigacion-tecnologica-tematico-en-mineria/>

una alta resistencia sísmica, a una mejor capacidad de ser reparadas o recicladas, en base a recursos renovables y locales, y con un bajo impacto en el uso y contaminación de recursos;

- Promover la colaboración internacional para investigación, transferencia e innovación científico-tecnológica. Esto considera el potenciamiento de programas como REDES de CONICYT, además del desarrollo de nuevos programas con capital semilla para investigación (tipo *Seed Funds*) en conjunto con las mejores universidades del mundo en temáticas de resiliencia y desastres, y sus programas pares para el desarrollo de innovaciones de alto impacto social junto a industrias altamente sofisticadas, o grupos y *hubs* para el empaquetamiento tecnológico.

Proyecto 2

Implementación de un programa de “Grand Challenges” en comunidades resilientes frente a desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 10, e incluye lo siguiente:

- Analizar y diseñar en detalle la institucionalidad que debe liderar esta iniciativa, pudiendo recaer la responsabilidad en alguna agencia específica del Estado, una ONG, o la institucionalidad de I+D+i para Chile, ITRenD (Sección 3.2.a);
- Seleccionar desafíos relevantes y movilizadores en conjunto con los actores relevantes en resiliencia del país a nivel público y privado. Las temáticas pueden ser tan variadas como el desarrollo de nuevos materiales (p.ej., compuestos de alto desempeño basados en madera, otros materiales compuestos, hormigones livianos), desarrollo de software de simulación y evacuación, desarrollo de un sello de resiliencia para toda infraestructura, o la resolución de un problema específico del Estado o industria asociado a desastres de origen natural;
- Organizar un concurso anual tipo “Grand Challenge” a nivel nacional e internacional sobre desafíos específicos en torno a I+D+i en resiliencia y desastres, para nutrir el ecosistema de nuevas ideas y atraer la atención de las personas y actores relevantes hacia esta temática;
- Desarrollar un programa en el marco de Explora-Conicyt u otro para llegar a las comunidades estudiantiles de todo el país con los temas de riesgo y resiliencia.

Proyecto 3

Nueva imagen para la industria chilena en resiliencia y desastres.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5, donde se propone utilizar la infraestructura y capacidad de ProChile y Fundación Imagen de Chile para:

- Generar un programa de fomento y apoyo de exportación de servicios y tecnologías en la temática de resiliencia frente a desastres de origen natural a través de la difusión internacional de la experiencia y capacidades nacionales como marca país, y gracias a las singularidades de Chile;
- Establecer una red de contactos y convenios entre empresas nacionales e internacionales para complementar la oferta de valor y capacidades de producción de tecnología en Chile. Ejemplos de estos servicios son la fabricación, el usos de nuevos materiales en tecnologías de frontera, el intercambio de materiales de construcción y reparación para la emergencia, la exportación de soluciones de vivienda de emergencia con protección de alto estándar, el desarrollo de tecnologías para la búsqueda de sobrevivientes; la demolición de estructuras dañadas, etc.;
- Crear y apoyar a una red de proveedores que tengan demanda global en torno a los temas de riesgo y resiliencia frente a desastres con un primer foco que es ser líderes de la región.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para que haya un verdadero desarrollo de una industria asociada al tema de riesgo y resiliencia frente a desastres de origen natural, el área se debe declarar como una prioridad estratégica nacional. Claramente lo es, como ha quedado demostrado en los eventos recientes desde el 2010 en adelante. Esto permitirá que las distintas instituciones públicas y privadas internalicen este tema y alineen sus capacidades y esfuerzos con este foco. Así, la colaboración entre el Estado, la industria, y las distintas instituciones académicas, centros de investigación, el futuro Ministerio de Ciencia y Tecnología e ITRenD será más fluida y con un objetivo nacional claro, una mayor resiliencia.

En sus discusiones, la Comisión reconoció que uno de los componentes que podría diferenciar a Chile en el mundo en términos de industria asociada al ambiente construido resiliente es el uso apropiado de la madera. De este modo, se reconocen los materiales basados en madera como un foco de desarrollo de nuevos materiales, tecnologías, sistemas constructivos y metodologías de diseño y construcción que podrían dotar a Chile de una ventaja competitiva única en el mundo. Sin embargo, entendiendo que la construcción basada en materiales tradicionales como el hormigón, el acero y la albañilería seguirá existiendo y aumentando en Chile, esta tarea hace referencia a la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías e innovaciones locales para el uso de estos materiales tradicionales y su mejora en el tiempo. Los focos del I+D+i en materiales, soluciones y ambiente construido resiliente van en el aumento de la sustentabilidad y durabilidad de los materiales, el reciclaje industrial, la reducción del daño mediante sistemas de protección (p.ej., sísmica) y el desarrollo de técnicas de refuerzo y rehabilitación de estructuras o sistemas existentes, entre otras.

Finalmente, para que el desarrollo y prototipaje de nuevos materiales y tecnologías para el ambiente construido resiliente sea realmente de nivel mundial, se requiere una infraestructura adecuada para realizar su investigación y desarrollo, lo que fue descrito como condición habilitante transversal de la Estrategia en la Sección 3.2.d (Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación).

Tarea 6

Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes

Esta tarea reconoce como fundamental a las TICC en la reducción del riesgo y en el aumento de la resiliencia de los sistemas sociales, físicos y económicos, y tiene como objetivo central transformar la Infraestructura de Datos e Información (Sección 3.2.b) a ser implementada, y el gran volumen de datos disponibles que será creciente en el tiempo debido a los sensores distribuidos, instrumentos físicos, imágenes, información satelital, redes sociales y otros medios, en una oportunidad para aprovechar el uso de las TICC y de otras tecnologías transversales habilitantes. El foco es crear desarrollo tecnológico e innovación para la resiliencia de todo tipo de organizaciones y comunidades.

Actualmente estamos inmersos en una revolución digital global basada en el uso conjunto de las nuevas tecnologías de computación y comunicaciones, las redes sociales, los sensores y las bases de datos integradas con sofisticados procesos analíticos, dando origen al "internet de las cosas" y generando un volumen de *big data* que representa una oportunidad para la innovación y el desarrollo.

Hoy, conectarse en Chile mediante sensores es cotidiano, sencillo y automático para todos; el 93% de los 20 millones de celulares son *smartphones*, es decir, dispositivos personales y móviles dotados de sensores que se transforman en la principal fuente de información. Existen también antenas WIFI ó 4G que permiten conectar múltiples dispositivos a muy bajo costo, entre otros avances que cambian día a día. Por otro lado, la infraestructura para el monitoreo y generación de información de base está en una etapa de constante evolución. La capacidad instalada para monitoreo satelital debe considerarse como una herramienta disponible, a la que se debe acceder mediante programas conjuntos de capacidades locales (p.ej., el plan de desarrollo de la anunciada Agencia Nacional del Espacio) y convenios con entidades internacionales¹⁵.

Así, el desafío es transformar el gran problema de Chile asociado a los desastres de origen natural en una gran oportunidad para generar aplicaciones y desarrollar tecnología que permita predecir o anticiparse a los desastres, apoyar las acciones de recuperación y respuesta durante la emergencia, y mejorar o disminuir el periodo de recuperación posterior. Es decir, actuar antes, durante y después de que se produzcan los desastres, en un proceso en que la población integre estas tecnologías a su aprendizaje y respuesta frente a los desastres. La estrategia de esta tarea se centra en el concepto de personas como verdaderos sensores distribuidos a lo largo de nuestro territorio.

¹⁵ En este sentido, es importante considerar que en la actualidad se están desarrollando tecnologías de observación satelital que debido a su capacidad y bajo costo, podrían complementar las diversas necesidades de sensorización en terreno (ver caso de Satellogic en <http://www.satellogic.com/>)

Situación país post-estrategia a 5 años¹⁶

A partir de la identificación y análisis adecuado de los activos de información disponibles, Chile ha desarrollado un plan de gobernanza efectivo para la captura y manejo de datos generados en torno al riesgo y la resiliencia a partir de sensores, instrumentos, redes de observación y monitoreo, incluida la observación satelital, redes sociales, y otras aplicaciones tecnológicas. Este proyecto de Estado permite generar valor y nuevas inversiones. Existen normas e incentivos que impulsan y hacen eficiente la toma de datos a través de esta red, y que son puestos a disposición de la comunidad científica e innovadora, desde donde hay una producción constante de aplicaciones, sistemas y otros desarrollos con TICC que mejoran los procesos de preparación, respuesta y recuperación de las personas y comunidades a eventos naturales extremos, mejorando así la resiliencia de la sociedad frente a desastres de origen natural.

El sistema funciona debido a que hay una demanda permanente desde la ciudadanía, autoridades, tomadores de decisión y el sector privado a incorporar estos desarrollos tecnológicos en sus procesos cotidianos. Esta ciudadanía se caracteriza por ser parte de redes sociales educadas y resilientes para actuar coordinadamente frente a los desastres. Los datos y la información pública son usados abiertamente por investigadores y desarrolladores para crear soluciones tecnológicas, aplicaciones y dispositivos que aumentan la resiliencia frente a desastres en el país, y que son ampliamente utilizados localmente y exportados internacionalmente.

¹⁶ A diferencia con todas las demás tareas de la Estrategia, la situación deseada para el país se plantea solo a cinco años debido a que, considerando el vertiginoso desarrollo tecnológico en el mundo, resulta poco realista plantear un escenario a tan largo plazo.



Por ENERGY.GOV (DOE), Dominio público



Por ESA/ATVinc

Acciones por realizar

Proyecto 1

Potenciar desarrollos TICC de innovadores, emprendedores y de la comunidad para mejorar la resiliencia comunitaria frente a los desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 10, y considera:

- Ampliar la iniciativa de "Grand Challenge" en resiliencia y desastres de la tarea 5 con una convocatoria específica para soluciones basadas en las TICC;
- Realizar un concurso anual de innovación empresarial y un concurso anual de emprendimiento en resiliencia y desastres en torno a prevención, respuesta y recuperación, los que deben relevar un desafío específico y movilizador en etapas de monitoreo, protección frente a una amenaza específica (p.ej., protección sísmica), rescate de sobrevivientes, lucro cesante, emergencia, reconstrucción, etc. Un ejemplo de este tipo de desafíos en el área de prevención sería el "empaquetamiento de herramientas de simulación de procesos de evacuación para uso en la práctica profesional y regulatoria".

Proyecto 2

Desarrollo de una capacidad de procesamiento de "big data" recolectada de la red de "sensores humanos" para el desarrollo de iniciativas TICC para la resiliencia.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, y considera:

- Diseñar un programa que permita utilizar la capacidad de almacenamiento y procesamiento de *big data* instalada en el país (p.ej., *National Laboratory for High Performance Computing*) para el desarrollo de aplicaciones, iniciativas e innovaciones TICC enfocadas en la resiliencia comunitaria frente a desastres de origen natural;
- Articular con la Plataforma de Datos e Información (Sección 3.2.b) y con la Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación (Manufactura y TICC, Sección 3.2.d);
- Conectar con las iniciativas masivas de recolección de datos, como la aplicación del censo nacional y de encuestas como CASEN. Estos instrumentos deben recopilar información útil para el desarrollo del I+D+i de alto impacto relacionado con la resiliencia comunitaria. El diseño debe considerar módulos específicos cuyos resultados permitirían avanzar en el desarrollo de comunidades más resilientes;
- Desarrollar y mantener una capacidad de procesamiento y disponibilización de datos. Esto considera un grupo de especialistas en manejo de datos —uno por fenómeno considerado en la Estrategia— a cargo de procesar la información disponible en el país y prepararla en formatos que permitan a los investigadores, desarrolladores e innovadores de Chile y el mundo producir valor agregado a partir de ella.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Uno de los requerimientos de esta tarea hacia el país es la necesidad de contar con comunicaciones confiables y redundantes bajo la ocurrencia de eventos naturales extremos. De este modo, no solo se asegura la continuidad de la operación de las redes y algunas líneas vitales de nuestro país, sino que también existe la condición de base fundamental para ofrecer soluciones TICC efectivas y escalables durante los minutos más críticos de la etapa de emergencia post-desastre.

Por otro lado, resulta clave comprender que en la medida en que crece el uso de las TICC durante la emergencia, las comunidades no cumplen solo el rol de usuarios y receptores de información, sino también en generadores de datos de alto valor para la gestión de la emergencia lo que finalmente impacta en el aumento de la resiliencia de la sociedad.

Por esta razón, es necesario a través de la educación, contar con redes sociales correctamente informadas y educadas, de manera que su actuar en situaciones de emergencia y desastres las convierta en un actor relevante en el sistema de comunicaciones y en una situación de desastre y emergencia.

Finalmente, se debe recalcar que más que la generación de *big data*, es la capacidad de procesamiento sofisticado de esa información la que entrega valor a la sociedad. Por ello, es clave aumentar la formación y desarrollo de profesionales capaces de manejar estos volúmenes de datos, y traducirlos en información relevante para las comunidades, autoridades y tomadores de decisión. Del mismo modo, en términos de infraestructura, es necesario contar con la capacidad de procesamiento y almacenamiento de dicha información, lo que está considerado en la condición habilitante de Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación (Sección 3.2.d). La disponibilidad e integración de los datos que permitirán este desarrollo de innovaciones TICC ocurrirá mediante la Infraestructura de Datos e Información que propone la Estrategia (Sección 3.2.b).

Tarea 7

Escenarios de Desastres de Origen Natural

Una de las posibilidades para evaluar el riesgo de los distintos sistemas es desarrollar escenarios determinísticos en que se modelen la mayoría de los efectos asociados a un único evento de características cuidadosamente definidas, de modo que represente un evento cuya probabilidad de ocurrencia sea alta. Alternativamente, el riesgo debe evaluarse de forma probabilística, considerando todas las fuentes de incertidumbre aleatoria o epistémica. En un modelo probabilístico se consideran los efectos de todos los eventos posibles, los que se ponderan por su probabilidad de ocurrencia. La presente tarea aborda el desarrollo de escenarios determinísticos altamente probables, mientras que la Tarea 8 (Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres) aborda la metodología de cálculo de riesgo asociado a eventos de origen natural desde una perspectiva probabilística.

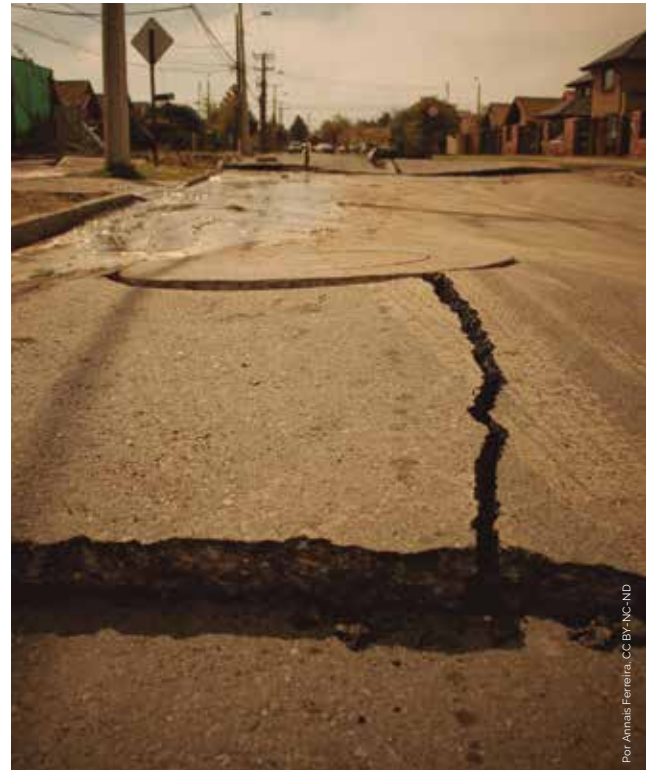
El uso de escenarios es una metodología ampliamente utilizada en el mundo para describir de forma concreta las consecuencias de uno o varios (pero contables) potenciales eventos extremos. El uso de escenarios permite evaluar y anticipar los impactos causados sobre el entorno construido, económico y social de eventos de gran magnitud, constituyendo así una importante herramienta para la posterior gestión de estos riesgos. La simulación que acompaña a los escenarios permite, entre muchas posibilidades, anticiparse a futuros sucesos disruptivos sobre la sociedad; incorporar el conocimiento de diversos actores en torno a una misma preocupación compartida; organizar previamente los temas de logística de emergencia y recuperación; entrenar actores claves en las actividades de respuesta durante la emergencia y la recuperación; identificar zonas más críticas en el país o al interior de asentamientos humanos y trabajar con los actores expuestos posibles medidas que aumenten la resiliencia; diseñar y evaluar nuevas medidas de mitigación y normativas; y promover en general actividades que apunten a crecer en resiliencia. Los escenarios permiten además darle visibilidad y comunicar los temas de riesgo frente a desastres de origen natural, contribuyendo a que actores del Estado, de la academia, del sector privado y de las comunidades puedan identificar los impactos posibles de los distintos desastres, tomen conciencia de dichos impactos, y ayuden a co-construir medidas de mitigación que hagan sentido a estas comunidades disminuyendo así los potenciales efectos adversos a la resiliencia.

Desarrollar escenarios es un trabajo extraordinariamente intensivo en recursos de investigación de naturaleza interdisciplinaria, y que requiere de extensa validación para que los resultados sean verosímiles y sirvan realmente el propósito para el que dichos escenarios fueron diseñados. Un escenario bien diseñado requiere de la integración de investigación e información generada desde al menos las ciencias de la tierra, las ciencias sociales, la planificación urbana, y la ingeniería. El I+D+i asociado a estos escenarios parte por una adecuada caracterización de las distintas amenazas naturales (Tarea 10); del estudio de la exposición y vulnerabilidad del entorno físico, social y económico; del entendimiento de la respuesta y recuperación de los sistemas físicos y sociales; y de la integración de estos ámbitos del conocimiento en un modelo de riesgo capaz de evaluar pérdidas directas e indirectas esperadas para el evento (Tarea 8).

Los escenarios propuestos deberán considerar amenazas múltiples actuando sobre sistemas urbanos y físicos complejos e interdependientes, que pueden producir efectos en cascada que amplifiquen notablemente el impacto original esperado de una amenaza natural. En la selección de los territorios para estos escenarios, se propone priorizar aquellos susceptibles a un mayor riesgo sobre el entorno construido, económico y social, con importantes núcleos de desarrollo industrial y urbano, con una mayor concentración de población y activos vulnerables de toda índole, y aquellos en que la falla de estos sistemas sea de carácter estratégico para el país (p.ej., energía, agua, comunicaciones).

Situación país post-estrategia a 20 años

El país cuenta con las capacidades científicas, físicas y humanas para liderar la construcción y la simulación de escenarios representativos de la realidad a escala urbana e interurbana sometidos a multi-amenazas naturales de características extremas. Estos estudios integran el estado del arte del conocimiento en las áreas de caracterización de las distintas amenazas naturales, la descripción y caracterización de la exposición y vulnerabilidad del entorno construido, económico y social, la evaluación del desempeño, respuesta y recuperación de los sistemas y comunidades ante dichas amenazas, y el cálculo de las pérdidas potenciales sobre los distintos sistemas. Los resultados de los estudios de escenarios son usados en los distintos niveles de la administración pública y privada para definir, priorizar y evaluar políticas públicas que apunten a la resiliencia, entre ellas múltiples acciones de mitigación de los riesgos de origen natural. Del mismo modo, los resultados de estos escenarios se transfieren a las autoridades y comunidades para mejorar su resiliencia frente a estos eventos extremos, robusteciendo transversalmente los procesos de toma de decisión, la definición y priorización de inversiones y la planificación territorial, entre otros.



Por Annais Ferreira. CC BY-NC-ND



Por Phillip Oyarzo Callisto. CC BY-NC 2.0

Acciones por realizar

En base al diagnóstico presentado, es clave que el país avance en el desarrollo de escenarios de eventos naturales extremos que integren conocimientos de las distintas disciplinas involucradas en el proceso de evaluación de riesgo para que finalmente se puedan anticipar los distintos impactos y pérdidas esperadas directas —en términos de víctimas y daño— e indirectas —paralización de actividades, interrupción de servicios en el territorio, saqueos y vandalismo, etc.—. Los escenarios de eventos naturales extremos deben ser capaces de reflejar correctamente y de forma integral las condiciones propias del territorio estudiado tanto en su componente física como social. En el tema físico, las distintas redes de infraestructura y servicios juegan un rol fundamental en la resiliencia, lo mismo que la forma de organización de las comunidades locales para llevar a cabo acciones de respuesta y recuperación en lo social. Es crítico también comprender procesos críticos de la emergencia como puede ser la evacuación, la logística en la distribución de ayuda, y otras actividades claves en la gestión de los riesgos durante las distintas etapas.

En esta tarea se propone realizar al menos las siguientes acciones:

Proyecto 1

Diseño y definiciones metodológicas para el desarrollo y estudio de escenarios nacionales de desastres.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 2, e incluye:

- Definir el número, tipos de fenómenos naturales relevantes, y variables básicas a considerar para el desarrollo de escenarios realistas en las distintas regiones del país;
- Desarrollar un mecanismo para priorizar los distintos estudios de escenarios de eventos extremos a lo largo del territorio nacional;
- Definir y especificar las metodologías para el estudio de escenarios. Levantar y evaluar las metodologías existentes en el mundo académico y privado, definir qué información está disponible o se debe generar para desarrollar estos escenarios, qué resultados deben entregar dichos estudios y de qué forma y con qué periodicidad se deben actualizar. La definición de herramientas y procedimientos que se propongan deben estar en armonía con lo dispuesto sobre la materia por la Ley y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones;
- Preparar la información para que pueda ser transmitida en los procesos de *outreach* a los distintos actores y comunidades de forma de influir su desarrollo en pos de una mayor resiliencia.

Proyecto 2

Primer escenario prioritario para Chile.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 6, e incluye:

- Estudiar un escenario piloto para un desastre de origen natural que sea prioritario para el país;
- Actualizar y perfilar las metodologías y los resultados definidos para estudio de escenarios en el Proyecto 1;
- Testear la información generada con los distintos actores clave y validar el desarrollo de indicadores que permitan apuntar a la resiliencia

Proyecto 3

Cobertura nacional de estudio de escenarios.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 6 y 20, y considera extender los estudios de escenarios para territorios priorizados expuestos a distintas multi-amenazas naturales en Chile. Se considera la ejecución de los escenarios para la ciudad más grande de cada región del país, además de un escenario adicional que represente ciudades con 150 mil habitantes o menos. Se trabajará de manera articulada con la Plataforma de Datos e Información (Sección 3.2.b) de modo de que los diversos estudios detallados y los resultados puedan ser transferidos a la comunidad. El rigor en el desarrollo de estos estudios es clave porque es probable que en el intertanto ocurran nuevos desastres que desvíen la atención del I+D+i por la contingencia generada. Este proyecto es un proyecto de mediano-largo plazo y es clave asegurar su consistencia a través del tiempo.

Requerimientos y consideraciones para su implementación La priorización en el desarrollo del estudio de escenarios debe estar vinculada a la ejecución de los Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria expuestos anteriormente (Tarea 3), priorizando el desarrollo de los escenarios que incluyan a dichas comunidades.

