

Publicación Especial 1197 del NIST

Guía de Decisiones Económicas de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura

Stanley W. Gilbert
David T. Butry
Jennifer F. Helgeson
Robert E. Chapman



Esta publicación está disponible de forma gratuita desde:
<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1197>

NIST
National Institute of
Standards and Technology
U.S. Department of Commerce

Publicación Especial 1197 del NIST

Guía de Decisiones Económicas de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura

Stanley W. Gilbert
David T. Butry
Jennifer F. Helgeson
Robert E. Chapman
*Oficina de Economía Aplicada
Laboratorio de Ingeniería*

Esta publicación está disponible de forma gratuita desde:
<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1197>

Diciembre 2015



Departamento de Comercio de los Estados Unidos
Penny Pritzker, Secretaria de Comercio

Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
Willie May, Subsecretario de Comercio para Estándares y Tecnología y Director

Ciertas entidades comerciales, equipos o materiales pueden ser identificados en este documento para describir un procedimiento o concepto experimental de manera adecuada. Dicha identificación no pretende implicar alguna recomendación o promoción por parte del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, ni pretende implicar que las entidades, los materiales o equipos son necesariamente los mejores disponibles para el propósito.

Publicación Especial 1197 del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 1197, 69 páginas (Diciembre 2015)
<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1197>
CODEN: NSPUE2

Resumen

Esta *Guía de Decisiones Económicas* proporciona una metodología económica estándar para evaluar las decisiones de inversión destinadas a mejorar la capacidad de las comunidades para adaptarse, resistir y recuperarse de eventos disruptivos. La *Guía de Decisiones Económicas* está diseñada para ser utilizada en conjunto con la *Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura* del NIST, el cual proporciona una metodología para que las comunidades puedan desarrollar planes a largo plazo involucrando a las partes interesadas, estableciendo metas de rendimiento para los edificios y sistemas de infraestructura, desarrollando una estrategia de implementación y proporcionando un mecanismo para priorizar y determinar la eficiencia de las acciones de resiliencia. La metodología que se encuentra en este reporte enmarca el proceso de toma de decisión económica identificando y comparando los costos y beneficios relevantes a corto y largo plazo—el último realizado a través del ahorro de costos y la prevención de pérdidas por daños— asociados con nuevas inversiones de capital en resiliencia a los flujos futuros generados por el status-quo. También se exploran temas relacionados con los valores afuera del mercado y la incertidumbre. Este reporte proporciona un contexto para aumentar la capacidad de resiliencia al enfocarse en aquellas inversiones concentradas en metas y objetivos sociales específicos, y proporcionando criterios de selección que aseguren la reducción de riesgos, así como aumentos en la resiliencia. Además, el enfoque metodológico busca permitir que el entorno construido se pueda utilizar de manera más eficiente, en términos de reducción de pérdida, durante la recuperación y para permitir una recuperación más rápida y eficiente frente a futuros desastres.

Palabras clave

Análisis de costo beneficio; edificios; comunidades; instalaciones construidas; resiliencia; análisis económico; herramienta de decisión económica; costo del ciclo de vida; peligros naturales y artificiales; valor actual esperado; resiliencia; evaluación de riesgos; vulnerabilidad

Prefacio

Desde el 2002, los Estados Unidos ha sufrido siete de los diez desastres más costosos de su historia, con el Huracán Katrina y la Tormenta Sandy encabezando la lista. Hay una necesidad de mejores prácticas para la planificación de resiliencia que aborden el creciente valor-en-riesgo de la infraestructura y las comunidades de Estados Unidos. Las comunidades, como un sistema, son particularmente vulnerables a los efectos de desastres naturales y artificiales. Existen mejores prácticas para las metodologías de evaluación de resiliencia comunitaria; sin embargo, todavía existen brechas que permanecen en la caracterización de medidas solidas de costo-beneficio de la resiliencia de la comunidad, especialmente en los procesos de planeamiento. En varios casos, la resiliencia continua en un silo de planificación y se considera como un componente separado al crecimiento económico o la planificación del riesgo de desastres por las comunidades. Los esfuerzos para aumentar las capacidades de resiliencia son más exitosos cuando la resiliencia se considera como un atributo en los esfuerzos generales de planificación comunitaria, especialmente al planear e implementar proyectos de construcción e infraestructura.

A pesar de un proceso significativo en la aplicación de las ciencias y tecnología a la reducción de desastres, las comunidades aún se enfrentan al desafío de la preparación, respuesta y recuperación de desastres. Aunque la cantidad de fallecimientos por desastres naturales y artificiales han disminuido cada año, los costos resultantes de los desastres más extremos continúan aumentando, en parte debido a la creciente cantidad de infraestructura en riesgo.

Confiar en estrategias de reconstrucción como en el pasado no es práctico y es ineficiente cuando se trata de peligros persistentes. En cambio, las comunidades deben romper estos ciclos mejorando su resiliencia con una perspectiva sistémica de corto y largo plazo. Las inversiones en ciencias y tecnologías de alta prioridad, en conjunto con una toma de decisiones sólida en todos los niveles (nacional, regional y local) mejorarán la resiliencia comunitaria, y por lo tanto, reducirán la vulnerabilidad.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) desarrolla una ciencia de medición imparcial y avanzada para mejorar la infraestructura tecnológica nacional, y una que la industria necesita para mejorar continuamente los productos y servicios. La misión del Laboratorio de Ingeniería del NIST es promover la innovación y competitividad industrial de los EE. UU en áreas de prioridad nacional crítica anticipando y satisfaciendo las necesidades de estándares y ciencias de medición para los sistemas de fabricación, construcción y ciber-físicos con uso intensivo de tecnología de manera que promuevan la prosperidad económica y mejoren la calidad de vida. La resiliencia comunitaria es una prioridad nacional crítica reconocida—una que requiere una ciencia de medición significativa y rigurosa para establecer métricas de rendimiento y herramientas de planificación adecuadas.

Para abordar esta necesidad, el NIST desarrolló, organizó y convocó un programa de trabajo para apoyar el desarrollo de enfoques nuevos e innovadores para la resiliencia comunitaria, y los procesos subyacentes de toma de decisiones. Este programa multifacético (Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST) tiene como objetivo el desarrollo de herramientas para la planificación de resiliencia que ayuden a las comunidades y partes interesadas relacionadas, cuyo trabajo e intereses se relacionan con los edificios y los sistemas de infraestructura física de las comunidades. La manera de tomar decisiones económicas específicas para la resiliencia es una parte clave de este esfuerzo ya que ayuda a las comunidades a comprender mejor los beneficios, costos y las compensaciones involucradas en hacer mejoras (cambios) de capital al entorno construido para aumentar la resiliencia. El objetivo de este reporte es ayudar a los usuarios de la *Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y*

Sistemas de Infraestructura del NIST al reconocer los papeles clave que juegan los edificios y el sistema de infraestructura en el apoyo a las funciones sociales y económicas de las comunidades.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todos los que contribuyeron ideas y sugerencias para este reporte, incluyendo los participantes del *Taller sobre la Economía de la Resiliencia Comunitaria en Desastres* del NIST-ASCE-ASME celebrado del 29 al 30 de abril de 2015 en Reston, VA. Un agradecimiento especial se extiende a Bilal Ayyub, de la Universidad de Maryland; Stephen Cauffman, NIST; Harvey Cutler, Universidad de Colorado State; Mark Ehlen, Sandia National Laboratories; Howard Harary, NIST; George Huff, The Continuity Project; Muthiah Kasi, Alfred Benesch & Company; Erica Kuligowski, NIST; Nicos Martys, NIST; Therese McAllister, NIST; Nancy McNabb, NIST; Adam Rose, Universidad de Southern California; Martin Shields, Universidad de Colorado State; Douglas Thomas, NIST; Sammy Zahran, Universidad de Colorado State.

Información de los autores

Stanley W. Gilbert
Economista
Oficina de Economía Aplicada
Laboratorio de Ingeniería
Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
100 Bureau Drive, Mailstop 8603
Gaithersburg, MD 20899-8603
Tel.: 301-975-5261
Correo: stanley.gilbert@nist.gov

David T. Butry
Economista
Oficina de Economía Aplicada
Laboratorio de Ingeniería
Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
100 Bureau Drive, Mailstop 8603
Gaithersburg, MD 20899-8603
Tel.: 301-975-6136
Correo: david.butry@nist.gov

Jennifer F. Helgeson
Economista
Oficina de Economía Aplicada
Laboratorio de Ingeniería
Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
100 Bureau Drive, Mailstop 8603
Gaithersburg, MD 20899-8603
Tel.: 301-975-6133
Correo: jennifer.helgeson@nist.gov

Robert E. Chapman
Jefe, Oficina de Economía Aplicada
Laboratorio de Ingeniería
Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
100 Bureau Drive, Mailstop 8603

Gaithersburg, MD 20899-8603
Tel.: 301-975-2723
Correo: robert.chapman@nist.gov

Aviso legal

La política del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología es usar unidades métricas en sus materiales publicados. Debido a que este reporte está destinado a un público que usa frecuentemente unidades habituales de los EE. UU, es más práctico y menos confuso incluir las unidades habituales de EE. UU., así como las unidades métricas. Por lo tanto, los valores de medición en este reporte se expresan primero en unidades métricas, seguidas de los valores correspondientes en las unidades habituales de EE. UU entre paréntesis.

Este documento fue traducido por cortesía del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) y no es una traducción oficial del gobierno de los EE. UU. El gobierno de los Estados Unidos no hace ninguna declaración en cuanto a la exactitud de la traducción. La versión oficial en inglés de esta publicación está disponible de forma gratuita en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST).

Fotografías de portada

Todas las fotografías utilizadas son imágenes de dominio público bajo Creative Commons CC0.

Tabla de Contenidos

Resumen	ii
Prefacio	iv
Agradecimientos	vii
1 Introducción	1
1.1 Propósito	1
1.2 Enfoque.....	2
2 Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST	3
2.1 Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria del NIST para Edificios y Sistemas de Infraestructura.....	3
2.2 Directrices del NIST para la Implementación de la Resiliencia Comunitaria y el Panel de Resiliencia Comunitaria.....	4
2.3 Becarios de Resiliencia Comunitaria.....	5
2.4 Centro de Excelencia de Resiliencia Comunitaria.....	5
2.5 Investigación de la Oficina de Economía Aplicada (AEO) del NIST	5
3 Resiliencia Comunitaria	7
3.1 Definiendo la resiliencia	7
3.2 El ciclo del desastre y el rol de la intervención	8
3.3 Medición de la Resiliencia.....	10
3.4 Planificación para la Resiliencia.....	13
3.5 Dividendo de la Resiliencia: Haciendo el Caso Comercial para la Resiliencia.....	14
4 Directrices para las Decisiones Económicas:	15
4.1 Seleccionar estrategias candidatas	17
4.1.1 Formar un equipo de planificación colaborativa	17
4.1.2 Comprender la situación	17
4.1.3 Determinar las metas y los objetivos de la comunidad.....	17
4.1.4 Desarrollar un plan.....	18
4.2 Definir objetivos de inversión y alcance.....	18
4.2.1 Definir la función de objetivo económico	18
4.2.2 Determinar el horizonte de planificación.....	19
4.2.3 Identificar restricciones.....	19
4.3 Identificar los beneficios y costos.....	19
4.3.1 Identificar costos y pérdidas	20
4.3.2 Identificar beneficios y ahorros	20

4.3.2.1	Reducciones en costos y pérdidas por desastre	20
4.3.2.2	Beneficios no relacionados con el desastre	22
4.3.3	Identificar externalidades.....	22
4.4	Identificar consideraciones no comerciales (no económicas).....	23
4.5	Definir los parámetros de análisis.....	23
4.5.1	Seleccionar la tasa de descuento	23
4.5.2	Definir las distribuciones de probabilidad	25
4.5.3	Definir la preferencia de riesgo.....	26
4.6	Realizar una evaluación económica.....	27
4.6.1	Calcular el valor esperado actual	27
4.6.1.1	Formulaciones de alternativas	27
4.6.2	Evaluar el impacto de la incertidumbre	28
4.7	Clasificar las estrategias.....	29
4.7.1	Preparación, revisión y aprobación del plan	30
4.7.2	Implementación y mantenimiento del plan.....	30
5	Futuras direcciones.....	32
	Lista de referencias	34
	Apéndice A: Ejemplo de Decisión Económica de Resiliencia Comunitaria – Riverbend, EE.UU..	38
	Apéndice B: Exposición del modelo	45
	Apéndice C: Técnica para la estimación de pérdidas.....	50

Lista de imágenes

Imagen 1: Ciclo del Desastre. <i>Basado en Rubin (1991)</i>	9
Imagen 2: Diagrama de flujo que ilustra elementos y conexiones dentro de la <i>Guía de Decisiones Económicas</i> , y vínculos resaltados con la <i>Guía de Planificación</i>	16

Lista de Tablas

Tabla 4-1: Daños directos e indirectos estimados para desastres seleccionados.....	21
Tabla A-1: Insumos para la Evaluación Económica.....	41
Tabla A-2: Resultados de la Evaluación Económica.....	43

Lista de acrónimos (por sus siglas en inglés)

AEO	Oficina de Economía Aplicada
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
BRIC	Indicadores de resiliencia para las comunidades
CARRI CRS	Sistema de Resiliencia Comunitaria del Instituto de Resistencia Comunitaria y Regional
CART	Kit de Herramientas para Comunidades que Avanzan la Resiliencia
CGE	Equilibrio General Computable
CoE	Centro de Excelencia
CRF	Becarios de Resiliencia Comunitaria
CRP	Panel de Resiliencia Comunitaria
DHS	Departamento de Seguridad Nacional
DOT	Departamento de Transporte
DSER	Resiliencia Económica Estática Directa
EL	Laboratorio de Ingeniería
EOP	Oficina Ejecutiva del Presidente
FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias
FHWA	Administración Federal de Carreteras
GDP	Producto Interno Bruto (PIB)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
NIST	Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
PPD	Directiva de Política Presidencial
SDR	Subcomité de Reducción de Desastres
TSER	Resiliencia Económica Estática Total
USC	Código de los Estados Unidos

1 Introducción

Esta publicación (*‘Guía de Decisiones Económicas’*) desarrolla una guía de decisiones económica para la evaluación de inversiones alternativas diseñadas para mejorar la capacidad de recuperación de la comunidad mediante el fortalecimiento de la capacidad de responder, resistir y recuperarse de eventos disruptivos. Está diseñada para implementar los principios y atributos de comunidades resilientes sobre las cuales se puede desarrollar, evaluar e implementar una mayor capacidad de recuperación. Un atributo de las comunidades resilientes es la gestión del riesgo a través de un enfoque integrado para administrar las amenazas y las oportunidades para la toma de decisiones equilibradas e informadas. Desarrollada por la Oficina de Economía Aplicada (AEO, por sus siglas en inglés) del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés), esta guía pretende apoyar a los usuarios de la *Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura* (*‘Guía de Planificación’*) del NIST para comprender los beneficios, costos y compensaciones involucrados al hacer mejoras de capital al entorno construido hacia una mayor capacidad de recuperación, reconociendo los roles clave que desempeñan los edificios y sistemas de infraestructura para apoyar las funciones sociales de una comunidad. La guía sigue los métodos económicos estándares de la industria, asegurando que se puedan comparar diferentes análisis de inversiones en infraestructura alterna entre sí y con una línea de referencia estándar.

1.1 Propósito

Las comunidades en los Estados Unidos experimentan riesgos naturales, tecnológicos y artificiales cada año. Cuando un peligro interrumpe severamente la capacidad de funcionamiento de una comunidad se convierte en un desastre. Las tormentas severas, los huracanes, la marea ciclónica, los tornados, los incendios forestales, los terremotos, la nieve, el hielo y las perturbaciones causadas por los humanos conducen a numerosas declaraciones presidenciales de desastres y billones de dólares en pérdidas cada año (Swiss Re, 2014).

Existe una cantidad de investigaciones centradas en temas relacionados con la resiliencia de la comunidad, incluyendo mejores prácticas para la evaluación de la comunidad; sin embargo, se necesita orientación para evaluar las ramificaciones económicas de las decisiones de inversión de capital en la infraestructura con el fin de mejorar la resiliencia de la comunidad. El propósito de este documento es proporcionar una metodología económica estándar para evaluar las decisiones de inversión destinadas a mejorar la capacidad de las comunidades para adaptarse, resistir y recuperarse rápidamente de los desastres.

La *Guía de Decisiones Económicas* elabora el proceso de decisiones económicas identificando y comparando los flujos actuales y futuros de costos y beneficios relevantes para una comunidad—lo último se realiza a través del ahorro de costos y la prevención de pérdidas de daños—asociados con nuevas inversiones de capital en resiliencia a las generadas por el status-quo. Este documento proporciona un medio para aumentar la capacidad de las comunidades para comparar y contrastar de manera objetiva y efectiva los proyectos de inversión de capital a través de la consideración de los beneficios y los costos, al mismo tiempo manteniendo una sensibilización sobre la capacidad de recuperación del sistema. También se exploran los temas relacionados con los valores no comerciales y la incertidumbre.

1.2 Enfoque

Las directrices en este documento están diseñadas para ser utilizadas en conjunto con la *Guía de Planificación* al proporcionar un mecanismo para priorizar y determinar la eficiencia de las acciones de resiliencia, basado en apoyar las necesidades sociales de la comunidad, La *Guía de Planificación* proporciona una metodología para que las comunidades desarrollen planes a largo plazo involucrando a las partes interesadas, estableciendo objetivos de rendimiento para edificios y sistemas de infraestructura y desarrollando una estrategia de implementación.

Esta *Guía de Decisiones Económicas* apoya la resiliencia de la comunidad centrándose en las inversiones dirigidas a objetivos y metas sociales clave, y proponiendo criterios de selección que aseguren la reducción de riesgos y el aumento de la resiliencia. Además, el enfoque metodológico permite la toma de decisiones para el entorno de construcción en términos de reducción de pérdidas y una recuperación más rápida y eficiente frente a eventos de riesgo futuros.

La *Guía de Decisiones Económicas* contiene tres capítulos y tres apéndices aparte de la introducción.

El Capítulo 2 proporciona una descripción general del esfuerzo llevado a cabo por el NIST en la resiliencia de la comunidad.

El Capítulo 3 presenta conceptos relacionados con la resiliencia de la comunidad, centrándose en la medición y planificación.

El Capítulo 4 detalla las directrices de las decisiones económicas. Se describe un proceso para considerar métodos alternos para aumentar la resiliencia de la comunidad a través de inversiones rentables en el entorno construido y otras infraestructuras. Estas directrices están dirigidas a abordar la necesidad de caracterizar y tomar decisiones entre medidas sólidas de costo-beneficio de la capacidad de recuperación de la comunidad, especialmente en el proceso de planificación.

El Apéndice A proporciona un ejemplo que ilustra el uso/la aplicación del proceso descrito en la *Guía de Decisiones Económicas*. Se utilizan ejemplos ilustrativos para estas directrices presentadas desde el Capítulo 4.

El Apéndice B contiene una descripción matemática del modelo de costo/beneficio bajo el modelo de la *Guía de Decisiones Económicas*. Lo describe en dos formas: (1) maximizando los beneficios netos; y (2) minimizando el costo más las pérdidas, y comparando los dos.

