

Consultancy for the Analysis of Probabilistic  
Risk Assessment Results to Inform  
Reconstruction Projects in Costa Rica

INFORME TÉCNICO

# Entregable 4 – Herramienta para el Análisis Costo/Beneficio de Inversiones Resilientes

**Autor:**

Andrés Abarca Jiménez PhD, ATLAS Consulting  
Consultor

**Entregado a:**

UN Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)  
Regional Office for the Americas and the Caribbean (ROAC)

Febrero 2026

<b>Documento:</b>	Entregable 4 – Herramienta para el Análisis Costo/Beneficio de Inversiones Resilientes
<b>Referencia contrato:</b>	2500389115
<b>Referencia entregable:</b>	JO 261451 - Output 4
<b>Autores:</b>	Andrés Abarca Jiménez
<b>Fecha entrega:</b>	2026-02-04
<b>Supervisor UNDRR:</b>	Cristóbal López Maciel

## TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción .....	3
2	Descripción de la Herramienta .....	4
3	Metodología de Cálculo .....	5
3.1	Descripción General .....	5
3.2	Muestreo de Vulnerabilidad (Riesgo Base) .....	6
3.3	Alcance y Tipología de Activos.....	8
4	Intervenciones y Calculadora de Resultados.....	10
4.1	Factores de Intervención .....	10
4.2	Valoración Ambiental: Carbono Evitado .....	12
4.3	Análisis Financiero (Resultados) .....	12
5	Caso de Estudio (Ejemplo y Validación) .....	14
6	Análisis Técnico: Aplicabilidad a Costa Rica.....	16
7	Recomendaciones y Escalabilidad .....	17
8	Anexo: Contexto del Marco Global de Evaluación de Riesgos (GRAF) .....	18

# 1 Introducción

El presente documento constituye el **Entregable 4** de la consultoría "Análisis de Resultados de la Evaluación Probabilista de Riesgos para Informar Proyectos de Reconstrucción en Costa Rica", desarrollada para la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR).

El propósito central de este informe es la **documentación de las suposiciones y metodologías de cálculo** implementadas para el desarrollo de una herramienta para el análisis costo-beneficio de inversiones resilientes y la evaluación técnica de su aplicabilidad en Costa Rica. Esta herramienta permite estimar de forma cuantitativa los beneficios de intervenciones en infraestructura crítica, a partir de la comparación entre escenarios de riesgo actuales (sin intervención) y futuros (con intervención). Para su desarrollo y como principal fuente de información, se han utilizado los resultados de riesgo multiamenaza disponibles a través del **Marco Global de Evaluación de Riesgos (GRAf)** de la UNDRR.

Con el fin de asegurar la disponibilidad de los recursos generados, así como una trazabilidad de las versiones y cambios futuros, la herramienta y sus recursos asociados se han incluido en un repositorio público que puede ser consultado en la dirección electrónica:

<https://github.com/andresabarca-atlas/UNDRR-Herramienta-CBA>



Esta herramienta **SÍ** considera:

- Un análisis aproximado de **pérdidas económicas por daños físicos** a la infraestructura, apto para una **evaluación inicial** de un inventario y posibles intervenciones.
- Escenarios de riesgo base y riesgo reducido a través de intervenciones aplicadas a **infraestructura existente**.
- Activos limitados de los sectores Educación (centros educativos primarios y secundarios), Salud (EBAIS, clínicas y hospitales), Vivienda (Unifamiliar, bono social y multifamiliar hasta 4 pisos), Transporte (carreteras).

Esta herramienta **NO** considera:

- Un análisis **detallado** de pérdidas económicas, específico para ninguna estructura, apto para tomar decisiones a nivel de activo.
- Un análisis de **pérdidas económicas indirectas**, provenientes de interrupción del servicio, o potenciales costos sociales por personas desplazadas, heridas o fatalidades.
- Escenarios de riesgo de **infraestructura nueva** bajo diferentes métodos de construcción.
- Activos de los sectores Energía y Acueductos, tampoco **puentes, universidades, edificios altos**, o ningún otro tipo de activo explícitamente indicado en la herramienta.

## 2 Descripción de la Herramienta

La herramienta denominada "Herramienta\_CBA\_v3.1.xlsx" ha sido desarrollada en un entorno de hoja de cálculo abierta para garantizar su interoperabilidad y facilidad de adopción por parte de funcionarios públicos sin necesidad de licencias de software especializado.