Un estudio realista de escenarios requiere de información de alta calidad y con una resolución (detalle) que sea adecuado al problema en estudio. Un aspecto clave resulta ser la validez de las predicciones obtenidas a partir de estos escenarios, para lo que es necesario etapas de calibración y validación empírica, ya sea con otros eventos previos o eventos menores. Es necesario avanzar en la caracterización detallada de las amenazas (Tarea 10) para los territorios priorizados, en el levantamiento de los modelos de exposición, y en la caracterización de las distintas vulnerabilidades sociales y físicas. Para esto se reconoce como una oportunidad la aplicación de tecnologías y aplicaciones que permitan mejorar la captura de datos a nivel local, lo que debe ser adecuadamente articulado con las acciones de la Tarea 6 (Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes) y las acciones del Observatorio Nacional para la Resiliencia (Sección 3.2.d), además de la integración con la información existente y disponible en otros organismos como el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), la base de datos del Visor GRD de ONEMI, etc. En cuanto a la evaluación de daños y pérdidas, se deberán considerar el uso de las metodologías, herramientas y plataformas más actualizadas, las que deben ser adaptadas a la realidad nacional, por lo que esta tarea debe estar constantemente retroalimentándose con la Tarea 8 (Simulación de las Pérdidas y Evaluación del

Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres) descrita a continuación. Para que todo este desarrollo pueda tomar forma, es indispensable como condición habilitante el Desarrollo de Capital Humano Avanzado en temas de riesgo y resiliencia (Sección 3.2.c), que tienda puentes con las distintas instituciones y comunidades involucradas y defina un marco teórico común con objetivos claros en un acuerdo nacional científico-técnico que busque responder las preguntas más acuciantes en dirección de lograr una mayor resiliencia frente a desastres (Tarea 8).

Se espera que los escenarios propuestos y sus resultados sean validados localmente por los distintos actores y comunidades, recogiendo adecuadamente sus inquietudes y respondiendo a las necesidades reales que ellos tienen en los distintos territorios en estudio. Esto puede contribuir a asegurar la transferencia efectiva de los resultados obtenidos, logrando el impacto esperado con el desarrollo de estos escenarios en términos de una mayor resiliencia. Otro aspecto clave es el aprovechamiento de estos estudios para evaluar distintas medidas de mitigación físicas y sociales producto de los impactos de las distintas amenazas, creando así una oportunidad de vincularse con las comunidades y actores no solo en la transferencia sino en el desarrollo mismo de estos proyectos de mitigación (Tarea 9) a través de los programas de *Outreach* y Divulgación Científica propuestos (Sección 3.2.e).

Tarea 8

Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente a Desastres

Una evaluación integral de las pérdidas y el riesgo frente a amenazas naturales no puede ser realizada exclusivamente en base al estudio de escenarios y requiere de un planteamiento alternativo que incluya las distintas fuentes de incertidumbres que caracterizan a cada amenaza y a la respuesta de los sistemas considerados en la evaluación de dicho riesgo. A pesar de que los estudios de escenarios determinísticos contribuyen de manera sustantiva a la comprensión del efecto de las amenazas naturales y sus consecuencias sobre el entorno físico, social y económico, los tomadores de decisión requieren la mayoría de las veces evaluar el riesgo medido a través de distintas respuestas asociadas a variables de decisión relevantes, las que deben ser analizadas bajo un marco estocástico, como pueden ser el número de víctimas, los tiempos de paralización de actividades, o el mismo costo. Esto implica utilizar un gran número de realizaciones de eventos que capturen la incertidumbre inherente a la perturbación causada por el mismo fenómeno, como también la incertidumbre del propio sistema en relación a su capacidad y a la demanda causada por la misma amenaza. Un modelo de riesgo permite además estudiar grandes portafolios de sistemas que de otra manera sería poco realista poder realizar. Ambos modelos, tanto determinísticos (escenarios) como probabilísticos (realizaciones) proveen entonces resultados que son complementarios y de gran interés para los tomadores de decisión. Esta tarea, a diferencia de la anterior, enfatiza la determinación probabilística del riesgo asociado a las distintas pérdidas frente a desastres y al estudio de la resiliencia de los sistemas bajo el mismo marco conceptual de riesgo.

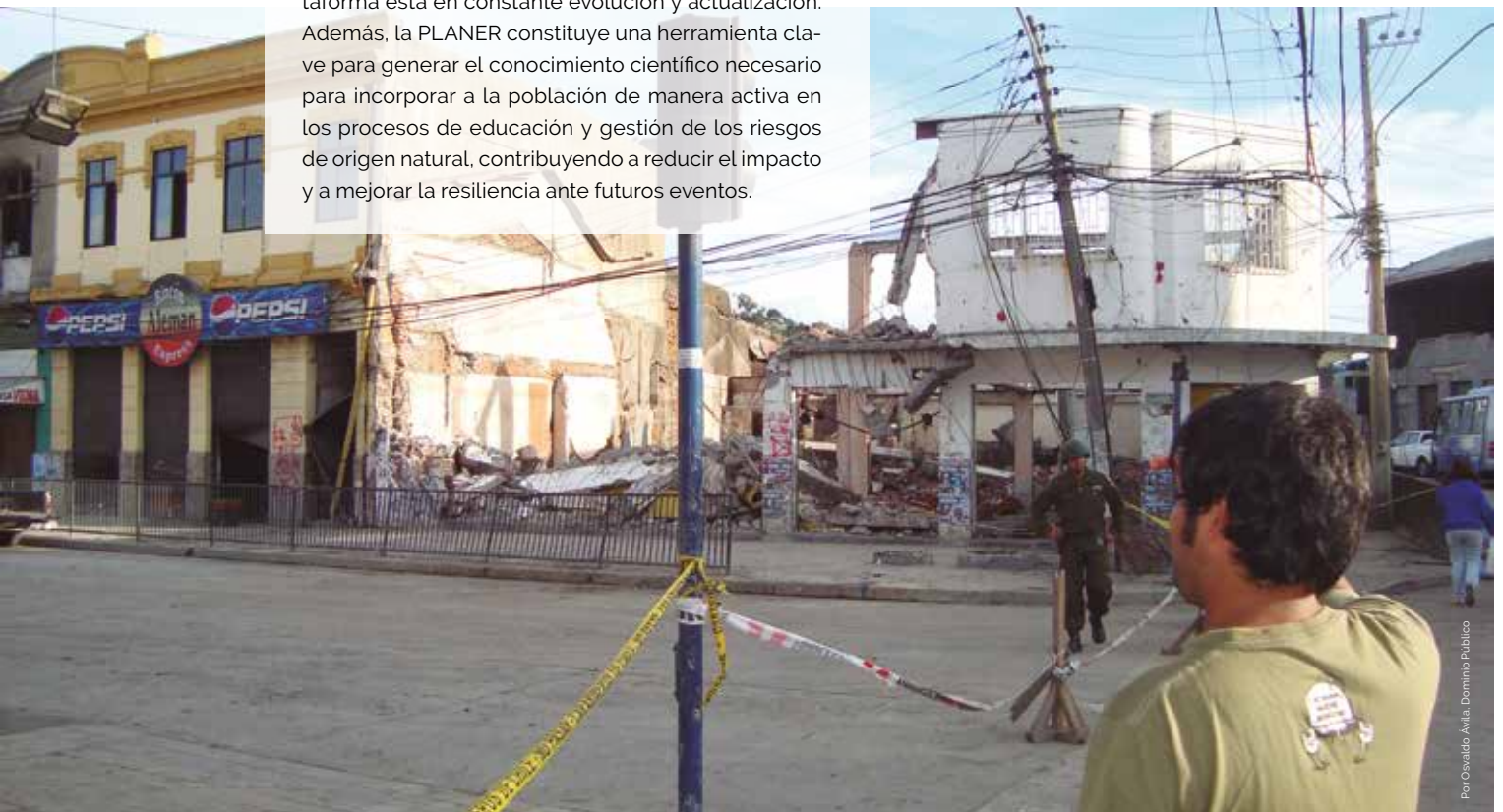
La principal diferencia entre el estudio de escenarios y el enfoque probabilístico para la evaluación de riesgo es que los estudios de escenario asumen como conocida la ocurrencia del evento en estudio (i.e., consideran total certeza en la ocurrencia y tipo de evento), mientras que la evaluación probabilística de riesgo incorpora la incertidumbre de dicha ocurrencia y tipo de evento en una zona geográfica específica. De este modo, mientras un estudio de escenario considera la ocurrencia de solo un, o unos pocos, eventos extremos en un determinado instante de tiempo (p.ej., el terremoto más intenso esperado en la zona norte de Chile), la evaluación del riesgo considera el potencial impacto de todos los posibles eventos, cada uno de ellos asociado a una probabilidad de ocurrencia en una determinada ventana de tiempo (p.ej., considera todos los posibles terremotos que podrían ocurrir en dicha zona geográfica dentro de los próximos 50 años) los que pueden entregar un riesgo asociado distinto al del peor escenario esperado por sí solo.

Consecuentemente, para poder gestionar adecuadamente el riesgo de desastres de origen natural, el país debe avanzar en la construcción de capacidades para su análisis y evaluación, e incorporar estas capacidades en las prácticas profesionales corrientes del diseño y la gestión de los entornos físico, social y económico. Para ello es imprescindible construir herramientas avanzadas que estimen numéricamente las pérdidas, evalúen el riesgo y la resiliencia de los distintos sistemas. En la evaluación de riesgo y resiliencia, una de las claves es el modelamiento de la interacción entre los sistemas y las personas y comunidades (p.ej., en procesos de evacuación). Un requisito de estas evaluaciones es considerar las múltiples amenazas sobre un determinado entorno en conjunto con sus correlaciones temporales y espaciales, junto con los eventuales cambios producidos en el entorno como resultado del mismo evento.

El estudio y evaluación del riesgo requiere integrar el conocimiento y la información disponible proveniente de muy distintas disciplinas, como mínimo de las ciencias de la tierra, la ingeniería, el desarrollo urbano y las ciencias sociales, en alguna plataforma de evaluación de riesgo y resiliencia. Mundialmente existen distintas plataformas que permiten evaluaciones similares y es posible construir sobre ellas lo que el país requiere. Sin embargo, cada nación tiene particularidades que hacen necesaria esta adaptación y la incorporación de conocimiento local. Esta tarea debe garantizar que las estimaciones de pérdidas, el riesgo y la resiliencia estimadas correspondan a la realidad de Chile y provean información confiable para la toma de decisiones. Una de las mayores debilidades a nivel mundial es la estimación de los procesos de recuperación post-evento de los ecosistemas sociales, físicos y económicos, y los costos directos e indirectos asociados.

Situación país post-estrategia a 20 años

El país ha alcanzado una capacidad instalada importante de simulación y evaluación de pérdidas producidas por las distintas amenazas naturales. El estado del conocimiento sobre la caracterización de amenazas, exposición y vulnerabilidad de comunidades, sistemas e infraestructura, y la evaluación de los riesgos, pérdidas y resiliencia asociadas, se encuentra integrado en la Plataforma Nacional de Evaluación de Riesgos (PLANER) a través de un sistema computacional validado y usado transversalmente por los actores relevantes involucrados. Esto implica que la PLANER es utilizada no solo para realizar investigación, sino también en el ámbito de la práctica profesional (el diseño), la planificación, y la gestión integral de los potenciales riesgos asociados a distintas amenazas naturales. La plataforma realiza estimaciones fundadas en base a la información técnica confiable que se genera a partir del motor de investigación y desarrollo sobre los eventos naturales y sus consecuencias tanto en Chile como en el mundo. La plataforma está en constante evolución y actualización. Además, la PLANER constituye una herramienta clave para generar el conocimiento científico necesario para incorporar a la población de manera activa en los procesos de educación y gestión de los riesgos de origen natural, contribuyendo a reducir el impacto y a mejorar la resiliencia ante futuros eventos.



Acciones por realizar

En base al diagnóstico presentado, se reconoce la necesidad urgente de que el país avance en la construcción de capacidades de simulación y evaluación del riesgo y resiliencia de sus sistemas fundamentales a nivel físico, social, y económico. Si bien las metodologías son conocidas, la creación de estas capacidades requiere de un importante conocimiento e información local, la que no se encuentra disponible en el país. Estas capacidades deben permitir proyectar las pérdidas económicas directas e indirectas de los desastres, estimar el impacto sobre las comunidades y personas, definir el impacto sobre el medio ambiente, permitir la evaluación de diversas medidas de mitigación, calcular la resiliencia de los distintos sistemas físicos, identificar condiciones críticas en el entorno construido, social y económico, y permitir evaluar, para intervenir desde el diseño, los distintos sistemas para que se encaucen en el propósito de una mayor resiliencia. El sistema desarrollado puede ser a su vez un sistema de sistemas, en el sentido de que integre capacidades muy diversas que provengan de áreas completamente distintas del conocimiento con miradas que son diversas. La gran complejidad de este desarrollo en tecnologías de la información está precisamente en incorporar la capacidad de hacer conversar a los distintos sistemas, algunos existentes y otros nuevos, y a alinear a las comunidades científicas y tecnológicas para que constantemente vayan nutriendo esta plataforma con nuevos avances metodológicos e información. Ninguno de los sistemas disponibles en el mundo es capaz de producir esta interacción entre las consecuencias en los entornos físico, social y económico de los desastres, por lo que esto es una gran oportunidad diferenciadora hacia el mundo.

En resumen, para poder llevar a cabo esta tarea, se propone la creación de una Plataforma Nacional de Evaluación de Riesgos de Origen Natural (PLANER) que considere un gran consenso entre los actores nacionales involucrados en el I+D+i. Esta plataforma será implementada sobre sistemas computacionales de HPC (y *big data*) donde se integrarán los distintos resultados y avances de investigación bajo un mismo marco conceptual de riesgo. Su objetivo es impulsar el avance del conocimiento asociado a los riesgos de origen natural construyendo sobre capacidades existentes y aportando nuevos desarrollos con el fin de mejorar la respuesta y resiliencia del país frente a estos eventos extremos. La investigación realizada en el país en relación a los procesos físicos de las distintas amenazas (p.ej., generación, propagación, condiciones locales, predicción), la exposición de los distintos entornos (p.ej., modelos de exposición social y física), la vulnerabilidad de los distintos sistemas (p.ej., fragilidad de sistemas y redes), la evaluación del riesgo y la resiliencia (p.ej., modelos de riesgo, propagación de la incertidumbre en estos modelos), y los efectos de los fenómenos sobre los territorios (p.ej., evaluación de pérdidas directas e indirectas), todos deben contribuir a mejorar la calidad de cada una de las etapas del ciclo de riesgo, permitiendo la permanente actualización de la plataforma. Si bien la PLANER será diseñada para el avance del I+D+i, sus salidas son todas asociadas a los procesos de toma de decisión requeridos por los distintos actores nacionales a cargo del manejo y gestión del riesgo. Esta plataforma debiera diseñarse a partir de las experiencias internacionales que ya han avanzado mucho en desarrollos similares, como la plataforma OpenQuake en Italia a cargo de la Fundación GEM¹⁷, pero ir mucho más allá en la integración de disciplinas afines, la incorporación de modelos de exposición desde el mundo privado y público, la incorporación de conocimiento local en todos los ámbitos, y el manejo de la complejidad.

17 Disponible en <https://www.globalquakemodel.org/openquake/about/>

Se prevé que la integración y actualización de la PLANER funcione de manera similar a como lo hacen diversas plataformas colaborativas existentes (p.ej., el software OpenSees¹⁸ desarrollado en PEER), en que los investigadores de todo el mundo empaquetan sus resultados de investigación en un formato específico y contribuyen al desarrollo constante de la plataforma de manera gratuita. Esta no es una iniciativa de unos pocos años, sino de muy largo plazo que debe ser cuidadosamente diseñada para que nazca desde ella mucha innovación que apoye el pilar de desarrollo propuesto en esta Estrategia. A través de la creación de PLANER se propician también un gran número de bienes públicos. Entre ellos están la generación de una comunidad colaborativa en el I+D+i orientada al estudio de los riesgos de origen natural y la resiliencia en el país, la mejora de capacidades transversalmente en todo el país impidiendo la captura de temas por ciertos grupos, el avance constante en la evaluación del riesgo frente a amenazas naturales, la evaluación de la resiliencia de los distintos sistemas complejos, la reducción en el impacto a lo largo del país sobre los distintos ecosistemas y entornos, y la interacción entre los distintos actores del mundo privado y público en torno a preocupaciones compartidas. Esta tarea es integradora de muchas otras tareas y requiere de una permanente identificación de las interacciones más relevantes entre los sistemas físicos, sociales y el sistema económico (p.ej., evacuación, respuesta de comunidades a desastres). Lo que busca esta tarea es focalizar los recursos del I+D+i con un propósito y sentido claro, aumentar constantemente la resiliencia del entorno físico, social y económico de Chile frente a desastres de origen natural.

Para que el país avance en el conocimiento sobre los temas de riesgo y resiliencia, se reconocen tareas y oportunidades de I+D+i específicas no solo al diseño y construcción del PLANER, sino que también de la investigación y desarrollo sobre preguntas fundamentales que constituyen la base y mejoramiento de cualquier plataforma, las que deben ser abordadas en el largo plazo.

En particular, se proponen las siguientes acciones:

Proyecto 1

Diseño conceptual y desarrollo de la Plataforma Nacional de Evaluación de Riesgos y Resiliencia PLANER.

Este proyecto se ejecutará entre los años 1 y 4, e incluye:

- Diseñar conceptualmente la Plataforma y los sistemas computacionales que la sustentarán;
- Desarrollar el código del programa;
- Desarrollar una agenda específica de I+D+i en evaluación de riesgo de desastres de origen natural sujeta al escrutinio y evaluación mundial y a procesos de retroalimentación técnica permanente;
- Implementar los sistemas computacionales de PLANER;
- Validar los resultados de PLANER con experiencias locales y mundiales.

¹⁸ Más información en <http://opensees.berkeley.edu/index.php>

Proyecto 2

Implementación, mantención y soporte de la Plataforma.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 4 y 20, e incluye:

- Implementar los mecanismos de incentivos a la investigación y desarrollo para que nutran y retroalimenten a PLANER;
- Difundir la herramienta entre los actores relevantes en el país (i.e., investigadores, autoridades centrales y locales, planificadores, tomadores de decisión, industrias de seguros, etc.) y capacitarlos para su uso en las distintas fases del ciclo de la gestión de riesgo de desastres;
- Desarrollar y mantener una capacidad de soporte técnico para PLANER, que interactúe con los usuarios y genere una mejora permanente, manteniendo la Plataforma y sus sistemas de soporte actualizados.

Proyecto 3

Modelamiento computacional de los procesos de evacuación.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5, e incluye:

- Desarrollar modelos de simulación computacional para evacuación de comunidades ante amenazas naturales (p.ej., evacuación por tsunami o por erupciones volcánicas). Se deben complejizar los modelos de modo de considerar los cambios físicos del entorno post-evento y el ordenamiento territorial urbano;
- Validar los modelos con evidencia empírica a partir de los simulacros coordinados por instituciones públicas y privadas;
- Empaquetar los desarrollos en modelamiento para innovación y transferencia tecnológica de resultados y capacidades a instituciones que participen de la gestión del riesgo y a tomadores de decisión;
- Desarrollar metodologías y planes para la mejora en los procesos de evacuación en diferentes entornos y amenazas.

Proyecto 4

Investigación para la evaluación del riesgo y la resiliencia.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye:

- Estudiar, adaptar, desarrollar y calibrar las plataformas de riesgo actualmente disponibles (p.ej., HAZUS-MH, OpenQuake, CAPRA, SELENA) con información local para estudios de riesgo y resiliencia en el territorio nacional;
- Caracterizar la vulnerabilidad de los sistemas físicos (p. ej., infraestructura aislada, interconectada y sistemas complejos) frente a las distintas amenazas naturales;
- Integrar la vulnerabilidad social (resultado de Tarea 1) en los modelos de riesgo para evaluación integrada de sistemas físicos y su interacción con personas y comunidades;
- Caracterizar el error e incertidumbre y su propagación en los modelos de evaluación de riesgo;
- Evaluar resiliencia en distintos sistemas complejos;
- Generar modelos de estimación de impacto y pérdidas sociales, económicas, ambientales y físicas directas e indirectas;
- Caracterizar los mecanismos de toma de decisiones de las instituciones en Chile frente a escenarios de desastres.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

El desarrollo de la plataforma de evaluación de riesgo y resiliencia requerirá de un trabajo conceptual inicial que permitirá establecer el marco de desarrollo computacional más apropiado para producir la integración y desarrollo en el tiempo de las distintas componentes existentes. En una primera instancia se prevé que la integración de diversas componentes de software ya existentes más el desarrollo de nuevas interfaces que faciliten esta integración de bases de datos y motores computacionales es el camino a seguir para este desarrollo. Durante el mismo diseño de PLANER se podrá identificar qué variables de interés requieren de mayor investigación debido a su actual desarrollo en el país, por lo que es clave también que durante la implementación de esta tarea se articule el trabajo de I+D+i con lo planteado en las tareas 1, 3 y 10.

Es un objetivo también que la plataforma PLANER sea vinculada desde su concepción y diseño con la componente de educación y extensión en los distintos niveles de la sociedad (i.e., escolar, científico, profesional y público general), de modo de que sus resultados permitan por una parte apoyar las actividades de preparación y educación de la población a nivel local mediante la conexión con un programa efectivo de *Outreach* y Divulgación Científica (Sección 3.2.e), y por otra, con el desarrollo de innovación. Para que esta plataforma, que no es otra cosa que un espacio de simulación virtual de la respuesta y recuperación del entorno físico, social y económico frente a desastres de origen natural, tenga cabida e influencie los procesos formales de diseño y toma de decisiones a nivel central y local, es importante que dicho motor de simulación considere las restricciones existentes e integre constantemente el marco normativo vigente en los ámbitos descritos.

Otro aspecto central al éxito de PLANER es que las instituciones técnicas del Estado (p.ej., institutos y servicios) fortalezcan sus capacidades de capital humano actuales para que puedan hacer uso extensivo de esta plataforma de evaluación de riesgo y resiliencia. Sin ello, este gran desarrollo quedará supeditado al ámbito de la investigación, limitando así enormemente su impacto social. Para ello es crítico que equipos de profesionales del Estado participen activamente en el diseño y desarrollo de la investigación aplicada en conjunto con investigadores de las universidades y centros de investigación, capacitándose en el uso de la plataforma y asegurando automáticamente la transferencia del conocimiento a las distintas funciones, tareas y responsabilidades que ellos desarrollan en el Estado. El éxito de esta plataforma requiere también de un marco legal robusto y coherente en relación a la disponibilidad y uso de los mejores datos e información disponible proveniente de los distintos ministerios y servicios (p.ej., ubicación y características de instalaciones críticas y estratégicas), de forma de permitir evaluaciones de riesgo y la resiliencia que sean correctas.