El Apéndice C describe técnicas selectas para estimar los costos económicos de las pérdidas que ocurren por desastres naturales o causados por el hombre.

2 Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST

La resiliencia comunitaria es reconocida como una prioridad nacional crítica—una que requiere una ciencia de medición significativa y rigurosa para establecer indicadores de rendimiento y herramientas de planificación adecuadas. Para abordar esta necesidad, el NIST hizo un esfuerzo para desarrollar enfoques nuevos e innovadores para la resiliencia de la comunidad y los procesos subyacentes de toma de decisiones. El Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST es pluridimensional y desarrolla herramientas para la planificación de resiliencia que asisten a las comunidades y partes interesadas cuyo trabajo e intereses están relacionados con los edificios y los sistemas de infraestructura física de esas comunidades. Las directrices en la *Guía de Decisiones Económicas* están destinadas a ayudar a los usuarios de la *Guía de Planificación* del NIST con la toma de decisiones económicas específicas para la resiliencia, que es una parte clave de este esfuerzo ya que ayuda a las comunidades a comprender de una mejor manera los beneficios, los costos y las compensaciones involucrados en mejoras de capital (cambios) en el entorno construido para aumentar la resiliencia.

Hay una cantidad de áreas importantes cubiertas por los esfuerzos del Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST. La estructura programática es interdisciplinaria por lo que la resiliencia se considera una propiedad dinámica del sistema en la ingeniería y la planificación estructural de edificios e infraestructura, así como en la planificación (evaluación) económica y de los aspectos sociales relacionados. Los enfoques que se toman bajo el Programa de Resiliencia Comunitaria del NIST se describen a continuación.

2.1 Guía de Planificación del NIST de la Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura

La *Guía de Planificación* (NIST 2015a; NIST2015b) proporciona una metodología para que el gobierno local reúna a las partes interesadas para establecer metas de desempeño para mantener el tejido social y económico cuando ocurren eventos disruptivos; en otras palabras, ser resilientes. La *Guía de Planificación* está diseñada para apoyar la planificación comunitaria a largo plazo. La metodología se centra en el rol que desempeñan los edificios y la infraestructura para garantizar que las funciones sociales y económicas puedan reanudarse de forma que no se produzcan impactos perjudiciales después de un evento disruptivo. Cuando ocurren eventos catastróficos, la comunidad tendrá planes para reconstruir de una manera reflexiva para estar mejor preparados para eventos futuros, incluyendo la coordinación con agencias estatales y federales, tal como se describe en la Meta de Preparación Nacional al proveer orientación de planificación a nivel local para ayudar a lograr el resultado de la resiliencia comunitaria. Según la *Guía de Planificación* (NIST 2015a, págs. 3-4):

Se describe una metodología de seis pasos que ayuda a las comunidades a desarrollar planes de resiliencia personalizados reuniendo a todas las partes interesadas, estableciendo metas de desempeño a nivel comunitario y desarrollando e implementando planes para la resiliencia. Este enfoque se centra en los roles que los edificios y sistemas físicos de infraestructura – el entorno construido – juegan para asegurar que las funciones sociales se puedan reanudar cuando sean necesario después de un desastre. Esas funciones incluyen el gobierno, los negocios, cuidado de la salud, educación, servicios comunitarios, religión, cultura y los medios de comunicaciones. Si ocurre un evento catastrófico, la planificación de la resiliencia alienta y permite a la comunidad a contar con planes para reconstruir de una manera reflexiva. Eso incluye la coordinación con las comunidades cercanas, así como las agencias estatales, regionales y federales.

La *Guía de Planificación* puede ayudar a una comunidad a:

- Desarrollar, ampliar, establecer e integrar sus planes actuales (por ejemplo; la preparación económica, preparación para emergencias, el uso de la tierra) con *planes de resiliencia comunitaria*, particularmente para el entorno construido.
- *Definir de mejor manera los riesgos, las prioridades y los costos previos y posteriores al evento*, incluyendo las consecuencias de no haber realizado las determinadas acciones.
- *Priorizar acciones de resiliencia* para edificios y sistemas de infraestructura, en función de los riesgos específicos que una comunidad tiene mayores probabilidades de enfrentar y la importancia de estos edificios y sistemas de infraestructura para respaldar funciones sociales clave.

Las comunidades que se esfuerzan por prepararse y enfrentar los desastres pueden verse abrumadas por una serie de problemas, políticas y regulaciones que deben ser abordadas. Cada una demanda tiempo e inversión para ser resueltas. La experiencia muestra que las comunidades generalmente sobreestiman su capacidad para enfrentar exitosamente los desastres, como lo demuestra cada año la cantidad de Declaraciones Presidenciales de Desastres (FEMA, 2011). También es posible que las comunidades subestimen la exposición al riesgo, o supongan que mejoras significativas son prohibitivas en términos de costos. A menudo, se le asigna una baja prioridad a la planificación transformadora para la resiliencia, a menos que un evento reciente cause el enfoque de los intereses comunitarios. Inclusivamente, las comunidades tienden a enfocarse en la restauración a corto plazo a las condiciones previas.

2.2 Directrices del NIST para la Implementación de la Resiliencia Comunitaria y el Panel de Resiliencia Comunitaria

Los futuros *Resúmenes de la Guía de Resiliencia Comunitaria* promueven mejores prácticas para ayudar a las comunidades a desarrollar su propio plan de resiliencia. Dado el amplio alcance de la resiliencia, las Directrices para la Implementación de la Resiliencia Comunitaria proporcionarán una guía basada en los estándares, códigos y mejores prácticas existentes para asistir a las comunidades a implementar sus planes.

El *Panel de Resiliencia Comunitaria (CRP, por sus siglas en inglés)* está orientado a ser un recurso para apoyar a las comunidades en sus esfuerzos para desarrollar directrices, mejores prácticas y otras herramientas para la resiliencia comunitaria a través del tiempo. Tendrá los insumos de un amplio número de partes interesadas del CRP para diversos temas relacionados con la resiliencia; incluyendo la construcción y seguridad de edificios, negocios e industria, sistemas de comunicación, planificación comunitaria, instituciones sociales comunitarias, educación e investigación, sistemas de energía, operaciones y mantenimiento de instalaciones, gobierno federal, tribal, regional, estatal y local, seguro, salud pública y cuidado de la salud, servicios de auxilio, organizaciones de desarrollo de estándares, sistemas de transporte, poblaciones vulnerables, sistemas de agua/aguas residuales. Se espera que el CRP cuente con cientos de miembros trabajando en varios comités para abordar los vacíos en los estándares existentes y desarrollar productos para informar los esfuerzos para mejorar la resiliencia comunitaria.

2.3 Becarios de Resiliencia Comunitaria

El NIST ha involucrado a los Becarios de Resiliencia Comunitaria (CRFs, por sus siglas en inglés) con conocimientos especializados trabajando con comunidades, ciencias sociales, planificación de recuperación, continuación de negocios, edificios y sistemas de infraestructura físicos. Los CRFs son líderes reconocidos nacionalmente en su campo de especialidad y proporcionan una amplia experiencia y profundo conocimiento para avanzar los esfuerzos del programa de Resiliencia Comunitaria. Estos expertos contribuyen al desarrollo de la *Guía de Planificación*, las actividades del CRP y los *Resúmenes de las Directrices de Resiliencia Comunitaria*. Su conocimiento excepcional es en áreas críticas para la resiliencia y preparación comunitaria.

2.4 Centro de Excelencia de Resiliencia Comunitaria

El Centro de Excelencia de Resiliencia Comunitaria (CoE, por sus siglas en inglés) fue establecido por el NIST en febrero de 2015 y está desarrollando las herramientas con bases científicas para apoyar la resiliencia comunitaria, incluyendo el desarrollo de modelos de computación integrados basados en sistemas para evaluar la resiliencia comunitaria y orientar sobre las decisiones de inversión para la resiliencia al nivel comunitario. El CoE, dirigido por la Universidad de Colorado State en asociación con otras nueve universidades, también desarrollará una infraestructura de gestión de datos, así como las herramientas y mejores prácticas para mejorar la recolección de datos de desastres y resiliencia.

El equipo de investigación económica del CoE está abordando las *Redes Económicas y los Efectos Causados* relacionados con la resiliencia comunitaria; esta investigación es complementaria a los esfuerzos de economía de resiliencia llevados por la Oficina de Economía Aplicada (AEO, por sus siglas en inglés) dentro del Laboratorio de Ingeniería (EL, por sus siglas en inglés) en NIST. El equipo del CoE planea usar dos estrategias complementarias de modelo de impacto económico para estimar los efectos directos y multiplicadores de una variedad de perturbaciones disruptivas en la economía: (1) análisis econométricos aplicados de datos de hogares y regiones para determinar las relaciones entre los shocks y los resultados económicos; y (2) análisis de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés) para entender como las pérdidas de riesgo se manifiestan en la economía local a través de pérdidas específicas de la industria a la infraestructura crítica.

2.5 Investigación de la Oficina de Economía Aplicada (AEO) del NIST

La AEO del NIST se dedica a los esfuerzos para desarrollar un mayor entendimiento de las implicaciones económicas de la planificación de resiliencia contra los desastres naturales y artificiales. La *Guía de Decisiones Económicas* proporciona los resultados de la investigación conducida por la AEO sobre la valoración de proyectos de inversión comunitaria que consideran la resiliencia. La *Guía de Decisiones Económicas* desarrolla guías de decisiones económicas para evaluar inversiones alternativas diseñadas para mejorar la resiliencia comunitaria a través del fortalecimiento de la capacidad para responder, resistir y recuperarse de los desastres. Esta facilita la toma de decisiones diseñada para implementar los principios y atributos de comunidades resilientes sobre las cuales se puede desarrollar, evaluar e implementar una mayor capacidad de resiliencia.

En el 2015, el NIST lanzó un esfuerzo para desarrollar, organizar y convocar un taller sobre las economías de la resiliencia comunitaria para guiar al NIST a desarrollar un portafolio de programas que están enfocados en proveer ciencias de medición para capacitar a las partes interesadas clave de la

industria. El NIST dirigió el taller que incluyó a más de 70 participantes, representando una gran variedad de partes interesadas, incluyendo academia, planificadores de comunidades, ejecutivos de gobierno, políticos y expertos en temas de economía, ingeniería, finanzas y análisis de riesgo. El taller fue organizado alrededor de tres temas transversales: (1) planificación e implementación de resiliencia; (2) lidiando con la incertidumbre; y (3) economía de recuperación. Los resultados de este taller se reportaron en la Publicación Especial del NIST: *Procedimientos del Taller sobre Economía de Resiliencia Comunitaria de Desastres* (Ayyub et al. 2015).

3 Resiliencia Comunitaria

Desde el 2002, los Estados Unidos ha sufrido siete de los diez desastres más costosos de su historia, con el Huracán Katrina y la Tormenta Sandy encabezando la lista. En la última década, el promedio de las pérdidas económicas por climas extremos equivale aproximadamente a USD 190 mil millones por año y el promedio de pérdidas aseguradas se registran en alrededor de USD 60 mil millones por año (Swiss Re, 2014). A medida que las pérdidas por desastres de edificios e infraestructura incrementan exponencialmente, la tendencia es económicamente insustentable (i.e. White et al., 2001).

Esta sección proporciona un resumen de la definición de resiliencia, el ciclo de los desastres, las formas de medir la resiliencia, planificación y los argumentos comerciales para la resiliencia. Para una revisión exhaustiva de la literatura sobre la resiliencia, evaluación de riesgos, evaluación de vulnerabilidad, gestión de riesgos y cálculo de pérdidas, ver la Publicación Especial NIST 1117, *Resiliencia ante Desastres: Una Guía para la Literatura*.¹

3.1 Definiendo la resiliencia

El concepto de resiliencia como propiedad de sistemas se encuentra en diferentes disciplinas. Se introdujo formalmente en la ecología, siendo definida como la persistencia de las relaciones dentro de un sistema (Holling, 1973) – se mide por la capacidad del sistema para absorber los variables de estado de cambio, variables y parámetros impulsores y que permanecen. Gilbert (2010) demuestra que, en general, las definiciones de la resiliencia pertenecen a dos categorías amplias: (1) orientadas a los resultados y (2) orientadas a los procesos. Una definición orientada a los resultados define a la resiliencia en términos relativos a los resultados finales – i.e. tiempo de recuperación. Una definición orientada a los procesos define la resiliencia como una progresión hacia un resultado deseado – i.e. capacidad de adaptación.

La Directiva de Política Presidencial 8 (PPD-8 2011) define la resiliencia como “la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes y resistir y recuperarse rápidamente de las interrupciones debidas a emergencias.” PPD-21 (2013) en la Seguridad y Resiliencia en Infraestructura Crítica expandió la definición para incluir “la capacidad para prepararse y adaptarse a las condiciones cambiantes y de resistir y recuperarse rápidamente de interrupciones. La resiliencia incluye la capacidad de resistir y recuperarse de ataques deliberados, accidentes, o amenazas o incidentes naturales.” El término desastre se refiere a “una perturbación grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad causando pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o sociedad afectada de enfrentarlo utilizando sus propios recursos.”²

El Consejo Nacional de Investigación (2012) define la resiliencia como la capacidad de preparar, planificar, absorber, recuperarse, o específicamente adaptarse, con mayor éxito a los eventos adversos actuales o potenciales, como una definición consistente con las definiciones de las agencias gubernamentales de EE.UU. (SDR 2005, DHS 2008 and PPD-8 2011).

En esta *Guía de Decisiones Económicas*, la recuperación económica incluye la preparación para reparar y reconstruir posteriormente a un desastre. Cabe señalar que la recuperación comunitaria puede llevarse a cabo plenamente sin una reparación y recuperación completa (Rose, 2009). Rose & Krausmann (2013) diferencian entre la resiliencia económica *estática* y *dinámica*. La resiliencia económica estática es el “uso eficiente de los recursos restantes en un momento dado.” (Rose, 2015) La capacidad de

¹ Gilbert, 2010. <http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=906887>

² Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2005.

recuperación económica dinámica es el “uso eficiente de los recursos a lo largo del tiempo para la inversión en reparación y reconstrucción.” (ibíd.) Este tipo de resiliencia describe la capacidad y velocidad de los esfuerzos de recuperación a través de una inversión sólida en la reparación y reconstrucción que puede requerir compensaciones de tiempo; por ejemplo, los esfuerzos de recuperación pueden requerir el uso temporal de infraestructura más antigua para albergar servicios de emergencia (Baird, 2010) o para permitir una interrupción comercial reducida (i.e., Rose, 2009).

3.2 El ciclo del desastre y el rol de la intervención

Antes de un potencial desastre, se deben realizar inversiones de capital en la infraestructura de las cuales se espera que funcionen efectivamente, tanto en condiciones normales como durante el periodo de recuperación. La resiliencia se complica por la profunda incertidumbre alrededor de los choques de covariables.³ (i.e. IPCC, 2012) Las incertidumbres relativas en el momento del inicio, la magnitud del evento, así como el potencial de riesgos en cascada presentan un desafío para la implementación de las técnicas actuales de valoración económica en la planificación, especialmente para el entorno construido.

Se considera que las etapas en el ciclo de desastre (i.e., Rubin, 1991) (Imagen 1) se dividen en los siguientes dos grupos: (1) respuesta y recuperación, y (2) mitigación y prevención/protección (Gilbert, 2010). Tradicionalmente, la mitigación y la prevención/protección generalmente ocurren mucho antes de la realización del desastre natural y artificial, y están dirigidas específicamente a hacer que un sistema sea más resiliente a un peligro determinado. La respuesta y la recuperación tienden a producirse en el periodo inmediatamente posterior a un desastre. Un problema con esta conceptualización es la aceptación de que los desastres ocurrirán y repetidamente. Si bien, en la medida de lo posible, la planificación comunitaria para la resiliencia debe considerar vías que aborden la mitigación, prevención/protección respuesta y recuperación; el objetivo de una planificación eficaz debe ser romper los ciclos: los choques se vuelven eventos disruptivos, pero manejables, en lugar de desastres.

Otra distinción importante es entre la resiliencia *inherente* y *adaptiva*. La resiliencia inherente se refiere a los elementos de resiliencia que ya se han incorporado al sistema, como los inventarios disponibles, los insumos sustituibles y los arreglos contractuales para las importaciones desde fuera del área afectada (Rose, 2015). La capacidad de resiliencia se puede construir a través de estos medios y se acceden después del desastre. La resiliencia adaptiva surge de la improvisación bajo estrés, como la conservación draconiana que de otro modo no sería posible (por ejemplo, trabajar muchas semanas sin calefacción o aire acondicionado), cambios en la producción de bienes y servicios y nuevos acuerdos de contratación que coinciden con los clientes que han perdido sus proveedores con proveedores que han perdido sus clientes.

³ Los choques de co-variables, a diferencia de los choques idiosincrásicos, describen riesgos altamente correlacionados en el espacio, por ejemplo, los riesgos climáticos que afectan a muchos miembros de una comunidad simultáneamente, que pueden ser difíciles de asegurar debido a la naturaleza de la ocurrencia y magnitud del impacto.

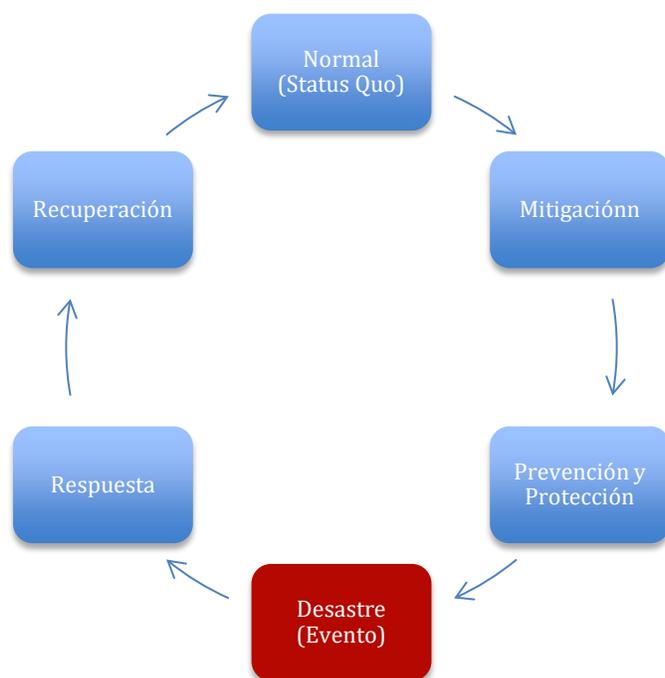


Imagen 1: Ciclo del desastre. Basado en Rubin (1991)

La experiencia con eventos disruptivos puede ser utilizada para ayudar a definir la planificación de resiliencia, aumentando su eficiencia y efectividad. La gestión integrada de riesgos es un “proceso continuo, proactivo y sistémico que se estructura mediante el aprendizaje y la evaluación continua” (i.e., Radermacher et al., 2010) y se puede llevar a cabo en diferentes niveles de análisis. Esta visión de la gestión de riesgos identifica una serie de esfuerzos orientados a objetivos para gestionar las consecuencias (adversas) de los desastres, que de lo contrario pueden impedir que una comunidad logre sus potenciales a mediano y largo plazo.

