



Evaluación del riesgo y desarrollo
de capacidades en Costa Rica

Estimación probabilista del riesgo en hoteles y hostales MSME a nivel nacional

Octubre 2025

Preparado para:



Preparado por:



Global Risk Modelling Alliance

InsuResilience Solutions Fund

ISF/GRMA / G.05, BMZ 2021.3683.6

Evaluación del riesgo y desarrollo de capacidades en Costa Rica

Estimación probabilista del riesgo en hoteles y hostales
MSME a nivel nacional

Producto 5

(Entregables 8c, 8d, 8e)

Preparado para:



Octubre de 2025

Consultor

INGENIAR CAD/CAE Ltda.
Carrera 19A # 84-14 OF 504
Edificio Torrenova
Bogotá, D.C., Colombia
www.ingeniar-risk.com



Centro Internacional de Métodos
Numéricos en Ingeniería
Edificio C1 Campus Nord UPC
C/ Gran Capità, S/N 08034
Barcelona, España
www.cimne.com



Número de producto: INGENIAR-CIMNE-GRMA-05-v2

Citar como: Cardona, O.D., Bernal, G., Villegas, C., Rincón, D., González, D., Grajales, S., Herrera, S., Molina, J. F., Acosta, M., Marulanda, P., Marulanda, M., Carreño, M. L., Brenes, A. (2025). Estimación probabilista del riesgo en hoteles y hostales MSME a nivel nacional. Global Risk Modelling Alliance – SUGESE.

TABLA DE CONTENIDO

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>5</u>
1.1	ALCANCE DEL PROYECTO OPERACIONAL 3	6
<u>2</u>	<u>METODOLOGÍA DE MODELACIÓN DEL RIESGO CATASTRÓFICO</u>	<u>8</u>
2.1	ENFOQUE CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DEL RIESGO	8
2.2	CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	10
2.3	MÉTRICAS DE RIESGO	12
2.3.1	PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (PAE)	12
2.3.2	PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML)	13
2.4	LIMITACIONES DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO	14
2.4.1	RECOMENDACIONES PARA FUTURAS EVALUACIONES	14
<u>3</u>	<u>RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO</u>	<u>16</u>
3.1	RESULTADOS GENERALES PARA TODO EL PORTAFOLIO HOTELERO	17
3.1.1	PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (PAE)	17
3.1.2	PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML)	22
3.2	RESULTADOS POR UBICACIÓN	25
3.3	RESULTADOS AGREGADOS POR UNIDADES ADMINISTRATIVAS	35
<u>4</u>	<u>PROGRAMA DE CAPACITACIÓN</u>	<u>41</u>
4.1	TALLERES Y REUNIONES	41
4.2	CURSO DE CAPACITACIÓN EN MODELACIÓN DEL RIESGO	42
4.2.1	MÓDULO 1 - FUNDAMENTOS	43
4.2.2	MÓDULO 2 – COMPONENTES DE LA MODELACIÓN DEL RIESGO	43
4.2.3	MÓDULO 3 - APLICACIONES AVANZADAS	49
4.2.4	PARTICIPANTES INSCRITOS EN EL CURSO	50
<u>5</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>51</u>
<u>A.1.</u>	<u>VALORES DE PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML) POR AMENAZA Y CLIMA</u>	<u>52</u>

1 INTRODUCCIÓN

El programa Global Risk Modelling Alliance (GRMA), auspiciado por el InsuResilience Solutions Fund (ISF), tiene como objetivo principal fortalecer las capacidades de los países y ciudades en el análisis de riesgos climáticos y de desastres orientados a las finanzas. Esta iniciativa busca llenar vacíos críticos en modelos y datos, mejorando las evaluaciones del riesgo climático y de desastres a nivel nacional y subnacional. Para lograrlo, el GRMA identifica y co-define, junto con socios locales, las necesidades específicas de cada país, ofreciendo herramientas abiertas de gestión de riesgos, datos y acceso a experiencia operativa en financiamiento de riesgos.

En el contexto de Costa Rica, el GRMA ha establecido una colaboración con el gobierno – a través de sus instituciones con el liderazgo de SUGESE - para fortalecer sus capacidades en la gestión de riesgos climáticos. Esta alianza proporcionará modelos y herramientas relevantes que informarán las estrategias nacionales de financiamiento y mitigación de riesgos. El programa se implementa en fases, comenzando con la identificación de necesidades específicas y culminando en la integración de herramientas avanzadas de modelización de riesgos en las políticas públicas del país. Este proyecto es financiado con fondos del KfW de Alemania, y administrado por Frankfurt School en nombre de GRMA.

El consorcio INGENIAR-CIMNE fue seleccionado para proveer los servicios de modelación del riesgo enmarcados en la colaboración entre GRMA y el Gobierno de Costa Rica, mediante una aplicación enfocada en 4 proyectos de evaluación del riesgo:

- Proyecto estratégico: Demostración de métodos de evaluación del riesgo para infraestructura crítica en Heredia.
- Proyecto Operacional 1: Evaluación del riesgo de desastres y climático en infraestructura vial – Ruta Nacional 2 Autopista Panamericana (RN2)
- Proyecto Operacional 2: Riesgo de inundación y sequía para pequeños y medianos productores agropecuarios
- Proyecto Operacional 3: Evaluación de exposición y riesgo de pequeños y medianos hoteles y hostales del programa Fu-turismo.

La implementación se realiza mediante el uso de la plataforma de modelación CAPRA-ROBOT, desarrollada por INGENIAR, y que será empleada también como herramienta educativa en el Programa de Capacitación que se lleva a cabo de forma transversal a lo largo de toda la duración de la consultoría.

Este informe corresponde al Producto 5 (Entregable de la tarea 8): *Estimación probabilista del riesgo en hoteles y hostales MSME a nivel nacional*, y específicamente atiende los entregables 8c, 8d y 8e de los Términos de Referencia de esta consultoría. Este es, por lo tanto, un entregable relacionado específicamente con el Proyecto Operacional 3. En este informe se presentan los resultados de la evaluación probabilista del riesgo para el sector hotelero, considerando como amenazas: sismo, tsunami, inundación costera, inundación fluvial e inundación pluvial, las últimas 3 influenciadas por el cambio climático. Esta evaluación se suma y complementa aspectos previamente presentados en entregables anteriores: (i) el Entregable 2 presenta el modelo de amenaza sísmica preexistente usado en esta evaluación y con el cual se modelan las amenazas de terremoto y tsunami; (ii) el Entregable 3 de esta

consultoría contiene los detalles sobre el modelo de exposición y las funciones de vulnerabilidad aplicadas al portafolio hotelero; y (iii) el Entregable 4 contiene los detalles de los modelos de amenazas climáticas desarrollados para las inundaciones costera, fluvial y pluvial.

1.1 Alcance del Proyecto Operacional 3

El turismo es uno de los principales motores de la economía costarricense, contribuyendo de forma importante a la producción económica y a la generación empleo. Este proyecto pretende evaluar el riesgo de desastres para este sector, ante inundaciones fluviales, pluviales y costeras, así como terremotos y tsunamis. El proyecto se desarrolla mediante las actividades presentadas en la Tabla 1. El cronograma correspondiente se presenta en la Figura 1. Todas las actividades presentadas como *valores agregados* fueron acordadas directamente con el Grupo Técnico de Trabajo de este proyecto.

Tabla 1. Tareas del Proyecto Operacional 3

Actividad	Descripción	Tarea en los TdR	Entregable en los TdR
Modelo elevación del nivel del mar CC	Se incorporarán las proyecciones de elevación del nivel del mar para escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero compatibles con el forzamiento meteorológico futuro considerado.	T2.1, T8.2	D2.1a-f
Modelo ciclones (marea y lluvia)	Se modelará la influencia de los ciclones tropicales en las inundaciones costeras.	T2.1, T8.2	D2.1a-f
Modelo Tsunami	Se modelará la influencia de los tsunamis en las inundaciones costeras.	<i>Valor agregado</i>	
Exposición hoteles	Se conformará una base de exposición de edificaciones hoteleras, principalmente de pequeños y medianos empresarios.	T8.1, T8.3	D8a-b
Vulnerabilidad hoteles	Se establecerán funciones de vulnerabilidad de edificaciones hoteleras, considerando pérdidas en inmueble, contenidos y lucro, siempre que la información lo permita.	T4.4	D4a-d
Evaluación del riesgo	Aplicación de las metodologías acá presentadas para evaluar el riesgo por medio de métricas actuariales de modelación catastrófica.	T8.4	D8c-d
Indicadores de riesgo	Se crearán dos indicadores de riesgo, uno para instalaciones hoteleras individuales, y otro para el sector turismo (a nivel de cantón), para ser publicados en el portal de Fu-turismo.	<i>Valor agregado</i>	
Calibración resultado	Se comparará la curva de excedencia de pérdidas analítica calculada con el modelo, con una construida a partir de información histórica de eventos previos para establecer su correspondencia.	T8.4	D8c-d
Curva de inversión	Como valor agregado, se evaluarán una colección de acciones de gestión del riesgo con el fin de determinar la combinación óptima que permita reducir el riesgo para montos de inversión fijos y crecientes.	<i>Valor agregado</i>	

Tarea	15 Ene 25		Mes													15 Abr 26	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Proyecto Operacional 3: Evaluación de exposición y riesgo de pequeños y medianos hoteles y hostales del programa Futurismo.																	
Modelo de clima																	
Modelo nacional inundación																	
Modelo elevación del nivel del mar CC																	
Modelo ciclones (marea de tormenta)																	
Modelo Tsunami																	
Exposición hoteles																	
Vulnerabilidad hoteles																	
Evaluación del riesgo																	
Calibración resultado																	
Índicadores de riesgo																	
Curva de inversión																	

Figura 1. Cronograma de actividades el Proyecto Operacional 3. (Las celdas azules indican ejecución. Las celdas verdes indican entrega de productos. La celda roja indica este entregable – Entregable 5)

2 METODOLOGÍA DE MODELACIÓN DEL RIESGO CATASTRÓFICO

La evaluación modelación probabilista del riesgo catastrófico tiene por objetivo estimar la distribución de probabilidad de la pérdida que puede presentarse en un conjunto de elementos expuestos, tras la ocurrencia de un evento de amenaza (Cardona, 1986 a;b;c; 1989; 1990; Bernal et al., 2021). La modelación probabilista permite entonces realizar pronósticos sobre los niveles futuros de pérdida, considerando la amenaza propia del territorio y la incertidumbre en su estimación, así como la vulnerabilidad inherente de los elementos expuestos y su respectiva incertidumbre.

2.1 Enfoque conceptual para la modelación del riesgo

La modelación probabilista del riesgo consiste en determinar las posibles consecuencias que un conjunto de elementos expuestos puede sufrir, por cuenta de la ocurrencia de eventos de amenaza. Una buena modelación del riesgo es fundamental en la construcción de un proceso de desarrollo sostenible y resiliente, considerando los *trade-offs* de los posibles perjuicios y beneficios. En otras palabras, dicho proceso solo puede ser debidamente orientado si se cuenta con una modelación del riesgo que sea suficientemente robusta, en términos de la verosimilitud de afectaciones y que facilite las decisiones que se puedan tomar con un apropiado soporte técnico sin arbitrariedad. El procedimiento de modelación probabilista del riesgo, considerando el cambio climático, se puede resumir, de forma general, como se ilustra en la Figura 2.

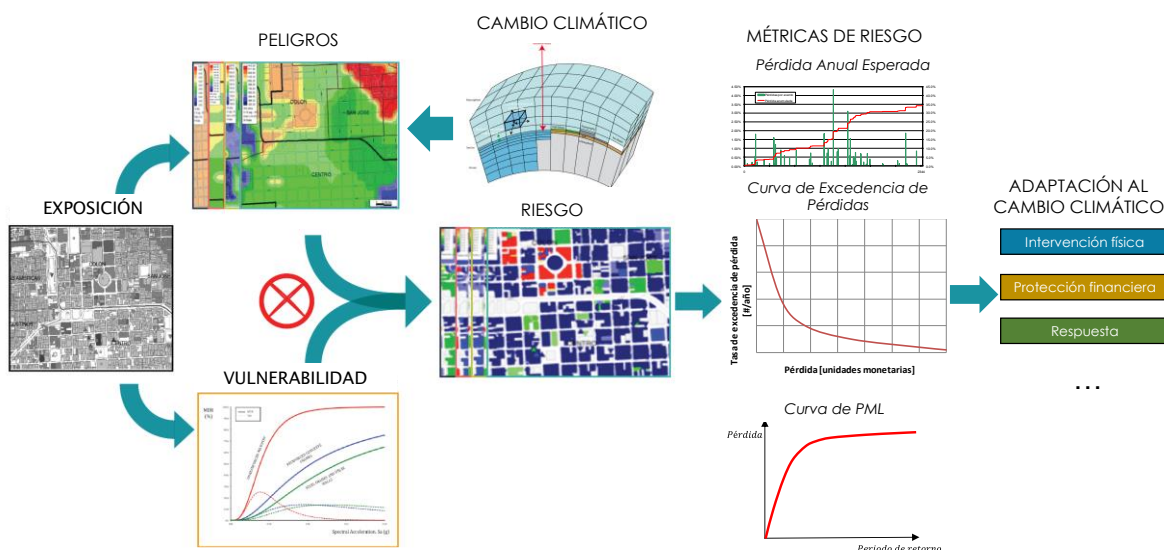


Figura 2. Componentes de la modelación del riesgo y su interrelación.

Como se ilustra en la Figura 2, una vez evaluado el riesgo por medio de métricas actuariales como la *pérdida anual esperada*, la *curva de excedencia de pérdidas* y la *pérdida máxima probable*, es posible establecer una relación objetiva con las medidas de gestión del riesgo y su efectividad, de modo que puede usarse el modelo para diseñar estrategias de intervención, compuestas por múltiples medidas, cuya capacidad para reducir el riesgo puede ser cuantificada.

Siguiendo el enfoque presentado, en este estudio el riesgo se evalúa en base a 3 factores fundamentales:

- La *amenaza* se define como una colección de eventos, simulados estocásticamente, que son colectivamente exhaustivos y mutuamente excluyentes; es decir, que cubren todas las posibilidades como la amenaza se puede manifestar asumiendo eventos independientes que tienen una frecuencia de ocurrencia que sigue una ley potencial natural (i.e., equivalente a una curva de recurrencia).
- Los *elementos expuestos*, que corresponden a los bienes inmuebles, infraestructura o producción agropecuaria expuestos a las amenazas y que son susceptibles de sufrir daño o alteración ante la influencia de estas.
- La *vulnerabilidad* de los elementos expuestos, la cual se entiende como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La valoración de la vulnerabilidad implica un modelo específico para cada tipo de elemento expuesto y cada tipo de amenaza, es decir, no existe una manera unificada de representarla. Sin embargo, la modelación sí deriva en la misma métrica de cuantificación de afectación (pérdida económica), lo cual hace a los diferentes modelos aditivos y conmensurables en términos del riesgo.

El primer enfoque totalmente probabilista dado al problema del riesgo, desde el punto de vista actuarial, fue propuesto por Filip Lundberg en 1903 (Lundberg, 1903). En 1930, Harald Cramér formalizó la teoría de Lundberg en lo que hoy se conoce como *Teoría de Ruina* (Cramér, 1930). Lundberg definió un modelo de *ingresos-resultados* en el que una compañía de seguros inicia sus operaciones con una cierta cantidad de capital, que aumenta con el tiempo en la medida en que se recolectan las primas. Adicionalmente, las pérdidas (que la compañía debe cubrir) ocurren aleatoriamente en el tiempo. Si, debido al pago de las reclamaciones, el capital cae por debajo de cero, entonces la compañía quiebra. Lundberg estaba interesado en determinar la probabilidad de quiebra de una compañía de seguros.

La *Teoría de Ruina* considera que la ocurrencia de siniestros no es determinista. Lundberg demostró que la ocurrencia de pérdidas en el tiempo puede modelarse como un proceso de Poisson. Posteriormente, se demostró que cualquier proceso de renovación es válido dentro de la Teoría de Ruina (Andersen, 1957). Un proceso de renovación es un tipo de proceso estocástico, de tiempo continuo y estado discreto, ampliamente utilizado en múltiples aplicaciones en ciencias e ingeniería, que establece la ocurrencia de eventos de forma totalmente aleatoria. Los eventos, en este contexto, se refieren a la ocurrencia de pérdidas, independientemente de su origen. Esta es la razón por la que la teoría de ruina o de insolvencia es adecuada para modelar cualquier impacto asociado a un fenómeno, natural o no, y es apropiada para orientar la gestión del riesgo en otros ámbitos o contextos sociales, económicos, ambientales y en general del desarrollo, más allá del propio mercado de los seguros.

Un proceso de renovación se define en términos de un parámetro único, su intensidad o tasa. En la evaluación del riesgo, este parámetro es la *tasa de excedencia de pérdidas*, que es a su vez el inverso del tiempo promedio entre la ocurrencia de eventos que superan un monto de pérdida p . Por lo tanto, al calcular el riesgo de un portafolio de elementos expuestos (es decir, la probabilidad de que se supere una cierta pérdida p en una ventana de tiempo), su tasa de excedencia $\nu(p)$ debe calcularse en función de la probabilidad de ocurrencia de cualquiera de los posibles eventos de peligro que causarían que p sea excedida. Esto configura un proceso de renovación que permite estimar la probabilidad de excedencia de la pérdida p en cualquier periodo de tiempo.

2.2 Cuantificación del riesgo

La modelación del riesgo tiene como propósito, desde el punto de vista matemático, caracterizar un proceso aleatorio de ocurrencia de pérdidas en el tiempo (i.e., proceso de pérdidas). Un proceso de pérdidas tiene unas características importantes que condicionan el enfoque de modelación del riesgo adoptado en este estudio, y que se utiliza en el campo de la modelación catastrófica actuarial, de la seguridad y confiabilidad en ingeniería, de la industria aeronáutica y aeroespacial, entre otros.

El riesgo se determina mediante la convolución entre la amenaza y la vulnerabilidad, en la ubicación ocupada por los elementos expuestos y para la totalidad de estos. En el cálculo probabilista de las pérdidas, la amenaza y la vulnerabilidad están representadas también de manera probabilista. La amenaza tiene una representación probabilista tanto temporal como espacial. La ocurrencia en el tiempo de los escenarios de amenaza se modela como un proceso de renovación, lo que conlleva a ajustar un modelo de probabilidad al tiempo que transcurre entre dos eventos consecutivos.

Las incertidumbres asociadas a la amenaza y a la vulnerabilidad son entonces definidas en su propia naturaleza; temporal y espacial para la amenaza y dependiente de la intensidad para la vulnerabilidad. De esta manera, el principal resultado del modelo es una distribución de probabilidad específica de la pérdida para cada evento de amenaza. La función de densidad de probabilidad de la pérdida en el elemento expuesto j , condicional a la ocurrencia del evento de amenaza i (i.e., $f(p_j|E_i)$), se calcula como:

$$f(p_j|E_i) = \int_0^{\infty} f(p_j|s)f(s|E_i)ds \quad \text{Ecuación 1}$$

en donde el primer término de la integral tiene que ver con la vulnerabilidad ($f(p_j|s)$, la densidad de probabilidad de la pérdida dada una intensidad s) y el segundo término tiene que ver con la amenaza ($f(s|E_i)$, la densidad de probabilidad de la intensidad, dada la ocurrencia de un evento de amenaza).

La pérdida total del evento i corresponde a la suma de todas las pérdidas individuales (p_j) de los elementos expuestos. Dado que los sumandos son variables aleatorias, debe usarse la aritmética correcta para determinar la pérdida del evento i . La suma se hace sobre los momentos de probabilidad de las variables p_j , como se indica a continuación:

$$E(p|E_i) = \sum_{j=1}^{NE} E(p_j) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\sigma^2(p|E_i) = \sum_{j=1}^{NE} \sigma^2(p_j) + 2 \sum_{k=1}^{NE-1} \sum_{j=2}^{NE} cov(p_k, p_j) \quad \text{Ecuación 3}$$

en donde $E(p|E_i)$ es el valor esperado de la pérdida del evento i , $\sigma^2(p|E_i)$ es su varianza, NE es el número total de elementos expuestos, $E(p_j)$ es el valor esperado de la pérdida en el elemento j , $\sigma^2(p_j)$ es su varianza, y $cov(p_k, p_j)$ es la covarianza de la pérdida de dos elementos expuestos diferentes. A partir de los momentos de probabilidad de la pérdida totalizada para el evento, se ajusta un modelo de probabilidad Beta.