Tarea 9

Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido

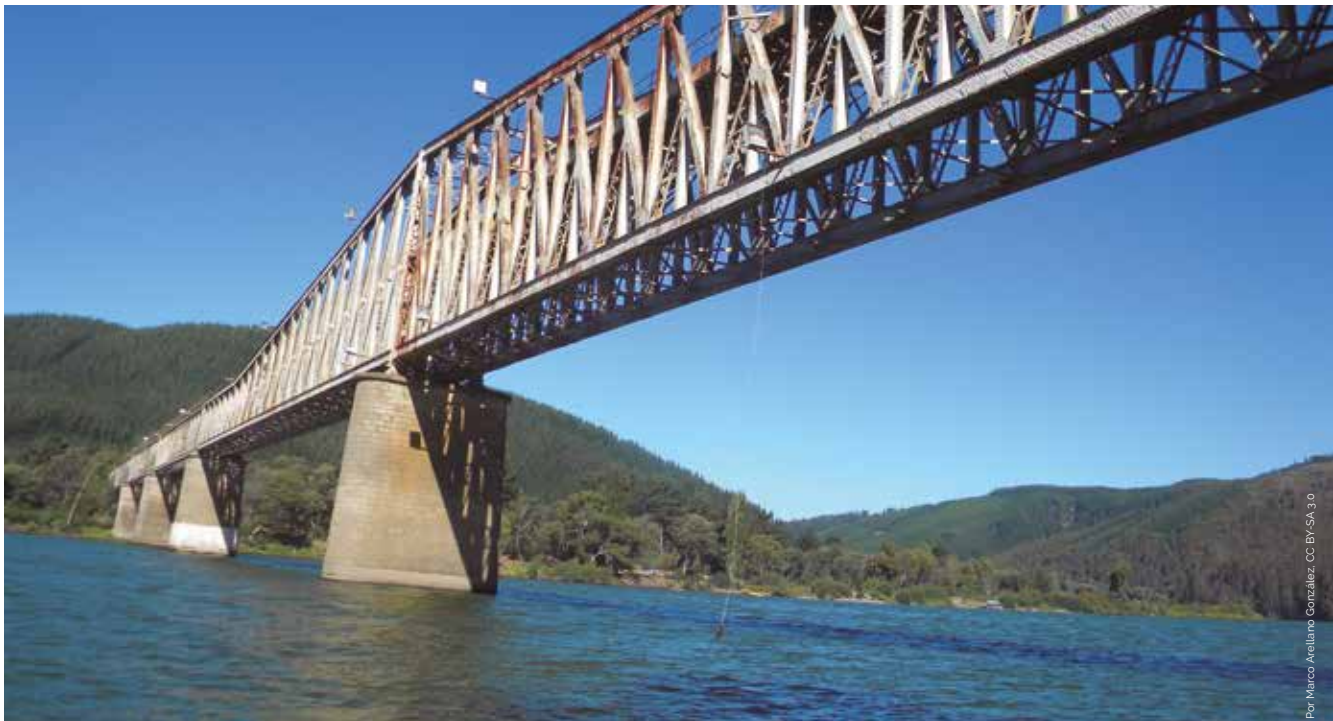
Una gran parte del impacto de los desastres de origen natural se manifiesta sobre el entorno construido, y si bien un amplio porcentaje de este stock cumple con estándares de desarrollo y construcción adecuados, existen diversas razones que explican la inevitable ocurrencia de daño en un evento extremo. Este daño se justifica en primer lugar por el envejecimiento de los sistemas ocasionado por la inadecuada mantención y el deterioro natural que ocasiona el tiempo, la acumulación de daño en eventos previos, la interferencia con otros sistemas (p.ej., aguas arriba en el caso de un aluvión), o por errores de diseño y constructivos, entre muchas otras posibilidades. También existe una parte del entorno construido que posee menores estándares, ya que fue diseñado probablemente con estándares inferiores o en tiempos de la historia en que se carecía del nivel de conocimiento actual, y que no aseguran las condiciones necesarias de seguridad en el uso y habitabilidad para las personas. Por otro lado, la localización de infraestructura crítica y habitacional en zonas de alto nivel de amenaza natural es una realidad y debe ser considerada con especial cuidado, al igual que otras condiciones propias del crecimiento urbano que afectan, negativa o positivamente, a la resiliencia.

Lo anterior demanda el desarrollo de medidas de mitigación, ya sea mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas o bien el desarrollo de nuevas normativas que permitan mejorar los estándares de vulnerabilidad de las construcciones existentes. Por ende, se requiere disponer de metodologías que permitan definir y calibrar estándares de infraestructura adecuados al nivel de desarrollo del país y su nivel de tolerancia frente al riesgo. Se necesita entonces continuar avanzando en el perfeccionamiento de metodologías calibradas y verosímiles de evaluación de inversiones públicas incorporando los conceptos de riesgo y resiliencia en estas evaluaciones. Del mismo modo, es clave seguir avanzando en la relación público-privada para garantizar la continuidad de operaciones de infraestructura, empresas y procesos críticos, a través del diseño de planes detallados de preparación y mitigación.

Para potenciar los avances en las tecnologías y los estándares destinados al mejoramiento del entorno construido, se requiere también contar con un marco más amplio complementario de ordenamiento territorial que permita asignaciones adecuadas al uso de suelo y la incorporación de planes y obras de mitigación sobre las zonas y sistemas afectados, considerando como principio rector el modificar de manera vinculante las zonas de riesgo. Los procesos de planificación territorial deben a su vez contemplar la participación ciudadana mediante instrumentos, mecanismos y modelos que promuevan el involucramiento comunitario en las distintas etapas del ciclo de riesgo, permitiendo así una mirada integral de fortalecimiento de la resiliencia del entorno físico y social.

Situación país post-estrategia a 20 años

El país ha sido capaz de mejorar su entorno construido haciéndolo más resiliente a través de la correcta evaluación, diseño y ejecución de diversas acciones de mitigación de los efectos producidos por eventos extremos. Se ha desarrollado un conjunto de innovaciones tecnológicas y normativas que han perfeccionado los estándares de riesgo y resiliencia de la infraestructura pública y privada. Se ha fortalecido el Sistema Nacional de Inversiones con modelos de ordenamiento territorial que regulan las condiciones normativas para las distintas inversiones, los mecanismos de transferencia de riesgos, y las estrategias de continuidad operativa.



Acciones por realizar

El mejoramiento del entorno construido y la consecuente mejora de la resiliencia en comunidades requiere el desarrollo de I+D+i que proporcione la evidencia para la generación de innovación tecnológica y el mejoramiento de estándares de diseño y construcción, los que deben redundar en una mayor seguridad para la infraestructura y población al disminuir sus niveles de exposición y vulnerabilidad, además de reducir las pérdidas físicas, sociales y económicas esperadas. Es imprescindible investigar sobre nuevas formas de ordenamiento del territorio, que teniendo como insumo la caracterización de la amenaza, permita identificar el impacto en zonas de riesgo principalmente dentro de las áreas urbanas, de manera de poder avanzar en la planificación de las acciones de mitigación necesarias para minimizar los efectos de estos desastres. Más en detalle, los proyectos propuestos son:

Proyecto 1

Umbrales y tolerancia al riesgo.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5, e incluye:

- Investigar los umbrales y tolerancia al riesgo en personas, distintas comunidades a lo largo del país, e instituciones públicas y privadas;
- Segmentar la definición de estos umbrales por sector, de modo de poder alimentar las políticas sectoriales de reducción del riesgo frente a desastres en el país.

Proyecto 2

Mecanismos de evaluación de inversiones públicas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 3, e incluye:

- Fortalecer el trabajo que han iniciado colaborativamente MDS, ONEMI, CIGIDEN, MOP y otros actores para incorporar la variable de riesgo en la evaluación de inversiones públicas, impulsado por la acción 4.5.1 del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres;
- Desarrollar mecanismos de evaluación de los beneficios, atribuibles a mejoras en el diseño conducentes a una mayor resiliencia de la infraestructura y/o comunidades, para ser utilizado en el mejoramiento del Sistema Nacional de Inversiones;
- Investigar y desarrollar un conjunto de metodologías estandarizadas para la evaluación de distintas obras de mitigación emplazadas en zonas de riesgo.

Proyecto 3

Mitigación y mejoramiento de estándares.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye:

- Desarrollar programas de investigación que aborden los cambios que requieren a lo largo del tiempo los Instrumentos de Planificación Territorial indicativos y normativos para incorporar el riesgo frente a amenazas naturales tanto a nivel urbano como rural, generando condiciones específicas en territorios con peligrosidad natural;
- Definir un mecanismo para discusión, actualización y creación de nuevas normas de carácter continuo para Chile, incluyendo a todos los actores intervinientes, de qué manera se sancionan, y qué plazos y presupuestos se destinan para este fin.

Proyecto 4

Gestión de la continuidad de negocio.

Este proyecto a ejecutar entre los años 1 y 10, incluye:

- Desarrollar metodologías y criterios para la elaboración de planes de continuidad de negocio y planes de recuperación frente a desastres para el sector público y privado;
- Investigar y definir requerimientos para empresas públicas y privadas de distintos tamaños en relación a la generación de planes de continuidad y recuperación del negocio frente a desastres de origen natural;
- Fortalecer las alianzas público-privadas existentes para el desarrollo de una agenda de I+D+i enfocada en la continuidad de negocios en sectores prioritarios asociados a líneas vitales (p.ej., telecomunicaciones, agua potable, red vial, saneamiento) e industrias críticas de servicios (p.ej., sector financiero, bancos, etc.).

Proyecto 5

I+D+i para la planificación territorial

Este proyecto se ejecutaría entre los años 5 y 9, e incluye:

- Realizar la evaluación socioeconómica de los cambios propuestos por los instrumentos y herramientas tanto de planificación como de gestión territorial en las áreas de riesgo frente a amenazas naturales;
- Investigar formas de introducir el concepto de resiliencia en todas las herramientas de planificación y gestión territorial;
- Definir protocolos y acciones para la mitigación del riesgo y el aumento en resiliencia de la infraestructura existente emplazada en zonas críticas de acuerdo a nuevos instrumentos de planificación territorial;
- Revisar y actualizar y los criterios asociados a riesgos naturales en la Política Nacional y los planes regionales de ordenamiento territorial;
- Investigar la incorporación del análisis multi-amenaza en instrumentos de planificación y gestión territorial de manera vinculante;
- Integrar la PLANER (Tarea 8) como herramienta para el diseño de medidas de mitigación a través de la evaluación de instrumentos y mecanismos de planificación territorial;
- Desarrollar mecanismos para la evaluación y actualización de los planes de ordenamiento territorial usando la PLANER, y para su uso como herramienta de gestión del riesgo a nivel local, incluyendo el desarrollo de recomendaciones para la modificación de la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Proyecto 6

Monitoreo y mejoramiento de la infraestructura existente.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 5 y 20, e incluye:

- Investigar, desarrollar, implementar y validar una metodología en base a indicadores que permita evaluar el estado actual y el desempeño esperado del parque de estructuras y sistemas en general frente a la existencia de distintas amenazas naturales extremas, y con ello informar el desarrollo de medidas de mitigación;
- Desarrollar y aplicar tecnologías y procedimientos de monitoreo de la salud del entorno construido, en particular de la infraestructura crítica de forma de mejorar los modelos predictivos de evaluación de riesgo multi-amenaza y las normativas vigentes;

- Catastrar y cuantificar las necesidades de reforzamiento y relocalización de la infraestructura altamente vulnerable ubicada en zonas de riesgo, con priorización en la infraestructura habitacional y de carácter crítico y estratégico;
- Generar recomendaciones de ajustes normativos en la Ley y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones para facilitar la intervención de estructuras y sistemas (p.ej., redes de agua, distribución eléctrica, etc.) que requieran de reforzamiento o relocalización.

Proyecto 7

Productos innovadores para el aseguramiento y financiamiento del riesgo.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 5 y 10, e incluye:

- Investigar y diseñar nuevos productos de aseguramiento y financiamiento del riesgo financiero asociado al impacto de fenómenos naturales en el Estado y sector privado junto a la industria de seguros y reaseguros a partir de los resultados de los estudios de escenarios (Tarea 7) y evaluación del riesgo (Tarea 8), a partir de la PLANER y del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres;
- Desarrollar metodologías para la definición de pérdidas y primas de seguros y reaseguros según evolución de los riesgos de origen natural en el tiempo;
- Investigar nuevos instrumentos financieros de riesgo que puedan ser piloteados en Chile para su uso luego en países expuestos a condiciones similares;
- Diseñar incentivos en créditos y/u otros instrumentos financieros que incentiven la mitigación de los riesgos en la infraestructura residencial, infraestructura crítica y líneas vitales, creando así una "demanda por resiliencia".

Requerimientos y consideraciones para su implementación

La planificación de obras de mitigación que permitan preparar mejor al entorno construido frente a un evento extremo, asegurar la habitabilidad de las personas luego de este evento, y lograr la continuidad de los servicios y operaciones, necesita nutrirse no solo de una buena caracterización de la amenaza (Tarea 10) y estimación del riesgo asociado (Tarea 8), sino también impone una demanda de investigación sobre sistemas de monitoreo y alerta temprana con fines predictivos (tareas 11 y 13) que permitan a la población estar mejor preparada, reaccionar más rápidamente tomando las medidas necesarias post-evento para resguardar la seguridad personal, como por ejemplo en los procesos de evacuación (tareas 7 y 14), y asegurar el resguardo adecuado de su bienestar.

El mejoramiento de los estándares de resiliencia y su incorporación dentro de los instrumentos de planificación y gestión territorial debe sustentarse en evidencia generada por metodologías validadas de evaluación del riesgo para así definir técnica y socioeconómicamente las mejores alternativas de mitigación de los impactos en los sistemas del entorno físico, social y económico (tareas 7 y 8).

Tarea 10

Física de los Procesos de Amenazas Naturales

La comprensión de la física de los procesos de amenazas naturales es una tarea difícil dada las complejas interrelaciones espaciales y temporales que se conjugan en ellas, y la dificultad que plantea su pronóstico para diseñar las etapas de respuesta y recuperación.

Es por esto que se hace necesario avanzar en su investigación, tanto de manera individual por tipo de amenaza, como en configuraciones de multi-amenaza. Para esto último se requiere integrar diferentes grupos de trabajo, abriendo las posibilidades a una evolución en la descripción probabilística de estos fenómenos con fines predictivos, a escala local, que informe la toma de decisiones y mejore los procesos de gestión del riesgo de desastres de origen natural.

La tarea tiene como objetivo proponer una estrategia de I+D+i para la investigación científica que permita avanzar en la comprensión de los procesos naturales, su generación y propagación desde la fuente hasta el sitio de emplazamiento de los sistemas, que mejore la capacidad predictiva de teorías y modelos que permitan anticipar sus consecuencias usualmente devastadoras consecuencias en la sociedad.

Situación país post- estrategia a 20 años

El país ha avanzado en una visión y comprensión multi-amenaza de los fenómenos físicos asociados a las distintas amenazas naturales a que se enfrenta el país, su interrelación temporal, y sus efectos cascada con un foco territorial (escala local). Se ha progresado en comprender los fenómenos desde la particularidad de la geografía chilena, exportando el conocimiento asociado a otras realidades similares. Los datos e información generada por fondos públicos (p.ej., CONICYT, CORFO) e instituciones públicas (p.ej., CSN, SHOA, DMC, CONAF, SERNAGEOMIN) y privadas (p.ej., estudios de mecánica de suelos para obras de construcción, estudios presentados en evaluaciones de impacto ambiental) están integrados y a libre disposición en la Infraestructura de Datos para su uso en el I+D+i y la gestión del riesgo en Chile y en el extranjero.

Existe una buena integración entre grupos de investigación, instituciones de monitoreo y organismos de gestión de riesgo. Esta integración ha tenido un impacto importante en las normativas y políticas que regulan la planificación territorial, y que apoyan a autoridades y tomadores de decisiones al momento de impulsar acciones que permitan mitigar las consecuencias de fenómenos naturales y aumentar la resiliencia del entorno construido, social y económico.



Acciones por realizar

Para avanzar en la comprensión de los procesos físicos asociados a las amenazas naturales en Chile, se propone tomar acciones de I+D+i en los siguientes temas:

Proyecto 1

Mejorar la base de datos de eventos naturales históricos en el territorio nacional y caracterizar sus modelos de recurrencia para avanzar en la descripción probabilística de las amenazas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 7, y considera el uso de metodologías estadísticas y de paleo-evidencia para el estudio de fenómenos y zonas con poca información instrumental e histórica. Esta tarea debe ser adecuadamente articulada con la Tarea 11, de modo que el plan de instrumentación propuesto permita mantener actualizado dicho catálogo para futuros desarrollos de I+D+i en Chile y el mundo, y debe considerar al menos las siguientes etapas:

- Levantar la información existente (años 1 al 4);
- Definir el criterio de priorización de información faltante a generar por cada una de las amenazas (años 1 al 4);
- Desarrollar los estudios para completar la información faltante (años 5 al 7).

Proyecto 2

Adaptación, calibración, desarrollo, mejoramiento y actualización de modelos de amenazas naturales con el fin de mejorar su capacidad predictiva.

Dichos modelos deben describir adecuadamente los procesos de generación y propagación de los fenómenos, considerando los efectos locales (o de sitio) en el territorio en estudio. Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 20, e incluye:

- Desarrollar investigación de base que permita integrar y definir el criterio de evaluación de los distintos modelos y realizar dichas evaluaciones por cada tipo de amenaza;
- Investigar y desarrollar mejoras en los modelos en base a las brechas detectadas en el conocimiento de nuestros eventos extremos.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para focalizar la investigación asociada a la Tarea 10, es necesario contar con una priorización de los territorios. De este modo, los recursos de investigación se pueden dirigir para caracterizar con la mayor precisión las amenazas naturales en dichos territorios, contribuyendo a la implementación de la Estrategia en los proyectos demostrativos (Tarea 3). El criterio de selección de algunos territorios de estudio debe ser muy pensado ya que puede existir un "trade-off" entre obtener una mejor definición de las amenazas para su estudio científico, y el potencial riesgo causado por dichas amenazas en el entorno físico, social y económico en dicho territorio.

Del mismo modo, y para optimizar el uso de recursos, es necesario contar con toda la información disponible para la infraestructura de datos que está impulsando esta Estrategia (Sección 3.2.b), agrupando los resultados de los proyectos de investigación previos, propiciando el aprendizaje entre investigadores y el fortalecimiento de redes entre grupos nacionales e internacionales.

La información de base es un requerimiento clave para estudios de amenazas naturales y es por eso que esta necesidad se cruza directamente con la condición habilitante de Integración de Datos e Información (sección 3.2.b).

La calidad de esta información en gran parte determina la calidad del resultado de la caracterización de la amenaza. En particular, se destacan los siguientes insumos críticos que deben estar disponibles en la plataforma de datos abierta para fomentar el I+D+i: (i) resultados generados por terceros (i.e., insumos para la investigación); (ii) topografía y batimetría (fondo marino, cauces) a resolución espacial compatible con estudios de riesgo en los territorios prioritarios; (iii) información territorial detallada y actualizada periódicamente para evaluación de amenaza y riesgo generados a partir de investigación que es parte de esta Estrategia; (iv) estudios y mapas actualizados de exposición social (comunidades) y física, con énfasis en las construcciones residenciales, infraestructura crítica y líneas vitales; y (v) vulnerabilidad de las comunidades y de los activos físicos frente a los distintos tipos de amenazas para poder integrar la información y evaluar riesgo (Tarea 8).

Entendiendo que hay grandes capacidades instaladas en instituciones internacionales respecto a estos temas, se requiere avanzar en firmar convenios que permitan disponer de observaciones instrumentales que no están disponibles en Chile (p.ej., observaciones espaciales, equipos para infrasonido atmosférico y submarino). Del mismo modo, se requiere potenciar la colaboración entre el Estado, la academia y el mundo privado para mejorar las políticas públicas en base a la transferencia del avance en el conocimiento científico.

La estrategia de esta tarea debe estar acompañada de una inversión en mejoramiento de la instrumentación para monitoreo y observación de las amenazas naturales (Tarea 11), información que facilitará avanzar en el conocimiento en el país y fuera de Chile.

Finalmente, se refuerza la necesidad de invertir fuertemente en formación e inserción de capital humano avanzado en academia y centros de investigación (corto plazo), y en servicios públicos e instituciones privadas (largo plazo). Esta condición también ya fue recogida en otra condición habilitante descrita anteriormente (Sección 3.2.c).

A modo de consideraciones para la implementación, se identifican algunos principios posibles:

- Inversión focalizada para remediar en el mediano y largo plazo la asimetría de desarrollo y capacidades hoy instaladas en Chile entre los distintos fenómenos;
- Inversión en las mayores brechas de conocimiento detectadas en la caracterización de amenazas, por ejemplo, con mayor énfasis en conceptos de multi-amenaza;
- Focalización de investigación en amenazas y riesgo con alto detalle en territorios prioritarios;
- Orientación de la investigación con el fin último de mejorar la resiliencia de las comunidades, es decir, proveer el conocimiento y comunicarlo de manera que permita mejorar la gestión de los riesgos originados por amenazas naturales.

Tarea 11

Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales

La información de base científica permite aumentar la comprensión de los fenómenos naturales y sus interrelaciones. Al contar con una adecuada resolución espacial y temporal en su medición se puede contar con información más precisa sobre una serie de características del desarrollo y propagación de estas amenazas. Esto permite anticipar la fase de respuesta ante la emergencia, lo cual se lograría de mejor manera a través de la implementación de un Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte robusto y confiable con cobertura nacional.

El desarrollo de un sistema de monitoreo y reporte abre innumerables oportunidades tecnológicas y de desarrollo de I+D+i en las fases de transmisión, procesamiento y comunicación de datos, y requiere que se vele por la mantención de un sistema que involucre a todas las instituciones que aportan al sistema. También demanda una cantidad importante de capital humano especializado en el tema en sus diferentes fases de instalación, mantención, control y operación del instrumental desplegado (o no) en terreno, contar con capacidades en el procesamiento e interpretación de los datos y señales, y finalmente el diseño de plataformas de comunicación que desplieguen oportunamente e integren una importante cantidad de datos, eviten la pérdida de los mismos, y faciliten el trabajo de difusión y de toma de decisiones.

El volumen instalado de instrumentos instalado hoy en Chile no es capaz de dar cuenta del desarrollo y evolución de los procesos físicos como amenaza, lo que dificulta predicciones en relación a la generación de un desastre de origen natural y no permite actualmente reducir la incertidumbre que se genera especialmente en la fase de respuesta. Esto afecta las posibilidades de avanzar en acciones de preparación y mitigación concretas específicas para cada territorio.

Situación país post-estrategia a 20 años

El país cuenta con un Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales, con redes de monitoreo de adecuada resolución espacial y temporal con sensores específicos para la observación y monitoreo de cada fenómeno. El Sistema es capaz de evaluar la amenaza en zonas geográficas específicas de interés, detectar eventos de manera oportuna, y medir las características relevantes de los eventos para su comprensión y manejo. El monitoreo se realiza de manera descentralizada a lo largo y ancho del país, fomentando y aprovechando la distribución de los distintos grupos especializados en Chile. La necesidad de contar con mejor instrumentación ha propiciado un desarrollo tecnológico distintivo en el país en cuanto al diseño de nuevos instrumentos, sensores, tecnologías de captura, comunicación y transmisión de datos. Dichos desarrollos locales son incorporados de manera íntegra en este sistema de monitoreo y reporte.