En el análisis de la resiliencia, es necesario considerar la dinámica sistémica dentro de un proceso cíclico caracterizado por periodos de tiempo ex-ante y ex-post la realización del desastre. La consideración previa con frecuencia implica actividades de mitigación que reducen y transfieren los riesgos a niveles eficientes socioeconómicos. Las consideraciones ex-post a menudo implican la adaptación de las actividades de resiliencia planificadas para ajustarse a la realidad de los resultados del desastre. En algunos casos, existen efectos residuales en el sistema de infraestructura que resultan en pérdidas irrecuperables (a corto plazo). En la medida que es posible, estas posibilidades deben considerarse en la selección de escenarios alternativos por parte de las comunidades para la planificación de la resiliencia.

En los estudios del efecto de los desastres, rara vez existe consenso relacionado a la distribución de la exposición, la vulnerabilidad o posibles resultados (Kunreuther et al., 2013). Las distribuciones de probabilidad generalmente acordadas no siempre están disponibles para los efectos de riesgo, especialmente aquellos relacionados con los impactos sociales, las partes interesadas difieren en su grado de tolerancia al riesgo.⁴ Esta incertidumbre es más ambigua en consideración a los efectos en los

⁴ Escenarios del peor caso – la posibilidad de resultados extremadamente costosos con probabilidades pequeñas, pero positivas, puede tener un gran impacto en las evaluaciones mediante el análisis de costo-beneficio relacionado con la

sistemas dentro de una comunidad debido a las dependencias entre los componentes del sistema. Los análisis de políticas mediante el uso de enfoques estándar, como la teoría de la utilidad esperada y el análisis de beneficio-costos, se han adaptado para abordar este problema. Esta perspectiva destaca el valor de las herramientas sólidas de toma de decisiones diseñadas para situaciones tales como la evaluación de políticas climáticas, donde el consenso sobre distribuciones de probabilidad y las partes interesadas difieren en su grado de tolerancia al riesgo.

Muchas de las incertidumbres en los resultados potenciales de los esfuerzos de resiliencia son temporales. No siempre está claro cuando se acumularán los beneficios de las actividades de mitigación. La cuantificación de la probabilidad de que se obtengan beneficios para una estrategia de mitigación es un primer paso para abordar dichas incertidumbres dentro de un marco de costo-beneficio. Las incertidumbres temporales generalmente surgen de las incertidumbres en la interacción entre los resultados de los esfuerzos actuales de resiliencia y los eventos futuros de riesgo. La incertidumbre puede incluir la frecuencia y la intensidad de las amenazas futuras, así como recursos futuros, incluyendo los recursos humanos, sociales, producidos, naturales y financieros que estarán disponibles para abordar la mitigación de estos futuros eventos de amenaza. En este punto, las mejores prácticas actuales generalmente asumen que las estadísticas y los modelos basados en frecuencias e intensidades pasadas se aplicarán a desastres en el futuro. Las observaciones de los patrones climáticos, así como los cambios en el comportamiento humano indican que existen incertidumbres temporales. Las incertidumbres temporales también se aplican a las características asumidas de la cantidad de recursos humanos, sociales, producidos, naturales y financieros disponibles en el futuro.

3.3 Medición de la Resiliencia

Existe una necesidad de mejores prácticas para la planificación de resiliencia que aborden la cantidad de infraestructura en riesgo en los Estados Unidos. En la actualidad, la mayoría de los enfoques existentes no tienen en cuenta explícitamente las mediciones de valoración económica. Las comunidades, como sistema, son particularmente vulnerables a los efectos de eventos disruptivos naturales y artificiales (causados por el hombre). Las métricas (mediciones) e indicadores de resiliencia propuestas varían en su uso de metodologías descriptivas, cuantitativas o mixtas; si se basan en entrevistas, opiniones de expertos, análisis de ingeniería o emplean conjunto de datos preexistentes (NIST, 2015b). Independientemente de la metodología de evaluación y la presentación del “puntaje” de resiliencia (es decir, puntaje general o puntuaciones informadas por separado a través de factores o sectores), estas métricas e indicadores se esfuerzan por abordar: (1) ¿cómo los líderes de la comunidad conocen el nivel de resiliencia de la comunidad? y (2) proporcionar un contexto que permita evaluar si los cambios implementados para mejorar la resiliencia de las comunidades están haciendo una diferencia significativa (National Academies, 2012). A continuación, algunos ejemplos de las métricas e indicadores:

Marco PEOPLES'

MCEER (Renschler et al., 2010) desarrollaron un marco para medir la resiliencia. Existen siete elementos en el marco (representados por el acrónimo ‘PEOPLES,’ por sus siglas en inglés), que incluye explícitamente una métrica para los efectos sobre el desarrollo económico. Los siete elementos son los siguientes:

resiliencia. Estos eventos de baja probabilidad y alta consecuencia han motivado un enfoque en los extremos de la distribución de los resultados. Por ejemplo, una pequeña posibilidad de un resultado verdaderamente inaceptable puede tener un impacto significativo a evaluar los beneficios y costos esperados.

1. **P**oblación y Demografía
2. **E**cosistema/Ambiental
3. Servicios Gubernamentales **O**rganizados
4. **P** (Infraestructura Física)
5. Esti**L**o de Vida y Competencia Comunitaria
6. Desarrollo **E**conómico
7. Capital **S**ocial-Cultural

La mayoría de los elementos se explican por si solos. Proteger a las personas significa, entre otras cosas, evitar muertes y lesiones y evitar que las personas queden sin hogar. Proteger la infraestructura física significa limitar el daño a los edificios y estructuras, incluyendo la infraestructura vital. Proteger la economía significa evitar pérdidas de empleo y fallas comerciales, y prevenir pérdidas por interrupción de negocios. La protección de los servicios gubernamentales clave incluye, entre otras cosas, garantizar que los servicios de emergencia sigan funcionando. La protección de las redes y los sistemas sociales incluyen, entre muchas otras cosas, garantizar que las personas no sean separadas de sus familiares y amigos (Gilbert, 2010).

Indicadores de resiliencia de línea de referencia para las comunidades

El proceso de indicadores básicos de resiliencia para las comunidades (BRIC, por sus siglas en inglés) (Cutter et al., 2014) se basa en investigaciones empíricas con fundamentos teóricos y conceptuales. El BRIC mide la resiliencia comunitaria general preexistente, que puede ayudar a las comunidades a desarrollar una medida de referencia de resiliencia que pueda usarse en un contexto político (NIST, 2015b). Utilizando datos de 30 fuentes públicas y de libre acceso, el BRIC comprende 49 indicadores asociados con seis dominios:

- Social (10 indicadores)
- Económico (8 indicadores)
- Vivienda e infraestructura (9 indicadores)
- Institucional (10 indicadores)
- Capital Comunitario (7 indicadores)
- Ambiente (5 indicadores)

Los indicadores en estos dominios determinan las áreas que los responsables de la toma de decisiones y políticas deberían invertir para planificar estrategias de intervención para crear una capacidad de recuperación más sólida.

Marco de Resiliencia de la Ciudad

Otra herramienta es el Marco de Resiliencia de la Ciudad—un marco “para articular la resiliencia de la ciudad” desarrollado por Arup (2014) con el apoyo de la iniciativa ‘100 Ciudades Resilientes’ de la Fundación Rockefeller. Este marco organiza 12 “indicadores clave” identificados en cuatro categorías:

- Liderazgo y estrategia
- Salud y bienestar
- Infraestructura y medio ambiente
- Economía y social

Los 12 indicadores clave abarcan siete cualidades de lo que se considera una ciudad resiliente en este marco: reflexiva, hábil, resistente, inclusiva, redundante, integrada y/o flexible. El Marco de Resiliencia de la Ciudad integra los aspectos sociales, económicos y físicos de la resiliencia y considera los procesos

impulsados por los seres humanos como componentes intrínsecos de los sistemas que definen una comunidad.

Sistema de Resiliencia Comunitaria del Instituto de Resiliencia Comunitaria y Regional

En algunos casos, las prácticas básicas para las evaluaciones de resiliencia implican trabajar con las partes interesadas de la comunidad hacia una metodología orientada al proceso. Por ejemplo, el Sistema de Resiliencia Comunitaria del Instituto de Resiliencia Comunitaria y Regional (CARRI CRS, 2013) “es un proceso orientado a las acciones, habilitado para la Web, que ayuda a las comunidades a evaluar, medir y mejorar su resiliencia a...amenazas e interrupciones de todo tipo, y, finalmente ser recompensado por sus esfuerzos”. El Sistema de Resiliencia Comunitaria (CRS, por sus siglas en inglés) incluye una base de conocimiento preexistente para ayudar a informar a las comunidades sobre su trayectoria de resiliencia y una guía de proceso que proporciona un enfoque sistemático para pasar del interés expresado en una mejor resiliencia a los pasos de planificación de acción y visión (NIST, 2015b).

Kit de Herramientas para Comunidades Avanzando la Resiliencia

El Kit de Herramientas para Comunidades Avanzando la Resiliencia (CART, por sus siglas en inglés) (TDC, 2012) fue desarrollado por el Centro de Terrorismo y Desastres del Centro de Ciencias de la Salud en la Universidad de Oklahoma.⁵ El enfoque del CART no es específico a un peligro, y es aplicable en todas las comunidades de diferentes tamaños y tipos como un medio para mejorar la resiliencia de la comunidad a través de la planificación y la acción. Involucra a las organizaciones comunitarias en la recopilación y el uso de datos de evaluación para desarrollar e implementar soluciones para construir resiliencia comunitaria para la prevención, preparación, respuesta y recuperación de desastres. El proceso del CART utiliza una combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos y proporciona un conjunto completo de herramientas y pautas para que las comunidades evalúen su capacidad de recuperación en una serie de dominios (NIST, 2015b).

Índice de Resiliencia para la Economía Empresarial

Rose (2009) ofrece una visión general de definiciones para la resiliencia de diferentes disciplinas y señala que hay algunas diferencias importantes de aquellas que se centran en la capacidad de recuperación económica de una comunidad. Por ejemplo, demuestra que los enfoques económicos suelen centrarse en los flujos de bienes y servicios que son medidas directas del bienestar económico (por ejemplo, el PIB y empleo). Este índice ofrece un marco para elegir indicadores de corto plazo de la resiliencia económica basada en la teoría de la producción económica y se extiende a la resiliencia de la operación de negocios (Rose, 2009). En este marco la Resiliencia Económica Estática Directa (DSER, por sus siglas en inglés) se refiere al nivel de la compañía individual o industria y observa la operación de una empresa individual o una entidad doméstica. DSER es “el porcentaje de la interrupción económica máxima que puede causar un choque particular” (Rose and Krausman, 2013). El Total Estático de Resiliencia Económica (TSER, por sus siglas en inglés) se refiere a la economía como un conjunto de cadenas de suministro integradas e “incluye todas las interacciones de precio y cantidad en la economía” (ibíd.). El marco presenta estrategias de resiliencia estáticas y dinámicas para las empresas de ambos el cliente y el proveedor. A su vez, cada actividad de resiliencia es aplicable a uno o más insumos (por ejemplo, mano de obra, infraestructura, materiales) o productos de actividad económica (Rose, 2009). Del lado del proveedor, entre los ejemplos de estrategias dinámicas de resiliencia se incluyen: eliminar los impedimentos operativos y mejorar la efectividad de la gestión. Las estrategias de resiliencia estática que sirven como pausa para las pérdidas en el nivel microeconómico son: la

⁵ Fue financiado por la Administración de Servicios de Salud Mental y Abuso de Sustancias, Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. y el Consorcio Nacional para el Estudio del Terrorismo y Respuestas al Terrorismo del Departamento de Seguridad Nacional de EE.UU. y los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades.

conservación, la sustitución de insumos y reservas de emergencia en los inventarios (Rose and Krausman, 2013). Las estructuras similares para el gobierno y los hogares se observan en Rose (2009). Un objetivo reconocido para construir un índice de resiliencia es estudiar el proceso de recuperación después de un desastre, pero también para permitir mejoras al proceso. Rose (2007) presenta una ruta de tiempo de una secuencia de pasos relacionados con la resiliencia dinámica y estática en el sistema económico.

Existen métricas e indicadores adicionales para medir los aspectos de la resiliencia comunitaria,⁶ ver el Capítulo 16 (*Métricas de Resiliencia Comunitaria*) de la *Guía de Planificación* (NIST, 2015b); sin embargo, existen vacíos que permanecen en la caracterización de medidas sólidas, de costo-beneficio efectivas de resiliencia comunitaria que proporcionen una guía distinta sobre la selección entre inversiones alternas potenciales basadas en la resiliencia, de las cuales esta *Guía de Decisiones Económicas* pretende abordar.

3.4 Planificación para la Resiliencia

La *Guía de Planificación* detalla un proceso de seis pasos para que los líderes de la comunidad desarrollen e implementen un plan de resiliencia (NIST, 2015a). Busca crear un proceso proactivo para asegurar que las funciones sociales críticas de la comunidad están soportadas durante y después de que ocurre un acontecimiento perturbador. Los seis pasos se describen brevemente a continuación:

1. *Formar un equipo de planificación colaborativa*

El objetivo es identificar al/los líder(es) de resiliencia y a los miembros críticos del equipo, y comprometerse con las partes interesadas claves, públicas y privadas, para que participen en las etapas de planificación e implementación.

2. *Comprender la situación*

El objetivo es caracterizar las dimensiones sociales y el entorno construido, desarrollando una comprensión de las funciones sociales que los edificios y el sistema de infraestructura apoyan. Las instituciones sociales incluyen: familia, salud, economía, educación, gobierno, creencias religiosas y culturales, servicio comunitario y medios de comunicación. El entorno construido incluye: edificios, energía, transporte, comunicaciones y sectores de agua potable y aguas residuales.

3. *Determinar las metas y los objetivos de la comunidad*

El objetivo es establecer metas de la comunidad a largo plazo basadas en los valores de rendimiento de recuperación deseados para el entorno construido. Incluye definir los peligros de la comunidad y el rendimiento actual esperado de los sistemas durante y después de los eventos de peligro en su capacidad para apoyar las funciones sociales.

4. *Desarrollar un plan*

El objetivo es el análisis de las brechas entre los objetivos de rendimientos actuales y deseados, e identificar y priorizar las soluciones como base para la estrategia de implementación.

5. *Preparación, revisión y aprobación del plan*

El objetivo es documentar el plan de resiliencia, y las estrategias de implementación, y obtener la aprobación de la comunidad de partes interesadas.

⁶ THRIVE, Coastal Community Resilience Index, PEOPLES Framework, ResilUS.

6. *Implementación y mantenimiento del plan*

El objetivo es ejecutar el plan, y revisarlo periódicamente.

La forma en que el proceso de seis pasos descrito en la *Guía de Planificación* del NIST se adapta a la metodología de la *Guía de Decisiones Económicas* se ilustra en la Imagen 2. Los pasos 1 al 4 de la *Guía de Planificación* del NIST se enumeran bajo el título ‘Seleccionar Estrategias Candidatas’ en la Imagen 2. Los pasos 5 y 6 de la *Guía de Planificación* del NIST se enumeran bajo el título ‘Clasificación de Estrategias’ en la Imagen 2. Es importante notar que la *Guía de Decisiones Económicas* tiene como tema principal la sección 4, ‘Desarrollar un Plan.’ Los pasos 1 a 3 de la *Guía de Planificación* del NIST se utilizan para identificar las posibles soluciones a las que se hace referencia en el paso 4. La *Guía de Decisiones Económicas* usa técnicas de análisis económico para priorizar las soluciones potenciales, que es un componente clave del paso 4. Los informes de análisis producidos bajo el título ‘Realizar la Evaluación Económica’ proporcionan la base económica para los pasos 5 y 6 de la *Guía de Planificación* del NIST. La Imagen 2 se explica con más detalle en el Capítulo 4.

3.5 Dividendo de la Resiliencia: Haciendo el Caso Comercial para la Resiliencia

La incertidumbre sobre la frecuencia, magnitud y momento de ocurrencia de un desastre puede dificultar el análisis de costo-beneficio de las medidas de resiliencia cuando una comunidad puede preferir gastar un presupuesto limitado en inversiones de capital que se espera que produzcan ciertos resultados en los negocios habituales. Cada vez más, se comprende como la creación de resiliencia a escala comunitaria crea beneficios en dos dimensiones: (1) permitiendo a las personas, comunidad y organizaciones resistir mejor y recuperarse de una interrupción de manera más efectiva y (2) permitiendo mejorar los sistemas actuales (es decir, continuar los negocios de manera usual/status quo) (Rodin, 2014), al disminuir el impacto del estrés crónico (por ejemplo, crimen, pobreza, desempleo) mejorando así la capacidad de una comunidad para mantener las funciones esenciales (Ayyub et al., 2015). Este “dividendo de la resiliencia” se ha observado en varios estudios de caso de la comunidad y ciudad (cualitativos) en los que la inversión en la financiación y recursos para la resiliencia futura produce beneficios económicos directos actuales (por ejemplo, aumentar la cantidad de trabajos) (ibíd.). Los métodos para seguir implementando los elementos del “dividendo de la resiliencia” en evaluaciones de costos de beneficios iniciales de las inversiones de capital para proyectos de resiliencia probablemente mejorarían los argumentos para la integración de la resiliencia y ayudarían a crear comunidades menos vulnerables.

4 La Guía de Decisiones Económicas: Pasos

El momento para planificar no es después de que ocurran los desastres; sin embargo, la incertidumbre que rodea las probabilidades y las consecuencias de los peligros potenciales, los efectos y los presupuestos limitados pueden presentar desafíos para los esfuerzos de planificación. Las comunidades necesitan un enfoque que les ayude a decidir entre alternativas que reduzcan los niveles de daños y aceleren la recuperación con recursos económicos limitados. Idealmente, la planificación de la resiliencia para la infraestructura física y los servicios relacionados se entrelazarán con los planes/sistemas sociales y económicos (de crecimiento) de las comunidades de una manera que apoye la resiliencia de la comunidad.

Al cambiar el pensamiento y reconocer el diseño y operación de edificios e infraestructura en comunidades como un sistema interconectado de los sistemas, se crean desafíos para la valoración y el desarrollo de métricas para la resiliencia. El enfoque estándar de análisis de costo-beneficio se ve desafiado por los atributos de la planificación de la resiliencia. Algunos de estos desafíos claves y áreas para futuras investigaciones relacionadas con la toma de decisiones económicas para la planificación de resiliencia se mencionan en esta sección.

La *Guía de Decisiones Económicas* proporciona un proceso para considerar métodos alternos para aumentar la resiliencia de las comunidades a través de inversiones rentables en el entorno construido y otros sistemas de infraestructura. Incluye una metodología paso y paso (Imagen 2) para analizar la economía de mejoras competitivas de capital y, finalmente, seleccionar estrategias de inversión económica. Los pasos en el proceso son:

1. Seleccionar estrategias candidatas;
2. Definir objetivos de inversión y alcance;
3. Identificar beneficios y costos;
4. Identificar las consideraciones no comerciales (no económicas);
5. Definir parámetros de análisis;
6. Realizar una evaluación económica; y
7. Clasificar estrategias.