El riesgo es comúnmente descrito mediante la llamada *curva de excedencia de pérdidas* la cual especifica las frecuencias de ocurrencia de eventos en que se exceda un valor específico de pérdida. Esta frecuencia anual de excedencia, que no es más que la *tasa de excedencia* $v(p)$, se calcula de la siguiente manera:

$$v(p) = \sum_{i=1}^N Pr(P > p|E_i) \cdot F_A(E_i) \quad \text{Ecuación 4}$$

en donde $v(p)$ es la tasa de excedencia de la pérdida p , N es el número total de eventos de amenaza, $F_A(E_i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i , y $Pr(P > p|E_i)$ es la probabilidad de que p sea excedida dado que ocurrió el evento i . La suma cubre todos los eventos de amenaza en los cuales se pueden generar pérdidas. El inverso de $v(p)$ es el periodo de retorno de la pérdida p (Tr), el cual no es más que el valor esperado del tiempo entre eventos que superan la pérdida p .

$$Tr = \frac{1}{v(p)} \quad \text{Ecuación 5}$$

La curva de excedencia de pérdidas contiene toda la información necesaria para caracterizar, en términos de probabilidad, el proceso de ocurrencia de las pérdidas asociadas a eventos de amenaza. La Figura 3 muestra una curva de excedencia de pérdidas de ejemplo.

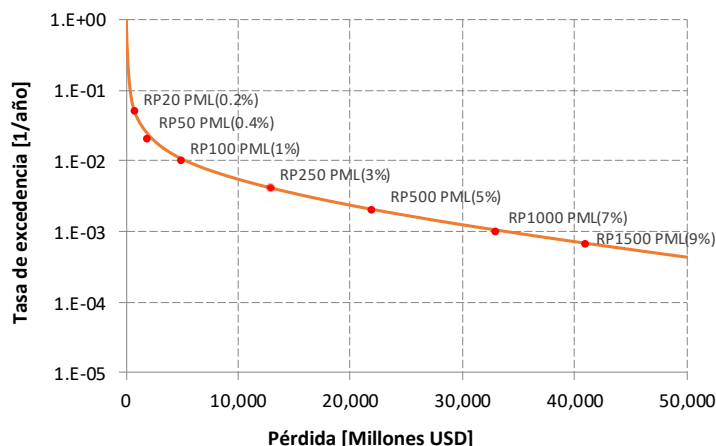


Figura 3. Ejemplo de curva de excedencia de pérdidas. El eje vertical muestra la tasa de excedencia. El eje horizontal muestra la pérdida asociada. (RP = Return Period; PML = Probable Maximum Loss).

El cálculo realizado con la Ecuación 4 corresponde a la estimación de la tasa de excedencia de las cuantías de pérdida que ocurren en todos los elementos expuestos para todos los eventos incluidos en el modelo de amenaza, y para todas las amenazas. Como se muestra en la Figura 4, la evaluación probabilista del riesgo se puede resumir en los siguientes pasos: 1) para cada evento de amenaza se determina la pérdida en todos y cada uno de los elementos expuestos; 2) se calcula la pérdida causada por cada evento como la suma de las pérdidas individuales causadas en cada elemento expuesto; 3) una vez se cuantifican las pérdidas de todos eventos, se calculan las tasas de excedencia.

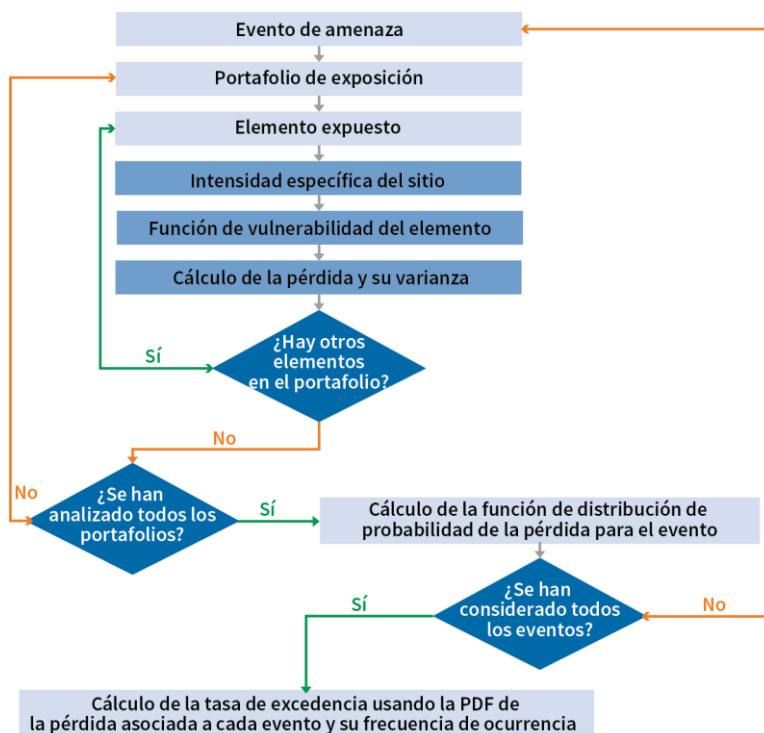


Figura 4. Diagrama de flujo de la evaluación probabilista del riesgo

2.3 Métricas de riesgo

A partir de la curva de excedencia de pérdidas es posible obtener diversas métricas del riesgo, las cuales son útiles para diferentes fines dentro de los procesos de toma de decisiones y la gestión del riesgo. Estas métricas proporcionan una representación integral del riesgo, por lo general condensada en uno o pocos indicadores, en lugar de proporcionar todo el conjunto de las pérdidas por eventos o la curva de excedencia de pérdidas completa.

2.3.1 Pérdida anual esperada (PAE)

La PAE corresponde al valor esperado de la pérdida anual. Indica el valor anual promedio que, de sumarse en el largo plazo, equivaldría a todas las pérdidas futuras. La PAE sería la prima pura anual justa para cubrir anualmente todas las pérdidas que pueden presentarse. Se puede calcular como el área bajo la curva de excedencia de pérdidas:

$$PAE = \int_0^{\infty} v(p) dp \quad \text{Ecuación 6}$$

También, desde el conjunto de pérdidas por evento, puede determinarse la PAE como:

$$PAE = \sum_{i=1}^N E(P|E_i) F_A(E_i) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde: $E(P|E_i)$ es un valor esperado de la pérdida del evento i , $F_A(E_i)$ y es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i . El valor esperado de la pérdida, dada la ocurrencia de un evento particular, depende de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

La pérdida anual esperada es un indicador importante dado que integra en un único valor el efecto, en términos de pérdidas, de la ocurrencia de los eventos de amenaza sobre los elementos expuestos vulnerables. Es el indicador más robusto del riesgo, no solo por su capacidad de resumir el proceso de ocurrencia de pérdidas en un solo número, sino por ser relativamente insensible a la incertidumbre, debido a que corresponde a la esperanza matemática de las pérdidas en forma anualizada.

2.3.2 Pérdida máxima probable (PML)

Si bien el principal resultado de la evaluación del riesgo es la curva de excedencia de pérdidas, la curva de PML¹ es usualmente preferida debido a que, en general, es más fácil de comprender la noción de un periodo de retorno que, como se mencionó previamente, es el valor esperado del tiempo entre eventos que superan una pérdida, y que matemáticamente corresponde al inverso de la tasa de excedencia. La curva de excedencia de pérdidas y la curva de PML son equivalentes en la información contenida.

De la curva de PML se pueden determinar los valores de pérdida para periodos de retorno arbitrarios. La selección del periodo de retorno para una PML como referente depende exclusivamente de la aversión al riesgo del tomador de decisiones. La Figura 5 muestra un ejemplo de una curva de PML, en donde, a partir de un período de retorno seleccionado en el eje horizontal, que en este ejemplo es de 400 años, se puede determinar el valor de la pérdida en el eje vertical, lo que indica que esta pérdida se superará en promedio cada 400 años.

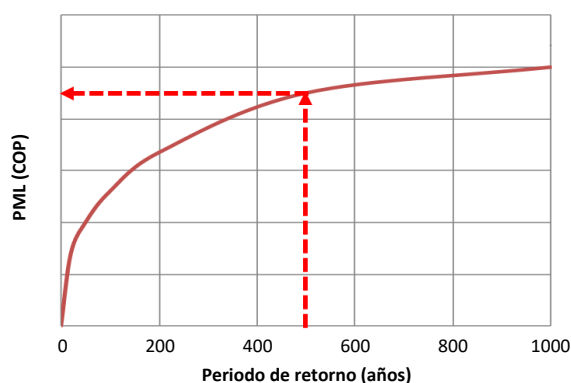


Figura 5. Ejemplo de curva de PML

¹ Probable Maximum Loss

2.4 Limitaciones de la evaluación del riesgo

En esta sección se presentan algunas limitaciones ampliamente conocidas de la evaluación probabilista del riesgo, las cuales están fuertemente relacionadas con la calidad de los datos disponibles. Cabe anotar que las limitaciones acá expuestas, son complementarias a lo previamente indicado en todos los productos entregables de esta consultoría, en los cuales se ha dado tratamiento a la metodología de evaluación (Informe de Inicio), a la información sobre modelos preexistentes de amenazas geológicas (Entregable 2), a los modelos de exposición y vulnerabilidad conformados por esta consultoría (Entregable 3) y a los modelos de amenazas hidrometeorológicas con cambio climático desarrollados por el consultor (Entregable 4). Por lo tanto, esta sección no pretende repetir lo ya enunciado en estos productos previamente entregados, sino aportar desde una visión general las limitaciones conocidas de la evaluación probabilista del riesgo.

La evaluación probabilista del riesgo de desastres depende críticamente de la disponibilidad y resolución de la información empleada para modelar las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad. Una limitación común es la insuficiencia de registros históricos de eventos extremos, lo cual implica la necesidad de simular los eventos más grandes y catastróficos, a partir de información indirecta sobre el territorio y la manifestación de los fenómenos. Esto impide procesos de calibración y validación, debido a que no se cuenta con evidencia de la ocurrencia de la gran mayoría de los eventos simulados, pues no han ocurrido aún. Esto es especialmente cierto en condiciones de cambio climático. Así mismo, para la modelación de los fenómenos relacionados con el clima, en muchos contextos, los datos hidrometeorológicos presentan brechas temporales, baja densidad espacial de estaciones o inconsistencias por cambios en los sistemas de medición.

La caracterización de la exposición tiene restricciones naturales debido a la no existencia de un registro actualizado y detallado del inventario de elementos expuestos (hoteles en este caso), incluyendo variables críticas como tipologías constructivas, niveles de ocupación o valores de reposición. La ausencia de esta información obliga a utilizar aproximaciones basadas en tipologías genéricas y otros supuestos, introduciendo incertidumbre. De manera similar, las funciones de vulnerabilidad se derivan de estudios experimentales o empíricos realizados en otros contextos geográficos o estructurales.

Aunque Costa Rica destaca en la región por contar con sistemas de información sólidos y bien estructurados en términos de insumos para la modelación, persisten limitaciones inherentes al enfoque probabilista. El principal reto radica en que la modelación se basa en la proyección de eventos futuros que aún no han ocurrido, lo que implica dependencia de supuestos analíticos sobre el comportamiento extremo de los fenómenos naturales y la respuesta de los elementos expuestos ante ellos. Por ende, incluso en contextos con buena disponibilidad de datos, como Costa Rica, la incertidumbre no puede eliminarse por completo, sino gestionarse de forma explícita dentro del proceso de evaluación del riesgo.

2.4.1 Recomendaciones para futuras evaluaciones

En función de las limitaciones propias de la evaluación, se plantean algunas recomendaciones generales que fortalecerán el uso futuro de modelos de evaluación probabilista del riesgo:

Fortalecer el registro y sistematización de activos turísticos

Solicitar a operadores hoteleros, empresas de transporte turístico, parques temáticos, atracciones naturales concesionadas y otros actores del sector, que consoliden información actualizada sobre ubicación georreferenciada, características constructivas, capacidad instalada, valor económico de los activos y niveles de ocupación estacional. Esta información permite una mejor caracterización de la exposición en los modelos probabilistas. Parte de esto está actualmente siendo atendido desde la plataforma Fu-Turismo.

Definir tipologías constructivas representativas del sector turístico

Identificar y clasificar los distintos tipos de edificaciones turísticas (por ejemplo: eco-lodges, hoteles de playa, resorts, cabinas rurales, centros de recreación, instalaciones en zonas montañosas, etc.), incluyendo sus materiales, sistemas estructurales y condiciones de mantenimiento. Con ello se pueden desarrollar o adaptar funciones de vulnerabilidad más realistas y específicas del sector. Los arquetipos definidos en esta consultoría (Entregable 3) son un buen punto de partida para la tipificación de las construcciones del sector.

Promover el reporte sistemático de pérdidas por eventos pasados

Establecer un mecanismo sectorial para documentar daños y pérdidas económicas directas e indirectas ocasionadas por desastres en instalaciones turísticas, incluso eventos de impacto moderado. Estos datos pueden utilizarse para mejorar las estimaciones de pérdida esperada.

Incorporar escenarios de riesgo en la planificación turística

Incentivar que los planes de desarrollo y expansión del sector turístico integren resultados de evaluaciones probabilistas y escenarios futuros de eventos extremos, lo que genera mayor demanda y utilidad de los modelos y promueve su actualización continua.

Capacitar a actores del sector en conceptos de evaluación del riesgo y sus aplicaciones

Desarrollar capacidades que permitan a los actores comprender las evaluaciones y los beneficios de este enfoque para la sostenibilidad del negocio, incluyendo su contribución a la toma de decisiones en seguros, inversión, protocolos de continuidad operativa y atracción de financiamiento.

3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo en el portafolio de hoteles de Costa Rica arrojó los resultados presentados a continuación, en términos de la Pérdida Anual Esperada (PAE) y la Pérdida Máxima Probable (PML), ante inundaciones fluviales (desbordamiento de ríos) y pluviales (por anegamiento del suelo), inundaciones costeras (por ciclones tropicales) y, como valor agregado, por terremoto (a nivel nacional) y tsunamis (en la costa Pacífica).

En el caso de sismo y tsunamis, se presentan pérdidas no asociadas a una condición climática futura. Sin embargo, para las inundaciones involucradas (fluvial, pluvial y costera), se incorpora el cambio climático, el cual modifica o condiciona la ocurrencia de la amenaza y, por lo tanto, altera las métricas de riesgo. En el Producto 4 de esta consultoría (entregable de la Tarea 2: Modelos de amenazas climáticas), pueden revisarse los detalles acerca de la modelación climática y la incorporación del cambio climático en estas amenazas. Para el caso de las inundaciones fluviales y pluviales, se consideraron 3 modelos de circulación global, 4 trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, y 3 años objetivo en el futuro, para un total de 36 posibles versiones del clima futuro. Los modelos, trayectorias de emisiones y años de proyección para inundación fluvial y pluvial se resumen en la Tabla 2, incluyendo un nombre abreviado o resumido, mediante el cual se nombran los resultados asociados a estos climas en este documento.

Por su parte, para la inundación costera, y debido a restricciones en la disponibilidad de proyecciones climáticas de alta resolución (necesarias para representar fenómenos propios de la mesoescala meteorológica, como los huracanes), se emplea un único modelo, el cual corresponde a un ensamble de unos pocos modelos de alta resolución²; ensamble para el cual se encuentran disponibles proyecciones parametrizadas con emisiones al 2050 de acuerdo con la trayectoria SSP5-8.5. Por lo tanto, los resultados asociados al clima futuro, para la inundación costera, se presentan como la abreviatura: HRMIP-SSP5-50.

Tabla 2. Climas futuros considerados para inundación fluvial y pluvial y su abreviatura

GCM	Trayectoria	Año objetivo	Abreviatura	GCM	Trayectoria	Año objetivo	Abreviatura
EC-Earth3	SSP1-2.6	2035	EC-SSP1-35	GFDL-ESM4	SSP3-7.0	2050	GFDL-SSP3-50
EC-Earth3	SSP2-4.5	2035	EC-SSP2-35	GFDL-ESM4	SSP5-8.5	2050	GFDL-SSP5-50
EC-Earth3	SSP3-7.0	2035	EC-SSP3-35	GFDL-ESM4	SSP1-2.6	2100	GFDL-SSP1-100
EC-Earth3	SSP5-8.5	2035	EC-SSP5-35	GFDL-ESM4	SSP2-4.5	2100	GFDL-SSP2-100
EC-Earth3	SSP1-2.6	2050	EC-SSP1-50	GFDL-ESM4	SSP3-7.0	2100	GFDL-SSP3-100
EC-Earth3	SSP2-4.5	2050	EC-SSP2-50	GFDL-ESM4	SSP5-8.5	2100	GFDL-SSP5-100
EC-Earth3	SSP3-7.0	2050	EC-SSP3-50	MPI-ESM1-2-LR	SSP1-2.6	2035	MPI-SSP1-35
EC-Earth3	SSP5-8.5	2050	EC-SSP5-50	MPI-ESM1-2-LR	SSP2-4.5	2035	MPI-SSP2-35
EC-Earth3	SSP1-2.6	2100	EC-SSP1-100	MPI-ESM1-2-LR	SSP3-7.0	2035	MPI-SSP3-35
EC-Earth3	SSP2-4.5	2100	EC-SSP2-100	MPI-ESM1-2-LR	SSP5-8.5	2035	MPI-SSP5-35
EC-Earth3	SSP3-7.0	2100	EC-SSP3-100	MPI-ESM1-2-LR	SSP1-2.6	2050	MPI-SSP1-50
EC-Earth3	SSP5-8.5	2100	EC-SSP5-100	MPI-ESM1-2-LR	SSP2-4.5	2050	MPI-SSP2-50
GFDL-ESM4	SSP1-2.6	2035	GFDL-SSP1-35	MPI-ESM1-2-LR	SSP3-7.0	2050	MPI-SSP3-50
GFDL-ESM4	SSP2-4.5	2035	GFDL-SSP2-35	MPI-ESM1-2-LR	SSP5-8.5	2050	MPI-SSP5-50
GFDL-ESM4	SSP3-7.0	2035	GFDL-SSP3-35	MPI-ESM1-2-LR	SSP1-2.6	2100	MPI-SSP1-100

² Estos modelos son: CMCC-CM2-VHRA, CNRM-CM6-1-HR, EC-Earth3P-HR, y HadGEM3-GC31-HM, todos ellos tomados del PRIMAVERA High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP), que es un subproyecto del CMIP6. Las proyecciones del ensamble mencionado son también un resultado obtenido directamente del HighResMIP.

GCM	Trayectoria	Año objetivo	Abreviatura	GCM	Trayectoria	Año objetivo	Abreviatura
GFDL-ESM4	SSP5-8.5	2035	GFDL-SSP5-35	MPI-ESM1-2-LR	SSP2-4.5	2100	MPI-SSP2-100
GFDL-ESM4	SSP1-2.6	2050	GFDL-SSP1-50	MPI-ESM1-2-LR	SSP3-7.0	2100	MPI-SSP3-100
GFDL-ESM4	SSP2-4.5	2050	GFDL-SSP2-50	MPI-ESM1-2-LR	SSP5-8.5	2100	MPI-SSP5-100

3.1 Resultados generales para todo el portafolio hotelero

3.1.1 Pérdida Anual Esperada (PAE)

La Tabla 3 presenta el listado completo de las PAE para todo el portafolio de hoteles de Costa Rica. Se presenta los valores de PAE por amenaza, tanto en valor monetario absoluto (en colones costarricenses), como en términos relativos con respecto al valor expuesto total del portafolio, valores que se presentan al millar (‰). Para referencia del lector, el valor total expuesto de este portafolio hotelero es de ₡ 1,723,321 millones (aproximadamente USD 3,516 millones³).

Como se mencionó anteriormente, la PAE corresponde al valor medio de las pérdidas anuales. Es decir, se trata del valor anual de compensación que se requeriría para igual las pérdidas acumuladas por eventos en el largo plazo. Por ejemplo, en el caso de la *inundación fluvial* para el *clima base*⁴, la PAE absoluta es de ₡ 1,679 millones. Esto significa que, si fuera posible pagar en base anual todas las pérdidas al sector hotelero por inundaciones fluviales, bajo el clima actual, el valor anual de pago correspondería con ese monto de PAE. Esa pérdida anual, comparada con el valor expuesto total del portafolio, corresponde a 0.974 ‰, lo que significa que, de cada ₡ 1,000 de valor en el portafolio hotelero, se pierden en promedio 0.974 (aproximadamente 1) cada año. Este indicador relativo permite dimensionar el monto de la pérdida dentro del tamaño real del portafolio. Para referencia del lector, una PAR de 1‰ se encuentra en el límite de lo que típicamente el mercado asegurador considera como “asegurable”. Los resultados encontrados se encuentran dentro de lo razonable y esperado para este tipo de fenómenos y el portafolio de edificaciones hoteleras.