La información estandarizada y almacenada en el sistema proporciona la base para el I+D+i de frontera conociendo las causas y efectos de las amenazas y sus impactos en la gestión de los riesgos naturales. El sistema cuenta con un mecanismo de reporte en distintas escalas temporales para su uso en la toma de decisiones, para el mejoramiento de los estándares y prácticas de diseño del entorno físico y social a escala de estructura, red y ciudad, para la evaluación de medidas de mitigación asociadas a estos diseños, y para la investigación científica que permitirá avanzar en la comprensión de la resiliencia.



Por Ingeniería UC



Por Ingeniería UC

Acciones por realizar

Para alcanzar la situación deseada en el horizonte de 20 años, se requieren acciones en dos grandes líneas. La primera tiene que ver con el desarrollo científico-tecnológico en sensores, transmisión, comunicación y procesamiento de datos; y la segunda, con la consolidación de un Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales. Para lo primero, se requiere incentivar la investigación colaborativa e interdisciplinaria entre grupos en ingeniería eléctrica, electrónica e informática, junto con grupos de investigadores centrados en los fenómenos de incendios forestales, amenazas de origen geológico, y amenazas hidro-meteorológicas.

Por otro lado, se espera que el Sistema de Monitoreo y Reporte tenga tres componentes fundamentales: (i) la Red Meteorológica Nacional, que integre la información actualmente provista por la DMC, los aeropuertos, la industria agrícola, y otras instituciones afines, e incluya estaciones en zonas boscosas que permita avanzar el conocimiento y control de incendios forestales; (ii) la Red de Observación Sismológica y de Tsunamis, que integre la información actualmente provista por CSN, SHOA, y otras instituciones afines; y (iii) la Red Nacional de Vigilancia Volcánica, hoy manejada por SERNAGEOMIN. Las redes no deben avanzar solo en la instrumentación in-situ, sino que también incorporar tecnologías satelitales, de observación remota, y no convencionales (p.ej., sensores de bajo costo, redes sociales) para el monitoreo del territorio nacional. El Sistema debe proveer datos para el desarrollo de I+D+i en el país y el mundo, y debe avanzar a un modelo de reporte de información que permita mejorar la resiliencia de las comunidades a partir de la gestión del riesgo. De este modo debe reportar información en tiempo real para mejorar los procesos de respuesta a la emergencia, y proveer información para mejorar las diversas prácticas de diseño y la normativa vigente en el país.

Se proponen los siguientes proyectos de I+D+i para ejecutar la tarea:

Proyecto 1

Catastro y reconocimiento de brechas de monitoreo en Chile.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 2, e incluye:

- Levantar detalladamente las capacidades de medición del país para cada una de las amenazas;
- Establecer las brechas instrumentales por amenaza;
- Catastrar, realizar un análisis completo y crear una base de datos pública con todos los instrumentos y redes de observación y monitoreo de amenazas naturales en Chile;
- Evaluar técnica y económicamente las brechas y priorizarlas.

Proyecto 2

Desarrollo de investigación y tecnología en datos y sensores.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 15, y considera al menos los siguientes temas a ser desarrollados para que el país pueda desarrollar tecnología útil para el monitoreo y observación de fenómenos naturales:

- Desarrollar sensores inalámbricos autónomos y de redes multi-paramétricas utilizables en condiciones extremas para monitoreo de amenazas naturales, como por ejemplo, monitoreo sísmico y de mareas, de condiciones de presión y temperatura desde el fondo marino, de condiciones climatológicas y precipitaciones en alta montaña, de parámetros relevantes para caracterizar la actividad volcánica en alta montaña y cerca de los cráteres de volcanes, de características del frente de llamas en incendios forestales con sensores desechables, entre otros. Las redes de sensores no solo deben ser capaces de detectar la ocurrencia o presencia de un fenómeno particular, sino que también deben poder entregar información detallada sobre la dinámica del fenómeno; por ejemplo, la evolución de un incendio en el tiempo, acoplándose con datos meteorológicos y del terreno que puedan ir variando durante el desarrollo del mismo fenómeno;
- Resolver el problema de comunicación entre sensores y centros de recolección de datos, abordando problemas en transmisión y almacenamiento masivo de datos;
- Generar tecnologías para alimentación de energía a los sensores en condiciones extremas;
- Desarrollar metodologías y modelos de procesamiento, análisis y disponibilidad de datos masivos generados por los instrumentos (p.ej., minería de datos) para su asimilación y uso eficiente en el I+D+i y toma de decisiones;
- Desarrollar herramientas con tecnologías de la información, control y comunicación para visualizar datos en tiempo real y reportar la información a la población de forma adecuada.

Proyecto 3

Creación del Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales.

Se consideran al menos las siguientes etapas:

- Diseñar un plan de instrumentación y observación de amenazas naturales, que considere al menos las siguientes instancias (años 3 y 4):
 - Evaluar el uso de nuevos instrumentos para el territorio nacional y desarrollar proyectos piloto de ser necesario;
 - Investigar la densificación necesaria de la red de monitoreo en zonas prioritarias con instrumentos convencionales y no convencionales. Esto considera no solo monitorear los fenómenos, sino también conocer la respuesta del entorno construido frente a eventos naturales (p.ej., instrumentación de edificios para avanzar el conocimiento en respuesta ante terremotos y réplicas), y el efecto de los eventos en las comunidades (p.ej., un sistema similar a *Did You Feel It?*¹⁹ del USGS, incorporando otras amenazas como incendios e inundaciones). La densificación debe ser tanto en cobertura espacial como temporal. Es clave que se considere también el diseño de instrumentación in-situ, además del desarrollo de sistemas de sensores y estaciones móviles/itinerantes que permitan reducir los costos de instrumentar nuestro extenso territorio;

¹⁹ Ver más en <http://earthquake.usgs.gov/data/dyfi/>

- Incorporar capacidades y tecnologías para el manejo y procesamiento de información proveniente de observación remota (p.ej., imágenes satelitales SAR) para la caracterización de la evolución y ocurrencia de las amenazas;
- Fortalecer las capacidades de almacenamiento de grandes volúmenes de datos, procesamiento e interpretación de información satelital y de observación remota. Esto incluye, por ejemplo, la articulación con el programa satelital chileno, la instalación de equipos y puntos de referencia para mejorar la calibración y uso de imágenes satelitales, mejorar los sistemas de información, comunicación y soporte de la información que recibe el país en emergencias con la activación del *International Charter*, etc.
- Constituir el Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales, partiendo por la integración de las redes de monitoreo actualmente disponibles en el país (años 5 al 7). El Sistema debe ser descentralizado, con observatorios locales en zonas prioritarias. Adicionalmente a la integración de las redes, el Sistema debiese catastrar, capturar e integrar todos los datos producidos disponibles que han sido generados a partir de investigación financiada con fondos públicos, además de información pública asociada a consultorías o estudios, creando una línea base de información validada para el I+D+i;
- Diseñar e implementar el sistema de soporte y gestión de los datos generados por el Sistema que garantice la recolección, análisis y archivo oportuno de los datos (años 8 al 11);
- Diseñar e implementar el sistema de reporte de la información a los distintos actores de la sociedad (i.e., academia e instituciones de investigación, comunidad profesional, instituciones de gestión del riesgo y emergencias, organismos educativos y de difusión de información científica) (años 12 al 14).

La densificación de la red de monitoreo debe ser paulatina de acuerdo a una definición de territorios prioritarios para el país, ya sea por su relevancia en términos de cantidad de población, importancia estratégica, o por el alto riesgo de desastres al que están expuestos. Esta acción de implementación se debe vincular adecuadamente con la Tarea 3 sobre proyectos demostrativos. La implementación en pilotos no solo es una restricción en cuanto a volumen de nuevos instrumentos y técnicas de monitoreo, sino que además debe ser entendida como una oportunidad para generar conocimiento inexistente o incompleto en el tema, y definir mejor objetivos y aspectos metodológicos fundamentales al momento de escalar al resto del territorio nacional (p.ej., escalas espaciales y temporales de medición, información anexa necesaria a ser levantada, necesidades de mantenimiento).

Es importante destacar que esta Estrategia **no considera presupuesto para la densificación de las distintas redes instrumentales**, sino únicamente para el diseño de lo que debiera ser un sistema nacional de estas características que integre la información. Sí se considera la eventual incorporación de alguna instrumentación menor para soportar el desarrollo de los proyectos piloto, y el presupuesto necesario para el desarrollo de las plataformas de tecnologías de información que apoyen a estas redes. Esta es una decisión estratégica ya que existen actualmente entidades responsables del despliegue y mantenimiento de estas redes en el territorio nacional y que cuentan con un presupuesto (aunque probablemente insuficiente). Lo que se propone acá es generar la infraestructura que permitan la integración de los datos generados en un solo sistema, de forma que el I+D+i y los tomadores de decisión puedan aprovechar las sinergias de información entre estas redes.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

El Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales debe apoyar a través de las condiciones habilitantes la formación del capital humano (Sección 3.2.c) que permita asegurar su correcto funcionamiento en manos de técnicos capacitados para instalar, mantener, controlar y operar los instrumentos y estaciones instaladas; profesionales capacitados en procesamiento e interpretación de la información recolectada por las redes de equipos; e investigadores tanto en la academia como en los servicios que participan del sistema y que permiten el diálogo continuo entre las instituciones, al mismo tiempo que aseguran la creación de valor a partir de los datos generados.

Para propiciar el fortalecimiento de estas capacidades en el país, la implementación del sistema debe considerar en el mediano plazo la incorporación de nuevo capital humano avanzado, actualmente en formación en los centros de investigación y universidades, a través de una política de inserción descentralizada y equitativa. Se prevé que en el largo plazo, parte de esas vacantes de inserción, u otras, debieran ser traspasadas a las instituciones y servicios que participen del sistema (p.ej., DMC, CONAF), creando así también la oportunidad de inserción de capital humano avanzado de manera sustentable.

Por otro lado, se debe avanzar en la formación de grupos multidisciplinarios e internacionales (con componentes locales importantes) que sean capaces de utilizar adecuadamente la información generada por estas redes de instrumentación. Dichos grupos deben tener especialistas en procesos físicos y modelamiento, SIG, análisis de imágenes, desarrollo de sensores, planificación territorial, etc. El sistema de monitoreo y reporte requerirá además de una activa participación de las autoridades regionales y comunales, donde se incorporen datos objetivos en los procesos de toma de decisiones para la gestión y mitigación de riesgos naturales, el manejo de emergencias y la resiliencia del entorno físico, social y económico.

De este modo, la institucionalidad asociada a este Sistema y su gobernanza son claves para su éxito y debieran enmarcarse en el Instituto Tecnológico Público ITRenD propuesto como condición habilitante (Sección 3.2.a).

Adicionalmente, la estrategia para esta tarea debe articularse adecuadamente con la propuesta de Integración de Datos e Información (Sección 3.2.b), y el Observatorio Multiamenaza de Desastres Naturales impulsado por el Ministerio del Interior²⁰. La implementación pensada con los proyectos demostrativos (Tarea 3) debe también considerarse como una oportunidad para difundir las experiencias a implementarse, sociabilizando esta información con la comunidad.

²⁰ Para más información ingresar a <http://subinterior.gob.cl/noticias/2016/06/23/interior-y-sistema-de-proteccion-civil-afinan-proyecto-que-crea-observatorio-multiamenaza-de-desastres-naturales/>

Tarea 12

Modelos Nacionales de Amenazas Naturales

La transferencia del conocimiento científico hacia la comunidad y los tomadores de decisión, especialmente aquél relacionado con la gestión del riesgo de desastres, se torna una tarea compleja al intentar sintetizarlo y simplificarlo a partir de toda la complejidad que la investigación implica. En este sentido, los mapas de amenaza y de riesgo se transforman en una herramienta útil y accesible para la difusión, percepción y enseñanza de la caracterización de los fenómenos naturales y sus consecuencias en la población y el entorno construido.

No obstante, pese a que existe gran cantidad de información científica disponible sobre la caracterización de nuestras amenazas naturales, hay una serie de aspectos que aún no permiten su uso masivo. Primero, existen importantes asimetrías en la calidad de estos mapas para distintas amenazas; no existe un consenso sobre metodologías en su definición; no incorporan factores que son relevantes como puede ser la correlación espacial de intensidades u otros efectos; no existen suficiente información sobre fragilidad y vulnerabilidad de algunos sistemas frente a distintas amenazas; no hay claridad sobre la definición de los mapas de vulnerabilidad, exposición y riesgo; a lo que se agrega la ausencia sobre la definición de las responsabilidades sobre su elaboración, contenido y actualización, y su incidencia directa y vinculante en los procesos de gestión y planificación.

El país debe avanzar hacia la integración de mapas oficiales de amenaza, exposición y riesgo e incluirlos en la normativa vigente, en el diseño de infraestructura, en los cálculos de primas por parte de las aseguradoras, en los instrumentos de planificación territorial, en la evaluación social de proyectos, y en el diseño de las actividades de mitigación y preparación de la población, con el fin de mejorar su resiliencia frente a estos eventos naturales extremos. Estas actividades deben ser llevadas a cabo tanto por la comunidad profesional y académica, como por los tomadores de decisión a nivel central y local. Es de vital importancia que se genere un diálogo continuo con las comunidades afectadas de modo que se elaboren mapas que contemplen también el saber popular y local en la estimación de vulnerabilidades. Estos mapas deben guiar las actividades de mitigación y preparación, y servir como un medio de comunicación y difusión constante para educar a la población.

Esta tarea pretende completar la cobertura nacional de mapas de amenaza, exposición y riesgo frente a distintos eventos y desastres de origen natural. Se propone crear mapas urbanos de amenaza y mapas de exposición y riesgo dinámicos en el tiempo. Para cumplir dicho encargo, es clave integrar el conocimiento generado a partir de la estrategia propuesta para las tareas 10 y 11.



Situación país post-estrategia a 20 años

Chile cuenta con un repositorio abierto de mapas para caracterizar las diferentes amenazas y la exposición junto con su evolución temporal. Estos mapas también caracterizan las interrelaciones e interdependencias entre las distintas amenazas y sistemas en los modelos de exposición. Los mapas de amenaza y exposición son utilizados como insumos para la generación frecuente de mapas de riesgo de alta resolución a nivel urbano, los que a su vez son usados para gestionar el riesgo, por ejemplo a través de medidas de mitigación y preparación de la población. En este sentido, los mapas de amenaza, exposición y riesgo se han transformado en la base para actualizar los criterios de las normas de diseño del entorno construido, el cálculo de primas de seguros y otros instrumentos de financiamiento y manejo del riesgo, en elementos críticos a la hora de establecer la respuesta frente a la emergencia y la recuperación, y se han hecho vinculantes para el desarrollo de los instrumentos de planificación territorial y la decisión de inversiones en infraestructura. La elaboración de estos mapas tiene un ciclo establecido de actualización periódica e incluye consideraciones probabilísticas (i.e., recurrencia) en ventanas de tiempo definidas.



Acciones por realizar

Contar con un repositorio de mapas de amenaza, exposición y riesgo con la adecuada resolución espacial y temporal para las áreas urbanas requiere de un trabajo preliminar minucioso de caracterización y microzonificación, el establecimiento de metodologías y asignación de responsabilidades en su elaboración, y un mecanismo de actualización que permita desarrollar adecuadamente las tareas de gestión del riesgo, principalmente aquellas de preparación y mitigación, junto a las de difusión y comunicación.

En una primera fase se propone un programa de caracterización territorial que complete la cobertura, tanto espacial como temporal, de las diferentes amenazas de origen natural y avanzar en la comprensión de los fenómenos que se interrelacionan. La confección de modelos de exposición y de mapas de riesgo requiere del consenso sobre la definición de las variables que determinan el peligro, la fragilidad y vulnerabilidad de los sistemas, y las metodologías a utilizar en los diferentes casos para la evaluación del riesgo y la resiliencia.

Proyecto 1

Definición del marco de referencia para mapas de amenaza, exposición y riesgo.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 2, y se requiere al menos lo siguiente:

- Establecer un acuerdo de objetivos, definiciones, metodologías, protocolos, procedimientos, criterios de actualización y variables que establezcan los parámetros que deben tener los mapas de amenaza, exposición y riesgo a distintas escalas geográficas. El acuerdo debe sustentarse en criterios fundamentales y objetivos que apunten al desarrollo de una mayor resiliencia de las comunidades frente a desastres de origen natural, identificando las necesidades más críticas de dichas comunidades para orientar la obtención de la información necesaria;
- Determinar roles y responsabilidades sobre la generación, recopilación, actualización y mantención de la información de caracterización de amenazas, exposición y riesgo.

Proyecto 2

Proyectos piloto de definición de mapas nacionales de amenaza, exposición y riesgo.

Se plantea para cada piloto un plan de desarrollo de caracterización de amenazas, construcción de modelos de exposición y mapas de riesgo bajo criterios unificados de elaboración en un ejercicio de decisión participativa entre la academia, las instituciones públicas y la población. Se consideran cuatro pilotos, uno por cada macro-región del país asociados a los proyectos demostrativos descritos en la Tarea 3.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 5, y algunas de las etapas contempladas son:

- Generar los estudios e investigación complementaria que contribuya a mejorar la caracterización de la amenaza y la confección de los mapas. Debe ponerse especial atención en los modelos de propagación de los fenómenos y en la recolección de la información local para incorporar las condiciones de sitio en dichos mapas (articular con Tarea 10);

- Recopilar la información existente para distintos territorios referida al "peligro", "exposición" y "riesgo" desde instituciones públicas y privadas, centros de investigación, y universidades. Los resultados de esta integración de mapas deben ser validados por las autoridades pertinentes, y publicados en mapas oficiales que sean conocidos por todas las personas;
- Evaluar preliminarmente las situaciones más críticas de amenaza y exposición para seleccionar zonas prioritarias de estudio. Identificar claramente la información que se debe recoger en los distintos mapas y su propósito, además de caracterizar las distintas fuentes de incertidumbre, entre ellas la asociada a la falta de información;
- Validar y actualizar los acuerdos y metodologías.

Proyecto 3

Escalamiento nacional de mapas de amenaza, exposición y riesgo.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 6 y 20, e incluye:

- Completar los mapas de amenazas para todas las regiones del país, con énfasis en zonas urbanas como unidades de análisis;
- Desarrollar mapas de amenaza, considerando amenazas individuales, amenazas múltiples e interrelacionadas y amenazas consecuenciales (i.e., "efectos cascada", como incendios post-terremotos, erupciones volcánicas, etc.);
- Desarrollar mapas de exposición del stock físico y social para las distintas zonas del país;
- Incorporar una cuantificación probabilística de estos mapas (recurrencia) y la ocurrencia de eventos según evidencia científica e histórica.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Un primer requerimiento para la elaboración de mapas de amenaza, exposición y riesgo corresponde a disponer de información estadística sobre la ocurrencia temporal de estos eventos (recurrencia); las intensidades de estas amenazas en el espacio y el tiempo; la caracterización de las fragilidades y vulnerabilidades de los distintos sistemas; y la información territorial de base para la confección de mapas de alta resolución (p.ej., topografía, batimetría, tipos de suelo y uso, estadísticas de oleaje, presión y viento en altamar o en estaciones costeras, especies arbóreas y su distribución espacial, mediciones de la biomasa en distintas épocas del año, distribución geográfica de tipos de edificación, etc.).

La caracterización en términos cuantitativos de la amenaza para la elaboración de mapas (i.e., probabilidad de ocurrencia o excedencia, o relaciones magnitud-frecuencia) requiere de mejorar el conocimiento acerca de las características temporales (tasa de ocurrencia, duración, etc.), magnitudes, distancias, extensión de los eventos desencadenantes, efectos de sitio, etc. Los mapas de amenaza son el reflejo de tasas medias anuales de excedencia o periodos de retorno de ciertas intensidades de esta amenaza (Tarea 10).

Para efectos del cálculo de riesgo, la exposición puede caracterizarse a través de la integración de información de campo e imágenes satelitales, lo que permite evaluar no solo el estado sino la evolución de los sistemas de manera periódica (p.ej., caracterizar el estado de la biomasa, monitorear el crecimiento en superficie de las ciudades).

La elaboración de mapas de riesgo requiere de curvas de fragilidad y vulnerabilidad para los distintos elementos o sistemas que pueden ser afectados. La metodología de cálculo del riesgo (p.ej., *Performance-Based Earthquake Engineering*, PBEE) está ampliamente validada, y en base a ella se debe construir los mapas (Tareas 7 y 8). Dependiendo de los objetivos, estos mapas pueden incluir umbrales para los distintos niveles de peligro y riesgo que permitan a los tomadores de decisión actuar. Dichas acciones deben estar articuladas con las Tareas 1 y 9 en los temas de "peligro y riesgo admisible" y percepción del riesgo, y con la Tarea 10 en temas de recurrencia de los fenómenos.

La priorización de los territorios estratégicos para elaboración de mapas de amenaza, exposición y riesgo en alta resolución requiere de la definición de estrategias de priorización de los territorios de acuerdo con las necesidades del país. Se prevé que este trabajo debiera ocurrir en los primeros cinco años de esta propuesta, ya que se puede trabajar en paralelo con distintos grupos en el país, aprovechando las capacidades regionales.

Un punto crítico para el I+D+i en esta tarea, es la construcción de modelos de exposición que sean lo más fidedignos posibles a la realidad del entorno construido, y que la caracterización de las fragilidades y vulnerabilidades consideradas represente realmente el desempeño esperado de los sistemas.

Dentro del proceso de elaboración de estos mapas de amenaza, exposición y riesgo es fundamental establecer un esquema muy participativo con los usuarios para acordar objetivos, definir expectativas correctas y adecuar las formas en que se quiere desplegar la información territorial para mayor utilidad final de los usuarios y a la vez generar una mayor resiliencia del sistema como conjunto. Naturalmente, desde una misma fuente de información es posible generar diversos despliegues de la información que sean atractivos para cada uno de los actores involucrados.

Finalmente, los mapas actuales de amenaza, exposición y riesgo producidos localmente en las distintas universidades y grupos de investigación deben ser coordinados e integrados en mapas nacionales y regionales validados que hayan sido generados a partir de una metodología única consensuada por las partes.

Tarea 13

Sistemas de Alerta Temprana

Para avanzar en el desarrollo de sistemas de alerta temprana (SAT), se debe invertir en la evaluación, prueba y despliegue de estos sistemas para distintos fenómenos naturales y entornos. Se reconoce que la alerta temprana no es solo la ventana corta de tiempo que precede a un fenómeno, sino también el tiempo de horas y días que sigue a la ocurrencia de un evento extremo donde es imprescindible adquirir y disponer de información certera para informar y alertar a la población y tomadores de decisión sobre las condiciones en que se encuentra el entorno construido y social en las zonas más afectadas.

En el caso de los SAT para el pronóstico en tiempo real o casi real, se busca anticipar la ocurrencia de la llegada de los fenómenos a partir de información instrumental, o bien el uso de esta información como insumo para evaluar el impacto esperado de dicho fenómeno consultando en una base de datos, por ejemplo, de escenarios pre-modelados. De este modo, las distintas soluciones implementadas en los SAT deben ser adecuadas para cada fenómeno, considerando las diferencias en las velocidades de generación, propagación y evolución de las distintas amenazas, y de la permanencia de sus impactos en la población y el ambiente construido.