El resto del capítulo describe cada paso de la *Guía de Decisiones Económicas*. Para comprender mejor cómo usar la guía y su metodología, el Apéndice A proporciona un ejemplo de su uso en la evaluación de inversiones. El Apéndice B proporciona los detalles técnicos y matemáticos del modelo de beneficio-costos subyacente a las directrices. Finalmente, el Apéndice C describe técnicas seleccionadas para estimar los costos económicos de las pérdidas que ocurren a partir de la ocurrencia de desastres.

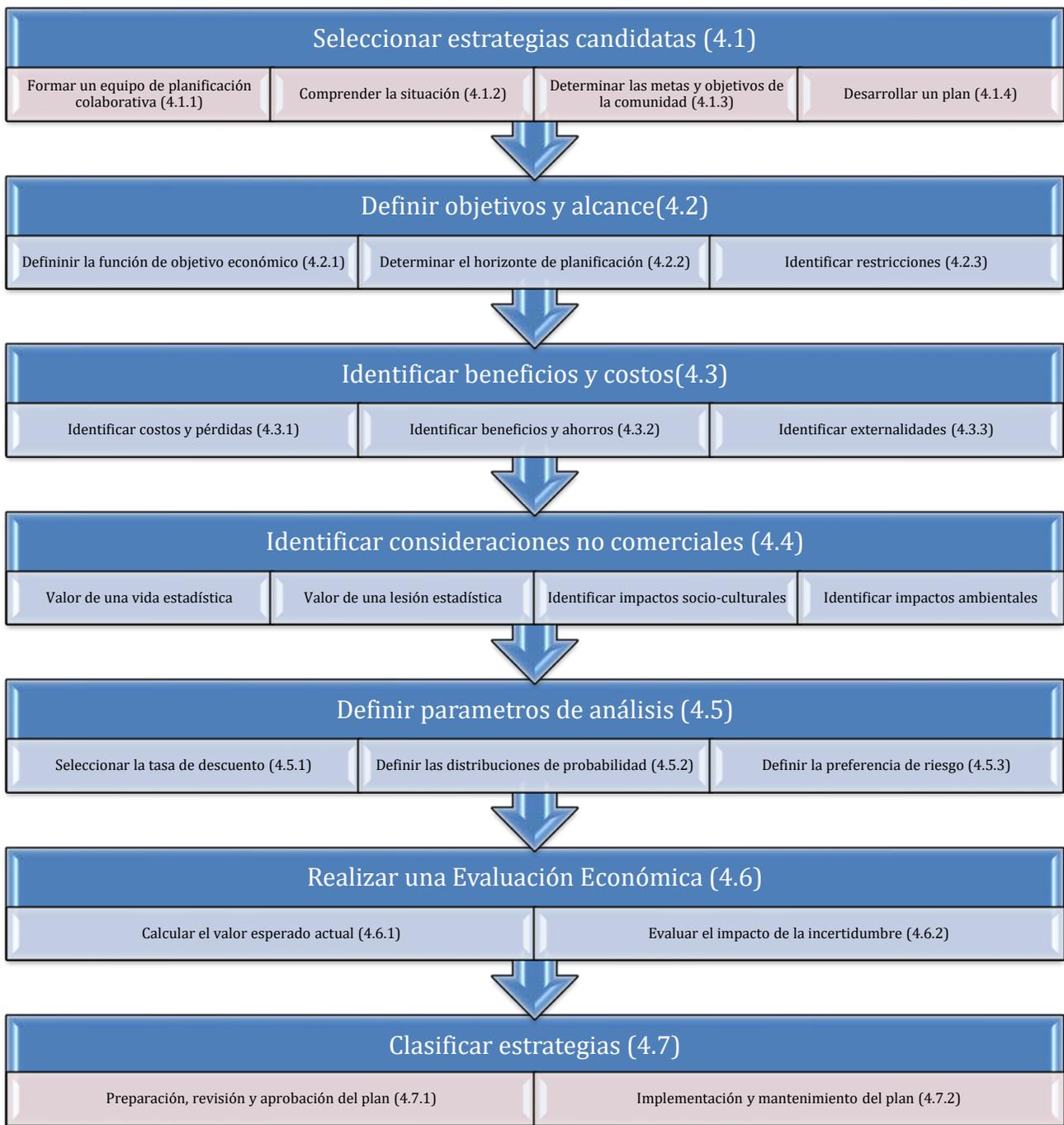


Imagen 2: Diagrama de flujo que ilustra elementos y conexiones dentro de la Guía de Decisiones Económicas, y vínculos **resaltados con la Guía de Planificación.**

4.1 Seleccionar estrategias candidatas

Se describe el vínculo entre los primeros cuatro pasos en la *Guía de Planificación* del NIST y la metodología de la *Guía de Decisiones Económicas*. El material recopilado, siguiendo los primeros cuatro pasos de la *Guía de Planificación* del NIST, produce la información necesaria para respaldar la evaluación económica de las estrategias alternas de inversión de resiliencia comunitaria estableciendo la lista de enfoques de construcción y administración (posibles ‘acciones de resiliencia’) que deben ser consideradas.

4.1.1 Formar un equipo de planificación colaborativa

Para que la resiliencia sea exitosa, se necesita liderazgo para promover e integrar las actividades de coordinación y divulgación. El equipo de resiliencia debe incluir representantes del gobierno local (por ejemplo, desarrollo comunitario, obras públicas y departamentos de construcción); propietarios privados y operadores de edificios y sistemas de infraestructura; empresarios locales y líderes de la industria; representantes de organizaciones sociales y cualquier otro grupo significativo de la comunidad. Algunos grupos ya pueden estar trabajando en aspectos de la planificación de la resiliencia, como la planificación del uso de tierra, el desarrollo económico a largo plazo, la mitigación, las inspecciones de construcción o la gestión de emergencias.

4.1.2 Comprender la situación

Se deben caracterizar ambas las dimensiones sociales y los edificios y sistemas de infraestructura (el entorno construido) y las dependencias entre los sistemas sociales y el entorno construido de soporte identificado. Los edificios y sistemas de infraestructura que apoyan los servicios y sistemas sociales deben estar claramente identificados para la planificación de la resiliencia.

La caracterización del entorno construido existente incluye la identificación de atributos clave y dependencias para edificios y sistemas de infraestructura dentro de la comunidad. Los departamentos de edificios y obras públicas y utilidades de las comunidades pueden tener gran parte de la información necesaria disponible a través de sus diferentes bases de datos. Las características que ayudarán a determinar la condición actual del entorno integrado incluyen: el propietario, ubicación(es), uso actual, antigüedad, tipos de construcción, zonificación, mantenimiento y renovaciones y códigos, normas y regulaciones aplicables, ambos en el momento del diseño y para el rendimiento actual. La información sobre la dependencia de otros sistemas o grupos de sistemas ayudará a comprender cómo se espera que funcione el entorno construido si uno de los sistemas, o grupo del sistema, deja de proporcionar los servicios.

4.1.3 Determinar las metas y los objetivos de la comunidad

El establecimiento de metas y objetivos comunitarios para el entorno construido necesita el aporte de todos los interesados, incluyendo las oficinas del gobierno local para el desarrollo comunitario, la respuesta a emergencias, las necesidades sociales, las obras públicas y los edificios; propietarios privados y operadores de edificios y sistemas de infraestructura; representantes comerciales y de la industria local; y organizaciones sociales y económicas. La planificación de la resiliencia comunitaria debe basarse en objetivos a largo plazo. Por ejemplo, una comunidad puede querer atraer nuevos negocios con su infraestructura mejorada o volver a desarrollar una llanura aluvial para convertirse en un parque comunitario. Los objetivos comunitarios también ayudan al desarrollo de estrategias y la priorización de soluciones de resiliencia.

Cada comunidad tiene un conjunto de riesgos prevalentes que deben considerarse en la planificación de la resiliencia. La *Guía de Planificación* del NIST recomienda que el desempeño de la comunidad se evalúe en tres niveles para cada riesgo para ayudar a las comunidades a comprender el rendimiento dentro de un rango razonable de niveles de riesgos esperados. Al comprender cómo los sistemas sociales y el entorno construido funcionarán y se recuperarán en un rango de niveles de riesgo, las metas y los objetivos de la comunidad estarán mejor informados.

4.1.4 Desarrollar un plan

El desarrollo de un plan se basa en objetivos de rendimiento para el entorno construido que, a su vez, se basan en la función de recuperación. Los objetivos de recuperación se establecen en dos niveles: el rendimiento deseado como objetivo a largo plazo y el rendimiento previsto (real) para los sistemas existentes. Los objetivos de rendimiento deberían basarse en las necesidades sociales de la comunidad y considerar las funciones que los edificios y los sistemas de infraestructura deben proporcionar, así como las dependencias entre los sistemas o los efectos en cascada causados por fallas. La comparación del desempeño deseado y anticipado proporciona una base para identificar las brechas en el desempeño que impactarán la capacidad de recuperación de la comunidad y, por lo tanto, deben integrarse en las estrategias de inversión alterna de resiliencia comunitaria.

Las estrategias de inversión de resiliencia comunitaria incluyen mitigación, preparación para desastres, diseño y construcción, respuesta a emergencias y planificación de recuperación previa al evento. La inclusión de los objetivos de rendimiento deseado versus el rendimiento anticipado (real) del entorno construido a los desastres y las secuencias de recuperación esperadas, el tiempo y los costos proporcionan una base completa para que las comunidades comprendan las brechas en el rendimiento, prioricen las mejoras, mediante el uso de técnicas de evaluación económica, y asignen recursos.

La *Guía de Decisiones Económicas* puede utilizarse para comparar estrategias candidatas preseleccionadas. De hecho, la evaluación podría ser entre una sola opción y el status-quo. Cabe señalar que la *Guía de Decisiones Económicas* se aplica a la mitigación, la resiliencia durante la respuesta y la reparación y reconstrucción. Con base al juicio de expertos, la selección de estrategias candidatas generalmente debe establecer aquellas que tienen más probabilidades de tener un beneficio neto alto, después de considerar los objetivos y las limitaciones adicionales identificados en la sección 4.2

4.2 Definir objetivos de inversión y alcance

4.2.1 Definir la función de objetivo económico

La *Guía de Decisiones Económicas* está diseñada para identificar las estrategias de inversión de la comunidad con el mayor beneficio neto, teniendo en cuenta todos los factores para los cuales puede ser determinado un valor. Una función de objetivo económico busca aquellas inversiones que maximizan los beneficios netos. Sin embargo, hay factores que preocupan a las comunidades cuyos valores son desafiantes, o incluso imposibles, de calcular. En tales casos, una comunidad quiere establecer que factores adicionales son importantes en su consideración entre alternativas, y tomar esos factores en cuenta al determinar qué estrategias candidatas evaluar y al decidir sobre estrategias de implementación.

Además, al planificar la resiliencia, las comunidades pueden elegir emprender un enfoque diverso que implique acciones específicas de reducción de riesgos y transferencia de riesgos relacionados con inversiones en edificios e infraestructura.

4.2.2 Determinar el horizonte de planificación

El horizonte de planificación—el periodo durante el cual se comparan alternativas, en términos de costos y beneficios, que ocurren durante ese periodo. Para un horizonte de planificación, se debe tomar cuidado en asegurar que los costos y los beneficios se consideren completamente y correctamente. Algunos detalles se discuten en la Sección 4.3. La combinación de la duración del horizonte de planificación y la tasa de descuento determina la importancia relativa de los beneficios y costos futuros.

4.2.3 Identificar restricciones

En algunos casos, consideraciones políticas, legales, financieras y de otro tipo pueden servir como límites importantes sobre lo que una comunidad puede hacer. Existen numerosos factores que influyen en las decisiones cuyo impacto sobre el bienestar de una comunidad puede ser difícil de cuantificar. En la medida en que existan tales factores, la comunidad deberá tenerlos en cuenta al seleccionar las estrategias candidatas (Sección 4.6) y al decidir qué estrategias a implementar (Sección 4.7).

Una limitación común es la restricción presupuestaria. Todas las comunidades locales enfrentan limitaciones de financiamiento y restricciones presupuestarias. Por lo tanto, el proceso de seleccionar estrategias candidatas generalmente tendrá que descartar cualquier estrategia cuyos costos excedan la restricción (presupuestaria) o considerar formas de organizar actividades a lo largo del tiempo. Si se evalúan múltiples estrategias no exclusivas, entonces la restricción presupuestaria también se debe tener en cuenta al seleccionar qué estrategias a implementar (Sección 4.7).

4.3 Identificar los beneficios y costos

Los costos de la mitigación son los costos de implementar una estrategia de mitigación que puede ocurrir una sola vez o varias veces durante el ciclo de vida del proyecto. Al medir los costos del ciclo de vida, además de los primeros costos, también deben incluirse los costos de operación, mantenimiento, reemplazo y final de vida (entre otros)—básicamente todos los costos asociados con la posesión, operación, mantenimiento y el deshecho de los bienes y servicios asociados con el proyecto.

Los beneficios se determinan principalmente como la mejora en el rendimiento durante un evento de riesgo sobre el *status quo*—es decir, los que se obtienen directamente o indirectamente al implementar una estrategia nueva de resiliencia. Esa mejora en el rendimiento incluye tanto la reducción en la magnitud de los daños (por ejemplo, a la propiedad y los medios de subsistencia) de un desastre, como en los costos de las fases de respuesta y recuperación. También se considera que los beneficios incluyen efectos positivos (es decir, beneficios colaterales) de una estrategia de resiliencia que mejora la función y el valor de la comunidad.

Se debe tener cuidado para asegurar que los costos y beneficios no se dupliquen al ser contados. Por ejemplo, si los ahorros en las primas de seguro se cuentan como parte de los beneficios (o equivalentemente se deducen de los costos) entonces los beneficios deben considerarse como el neto de los pagos de seguros (desembolsos menos prima pagada).

También se debe tener cuidado cuando los costos y beneficios no se alinean con el horizonte de planificación. Si la estrategia finaliza antes del final del horizonte de planificación, los beneficios deben ajustarse debidamente. Si la estrategia se extiende más allá del final del horizonte de planificación es necesario determinar su valor residual (el valor presente neto esperado de sus costos y beneficios para los años posteriores al final del horizonte de planificación). Se debe tener en cuenta que el valor residual puede ser negativo.

En algunos casos puede haber efectos de interacción entre las acciones de resiliencia. Los efectos de interacción incluyen costos o beneficios superpuestos, complementariedades en sus efectos o efectos antagónicos (opuestos). Si hay efectos que interactúan, entonces los costos y beneficios de la(s) combinación(es) correspondiente(s) de acciones de resiliencia deben determinarse conjuntamente.

En algunos casos, la adopción de una medida de resiliencia puede eliminar por completo la posibilidad o la necesidad de implementar ('ejecutar') otras opciones. Por ejemplo, una comunidad con riesgos de vientos puede considerar ya sea fortalecer los postes de electricidad o ubicar las líneas eléctricas bajo tierra. Las opciones son mutuamente excluyentes, lo que significa que solo se puede seleccionar una, pero en este ejemplo, su selección no reduce la disponibilidad de opciones futuras. Ahora consideremos una comunidad con riesgos de inundaciones evaluando si instalar barreras para proteger estructuras vulnerables a las inundaciones o adquirir esas estructuras para demolición. A diferencia de cualquiera elección de energía eléctrica, una decisión de adquirir estructuras para inundación reduciría opciones futuras. Un análisis debe explicar esto, aunque aumente enormemente su complejidad. En ese caso, la mejor solución es contar con el "valor de la opción" de las medidas ejecutadas en el costo de la medida de resiliencia. Sin embargo, como una cuestión práctica, ese valor de opción a menudo se desconoce.

4.3.1 Identificar costos y pérdidas

Los costos incluyen todos los costos, incluyendo los efectos negativos de implementar una acción de resiliencia. Eso incluye específicamente los costos iniciales, los costos de operación y mantenimiento, los costos al final de la vida útil y los costos de reemplazo. Además, se deben considerar los costos no económicos (discutidos en la Sección 4.4) y las externalidades negativas (discutidas en la Sección 4.3.3). Un ejemplo de costos no económicos incluye la degradación ambiental debido a la construcción. Un ejemplo de una externalidad negativa serían los costos de la degradación ambiental de la construcción. Todos estos costos adicionales deben tenerse en cuenta para estimar correctamente el beneficio neto de una estrategia de mitigación propuesta.

4.3.2 Identificar beneficios y ahorros

Los beneficios a los fines de la *Guía de Decisiones Económicas* se dividen en dos categorías: reducciones en costos y pérdidas durante desastres y beneficios no relacionados con desastres. Cada uno se analiza a continuación.

4.3.2.1 Reducciones en costos y pérdidas por desastre

La *Guía de Decisiones Económicas* requiere el cambio esperado (es decir, promedio) en la cantidad de daños dado que ocurra un evento perturbador para cada estrategia candidata de resiliencia. Entonces, se deben convertir los daños en costos.

Al discutir los costos y pérdidas, consideremos dos clasificaciones complementarias. La primera clasifica los costos y las pérdidas según su causa y mensurabilidad. Sus categorías son costos de

resiliencia, pérdidas directas, pérdidas indirectas y pérdidas no económicas. La segunda clasifica las pérdidas por lo que está dañado o destruido. Sus categorías incluyen las personas, la economía, los servicios de gobierno clave, sistemas y redes sociales y el medio ambiente (Gilbert, 2010).

Las pérdidas directas (económicas) se limitan en gran medida a las pérdidas de infraestructura física. Las pérdidas indirectas son el resultado de otras pérdidas. Las pérdidas indirectas a menudo incluyen los impactos en la economía e incluyen cosas tales como los costos de interrupción del negocio y los costos del desempleo debido a la pérdida de empleos relacionados con el desastre. A menudo, las pérdidas indirectas son el resultado de la incapacidad para realizar negocios debido a cortes de energía u otras fallas en la infraestructura.

Las estimaciones de daños documentadas en el pasado se han limitado en gran medida a las pérdidas directas. Las pérdidas indirectas son mucho más difíciles de estimar, pero representan una fracción significativa de las pérdidas económicas que se producen. Si bien cada estimación incluye diferentes cosas bajo pérdidas directas e indirectas, todavía indican que las pérdidas indirectas son una parte importante de las pérdidas totales de un desastre.

Las pérdidas de personas (principalmente muertes y lesiones), los servicios gubernamentales clave, los sistemas y las redes sociales y el medio ambiente generalmente caen en la categoría de los daños no económicos. Lo que distingue a los daños no económicos de los daños económicos (como daños a edificios e infraestructura, pérdidas de empleos y costos de interrupción de negocios) es que generalmente no hay un precio de mercado para las cosas que se ven afectadas por daños no económicos. El problema de cómo tratar con los costos y beneficios no económicos se analiza en la Sección 4.4 a continuación.

Algunas de estas categorías se miden bastante bien, mientras que otras son muy difíciles de medir. Generalmente tenemos buenas estimaciones de pérdidas de muertes, lesiones (ver Sección 4.4), y daños a la infraestructura física. Los niveles de daño a la economía son más pobres (ver Gilbert, 2010). Los daños a los servicios de gobierno clave, sistemas y redes sociales y el medio ambiente son muy difíciles de medir.