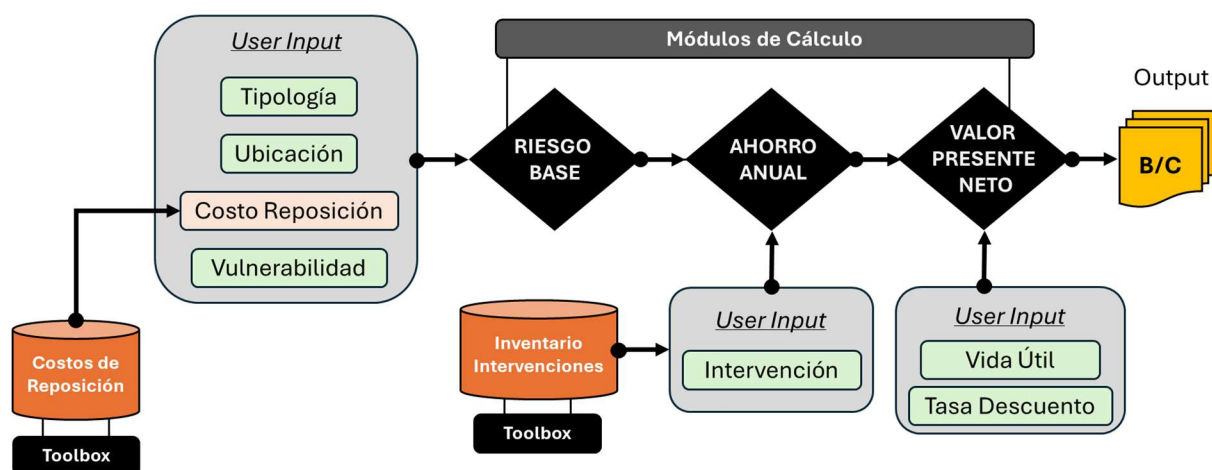
El modelo se fundamenta en la comparación de la **Pérdida Anual Promedio (AAL)** actual de un activo con la futura luego de realizar intervenciones que reduzcan el riesgo y aumenten su vida útil. A diferencia de los modelos deterministas tradicionales, esta herramienta incorpora la incertidumbre y la frecuencia de eventos mediante la integración de los datos del **Marco Global de Evaluación de Riesgos (GRAF)**, los cuales consideran miles de escenarios de eventos posibles (incluso aquellos que no han ocurrido aún pero que son físicamente plausibles).

- **Métricas Estimadas:**

- **AAL (Pérdida Anual Promedio):** Costo anualizado de los daños esperados a largo plazo. Es la "prima de seguro técnica" pura que se debería pagar para cubrir todas las pérdidas futuras probables de un activo.
- **AALR (Tasa de AAL):** Riesgo relativo normalizado por el valor del activo, esencialmente la pérdida económica anual dividida entre el valor de reposición del activo. Como referencia, una obra nueva diseñada y construida bajo estándares modernos puede esperar un AALR en el rango de 0.1%-0.5% por desastres naturales.
- **Beneficio por Carbono Evitado:** Monetización de las emisiones de CO<sub>2</sub>e no generadas al evitar la reconstrucción de escombros (\$40/ton).

Basado en los inputs del usuario y el procesamiento estadístico de resultados del GRAF, dependiendo del **tipo de estructura, su ubicación, su valor de reposición y estado de deterioro**, la herramienta hace un estimado de las pérdidas esperadas bajo el escenario actual. Posteriormente, el usuario puede definir entre un inventario de intervenciones que poseen un costo y beneficio asociado, con el cual la herramienta hace un análisis en una ventana temporal para determinar si la inversión representada por la implementación de las intervenciones incorpora un beneficio económico neto en el plazo determinado.

En la Figura 1 se presenta el diagrama del flujo de trabajo implementado para la herramienta, donde se indican los principales datos de entrada requeridos por el usuario, así como cada uno de los módulos de cálculo utilizados para el cálculo de la relación de beneficio/costo de la implementación de intervenciones en estructuras existentes.