El diseño de la instrumentación necesaria para el despliegue de los sistemas de alerta temprana debe ser cuidadosamente articulado con el plan de instrumentación diseñado en la Tarea 11, y la articulación con los proyectos demostrativos pilotos de comunidades resilientes en la Tarea 3. Si bien en algunos casos la anticipación a la llegada del impacto del fenómeno al sitio de interés es un aspecto crítico (p.ej., tsunamis), en otros casos la posibilidad de tener una evaluación en pocos minutos u horas de las consecuencias de un determinado evento es de vital importancia para organizar las capacidades de respuesta de emergencia de la sociedad y evitar consecuencias fatales producto de fallas en los sistemas de la ciudad o entorno.

Adicionalmente, esta tarea considera una componente importante de investigación en las ciencias sociales. Un ejemplo es cómo los mensajes de alerta son recibidos en la población y cómo alteran su comportamiento. Surgen preguntas como de qué manera es posible diseñar los procesos de comunicación entre las personas y sistemas para mejorar la respuesta de la población frente a eventos extremos, entre muchas otras. La extensión planteada acá del concepto de alerta temprana aparece como una definición crucial a la hora de apoyar a través del I+D+i una respuesta resiliente de la sociedad.

Situación país post- estrategia a 20 años

Chile cuenta con una amplia gama de sistemas de monitoreo y alerta temprana integrados entre sí y compatibles, que permiten por una parte anticipar en minutos o segundos los efectos devastadores de algunas de las amenazas, y por otra, anticipar los efectos que pueden haber sido producidos por el mismo evento sobre el entorno construido previendo consecuencias fatales a las personas y anticipando una respuesta de la autoridad a los usuarios. Los sistemas de alerta han logrado considerar los efectos multi-amenaza, posibilitando la alerta basada en pronósticos y conocimientos técnicos orientados a la fase de primera respuesta, así como de los potenciales efectos en cascada. Los SAT están contruidos sobre la base de la captura, asimilación y procesamiento de datos en tiempo real o "cuasi real" con el propósito de entregar un pronóstico en corto tiempo para activar procesos de emergencia, como puede ser una evacuación, o bien anticipar el impacto sobre el entorno construido. La alerta puede hacerse no solo a través del procesamiento de la información recogida, sino en función del reconocimiento de patrones relacionados a escenarios pre-modelados. Estos escenarios permiten orientar la respuesta inmediata de la población, informar a los actores relevantes, y gestionar la etapa de emergencia de manera adecuada.

Una componente importante de los SAT es su capacidad de comunicación con los distintos actores clave en la gestión de los riesgos, los que a su vez la derivan a la población a través de mensajes de alerta que son utilizados para manejar y responder adecuadamente a la emergencia causada por los fenómenos, entre ellos, prevenir daños consecuenciales (p.ej., fugas de gas) y tomar decisiones inmediatas sobre evacuación. La información provista por los SAT es utilizada de manera preventiva y contribuye a la anticipación a los eventos, reduciendo potencialmente sus impactos en las comunidades y mejorando la resiliencia.



Por Ciberporfe, CC BY-SA 4.0



Por Ingeniería UC

Acciones por realizar

Se prevén las siguientes grandes acciones como estrategia de I+D+i para esta tarea:

Proyecto 1

Investigación y desarrollo de capacidades para la observación, análisis, inversión y asimilación de datos instrumentales y remotos con el propósito de desarrollar pronósticos del impacto de las amenazas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 4. Solo a modo de ejemplo se mencionan las siguientes acciones de I+D+i:

- Acoplar pronósticos para generar predicciones en tiempo "cuasi-real";
- Mejorar la integración de datos de monitoreo con herramientas existentes;
- Mejorar el conocimiento sobre los procesos generadores de las observaciones instrumentales y con ello la interpretación de las señales de monitoreo (integrar con Tarea 11);
- Implementar tecnología común (poder de cálculo, robustez, etc.), así como integrar bases de datos bajo un procedimiento estándar y disponibilizar dicha información de manera de permitir la articulación de los desarrollos disponibles;
- Desarrollar sistemas automáticos de detección de señales anómalas en modo operacional.

Proyecto 2

Desarrollo de modelos de pronóstico de fenómenos que permitan construir mapas dinámicos de amenaza y riesgo.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 3 y 6. A modo de ejemplo, se mencionan las siguientes acciones de I+D+i:

- Mejorar la integración entre los distintos niveles de alerta y las zonificaciones descritas en mapas de amenaza;
- Desarrollar modelos que predigan satisfactoriamente la propagación de los fenómenos a partir de información instrumental (articular con Tarea 11);
- Desarrollar la capacidad de alertar en tiempo real o "cuasi-real" de la generación de algunos peligros hacia las personas y entorno físico;
- Desarrollar pronósticos del impacto sobre el entorno construido en base a modelos probabilísticos de riesgo.

Proyecto 3

Desarrollar I+D+i en sistemas de comunicación de alertas.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 2 y 4, e incluye aspectos tales como:

- Estudiar los procesos de interpretación de datos;
- Desarrollar mecanismos de generación de alarmas y comunicación a la población;
- Diseñar los sistemas que soportan estas interacciones.

Proyecto 4

Desarrollar I+D+i acerca de los efectos de las alertas tempranas de desastres en las personas y comunidades.

Esta acción considera comprender cómo las alertas son percibidas en la población y cómo se pueden modificar para mejorar los procesos de respuesta social. Este proyecto se ejecutará entre los años 3 y 7. A modo de ejemplo, se mencionan las siguientes acciones de investigación:

- Investigar y diseñar estrategias de educación de la población con respecto a las amenazas y definir las alternativas de mitigación a través de protocolos de comunicación únicos y entendibles;
- Investigar los procesos de adaptación y manejo de información de alerta de fenómenos naturales en la población y generación de protocolos de respuesta ante alertas.

Proyecto 5

Desarrollo de bases de datos con escenarios pre-cargados que alimenten sistemas de gestión de la emergencia y socialización de información.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20. A modo de ejemplo, se mencionan las siguientes acciones de I+D+i:

- Mapear exhaustivamente las actividades críticas que requieren de información derivada desde la investigación para el mejoramiento de la respuesta frente a emergencias (p.ej., gestión de líneas de gas natural, gestión del flujo en redes viales, tales como puentes, rutas alternativas);
- Desarrollar bases de datos con escenarios pre-cargados de eventos naturales extremos considerando diversos niveles de complejidad e interacción entre todos los sistemas;
- Desarrollar mecanismos automatizados de manejo de infraestructura y recursos críticos a partir de la información generada por los SAT.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para el correcto desarrollo de esta tarea, debe realizarse una inversión en modernización y mejoramiento de la infraestructura asociada a los SAT (i.e., sensores, sistemas de telecomunicaciones, sistemas de procesamiento rápido y capacidad de modelamiento), además de promover la incorporación de personal dedicado al procesamiento y análisis de esta información. Del mismo modo, se requiere de robustez y redundancia operacional, con el objetivo de alcanzar tiempos de respuesta apropiados a la amenaza y una operación asegurada en el largo plazo. Se debe articular cuidadosamente esta tarea con el plan de desarrollo de capital humano avanzado (Sección 3.2.c) y las acciones de la Tarea 11, considerando, por ejemplo, recolección de datos en tiempo real, monitoreo con resolución temporal fina, alta resolución espacial, y monitoreo de fenómenos en condiciones extremas.

Se propone que la prueba y aplicación de los SAT se realice en pequeños pilotos, por lo que se buscará una articulación con la priorización de los proyectos demostrativos (Tarea 3). Estos pilotos deben ejecutarse en distintas macro-regiones del país, permitiendo la prueba de diferentes sistemas en condiciones reales y en condiciones de uni- y multi-amenaza.

Tarea 14

Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta frente a Desastres

La ocurrencia de desastres de origen natural genera una importante presión sobre los servicios e instituciones que deben atender la primera fase de la emergencia, cuyo principal objetivo es poder volver a un estado de normalidad lo antes posible. Las demandas a cumplir incluyen desde la movilización de equipos y personal de emergencia, grupos de socorro y rescate, cuidado de heridos y víctimas, procesos de evacuación de personas e instalación de albergues, restauración de servicios básicos y líneas vitales, hasta la continuidad operativa de la industria y comercio, así como del Gobierno en sus diferentes escalas.

Dentro de las metodologías para predecir y entender los efectos de un desastre de origen natural está el uso de escenarios en los que se simulan las condiciones reales de respuesta, incorporando los diferentes actores que participan en ella.

Estos escenarios permiten evaluar cómo los cambios que se dan luego de la emergencia impactan también en la configuración del territorio y comunidades. A través del I+D+i es posible avanzar en el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones que permitan el entrenamiento y anticipación de los daños, mejorando los modelos de respuesta con una mayor cantidad y calidad de información, y reforzando las acciones de preparación y mitigación.

Esta tarea tiene como objetivo desarrollar e implementar predicciones sobre la operación de los distintos sistemas públicos y privados enfrentados a un desastre de origen natural, y propone el desarrollo de mecanismos de evaluación y mejora de la respuesta en coordinación con actores del Estado y los gobiernos locales.

Situación país post- estrategia a 20 años

Chile cuenta con una fuerte capacidad de coordinación y transferencia de investigación aplicada y tecnología con fines predictivos, de anticipación y mejora de la respuesta frente a desastres de origen natural, que nutre y retroalimenta la toma de decisiones de los agentes públicos, privados y comunidades. En el foco de esta coordinación está la preocupación de los aspectos de continuidad operativa de los distintos servicios públicos y privados, líneas vitales, etc. como un aspecto central para lograr una respuesta resiliente de la sociedad.



Acciones por realizar

Proyecto 1

Probar, evaluar y calibrar modelos de respuesta operativos en escenarios de desastres de origen natural.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5 y contempla actividades como las siguientes:

- Estudiar en base a modelos experimentales la resiliencia para distintos servicios públicos con énfasis en la continuidad operativa;
- Complementar el análisis anterior de resiliencia para un conjunto de servicios privados (p.ej., redes de agua);
- Definir una base de datos de escenarios para la calibración empírica de modelos de continuidad operativa.

Proyecto 2

Monitorear y evaluar simulacros que integren a la mayor cantidad de actores que participan en el ciclo de gestión de desastres (articular con tareas 3, 7 y 8).

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 20, e incluye actividades como:

- Participar en la definición de simulacros que afecten también a la provisión de servicios de forma de entender la verdadera complejidad de estos eventos extremos (p.ej., *blackout*, interrupción del servicio de Metro);
- Desarrollar tecnología que permita monitorear a través de las personas aspectos relacionados con la continuidad operativa de los diversos sistemas frente a un desastre;
- Construir modelos sociales que permitan predecir la disponibilidad de personas en sistemas críticos frente a desastres de origen natural.

Proyecto 3

Simulación, respuesta operacional y transferencia.

Este proyecto se ejecutaría entre los años 1 y 5, e incluye iniciativas como la siguiente:

- Definir modelos conceptuales y matemáticos de redes para los distintos servicios que permitan capturar los aspectos de continuidad operativa de estos servicios cuando se ven sujetos a amenazas naturales extremas;
- Simular la respuesta operacional de distintos tipos de sistemas físicos y sociales enfrentados a escenarios de desastres de origen natural (articular con Observatorio Nacional para la Resiliencia, Sección 3.2.d);
- Desarrollar sistemáticamente "laboratorios" de simulación que permitan evaluar los actuales protocolos de respuesta con la participación de sus actores (p.ej., COE's, *first responders*, gobiernos locales), entregando propuestas de mejora sobre la base de dichas evaluaciones;
- Desarrollar sistemas y tecnologías robustas de automatización en la transferencia de datos y comunicación efectiva entre los actores e instituciones con el propósito de lograr continuidad operativa, y desarrollar protocolos de acciones preventivas y de alerta hacia las instancias y tomadores de decisiones;
- Investigar y diseñar protocolos de acción en la emergencia enfocados en la continuidad operativa de sectores críticos.

Requerimientos y consideraciones para su implementación

Para el cumplimiento de esta tarea es necesario contar con una comprensión del funcionamiento de los distintos servicios vitales, infraestructura e industrias críticas del país. En este sentido se hace necesario conocer las dimensiones que definen la vulnerabilidad física y social de estos sistemas desde el punto de vista operativo, incluyendo su logística (Tarea 1 y 2). Es necesario también desarrollar métricas que permitan estudiar la evolución y seguimiento de estos sistemas (ver Observatorio Nacional para la Resiliencia, Sección 3.2.d), idealmente enfrentados a otros tipos de shocks que sirvan en la calibración de la respuesta frente a un macro-evento. Las interdependencias entre los sistemas aparecen como algo crítico en esta tarea, lo que requiere de una mesa de trabajo conjunta entre los distintos actores de la industria. Es necesario avanzar en el registro de información con énfasis en las primeras horas después de un evento extremo, donde los datos son altamente perecibles. Estos resultados provenientes por ejemplo de procesos de evacuación y operación permiten validar y calibrar los distintos modelos con la realidad, para luego poder estudiar medidas que aumenten la resiliencia operativa de estos sistemas.





5 | PRESUPUESTO Y RETORNO ESPERADO





La Estrategia propuesta en este documento busca construir capacidades que le permitan al país legitimarse como líder global en la comprensión del fenómeno de la resiliencia y el desarrollo de las capacidades vinculadas a la mejora de la resiliencia frente a desastres de origen natural, así como generar desde la agenda de I+D+i la evidencia científica y técnica que permita avanzar hacia un Chile resiliente, aportando valor no solo a través de la reducción del costo asociado a estos desastres, sino a través del desarrollo de innovación y emprendimiento con impacto global. Conseguir todo esto implica un esfuerzo importante en términos de recursos físicos y capital humano; hacerlo, sin embargo, permitirá reducir de manera importante el gasto que representan los desastres de origen natural, permitiendo derivar recursos a otras áreas prioritarias, como lo son, por ejemplo, educación, salud y la superación de la pobreza. Un Chile más resiliente es una respuesta país a una necesidad que hoy nos cuesta anualmente casi un 1,2% del PIB (UNISDR, 2005).

Esta sección detalla la metodología utilizada para el cálculo del presupuesto de cada uno de los componentes de la Estrategia y un análisis del retorno esperado de esta inversión.

5.1 Metodología de Cálculo del Presupuesto

El cálculo del presupuesto requerido para la implementación de la Estrategia implica la revisión detallada de las tareas y condiciones habilitantes que la componen, de manera de cuantificar sus requisitos en términos de infraestructura física, tecnología, y capital humano, permitiendo dimensionar la inversión necesaria durante los primeros veinte años de ejecución del proyecto. Debido a su magnitud y a lo específico de las propuestas al tema de resiliencia a desastres, en muchos casos resulta difícil contar con experiencias similares realizadas en Chile que sirvan como patrón de comparación. Por ello, para presupuestar de manera correcta y rigurosa cada tarea, se contrastaron los resultados de dos metodologías, la primera siguiendo un enfoque abajo-hacia-arriba (o *bottom-up*) y la segunda, de arriba-hacia-abajo (o *top-down*). A continuación se detalla el trabajo realizado para la obtención de ambas medidas.

El cálculo del presupuesto requerido para la implementación de la Estrategia implica la revisión detallada de las 14 tareas y condiciones habilitantes que la componen, de manera de cuantificar sus requisitos en términos de infraestructura física, tecnología, y capital humano, permitiendo dimensionar la inversión necesaria durante los primeros 20 años de ejecución del proyecto.

El presupuesto *bottom-up* fue calculado a partir del trabajo realizado por cada una de las cuatro subcomisiones de CREDEN, utilizando información de costo de proyectos equivalentes desarrollados hoy en Chile. Se revisaron las fuentes de financiamiento utilizadas por estos proyectos, por lo general instrumentos de financiamiento público de CORFO y CONICYT como FONDAP, FONDEF y FONDECYT, entre otros, y se contrastó la escala del proyecto comparado con la

tarea de la Estrategia, de modo de estimar el número de instrumentos de financiamiento que se requerirían para la implementación de cada tarea. En caso de no haber un paralelo directo con otro proyecto, se separó la tarea en diversas actividades y componentes, y se estimó la inversión requerida para cada uno de ellos. Todos los valores se expresan en dólares constantes de 2015.

Para contrastar el presupuesto así estimado con el costo de experiencias similares en otras partes del mundo, se utilizó la metodología *top-down* a través de la cual se revisaron proyectos semejantes, tomando la precaución de escalarlos para que estos reflejen la inversión que habría significado haberlos implementado en nuestro país. Esto permite analizar si la inversión calculada utilizando ambas metodologías es coherente, o si es necesario realizar ajustes al presupuesto para llegar a valores consistentes con la realidad nacional pero que guarden relación también con lo que se ha observado en la ejecución de experiencias internacionales. Gran parte de los proyectos internacionales seleccionados para comparación fueron tomados del documento NRC (2011), debido al gran detalle de información presupuestaria disponible y el importante paralelo existente entre gran parte de las tareas, dado que este documento fue considerado como un referente importante para el desarrollo de la Estrategia CREDEN. En caso de no existir un paralelo adecuado entre el documento del NRC y algún componente de la Estrategia, se buscaron otras experiencias internacionales que pudieran servir de referencia para dimensionar el presupuesto.

A pesar de las muchas similitudes entre los proyectos considerados como referencia y las tareas propuestas por CREDEN, la implementación ocurre en países distintos, lo que por sí solo es una diferencia mayor. Ello implica diferencias de tipo de cambio, precios, salarios, además de escalas de proyecto distintas, debido a diferencias en el tamaño geográfico y la población expuesta de los países en que se llevaron a cabo. Por ello, se realizaron una serie de transformaciones de medida y escala con el objetivo de corregir estos efectos y permitir el cálculo de un presupuesto equivalente, pero correspondiente a su implementación en Chile.

Como regla general, se transformaron todos los presupuestos de los proyectos referentes seleccionados utilizando series de tipo de cambio e inflación para conseguir valores expresados en dólares de

2015, y así dejarlos en la misma unidad que el presupuesto calculado a través de la metodología *bottom-up*. Luego, de poseer información desglosada de costos, se separó el presupuesto entre lo correspondiente a tres ítems: capital humano avanzado, tecnología y otros. El componente de capital humano se transformó utilizando una medida de la relación de salario de capital humano avanzado en Chile y EE.UU. (ver Apéndice F). El componente de tecnología se mantuvo sin escalar, puesto que se supuso que la tecnología de alto nivel tendría que ser importada a Chile, por lo que su costo debiera ser equivalente. El resto de los costos se transformaron utilizando un índice de paridad de poder de compra, de manera de considerar las diferencias en la adquisición de bienes y servicios entre ambos países.

Finalmente, se realizaron correcciones de escala, las que buscan ajustar el presupuesto del proyecto de referencia al tamaño de implementación sugerido por CREDEN. Para ello, se revisó minuciosamente cada tarea, buscando determinar en cada caso una unidad que estuviera relacionada directamente con los costos del proyecto, permitiendo determinar su escala. Para muchas tareas se concluyó que la unidad determinante de la escala del proyecto eran la cantidad de personas expuestas al riesgo, puesto que el proyecto se aplicaría en las comunidades vulnerables. En estos casos, se transformó el costo de la tarea de referencia por la razón entre personas expuestas al riesgo en el caso de referencia y en el caso de la Estrategia

CREDEN (ver Apéndice F). En algunos casos, las tareas se componen de una serie de ejercicios independientes, como el caso de la Tarea 7: Escenarios de Desastres de Origen Natural, la que se compone de la ejecución de una serie de estudios de escenarios de desastres para una variedad de centros urbanos. En estos casos, el costo de la tarea depende del número de estudios de escenarios por ejecutar, por lo que la transformación realizada corresponde a la razón entre ejercicios propuestos en la tarea de referencia, y el número de ejercicios propuestos por CREDEN. En el caso particular de la Tarea 7, el referente del NRC incluía 43 escenarios, mientras que la tarea CREDEN solo 16; de este modo, el presupuesto se ajustó para reflejar este hecho. Además, para esta tarea, el costo de cada escenario estaba influenciado por el número de habitantes de cada ciudad, por lo que el presupuesto también se transformó para reflejar el menor costo producto de menores centros urbanos en el caso nacional. Un mayor detalle de las transformaciones realizadas por cada tarea, los valores utilizados y sus fuentes se presentan en el Apéndice F.

Para las condiciones habilitantes, no se dispuso de un paralelo directo para estas actividades en el documento del NRC. En este caso, se buscaron proyectos similares en otras experiencias internacionales y, en caso que ello no fuera posible, se utilizaron referentes nacionales. Los presupuestos fueron transformados para hacerlos consistentes con la realidad nacional, utilizando el mismo método descrito anteriormente.



Por Francisco Samuil, CC BY-NC 2.0



Por Ministerio de Bienes Nacionales, CC BY 2.0

5.2 Comparación de Ambas Metodologías y Cálculo de Presupuesto Final

En el curso del trabajo se realizó constantemente un análisis comparado entre ambas metodologías identificando aquellos puntos que podrían explicar sus diferencias. Las mayores diferencias pueden ser atribuidas a un conjunto de factores que una vez identificados han permitido llegar a una coherencia entre ambas metodologías del presupuesto. Esta sección describe muy brevemente los factores que explican las mayores diferencias de ambas formas de presupuestación, y la decisión de incluirlo es únicamente para dejar reflejado en este documento este complejo proceso para que pueda servir al desarrollo de otras futuras estrategias.

Una de las mayores diferencias que se observaron entre ambas metodologías fue la magnitud del presupuesto asignado a aquellas tareas con mayor componente de investigación científica de alto nivel, como lo son la Tarea 1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural, y la Tarea 10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales. En estos casos, el presupuesto *bottom-up*, calculado usando experiencia nacional, resultó muy inferior a lo estimado usando referencias internacionales. Esto es reflejo de la baja prioridad asignada en nuestro país a Investigación y Desarrollo, que se observa en la escasa inversión en estos ítems en relación a nuestros pares de la OECD y al bajo número de investigadores que se desempeñan actualmente en nuestro país, lo que nos impide llevar a cabo investigación de alto nivel que logre efectivamente desplazar las fronteras del conocimiento. En respuesta, para el presupuesto final se ha decidido reconocer la importancia de realizar esfuerzos adicionales a los que se acostumbra para las tareas que implican investigación científica, de manera de proporcionar el impulso requerido para que el país se convierta en un centro de excelencia en el estudio de amenazas de origen natural.

Otro aspecto central en las diferencias de ambas metodologías proviene del valor que se le da internacionalmente en el presupuesto al concepto del *outreach* y divulgación de la investigación, es decir, la capacidad de que esa investigación se nutra de y baje finalmente a las personas, comunidades y organizaciones mediante distintas formas y formatos, para que puedan utilizar los resultados de la investigación en su beneficio. En el caso particular de la resiliencia frente a desastres, esto tiene una relevancia particular, dado que son finalmente estas personas,

comunidades y organizaciones quienes juegan un rol central en la implementación y manejo del ciclo completo del riesgo y la resiliencia de los distintos sistemas. Consecuentemente, los presupuestos descritos en esta sección consideran un componente relevante de *outreach* del I+D+i como sus contrapartes internacionales, a diferencia de la mayoría de los fondos concursables nacionales existentes en la actualidad.