La Tabla 4-1 enumera las estimaciones de daños económicos directos e indirectos para tres desastres: el terremoto de Northridge en 1994, los incendios forestales de San Diego en 2003 y el huracán Katrina en 2005.

Tabla 4-1: Daños directos e indirectos estimados para desastres seleccionados

Desastre	Pérdidas (\$Billones)	
	Directas	Indirectas
1994 Terremoto Northridge	\$20	\$6
2003 Incendios Forestales San Diego	\$1.3	\$0.77
2005 Huracán Katrina	\$107	\$42

El terremoto de Northridge tuvo una magnitud de 6.7 que golpeó el área de Los Ángeles el 17 de enero de 1994. Causó aproximadamente \$20 mil millones en daños directos y resultó en la muerte de 57 personas. Gordon y Richardson (1995) estimaron que los costos indirectos del terremoto serían alrededor de \$6 mil millones, que consisten en costos de interrupción de negocios.

En octubre de 2003, una serie de grandes incendios forestales azotó el condado de San Diego en California. Colectivamente, ellos quemaron más de 375,000 acres, destruyeron 3,241 hogares y resultaron en 16 muertes. Los costos de supresión de los incendios fueron más de \$43 millones. Rahn (2009) estimó que los costos económicos totales del incendio serían de \$2.45 billones, de los cuales aproximadamente \$770 millones (o el 30%) fueron pérdidas indirectas. En este caso, las pérdidas indirectas consistieron en costos de interrupción de negocios y seguro de desempleo para las personas que estaban sin trabajo debido a los incendios.

El huracán Katrina azotó la Costa del Golfo cerca de Nueva Orleans, Luisiana el 29 de agosto de 2005. Fue un fuerte huracán de categoría 3 al tocar tierra. Se obtuvo un estimado de \$107 mil millones en daños directos, principalmente en los estados de Luisiana, Mississippi y Alabama, y como resultado la muerte de al menos 1,200 personas. Hallegate (2008) estimó que las pérdidas indirectas en Luisiana, debidas a Katrina, serían de \$42 mil millones, incluyendo \$23 mil millones en costos de interrupción de negocios y \$19 mil millones en pérdida de servicios de vivienda. Como señaló Rose, (según la comunicación 2015) “estas pérdidas continuaron después de 2008 porque la economía de la Costa del Golfo no se había recuperado por completo para entonces. Por ahora han superado el daño a la propiedad.”

4.3.2.2 Beneficios no relacionados con el desastre

Las estrategias de resiliencia también pueden producir beneficios externos a los desastres. Estas pueden analizarse usando las mismas categorías: beneficios directos, beneficios indirectos y beneficios no económicos. Estas deben tener en cuenta los beneficios y los costos que se acumulan durante todas las fases asociadas con un desastre y en circunstancias normales. Un ejemplo de un beneficio directo no relacionado con riesgos sería una mejora de la infraestructura que reduce los costos actuales de operación y mantenimiento. Los beneficios indirectos pueden incluir reducciones en las pérdidas por interrupción de negocios debido a cortes de energía o cortes de agua no relacionados con riesgos. Un ejemplo de los beneficios indirectos no relacionados con los riesgos es la reducción de muertes en carreteras y lesiones causadas por mejoras en las carreteras.

Las externalidades positivas también deben tenerse en cuenta (ver Sección 4.3.3). Como un ejemplo de una externalidad positiva, Flint (2014) evalúa las mejoras en la durabilidad de un puente por sus impactos en las emisiones de gases de efecto invernadero, y estima que resultan en una reducción a largo plazo de las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la reducción de las emisiones relacionadas con el tráfico durante la reparación o el reemplazo.

4.3.3 Identificar externalidades

Las externalidades son costos o beneficios que afectan a un tercero que no forma parte de la decisión directa de implementar una estrategia determinada. Las externalidades pueden ser positivas o negativas; también pueden ser de naturaleza “no comercial” lo que significa que no se compran o venden en el mercado, por lo que su precio no es observable. Un ejemplo de externalidades negativas es la contaminación del aire (que afecta a numerosas personas más allá de la entidad contaminante). Un ejemplo de externalidad positiva es la investigación básica cuyos beneficios se extienden mucho más allá de la entidad que proporciona el financiamiento de la investigación. Las externalidades presentan dificultades por dos razones. En primer lugar, la mayoría de las externalidades afectan a factores no económicos y, por lo tanto, son difíciles de valorar. En segundo lugar, y más importante aún, las

externalidades presentan problemas porque la entidad que toma la decisión no experimenta los costos totales (en el caso de externalidades negativas) ni los beneficios (en el caso de externalidades positivas) de su decisión. Como resultado, las inversiones con externalidades positivas tienden a estar insuficientemente abastecidas (la sociedad preferiría más) y las inversiones con externalidades negativas tienden a estar excesivamente abastecidas (la sociedad preferiría menos).

4.4 Identificar consideraciones no comerciales (no económicas)

Estimar los valores económicos para algunos costos y beneficios puede ser un reto. Por ejemplo, los daños son de carácter no económico si excluyen la infraestructura física o afectan directamente a la economía. Los más importantes entre las pérdidas no económicas son muertes y lesiones. Otros incluyen impactos sociales, culturales y ambientales. Sin embargo, si existen los mecanismos. Una alternativa a la valoración de pérdidas no económicas, Preferencias Lexicográficas, se analizan brevemente en la Sección [Error! Reference source not found.4.6.1.1](#).

Con respecto a las muertes y lesiones, el valor de una vida estadística se utiliza generalmente para cuantificar la pérdida. Hay una cantidad de estimaciones del valor de una vida estadística en la literatura (Ver Gilbert, 2010 para más detalles). Para otros daños no económicos, hay menos información disponible.

Existen dos técnicas básicas utilizadas para estimar un valor de los daños no económicos: encuestas de valoración contingente y métodos de valoración hedónicos. Estas técnicas son la base de las estimaciones de valor de una vida estadística que se han desarrollado. Ambas técnicas se basan en la misma idea fundamental: determinar cuántas personas están dispuestas a pagar por la utilidad que obtienen de un producto particular no comercial. La valoración contingente se basa en un enfoque de *preferencia* directa o *declarada* y la valoración hedónica es un enfoque de *preferencia* indirecta o *revelada* para la valoración no de mercado.

Las encuestas de valoración contingente presentan a los participantes un conjunto de opciones, donde cada una de las opciones está asociada con un costo (conocido o desconocido para el participante), y les pregunta directamente cuál prefieren. Los estudios hedónicos, por otro lado, buscan situaciones en las que el bien no comercial es parte de un paquete más grande de bienes que está disponible en el mercado y busca identificar cuanto valor aporta el bien no de mercado al paquete más grande.

Por ejemplo, con respecto al valor de una vida estadística, una encuesta de valoración contingente podría preguntarles a las personas cuanto estarían dispuestos a pagar para extender su vida útil de un año. Un estudio hedónico podría examinar la diferencia en el pago de una ocupación de alto riesgo en comparación con una ocupación similar de bajo riesgo. Existen otros métodos de preferencia revelada, como el análisis de costos de viaje, que equiparán el valor de la acción que no se puede obtener a través de los precios de mercado con un proxy (por ejemplo, el consumo de combustible y el valor del tiempo perdido⁷).

4.5 Definir los parámetros de análisis

4.5.1 Seleccionar la tasa de descuento

⁷ Para más información sobre los métodos de valoración contingente, consultar Bockstael y McConnell (2007). <http://www.springer.com/us/book/9780792365013>

La tasa de descuento incorpora una preferencia de tiempo de dinero. En general, se acepta comúnmente que las personas tienden a preferir consumir en el presente que sobre el futuro. El descuento del consumo futuro permite la comparación entre el consumo actual y el futuro en términos equivalentes. En este caso, eso significa descontar los costos y beneficios futuros de las estrategias de mitigación propuestas. Por ejemplo, una comunidad puede valorar los beneficios del próximo año con un 10% menos de beneficios este año. Es decir, \$1.00 de beneficios el próximo año tiene el mismo valor para la comunidad que \$0.90 en la actualidad. La consistencia del tiempo indica que \$1.00 de beneficios dentro de dos años tiene un valor de \$0.90 de beneficios el próximo año y vale \$0.81 (esto es $0.9^2 \times \$1.00$) de beneficios este año. El proceso puede repetirse para cualquier número de años en el futuro.

La tasa de descuento es una variable clave en el proceso de valoración. Encapsula las preferencias de tiempo de la comunidad. Hay tasas de descuento estándar utilizadas por las agencias federales, pero la jurisdicción individual puede elegir su propia tasa de descuento, según corresponda al proyecto que se evalúa y de acuerdo con sus prioridades identificadas. Cabe señalar que, en algunos casos, especialmente con decisiones a largo plazo, una comunidad puede mostrar tasas de descuento descendientes y tener preferencias variables en el tiempo y para descuentos sociales (Groom et al., 2005).

Hay varias fuentes que brindan información sobre rangos típicos de tasas de descuento. El gobierno federal de los EE.UU. utiliza valores diferentes para la tasa de descuento según el propósito correspondiente. La Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de los EE.UU. (GAO, por sus siglas en inglés) de los EE.UU. recomienda una tasa de 7% para los estudios de costo-beneficio, y una tasa dependiendo de la tasa de endeudamiento del Departamento del Tesoro de EE. UU para el análisis de costo del ciclo de vida (U.S. General Accounting Office (GAO), 1991). A partir de 2013, la tasa de endeudamiento a largo plazo del Departamento del Tesoro fue del 1.1% (Rushing et al., 2013). Para el análisis del costo del ciclo de vida de proyectos de conservación de energía y agua y de energía renovable en instalaciones federales, la tasa del gobierno federal de EE.UU. fue del 3% en 2013 (ibíd.).

Las tasas de descuento empleadas por empresas privadas tienden a ser más altas. El valor generalmente se basa en el costo del financiamiento de la compañía, los riesgos del proyecto y el Valor Real de la Opción del proyecto (Meier and Tarhan, 2007; Jagannathan et al., 2011). El costo del capital de financiamiento representa la tasa de interés efectiva que una compañía debe pagar para obtener fondos. Los proyectos que son más riesgosos o cuyo perfil de riesgo se correlaciona fuertemente con el riesgo macroeconómico (en toda la economía) tienden a aumentar el costo de capital de la compañía. El Valor Real de la Opción representa el valor de demorar una decisión en un proyecto. El retraso puede tener valor porque (entre otras cosas) el retraso tiende a reducir la incertidumbre sobre el pago del proyecto. Sin embargo, la demora también puede tener costos asociados: la demora puede afectar negativamente la capacidad de recuperación de la comunidad a través de una mayor probabilidad de daño a medida que el crecimiento y el desarrollo de la comunidad continúan sin considerar la capacidad de resiliencia.

Las encuestas de empresas privadas encuentran que las tasas de descuento utilizadas por ellos en la evaluación de proyectos son más altas que los valores sugeridos anteriormente para el gobierno de los EE.UU. Entre 40% y 50% de las empresas utilizan tasas de descuento entre el 10% y el 15%. Las empresas restantes se dividen más o menos por igual entre aquellas con tasas de descuento por debajo del 10% y aquellas con descuentos de hasta un 15% (Meier y Tarhan, 2007; Poterba y Summers, 1995).

Para la mayoría de las jurisdicciones, el costo de obtener capital es la opción más razonable para la tasa de descuento. La Oficina de Administración y Presupuesto (Circular A-94) brinda orientación sobre las

tasas de descuento apropiadas para ser utilizadas en los análisis económicos, y recomienda sus tarifas para los receptores no federales de préstamos, subvenciones o contratos, aunque estos no son necesarios.

4.5.2 Definir las distribuciones de probabilidad

La *Guía de Decisiones Económicas* trata los desastres como eventos discretos y relativamente raros con consecuencias significativas a largo plazo. El enfoque descrito en el Apéndice B (Exposición del modelo) y el Apéndice C (Técnica para la pérdida de estimación) requieren cierta distribución de información sobre la frecuencia de los eventos de riesgos y sus posibles resultados (por ejemplo, las pérdidas esperadas). La *Guía de Planificación* y la *Guía de Decisiones Económicas* aplican a todos los peligros, por lo que se necesita la tasa de ocurrencia de *cualquier* evento perturbador.

La *Guía de Planificación* promueve que las comunidades definan tres niveles de peligro para fines de planificación: diseño, rutinario y extremo. El peligro de diseño es el nivel designado para los códigos y normas para los edificios, puentes y sistemas de infraestructura similares. El peligro rutinario es un evento de alta/baja consecuencia. Se espera que ocurra con mayor frecuencia que el peligro de diseño, pero resulte en una tensión en el entorno construido por debajo del nivel diseñado. El peligro extremo es un evento de baja frecuencia con consecuencias graves. Se espera que ocurra con mucha menos frecuencia que el riesgo de diseño, pero que produzca choques en el entorno construido que excedan a un nivel superior la capacidad diseñada. Para fines de planificación, la definición de estos tres escenarios es útil. El análisis económico requiere la consideración adicional de todas las posibles consecuencias porque el diseño, el rutinario y el extremo no son las únicas posibilidades de eventos. Esta distribución traza todas las probabilidades de peligro a sus consecuencias esperadas. La manera en que se usan los niveles de riesgo para desarrollar una distribución de probabilidad de riesgo depende de la selección de la forma de distribución. En algunos casos, se pueden requerir suposiciones adicionales. Muchas distribuciones varían en sus requisitos de datos. Por ejemplo, una distribución triangular requiere los valores mínimo, máximo y más probable (consecuencias). La distribución normal requiere la consecuencia media (valor esperado) y su desviación estándar. La distribución extrema máxima requiere el valor más probable de la consecuencia y un parámetro de forma, que es una función de la varianza de la consecuencia. La elección de la distribución se basa en experiencia previa, investigación y/o preferencia.

Además, se requieren suposiciones de distribución para estimar los costos esperados y los beneficios asociados con escenarios de inversión competitivos. Las suposiciones de distribución de beneficios—la reducción esperada en las pérdidas—se requieren dado las incertidumbres relacionadas con la ocurrencia y el resultado del desastre, mientras que la suposición que se necesita para los costos se debe a las incertidumbres típicas relacionadas con la estimación de costos, y con algunos derivados de la dependencia del momento y la gravedad del desastre mismo (por ejemplo, costos de respuesta y recuperación).

La información de las distribuciones de probabilidad se utiliza de dos maneras: (1) en un análisis de línea de referencia donde todos los parámetros son fijos iguales a su valor esperado, y (2) en un análisis de sensibilidad donde se permite que los valores de referencia varíen. En primer lugar, el valor esperado para cada variable de entrada—el valor anual para cada costo, pérdida y beneficio—se utiliza en el análisis de referencia de cada alternativa de estrategia para la resiliencia. Esto corresponde al enfoque tradicional del análisis de inversión de proyectos, que aplica métodos económicos para un mejor cálculo de las estimaciones de las variables de entrada del proyecto como si fueran ciertas estimaciones y luego presenta los resultados en términos deterministas de un solo valor. En segundo lugar, los puntos de datos de cada distribución de probabilidad para cada alternativa de estrategia para la resiliencia se utilizan

como entradas en un análisis de sensibilidad para medir que tan “sensible” es el valor de los beneficios netos para la estrategia de resiliencia dados los cambios en variables de entrada.

4.5.3 Definir la preferencia de riesgo

Tal como está escrito, la *Guía de Decisiones Económicas* asume que las jurisdicciones son neutrales al riesgo. Para alguien que es neutral al riesgo, un 10% de un desastre de \$1 millón de dólares es igualmente desfavorable como una probabilidad de 1% de un desastre de \$10 millones de dólares. Sin embargo, es poco probable que la mayoría de las jurisdicciones se caractericen por la neutralidad de riesgos. Es más probable que sean adversos al riesgo: es decir, más reacios a las consecuencias de pocos eventos perturbadores grandes que muchos eventos pequeños.

Además, la aversión al riesgo puede cambiar a través de la experiencia adquirida y la exposición a eventos peligrosos (por ejemplo, la comprensión de los resultados de las alternativas elegidas y de los eventos) (por ejemplo, Kousky y Cooke, 2012). Este enfoque natural de la inferencia indica que las expectativas sobre la probabilidad y las consecuencias de un evento se actualizarán de acuerdo con las experiencias en el tiempo.⁸ Existe incertidumbre y ambigüedad en torno a las probabilidades y consecuencias, lo que puede informar el enfoque adoptado respecto de la aversión al riesgo al valorar las alternativas. La evidencia empírica sugiere que los individuos son más adversos a la ambigüedad cuando enfrentan decisiones (Hogarth y Kunreuther, 1985; Riddell y Shaw, 2006), lo que pueden agrabar las preferencias existentes de aversión al riesgo.

Si una comunidad desea contabilizar la preferencia por el riesgo se necesita una medida del grado de aversión al riesgo: el nivel de incertidumbre que la comunidad está dispuesta a aceptar en los resultados esperados, o el rendimiento de las inversiones realizadas frente a los desastres. La aversión al riesgo es sensible a las actitudes de riesgo, pero también a las restricciones presupuestarias y las opciones de inversión competitivas. Una vez cuantificada, la aversión al riesgo es fácil de incorporar a la *Guía de Decisiones Económicas* utilizando métodos económicos estándar. El enfoque básico es usar la “utilidad” en lugar del valor, donde la “utilidad” representa la utilidad o satisfacción que las personas obtienen de un cierto nivel de consumo.

Un enfoque alternativo, útil en algunas circunstancias, clasifica opciones en función de su ordenamiento estocástico de los beneficios neto mediante una comparación de sus distribuciones (Hadar y Russell, 1969). Otro enfoque es utilizar el análisis de sensibilidad para evaluar la solidez de los resultados a los cambios en el nivel asumido de preferencia de riesgo.

⁸ Ver Jaeger (2010) para una mayor discusión en el contexto de probabilidad y utilidad en sistemas socio-ecológicos.

4.6 Realizar una evaluación económica

4.6.1 Calcular el valor esperado actual

El método del valor actual esperado a la valoración de las estrategias de resiliencia se describe en detalle en el Apéndice B. Básicamente toma los beneficios esperados de una estrategia de resiliencia, descontando el presente, y resta los costos de valor presente de la estrategia. Cualquier estrategia cuyo valor neto sea mayor que cero tiene beneficios que exceden sus costos, mientras que cualquier estrategia cuyo valor neto sea menor a cero tiene costos que exceden sus beneficios.

Los resultados pueden ser reportados como *ventajas netas*, *proporción de beneficios-costos*, *tasa interna de retorno*, *tasa interna de rendimiento de ajuste*, o todas las opciones anteriores. Como para la mayoría de los propósitos, estos enfoques de la presentación de informes son equivalentes, el enfoque de la presentación que debe ser utilizado es el que mejor responde al objetivo económico establecido.