Tabla 3. Pérdida anual esperada por amenaza y clima. Valores en millones de colones costarricenses (CRC)

Amenaza	Clima	PAE (CRC)	PAE (‰)	Amenaza	Clima	PAE (CRC)	PAE (‰)
Sismo		927	0.538	Inundación fluvial	MPI-SSP5-50	1,719	0.997
Tsunami		787	0.457	Inundación fluvial	MPI-SSP5-100	1,916	1.112
Inundación costera	Clima base	235	0.136	Inundación pluvial	Clima base	205	0.119
Inundación costera	HRMIP-SSP5-50	164	0.095	Inundación pluvial	EC-SSP1-35	207	0.120
Inundación fluvial	Clima base	1,679	0.974	Inundación pluvial	EC-SSP1-50	202	0.117
Inundación fluvial	EC-SSP1-35	1,651	0.958	Inundación pluvial	EC-SSP1-100	203	0.118
Inundación fluvial	EC-SSP1-50	1,635	0.949	Inundación pluvial	EC-SSP2-35	198	0.115
Inundación fluvial	EC-SSP1-100	1,621	0.941	Inundación pluvial	EC-SSP2-50	202	0.117
Inundación fluvial	EC-SSP2-35	1,596	0.926	Inundación pluvial	EC-SSP2-100	190	0.110
Inundación fluvial	EC-SSP2-50	1,611	0.935	Inundación pluvial	EC-SSP3-35	196	0.114
Inundación fluvial	EC-SSP2-100	1,566	0.909	Inundación pluvial	EC-SSP3-50	195	0.113
Inundación fluvial	EC-SSP3-35	1,595	0.926	Inundación pluvial	EC-SSP3-100	179	0.104
Inundación fluvial	EC-SSP3-50	1,560	0.905	Inundación pluvial	EC-SSP5-35	200	0.116

³ Valor calculado con una tasa de cambio promedio del mes de diciembre de 2025 correspondiente a 490 colones por dólar.

⁴ El clima base corresponde al clima observado en el periodo histórico de control 1990-2020.

Amenaza	Clima	PAE (CRC)	PAE (%)	Amenaza	Clima	PAE (CRC)	PAE (%)
Inundación fluvial	EC-SSP3-100	1,509	0.875	Inundación pluvial	EC-SSP5-50	195	0.113
Inundación fluvial	EC-SSP5-35	1,599	0.928	Inundación pluvial	EC-SSP5-100	173	0.101
Inundación fluvial	EC-SSP5-100	1,571	0.911	Inundación pluvial	GFDL-SSP1-35	207	0.120
Inundación fluvial	EC-SSP5-50	1,469	0.852	Inundación pluvial	GFDL-SSP1-50	204	0.118
Inundación fluvial	GFDL-SSP1-35	1,700	0.987	Inundación pluvial	GFDL-SSP1-100	204	0.118
Inundación fluvial	GFDL-SSP1-50	1,664	0.965	Inundación pluvial	GFDL-SSP2-35	201	0.116
Inundación fluvial	GFDL-SSP1-100	1,698	0.986	Inundación pluvial	GFDL-SSP2-50	198	0.115
Inundación fluvial	GFDL-SSP2-35	1,656	0.961	Inundación pluvial	GFDL-SSP2-100	198	0.115
Inundación fluvial	GFDL-SSP2-50	1,646	0.955	Inundación pluvial	GFDL-SSP3-35	200	0.116
Inundación fluvial	GFDL-SSP2-100	1,625	0.943	Inundación pluvial	GFDL-SSP3-50	190	0.110
Inundación fluvial	GFDL-SSP3-35	1,634	0.948	Inundación pluvial	GFDL-SSP3-100	174	0.101
Inundación fluvial	GFDL-SSP3-50	1,577	0.915	Inundación pluvial	GFDL-SSP5-35	199	0.116
Inundación fluvial	GFDL-SSP3-100	1,490	0.864	Inundación pluvial	GFDL-SSP5-50	192	0.111
Inundación fluvial	GFDL-SSP5-35	1,643	0.953	Inundación pluvial	GFDL-SSP5-100	169	0.098
Inundación fluvial	GFDL-SSP5-50	1,590	0.923	Inundación pluvial	MPI-SSP1-35	218	0.126
Inundación fluvial	GFDL-SSP5-100	1,453	0.843	Inundación pluvial	MPI-SSP1-50	217	0.126
Inundación fluvial	MPI-SSP1-35	1,804	1.047	Inundación pluvial	MPI-SSP1-100	230	0.134
Inundación fluvial	MPI-SSP1-50	1,809	1.050	Inundación pluvial	MPI-SSP2-35	226	0.131
Inundación fluvial	MPI-SSP1-100	1,927	1.118	Inundación pluvial	MPI-SSP2-50	242	0.141
Inundación fluvial	MPI-SSP2-35	1,894	1.099	Inundación pluvial	MPI-SSP2-100	215	0.125
Inundación fluvial	MPI-SSP2-50	2,050	1.190	Inundación pluvial	MPI-SSP3-35	220	0.128
Inundación fluvial	MPI-SSP2-100	1,789	1.038	Inundación pluvial	MPI-SSP3-50	235	0.136
Inundación fluvial	MPI-SSP3-35	1,836	1.065	Inundación pluvial	MPI-SSP3-100	214	0.124
Inundación fluvial	MPI-SSP3-50	1,985	1.152	Inundación pluvial	MPI-SSP5-35	214	0.124
Inundación fluvial	MPI-SSP3-100	1,780	1.033	Inundación pluvial	MPI-SSP5-50	207	0.120
Inundación fluvial	MPI-SSP5-35	1,775	1.030	Inundación pluvial	MPI-SSP5-100	228	0.132

La Figura 6 presenta de manera gráfica las PAE relativas para todas las amenazas, pero mostrando únicamente los climas base y aquellos que causan mayores y menores pérdidas a nivel de todo el portafolio, para cada año de proyección, para las amenazas de inundación fluvial y pluvial. Se aprecia en la Figura 6, que la amenaza que produce las mayores PAE a nivel de todo el portafolio, es la inundación fluvial, con una PAE máxima de 1.19% con respecto al valor expuesto total, para el clima MPI-SSP2-50. La amenaza sísmica y la de tsunami, le siguen en importancia en términos de la PAE total, con valores alrededor de un 50% menores a la inundación fluvial. Finalmente, la inundación costera y la inundación pluvial presentan valores de PAE relativamente bajos.

Estos resultados resaltan la importancia de la inundación fluvial en la manifestación de valores de riesgo altos en términos de la PAE. La PAE es altamente sensible a fenómenos de alta frecuencia, por lo cual es de esperarse que la inundación fluvial, fenómeno que se manifiesta en base anual durante la temporada de lluvias, presente las mayores pérdidas anuales. Por su parte, la inundación pluvial, si bien también es un fenómeno recurrente en base anual, se manifiesta con intensidades considerablemente más bajas, por lo cual la PAE resultante es necesariamente menor.

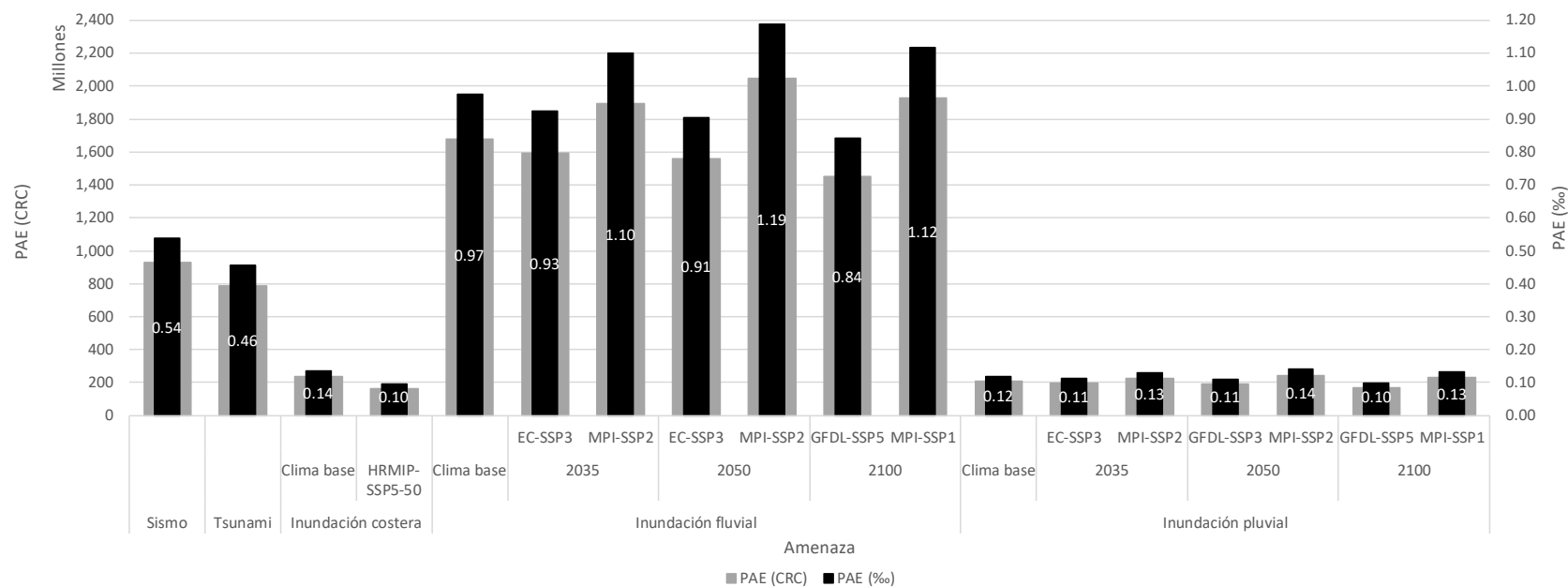


Figura 6. Pérdida anual esperada

Como se explicó anteriormente, si bien la Figura 6 presenta la totalidad de resultados para las amenazas de sismo, tsunami e inundación costera, solamente se presentan los resultados para clima base y 3 climas futuros en el caso de las inundaciones fluvial y pluvial. Esto con el objetivo de no saturar el gráfico. No obstante, conviene ver el consolidado de PAE totales para estas dos amenazas, incluyendo la totalidad de climas con las cuales fueron evaluadas. La Figura 7 muestra el valor de la PAE como función del tiempo. Cada línea en la Figura 7 corresponde a una proyección climática diferente, es decir, una combinación de modelo GCM y trayectoria de emisiones. De esta manera, es posible ver la evolución temporal del riesgo de inundación, al considerar diferentes modelos climáticos. La Figura 8 presenta la misma información para la inundación pluvial.

Como se observa, si bien las fluctuaciones en el valor de la PAE son variables entre los años considerados, esas variaciones no siguen un patrón creciente en el tiempo, ni con respecto a las trayectorias de emisiones. Es decir, el riesgo no crece con mayores emisiones, ni necesariamente aumenta hacia el futuro. Esto es un comportamiento absolutamente normal y esperado, pues la relación entre emisiones de gases de efecto invernadero y riesgo, es altamente no lineal. Más emisiones no necesariamente implican más riesgo. Depende de las condiciones específicas de las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad, que median en la manifestación de las pérdidas por fenómenos hidrometeorológicos para cada condición climática estudiada.

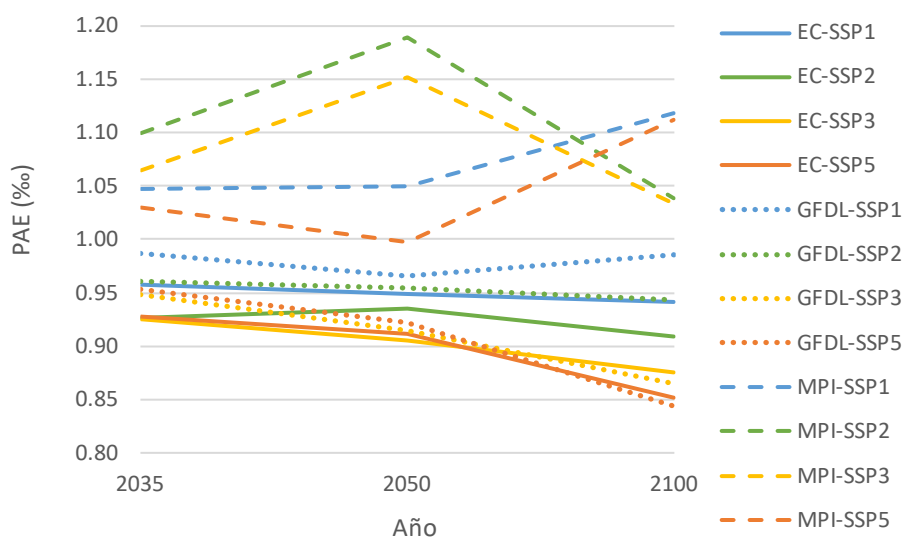


Figura 7. Pérdida anual esperada por inundación fluvial para los escenarios de cambio climático considerados

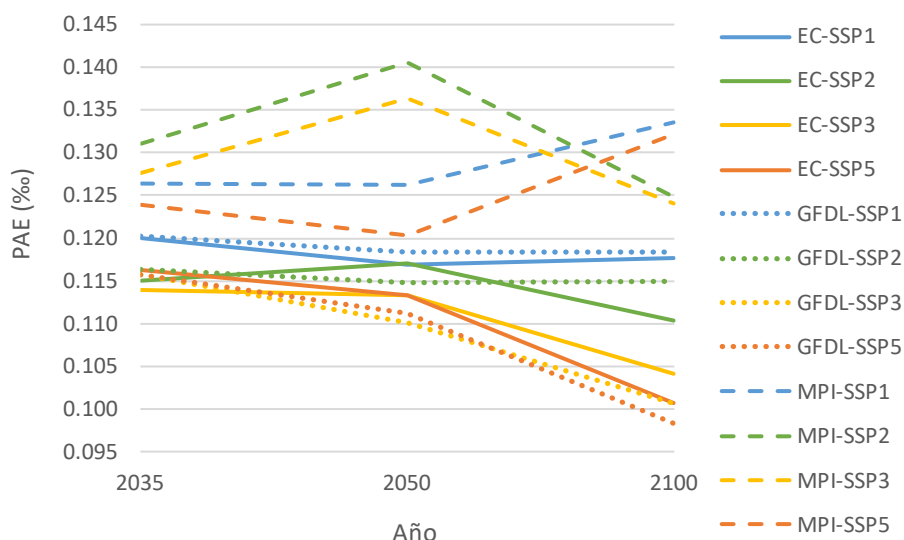


Figura 8. Pérdida anual esperada por inundación pluvial para los escenarios de cambio climático considerados

La Figura 7 y la Figura 8, ilustran la altísima incertidumbre propia de las modelaciones de riesgo que incorporan proyecciones de cambio climático. Cada una de las líneas mostradas, es una posible trayectoria de cambio en el riesgo. Sin embargo, es imposible saber cuál de ellas se manifestará en el futuro, o incluso si el riesgo real al 2035, 2050 y 2100, no está siquiera dentro del conjunto de proyecciones estudiado. A esto se le conoce como incertidumbre profunda, como se define en la sección 5.5 del Informe de Inicio. Al darle un tratamiento al riesgo bajo incertidumbre profunda, las métricas puntuales, como la PAE, se transforman en métricas de intervalo, es decir, son de naturaleza imprecisa.

En las métricas de riesgo imprecisas, no es posible establecer una distribución al interior del intervalo de variación de la métrica, sino únicamente los límites del intervalo. Como se observa en la Figura 7 y Figura 8, los límites máximo y mínimo de PAE, causados para cada año de proyección por combinaciones diferentes de modelo GCM y trayectoria de emisiones, representan los límites de la métrica para esos años. Estos límites caracterizan el intervalo de variación de la PAE, y como dicho intervalo cambia en el tiempo futuro, de acuerdo con la evolución de la concentración de gases de efecto invernadero, en las múltiples trayectorias consideradas.

Como se observa, la relación entre emisiones y riesgo es fuertemente no lineal, pues está mediada por aspectos propios de territorio, como el suelo, la cobertura vegetal, la topografía, la respuesta de las cuencas, etc., así como por la vulnerabilidad de los elementos expuestos, todos estos factores desligados del clima. En el caso costarricense, algunos de los climas futuros considerados proyectan reducciones en el volumen de precipitación a nivel nacional al 2100, lo cual se traduce en una tendencia a la reducción del riesgo de inundación. Cabe resaltar que, si bien esta tendencia es aparentemente clara para el conjunto de modelos de clima considerados, algunos de ellos si consideran aumentos en el volumen de precipitación., incrementando así el riesgo de inundación. En materia de cambio climático, no es posible afirmar que uno u otro modelo esté proyectando las condiciones del clima futuro de manera correcta, y mucho menos en el largo plazo como lo es el año 2100.

En el corto y mediano plazo (2035–2050), algunos modelos, particularmente MPI y EC bajo ciertos escenarios, proyectan incrementos transitorios de la PAE, lo que sugiere una intensificación relativa de las condiciones hidrometeorológicas que controlan el riesgo de inundación. Sin embargo, hacia finales de siglo (2100), la mayoría de las combinaciones modelo–escenario tienden a estabilizar o incluso reducir la PAE, especialmente en los escenarios SSP1 y SSP2, mientras que los escenarios de mayores emisiones muestran respuestas más heterogéneas y dependientes del modelo. Esta dispersión indica que la incertidumbre propia de cada modelo domina sobre la señal del escenario de emisiones, y que las diferencias en la representación de las variables meteorológicas en cada modelo influyen de manera determinante en la estimación del riesgo.

Se observa también como los intervalos se hacen más amplios en años futuros. Si bien esta no es necesariamente una tendencia fija para todos los portafolios y todos los peligros, dado que las trayectorias de emisiones tienden a cubrir rangos más amplios de variación en años futuros (muestra adicional de la enorme incertidumbre incorporada en los modelos), es usual que el intervalo de variación de la PAE también aumente en el tiempo. En otras palabras, dado el incremento en la incertidumbre de las proyecciones climáticas a medida que se proyecta más hacia el futuro, las métricas de riesgo exhiben también incrementos en los rangos de incertidumbre. Finalmente, se observan comportamientos similares en las proyecciones de riesgo para la inundación fluvial y la inundación pluvial, lo cual se debe a que el fenómeno desencadenante, en ambos casos, es el mismo (la precipitación), y la influencia climática sobre ese desencadenante es igual en ambos casos. Si bien difieren los montos de pérdida, la forma de variación de las proyecciones refleja ese origen común.

3.1.2 Pérdida Máxima Probable (PML)

Como se menciona en la sección 2.3.2, las curvas de PML son una manera alternativa de presentar las curvas de excedencia de pérdidas. Es decir, se trata de representaciones completas del riesgo de portafolio, que incorporan tanto los eventos más recurrentes y de menores pérdidas relativas, hasta los eventos catastróficos de muy baja frecuencia de ocurrencia. El formato de la curva de PML, en términos del periodo de retorno, permite una comunicación más sencilla del nivel de riesgo asociado a los eventos en todo el espectro de frecuencias de ocurrencia, es decir, desde eventos que ocurren muy frecuentemente, a eventos raros de baja probabilidad de ocurrencia.

La Figura 9 muestra las curvas de PML para todas las amenazas y climas considerados en esta evaluación. La PML se presenta en estos gráficos en forma relativa, como porcentaje del valor expuesto total. Esta curva ilustra el carácter creciente de la pérdida como función del periodo de retorno, es decir, como la pérdida crece para eventos de frecuencia cada vez menor. Es posible observar dos tipos de comportamiento generales en la PML: i) un tipo de curvas crecimiento lento en periodo de retorno, sin tendencia a la estabilización, típicas de amenazas de baja frecuencia de ocurrencia, como los sismos, tsunamis e inundación costera⁵, y ii) curvas de rápido crecimiento en periodos de retorno cortos, y con una clara estabilización, mostrando valores casi constantes para periodos de retorno largos, típicas de amenazas de alta frecuencia de ocurrencia, como las inundaciones fluviales y pluviales.

⁵ Debido a que el fenómeno desencadenante de la inundación costera en Costa Rica son los huracanes. Si bien los huracanes ocurren en base anual en las cuencas oceánicas, son eventos de relativa baja frecuencia para Costa Rica.