Finalmente, se reconoce una diferencia importante en la experiencia del equipo de trabajo del documento NRC en la generación de un presupuesto para una estrategia de este tipo. Esto se debe a que históricamente EE.UU. ha invertido importantes montos en el desarrollo de investigación científica relacionada con amenazas de origen natural y cuentan con experiencia en la elaboración de grandes planes de inversión en estas temáticas. En efecto, gran parte del presupuesto del documento NRC se basó en otro presupuesto similar elaborado en el año 2003. Esto les permitió tener un modelo de referencia nacional sobre el que trabajar y perfeccionar el presupuesto. En contraste, para el caso CREDEN, esta Estrategia corresponde al primer gran esfuerzo en generar un plan nacional para incrementar la resiliencia comunitaria desde el I+D+i, lo que ha permitido generar un muy requerido diagnóstico sobre la situación actual y los esfuerzos necesarios a futuro. Este presupuesto se ha beneficiado enormemente de la importante experiencia acumulada en el extranjero, complementando con el conocimiento experto existentes sobre las condiciones particulares del caso chileno y las necesidades específicas a nuestro país. Ello ha permitido generar un presupuesto lo más completo y realista

Este presupuesto se ha beneficiado enormemente de la importante experiencia acumulada en el extranjero, complementando con el conocimiento experto existentes sobre las condiciones particulares del caso chileno y las necesidades específicas a nuestro país. Ello ha permitido generar un presupuesto lo más completo y realista posible en base a la información disponible, y que se podrá seguir afinando y perfeccionando sobre la base ya sentada en este documento.

posible en base a la información disponible, y que se podrá seguir afinando y perfeccionando sobre la base ya sentada en este documento.

5.3 Presupuesto Estimado para los Elementos de la Estrategia y sus Condiciones Habilitantes

Tal como se describió previamente, el presupuesto final para cada uno de los componentes de la Estrategia se elaboró contrastando y consolidando el presupuesto resultante de ambas metodologías. En la Tabla 5.1 se presenta el presupuesto estimado para cada una de las cinco Condiciones Habilitantes para la Estrategia, distinguiendo el monto de inversión esperado para los primeros 3 años y la inversión restante para el horizonte de 20 años. El presupuesto total a 20 años es igual a 314,3 millones en dólares 2015. Durante los primeros 3 años se espera un gasto anual de 37,1 millones de dólares, el que cae de manera importante para los restantes 17 años, alcanzando 11,9 millones de dólares anuales en promedio producto de la finalización de las inversiones más relevantes para infraestructura y tecnología que se concentran en los primeros años.

El total de inversión para los veinte años de implementación de la Estrategia resulta de 914,1 millones de dólares, es decir, un promedio de 45,7 millones de dólares al año.

Análogamente, en la Tabla 5.2 se detalla el presupuesto para la implementación y mantención de las catorce tareas, también en horizontes de 3 y 20 años. El presupuesto total estimado para las tareas de la Estrategia, en valor presente, es de 599,8 millones de dólares. Para los primeros 3 años de implementación se espera un gasto anual promedio de 44,7 millones de dólares, mientras que para los restantes 17 años, un gasto anual promedio de 27,4 millones de dólares.

Tabla 5.1: Presupuesto a 3 y 20 Años para las 5 Condiciones Habilitantes de la Estrategia

CONDICIONES HABILITANTES	PRESUPUESTO AÑOS 1-3 (US\$ MM/AÑO)	PRESUPUESTO AÑOS 4 -20 (US\$ MM/AÑO)	TOTAL 20 AÑOS (US\$ MM)
Institucionalidad de I+D+i	1,5	1,5	30,6
Integración de Datos e Información	2,9	0,9	24,6
Capital Humano Avanzado	4,5	2,3	52,8
Infraestructura para el Descubrimiento y la Innovación en Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural	19,2	1,7	86,5
<i>Terremotos e infraestructura sustentable</i>	6,0	0,3	23,4
<i>Cambio climático y ambiente</i>	5,0	0,3	19,5
<i>Tsunamis y procesos de remoción en masa</i>	4,0	0,2	15,6
<i>Observatorio nacional para la resiliencia comunitaria</i>	0,2	0,7	12,4
<i>Manufactura y TICC</i>	4,0	0,2	15,6
Outreach y Divulgación Científica	8,9	5,5	120,0
TOTAL	37,1	11,9	314,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2: Presupuesto a 3 y 20 años para las 14 tareas de la Estrategia

TAREA	PRESUPUESTO AÑOS 1 -3 (US\$ MM/AÑO)	PRESUPUESTO AÑOS 4 - 20 (US\$ MM/AÑO)	TOTAL 20 AÑOS (US\$ MM)
T1: Resiliencia Social frente a Desastres de Origen Natural	1,5	1,1	22,5
T2 :Resiliencia de Líneas Vitales e Infraestructura Crítica	1,7	0,8	18,8
T3: Proyectos Demostrativos de Resiliencia Regional y Comunitaria	1,0	0,8	17,1
T4: Bienes Públicos y Políticas de Activación de la Demanda por Innovación en Resiliencia frente a Desastres	1,5	0,2	7,3
T5: Próxima Generación de Tecnologías, Materiales Sustentables, Componentes y Sistemas	3,5	2,5	52,6
T6: Nuevas Aplicaciones de las Tecnologías de la Información, Control y Comunicaciones y otras Tecnologías Habilitantes	2,8	1,5	34,1
T7: Escenarios de Desastres de Origen Natural	0,4	1,9	33,9
T8: Simulación de las Pérdidas y Evaluación del Riesgo y la Resiliencia frente Desastres	3,2	2,1	45,2
T9: Evaluación y Mejoramiento de la Resiliencia del Entorno Construido	2,6	2,9	57,9
T10: Física de los Procesos de Amenazas Naturales	20,8	9,2	218,7
T11: Sistema Nacional de Monitoreo y Reporte de Amenazas Naturales	0,9	0,7	14,5
T12: Modelos Nacionales de Amenazas Naturales	0,8	1,9	34,7
T13: Sistemas de Alerta Temprana	2,3	1,1	25,6
T14: Modelos Operacionales Predictivos de Respuesta Frente a Desastres	1,7	0,7	16,9
TOTAL	44,7	27,4	599,8

Fuente: Elaboración propia

El total de inversión para los 20 años de implementación de la Estrategia resulta de 914,1 millones de dólares, es decir, un promedio de 45,7 millones de dólares al año, lo que comparado con el monto de 6 billones de dólares de la misma estrategia de NRC, solo enfocado en terremotos, parece un monto reducido para lograr un impacto relevante. Sin embargo, la Comisión cree posible crear un impacto sustantivo con esta inversión dada la escala de Chile y la demostrada eficiencia histórica en el uso de los recursos de I+D+i en el país. Si los valores de beneficio/costo resultan ser los estimados en esta Estrategia o mayores, el país sin duda debiera pensar en elevar la iniciativa a una escala mayor dada su alta rentabilidad social.

Prioridades

CREDEN ha identificado un conjunto de inversiones que corresponden a requisitos para una eficiente implementación de las distintas tareas de la Estrategia, y por ello han sido categorizadas como prioritarias. La Comisión sugiere asegurar su financiamiento previo antes del despliegue completo del resto de la Estrategia. Es importante recalcar que la Estrategia buscará ciertos "logros tempranos", de forma de entusiasmar a los distintos actores involucrados a sumarse a este proyecto nacional de un Chile resiliente a desastres.

Las actividades prioritarias son de dos tipos. En primer lugar, todas aquellas que tienen relación con la planificación y diseño detallado de las tareas previo a su implementación en el país. La planificación y el diseño aparecen como un componente crítico transversal debido a la necesidad de asegurar planes de trabajo realistas que conduzcan a resultados que cierren brechas existentes y alineen a diversos actores nacionales previo al despliegue de la ejecución de la tarea. Además, CREDEN estima que esto es importante debido al estado incipiente en que se encuentra el desarrollo en el país en el I+D+i relacionado a ciertos componentes de la resiliencia frente a desastres. Es claro que su implementación requiere de una fase previa de maduración que permita identificar brechas reales y formas de abordarlas, de forma de asegurar el desarrollo exitoso de cada tarea. Estos tiempos de planificación y desarrollo van desde varios meses hasta 3 años. En segundo lugar, todas aquellas actividades que conllevan la implementación de las condiciones habilitantes identificadas por la Comisión son prioritarias, ya que crearán el medio necesario para el desarrollo adecuado del I+D+i en el tema de resiliencia frente a desastres.

El monto total requerido para la planificación y diseño de las tareas que así lo requieren es de 11,8 millones de dólares, mientras que el presupuesto requerido para la implementación de las condiciones habilitantes es de 126,4 millones de dólares, alcanzando las actividades prioritarias combinadas un total de 138,2 millones de dólares. Se espera que las actividades prioritarias se ejecuten dentro del ciclo inicial de 3 años de la Estrategia, salvo por las actividades para financiar la formación de capital humano avanzado, las que se espera ejecutar a lo largo de los 20 años de duración de la Estrategia.

5.4 Análisis del Retorno Esperado de la Estrategia

La implementación de la Estrategia y sus condiciones habilitantes tienen como objetivo la provisión de importantes bienes públicos como puede ser el aumento en el nivel de resiliencia transversal del país frente a desastres de origen natural de baja probabilidad de ocurrencia, pero de muy alto impacto; un mayor conocimiento de estos fenómenos extremos y de modelos que caracterizan su recurrencia y otras propiedades espacio-temporales; el desarrollo de una industria nacional tecnológica asociada a prácticas innovado-

Las actividades prioritarias son de dos tipos. En primer lugar, todas aquellas que tienen relación con la planificación y diseño detallado de las tareas previo a su implementación en el país.

En segundo lugar, todas aquellas actividades que conllevan la implementación de las condiciones habilitantes identificadas por la Comisión son prioritarias, ya que crearán el medio necesario para el desarrollo adecuado del I+D+i en el tema de resiliencia frente a desastres.

ras en todas las etapas del ciclo de riesgo, entre una diversidad de otros beneficios sociales. Sin embargo, como toda política de largo plazo, este trabajo implica un importante y sostenido compromiso en cuanto a la medición de impactos y la asignación de los recursos. Ello amerita, por ende, un análisis minucioso y crítico que permita cuantificar en términos económicos el retorno que es razonable esperar de un proyecto de este tipo, y de esta forma evaluar su mérito en relación a otras alternativas que están actualmente en la agenda pública.

Dada la importancia de estimar el retorno esperado de los proyectos de inversión pública relacionados con la prevención, mitigación y respuesta ante desastres, existe amplia literatura especializada en documentar los beneficios asociados a estos proyectos y a computar una razón Beneficio/Costo que permita evaluar la conveniencia de su implementación. Actualmente, la aprobación de muchos proyectos públicos en EE.UU. está sujeta a la realización de un análisis de Costo-Beneficio, incluyendo a los fondos de mitigación de FEMA.

Los estudios que analizan la rentabilidad de programas de mitigación suelen dividir estos programas en dos tipos. Por un lado, aquellos asimilables a "proyectos", definidos como inversiones en infraestructura o mejoras técnicas para eliminar o reducir el daño esperado de desastres. Un ejemplo de este tipo de programa puede ser un proyecto de mantenimiento y mejoramiento estructural de puentes carreteros. El

Para el caso de terremotos, la razón Beneficio/Costo para los programas de procesos, igual a 2,5, es mayor que para los programas de proyecto, igual a 1,4, lo que destaca la relevancia de implementar programas de procesos para aumentar resiliencia en países altamente sísmicos como Chile.

segundo tipo de programa son los "procesos", esto es, inversiones en actividades que conducen a políticas, prácticas y programas que reducen el riesgo. En esta categoría cabría por ejemplo un cambio normativo como el que ocurrió en el año 2010 con las distintas normas sísmicas chilenas, o cualquier programa educativo con la población en relación a la resiliencia frente a desastres.

En el caso de los programas de proyecto, el cálculo de los costos se obtiene de la suma de los costos de implementar la mejora en infraestructura o mejora técnica, es decir, inversión de capital, costos de operación y mantención, mientras que los beneficios se calculan como la disminución de los costos esperados en caso de la ocurrencia de un evento extremo, entre los que se encuentran los costos de reparación, rehabilitación, y mejoramiento de la infraestructura reacondicionada, la disminución de víctimas esperadas²¹, y la disminución en los costos por paralización de actividad, entre otros. El cálculo se complica por el hecho que las pérdidas son inciertas y dependen de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno durante la vida útil de los sistemas y debe ser estimada con el mejor conocimiento posible. En el caso de los programas de procesos, su costo también se obtiene de la suma de los diferentes ítems requeridos para su implementación, pero los beneficios asociados son más difíciles de estimar. Estos beneficios dependen de la probabilidad de que el programa desencadene la implementación de acciones que reduzcan concretamente el riesgo y aumenten la resiliencia del sistema. Por ejemplo, el beneficio de una mejora en códigos de construcción solo se observa una vez se

incorporan estas nuevas medidas en el entorno construido, lo que depende de la efectividad y rapidez con que la autoridad regule su incorporación en las nuevas edificaciones. Es por ello que para la evaluación de este tipo de programa usualmente se ha optado por una metodología indirecta de estimación de beneficios, en la que se calculan como beneficios propios del programa, aquellos asociados a programas de proyecto que dependen directamente de la implementación del programa de proceso. Continuando con el ejemplo de una mejora en códigos de construcción (Multihazard Mitigation Council, 2005, p. 42), al estimar la razón Beneficio-Costo asociada a un proyecto de este tipo, se siguió la metodología indirecta descrita anteriormente. Este proyecto fue introducido en combinación con un plan de reacondicionamiento de edificios con alto riesgo sísmico, por tanto los beneficios del proyecto conjunto se estimaron como las reducciones en costo esperadas producto de sismos que podrían afectar estas estructuras y sus habitantes, las que se relacionan a la aplicación de ambos programas, el de proceso (mejora de los códigos) y el de proyecto (reacondicionamiento). Por otro lado, sus costos se estimaron como el costo conjunto de ambos programas.

En un reconocido estudio realizado por el *Multihazard Mitigation Council* (MMC) (2005), se analizó un gran número de programas de mitigación de riesgo de desastres de origen natural, todos ellos financiados por FEMA, y que buscaban cuantificar el retorno esperado promedio para este tipo de proyectos. Se estudiaron diferentes tipos de amenazas, y programas clasificados en las categorías de "proyectos" y "procesos". Además se incorporó información de otros estudios que aportaron medidas de retorno para proyectos relacionados, proveyendo así la mejor síntesis a la fecha de la información de Beneficio-Costo para este tipo de programas.

En el estudio de MMC, los costos de los programas se calcularon según el valor de recursos destinados a la implementación del programa, incluyendo aquellos recursos no monetarios, como otras donaciones y trabajo voluntario. Para los programas de proyecto, se definió como "beneficio" a la disminución de los costos esperados asociados a la ocurrencia de un desastre. Entre estos, la disminución en los daños esperados

21 Dado la dificultad de cuantificar económicamente el valor de la vida, los distintos estudios utilizan diferentes criterios para computar los beneficios asociados a las disminuciones de pérdidas humanas. En ciertos casos se opta por no agregar este beneficio a la ecuación por no ser cuantificable; mientras que en otros, se opta por un valor que busque reflejar de cierta manera el costo de la tragedia.

en la infraestructura física, la disminución en el costo de interrupción de un negocio (directo e indirecto), la reducción del daño ambiental, la disminución en el daño a la sociedad (heridos, víctimas fatales y personas desplazadas), y la reducción en el uso de recursos para la emergencia. Para los programas de proceso, los beneficios se calcularon asociando a estos programas los beneficios de otros programas de proyecto relacionados (metodología descrita anteriormente), o en algunos casos, utilizando directamente las tasas Beneficio-Costo calculadas para otros programas similares y disponibles en la literatura.

Este estudio internacional dio como resultado medidas de Beneficio/Costo para 6 diferentes categorías de programas de mitigación, según el tipo de amenaza enfrentada (terremotos, inundaciones y huracanes) y su separación como proyectos y procesos. La figura 5.1 muestra a continuación los resultados.

Como puede observarse en dicha figura, la razón Beneficio/Costo difiere significativamente por tipo de amenaza y programa. En primer lugar, se observa una razón promedio mucho mayor para aquellos programas definidos como proyecto, igual a cuatro, sobre aquellos definidos como procesos, igual a dos. Es decir, pareciera haber indicaciones que aquellos programas enfocados en hacer un ambiente construido físicamente más resiliente ante desastres ofrecen mayores retornos que el incremento en capacidades generales.

El documento del MMC observa que esto se debe, en parte, a una mayor facilidad de medición de los beneficios asociados a proyectos. Como se indicó anteriormente, la medición de los beneficios asociados a procesos es muy compleja, puesto que implica dimensionar beneficios relacionados con la implementación de otros programas o la probabilidad de ejecución de acciones que lleven a reducción de riesgo lo que resulta muy ambiguo.

Por tanto, es probable que la estimación de Beneficio/Costo para programas de procesos sea más bien conservadora y subestime parte de los beneficios que se generan. De esta forma, se puede ver por ejemplo que, la razón Beneficio/Costo para los programas de procesos, igual a 2,5, es mayor que para los programas de proyecto, igual a 1,4, lo que destaca la relevancia de implementar programas de procesos para aumentar resiliencia en países altamente sísmicos como Chile.

Estimación de una medida de Beneficio/Costo para Chile

Para el cálculo de la tasa promedio de Beneficio/Costo esperada para la Estrategia propuesta en Chile, es posible utilizar las razones calculadas por MMC, realizando ajustes para considerar las características propias de la Estrategia en cuanto a los tipos de amenazas que fueron consideradas y la separación que se plantea entre tareas de procesos y proyectos (clasificaciones Tabla 5.3).

Debido al enfoque de esta Estrategia que busca mejorar la resiliencia del país frente a desastres promoviendo actividades de I+D+i y un aumento en las capacidades (infraestructura, personas) del país para realizar estas actividades con éxito, se definió el proyecto completo CREDEN como un programa de procesos, según la clasificación realizada por MMC. Por lo tanto, las tasas de Beneficio/Costo relevantes para estos proyectos son las asociadas a procesos para los diferentes tipos de amenaza.

Una de las características centrales de la Estrategia es su enfoque multi-amenaza, lo que implica que los recursos asociados a su implementación serán utilizados para conocer y responder a eventos de diferentes tipos, incluyendo interacciones entre ellos y efectos en cascada. Usualmente en la literatura se han calculado los retornos asociados a programas enfocados en un solo tipo de evento, lo que ha dado como resultado tasas bastante distintas entre ellos, como puede notarse en la Tabla 5.3.

En el cálculo de una tasa Beneficio/Costo aproximada para la Estrategia multi-amenaza propuesta, es necesario incorporar ponderaciones para los diferentes tipos de amenaza, lo que implica explicitar



Para evaluar el costo que se espera incurrir anualmente por daños causados por futuros desastres de origen natural de no implementarse la Estrategia, se utilizó el valor del indicador *Multi-hazard Average Annual Loss* (GAR, 2015), que para Chile es igual a 2838 millones de dólares anuales. Este valor corresponde a la pérdida anual promedio que se espera en el largo plazo para el país, considerando las pérdidas directas que se esperan sobre las construcciones públicas y privadas producto de eventos de origen natural y la probabilidad asociada a dichos eventos.

supuestos sobre la división de recursos entre los diferentes eventos. Para obtener estas ponderaciones, se utilizó la relación entre el costo que se espera incurrir anualmente para enfrentar estos desastres en Chile. Ello supone destinar los fondos asociados a esta Estrategia en proporción al costo que representan las diferentes amenazas para el país, empleando una mayor cantidad de recursos en aquellos que se espera signifiquen mayores pérdidas a nivel nacional. Evidentemente, para efectos de esta propuesta esto es solo un estimador que permite proponer una razón Beneficio/Costo que tenga un fundamento lógico; sin embargo, es claro que la asignación posterior de los recursos podría ser ligeramente distinta dependiendo de otras variables. En cualquier caso, hemos preferido explicitar la metodología seguida en esta estrategia para el cálculo de la rentabilidad asociada a las inversiones realizadas.

Para evaluar el costo que se espera incurrir anualmente por daños causados por futuros desastres de origen natural de no implementarse la Estrategia, se utilizó el valor del indicador *Multi-hazard Average Annual Loss* (AAL) del *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction Report 2015* (UNISDR, 2015), que para Chile es igual a 2.838 millones de dólares anuales. Este valor corresponde a la pérdida anual promedio que se espera en el largo plazo para el país, considerando las pérdidas directas que se esperan sobre las construcciones públicas y privadas producto de eventos de origen natural y la probabilidad asociada a dichos eventos. No considera costos indirectos, ni daños a infraestructura como puentes, puertos y aeropuertos, telecomunicaciones ni agricultura. La Tabla 5.3 muestra la distribución de este costo entre los diferentes tipos de amenaza. Es importante notar que solo disponemos de información para terremotos, tsunamis e inundaciones.

Tabla 5.3: Razón Beneficio/Costo para Programas de Mitigación.

AMENAZA	PROYECTO	PROCESO
Terremoto	1.4	2.5
Inundaciones	5.1	1.3
Huracanes	4.7	1.7
PROMEDIO PONDERADO	4.0	2.0

Fuente: MMC, 2005



Tabla 5.3: Costo Anual Promedio Esperado para Chile Asociado a Distintas Amenazas

AMENAZA	COSTO ESTIMADO (US\$ MM)	% COSTO TOTAL
Terremoto	2396,6	84,4%
Tsunami	11,8	0,4%
Inundaciones	429,8	15,1%
TOTAL	2838,2	100%

Fuente: Elaboración propia construida utilizando información de GAR 2015.

Finalmente, la razón de Beneficio/Costo esperado para esta Estrategia fue estimada utilizando como ponderadores las proporciones del costo esperado por desastre y atribuidas a terremotos e inundaciones, puesto que son las amenazas para los que se cuenta con información de la razón Beneficio/Costo y representan la mayor parte del costo total estimado asociado a este tipo de eventos. Utilizando la proporción que representan estos eventos sobre el costo total, en conjunto con sus razones de Beneficio-Costo, se calculó una tasa Beneficio/Costo (B/C) para esta estrategia igual a 2,32. Esto quiere decir que por cada peso invertido en la Estrategia, se espera recibir en valor presente un beneficio de 2,32 pesos, por medio de una disminución en los costos esperados asociados a desastres de origen natural.

Es importante destacar que no se cuenta con tasas de B/C para todas las amenazas incluidas dentro de la Estrategia, como por ejemplo incendios y erupciones volcánicas, ni tampoco una estimación del costo esperado asociado a estas amenazas, por lo que no es posible incluir estos valores en la estimación de la razón B/C esperada para esta Estrategia. Sin embargo, la tasa calculada puede considerarse una buena aproximación dada la información disponible, y la relevancia histórica de los terremotos e inundaciones dentro del costo total relacionado a desastres en Chile.