Evaluar los valores calculados para los beneficios netos para cada estrategia alterna de inversión para la resiliencia. Identificar y clasificar las estrategias alternas de inversión para la resiliencia de las comunidades como candidatas para su adopción como plan de resiliencia de la comunidad. La alternativa con los mayores beneficios netos a menudo será la candidata de mayor consideración en el plan de resiliencia de la comunidad. Documentar los hallazgos del análisis de referencia en un informe de análisis; incluir los resultados para todas las alternativas evaluadas. Clasificar todas las alternativas examinadas de mayor a menor según sus beneficios netos. Incluir comparaciones entre la estrategia de inversión con los mayores beneficios netos y las alternativas que se consideren fuertes contendientes—enumerando los pros y contras de cada una.

4.6.1.1 Formulaciones alternativas

Hasta este punto, el uso de la utilidad esperada—una estrategia económica popular para elegir entre alternativas cuando hay incertidumbre en los posibles resultados—se ha descrito en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, existen una cantidad de formulaciones alternas (es decir, de utilidad no esperada) que podrían usarse para evaluar estrategias candidatas. Varias formulaciones alternas se discuten brevemente a continuación, pero no se desarrollan en esta *Guía de Decisiones Económicas*. Existen muchas más formulaciones posibles, pero las que se presentan son las que se usan con más frecuencia y relevantes para la *Guía de Planificación*.

Las preferencias *lexicográficas* son un medio para enfrentar los daños no económicos. Con las preferencias lexicográficas, cada objetivo se clasifica estrictamente, y luego se optimizan en orden. Por ejemplo, puede elegirse minimizar la pérdida de vidas y luego las pérdidas económicas. En tal caso, se encontraría la alternativa que minimiza la pérdida de vidas (independientemente de las pérdidas económicas). En segundo lugar, se encontraría la alternativa de pérdida económica mínima que mantiene la pérdida de vida mínima.

La consideración de *arrepentimiento* (Loomes y Sugden, 1982) sirve para considerar las personas que se sienten peor si, *ex post*, hay alguna opción que podrían haber hecho que hubiera tenido un mejor resultado.

Las preferencias de *ambigüedad-adversas* consideran a las personas que no les gusta la ambigüedad más que una incertidumbre bien caracterizada. Un enfoque popular para las personas que son ambiguas-

adversas es suponer que evalúan estrategias candidatas al usar el peor caso de las posibles distribuciones de probabilidad para cada estrategia (ver Gilboa y Schmeidler, 1989)

El *descuento hiperbólico* se aplica a los modelos de preferencia temporal donde la coherencia temporal no se aplica (Frederick et al. 2002)—es decir, el factor de descuento no es constante a lo largo del tiempo. En general, las preferencias con valor de descuento hiperbólico presentan beneficios más importantes en relación con los beneficios futuros de lo que sugeriría la teoría económica regular.

4.6.2 Evaluar el impacto de la incertidumbre

Dado que la *Guía de Decisiones Económicas* tiene una visión progresista—está interesada en costos y pérdidas futuras—los valores de muchos de los términos se caracterizan por la incertidumbre. El tiempo de los eventos disruptivos futuros y sus pérdidas asociadas no es seguro. Los costos de respuesta y recuperación asociados con esos eventos disruptivos no son seguros. En muchos casos, los costos futuros de las medidas de resiliencia seleccionadas no son definitivos.

La forma estándar de manejo de la incertidumbre es basar las decisiones sobre el “valor esperado” de los beneficios netos futuros en la actualidad. El valor esperado es esencialmente como la medida de todas las posibles gamas de valores futuros, cada uno siendo calculado por su probabilidad que se produzca. Es el enfoque que se adopta y demuestra en el Apéndice B.

Existen una serie de fuentes de incertidumbre en la estimación de los beneficios netos actuales esperados para una estrategia de mitigación. Las incertidumbres incluyen (pero no están limitadas a):

- El momento de futuros desastres
- La cantidad de daño que un futuro desastre causará
- Los costos futuros de las estrategias de mitigación
- La tasa de descuento preferida por la comunidad
- El grado de aversión al riesgo que tiene la comunidad
- El modelo de incertidumbre con respecto a la validez de los modelos utilizados en la estimación de la actual espera de beneficios netos

Existen tres cuestiones con respecto a la incertidumbre que deben abordarse. Incluyendo:

- Identificar y cuantificar la incertidumbre específica para cada fuente diferente de incertidumbre
- Cuantificar el impacto de esas fuentes en los beneficios netos de una estrategia de mitigación
- Presentar el nivel de incertidumbre en la estimación de una manera clara y comprensible para la comunidad

Algunas fuentes de incertidumbre se mencionaron anteriormente, e igualmente pueden existir otras. Para algunas de estas fuentes de incertidumbre es probable que el nivel de incertidumbre esté relativamente bien caracterizado. La secuencia de eventos durante las interrupciones probablemente tenga una distribución de probabilidad relativamente bien caracterizada. Sin embargo, las distribuciones de las consecuencias resultantes de los eventos disruptivos se caracterizan por ‘colas gruesas’—pequeña probabilidad-alto impacto, lo cual hace que la evaluación de acciones de resiliencia apropiadas sea un desafío. Los rangos de tasas de descuento y aversión al riesgo se pueden encontrar en la literatura, aunque las distribuciones de probabilidad sobre esos rangos son menos conocidas, lo que las hace

ambiguas. Hay poca literatura publicada que caracterice la incertidumbre en las estimaciones de costos para las estrategias de mitigación o con respecto al efecto de la incertidumbre del modelo.

La cuantificación del impacto de la incertidumbre en los beneficios netos actuales esperados se puede manejar de varias maneras. Una alternativa sería un análisis de sensibilidad. El objetivo de un análisis de sensibilidad es identificar aquellas variables que tienen un impacto significativo en los resultados. Hay tres enfoques de uso común: min-max, Monte Carlo y el enfoque derivado.

En el enfoque min-max, los valores mínimos y máximos esperados para cada variable se usan en el modelo mientras se mantienen constantes todas las otras variables. Tiene la ventaja de ser un enfoque simple y fácil para utilizar, pero no toma en cuenta los efectos conjuntos de múltiples variables y puede no reflejar las combinaciones reales de valores del modelo. Las técnicas estructurales, como los diseños factoriales, pueden proporcionar información limitada sobre los efectos conjuntos.

En el enfoque Monte Carlo, un conjunto de variables candidatas se selecciona al azar del conjunto de variables posibles. Este conjunto de variables candidatas se usa para determinar el resultado del modelo. Este proceso se repite una gran cantidad de veces. La ventaja del enfoque de Monte Carlo es que da un sentido más realista de la magnitud de la variación en el modelo, pero es más intenso desde el punto de vista computacional.

El enfoque derivado toma derivados del resultado en términos de cada una de las variables de entrada y los usa para estimar el grado de variabilidad que cada variable aporta a la salida del modelo, se puede usar para dar una idea general de cómo las variables afectan los resultados del modelo, pero requiere una representación de forma cerrada del modelo y no se puede usar para modelos de complejidad moderada.

Hay varias maneras de presentar información sobre el grado de incertidumbre en una estimación. Los más comunes incluyen informar sobre una desviación estándar de una estimación e informar sobre los límites de confianza superior e inferior. En este caso, cuando la distribución de los daños es muy sesgada y los beneficios netos actuales previstos también son muy sesgados, es mucho más probable que los informes de los límites de confianza superior e inferior sean más informativos que el informe de una desviación estándar.

Utilizando los beneficios netos promedio más altos de la distribución derivada como el criterio de decisión, identifica una estrategia de inversión de resiliencia alterna como candidata para un mayor desarrollo en el plan de resiliencia de la comunidad. Documentar los hallazgos del análisis de sensibilidad en un informe de análisis; incluye los resultados para todas las alternativas evaluadas. Clasificar todas las alternativas examinadas de mayor a menor según sus beneficios netos medios. Incluir comparaciones entre la estrategia de inversión con los mayores beneficios netos promedio y cualquier alternativa que se considere contendiente—enumerando los pros y contras de cada una. Si corresponde, incluir una discusión sobre las reversiones de rango—circunstancias bajo las cuales la alternativa recomendada no tuvo la mejor medida de desempeño económico.

4.7 Clasificar las estrategias

El paso final en la *Guía de Decisiones Económicas* es clasificar las estrategias para la implementación, después de tener en cuenta sus beneficios netos relativos, al tiempo que se consideran las restricciones y se identifican las consideraciones no de mercado. En la medida en que las acciones de resiliencia no tengan efectos interactivos y no exista una restricción de costos, entonces el conjunto preferido de

medidas es el que tiene los mayores beneficios netos positivos. Si existe una restricción de costos, entonces el conjunto de medidas óptimo limitado es la combinación de medidas cuyo costo total es menor que la restricción de costo y cuyo beneficio neto total es máximo. Observación que esto sería un problema mucho más difícil.

Como se discutió anteriormente, las acciones de resiliencia pueden tener efectos interactivos. Cuando estos existen, las combinaciones de acciones deben analizarse conjuntamente, especialmente cuando la adopción de una acción excluye la implementación de otras, ya sea ahora o en el futuro. Además, cuando las acciones de resiliencia son mutuamente excluyentes se deben considerar explícitamente.

El resto de esta subsección enfatiza el vínculo entre los dos últimos pasos en la *Guía de Planificación* del NIST y la metodología de la *Guía de Decisiones Económicas*. El informe de análisis resultante y el análisis de sensibilidad proporcionan el punto de partida para la preparación, revisión y aprobación del plan.

4.7.1 Preparación, revisión y aprobación del plan

Cada una de las estrategias alternas de resiliencia para la comunidad consiste en un conjunto de acciones. Es probable que estas acciones se realicen en un período de años para que puedan integrarse en el proceso del presupuesto de capital de la comunidad. La presentación y el estudio del análisis de referencia y el análisis de sensibilidad son fundamentales para comprender y aceptar los hallazgos; deben integrarse cuidadosamente en el plan de resiliencia de la comunidad para promover una comprensión más completa de sus méritos por parte de los tomadores de decisiones y las partes interesadas clave de la comunidad. Si la presentación es clara y concisa, y si la estrategia de análisis es lógica, completa y explicada cuidadosamente, entonces los resultados deben mantenerse bajo escrutinio minucioso. Las siguientes son las consideraciones económicas clave que deben integrarse en el plan de resiliencia:

- Recomendar una alternativa como la mejor estrategia de inversión costo-efectiva de resiliencia.
- Proporcionar un fundamento para la recomendación. Incluir los hallazgos del análisis de base de referencia y el análisis de sensibilidad como parte del razonamiento.
- Si corresponde, incluir una discusión de las circunstancias bajo las cuales la alternativa recomendada no fue la mejor para el desempeño económico.
- Describir cualquier efecto significativo que permanezca sin cuantificar. Explicar cómo estos efectos pueden afectar la alternativa recomendada.

4.7.2 Implementación y mantenimiento del plan

A medida que el plan de resiliencia avance hacia la implementación, habrá nueva información disponible tanto sobre los costos como sobre los beneficios. Para asegurar que el plan de resiliencia se convierta en una parte integral del plan de desarrollo económico de la comunidad y otros planes a largo plazo, la información debe actualizarse y mantenerse. Además, cualquier beneficio de derrame no contabilizado en el plan original debe documentarse junto con cualquier consecuencia no intencional que perjudique los méritos del plan.

5 Futuras direcciones

La *Guía de Decisiones Económicas* proporciona una base firme para realizar evaluaciones económicas de estrategias alternativas de inversión para resiliencia comunitaria. Aunque la *Guía de Decisiones Económicas* proporciona la base para realizar estas evaluaciones económicas, se necesitan recursos adicionales para garantizar que las evaluaciones económicas sean sencillas, transparentes y se puedan repetir, tanto dentro de una comunidad, como a través de las comunidades. Para lograr este objetivo, se necesitan dos recursos adicionales: (1) estándares de consenso de la industria enfocados en la economía de la resiliencia comunitaria y (2) una herramienta de software de apoyo a la decisión basada en esos estándares.

Los estándares de consenso de la industria que cubren una amplia gama de temas económicos han sido desarrollados por ASTM International (ASTM, 2012). Aunque estos estándares de economía de construcción de ASTM cubren un análisis de costo-beneficio, tratamiento de riesgo e incertidumbre y técnicas de análisis de decisiones de múltiples atributos capaces de abordar consideraciones que no son del mercado, su enfoque se centra en edificios individuales o colecciones de edificios en un entorno de campus. NIST ha propuesto expandir el conjunto actual de los estándares de economía de construcción de ASTM para asegurar que los conceptos de sistemas se aborden rigurosamente. Estas nuevas normas, una vez desarrolladas, le permitirán a los tomadores de decisiones a comparar y contrastar estrategias alternativas de inversión de resiliencia comunitaria de una manera consistente y repetitiva.

Desarrollar y evaluar una estrategia de inversión de resiliencia comunitaria requiere trabajo en equipo y aportes de datos de varias fuentes. Elaborando el problema de decisión de manera adecuada no sólo reduce la complejidad de analizar los méritos de la estrategia propuesta, sino que también promueve una mejor comprensión de los resultados del análisis. Al desarrollar una herramienta de software de apoyo al usuario para tomar una decisión en colaboración con partes interesadas de la industria/comunidad, el NIST garantizará que todos los elementos de datos necesarios – tantos los beneficios como los costos – se tengan en cuenta adecuadamente, y que la incertidumbre asociada con supuestos y elementos de datos sea rigurosamente analizada. La herramienta de software incluirá una función de informe que resumirá los resultados, resaltando las suposiciones utilizadas al realizar el análisis y documentando la sensibilidad de los resultados a esas suposiciones y otros elementos de datos. Las características de los reportes se diseñarán de una manera que ayude a los analistas a comunicar los resultados en un formato condensado, pero comprensible, para los líderes de la comunidad y otras personas no técnicas. Estas características del software están destinadas a traducir la estrategia de inversión de resiliencia comunitaria seleccionada en un plan propuesto para su revisión y aprobación por los líderes de la comunidad.

Lista de Referencias

- Ayyub, Bilal M. 2014. *Risk Analysis in Engineering and Economics, Second Edition*. Boca Raton, Fla: Chapman and Hall/CRC.
- Ayyub, Bilal M., Robert E. Chapman, Gerald E. Galloway, and Richard N. Wright. 2015. *Economics of Community Disaster Resilience Workshop Proceedings*. NIST Special Publication 1600.
- Baird, G. 2010. *Sustainable Buildings in Practice: What the Users Think*, Abingdon: Routledge.
- Cutter, S.L. (2014). The Landscape of Resilience Measures. Presentation at the Resilient America 562 Roundtable Workshop on Measures of Community Resilience, September 5, 2014. Viewed January 25, 2015.
- DHS Risk Steering Committee, 2008. DHS Risk Lexicon. Department of Homeland Security, www.dhs.gov/xlibrary/assets/dhs_risk_lexicon.pdf
- EOP (2013) The President's Climate Action Plan, Executive Office of the President, June 2013, <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/image/president27sclimateactionplan.pdf>.
- FEMA (2011) Presidential Disaster Declarations, January 10, 2000 to January 1, 2011, Federal 416 Emergency Management Agency, Washington, DC, <https://www.hSDL.org/?view&did=12383>.
- Frederick, Shane, George Loewenstein, and Ted O'Donoghue. 2002. "Time Discounting and Time Preference: A Critical Review." *Journal of Economic Literature* 40 (2): 351–401.
- Gilbert, Stanley. 2010. *Disaster Resilience: A Guide to the Literature*. NIST Special Publication 1117. Gaithersburg, MD.
- Gilboa, Itzhak, and David Schmeidler. 1989. "Maxmin Expected Utility with Non-Unique Prior." *Journal of Mathematical Economics* 18 (2): 141–53. doi:10.1016/0304-4068(89)90018-9.
- Gordon, Peter, and Harry Richardson. 1995. *The Business Interruption Effects of the Northridge Earthquake*. Lusk Center Research Institute: USC.
- Groom, Ben, Cameron Hepburn, Phoebe Koundouri, and David Pearce. 2005. "Declining Discount Rates: The Long and the Short of it." *Environmental and Resource Economics*, 32, 4: 445-493.
- Hadar, Josef and William Russell. 1969. "Rules for Ordering Uncertain Prospects," *American Economic Review* 59: 25-34.
- Hallegatte, Stéphane. 2008. "An Adaptive Regional Input-Output Model and Its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina." *Risk Analysis* 28 (3): 779–99.
- Hogarth, Robin and Howard Kunreuther. 1985. Ambiguity and Insurance Decisions." *The American Economic Review: Papers and Proceedings*. 75, 386–390.

- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4: 1-23.
- IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.) Available from Cambridge University Press, 582 pp.
- Jaeger, C. "Risk, rationality, and resilience." *International Journal of Disaster Risk Science* 1(1): 10-16.
- Jagannathan, R., I. Meier, and V. Tarhan. 2011. *The Cross-Section of Hurdle Rates for Capital Budgeting: An Empirical Analysis of Survey Data*. National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w16770>.
- Kousky, Carolyn and Roger Cooke. 2012. "Explaining the Failure to Insure Catastrophic Risks" *The Geneva Papers*. 37, 206–227.
- Kunreuther, Howard, Geoffrey Heal, Myles Allen, Ottmar Edenhofer, Christopher B. Field and Gary Yohe. 2013. "Risk Management and Climate Change." *Nature Climate Change* 3:447–450.
- Loomes, Graham, and Robert Sugden. 1982. "Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice Under Uncertainty." *The Economic Journal* 92 (368): 805–24. doi:10.2307/2232669.
- Meier, I., and V. Tarhan. 2007. "Corporate Investment Decision Practices and the Hurdle Rate Premium Puzzle." Available at SSRN 960161. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=960161.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). 2015a. *Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems, Volume I*. NIST Special Publication 1190. Gaithersburg, MD.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). 2015b. *Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems, Volume II*. NIST Special Publication 1190. Gaithersburg, MD.
- National Research Council (NRC), 2012. *Disaster Resilience: A National Imperative*. The National Academies Press, Washington, DC.
- Poterba, J., and L. Summers. 1995. "A CEO Survey of US Companies' Time Horizons and Hurdle Rates." *Sloan Management Review* 37: 43–43.
- PPD-8 (2011) Presidential Policy Directive, PPD-8 – National Preparedness, The White House, March 8 2011, <http://www.dhs.gov/presidential-policy-directive-8-national-preparedness>.
- PPD-21 (2013) Presidential Policy Directive/PPD-21, The White House, February 12, 2013, 856 <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/presidential-policy-directive-critical-857-infrastructure-security-and-resil>.