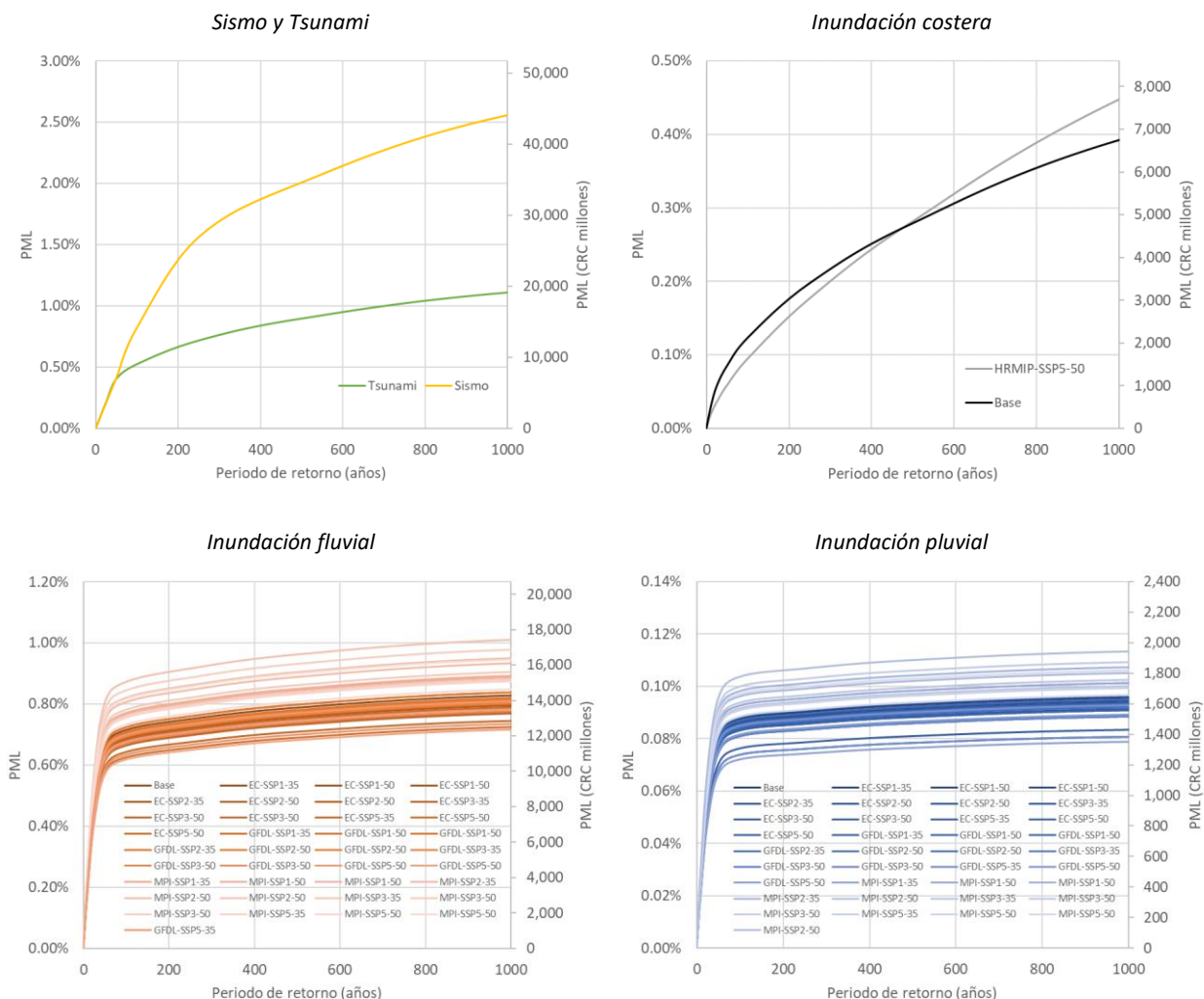


Figura 9. Curvas de PML para todas las amenazas consideradas y todos los climas

Las cifras de PML para diferentes periodos de retorno, se incluyen Enel Anexo A.1., para todas las amenazas y climas considerados. Se presentan los valores absolutos (en CRC) y relativos al valor expuesto total del portafolio hotelero, que como se mencionó anteriormente, suma un monto de CRC 1,723,321 millones.

La Figura 10 muestra una comparación de las curvas de PML para todas las amenazas, pero mostrando únicamente los climas con mayores PAE en cada año futuro de proyección para las inundaciones fluvial y pluvial. Esto debido a que, al incluir en un único gráfico todos los resultados para los 36 climas futuros considerados para estas amenazas, no es posible una comparación apropiada.

La comparación de las PML ilustra el tipo de comportamiento de la curva, que, como se mencionó anteriormente, depende de la frecuencia de ocurrencia de los eventos. Es evidente que el sismo es la amenaza que produce los mayores PML para periodos de retorno largos, siendo muy superior a las demás amenazas. Esto lo que implica es que el terremoto tiene la capacidad de correlacionar pérdidas en múltiples ubicaciones, causando así grandes pérdidas acumuladas para eventos de baja frecuencia de ocurrencia (periodo de retorno largo). Así mismo, es posible observar como la inundación fluvial, en cualquier de los climas, si bien no alcanza valores de pérdida tan altos para periodos de retorno largos, es superior al sismo en periodos de retorno muy cortos. Esto debido a la relativa alta frecuencia de ocurrencia de las inundaciones, razón también por la cual las PAE, presentadas anteriormente, son mayores para inundación fluvial que para las demás amenazas, incluido el sismo.

Puede concluirse también, que, para periodos de retorno largos, la inundación fluvial genera pérdidas de monto similar al tsunami, lo cual significa que eventos catastróficos de estas amenazas, pueden ser de cuantías de pérdidas similares para las condiciones actuales de exposición y vulnerabilidad. También pensando en periodos de retorno largos, se puede concluir que el riesgo por inundación costera es bajo, y el riesgo por inundación pluvial es muy bajo, lo cual es un resultado esperado.

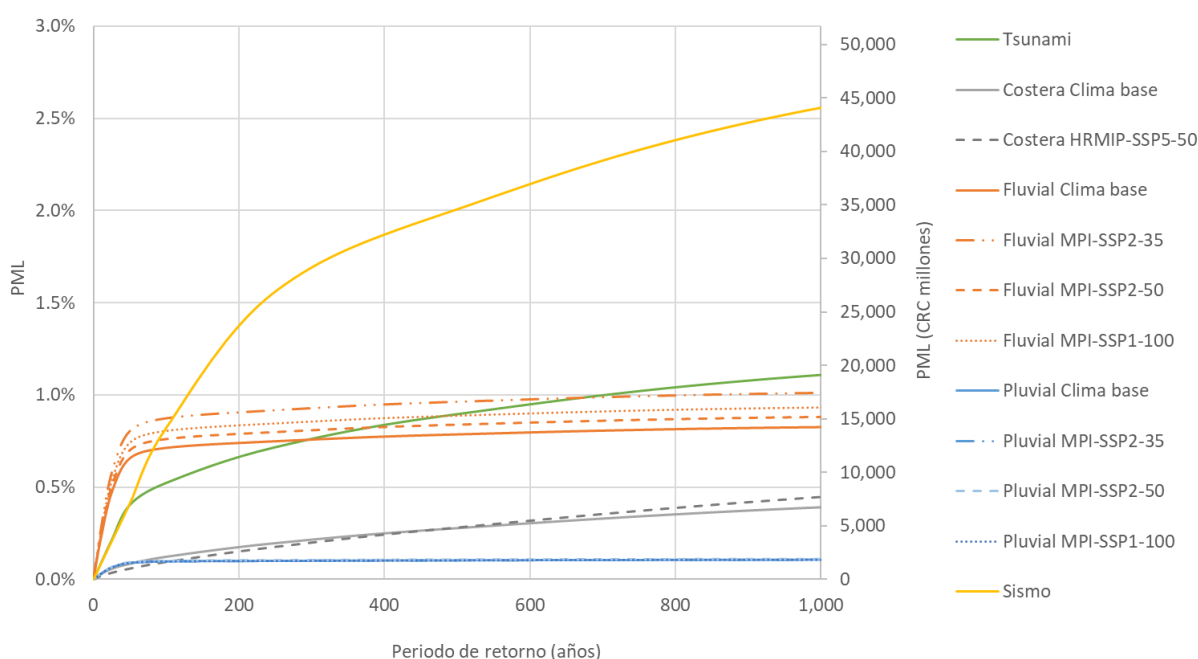


Figura 10. Comparación de curvas de PML para las amenazas consideradas y climas seleccionados

3.2 Resultados por ubicación

Los resultados presentados anteriormente son útiles para dimensionar el riesgo del sector hotelero, con una visión de portafolio, de cara a informar decisiones de gestión del riesgo a nivel sectorial, y son especialmente útiles para el diseño de instrumentos de protección financiera con los cuales se quiera cubrir el sector entero. No obstante, los resultados a nivel de portafolio no ilustran lo que ocurre a nivel individual para cada hotel en términos del riesgo que enfrenta. Para cada uno de los hoteles incluidos en la base de exposición conformada (2,006 hoteles), se evalúa el riesgo en términos de la PAE. Solo se presenta la PAE, debido a que es la única métrica de riesgo que es desagregable a nivel de ubicaciones individuales⁶.

Los mapas presentados en la Figura 11 a Figura 15, muestran la distribución espacial, a nivel nacional, de la PAE (al millar, relativa al valor expuesto de cada hotel) para todos los hoteles incluidos en la evaluación. Por razones de espacio, se presentan las PAE para todas las amenazas, pero solamente considerando clima base para las amenazas influenciadas por el clima. Sin embargo, la totalidad de resultados se incluyen en el *Dataset* del proyecto. Se muestran las ubicaciones como puntos, para facilitar la visualización a nivel nacional. Sin embargo, se cuenta con los polígonos que definen espacialmente la huella de cada hotel en el país.

⁶ Si bien es posible desagregar matemáticamente la PML por ubicación, la incertidumbre en estas estimaciones es demasiado alta y, por lo tanto, no se realiza dicha desagregación. La PML de portafolio, por su parte, se beneficia de una reducción en la incertidumbre total como resultado de la ley de los grandes números, al agregar muchos elementos expuestos en un solo resultado. Por esta razón, la PML solo se reporta a nivel de portafolio.

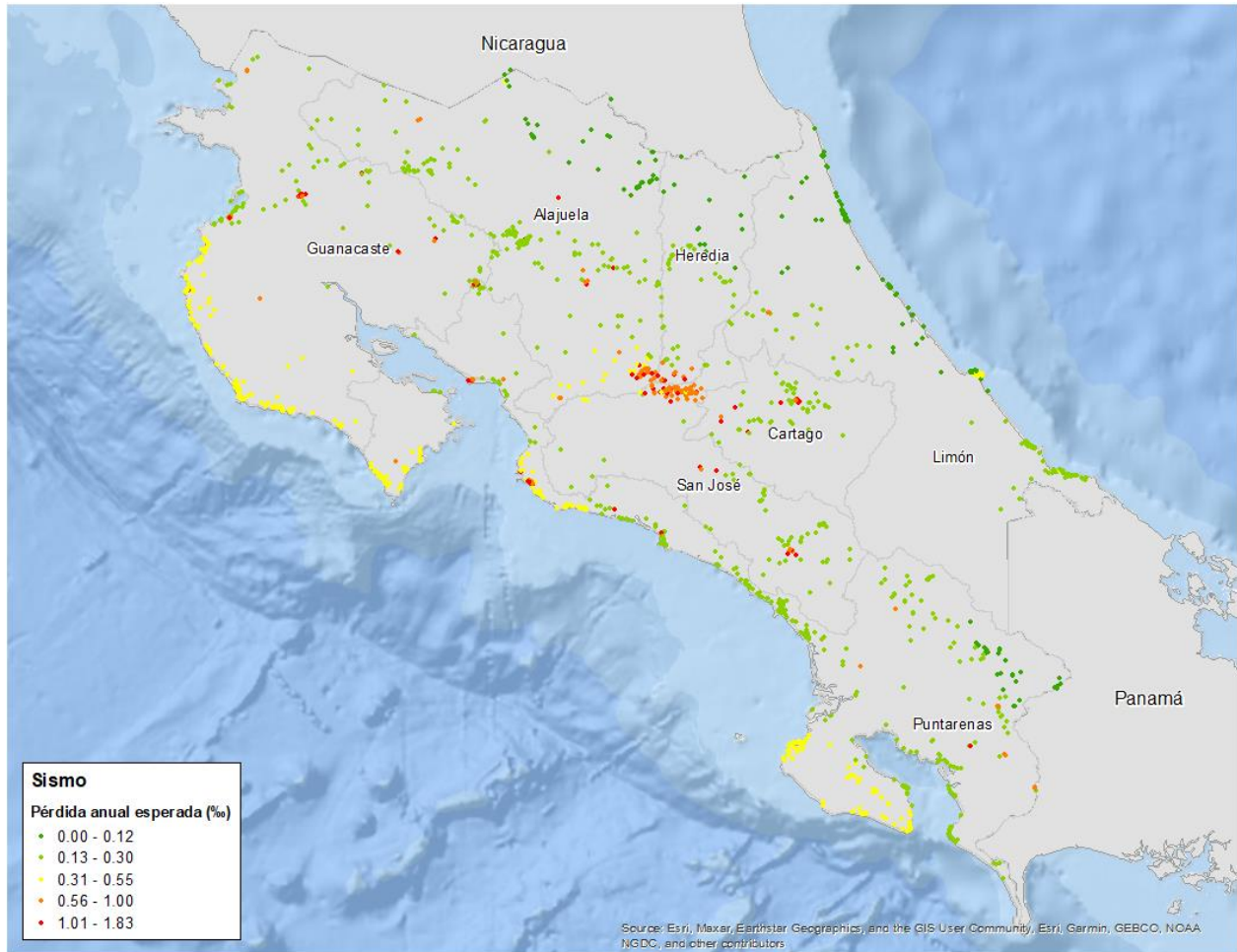


Figura 11. Pérdida anual esperada por sismo para hoteles

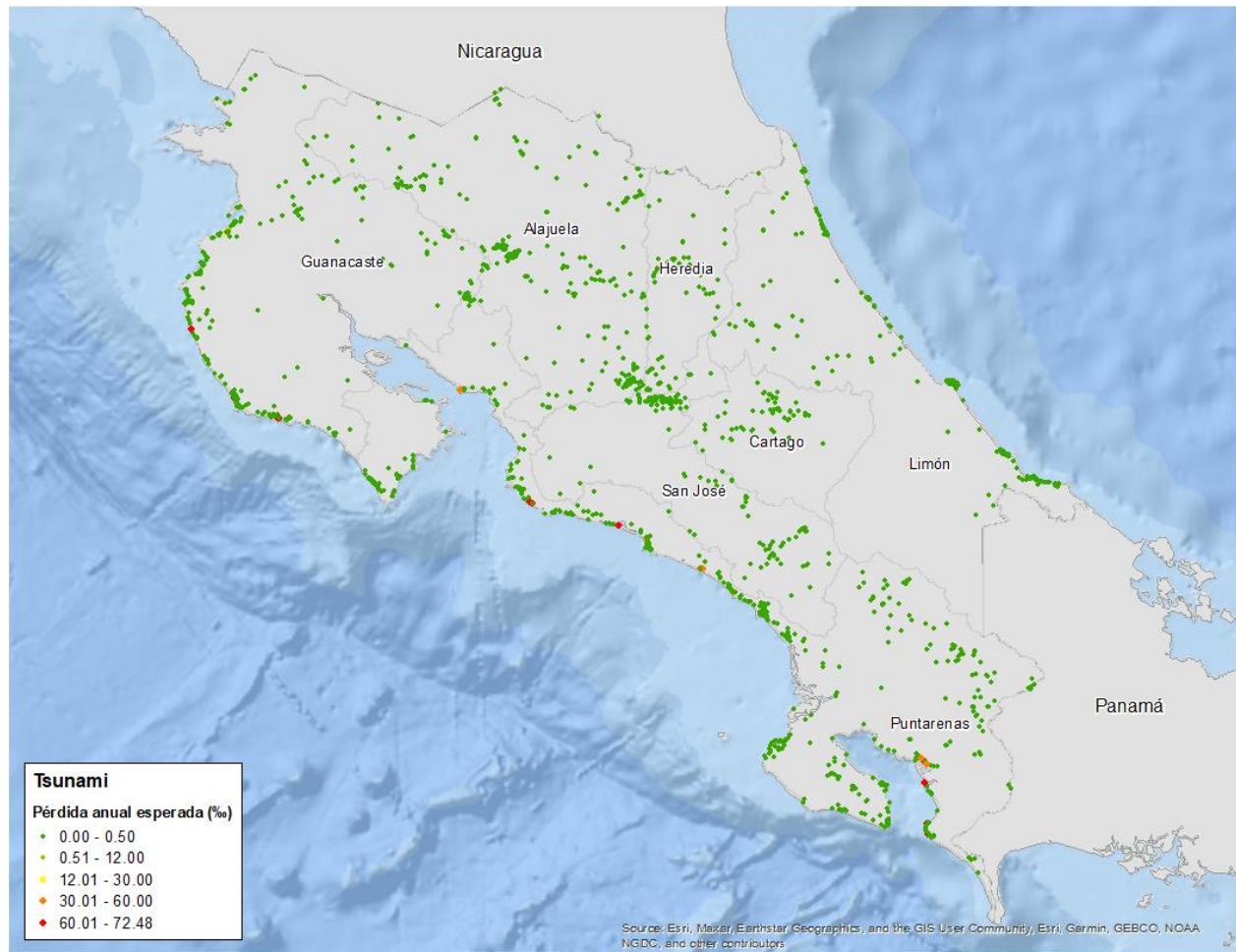


Figura 12. Pérdida anual esperada por tsunami para hoteles

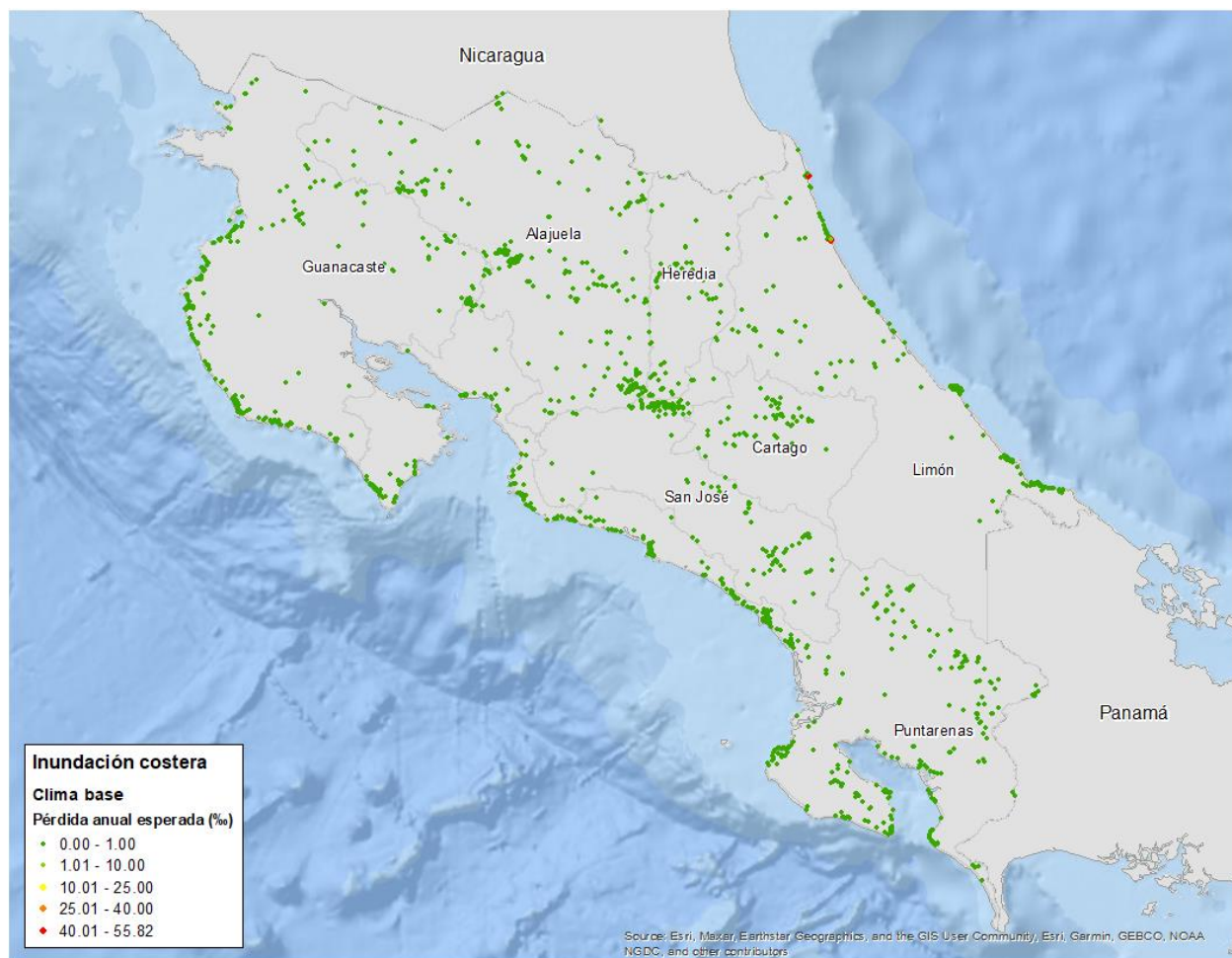


Figura 13. Pérdida anual esperada por inundación costera (clima base) para hoteles