Se hace hincapié en que este resultado supone la transferencia de la I+D+i generada a partir de la Estrategia hacia políticas públicas que generen cambios concretos en las capacidades de las comunidades para prepararse, responder y recuperarse frente a desastres de origen natural, conduciendo en definitiva a una sociedad más resiliente frente a estos fenómenos. Es por ello que la Comisión observa como crucial un programa de *Outreach* y Divulgación Científica que sea transversal a toda la Estrategia y

que vele con especial fuerza por lograr una transferencia rápida y efectiva de los conocimientos generados hacia aplicaciones prácticas que generen beneficios reales para la población. Para ello debe existir una coordinación importante entre las organizaciones responsables de implementar esta Estrategia de I+D+i, y las organizaciones que materializan sus aplicaciones prácticas, tanto dentro del sector público, como en las comunidades y la industria.

Naturalmente, este indicador que es clave también para asegurar la efectividad de la estrategia puede seguir siendo mejorado y pulido en el tiempo mediante los mismo estudios que se planean realizar. Esta razón de 2,32 es uno de los KPI más relevantes para el desarrollo y medición de la política nacional de resiliencia frente a desastres.

Simulación de los Beneficios Esperados para la Estrategia

Para simular la trayectoria de beneficios asociados a la Estrategia (i.e., menores costos por efectos de los desastres de origen natural), se utilizó la razón esperada de Beneficio-Costo calculada en la sección anterior, y se estimó el flujo de beneficios que serían coherentes con un flujo de inversión consistente con el presupuesto estimado mediante dos formas funcionales de retorno alternativas: (i) retornos que fueran constantes durante el periodo de recuperación de la inversión, y (ii) con una forma funcional logística para el retorno acumulado, frecuentemente utilizada en temas de innovación. La primera forma funcional es coherente con la metodología de MMC que supone retornos constantes para el periodo de vida útil de la inversión —50 años para infraestructura común, 100 años para infraestructura institucional y líneas de vida—. Para este caso, se supuso una vida útil de cincuenta años. Sin embargo, esta forma funcional parece ser más apropiada para programas que implican mejoras físicas al ambiente construido más que procesos, como es el caso de la Estrategia presentada en este documento, aunque ciertas inversiones pueden asemejarse a esta trayectoria, como la inversión en infraestructura tecnológica para I+D+i en resiliencia (Sección 3.2.d).

La segunda supone retornos crecientes durante la primera fase de inversión, y retornos decrecientes a medida que pasa el tiempo, una forma funcional frecuentemente utilizada para innovación y que busca representar la curva de adopción de nuevas tecnologías. Esto ha sido observado en la literatura para el

caso de I+D en energías renovables²². En esta segunda forma funcional, el 99% del flujo de beneficios se alcanza en los primeros 18 años siguientes a la inversión, según parámetros promedios observados por Sultan, Farley y Lehmann (1990, págs 70-77), quienes realizan una revisión de 213 documentos de investigación que estiman este modelo (para más detalle, ver Apéndice F).

Adicionalmente, se supone que la inversión de un año en particular es independiente de la inversión en otros años, lo que implica que para cada año de inversión, se calcula su propia trayectoria de beneficios coherentes con la razón Beneficio-Costo, las que luego se agregan para calcular la trayectoria de beneficios total. Aunque no es totalmente realista, ya que es de esperar que existan dependencias entre las inversiones de diferentes años, esto reconoce que la implementación de la Estrategia está compuesta por un conjunto de proyectos que se ejecutan gradualmente. Para la tasa de descuento se utilizaron los valores seleccionados en el documento MMC de 0%, 2% y 7%, de manera de observar la sensibilidad de los resultados a los diferentes valores. Dado que el cálculo de la trayectoria de beneficios corresponde a la realización de ingeniería inversa a partir de la razón Beneficio-Costo procedente de ese documento,

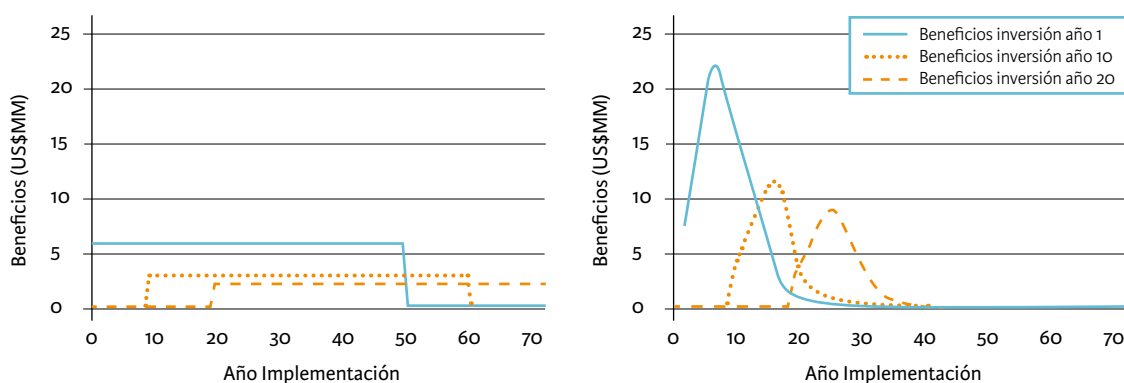
parece apropiado utilizar las mismas tasas para descontar los flujos de beneficios. Con estos valores, se simuló entonces trayectorias para el retorno de las inversiones realizadas año a año (ver Figura 5.2).

Como puede observarse claramente en la Figura 5.2, para la forma funcional de retornos constantes, los beneficios se reciben de manera más gradual, durante un periodo mayor de tiempo, que la forma funcional logística seleccionada.

Para obtener el retorno agregado para la implementación total de la Estrategia, se agregaron también las trayectorias de retorno calculadas para cada año de inversión. Naturalmente que este análisis podría ser realizado utilizando las verdaderas recurrencias subyacentes de las amenazas naturales consideradas. Sin embargo, eso conllevaría un análisis mucho más complejo y difícil de explicar. Se estimó que los supuestos realizados son suficientes para tener claridad de las ventajas de invertir en el desarrollo de un Chile más resiliente.

Definido de esta forma el modelo, se procedió a calcular la disminución de los costos incurridos debido a desastres de origen natural que sería razonable esperar luego de la implementación de la Estrategia. La Tabla 5.4 muestra los resultados para los diferentes escenarios simulados.

Figura 5.2: Trayectoria de beneficios para las inversiones de los años 1, 10 y 20 bajo el supuesto de retornos constantes (izquierda) o según la forma funcional logística con tasa de descuento de 2% (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

22 Ver MA Schilling y M Esmundo, Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government: Energy Policy, doi:10.1016/j.enpol.2009.01.004, 2009.

Tabla 5.4: Ahorros promedio esperados para los distintos escenarios de inversión considerados en millones de dólares al año

TASA DE DESCUENTO	RETORNOS CONSTANTES				FUNCIÓN LOGÍSTICA		
	AÑOS 1-10	AÑOS 11-30	AÑOS 31-50	AÑOS 51-70	AÑOS 1-10	AÑOS 11-20	AÑOS 21-40
0%	18,2	41,5	44,6	12,7	68,7	110,9	23,0
2%	29,0	66,1	71,0	20,3	77,7	125,5	26,0
7%	66,0	150,5	161,8	46,22	102,5	165,6	34,9

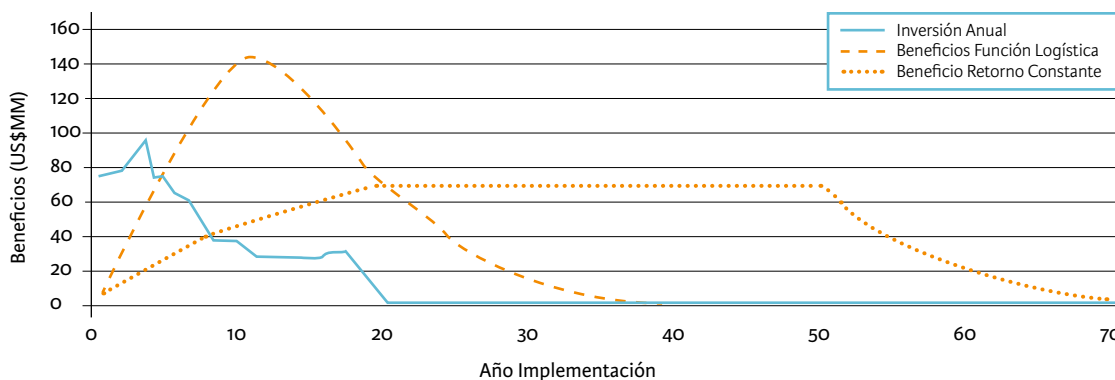
Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Tabla 5.4, los resultados son sensibles a la elección de parámetros. Al incrementar la tasa de descuento para la trayectoria de beneficios, incrementan los beneficios esperados. Esto puede parecer contra intuitivo, pero se debe a que la razón de Beneficio-Costo está fija en el valor estimado anteriormente. El valor central utilizado en las estimaciones de MMC es 2%, por lo que este valor puede considerarse también central para el cálculo de los beneficios en este caso. La forma funcional seleccionada afecta el tiempo de recuperación de la inversión, con los retornos constantes presentando un plazo más largo, y por ende, beneficios anuales menores, pero por un periodo más largo. Además, de una ligera diferencia en la trayectoria de recuperación de la inversión, con la forma logística presentando una mayor proporción los beneficios concentrados en la etapa intermedia de recuperación.

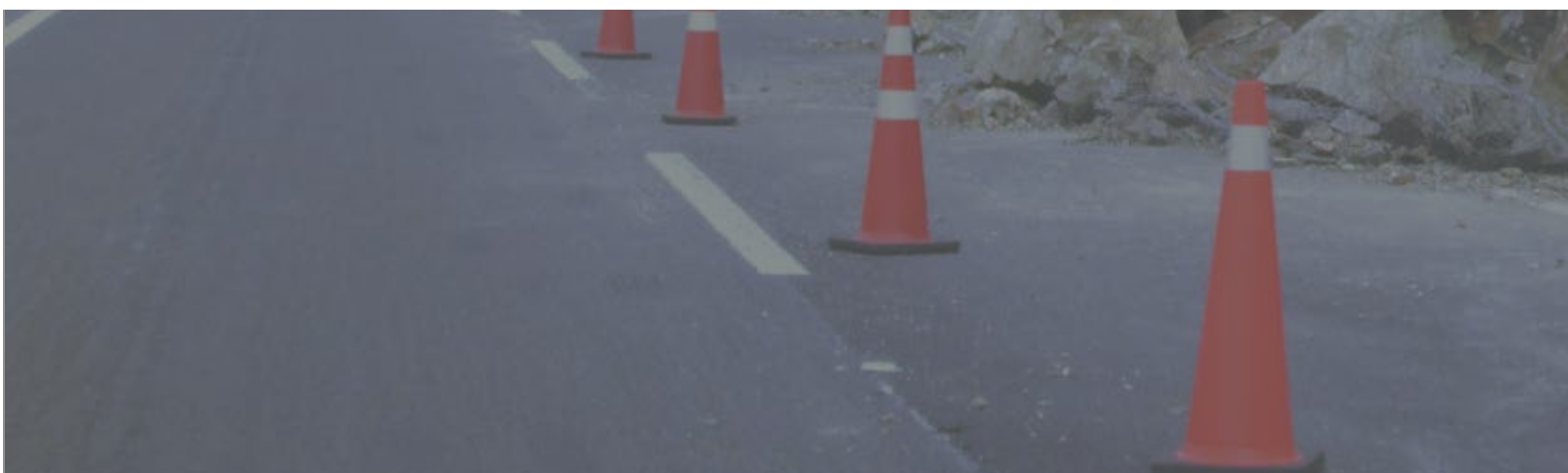
La Figura 5.3 muestra la trayectoria de inversión y los beneficios esperados para ambas formas funcionales, bajo el valor central de 2% para la tasa de descuento.

Como puede observarse en la Figura 5.3, bajo ambas formas funcionales, los beneficios generados por la estrategia superan ampliamente los costos de la inversión, lo que está condicionado por la razón de Beneficio-Costo de 2,32, común a ambas trayectorias. No obstante, la trayectoria particular en que estos beneficios se reciban en el tiempo dependerá de la forma funcional a la que se asemeje la trayectoria de beneficios efectiva asociada a esta inversión. Esta simulación busca ilustrar dos posibles trayectorias que recogen en parte las características asociadas a la inversión; sin embargo, ambas son solo modelos simplificados, por lo que es esperable que la trayectoria real se ubique en un punto intermedio entre ambas.

Figura 5.3: Trayectoria de inversión y beneficios bajo formas funcionales alternativas



Fuente: Elaboración propia.





6 | INVOLUCRAMIENTO DE LA INDUSTRIA



Eventos recientes han hecho evidente que para el desarrollo sustentable de comunidades y ciudades resilientes se debe alinear no solo a los actores públicos, académicos y a la sociedad civil, sino que también se requiere del involucramiento de la industria. Considerando que aproximadamente el 85% de toda la inversión mundial en infraestructura es privada (Hart, 2008), es claro que resulta crucial incorporar la noción de resiliencia en este sector.

Es por ello que el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030) llama directamente a la integración del riesgo de desastres en las prácticas de gestión, operación y cadena de valor del sector privado.

Según explica Sendai, la falta de regulación y de incentivos para la inversión en riesgo de desastres en el mundo privado es una causa subyacente del riesgo. Asimismo, el Marco señala que manejar estos riesgos de desastre subyacentes con ayuda de la inversión privada en prevención es más costo efectivo que depender exclusivamente de la respuesta pública post-desastre. Agrega el documento que, para lograr lo anterior, "los sectores público y privado y las organizaciones de la sociedad civil, así como la comunidad académica y las instituciones científicas y de investigación, deben colaborar más estrechamente y crear oportunidades de colaboración" (Naciones Unidas, 2015, p. 10). Solo de este modo, concluye el reporte, se podrá cumplir con las metas señaladas como deseables por este acuerdo.

En este contexto, Sendai plantea ciertas líneas de acción inmediatas, entre las que se encuentra promover la cooperación entre las entidades y redes académicas, científicas y de investigación con el sector privado a fin de desarrollar nuevos productos y servicios para ayudar a reducir el riesgo de desastres y sus efectos en las empresas, sobre todo las que son consideradas como servicios vitales.

Para lograr invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia es importante (...) promover la cooperación entre las entidades y redes académicas, científicas y de investigación y el sector privado a fin de desarrollar nuevos productos y servicios para ayudar a reducir el riesgo de desastres..."

"Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2013, Naciones Unidas"

En esta misma línea, el Plan Estratégico Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (2015-2018) del Gobierno de Chile planteó la necesidad de generar mesas público-privadas para el intercambio de información, a las que se les suma también la constitución de la Plataforma Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastre que ha establecido la priorización y líneas de acción para asegurar la continuidad operativa de líneas críticas y servicios vitales. Para ello es indispensable fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías que permitan a cada industria conocer y mitigar los riesgos asociados, vinculando los resultados del I+D+i en desastres con el diseño y operación de sus proyectos.





Es por ello que CREDEN quiere poner énfasis en el rol que juega en la resiliencia este importante sector de nuestra sociedad que denominamos genéricamente como la industria. Para abarcar este desafío, la Comisión consideró desde un inicio la incorporación de personas asociadas al sector tanto en su Comisión Central como en las Subcomisiones, incluyendo representantes de compañías aseguradoras, de la asociación de empresas TIC y consultores expertos del área de ingeniería estructural. Por otro lado, y dado que en las sesiones se hizo presente la necesidad de incorporar a la industria de manera más significativa, se realizó una mesa redonda ampliada a distintos sectores productivos con los siguientes objetivos: (i) profundizar en el entendimiento del rol del sector privado en la resiliencia frente a desastres; (ii) reflexionar sobre las lecciones aprendidas en los últimos grandes eventos, como los terremotos y tsunamis de 2010, 2014 y 2015, y los aluviones de 2015; (iii) dar a conocer e involucrar más al sector privado en el trabajo de la Comisión CREDEN; (iv) recoger las preocupaciones y propuestas de acción desde la industria, sociedad civil y gobierno que permitan reforzar una estrategia de I+D+i para la resiliencia frente a desastres de origen natural; y (v) discutir criterios para las inversiones en I+D+i con el propósito de entregar insumos a la industria que permitan reducir las pérdidas futuras asociadas a desastres de origen natural²³. En esta reunión, se contó con la participación del Director Nacional de la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), Gral. (R) Ricardo Toro Tassara, y con la exposición del Director

23 Para conocer los integrantes de esta mesa redonda, ver Apéndice D.

de Asociación Gremial de las Empresas Eléctricas, Rodrigo Castillo. La reunión se realizó de manera presencial durante toda una mañana de junio 2016 en las dependencias del Global Center de la Universidad de Columbia en Santiago. De manera complementaria a esta reunión, se ejecutó una encuesta a los directores gremiales participantes para poder conocer en más detalle su opinión respecto a la relación que veían entre el I+D+i en desastres y las necesidades del sector privado²⁴.

Estas iniciativas le permitieron a CREDEN llegar a algunas conclusiones importantes para el sector, que vale la pena revisar brevemente. En primer lugar, se reconoce que el año 2010 fue un punto de inflexión para la industria, que comenzó a ver los desastres de origen natural como un tema sumamente relevante para sus operaciones. Un 50% de los encuestados considera que el 27 de febrero de 2010 ha sido el evento más destructivo en la historia reciente del país, dañando una enorme cantidad de infraestructura e interrumpiendo las operaciones de distintos sectores, muchas veces de manera prolongada. En este contexto, un 72% de los entrevistados señalan que se identificaron aprendizajes post evento, y que estos fueron incorporados en planes de acción para prepararse para futuros desastres. Entre los avances post-evento, se creó también una mesa de infraestructura crítica con ONEMI. Aun así, es preocupante que solo un 36% de los entrevistados considera que su rubro está bien preparado para enfrentar un nuevo

24 La encuesta fue contestada por once dirigentes gremiales representantes de distintos rubros de la economía. La encuesta fue realizada de manera anónima (online).

evento natural extremo.

Entre los temas más relevantes señalados por la industria destaca la necesidad y existencia de Planes de Continuidad Operativa, es decir, planes que permitan a las empresas recuperarse y restaurar sus funciones críticas luego de un desastre. La mayoría de los encuestados (72%) considera que la recuperación es el tema en que se deberían invertir más esfuerzos y recursos para estar preparados para el próximo evento natural extremo. De acuerdo a la encuesta, en la actualidad dos tercios de los rubros considerados cuentan con planes de continuidad operativa, aunque solo la mitad de estos presenta consideraciones para eventos extremos de origen natural y solo un 36% señala que estos planes funcionaron adecuadamente al momento del evento²⁵. Entre las razones para esta falta de efectividad se señala sobre todo que los planes no eran ampliamente conocidos dentro de la organización. En relación a esto, la mayoría de los encuestados (72%) considera que el Estado debería exigir a las empresas contar con estos planes de acción, sobre todo en aquellas empresas o rubros considerados estratégicos para el bienestar social. Cabe mencionar que la totalidad de los representantes de rubros sin planes de continuidad operativa considera que estos deberían ser obligatorios.

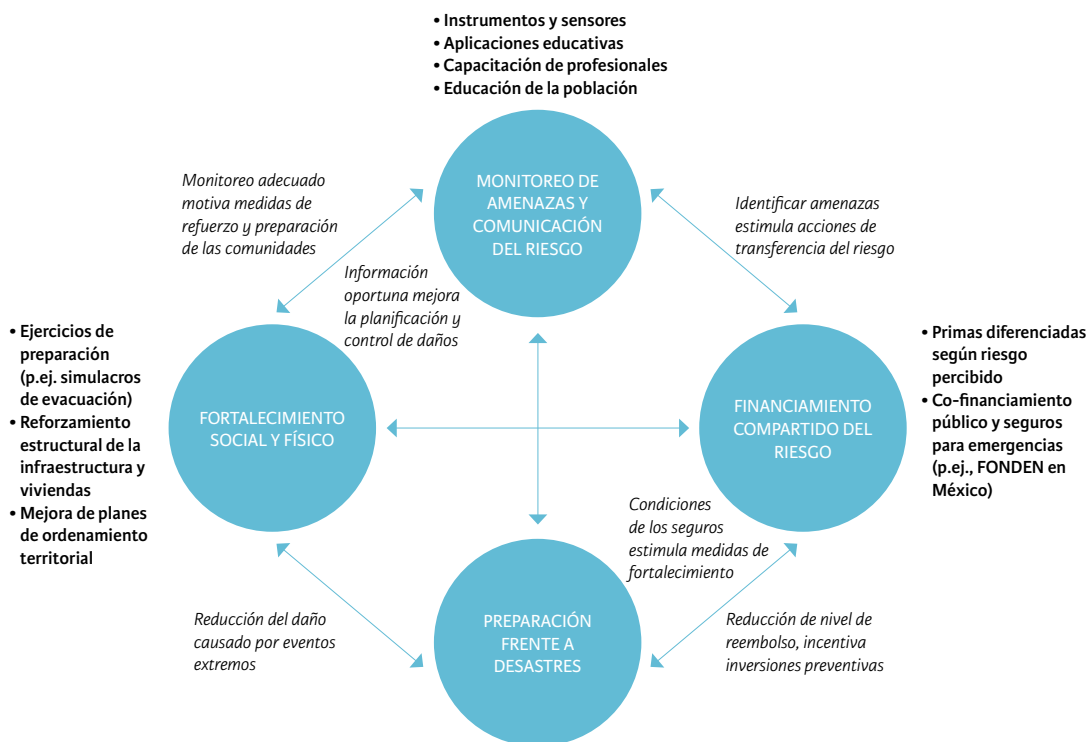
Los representantes del sector privado destacaron también la posibilidad de que Chile se constituya como Polo de Desarrollo en resiliencia, viendo una gran oportunidad en transformar las tecnologías desarrolladas en una industria. En este sentido, la gran mayoría (91%) de los entrevistados considera que existen oportunidades de creación de valor en torno a la resiliencia frente a desastres de origen natural, aunque una cifra levemente menor estaría dispuesta a invertir recursos para lograrlo (82%). Se concluyó también que el rol de la investigación y la innovación, ya sea propia o a través de la academia, puede ser muy relevante para mejorar la resiliencia de los distintos sectores productivos (82%). Se considera que esto ha funcionado bastante bien en término de terremotos, pero no así en otro tipo de amenazas como, por ejemplo, las inundaciones. En general, se piensa que

la infraestructura y tecnología para datos es pobre, y esto es un obstáculo para mejores iniciativas en la industria. Además, los representantes de la industria señalan que hay muchas áreas donde se han desaprovechado los desastres como objeto de estudio como, por ejemplo, la logística, las comunicaciones y las ciencias sociales en general. Para poder mejorar esta situación, se considera necesario generar una mejor relación entre la industria y las universidades. Finalmente, cabe destacar de la encuesta que el 100% de los participantes considera que su organización estaría dispuesta a formar parte de una alianza público-privada para abordar el tema de resiliencia a desastres de origen natural, considerando al Estado como un aliado estratégico en este sentido.