- Radermacher, Ralf, Jacqueline Roberts Singh and Siddharth, Srivastava. "Integrated Risk Management in Microinsurance" (2010). Microfinance: an innovative tool for disaster and risk reduction. 2010.
- Rahn, Matt. 2009. "Wildfire Impact Analysis."
< http://universe.sdsu.edu/sdsu_newscenter/images/rahn2009fireanalysis.pdf>
- Renschler, Chris S., Amy E. Frazier, Lucy A. Arendt, Gian-Paolo Cimellaro, Andrei M. Reinhorn, and Michel Bruneau. 2010. *A Framework for Defining and Measuring Resilience at the Community Scale: The PEOPLES Resilience Framework*. MCEER Technical Report MCEER-10-0006. Buffalo, NY.
- Riddel, Mary and W. Douglass Shaw. 2006. "A theoretically-consistent empirical model of non-expected utility: An application to nuclear-waste transport," *Journal of Risk and Uncertainty*, Springer, 32(2):131-150.
- Rose, A. 2007. Economic Resilience to Natural and Man-made Disasters: Multidisciplinary Origins and Contextual Dimensions. *Environmental Hazards* 7(4): 383–95.
- Rose, Adam. 2009. "A Framework for Analyzing and Estimating the Total Economic Impacts of a Terrorist Attack and Natural Disaster," *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 6(1): Article 6.
- Rose, Adam and Eliasbeth Krausmann, 2013, "An Economic Framework for the Development of a Resilience Index for Business Recovery," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol.5, iss. 3, 73-83.
- Rose, Adam. 2015. "Measuring Economic Resilience to Disasters" in ed. Ayyub, Bilal M., Robert E. Chapman, Gerald E. Galloway, and Richard N. Wright. 2015. *Proceedings of the Economics of Community Disaster Resilience Workshop*. NIST Special Publication 1600.
- Rubin, Claire B. 1991. *Disaster recovery after Hurricane Hugo in South Carolina*. Natural Hazards Research and Applications Information Center, Institute of Behavioral Science, University of Colorado.
- Rushing, A., J. Kneifel, and B. Lippiatt. 2013. *Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis - 2013: Annual Supplement to NIST Handbook 135 and NBS Special Publication 709*. Gaithersburg, MD: U.S. Dept. of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- Subcommittee on Disaster Reduction (SDR), 2005. Grand Challenges for Disaster Reduction, National Science and Technology Council, Washington DC.
- Swiss Re (2014), Sigma report: Natural catastrophes and man-made disasters in 2013.
- US General Accounting Office. 1991. *Circular No. A-94 Revised*.
- White, Gilbert, Robert Kates, and Ian Burton. 2001. "Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management." *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 3:81-92.

Apéndice A: Ejemplo de Decisión Económica de Resiliencia Comunitaria – Riverbend, EE.UU.

Introducción

Este ejemplo demuestra el proceso descrito en la *Guía de Decisiones Económicas*. El análisis se basa en el ejemplo presentado en el Apéndice A (*‘Ejemplo de Planificación de Resiliencia Comunitaria – Riverbend, EE.UU.’*) de la *Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura* del NIST (IST 2015^a)

La *Guía de Planificación* proporciona un proceso para que las comunidades desarrollen planes a largo plazo al involucrar a las partes interesadas, establecer objetivos de rendimiento para los edificios y los sistemas de infraestructura y desarrollar una estrategia de implementación. Elabora un proceso proactivo para garantizar que las funciones sociales críticas de la comunidad reciban apoyo durante y después de un desastre. La *Guía de Decisiones Económicas* proporciona un mecanismo para priorizar soluciones potenciales de resiliencia, a la vez que respalda las necesidades de la comunidad.

Riverbend, USA

Riverbend es una ciudad pequeña con una población de aproximadamente 50,000. Está situada en un valle a lo largo del Río Central, y fue colonizada por agricultores y leñadores hace más de 160 años debido a la tierra fértil que la rodea para agricultura y sus abundantes recursos madereros. La economía de Riverbend consiste en agricultura, manufactura, finanzas y bienes raíces. Es una ciudad típica de clase media con un ingreso medio familiar cercano al promedio nacional. En los últimos años, las industrias madereras y mineras han experimentado una desaceleración; sin embargo, Riverbend ha tenido éxito transformando su economía al atraer a los empleadores a otros sectores económicos en crecimiento. Para más información y contexto sobre este ejemplo por favor ver el Apéndice A de la *Guía de Planificación* del NIST.

El puente interestatal de cuatro carriles sobre el Río Central entre Riverbend y Fallsborough, ciudad vecina, fue una gran preocupación para la comunidad porque era el único cruce donde pasaba el tráfico y el agua potable a Riverbend desde Fallsborough, y el volumen de tráfico era más alto que su capacidad. Estaba operando por debajo de las expectativas del conductor durante las horas pico. Esta estructura era sensible a los eventos de inundación y terremoto, y servía como un enlace principal para vehículos de emergencia, incluyendo incendios y rescate.

Para simplificar en la ilustración de la Guía de Decisiones Económicas, a continuación, solamente se consideran dos estrategias candidatas del Apéndice A de la Guía de Planificación.

Estrategias Candidatas

El equipo de planificación de Riverbend consideró dos planes alternativos para mejorar la resiliencia de la comunidad. Ambas alternativas fueron diseñadas para aumentar la resiliencia frente a inundaciones y terremotos, lo que resultaría en una reducción de las pérdidas económicas y la pérdida de vidas, en caso de que ocurriera un desastre. (También existe la posibilidad de un terremoto que potencialmente pueda causar daños a la infraestructura). Se esperaba que el segundo plan iba aliviar la congestión del tráfico durante las horas pico más allá de las que se caracterizaban por un desastre.

Plan 1: Actualizar el puente del Río Central (opción de adaptación/rehabilitación sísmica)

Dado que el puente existente está programado (y presupuestado) para una sustitución de los tableros en diez años, hubo una oportunidad de completar la mejora sísmica que también crearía una mayor resistencia contra las condiciones de inundación. El reemplazo de la plataforma requiere cerrar el puente, lo que obliga a tomar una ruta más larga para servicios de emergencia y el tráfico regular. El costo del usuario de un desvío más largo y el deterioro de los caminos de ruta alternativa son pérdidas que deben ser consideradas.

Plan 2: Instalar un segundo puente sobre el Río Central (nueva opción de construcción consistente con los códigos sísmicos)

El nuevo puente se podría construir en una alineación de desplazamiento mientras se mantiene el puente existente. En caso de eventos sísmicos, el nuevo puente mantendrá el tráfico. Este segundo cruce aliviaría la congestión durante los períodos de mucho tráfico cuando el tráfico excede la capacidad del puente y proporcionaría un suministro adicional de agua que beneficiaría los planes de desarrollo a largo plazo de Riverbend. El nuevo puente cumpliría con los requisitos sísmicos, de redundancia y resistencia, y estaría diseñado para durar 125 años. Además, el nuevo puente permitiría que el tráfico se reoriente cuando el remplazo del puente existente lo requiera. También incluiría una ruta no motorizada. Es una buena práctica para las comunidades tener modos de viaje alternos que mejoren la calidad de vida.

Evaluación económica y análisis de sensibilidad

El equipo de planificación de Riverbend organizó un equipo de consultoría para evaluar económicamente los dos proyectos de construcción de capital en competencia.

La Tabla A-1 resume la información que el equipo recopiló relevante a los pasos 4.1 (Seleccionar estrategias candidatas) a 4.5 (Definir parámetros de análisis) de la *Guía de Decisiones Económicas*. Tenga en cuenta que el equipo de consultoría basó sus cálculos de costos en la información obtenida del Departamento de Transporte (DOT, por sus siglas en inglés) de la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) en “Costos estimados de 2012 para reemplazar o rehabilitar puentes estructuralmente deficientes” de 2012.⁹

La Tabla A-2 resume el resultado de la evaluación económica, comparando el valor actual esperado de los beneficios netos incluyendo el análisis de sensibilidad (4.6). Los valores actuales para los beneficios relacionados con desastres se calculan usando las ecuaciones que se encuentran en el Apéndice B y el Apéndice C.

El equipo de consultoría realizó un análisis de sensibilidad sobre las estimaciones de línea de referencia que se encuentran en la Tabla A-2. El equipo decidió evaluar la incertidumbre subyacente a las estimaciones del momento y la magnitud de un desastre. Estas afectaron las estimaciones netas de beneficios, a través de la variación en los beneficios calculados. Utilizando el enfoque detallado en el

⁹ Disponible en: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi/sd2012.cfm>

Se utilizó el costo unitario promedio nacional (\$1803). El costo unitario se determine por el área promedio de puentes reemplazados (de las columnas 2 y 3)

Apéndice C, el equipo calculó la desviación estándar de los beneficios netos, lo que requirió un cálculo de la probabilidad de que no ocurra un desastre durante todo el horizonte de planificación (13.5 %).¹⁰

Estrategias de rango

El objetivo económico del equipo de planificación de Riverbend era seleccionar el plan con el beneficio neto de valor presente máximo (positivo). Se recomendó la implementación del Plan 2, dado su beneficio neto actual esperado de \$1.5 M (desviación estándar de \$5.4 M). El beneficio neto actual esperado del Plan 1 fue menor y negativo (desviación estándar de -\$0.8 M; \$3.25 M). Si bien la variación en las estimaciones del beneficio neto fue mayor para el Plan 2, es más probable que el Plan 1 tenga como resultado que los costos superen los beneficios.

¹⁰ El equipo de consultoría determine que las estimaciones de costos se conocían con certeza, al igual que los beneficios no relacionados con el desastre. Sin embargo, había incertidumbre en la secuencia del desastre—por ejemplo, el momento y la magnitud del desastre. La desviación estándar del tiempo se encuentra con la siguiente fórmula:

$$\sigma_V^2(T) = \frac{\lambda}{2k} (\sigma_S^2 + \bar{S}^2) e^{-2kT} \quad (1)$$

donde T es el horizonte de tiempo (50 años), λ es la probabilidad anual de un desastre (0.04), k se define por $1 - r = .95 = e^{-k}$, y \bar{S} es la suma de los beneficios económicos, incluyendo el valor de los beneficios no del mercado,

El término σ_S^2 , encapsula la varianza de los daños condicionada a que ocurra un desastre. Para simplificar, el equipo asumió que el coeficiente de variación (CV) en magnitud es 1. Es $\frac{\sigma_S}{\bar{S}} = 1$. Entonces la ecuación resulta en:

$$\sigma_V^2(T) = \frac{\lambda}{2 \ln(1-r)} (CV + 1) \bar{S}^2 (1 - r)^{-2T} \quad (2)$$

La probabilidad de que no ocurra un desastre dentro de un período de 50 años se basa en un modelo de Poisson.

$$P\{n = 0\} = \frac{(\lambda T)^0}{0!} e^{-\lambda T} = \frac{1}{1} e^{-(0.04)(50)} = e^{-2} \approx 0.135 \quad (3)$$

Tabla A-1: Insumos para la Evaluación Económica

DIRECTRIZ	VALOR	SECCIÓN
Seleccionar estrategias candidatas	Plan 1: Adaptación Plan 2: Nueva construcción	4.1
Definir objetivos y alcance de inversión		
<i>Definir la función de objetivo económico</i>	Beneficios netos máximos	4.2.1
<i>Definir horizonte de planificación</i>	50 años	4.2.2
<i>Identificar restricciones</i>	Ninguna	4.2.3
Identificar costos y beneficios		
<i>Identificar costos y pérdidas</i>	Plan 1: costos de construcción; costos de interrupción del negocio Plan 2: costos de construcción; costos de interrupción del negocio; costos de mantenimiento	4.3.1
<i>Identificar ahorros y beneficios</i>	Plan 1: daño reducido de puente (directo); reducir costos de respuesta; costos de recuperación reducidos; interrupción (indirecta) del negocio reducida Plan 2: reducción de costos de respuesta; costos de recuperación reducidos; interrupción comercial (indirecta) reducida; se acorta el tiempo de viaje	4.3.2
<i>Identificar externalidades</i>	Ninguna	4.3.3
Identificar consideraciones no relacionadas con el mercado	Valor estadístico de una vida: \$7.5 M	4.4
Definir parámetros de análisis		
<i>Seleccionar tasa de descuento</i>	5 %	4.5.1
<i>Definir distribución de probabilidad</i>	Reincidencia de desastre: 25 años (4 % probabilidad anual) Magnitud del desastre: Daño directo ~ 1/16 costo de reposición Plan 1 Costos: \$3 M directos; \$0.5 M indirectos Plan 2 Costos: \$4.25 M directos; \$0.05 M indirectos; \$0.025 M mantenimiento Plan 1 Beneficios: reducción de pérdidas directas de \$0.26 M; \$2 M reducción de pérdidas indirectas; \$0.6 M de reducción de costo de respuesta y recuperación; 0.1 muertes evitadas. Plan 2 Beneficios: reducción de pérdidas indirectas de \$3.5 M; \$1 M de reducción de costo de respuesta y recuperación; 0.2 muertes evitadas; \$0.1 M de beneficios no relacionados con el desastre	4.5.2
<i>Definir preferencia de riesgo</i>	Riesgo neutral	4.5.3

Tabla A-2: Resultados de la Evaluación Económica

	Valor esperado actual	
	Plan 1	Plan 2
Beneficios		
Beneficios económicos del desastre		
<i>Costos de respuesta y recuperación</i>	\$449,007	\$748,344
<i>Pérdidas directas</i>	\$194,570	\$0
<i>Pérdidas indirectas</i>	\$1,496,689	\$2,619,206
Beneficios no-de-mercado del desastre		
<i>Vidas salvadas</i>	\$561,258	\$1,122,517
...		
Beneficios relacionados no del desastre		
<i>Tiempo de viaje reducido</i>	\$0	\$1,825,593
Costos		
Inicial		
<i>Directo</i>	\$3,000,000	\$4,250,000
<i>Indirecto</i>	\$500,000	\$50,000
Costo decadal	\$0	\$507,711
Valor residual	\$0	\$0
Total: Valor esperado actual		
<i>Beneficios</i>	\$2,701,524	\$6,315,660
<i>Costos</i>	\$3,500,000	\$4,807,711
<i>Neto</i>	(\$798,476)	\$1,507,949
Desviación Estándar		
<i>Neto</i>	\$3,250,000	\$5,400,000

Apéndice B: Exposición del modelo

Este apéndice contiene una descripción matemática del modelo de la *Guía de Decisiones Económicas*. Lo describe en dos formas, maximizando los beneficios netos y minimizando el costo más la pérdida, y compara los dos.

B.1. Maximizando los beneficios netos

Definir

k Tasa de descuento

T_{max} El período de planificación (posiblemente infinito).

P el conjunto de todas las posibles estrategias de mitigación. Esto incluye cualquier conjunto de opciones que podrían afectar las pérdidas por desastres, incluyendo los códigos de construcción, la capacitación del personal de respuesta a emergencias, la construcción y operación de un Centro de Operaciones de Emergencia, etc.

$P \in P$ alguna estrategia de mitigación específica.

$P_0 \in P$ La “estrategia de mitigación” *status quo*

$C(t, P)$ Los costos como una función del tiempo. Los costos son específicos de la estrategia de mitigación y se definen en relación con el *status quo*. Es decir, por definición, los costos asociados con la “estrategia” el *status quo* son cero.

$\{T_i, D_i(P), R_i(P)\}_{i=1}^{\infty}$ la secuencia de desastres, donde T_i es el tiempo del i desastre, D_i es la pérdida del i desastre, y R_i representa los costos de respuesta y recuperación del i desastre. La pérdida y los costos de respuesta y recuperación dependen de la estrategia de mitigación. Dado que los desastres que preocupan son en el futuro, esta es una secuencia aleatoria.

$I(T_{max}) = \{i | T_i \leq T_{max}\}$ El conjunto de desastres que caen dentro del período de planificación.

Entonces, el marco económico intenta resolver este problema:

$$\max_{P \in \mathcal{P}} E \left[\sum_{i \in I(T_{max})} [(D_i(P_0) - D_i(P)) + (R_i(P_0) - R_i(P))] e^{-kT_i} - \sum_{t \leq T_{max}} C(t, P) e^{-kt} \right] \quad (1)$$

donde E representa el operador del valor esperado.

Los resultados podrían ser reportados como ahorros netos¹¹, una relación ahorro-inversión¹², tasa interna de retorno¹³, tasa de rentabilidad interna ajustada¹⁴, o todas las anteriores. Dado que para la mayoría de

¹¹ Estándar ASTM E1074-09. 2009.

¹² Estándar ASTM E964-06 (2010). 2010.

¹³ Estándar ASTM E1057-06 (2010). 2010.

¹⁴ Estándar ASTM E1057-06 (2010). 2010.

los propósitos, estos enfoques de presentación de informes son equivalentes, el enfoque de presentación de reportes es el que los responsables de la toma de decisiones de la comunidad entiendan más fácilmente.

La ecuación anterior ya está expresada para mostrar el ahorro neto, tal como se define en el estándar ASTM E1074-09. La relación ahorro-inversión está definida por el estándar ASTM 964-06 como

$$SIR(P) = \frac{\sum_{i \in I(T_{max})} [(D_i(P_0) - D_i(P)) + (R_i(P_0) - R_i(P))] e^{-kT_i}}{\sum_{t \leq T_{max}} C(t, P) e^{-kt}}$$

La tasa interna de rendimiento está definida por el estándar ASTM E1057-06 como el valor $k^*(P)$ que:

$$E \left[\sum_{i \in I(T_{max})} [(D_i(P_0) - D_i(P)) + (R_i(P_0) - R_i(P))] e^{-k^*(P)T_i} - \sum_{t \leq T_{max}} C(t, P) e^{-k^*(P)t} \right] = 0$$

Finalmente, la tasa interna de retorno ajustada está definida por el estándar ASTM E1057-06 como el valor $k^*(P)$ que:

$$E \left[\sum_{i \in I(T_{max})} [(D_i(P_0) - D_i(P)) + (R_i(P_0) - R_i(P))] e^{r(T_{max}-T_i)-k^*(P)T_{max}} - \sum_{t \leq T_{max}} C(t, P) e^{r(T_{max}-T_i)-k^*(P)T_{max}} \right] = \sum_{t \leq T_{max}} I_t e^{-rt}$$

Donde T_{max} generalmente es el período de planificación, r es el costo normal de capital o tasa de rendimiento, y I_t es una inversión de capital en un período de tiempo t . Tomar en cuenta que con el método AIRR algunos “costos” son sinónimos de inversiones.

B.2. Minimizando el costo más pérdida

En términos de costo-más-pérdida, el marco económico intenta resolver este problema:

$$\min_{P \in \mathcal{P}} E \left[\sum_{i \in I(T_{max})} [D_i(P) + R_i(P)] e^{-kT_i} + \sum_{t \leq T_{max}} C(t, P) e^{-kt} \right] \quad (2)$$

Esto es formalmente equivalente a la formulación de máximo beneficio neto anterior. Aquí el objetivo es reducir los costos totales de los desastres.

B.3. Cálculo y discusión

Dos suposiciones nos permiten poner la expectativa en la ecuación (1) en una forma particularmente simple. El desarrollo matemático se encuentra en el Apéndice C. Específicamente, asumimos que la probabilidad de que ocurra un desastre (independiente de su magnitud) es constante a lo largo del tiempo, y segundo asumimos que la magnitud de un desastre, condicionado a su ocurrencia, es independiente de los tiempos transcurridos entre desastres e independiente de la magnitud de los desastres anteriores.

Para simplificar la exposición, el valor esperado del total de las pérdidas por desastres y los costos de respuestas y recuperación, condicionado a que ocurra un desastre, y condicionado a la implementación de la estrategia de mitigación P , se expresará como \bar{L}_P , y la varianza del total de las pérdidas por desastres y los costos de respuesta y recuperación, condicionado a la ocurrencia de un desastre y condicionado a la implementación de la estrategia de mitigación P , se expresará como $\sigma_{L_P}^2$. También definimos λ como la tasa de ocurrencia de un desastre, o de manera equivalente, el inverso del período de retorno del desastre.