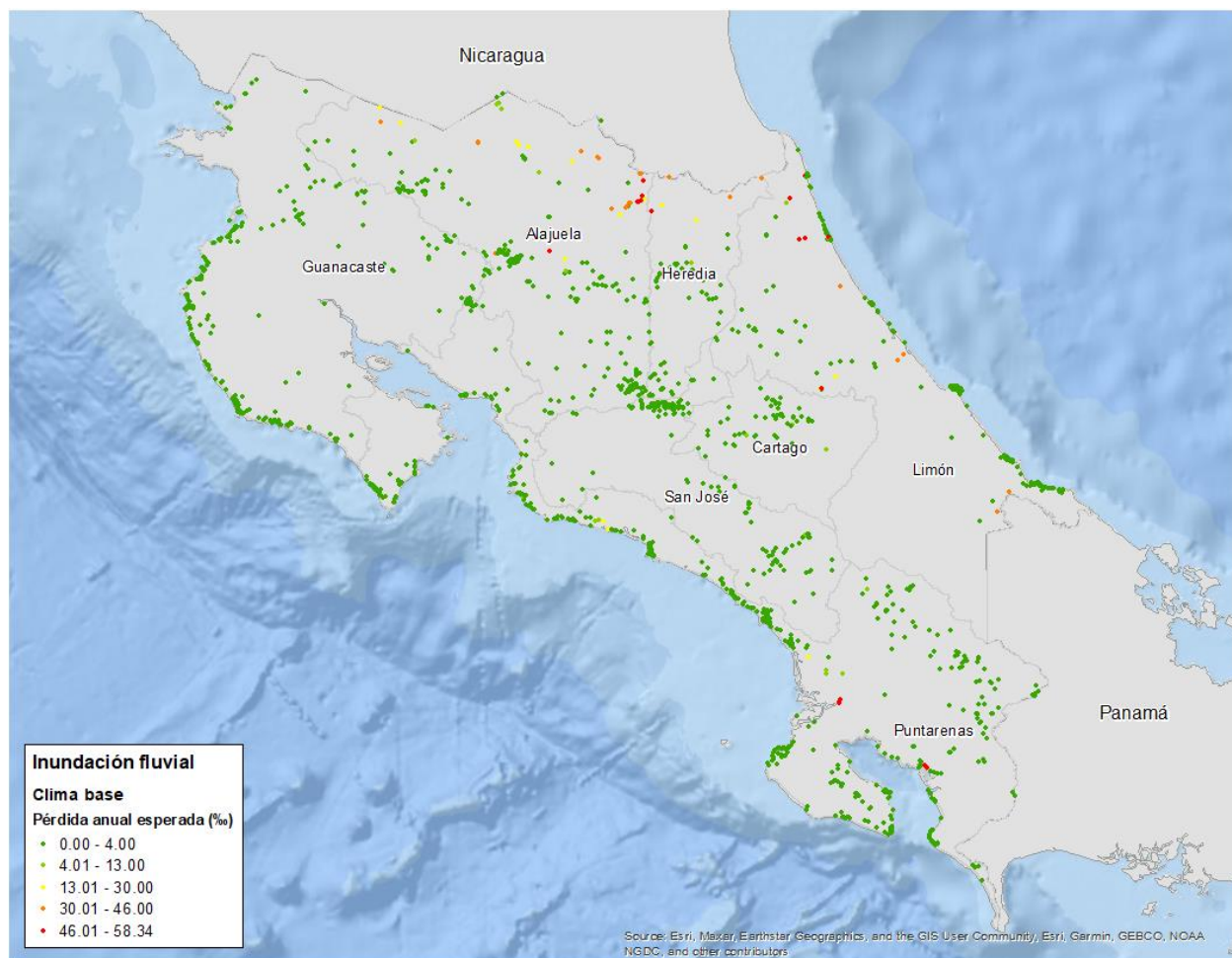


Figura 14. Pérdida anual esperada por inundación fluvial (clima base) para hoteles

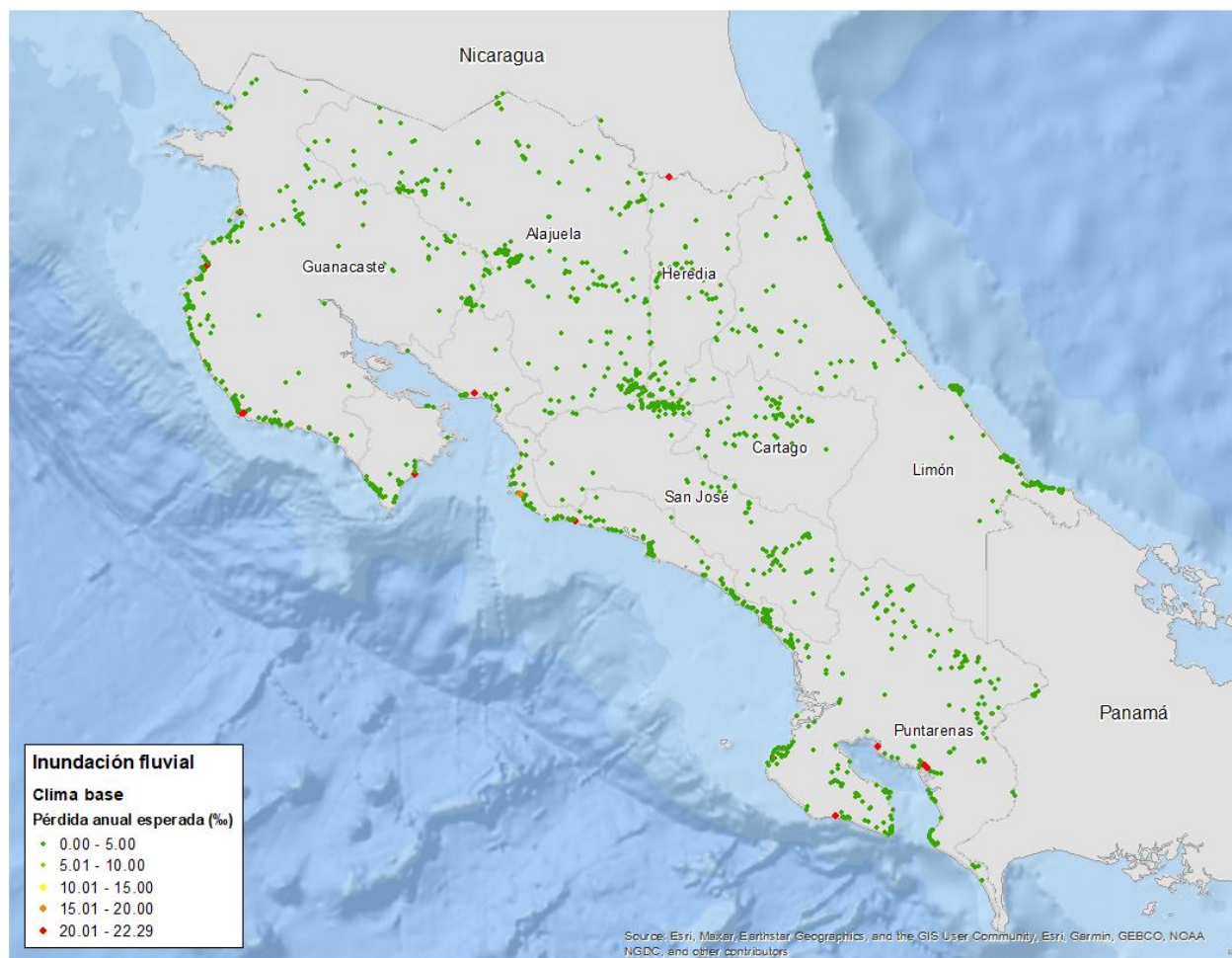


Figura 15. Pérdida anual esperada por inundación fluvial (clima base) para hoteles

Como se observa, las distribuciones de pérdida son muy diferentes entre las amenazas consideradas, lo cual es de esperarse. Se puede ver, por ejemplo, como el sismo (Figura 11) genera efectivamente mayores correlaciones de pérdida, sino una amenaza que puede afectar el 100% del portafolio hotelero, debido a que en todo el territorio costarricense se está, en una u otra medida, expuesto a los terremotos. Esto explica los altísimos valores de PML obtenidos, en comparación con otras amenazas. Sin embargo, si se observan los valores puntuales de cada hotel, la máxima PAE es de 1.83 ‰, valor muy inferior a los máximos de pérdida puntual registrados en alguna ubicación para todas las otras amenazas, incluso la inundación fluvial, que es la que menor riesgo implica a nivel de portafolio. Los valores máximos puntuales para estas amenazas fueron de: 72.48 ‰ para tsunamis, 55.82 ‰ para inundación costera, 58.34 ‰ para inundación fluvial, y 22.29 ‰ para inundación pluvial (las 3 últimas, considerando clima base)

Lo anterior ilustra que, si bien el terremoto logra correlacionar pérdidas en múltiples ubicaciones en cada evento, causando así uno de los niveles de riesgo más relevantes para el sector, las pérdidas causadas individualmente para cada hotel son altamente diversas, existiendo ubicaciones en donde otras amenazas pueden ser mucho más críticas, en términos de riesgo, que el terremoto. En los mapas presentados es

posible observar ubicaciones fuertemente afectadas en la costa Caribe ante inundación costera (Figura 13), así como otras ubicaciones, también con altos niveles de riesgo en la costa Pacífica ante tsunamis (Figura 12). Estas amenazas, así como las inundaciones fluvial y pluvial, no correlacionan pérdidas en grandes números de elementos en cada evento, pero pueden ser de alta influencia para elementos individuales en ubicaciones específicas, en donde una potencial alta intensidad, combinada con alta vulnerabilidad, causan valores de PAE inusualmente altos.

Los resultados presentado inevitablemente están dominados por la relación frecuencia-severidad propia de cada amenaza. Los terremotos son capaces de grandes impactos en cada evento individual, pero con una frecuencia de ocurrencia muy baja, lo cual contrasta con fenómenos como la inundación, por ejemplo, cuyos impactos son mucho más reducidos a nivel de eventos individuales, pero con una mayor frecuencia de ocurrencia. Esto explica las relaciones mostradas entre las pérdidas de estas amenazas, y de todas las consideradas en este trabajo.

Como se mencionó anteriormente, la base de elementos expuestos generada cuenta con los polígonos de huella de todos los hoteles considerados. Los mapas presentados anteriormente, no se muestran con esta característica, debido a que, al observar el país entero, no se visualizan de forma apropiada los elementos individuales. A pesar esto, se presentan en las Figura 16 a Figura 18, mapas de pérdida anual a modo de ejemplo, solo para sismo, tsunami e inundación costera, con el fin de ilustrar esta situación. Los mapas incluyen acercamientos a algunos sectores del país donde puede apreciarse el verdadero detalle de la información de riesgo calculada.

La observación de las pérdidas, elemento a elemento, es importante en otros procesos de la gestión del riesgo; procesos orientados a la mitigación, a nivel local e individual, de la vulnerabilidad, a procesos de modificación de la exposición (como la reubicación de la infraestructura), así como para la pertinencia de posibles obras de mitigación de la amenaza (como defensas ante inundaciones fluviales y costeras). Estos datos complementan los resultados de riesgo, para proveer una visión más completa de cómo se concentran los valores en el territorio, u donde puntualmente se debería incidir si se pretende reducir la vulnerabilidad.

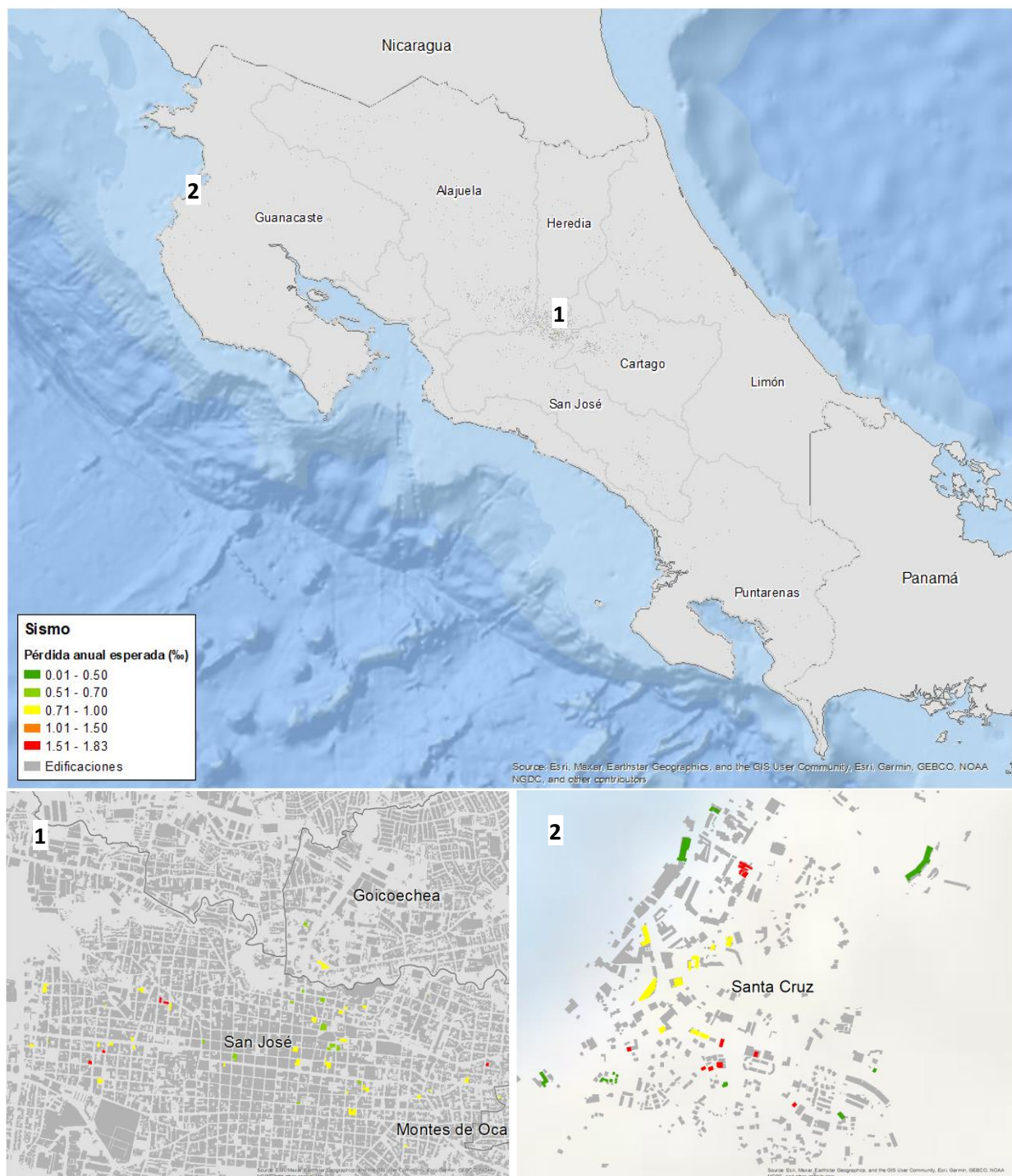


Figura 16. Pérdida anual esperada por sismo para hoteles representados como polígonos. Acercamiento 1: San José.
Acercamiento 2: Santa Cruz.

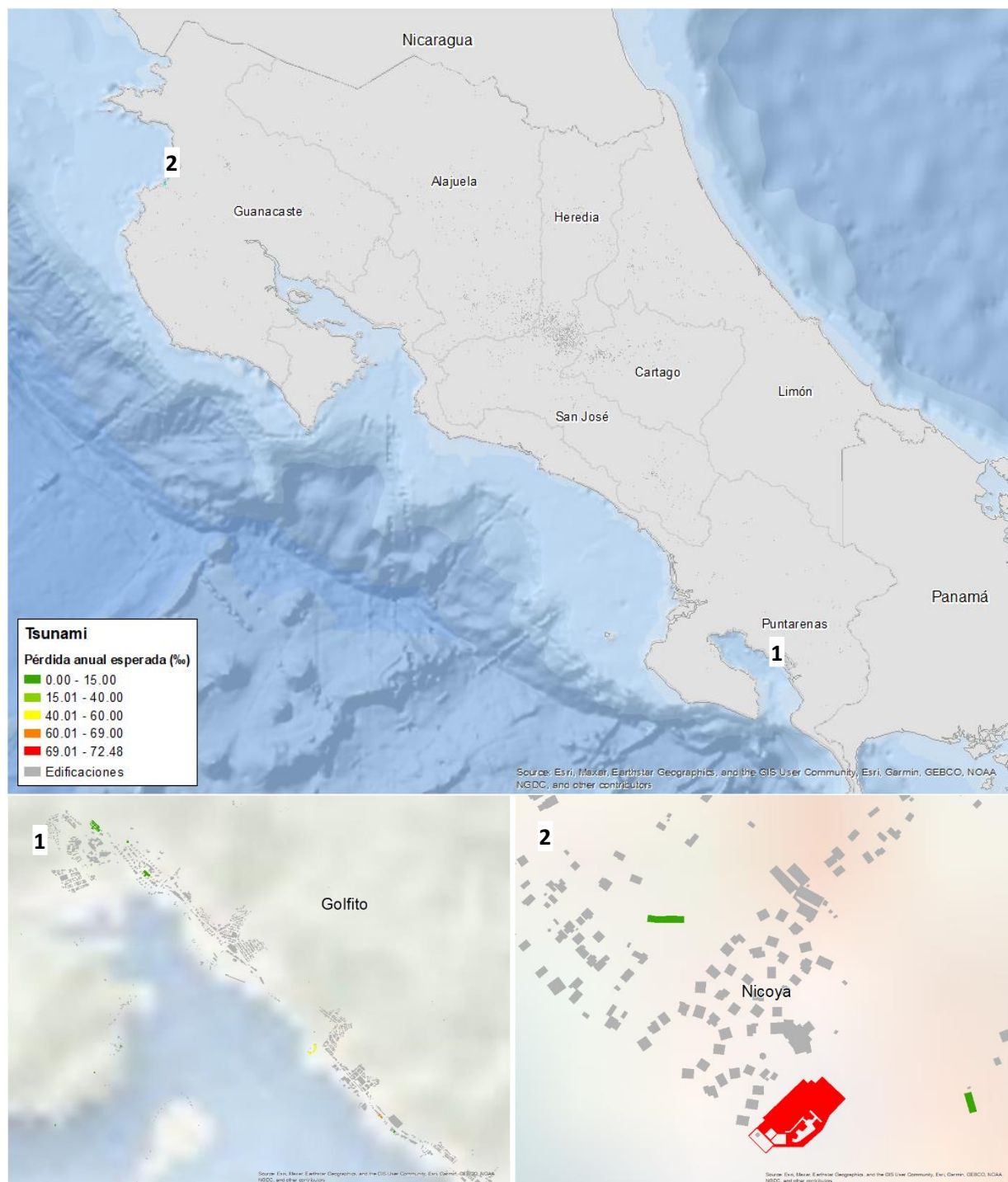


Figura 17. Pérdida anual esperada por tsunami para hoteles representados como polígonos. Acercamiento 1: Golfito. Acercamiento 2: Nicoya.

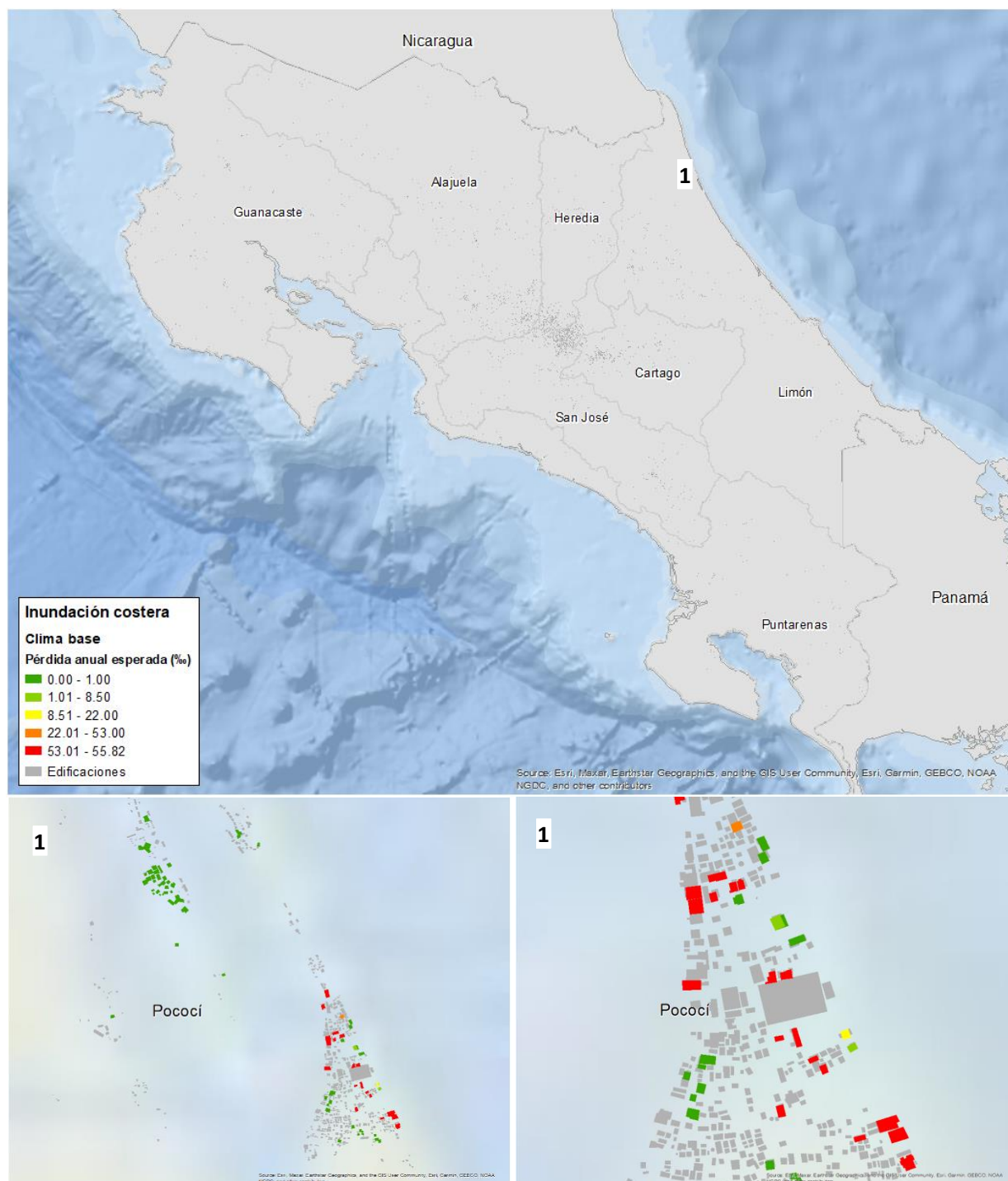


Figura 18. Pérdida anual esperada por inundación costera (clima base) para hoteles representados como polígonos.
Acercamiento 1: Pococi.