**Figura 1:** Diagrama de flujo del funcionamiento de la herramienta

## 3 Metodología de Cálculo

### 3.1 Descripción General

La base de la calculadora se centra en el procesamiento estadístico de los resultados del GRAF, el cual proporciona una base de datos sobre la exposición de activos en Costa Rica y su riesgo asociado ante terremotos e inundaciones. Como se muestra en la Figura 2, la base de datos contiene información sobre más de **2.2 millones de activos** clasificados en seis sectores: Acueductos, Energía, Transporte, Residencial, Educación y Salud. Para cada uno de estos activos, el GRAF reporta una estimación de la Pérdida Anual Promedio (AAL), y su correspondiente relativo AALR el cual normaliza el valor de pérdida anual con respecto al valor de reposición del activo expuesto. Los resultados analizados fueron desarrollados por la empresa Evaluación de Riesgos Naturales (ERN) en el año 2023, **información a profundidad acerca de los resultados del GRAF se pueden consultar en el anexo de este informe.**

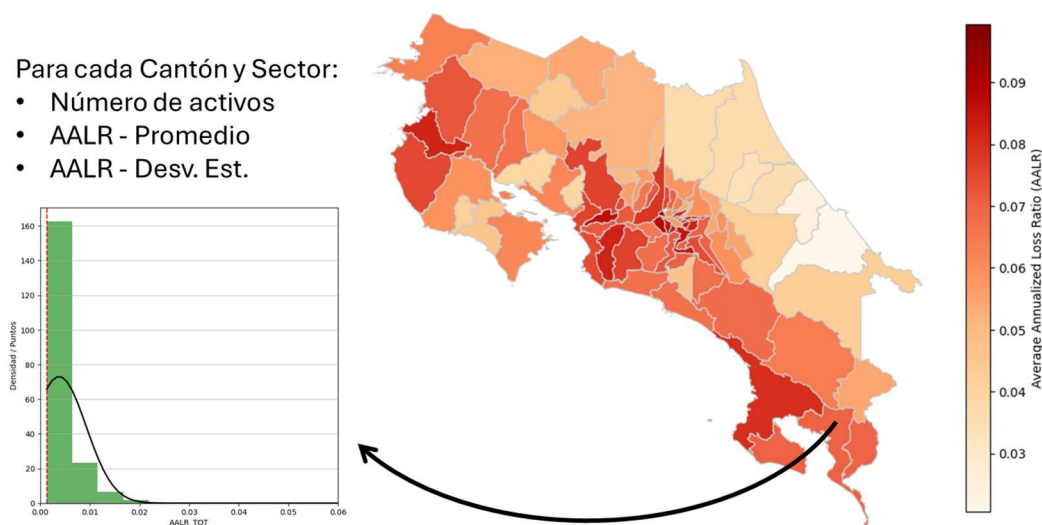
**Tabla 1:** Distribución del número de activos GRAF por tipología

<b>Residencial</b>	1,765,732
<b>Energía</b>	242,115
<b>Acueductos</b>	189,185
<b>Educación</b>	4,600
<b>Transporte</b>	1,305
<b>Salud</b>	696



**Figura 2:** Distribución espacial de activos GRAF y número de activos por tipología

La herramienta se alimenta de los valores estadísticos de los resultados del GRAF, donde se genera un modelo de la muestra total de activos por cada sector y cantón en la base de datos. Como se muestra a nivel de ejemplo en la Figura 3 para los activos Residenciales ubicados en el cantón de Golfito, los resultados de pérdidas relativas totales se procesan para definir **el número de activos en la base de datos, el valor promedio, la desviación estándar y el valor mínimo observado de AALR**.



**Figura 3:** Proceso estadístico de AALR para el sector Vivienda en el cantón de Golfito

## 3.2 Muestreo de Vulnerabilidad (Riesgo Base)

Una vez generado el modelo estadístico que captura las pérdidas relativas por cada tipo de activo y cantón, la herramienta lleva a cabo un muestreo del modelo para definir una pérdida anual

probable basada en la vulnerabilidad del activo reportada por el usuario. Este valor de pérdida anual representa el Riesgo Base ( $R_{base}$ ) del activo en condiciones actuales, sin llevar a cabo ninguna intervención y se calcula dependiendo del estado del activo a como se describe a continuación.

A partir de la información estadística de AALR promedio ( $\mu$ ), desviación estándar ( $\sigma$ ) y valor mínimo observado ( $AALR_{min}$ ), el usuario selecciona un factor de vulnerabilidad ( $V$ ):

1. Si  $V = \text{"Promedio"}$ , se asume que el activo se comporta como el promedio del stock cantonal y el riesgo base se calcula como:

$$R_{base} = \mu * \$CostoReposición$$

Este factor de vulnerabilidad tiene la intención de reflejar activos que fueron construidos bajo normas desactualizadas, pero que han recibido mantenimiento regular y poseen un estado aceptable y por lo tanto representan un caso típico para la zona y sector analizada.