Además, definamos \bar{V} como el valor actual esperado del total de pérdidas por desastres y los costos de respuesta y recuperación para todos los desastres que puedan ocurrir dentro del horizonte de planificación. Es decir:

$$\bar{V}(P, T_{max}, \lambda, k) = \sum_{i \in I(T_{max})} [D_i(P) + R_i(P)]e^{-kT_i} \quad (3)$$

Con estas suposiciones, el valor esperado y la varianza de las pérdidas por desastres son:

$$\bar{V}(P, T_{max}, \lambda, k) = \frac{\lambda}{k} (1 - e^{-kT_{max}}) \bar{L}_P \quad (4)$$

y

$$\sigma^2(P, T_{max}, \lambda, k) = \frac{\lambda}{2k} (1 - e^{-2kT_{max}}) (\sigma_{L_P}^2 + \bar{L}_P^2) \quad (5)$$

Para el caso donde T_{max} es infinito, se convierte en:

$$\bar{V}(P, \infty, \lambda, k) = \frac{\lambda}{k} \bar{L}_P \quad (6)$$

y

$$\sigma^2(P, \infty, \lambda, k) = \frac{\lambda}{2k} (\sigma_{L_P}^2 + \bar{L}_P^2) \quad (7)$$

Y para el caso donde el factor de descuento k llega a cero, se convierte en:

$$\bar{V}(P, T_{max}, \lambda, 0) = \lambda T_{max} \bar{L}_P \quad (8)$$

y

$$\sigma^2(P, T_{max}, \lambda, 0) = \lambda T_{max} (\sigma_{L_P}^2 + \bar{L}_P^2) \quad (9)$$

Entonces, asumiendo que los costos son conocidos, el valor actual esperado de los beneficios netos es.

$$\bar{V}(P_0, T_{max}, \lambda, k) - \bar{V}(P, T_{max}, \lambda, k) - \bar{C} = \frac{\lambda}{k} (1 - e^{-kT_{max}}) (\bar{L}_{P_0} - \bar{L}_P) - \bar{C} \quad (10)$$

Y el valor actual esperado de los costos totales es,

$$\bar{V}(P, T_{max}, \lambda, k) + \bar{C} = \frac{\lambda}{k} (1 - e^{-kT_{max}}) \bar{L}_P + \bar{C} \quad (11)$$

Donde \bar{C} es el valor actual esperado de los costos de implementación de la estrategia de mitigación. Para interpretar estas expresiones ayuda comprender que $\lambda(\bar{L}_{P_0} - \bar{L}_P)$ el cambio en las pérdidas anuales promedio de desastres y los costos de recuperación el *status quo*, y $(\bar{L}_{P_0} - \bar{L}_P)\lambda T$ representa el cambio en la cantidad promedio de pérdidas por desastres y costos de recuperación a lo largo de T años. Entonces, qué significa esto? Dadas las suposiciones enumeradas anteriormente, una medida de mitigación vale la pena si el valor presente de sus costos es menor que las pérdidas promedio que se espera ocurran durante el tiempo de vida de la medida de mitigación.

Las suposiciones mencionadas anteriormente son ciertamente incorrectas, pero es probable que su impacto en los resultados general sea mínimo. Los riesgos relacionados con el clima se correlacionan a lo largo del tiempo, y los incendios y eventos geológicos tienden a tener probabilidades reducidas de ocurrencia después de eventos importantes. Sin embargo, dada la información que probablemente esté disponible, estas suposiciones probablemente proporcionen una aproximación tan buena a la secuencia del desastre real como cualquier otra que pueda hacerse.

II.4. Análisis de sensibilidad

Cuando evaluamos la sensibilidad de estas expresiones, nos interesamos principalmente en el efecto de los parámetros en los valores esperados. La Tabla B-1 expresa la derivada (pendiente) del valor esperado para cada uno de los tres casos en términos de los cuatro parámetros principales de entrada.

Tabla B-1: Derivados de valor y derivados escalados de valor con respecto a los parámetros

Caso	Caso General	$k = 0$		$T_{max} \rightarrow \infty$		
Expresión	$\frac{\lambda}{k} (1 - e^{-kT_{max}}) \bar{L}_P$	$\lambda T_{max} \bar{L}_P$		$\frac{\lambda}{k} \bar{L}_P$		
	$\frac{dV}{dx}$	$\frac{x dV}{V dx}$	$\frac{dV}{dx}$	$\frac{x dV}{V dx}$	$\frac{dV}{dx}$	$\frac{x dV}{V dx}$
λ	$\frac{1}{k} (1 - e^{-kT_{max}}) \bar{L}_P$	1	$T_{max} \bar{L}_P$	1	$\frac{\bar{L}_P}{k}$	1
T_{max}	$\lambda \bar{L}_P e^{-kT_{max}}$	$\frac{e^{-kT_{max}}}{1 - e^{-kT_{max}}} k T_{max}$	$\lambda \bar{L}_P$	1	--	--
\bar{L}_P	$\frac{\lambda}{k} (1 - e^{-kT_{max}})$	1	λT_{max}	1	$\frac{\lambda}{k}$	1
k	$-\frac{\lambda}{k^2} (1 - (1 + kT_{max})e^{-kT_{max}}) \bar{L}_P$ ¹	$\frac{e^{-kT_{max}}}{1 - e^{-kT_{max}}} k T_{max} - 1$	--	--	$-\frac{\lambda}{k^2} \bar{L}_P$	-1
	¹ Notar que $\lim_{k \rightarrow 0} \frac{dV}{dk} = -\frac{\lambda T_{max}^2}{2} \bar{S}(P)$					

Al aumentar k se disminuye la sensibilidad, mientras se aumenta λ , μ , y \bar{S} aumenta la sensibilidad. Aumentando T_{max} aumenta la sensibilidad a todos los términos excepto T_{max} por sí mismo, aumentando T_{max} en realidad disminuye la sensibilidad.

Apéndice C: Técnica para la estimación de pérdidas

Suponiendo que la secuencia del desastre es:

$$\{T_i, L_i\}_{i=1}^{\infty}$$

Tomando en cuenta que a los efectos de este Apéndice, se supone que L_i incluye tanto los daños como los costos de respuesta y recuperación. Como el operador de expectativa es lineal, esto no afecta materialmente los resultados. También a lo largo de este Apéndice, en aras de la parsimonia en notación, la referencia a la estrategia de mitigación, P , se suprime. Sin embargo, debe entenderse que estos valores están condicionados a la estrategia de mitigación.

Es más conveniente expresar los tiempos en términos de diferencias. Es decir,

$$t_i = T_i - T_{i-1}$$

Donde $T_0 = 0$, y la secuencia del desastre como,

$$\{t_i, L_i\}_{i=1}^{\infty}$$

Asumir que la distribución de probabilidad conjunta de tiempo y cantidad de daño para un desastre es:

$$\{t_i, L_i\}_{i=1}^{\infty} \sim F(\{t_i, L_i\}_{i=1}^{\infty}) = \prod_i f(t_i)g(L_i) \quad (12)$$

Es decir, todos los tiempos y los daños son independientes entre sí y los tiempos y los daños son, respectivamente, idénticamente distribuidos. Lo que queremos calcular es \bar{V} , el valor actual esperado del total de las pérdidas por desastres y los costos de respuesta y recuperación para todos los desastres que puedan ocurrir dentro del horizonte de planificación (inicialmente infinito). Es decir:

$$\bar{V} = E \left(\sum_{i=1}^{\infty} L_i e^{-kT_i} \right) \quad (13)$$

Tomando en cuenta que la secuencia infinita requiere un estrictamente positivo k . Si k es cero, entonces el valor de la secuencia se vuelve infinito. La única forma de resolver una secuencia no descontada es suprimirla como un punto. Por ejemplo, *ex ante* un periodo de planificación infinito (consultar el final de este Apéndice).

Por conveniencia, las siguientes variables aleatorias se definen como:

$$V_H(t) = \sum_{i=1}^{\infty} I\{T_i > t\} L_i e^{-k(T_i-t)} \quad (14)$$

$$V_L(t) = \sum_{i=1}^{\infty} I\{T_i \leq t\} L_i e^{-k(T_i-t)} \quad (15)$$

$$V_n = \sum_{i=n}^{\infty} L_i e^{-k(T_i-T_{n-1})} \quad (16)$$

donde $I\{\cdot\}$ es la función de indicador. Ecuación (16) se usa para reescribir \bar{V} como:

$$\bar{V} = E\{(L_1 + V_2)e^{-kT_1}\} \quad (17)$$

Dado que todos los valores de daño y tiempo transcurrido son independientes entre sí, entonces L_1 , T_1 , y V_2 son independientes el uno del otro. Entonces,

$$\bar{V} = (E(L_1) + E(V_2))E\{e^{-kT_1}\} \quad (18)$$

Para simplificar la expresión, sustituir en:

$$E(L_1) = E(L) = \bar{L} = \int_0^{\infty} xg(x)dx \quad (19)$$

Que resulta:

$$\bar{V} = (\bar{L} + E(V_2))E\{e^{-kT_1}\} \quad (20)$$

Además, dado que los tiempos-entre y los daños son todos independientes el uno del otro,

$$E(V_1) = E(V_2) = E(V_i) = \bar{V} \quad (21)$$

Resulta en:

$$\bar{V} = (\bar{L} + \bar{V})E\{e^{-kT_1}\} \quad (22)$$

Que también se puede expresar como:

$$\bar{V} = (\bar{V} + \bar{L}) \int_0^{\infty} e^{-kT} f(T) dT \quad (23)$$

Dado que la ocurrencia de desastres es un proceso de Poisson, entonces el tiempo entre eventos es una distribución exponencial. Entonces esta expresión se convierte:

$$\bar{V} = (\bar{V} + \bar{L}) \int_0^{\infty} \lambda e^{-kT} e^{-\lambda T} dT \quad (24)$$

Esto resulta en:

$$\bar{V} = \frac{\lambda}{k + \lambda} (\bar{V} + \bar{L}) \int_0^{\infty} (k + \lambda) e^{-(k+\lambda)T} dT$$

$$\bar{V} = -\frac{\lambda}{k + \lambda} (\bar{V} + \bar{L}) e^{-(k+\lambda)T} \Big|_0^{\infty}$$

$$\begin{aligned}\bar{V} &= \frac{\lambda}{k + \lambda} (\bar{V} + \bar{L}) \\ \bar{V} \left(1 - \frac{\lambda}{k + \lambda}\right) &= \frac{\lambda}{k + \lambda} \bar{L}\end{aligned}\quad (25)$$

Por lo tanto:

$$\bar{V} = \frac{\lambda}{k} \bar{L}\quad (26)$$

El valor actual esperado de cualquier desastre que ocurra antes de un punto específico de tiempo, t_0 , se puede obtener fácilmente restando el valor descontado en el momento t_0 . Es decir,

$$\bar{V}(t) = E(V_1 - V_H(t)e^{-kt}) = \bar{V} - \bar{V}e^{-kt} = \frac{\lambda}{k} \bar{L}(1 - e^{-kt})\quad (27)$$

La varianza se puede determinar de manera similar

Aquí:

$$\sigma_V^2 = \text{Var}(V) = \text{Var}\left(\sum_{i=n}^{\infty} L_i e^{-kT_1}\right)\quad (28)$$

Usando el mismo truco que antes, la Ecuación (28) reescrita como:

$$\sigma_V^2 = \text{Var}(V) = \text{Var}\{(L_1 + V_2)e^{-kT_1}\}\quad (29)$$

O

$$\sigma_V^2 = E\{(L_1 + V_2)^2 e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2\quad (30)$$

$$= E\{(L_1^2 + 2L_1V_2 + V_2^2)e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2\quad (31)$$

$$= E\{((L_1^2 - \bar{L}^2) + 2L_1V_2 + (V_2^2 - \bar{V}^2) + \bar{L}^2 + \bar{V}^2)e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2\quad (32)$$

Nuevamente, la independencia permite una evaluación de la expectativa de cada término por separado:

$$= (E(L_1^2 - \bar{L}^2) + 2E(L_1)V_2 + E(V_2^2 - \bar{V}^2) + \bar{L}^2 + \bar{V}^2)E\{e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2\quad (33)$$

$$= (\sigma_L^2 + 2\bar{L}\bar{V} + E(V_2^2 - \bar{V}^2) + \bar{L}^2 + \bar{V}^2)E\{e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2\quad (34)$$

Donde

$$\sigma_L^2 = E(L_1^2 - \bar{L}^2) = E(L_i^2 - \bar{L}^2)\quad (35)$$

Y nuevamente, porque la secuencia infinita donde los daños y los tiempos intermedios son independientes:

$$E(V^2 - \bar{V}^2) = E(V_1^2 - \bar{V}^2) = E(V_2^2 - \bar{V}^2) = E(V_i^2 - \bar{V}^2) = \sigma_V^2\quad (36)$$

Entonces la ecuación (34) se convierte en

$$\sigma_V^2 = (\sigma_L^2 + \sigma_V^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V} + \bar{V}^2)E\{e^{-2kT_1}\} - \bar{V}^2 \quad (37)$$

Nuevamente, dado que los tiempos siguen una distribución exponencial, se convierte a:

$$\sigma_V^2 = (\sigma_L^2 + \sigma_V^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V} + \bar{V}^2) \int_0^{\infty} \lambda e^{-2kT} e^{-\lambda T} dT - \bar{V}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k + \lambda} (\sigma_L^2 + \sigma_V^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V} + \bar{V}^2) \int_0^{\infty} (2k + \lambda) e^{-(2k+\lambda)T} dT - \bar{V}^2 \quad (39)$$

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k + \lambda} (\sigma_L^2 + \sigma_V^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V} + \bar{V}^2) - \bar{V}^2 \quad (40)$$

O

$$\sigma_V^2 \left(1 - \frac{\lambda}{2k + \lambda}\right) = \frac{\lambda}{2k + \lambda} (\sigma_L^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V}) - \bar{V}^2 \left(1 - \frac{\lambda}{2k + \lambda}\right) \quad (41)$$

$$\sigma_V^2 \frac{2k}{2k + \lambda} = \frac{\lambda}{2k + \lambda} (\sigma_L^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V}) - \bar{V}^2 \frac{2k}{2k + \lambda} \quad (42)$$

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k} (\sigma_L^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L}\bar{V}) - \bar{V}^2 \quad (43)$$

Sustituir la expresión \bar{V} de la ecuación (26)(26):

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k} \left(\sigma_L^2 + \bar{L}^2 + 2\bar{L} \frac{\lambda}{k} \bar{L} \right) - \left(\frac{\lambda}{k} \bar{L} \right)^2 \quad (44)$$

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k} \sigma_L^2 + \frac{\lambda}{2k} \left(\frac{k + 2\lambda}{k} \right) \bar{L}^2 - \frac{\lambda^2}{k^2} \bar{L}^2 \quad (45)$$

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k} \sigma_L^2 + \left(\frac{\lambda}{2k} + \frac{\lambda^2}{k^2} - \frac{\lambda^2}{k^2} \right) \bar{L}^2 \quad (46)$$

O,

$$\sigma_V^2 = \frac{\lambda}{2k} \sigma_L^2 + \frac{\lambda}{2k} \bar{L}^2 = \frac{\lambda}{2k} (\sigma_L^2 + \bar{L}^2) \quad (47)$$

Nuevamente, para obtener la varianza para un intervalo de tiempo fijo, V se divide y se obtiene la varianza:

$$\sigma_V^2 = \text{Var}(V) = \text{Var}(V_L(t) + V_H(t)e^{-kt}) \quad (48)$$

Porque $V_L(t)$ y $V_H(t)$ son independientes para el valor fijo t , y para cualquiera dos variables aleatorias independientes, X y Y , $\text{Var}(X + Y) = \text{Var}(X) + \text{Var}(Y)$, esto se convierte en:

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \text{Var}(V_L(t)) + \text{Var}(V_H(t)e^{-kt}) \quad (49)$$

Notar que $\sigma_{\bar{V}}^2(t) = \text{Var}(V_L(t))$ es la expresión de interés:

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \sigma_{\bar{V}}^2(t) + \text{Var}(V_H(t)e^{-kt}) \quad (50)$$

Ya que t es fija y no estocástico:

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \sigma_{\bar{V}}^2(t) + \left[\text{E}\{(V_H(t))^2\} - (\text{E}\{V_H(t)\})^2 \right] e^{-2kt} \quad (51)$$

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \sigma_{\bar{V}}^2(t) + \text{Var}(V_H(t))e^{-2kt} \quad (52)$$

Y como se demuestra anteriormente, $\sigma_{\bar{V}}^2 = \text{Var}(V_H(t))$, entonces

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \sigma_{\bar{V}}^2(t) + \sigma_{\bar{V}}^2 e^{-2kt} \quad (53)$$

O

$$\sigma_{\bar{V}}^2(t) = \sigma_{\bar{V}}^2(1 - e^{-2kt}) = \frac{\lambda}{2k}(\sigma_L^2 + L^2)(1 - e^{-2kt}) \quad (54)$$

En cuanto al caso donde $k = 0$, el siguiente argumento de límite de una expresión para $\bar{V}(t)$ y $\sigma_{\bar{V}}^2(t)$ cuando $k = 0$.

Empezando con:

$$\bar{V}(t) = \frac{\lambda}{k} \bar{L}(1 - e^{-kt}) \quad (18)(18)$$

Expandir la serie de Taylor por el término exponencial:

$$\bar{V}(t) \approx \frac{\lambda}{k} \bar{L} \left(1 - \left(1 - kt + \frac{k^2 t^2}{2!} \right) \right) = \frac{\lambda}{k} \bar{L} \left(kt - \frac{k^2 t^2}{2!} \right) \quad (55)$$

$$\bar{V}(t) \approx \lambda \bar{L} \left(t - \frac{kt^2}{2!} \right) \quad (56)$$

Tomar el límite como $k \rightarrow 0$, esto se convierte:

$$\lim_{k \rightarrow 0} \bar{V}(t) = \bar{L} \lambda t \quad (57)$$

Del mismo modo, para $\sigma_{\bar{V}}^2(t)$, obtenemos:

$$\sigma_{\bar{V}}^2(t) = \frac{\lambda}{2k}(\sigma_L^2 + \bar{L}^2)(1 - e^{-2kt}) \approx \frac{\lambda}{2k}(\sigma_L^2 + \bar{L}^2) \left(1 - \left(1 - 2kt + \frac{4k^2 t^2}{2!} \right) \right) \quad (58)$$

$$\sigma_V^2(t) \approx \frac{\lambda}{2k} (\sigma_L^2 + \bar{L}^2) \left(2kt - \frac{4k^2 t^2}{2!} \right) = \lambda (\sigma_L^2 + \bar{L}^2) \left(t - \frac{2kt^2}{2!} \right) \quad (59)$$

Entonces

$$\lim_{k \rightarrow 0} \sigma_V^2(t) = (\sigma_L^2 + \bar{L}^2) \lambda t \quad (60)$$