3.3 Resultados agregados por unidades administrativas

Los resultados de riesgo se presentan, típicamente, como resultados agregados de portafolio y por ubicación, como se presentó anteriormente. Sin embargo, es importante visualizar en qué regiones del país se concentra el riesgo, al agregarlo por diferentes unidades geográficas administrativas. Esto permite comparar los niveles de riesgo dentro de zonas geográficas con jurisdicciones administrativas específicas y, por lo tanto, con competencias sectoriales o territoriales claras dentro de la gestión del riesgo de desastres.

A continuación, se presentan las pérdidas anuales esperadas totales, agregadas en diferentes unidades administrativas. Se han seleccionado las siguientes unidades con el objetivo de informar niveles de riesgo asociados a diferentes actores relacionados con el sector. Sin embargo, las pérdidas pueden ser agregadas en cualquier otra unidad que se considere de interés, desde el archivo de pérdidas por ubicación incluido en el Dataset del proyecto.

Las unidades de agregación consideradas en este Entregable son:

- *Unidad de planeamiento turístico:* Las unidades de planeamiento turístico en Costa Rica son divisiones geográficas del país utilizadas por el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) para planificar y desarrollar el turismo de manera sectorizada. Estas unidades agrupan centros turísticos, atractivos y la infraestructura existente para crear planes de desarrollo específicos. El departamento de planeamiento turístico del ICT se encarga de elaborar y actualizar estos planes, además de brindar apoyo técnico a los gobiernos locales.
- *División regional de MIDEPLAN:* El Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica (MIDEPLAN) organiza el país en 6 direcciones regionales para la planificación del desarrollo: Central, Chorotega, Brunca, Pacífico Central, Huetar Norte y Huetar Caribe.
- *Provincias:* Las provincias son la división de primer nivel del territorio nacional. Costa Rica tiene siete provincias: San José, Alajuela, Cartago, Heredia, Guanacaste, Puntarenas y Limón. Cada provincia se subdivide en cantones, que a su vez se dividen en distritos. Costa Rica no tiene un "gobierno provincial" en el sentido de una administración regional independiente.
- *Cantones:* Costa Rica tiene 84 cantones que a su vez se subdividen en distritos. Los cantones son la unidad administrativa de gobierno local más importante del país. El gobierno a nivel cantonal se administra a través de las Municipalidades, que son los gobiernos locales encabezados por un alcalde y un Consejo Municipal elegido cada cuatro años.

La Figura 19 muestra las PAE agregadas a nivel de unidad de planeamiento turístico, la Figura 20 por la división regional de MIDEPLAN, la Figura 21 muestra las PAE agregadas por provincia, y la Figura 22 muestra las PAE agregadas por cantón. En todos los casos se presentan pérdidas relativas agregadas, es decir la pérdida agregada normalizada por el valor expuesto existente dentro de la unidad considerada. Para las amenazas sensibles al clima, solamente se presenta el clima base en la comparación, con el fin de no saturar el documento.

Las comparaciones presentadas permiten establecer prioritizaciones sobre las posibles acciones de gestión del riesgo a implementar en el territorio, desde la perspectiva de del actor al cual le compete la unidad geográfica específica.

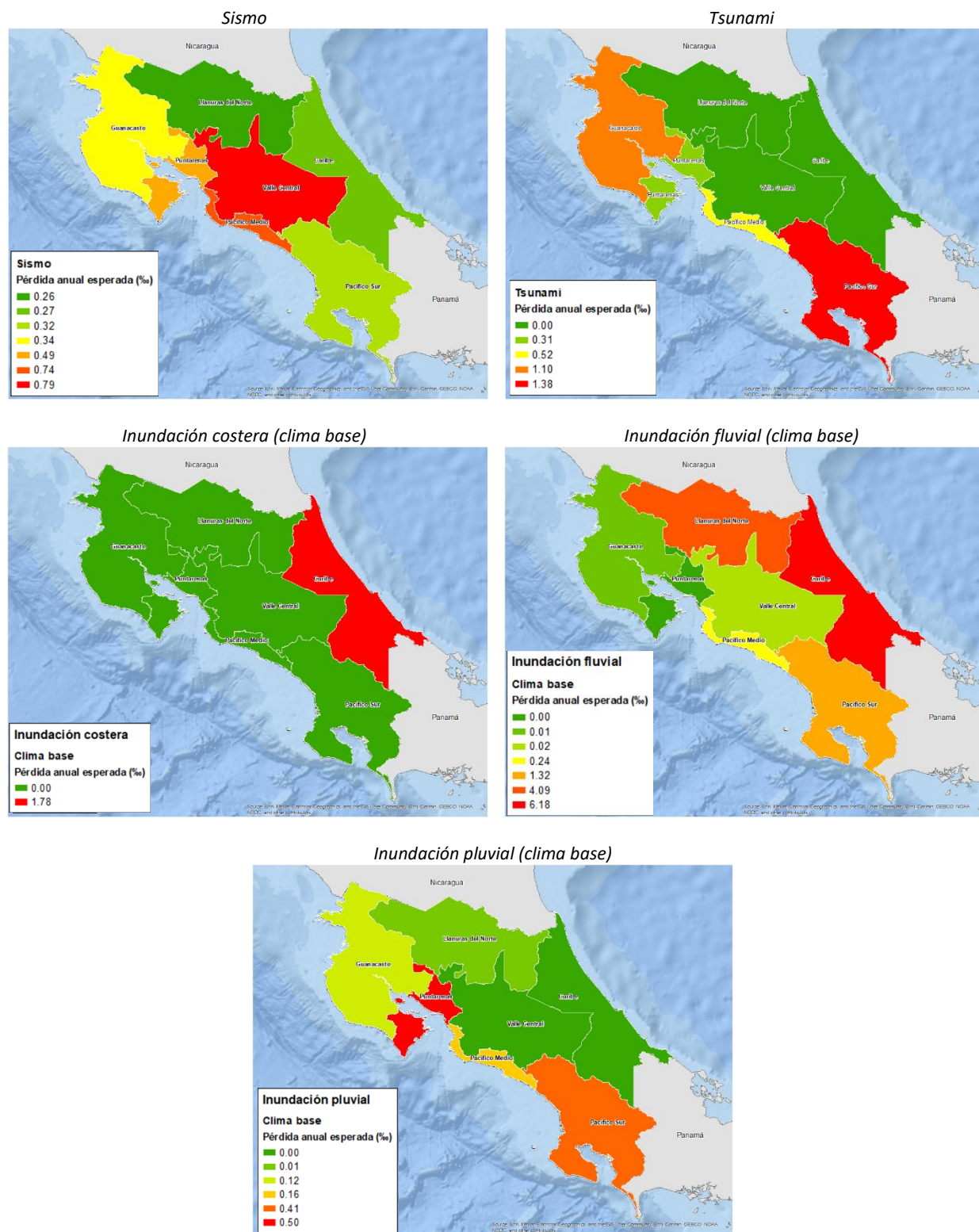


Figura 19. Pérdida anual esperada para las amenazas consideradas, por unidad de planeamiento turístico

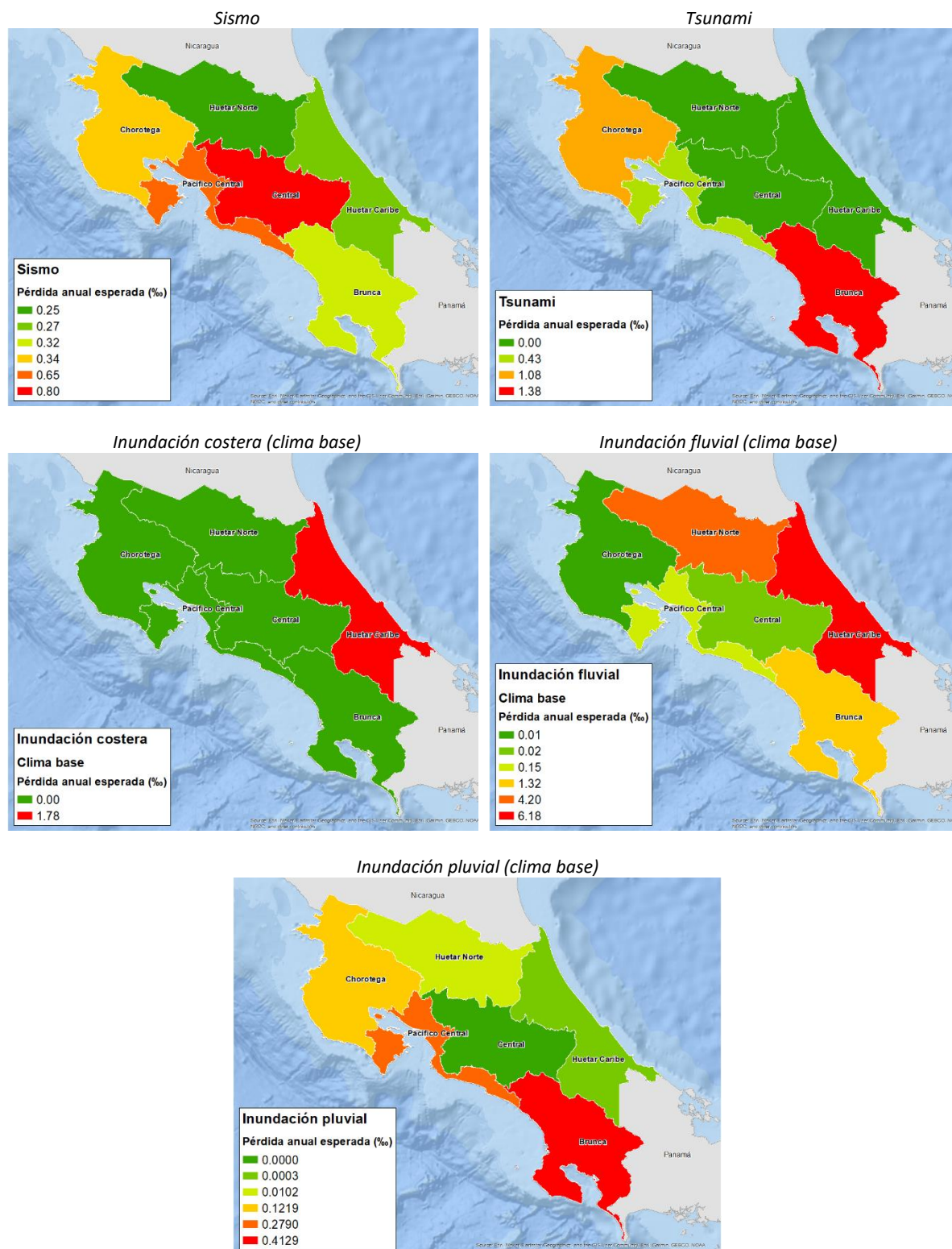


Figura 20. Pérdida anual esperada para las amenazas consideradas, por división regional de MIDEPLAN

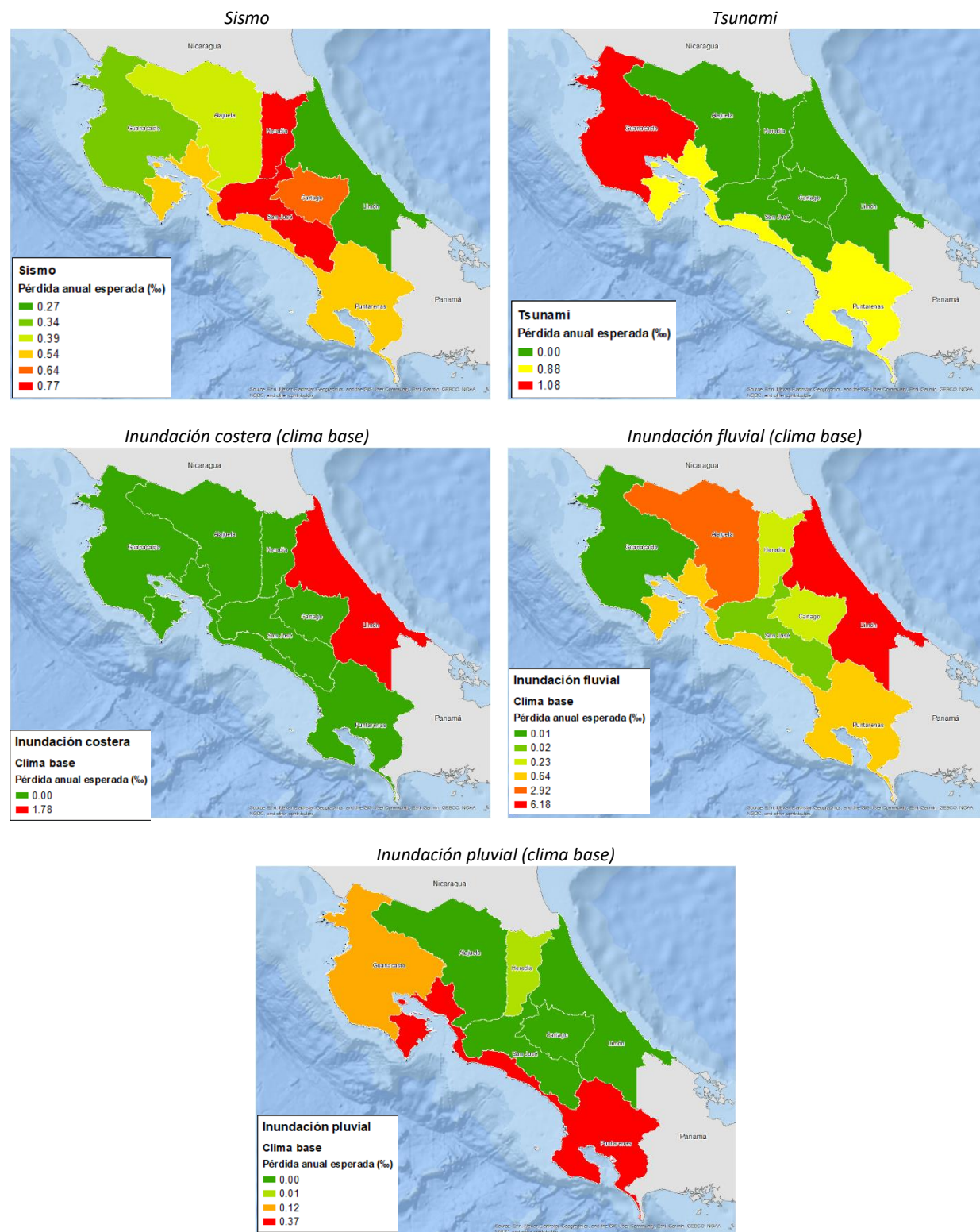


Figura 21. Pérdida anual esperada para las amenazas consideradas, por provincia

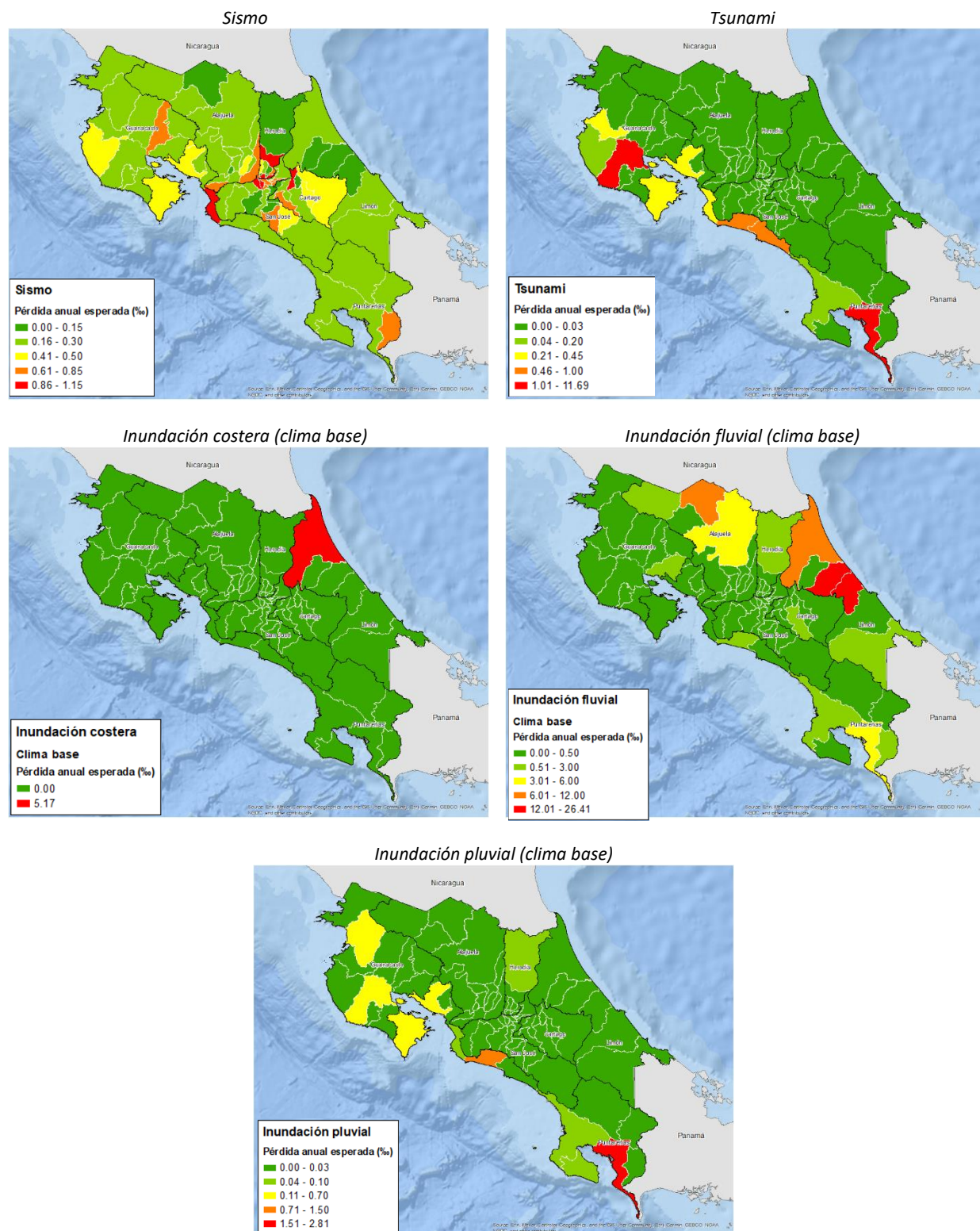


Figura 22. Pérdida anual esperada para las amenazas consideradas, por cantón

4 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

Se ha desarrollado un programa exhaustivo de desarrollo de capacidades que aprovecha al máximo el trabajo de modelación del proyecto Operacional 3, a la vez que se transfieren los conocimientos y habilidades básicos. Este programa de capacitación incluye los siguientes grupos de actividades:

4.1 Talleres y reuniones

Los *talleres de socialización* son talleres presenciales cuyo objetivo es la socialización del avance de los trabajos y los resultados parcial o finales del proyecto mediante sesiones plenarias. Se realizarán 4 talleres de socialización, de los cuales 2 ya se han llevado a cabo:

- *Taller 1:* este es un taller de inicio de las actividades del programa de capacitación. Se realiza la socialización del plan de trabajo general y también específico de los proyectos, así como el lanzamiento del programa de capacitación y el curso virtual asincrónico. Se consolida la conformación de los Grupos Técnicos de Trabajo por cada proyecto.
- *Taller 2:* en este taller se presenta el estado general de avance del proyecto a todos los interesados, así como el avance de cada uno de los cuatro proyectos para los miembros del Grupo Técnico de Trabajo correspondientes, y otros actores interesados en el seguimiento. Este taller tiene un enfoque hacia los resultados intermedios de la modelación de amenazas, exposición y vulnerabilidad. Se realiza también una práctica *hands-on* en la modelación del componente climático.
- *Taller 3:* en este taller se socializa el estado de avance de las actividades de evaluación del riesgo y se presentan los resultados de la modelación para cada uno de los proyectos individuales para los miembros del Grupo Técnico de Trabajo correspondientes, y otros actores interesados en el seguimiento. Se realiza también una práctica *hands-on* sobre evaluación e interpretación de métricas del riesgo.
- *Taller 4:* este es el taller final de cierre. Se realiza un recuento general de las actividades de todos los proyectos y se presentan las conclusiones y recomendaciones de la evaluación. Este taller tiene un enfoque hacia los usos de la modelación y las potenciales aplicaciones del resultado para el futuro, más allá del alcance de la consultoría. Así mismo, en las estrategias que se definan en conjunto con el Grupo Técnico de Trabajo para la sostenibilidad, replicabilidad y transferencia de los procesos de modelación a otras entidades territoriales, regiones o sectores de Costa Rica.