Es importante mencionar también que al pensar y escribir esta Estrategia se consideraron distintas iniciativas internacionales donde la industria tiene un rol muy relevante en aportar a la resiliencia. Entre ellos se encuentran principalmente los documentos preparados por el *World Economic Forum* (WEF) (2008), por el *International Recovery Forum* (2016) y la estrategia de la *Australian Business Roundtable for Disaster Resilience and Safer Communities* (2013). En estos documentos se señalan algunas conclusiones que fueron consideradas muy atingentes para el caso de Chile. En particular, la aseveración de que, hasta ahora, la industria se ha comprometido con la resiliencia a través de proyectos concretos, pero no de una manera comprehensiva que incorpore todos los aspectos de su actuar. Al respecto, el documento del WEF reconoce cuatro áreas donde existen oportunidades de acción para la industria: (i) monitoreo de amenazas y comunicación del riesgo; (ii) fortalecimiento de las capacidades sociales y físicas; (iii) financiamiento compartido del riesgo; y (iv) preparación ante desastres. La Figura 6.1 muestra esquemáticamente cómo interactúan estas áreas dentro del dominio de la tecnología, y da algunos ejemplos concretos de oportunidades de I+D+i con énfasis en la innovación tecnológica que permitiría alcanzar una mayor resiliencia en las comunidades.

25 Este evento no se refiere siempre al 27 de febrero de 2010. Algunas industrias señalaron como más relevante el terremoto de Iquique el 2014 o los aluviones de Atacama el 2015.

Figura 6.1: **Áreas de oportunidad para el involucramiento de la industria chilena en la Estrategia de I+D+i en resiliencia frente a desastres**



Fuente: Traducido y adaptado de WEF (2008).

A su vez, el documento entrega recomendaciones de cómo catalizar un mayor involucramiento de la industria, identificando acciones concretas para cuatro grandes sectores industriales que se verían mayormente beneficiados por planes de reducción de riesgo de desastre, además de ser clave para fortalecer la capacidad resiliente del país. Estos son:

i) Aseguradoras y Servicios Financieros, quienes tienen el estímulo para movilizar a toda la industria a reducir los riesgos asociados a desastres. Entre las tareas prioritarias para este sector se destaca la creación, procesamiento y difusión de información pertinente al riesgo en que viven diferentes comunidades, así como también el desarrollo de productos financieros innovadores que incluyan los riesgos de desastre y aquellos asociados al cambio climático. Parece también oportuno investigar el apoyo de estas empresas al desarrollo de un seguro para el Estado de Chile.

ii) Ingeniería, Construcción y Vivienda, rubro que es considerado crítico por su rol en definir estándares de construcción, uso del suelo y la labor de reconstrucción. Para este sector, se destacan como tareas prioritarias el mejorar las construcciones ya existentes para hacerlas más resilientes y, además, la permanente revisión de los códigos de diseño y construcción que se refieren a nuevas edificaciones para que estos se modernicen y fortalezcan. Finalmente, se señala como de gran importancia que la industria respete y participe en una regulación del uso del suelo de forma de apoyar la resiliencia.

iii) Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y Telecomunicaciones, un área que puede permitir que la gestión de desastres sea más rápida y efectiva y que a su vez se beneficie de las nuevas tecnologías que pueden ser desarrolladas. Se consideran como tareas prioritarias para este sector el presentar y co-

municar los riesgos de manera efectiva e innovadora, usando para ello las nuevas tecnologías y redes sociales disponibles. Así mismo, la industria debería participar en el diseño, desarrollo y uso de tecnologías y sistemas de alerta temprana y manejo de desastres, además de la creación de bases de datos en tiempo real que informen la toma de decisiones.

- iv) Servicios Públicos Críticos (p.ej., agua, luz, transporte), ya que el aumento de robustez y capacidad de recuperación de su infraestructura es garantía de continuidad operativa, lo que es crucial para mejorar la resiliencia del país frente a estos eventos. Se identifica además la necesidad de crear sistemas y dispositivos para las contingencias, enmarcados en el desarrollo de planes de continuidad operativa, y el mejoramiento de la preparación de los servicios y los trabajadores encargados de restituir los servicios y de comunicar su estado durante la emergencia y recuperación post-evento.

Adicionalmente, para el caso chileno, el trabajo de la Comisión dejó en claro la necesidad de incorporar otros sectores de gran incidencia en la actividad productiva y económica nacional, como lo son la Minería, la Agroindustria, el sector Forestal y la Acuicultura. Para estos sectores y los anteriormente mencionados se definió como acción prioritaria el elaborar Planes de Continuidad Operativa y, específicamente, Planes de Recuperación de Desastres, que sean conocidos por la organización y permitan mitigar los efectos de cualquier evento extremo.

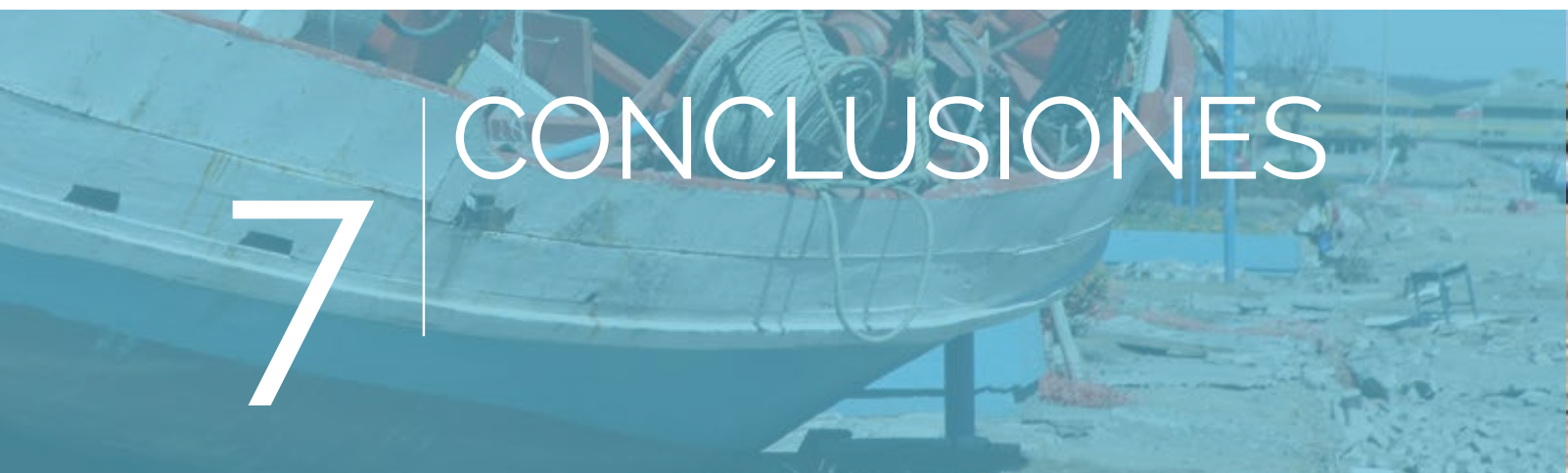
Finalmente, el trabajo de CREDEN concluyó que además de un enfoque comprehensivo en cada sector, debería trabajarse el tema de la resiliencia de manera integral a nivel país. Esto significa que los esfuerzos tanto de prevención como de recuperación deben darse de manera coordinada entre los distintos sectores de la industria, así como también entre la industria y otros sectores de la sociedad, especialmente el Estado²⁶.

Resumen

Un I+D+i para la resiliencia debe incluir a la industria, especialmente la referida a infraestructura crítica. De acuerdo a esta Estrategia, una de las primeras acciones a seguir en este ámbito debe ser el diseño de Planes de Continuidad Operativa y específicamente Planes de Recuperación ante Desastres, con énfasis en servicios básicos e infraestructura crítica necesaria para el bienestar de las comunidades. Pero más allá de lo anterior, se plantea que el I+D+i para la resiliencia debe desarrollarse también en la industria, de modo que Chile pueda convertirse en un país de referencia para el resto del mundo en este ámbito, y de este modo posicionarse como Polo de Desarrollo en el tema de innovación en desastres. Para ello, debemos ver estos grandes eventos destructivos como oportunidades para el desarrollo de soluciones que permitan mejorar los procesos de las industrias, su práctica cotidiana, las políticas de preparación y capacitación a su personal, entre otras.

26 Tal como lo plantea también el International Recovery Forum (2016).







Este documento resume la hoja de ruta de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en que la Comisión para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural (CREDEN) ha trabajado durante el año 2016. La Comisión se desarrolla bajo el alero del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), y tiene dos objetivos fundamentales: reducir el impacto que estos grandes eventos causan sobre el entorno físico, social y económico de nuestro país; y segundo, construir a partir de esta singularidad de Chile una oportunidad para su desarrollo. El propósito final es llevar adelante un salto cualitativo en la resiliencia de nuestra sociedad frente a eventos extremos de origen natural a través del I+D+i.

Para cumplir con estos objetivos, la propuesta mira en dos horizontes de tiempo, uno de 3 y otro de 20

años. Los primeros tres años buscan lograr concretar unos pocos resultados que sean sustantivos, para luego dar paso a aquellos resultados que requieren de mayor trabajo y maduración. Estos resultados "iniciales ganadores" están muy asociados a lo que se ha denominado en esta Estrategia como *condiciones habilitantes*. Estas condiciones son cinco: (i) una nueva institucionalidad enmarcada en un Instituto Tecnológico Público como ente coordinador; (ii) una moderna infraestructura nacional de datos e información para la resiliencia; (iii) un agresivo programa de desarrollo de capital humano avanzado en el área de riesgo y resiliencia; (iv) el desarrollo de un conjunto de cinco laboratorios nacionales de conocimiento y manufactura de frontera; y (v) un muy importante programa de *outreach* hacia la sociedad en base al I+D+i generado.

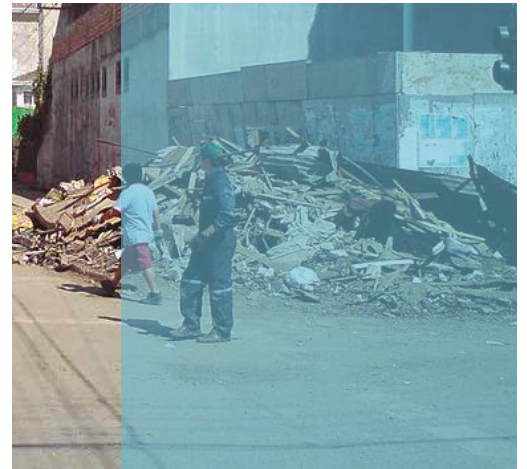
Complementan a estos resultados iniciales de condiciones habilitantes, el desarrollo de un conjunto de catorce tareas fundamentales de I+D+i en las que se centró el trabajo de la Comisión. Estas tareas cubren un amplio espectro y ámbitos del problema, y son las que finalmente producirán el cambio cualitativo esperado. Su desarrollo comienza desde el primer año de implementación de la Estrategia, y sus resultados varían de acuerdo con el tipo de actividad. En cualquier caso, todas ellas integran componentes de investigación y desarrollo con un claro propósito: aumentar la resiliencia frente a desastres de nuestro país. Varias de las tareas están, además, interrelacionadas y constituyen entre sí un entramado necesario para lograr la reducción en el impacto de eventos extremos y aumentar el crecimiento en la resiliencia del entorno físico, social y económico.

El costo total de esta Estrategia anualizado es de 45,7 millones de dólares en 20 años, y corresponde a aproximadamente un 1,6% del costo de los desastres en Chile en la misma ventana de tiempo. Entendiendo que este ejercicio de presupuestación no considera el enorme impacto que los eventos naturales extremos tienen sobre la vida humana, el entorno social, natural y económico, existe una razón beneficio-costos estimada para esta Estrategia de 2,3. Es decir, que por cada peso invertido en esta Estrategia, el país debería recuperar 2,3 pesos. Consecuentemente, esta propuesta es altamente conveniente y se rentabiliza a través de la reducción del costo total (directo e indirecto) asociado a desastres de origen natural, del cual una fracción importante le corresponde al Estado.

Esto es particularmente relevante, considerando que los desastres de origen natural representan hoy anualmente para Chile en promedio cerca de un 1,2% de nuestro PIB, posicionándonos entre los países de la OECD con mayor gasto relativo al tamaño de su economía. Por ello se hace imprescindible que como sociedad enfrentemos este problema y reduzcamos este enorme costo, liberando así recursos para el desarrollo de nuestro país

Más aún, debemos considerar a su vez el beneficio que traerá al país el transformarlo en una potencia mundial en el desarrollo de tecnología asociada al problema de los desastres de origen natural. Esta es una apuesta muy importante, porque el proyecto propone el desarrollo de una nueva industria para el país, que nace "legitimizada" por la enorme capacidad de respuesta que el país y su gente han demostrado frente a estos grandes eventos. Esta industria es de características globales, pero Chile tiene un conjunto de ventajas que lo hacen estar ya posicionado mundialmente en este tema.

Finalmente, es necesario subrayar que para que esta Estrategia cobre vida, se requiere del involucramiento profundo de todos los sectores de la sociedad chilena. Si bien esta es una estrategia solo de I+D+i del país frente a los desastres, todo lo que aquí se propone ha sido pensado en base a un propósito claro y compartido: una mayor resiliencia frente a los desastres de origen natural, que se sustenta sobre un conjunto de valores que creemos son compartidos por muchos de nuestras y nuestros compatriotas.





La Comisión CREDEN cree que no debiera ser complejo sumar a los distintos sectores organizados y no organizados en las mesas de trabajo que conduzcan finalmente a los resultados que el I+D+i vaya produciendo. Este es uno de aquellos temas que une constantemente a Chile y claramente es parte de nuestra historia e identidad. Por ello, tenemos la total convicción de que esta propuesta tendrá un gran impacto en el bienestar de todos los habitantes de nuestro país, eso ha sido nuestra principal motivación como Comisión, y que, sin darnos cuenta, en el plazo de

unos años y gracias a los talentos que este país tiene y recibe de otros, habremos saltado a un estándar distinto en términos de nuestra relación y respuesta a nuestra demandante Madre Tierra. Tampoco podemos quejarnos de Ella, esta naturaleza increíble e indómita que nos embarga como país, y que a veces nos cobra sus sentimientos, ya que nos ha dado mucho, una tierra fértil, rica en minerales, rica en gente diversa, rica en escenarios naturales que nadie más en el resto del mundo puede disfrutar.

Un Chile Resiliente, es un Chile amoroso con su tierra y su gente (CREDEN 2016).

REFERENCIAS

- Australian Business Roundtable for Disaster Resilience and Safer Communities, Building our Nation's Resilience to Natural Disasters, 2013. <http://australianbusinessroundtable.com.au/assets/documents/White%20Paper%20Sections/DAE%20Roundtable%20Paper%20June%202013.pdf>
- C Darwin, El Viaje del Beagle, Penguin Classics (Re-impresión), 1909.
- C Hart, The Private Sector's Capacity to Manage Climate Risks and Finance Carbon Neutral Energy Infrastructure. Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in Energy & Environment: Technology, Policy and Finance. Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- CA Villacis and CN Cardona, RADIUS methodology. Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects. Geohazards International, Palo Alto, California, 1999.
- Cameron Partners, Capacidades de investigación, desarrollo e innovación en desastres naturales. Informe Final, 2016.
- CONAF, Por un Chile Forestal Sustentable. CONAF, 2014.
- CONAF, Sistema de Comando de incidentes establece una organización común que permite a varias entidades trabajar en conjunto para el manejo de una emergencia, 2014. <http://www.conaf.cl>
- CONICYT. Ver <http://www.conicyt.cl/fondef/2016/05/23/primer-concurso-de-investigacion-tecnologica-tematico-en-mineria/>
- Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo CNID, Un Sueño Compartido Para El Futuro De Chile. Informe a la Presidenta de la República, Michelle Bachelet. Comisión Presidencial Ciencia para el Desarrollo de Chile, 2015.
- Consultora de Educación Superior Verde Limitada, Estudio de Formación y Desarrollo de Capital Humano, Informe Final. Octubre 2013. Estudio encargado por el Ministerio de Educación a través de la Licitación Pública No 592-130-LP11.
- Corporación Nacional Forestal CONAF, Historia. <http://www.conaf.cl>
- CS Holling, Resilience and Stability of Ecological Systems: Annual Review of Ecology and Systematics 4, 1-23, 1973.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Securing Society against Catastrophic Earthquake Losses: A Research and Outreach Plan in Earthquake Engineering, 2003.
- EM-DAT, The International Disaster Database. <http://www.emdat.be>
- F Sultan, JU Farley, DR Lehmann, A meta-analysis of diffusion models: Journal of Marketing Research, 27, 70-77, 1990.
- <http://diario.latercera.com/2015/05/17/01/contenido/negocios/27-189779-9-el-mapa-de-riesgo-sismico-que-redefinira-las-tarifas-de-las-aseguradoras.shtml>
- <http://earthquake.usgs.gov/data/dyfi/>
- <http://education.usgs.gov/secondary.html>
- <http://kimgen.cl/>
- <http://opensees.berkeley.edu/index.php>
- <http://subinterior.gob.cl/noticias/2016/06/23/interior-y-sistema-de-proteccion-civil-afinan-proyecto-que-crea-observatorio-multiamenaza-de-desastres-naturales/>
- <http://www.cigiden.cl/proyectos-es/proyecto-satrebs-proyecto-de-investigacion-para-el-mejoramiento-de-las-tecnologias-y-el-desarrollo-de-comunidades-resilientes-ante-tsunamis/>
- <http://www.conaf.cl/validan-mapas-de-riesgo-de-incendios-forestales-en-comunas-de-los-rios/>

- <http://www.nlhpc.cl/es/>
- <http://www.onemi.cl/cat/>
- <http://www.onemi.cl/mapas/>
- <http://www.sae.gob.cl/>
- <http://www.sernageomin.cl/peligrosgeologicos.php>
- <http://www.shoa.cl/servicios/citsu/citsu.html>
- <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=3462507f6d42420c863e01f7736a48e2>
- <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/34411>
- <https://www.globalquakemodel.org/openquake/about/>
- <https://www.globalquakemodel.org/what/regions/south-america/>
- https://www.usfa.fema.gov/prevention/outreach/ss_safety_program.html
- International Recovery Forum, Guidance Note on Recovery: Private Sector, 2016. http://www.recoveryplatform.org/assets/Guidance_Notes/Guidance%20Note%20on%20Recovery-Private%20Sector.pdf
- International Recovery Forum, Guidance Note on Recovery: Private Sector, 2016.
- J Quezada, Terremotos y Tsunamis en la Región del BioBío: Departamento Ciencias de la Tierra. Universidad de Concepción, 2010. <http://www2.udec.cl/gema/main.html>.
- J Valenzuela Márquez, Relaciones jesuitas del terremoto de 1730: Santiago, Valparaíso y Concepción: Cuadernos de historia (37), 195-224, 2012.
- JC Collins and JI Porras, Building your company's vision: Harvard Business Review, 2001.
- JC Collins and JI Porras, op. cit.
- M Arredondo, Académica FAU descubrió posible sistema anti-sísmico de la Iglesia de San Francisco: Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2015. <http://www.fau.uchile.cl/noticias/119036/descubren-posible-sistema-anti-sismico-de-la-iglesia-de-san-francisco>.
- M Dille, Natural disaster hotspots: a global risk analysis. World Bank Publications, 2015.
- M Gil, Catastrophes and the State: Lesson's from Chile's Seismic History. Tesis para optar al grado de doctor en Sociología. Columbia University, 2016.
- M Onetto, Entre Aporías Espaciales y Sentidos Náufragos: El terremoto de 1647 como catalizador de percepciones y asimilaciones históricas: Nuevo Mundo, Mundos Nuevos, 2007. <http://nuevomundo.revues.org/7442>
- MA Schilling y M Esmundo, Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government: Energy Policy, doi:10.1016/j.enpol.2009.01.004, 2009.
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Resultados Preliminares IV Encuesta Nacional sobre Gasto y Personal en I+D, Enero 2015. Presentación disponible en http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2015/01/Presentaci%C3%B3n-I-D-2013p_prensa.pdf
- Multihazard Mitigation Council, Natural Hazard Mitigation Saves: An Independent Study to Assess the Future Savings from Mitigation Activities. National Institute of Building Sciences, 2005. Washington, D.C., pág.42.
- N Attoh-Okine, Resilience Engineering: Models and Analysis: Cambridge University Press, 2016.
- Naciones Unidas, Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030), 2015, pág. 10.
- National Research Council of the National Academies, National Earthquake Resilience. Research, Implementation and Outreach, 2011.
- OECD, Main Science and Technology Indicators, OECD Stats, http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB

- Oficina Nacional de Emergencia ONEMI, Historia. <http://www.onemi.cl>
- ONEMI, Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2018. Oficina Nacional de Emergencias, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile, 2015, pág. 11.
- ONEMI, Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2018, pág 7.
- ONEMI, Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres. Oficina Nacional de Emergencias, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile, 2014.
- P Aguirre, J Vásquez, JC de la Llera, G González, J González, Earthquake damage assessment for Iquique: case study for implementation of HAZUS-MH in Chile: 16th World Conference on Earthquake Engineering 16WCEE. Santiago, Chile, 2017.
- P Cashina, K Mohaddesb, M Raissi, Fair Weather or Foul? The Macroeconomic Effects of El Niño, 2015. http://www.econ.cam.ac.uk/people/cto/km418/GVAR_EL_Nino.pdf
- P Páez, La oportunidad de destrucción en la urbanística moderna. Planes y proyectos para la reconstrucción de Valparaíso tras el terremoto de 1906. Tesis para optar al grado de magister en Desarrollo Urbano. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008.
- P Tapia, W Roldán, C Villacis, Vulnerabilidad Sísmica de las Ciudades del Norte de Chile: Arica, Antofagasta y Copiapó: VII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile, 2002.
- R Henoch, J Lindenberg, T Guendelman, M Guendelman, Perfil bio-sísmico de rascacielos: 10° Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica ACHISINA. Valdivia, Chile, 2010.
- R Urrutia y C Lanza, Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria, 1993.
- Revista Lingum, Combate de los incendios forestales en Chile: Hacia un modelo sustentable, 2013.
- SERNAGEOMIN, Erupción del Volcán Chaitén. Octavo Informe Técnico, 2008. <http://www.onemi.cl>
- SERNAGEOMIN, Ranking de los 90 volcanes activos de Chile, 2015.
- SERNAGEOMIN, Registro de los principales desastres de origen geológico en Chile y los efectos sobre la población y bienes públicos y privados desde 1980, 2016.
- Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN, Ranking de peligrosidad de los 90 volcanes más peligrosos de Chile, 2015. <http://www.sernageomin.cl>
- Superintendencia de Valores y Seguros de Chile, Análisis e Impacto del 27-F en el Mercado Asegurador, 2012.
- The International Emergency Disasters Database. Country Profile, <http://www.emdat.be/>
- UNISDR, Global Risk Assessment GAR 2015: GVM and IAVCEI, UNEP, CIMNE and associates and INGENIAR, FEWS NET and CIMA Foundation, 2015. <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/data.php?iso=CHL%20>
- UNISDR, Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la Resiliencia de las Naciones y Comunidades ante los Desastres. Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR), 2005.
- World Economic Forum, Building Resilience to Natural Disasters: A Framework for Private Sector Engagement, 2008. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/1392>
- www.shoa.cl/mareas/mapa.php
- www.shoa.cl/n_cendhoc

Este documento fue editado, diseñado y corregido por el equipo de la Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo con el valioso aporte del equipo de apoyo de CREDEN y de la Dirección de Comunicaciones de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Santiago de Chile, diciembre de 2016

cnid | Consejo Nacional
de Innovación
para el Desarrollo