Por su parte, las *reuniones de trabajo* son espacios presenciales o virtuales (a ser definido según la conveniencia) entre el Consultor y el GTT para facilitar la colaboración en tareas específicas y la transferencia de conocimientos sobre cuestiones prácticas de recopilación, gestión y procesamiento de datos, así como sobre los aspectos científicos de la modelización climática y de riesgos.

Las reuniones de trabajo se acuerdan de forma individual con cada GTT de acuerdo con la disponibilidad de las personas interesadas y, por lo tanto, no ocurren simultáneamente con los diferente GTT, sino en una secuencia o ronda de reuniones en un lapso de una o dos semanas. El enfoque específico de cada reunión dependerá del avance que se tenga en cada evaluación, sin embargo, se prevé dar el siguiente enfoque a cada ronda de reuniones:

- **Ronda 1 de reuniones:** estas son las primeras reuniones con lo GTT de los proyectos. Se socializa de nuevo el alcance del proyecto y se establecen los acuerdos necesarios acerca de detalles alrededor del alcance o valores agregados que se pacta realizar en beneficio del proyecto y para favorecer la apropiación de los resultados, el codesarrollo y la sostenibilidad futura de los procesos de modelación.
- **Ronda 2 de reuniones:** en esta segunda ronda de reuniones se revisa el avance de los proyectos, se resuelven dudas sobre detalles específicos de la modelación de amenazas, exposición y vulnerabilidad. También, se adelantan sesiones de capacitación en los modelos usados específicamente en cada proyecto, que complementan los contenidos del curso virtual asincrónico.
- **Ronda 3 de reuniones:** en esta tercera ronda de reuniones se revisan con los GTT los resultados preliminares de la evaluación del riesgo, y se pactan ajustes finales en los modelos de forma conjunta, de cara a consolidar los resultados. También, se adelantan sesiones de capacitación en los modelos usados específicamente en cada proyecto, que complementan los contenidos del curso virtual asincrónico.
- **Ronda 4 de reuniones:** en la ronda final de reuniones se definen en conjunto con los GTT las estrategias de cara al futuro de la modelación, posterior a la finalización de la consultoría, con el fin de garantizar la sostenibilidad en el tiempo de los proceso de modelación y su replicabilidad en otras regiones o para otros sectores. Estas estrategias serán definidas en términos de un plan estratégico de trabajo y necesidades en el mediano plazo.

La Figura 23 muestra el cronograma de Talleres y Reuniones de trabajo. Este cronograma no deja de ser indicativo dado que depende de la disponibilidad de instalaciones y de las mismas personas del GTT que participan en estas actividades.

Tarea	15 Ene 25	Mes													15 Abr 26
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Talleres y reuniones de trabajo															
Taller socialización 1															
Taller socialización 2															
Taller socialización 3															
Taller socialización 4															
Reunión de trabajo con GTT 1															
Reunión de trabajo con GTT 2															
Reunión de trabajo con GTT 3															
Reunión de trabajo con GTT 4															

Figura 23. Cronograma de talleres y reuniones de trabajo

4.2 Curso de capacitación en modelación del riesgo

Como parte del proceso de fortalecimiento de capacidades en el uso de datos relacionado con el Proyecto Operacional 3 (Evaluación de exposición y riesgo de hoteles y hostales MIPYMES del sector turismo), se está desarrollando el Curso de Modelación Probabilista del Riesgo de Desastres.

Este curso está dirigido a profesionales, especialistas e investigadores vinculados al Grupo Técnico de Trabajo del programa GRMA – Costa Rica, así como funcionarios de otras entidades locales interesadas,

con formación en disciplinas relacionadas con las ciencias de la tierra, ingeniería, matemáticas, física, econometría o análisis financiero/actuarial.

El objetivo principal del curso es proporcionar a los participantes los fundamentos científicos necesarios para comprender y ejecutar la modelación del riesgo, así como interpretar sus resultados. Al finalizar el proceso formativo, los participantes estarán en capacidad de realizar evaluaciones de riesgo ante amenazas naturales utilizando herramientas avanzadas del sistema CAPRA-ROBOT.

El curso asincrónico de capacitación inició formalmente el 18 de marzo de 2025. Tiene una duración aproximada de 24 semanas con una dedicación estimada de 2 horas semanales. No obstante, la duración real dependerá de la dedicación personal al curso. Este curso cubre todas las temáticas de modelación previstas en el proyecto GRMA - Costa Rica, como se detalla en el Producto 1 de esta consultoría. Esto incluye por supuesto, actividades de capacitación en amenaza y riesgo sísmico, por inundación pluvial y fluvial, y por inundación costera.

4.2.1 Módulo 1 - Fundamentos

El curso, de modalidad asincrónica, inició formalmente el 18 de marzo de 2025 con el Módulo 1, el cual abordaba los fundamentos generales de la evaluación probabilista del riesgo. Una vez completado este módulo, los participantes continuaron con el Módulo 2, enfocado en la modelación de amenazas naturales y la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

4.2.2 Módulo 2 – Componentes de la modelación del riesgo

El Módulo 2, iniciado el 13 de mayo de 2025, permite a cada participante seleccionar la amenaza de interés entre las consideradas en el proyecto GRMA. Es decir, el módulo proporciona materiales teóricos y prácticos sobre la modelación de amenaza y vulnerabilidad de los elementos expuestos para todas las amenazas cubiertas por el proyecto, permitiendo así una formación especializada y contextualizada a las necesidades de los participantes.

Dado el alcance de este Producto, en este informe se presentan de forma resumida el alcance y contenidos de los módulos relacionados con sismo, inundación y ciclones tropicales (a partir del cual se modela la inundación costera).

4.2.2.1 Sismo

Este módulo presenta las bases conceptuales para la evaluación probabilista de la amenaza sísmica. Se estudiarán aspectos básicos de sismología, la caracterización del movimiento fuerte, la metodología de evaluación de la amenaza sísmica y la respuesta de los suelos ante un evento sísmico.

En el caso de la exposición, se abordan los requerimientos mínimos para conformar una base de datos de elementos expuestos, tales como la geolocalización, caracterización y valoración económica.

Además, se abordará el análisis de la vulnerabilidad física, que debe ser evaluada y asignada a cada componente expuesto. La Tabla 4 presenta en detalle los temas que serán tratados en cada unidad.

Tabla 4. Temario del módulo 2: Sismo

Unidad	Título	Temas
1	Aspectos básicos de sismología	• Tectónica de placas • Fallas geológicas • Modelo de fuente sísmica • Momento sísmico y magnitud • Distribución de la dislocación y liberación del momento sísmico • Ondas sísmicas • Mecanismo focal
2	Movimiento fuerte	• Acelerogramas • Espectro de fuente • Vibraciones aleatorias • Modelos de atenuación • Respuesta estructural
3	Evaluación probabilista de la amenaza sísmica	• Fuentes sismogénicas • Sismicidad • Atenuación • Catálogo estocástico • Integración de la amenaza • Evaluación determinista
4	Efectos de sitio	• Definición de efectos de sitio • Técnicas de estimación • Respuesta 1D elástica • Respuesta 1D no lineal • Efectos de sitio en regiones
5	Modelos de daño: Funciones de fragilidad y vulnerabilidad	• Curvas de fragilidad • Curvas de vulnerabilidad
6	Vulnerabilidad sísmica	• Comportamiento estructural ante cargas laterales cíclicas • Comportamiento de estructuras de mampostería • Comportamiento de estructuras de concreto

Las sesiones teóricas se complementan con sesiones prácticas tipo *hands-on*, en las que los participantes aprenden a utilizar software especializado para la modelación de amenaza sísmica, entre los cuales se incluyen:

Strong Motion Analyst (SMA): es un programa para el procesamiento de información sismológica. Implementa metodologías para el procesamiento de señales sísmicas, análisis de respuesta de sitio, atenuación de movimiento fuerte y procesamiento de catálogos sismológicos.

R-CRISIS: es el módulo de amenaza sísmica de CAPRA-ROBOT, desarrollado principalmente por Mario Ordaz (UNAM, México). Es una herramienta versátil que permite realizar Análisis Probabilista de Amenaza

Sísmica (PSHA), y ha sido usada en proyectos a nivel mundial, incluyendo aplicaciones en la industria nuclear, el sector asegurador, códigos de construcción y microzonificación sísmica.

Vulnerability Studio: es una herramienta que permite modelar la vulnerabilidad de los elementos expuestos mediante funciones matemáticas que relacionan la intensidad de la amenaza con el impacto físico directo. Implementa varios métodos para la creación de funciones de vulnerabilidad adaptadas a diferentes tipos de amenazas, permitiendo estimar funciones de probabilidad de pérdidas para distintos niveles de intensidad.

CAPRA ROBOT: es el motor de cálculo de riesgo. Permite calcular la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC) para cualquier base de datos de exposición, utilizando el marco probabilista de evaluación de riesgo tipo CAT. Este módulo permite agregar pérdidas provenientes de diferentes amenazas, generando resultados de riesgo multiamenaza. CAPRA ROBOT calcula métricas financieras como la Pérdida Anual Esperada (AAL), la Pérdida Máxima Probable (PML), entre otras.

Los participantes estarán en capacidad de realizar modelaciones probabilistas de amenaza sísmica y estimaciones de riesgo, haciendo uso de estas herramientas, que están alineadas con la metodología CAPRA empleada en el proyecto GRMA. Estas capacidades están en línea con los objetivos del Proyecto Operacional 3, fortaleciendo la integración de herramientas técnicas en la gestión del riesgo de desastres en el sector turismo.

4.2.2.2 Ciclones tropicales

Este módulo inicia cubriendo los métodos requeridos para incorporar el cambio climático en la evaluación de riesgos hidrometeorológicos. Posteriormente, aborda conceptos meteorológicos clave relacionados con la generación de depresiones tropicales, tormentas y ciclones, su ciclo de vida, los modelos de campo de viento y marejada ciclónica, así como los enfoques de modelación.

Desde la perspectiva de la ingeniería, también se incluyen los efectos topográficos, las transformaciones por duración de ráfagas, la respuesta de la vivienda y los modelos de daño en edificaciones.

En el caso de la exposición, se abordan los requerimientos mínimos para conformar una base de datos de elementos expuestos, tales como la geolocalización, caracterización y valoración económica.

Asimismo, se presentan los modelos matemáticos necesarios para la correcta aplicación y comprensión de la teoría de evaluación probabilista del riesgo, sus resultados y métricas asociadas. La Tabla 5 presenta en detalle los temas tratados en cada unidad.

Tabla 5. Temario del módulo 2: Ciclones tropicales

Unidad	Título	Temas
1	Conceptos básicos de cambio climático	• Sistema climático terrestre • Balance energético • Circulación general de la atmósfera • Forzamiento radiativo • Emisiones de gases de efecto invernadero • Modelos de circulación global • Proyecciones globales
2	Estructura y formación de ciclones tropicales	• Estructura

		• Condiciones para la formación • Generación de ciclones tropicales • Escala Saffir Simpson • Trayectorias y avisos
3	Efectos de los ciclones tropicales	• Viento de gradiente • Capa límite • Velocidad de ráfaga • Hidrógrafas de marea • Espiral de Ekman • Marea por baja presión
4	Evaluación probabilista de la amenaza por ciclones tropicales	• Completitud de trayectorias • Perturbación de trayectorias • Catálogo de ciclones e integración de la amenaza • Influencia del cambio climático en la formación de ciclones tropicales • Tendencia en la elevación del nivel del mar
5	Modelos de daño: Funciones de fragilidad y vulnerabilidad	• Curvas de fragilidad • Curvas de vulnerabilidad
6	Vulnerabilidad por viento e inundación	• Efectos del viento en las estructuras • Cargas por presiones en edificaciones • Cargas de viento cíclicas en edificios altos • Vulnerabilidad al campo de viento • Vulnerabilidad por impacto de escombros • Vulnerabilidad a la inundación por marea

Las sesiones teóricas se complementan con sesiones prácticas tipo *hands-on*, en las que los participantes aprenden a utilizar software especializado para la modelación de la amenaza por ciclones tropicales, entre los cuales se incluyen:

Tropical Cyclones Hazard Modeler: TCHM es el módulo de la plataforma CAPRA Robot para la amenaza por ciclones tropicales. Implementa metodologías de cálculo para vientos fuertes, marea de tormenta y precipitación acumulada. TCHM permite simular de manera adecuada el fortalecimiento y debilitamiento de los ciclones tropicales a medida que avanzan por trayectorias aleatorias, así como sus efectos en superficie en términos de intensidad de la amenaza.

Vulnerability Studio: es una herramienta que permite modelar la vulnerabilidad de los elementos expuestos mediante funciones matemáticas que relacionan la intensidad de la amenaza con el impacto físico directo. Implementa varios métodos para la creación de funciones de vulnerabilidad adaptadas a diferentes tipos de amenazas, permitiendo estimar funciones de probabilidad de pérdidas para distintos niveles de intensidad.

CAPRA ROBOT: es el motor de cálculo de riesgo. Permite calcular la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC) para cualquier base de datos de exposición, utilizando el marco probabilista de evaluación de riesgo tipo CAT. Este módulo permite agregar pérdidas provenientes de diferentes amenazas, generando resultados de riesgo multiamenaza. CAPRA ROBOT calcula métricas financieras como la Pérdida Anual Esperada (AAL), la Pérdida Máxima Probable (PML), entre otras.

Los participantes estarán en capacidad de realizar modelaciones probabilistas de amenaza por ciclones tropicales y estimaciones de riesgo, haciendo uso de estas herramientas, que están alineadas con la metodología CAPRA empleada en el proyecto GRMA. Estas capacidades están en línea con los objetivos del Proyecto Operacional 3, fortaleciendo la integración de herramientas técnicas en la gestión del riesgo de desastres en el sector turismo.

4.2.2.3 Inundación

Este módulo inicia cubriendo los métodos requeridos para incorporar el cambio climático en la evaluación de riesgos hidrometeorológicos, dado que fenómenos como las lluvias se ven significativamente afectados por este fenómeno.

Posteriormente, aborda aspectos clave de las inundaciones fluviales, las cuales ocurren cuando lluvias excesivas durante un período prolongado hacen que un río exceda su capacidad, el agua se desborda del cauce e inunda las áreas cercanas, dependiendo de la topografía local.

Se utiliza un generador de clima para obtener series de precipitación que sigan el mismo régimen que los registros históricos en el área de estudio.

Desde la perspectiva de la ingeniería, se analiza la serie estocástica de precipitaciones intensas, así como la identificación del conjunto de eventos de lluvia excesiva que pueden desencadenar inundaciones.

También se abordan los análisis hidrológicos e hidráulicos completos en la cuenca y en el cauce del río.

En el caso de la exposición, se abordan los requerimientos mínimos para conformar una base de datos de elementos expuestos, tales como la geolocalización, caracterización y valoración económica.

Asimismo, se presentan los modelos matemáticos necesarios para la correcta aplicación y comprensión de la teoría de evaluación probabilista del riesgo, así como sus resultados y métricas asociadas.

La Tabla 6 presenta en detalle los temas que serán tratados en cada unidad.

Tabla 6. Temario del módulo 2: Inundaciones

Unidad	Título	Temas
1	Conceptos básicos de Cambio Climático	• Sistema climático terrestre • Balance energético • Circulación general de la atmósfera • Forzamiento radiativo • Emisiones de gases de efecto invernadero • Modelos de circulación global • Proyecciones globales
2	Incorporación del CC en la modelación de amenaza y riesgo	• Downscaling • Simulación estocástica • Regla de escala • Modelo de todas las variaciones
3	Modelación hidrológica	• Ciclo hidrológico • Teorema de transporte de Reynolds

		• Sistema hidrológico: precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía • Hidrograma de salida de la cuenca hidrográfica
4	Modelación hidráulica	• Modelación unidimensional • Modelación bidimensional • HEC-RAS
5	Modelos de daño: Funciones de fragilidad y vulnerabilidad	• Curvas de fragilidad • Curvas de vulnerabilidad • Vulnerabilidad binaria
6	Vulnerabilidad ante inundaciones	• Umbrales lluvia-deslizamiento • Deslizamientos detonados por lluvias intensas • Deslizamientos detonados por terremotos

Las sesiones teóricas están acompañadas de sesiones *hands-on* donde el estudiante aprende el manejo de software especializado para la modelación de la amenaza por inundaciones, entre los cuales se incluyen:

Drought Pro: es una herramienta de simulación avanzada que permite la modelación estocástica del forzamiento meteorológico, en particular la lluvia, como fenómeno detonante de deslizamientos. El sistema fue inicialmente concebido para la modelación de sequías (de ahí su nombre) pero ha evolucionado a ser un sistema de simulación climática general, el cual por medio de un generador climático estocástico crea múltiples simulaciones de variables meteorológicas (como la precipitación y la temperatura), basándose en las series diarias históricas disponibles en el territorio. Dadas estas capacidades, se emplea en la modelación de múltiples fenómenos distintos, como sequías, inundaciones, deslizamientos o incendios forestales, al permitir la construcción de modelos probabilistas del forzamiento meteorológico.

Flood Analyst: es un software cuyo objetivo es la evaluación de la amenaza por inundación. Calcula las intensidades de amenaza para eventos de lluvias intensas e inundaciones fluviales en múltiples ubicaciones dentro del área de interés. Flood Analyst genera eventos estocásticos de lluvias intensas y está acoplado con el software HEC-RAS (Brunner & Bonner, 1994), el cual realiza el análisis hidrológico e hidráulico para cada uno de los eventos y proporciona la huella de inundación asociada.

Vulnerability Studio: es una herramienta que permite modelar la vulnerabilidad de los elementos expuestos mediante funciones matemáticas que relacionan la intensidad de la amenaza con el impacto físico directo. Implementa varios métodos para la creación de funciones de vulnerabilidad adaptadas a diferentes tipos de amenazas, permitiendo estimar funciones de probabilidad de pérdidas para distintos niveles de intensidad.

CAPRA ROBOT: como se mencionó anteriormente, es el motor de cálculo de riesgo. Permite calcular la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC) para cualquier base de datos de exposición, utilizando el marco probabilista de evaluación de riesgo tipo CAT. Este módulo permite agregar pérdidas provenientes de diferentes amenazas, generando resultados de riesgo multiamenaza. CAPRA ROBOT calcula métricas financieras como la Pérdida Anual Esperada (AAL), la Pérdida Máxima Probable (PML), entre otras.

Los participantes estarán en capacidad de realizar modelaciones probabilistas de amenaza por inundaciones y estimaciones de riesgo, haciendo uso de estas herramientas, que están alineadas con la metodología CAPRA empleada en el proyecto GRMA. . Estas capacidades están en línea con los objetivos del Proyecto Operacional 3, fortaleciendo la integración de herramientas técnicas en la gestión del riesgo de desastres en el sector turismo.

4.2.3 Módulo 3 - Aplicaciones avanzadas

Una vez completado satisfactoriamente el Módulo 2, los participantes podrán continuar con el Módulo 3, enfocado en aplicaciones avanzadas en la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Este módulo, que inició el 15 de octubre, constituye la etapa final del curso y es fundamental para adquirir una comprensión integral del proceso completo. Si bien se recomienda cursar los tres módulos para una formación completa, aquellos interesados en comprender únicamente la estructura general del proceso de gestión del riesgo y su relevancia estratégica tuvieron la opción de avanzar directamente del Módulo 1 al Módulo 3.

En este módulo se abordan temas clave para la toma de decisiones en contextos de alta incertidumbre y sistemas complejos, como la modelación de la resiliencia en sistemas dinámicos, la evaluación holística del riesgo, la toma robusta de decisiones, la ingeniería de control del riesgo y una introducción a la protección financiera frente a desastres. La Tabla 7 presenta en detalle los temas que serán tratados en cada unidad. Este módulo es especialmente útil ya que proporciona herramientas avanzadas para integrar el análisis técnico del riesgo con los procesos de planificación, inversión y política pública.

Tabla 7. Temario del módulo 3: aplicaciones avanzadas

Unidad	Título	Temas
1	Modelación de la resiliencia de sistemas de infraestructura	• Concepto de sistema • Interdependencia de elementos • Desbalance en oferta/demanda • Curvas de desempeño • Simulación del desempeño
2	Evaluación holística del riesgo	• Definición de condiciones de contexto • Fragilidad social y falta de resiliencia • Coeficiente de agravamiento • Sistema de indicadores y funciones de pertenencia • Desagregación de indicadores holísticos
3	Toma robusta de decisiones	• Incertidumbre profunda • Estados futuros inciertos • Teoría de conjuntos aleatorios • Métricas de riesgo imprecisas • Toma de decisiones en condición de incertidumbre profunda
4	Ingeniería de Control del Riesgo	• Proceso de control del riesgo • Formulación de acciones de intervención • Optimización estocástica

		• Curvas de inversión • Planes óptimos de gestión y adaptación
5	Introducción a la protección financiera	• Tipos de instrumentos financieros • Justificación y costos de los instrumentos • Estructuras de retención y transferencia del riesgo • Modalidades de reclamación en seguros • Introducción a los Bonos CAT

4.2.4 Participantes inscritos en el curso

A continuación, se hace una relación de los participantes inscritos en el curso, que se encuentran asociados al Proyecto Operacional 3. Cabe resaltar que los participantes pueden inscribirse en más de una amenaza, de acuerdo con sus intereses.

Participante	Instituciones	Módulos inscritos
Manfred Canales	Futurismo	Módulo 1, Módulo 3
Jorge Masis	GIZ (Futurismo)	Módulo 1, Módulo 2: Deslizamientos, Inundaciones, Sequía, Módulo 3
Nicolás Morales	GIZ (Futurismo)	Módulo 1, Módulo 2: Ciclones tropicales, Deslizamientos, Inundaciones, Sequía, Módulo 3
Víctor Salazar	Aseguradora Sagicor	Módulo 1, Módulo 2: Sismo, Volcanes, Módulo 3

5 BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, E. Sparre. (1957). On the collective theory of risk in case of contagion between claims. Trans. XVth Int. Congress Actuaries. Vol. 2. No. 6. 1957.
- Bernal, G., Cardona, O.D., Marulanda, M., Carreño, M. L. (2021). Dealing with Uncertainty using Fully Probabilistic Risk Assessment for Decision Making. Chapter 14 in: Eslamian, S., & Eslamian, F. (Eds): Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience. Springer.
- Cardona, O.D. (1986a). Análisis de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico. Seminario Nacional sobre Prevención y Manejo de Catástrofes Naturales, Asociación de Ingenieros Estructurales, octubre 1986, Medellín.
- Cardona, O.D. (1986b). Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: Planificación física y urbana en áreas propensas. Simposio International sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos, Revista CIAF No. 11, diciembre 1986, Bogotá.
- Cardona, O.D. (1986c). Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: Planificación física y urbana en áreas propensas. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reporte AIS-33. diciembre 1986, Bogotá.
- Cardona, O.D. (1989). Enfoque metodológico para la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. No. 37, diciembre 1989, México, DOI: 10.18867/ris.37.304
- Cardona, O.D. (1990). Términos de uso común en manejo de riesgos. Reporte AGID No. 13. 1er Simposio Andino de Geología Ambiental, 1ª Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Pag 587-593. Medellín. Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. CD: Premios de Investigación Social sobre protección civil, para tesis doctorales, 2002. Dirección General de Protección Civil, Ministerio del Interior, España.
- Cramér, H. (1930) On the Mathematical Theory of Risk, Skandia Jubilee Volume, Stockholm. Cruz, M. G., Alexander, M. E., & Wakimoto, R. H. (2003). Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. International Journal of Wildland Fire, 12(1), 39-50.
- Lundberg, F. (1903) Approximerad Framställning av Sannolikehets-funktionen. Återförsäkring av Kollektivrisker (Producción aproximada de la función de probabilidad. Reaseguro de Riesgos Colectivos), Almqvist & Wiksell, Uppsala.

A.1. Valores de Pérdida máxima probable (PML) por amenaza y clima

Esta tabla presenta los valores de PML absoluta (CRC millones) y relativa (%) para todas las amenazas y climas considerados, y para varios periodos de retorno. Para el caso de las amenazas de inundación fluvial y pluvial, los valores **máximos** y **mínimos** de la PML se resaltan en colores **rojo** y **verde**, respectivamente.

Amenaza	Clima	PML absoluta (CRC millones)									PML relativa (%)								
		10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
	<i>Sismo</i>	1,415	3,539	7,077	14,154	26,914	34,607	44,098	60,125	75,562	0.082	0.205	0.411	0.821	1.562	2.008	2.559	3.489	4.385
	<i>Tsunami</i>	1,463	3,656	6,970	9,031	12,374	15,465	19,135	25,059	30,521	0.085	0.212	0.404	0.524	0.718	0.897	1.110	1.454	1.771
<i>Costera</i>	<i>Base</i>	483	992	1,462	2,119	3,394	4,799	6,745	10,511	14,654	0.028	0.058	0.085	0.123	0.197	0.278	0.391	0.610	0.850
	<i>HRMIP-SSP5-50</i>	313	617	1,009	1,631	3,041	4,847	7,703	14,168	22,436	0.018	0.036	0.059	0.095	0.176	0.281	0.447	0.822	1.302
<i>Fluvial</i>	<i>Base</i>	3,763	8,112	11,345	12,323	12,940	13,587	14,266	14,979	15,728	0.218	0.471	0.658	0.715	0.751	0.788	0.828	0.869	0.913
	<i>EC-SSP1-35</i>	3,699	7,975	11,153	12,115	12,721	13,357	14,025	14,726	15,462	0.215	0.463	0.647	0.703	0.738	0.775	0.814	0.855	0.897
	<i>EC-SSP1-50</i>	3,665	7,900	11,049	12,002	12,602	13,232	13,894	14,588	15,318	0.213	0.458	0.641	0.696	0.731	0.768	0.806	0.847	0.889
	<i>EC-SSP1-100</i>	3,633	7,832	10,954	11,899	12,494	13,118	13,774	14,463	15,186	0.211	0.454	0.636	0.690	0.725	0.761	0.799	0.839	0.881
	<i>EC-SSP2-35</i>	3,576	7,708	10,781	11,711	12,296	12,911	13,556	14,234	14,946	0.207	0.447	0.626	0.680	0.714	0.749	0.787	0.826	0.867
	<i>EC-SSP2-50</i>	3,611	7,785	10,888	11,827	12,418	13,039	13,691	14,376	15,095	0.210	0.452	0.632	0.686	0.721	0.757	0.794	0.834	0.876
	<i>EC-SSP2-100</i>	3,509	7,565	10,580	11,493	12,068	12,671	13,305	13,970	14,668	0.204	0.439	0.614	0.667	0.700	0.735	0.772	0.811	0.851
	<i>EC-SSP3-35</i>	3,575	7,706	10,777	11,706	12,292	12,906	13,552	14,229	14,941	0.207	0.447	0.625	0.679	0.713	0.749	0.786	0.826	0.867
	<i>EC-SSP3-50</i>	3,497	7,539	10,543	11,453	12,025	12,626	13,258	13,921	14,617	0.203	0.437	0.612	0.665	0.698	0.733	0.769	0.808	0.848
	<i>EC-SSP3-100</i>	3,381	7,288	10,193	11,072	11,626	12,207	12,817	13,458	14,131	0.196	0.423	0.591	0.642	0.675	0.708	0.744	0.781	0.820
	<i>EC-SSP5-35</i>	3,585	7,727	10,807	11,739	12,326	12,943	13,590	14,269	14,983	0.208	0.448	0.627	0.681	0.715	0.751	0.789	0.828	0.869
	<i>EC-SSP5-50</i>	3,520	7,587	10,611	11,527	12,103	12,708	13,343	14,011	14,711	0.204	0.440	0.616	0.669	0.702	0.737	0.774	0.813	0.854
	<i>EC-SSP5-100</i>	3,291	7,095	9,922	10,778	11,317	11,883	12,477	13,101	13,756	0.191	0.412	0.576	0.625	0.657	0.690	0.724	0.760	0.798
	<i>GFDL-SSP1-35</i>	3,810	8,214	11,487	12,478	13,102	13,757	14,445	15,167	15,926	0.221	0.477	0.667	0.724	0.760	0.798	0.838	0.880	0.924
	<i>GFDL-SSP1-50</i>	3,728	8,037	11,241	12,210	12,821	13,462	14,135	14,842	15,584	0.216	0.466	0.652	0.709	0.744	0.781	0.820	0.861	0.904
	<i>GFDL-SSP1-100</i>	3,806	8,206	11,476	12,466	13,089	13,743	14,431	15,152	15,910	0.221	0.476	0.666	0.723	0.760	0.797	0.837	0.879	0.923
	<i>GFDL-SSP2-35</i>	3,712	8,002	11,191	12,156	12,764	13,402	14,072	14,776	15,515	0.215	0.464	0.649	0.705	0.741	0.778	0.817	0.857	0.900
	<i>GFDL-SSP2-50</i>	3,688	7,950	11,118	12,078	12,681	13,316	13,981	14,680	15,414	0.214	0.461	0.645	0.701	0.736	0.773	0.811	0.852	0.894
	<i>GFDL-SSP2-100</i>	3,642	7,852	10,981	11,929	12,525	13,151	13,809	14,499	15,224	0.211	0.456	0.637	0.692	0.727	0.763	0.801	0.841	0.883
	<i>GFDL-SSP3-35</i>	3,662	7,894	11,040	11,993	12,592	13,222	13,883	14,577	15,306	0.212	0.458	0.641	0.696	0.731	0.767	0.806	0.846	0.888
	<i>GFDL-SSP3-50</i>	3,534	7,619	10,655	11,574	12,153	12,760	13,398	14,068	14,772	0.205	0.442	0.618	0.672	0.705	0.740	0.777	0.816	0.857
	<i>GFDL-SSP3-100</i>	3,338	7,196	10,065	10,933	11,479	12,053	12,656	13,289	13,953	0.194	0.418	0.584	0.634	0.666	0.699	0.734	0.771	0.810
	<i>GFDL-SSP5-35</i>	3,682	7,937	11,100	12,058	12,661	13,294	13,958	14,656	15,389	0.214	0.461	0.644	0.700	0.735	0.771	0.810	0.850	0.893
	<i>GFDL-SSP5-50</i>	3,563	7,681	10,742	11,668	12,252	12,864	13,508	14,183	14,892	0.207	0.446	0.623	0.677	0.711	0.746	0.784	0.823	0.864
	<i>GFDL-SSP5-100</i>	3,257	7,020	9,818	10,665	11,198	11,758	12,346	12,963	13,612	0.189	0.407	0.570	0.619	0.650	0.682	0.716	0.752	0.790

Amenaza	Clima	PML absoluta (CRC millones)									PML relativa (%)								
		10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
	MPI-SSP1-35	4,043	8,716	12,189	13,241	13,903	14,598	15,328	16,094	16,899	0.235	0.506	0.707	0.768	0.807	0.847	0.889	0.934	0.981
	MPI-SSP1-50	4,055	8,741	12,224	13,279	13,943	14,640	15,372	16,140	16,947	0.235	0.507	0.709	0.771	0.809	0.850	0.892	0.937	0.983
	MPI-SSP1-100	4,318	9,308	13,018	14,141	14,848	15,590	16,370	17,188	18,047	0.251	0.540	0.755	0.821	0.862	0.905	0.950	0.997	1.047
	MPI-SSP2-35	4,246	9,152	12,800	13,904	14,599	15,329	16,096	16,900	17,745	0.246	0.531	0.743	0.807	0.847	0.890	0.934	0.981	1.030
	MPI-SSP2-50	4,594	9,903	13,850	15,045	15,797	16,587	17,417	18,288	19,202	0.267	0.575	0.804	0.873	0.917	0.963	1.011	1.061	1.114
	MPI-SSP2-100	4,010	8,643	12,088	13,131	13,787	14,477	15,201	15,961	16,759	0.233	0.502	0.701	0.762	0.800	0.840	0.882	0.926	0.972
	MPI-SSP3-35	4,114	8,869	12,404	13,474	14,148	14,855	15,598	16,378	17,197	0.239	0.515	0.720	0.782	0.821	0.862	0.905	0.950	0.998
	MPI-SSP3-50	4,449	9,590	13,412	14,569	15,297	16,062	16,865	17,709	18,594	0.258	0.556	0.778	0.845	0.888	0.932	0.979	1.028	1.079
	MPI-SSP3-100	3,990	8,601	12,029	13,066	13,720	14,406	15,126	15,882	16,676	0.232	0.499	0.698	0.758	0.796	0.836	0.878	0.922	0.968
	MPI-SSP5-35	3,978	8,575	11,992	13,027	13,678	14,362	15,080	15,834	16,626	0.231	0.498	0.696	0.756	0.794	0.833	0.875	0.919	0.965
	MPI-SSP5-50	3,852	8,305	11,614	12,616	13,247	13,909	14,605	15,335	16,102	0.224	0.482	0.674	0.732	0.769	0.807	0.847	0.890	0.934
	MPI-SSP5-100	4,294	9,257	12,946	14,063	14,766	15,505	16,280	17,094	17,949	0.249	0.537	0.751	0.816	0.857	0.900	0.945	0.992	1.042
Pluvial	Base	461	993	1,388	1,508	1,553	1,600	1,648	1,697	1,748	0.027	0.058	0.081	0.088	0.090	0.093	0.096	0.098	0.101
	EC-SSP1-35	463	999	1,397	1,518	1,563	1,610	1,659	1,708	1,760	0.027	0.058	0.081	0.088	0.091	0.093	0.096	0.099	0.102
	EC-SSP1-50	452	974	1,362	1,479	1,524	1,570	1,617	1,665	1,715	0.026	0.057	0.079	0.086	0.088	0.091	0.094	0.097	0.100
	EC-SSP1-100	455	980	1,371	1,489	1,534	1,580	1,627	1,676	1,727	0.026	0.057	0.080	0.086	0.089	0.092	0.094	0.097	0.100
	EC-SSP2-35	444	958	1,340	1,455	1,499	1,544	1,590	1,638	1,687	0.026	0.056	0.078	0.084	0.087	0.090	0.092	0.095	0.098
	EC-SSP2-50	452	975	1,363	1,480	1,525	1,571	1,618	1,666	1,716	0.026	0.057	0.079	0.086	0.088	0.091	0.094	0.097	0.100
	EC-SSP2-100	426	919	1,286	1,397	1,438	1,482	1,526	1,572	1,619	0.025	0.053	0.075	0.081	0.083	0.086	0.089	0.091	0.094
	EC-SSP3-35	440	948	1,326	1,441	1,484	1,528	1,574	1,621	1,670	0.026	0.055	0.077	0.084	0.086	0.089	0.091	0.094	0.097
	EC-SSP3-50	437	943	1,319	1,433	1,476	1,520	1,566	1,613	1,661	0.025	0.055	0.077	0.083	0.086	0.088	0.091	0.094	0.096
Pluvial	EC-SSP3-100	402	867	1,212	1,317	1,356	1,397	1,439	1,482	1,527	0.023	0.050	0.070	0.076	0.079	0.081	0.083	0.086	0.089
	EC-SSP5-35	449	968	1,354	1,471	1,515	1,560	1,607	1,655	1,705	0.026	0.056	0.079	0.085	0.088	0.091	0.093	0.096	0.099
	EC-SSP5-50	438	944	1,320	1,434	1,477	1,521	1,567	1,614	1,662	0.025	0.055	0.077	0.083	0.086	0.088	0.091	0.094	0.096
	EC-SSP5-100	389	838	1,172	1,273	1,311	1,351	1,391	1,433	1,476	0.023	0.049	0.068	0.074	0.076	0.078	0.081	0.083	0.086
	GFDL-SSP1-35	465	1,001	1,400	1,521	1,567	1,614	1,662	1,712	1,764	0.027	0.058	0.081	0.088	0.091	0.094	0.096	0.099	0.102
	GFDL-SSP1-50	457	986	1,379	1,498	1,543	1,589	1,636	1,686	1,736	0.027	0.057	0.080	0.087	0.090	0.092	0.095	0.098	0.101
	GFDL-SSP1-100	457	985	1,378	1,496	1,541	1,588	1,635	1,684	1,735	0.027	0.057	0.080	0.087	0.089	0.092	0.095	0.098	0.101
	GFDL-SSP2-35	450	969	1,356	1,472	1,517	1,562	1,609	1,657	1,707	0.026	0.056	0.079	0.085	0.088	0.091	0.093	0.096	0.099
	GFDL-SSP2-50	443	956	1,337	1,452	1,496	1,541	1,587	1,635	1,684	0.026	0.055	0.078	0.084	0.087	0.089	0.092	0.095	0.098
	GFDL-SSP2-100	444	957	1,339	1,454	1,498	1,543	1,589	1,637	1,686	0.026	0.056	0.078	0.084	0.087	0.090	0.092	0.095	0.098
	GFDL-SSP3-35	447	964	1,348	1,465	1,508	1,554	1,600	1,648	1,698	0.026	0.056	0.078	0.085	0.088	0.090	0.093	0.096	0.099
	GFDL-SSP3-50	426	917	1,283	1,394	1,436	1,479	1,523	1,569	1,616	0.025	0.053	0.074	0.081	0.083	0.086	0.088	0.091	0.094
	GFDL-SSP3-100	389	838	1,172	1,273	1,312	1,351	1,392	1,433	1,476	0.023	0.049	0.068	0.074	0.076	0.078	0.081	0.083	0.086
	GFDL-SSP5-35	447	963	1,347	1,463	1,507	1,552	1,599	1,647	1,696	0.026	0.056	0.078	0.085	0.087	0.090	0.093	0.096	0.098
	GFDL-SSP5-50	430	926	1,295	1,407	1,449	1,493	1,537	1,584	1,631	0.025	0.054	0.075	0.082	0.084	0.087	0.089	0.092	0.095
	GFDL-SSP5-100	380	818	1,145	1,243	1,281	1,319	1,359	1,399	1,441	0.022	0.047	0.066	0.072	0.074	0.077	0.079	0.081	0.084
	MPI-SSP1-35	488	1,052	1,471	1,598	1,646	1,695	1,746	1,798	1,852	0.028	0.061	0.085	0.093	0.095	0.098	0.101	0.104	0.107

Amenaza	Clima	PML absoluta (CRC millones)									PML relativa (%)								
		10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
	MPI-SSP1-50	487	1,051	1,469	1,596	1,644	1,693	1,744	1,796	1,850	0.028	0.061	0.085	0.093	0.095	0.098	0.101	0.104	0.107
	MPI-SSP1-100	516	1,112	1,556	1,690	1,741	1,793	1,847	1,902	1,959	0.030	0.065	0.090	0.098	0.101	0.104	0.107	0.110	0.114
	MPI-SSP2-35	506	1,091	1,526	1,657	1,707	1,758	1,811	1,865	1,921	0.029	0.063	0.089	0.096	0.099	0.102	0.105	0.108	0.111
	MPI-SSP2-50	543	1,171	1,637	1,778	1,832	1,887	1,943	2,002	2,062	0.032	0.068	0.095	0.103	0.106	0.109	0.113	0.116	0.120
	MPI-SSP2-100	482	1,039	1,453	1,579	1,626	1,675	1,725	1,777	1,830	0.028	0.060	0.084	0.092	0.094	0.097	0.100	0.103	0.106
	MPI-SSP3-35	493	1,063	1,487	1,615	1,663	1,713	1,765	1,818	1,872	0.029	0.062	0.086	0.094	0.097	0.099	0.102	0.105	0.109
	MPI-SSP3-50	526	1,135	1,587	1,724	1,776	1,829	1,884	1,940	1,999	0.031	0.066	0.092	0.100	0.103	0.106	0.109	0.113	0.116
	MPI-SSP3-100	479	1,033	1,445	1,570	1,617	1,666	1,716	1,767	1,820	0.028	0.060	0.084	0.091	0.094	0.097	0.100	0.103	0.106
MPI-SSP5-35	479	1,032	1,443	1,567	1,614	1,663	1,713	1,764	1,817	0.028	0.060	0.084	0.091	0.094	0.096	0.099	0.102	0.105	
MPI-SSP5-50	465	1,002	1,402	1,523	1,569	1,616	1,664	1,714	1,765	0.027	0.058	0.081	0.088	0.091	0.094	0.097	0.099	0.102	
MPI-SSP5-100	510	1,100	1,539	1,671	1,721	1,773	1,826	1,881	1,937	0.030	0.064	0.089	0.097	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	