2. Si  $V = \text{"Alta"}$ , se penaliza el activo asumiendo que está en el percentil superior de riesgo y el riesgo base se calcula como:

$$R_{base} = (\mu + 2\sigma) * \$CostoReposición$$

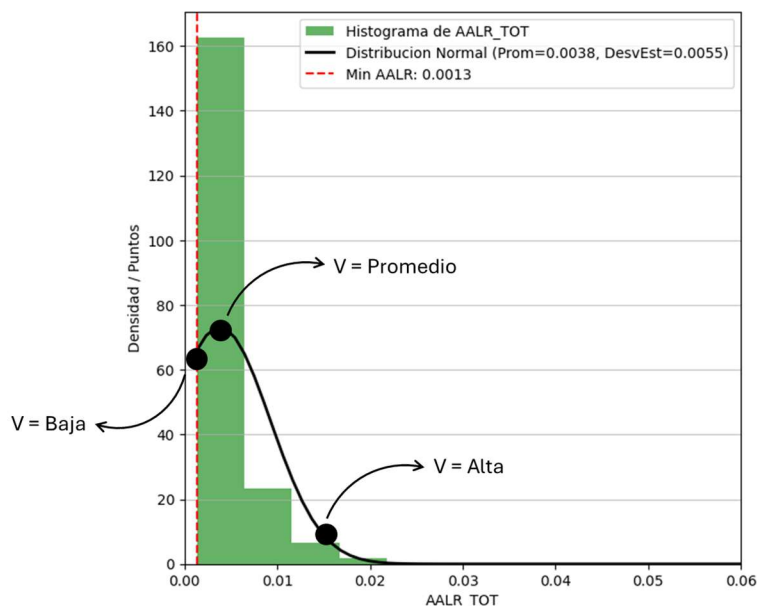
Este factor de vulnerabilidad refleja activos que se encuentran en un estado de deterioro el cual no los hace aptos para resistir eventos catastróficos sin experimentar pérdidas económicas altas, largos tiempos de inoperatividad o, en el peor de los casos, no pueden garantizar la seguridad de sus usuarios.

3. Si  $V = \text{"Baja"}$ , se premia al activo asumiendo que está en el percentil inferior de riesgo y el riesgo base se calcula como:

$$R_{base} = \text{Mínimo}(\mu - \sigma, AALR_{min}) * \$CostoReposición$$

Este factor de vulnerabilidad refleja activos que fueron construidos considerando normas actualizadas y han recibido un adecuado mantenimiento. La inclusión del mínimo observado como límite inferior se incluye para evitar que el muestreo del modelo incurra en un valor de riesgo negativo, o por debajo de lo observado en la base de datos.

Como ejemplo, la Figura 4 muestra los resultados que se obtendrían del muestreo para cada uno de los niveles de vulnerabilidad para los datos disponibles en la base de datos para activos del sector Vivienda ubicados en el cantón de Golfito.



**Figura 4:** Resultados del muestreo de AALR para el sector Vivienda en el cantón de Golfito

### 3.3 Alcance y Tipología de Activos

Dado que el cálculo del riesgo base se basa en el manejo estadístico de los resultados disponibles en la base de datos del GRAF, la herramienta se ha calibrado estrictamente para una cantidad limitada de taxonomías representadas en los resultados del GRAF.

La herramienta está diseñada para atender proyectos específicos de los sectores Vivienda, Educación, Salud y Transporte; una lista de ejemplos de tipologías incluidas y excluidas por cada sector se muestra en la Tabla 2. Los sectores de Energía y Acueductos fueron excluidos por completo del diseño, a pesar de formar parte del GRAF, debido a la gran variedad de proyectos que pueden ser considerados dentro de estas categorías, de los cuales el GRAF no posee una muestra representativa.

**Tabla 2:** Tipologías de activos consideradas en la herramienta

Sector	Tipologías Incluidas	Tipologías Excluidas
<b>Educación</b>	Aulas, comedores, gimnasios, infraestructura administrativa.	Centros universitarios, laboratorios
<b>Salud</b>	EBAIS, Clínicas, Hospitales.	Equipamiento biomédico (contenidos)
<b>Residencial</b>	Vivienda unifamiliar, Vivienda multifamiliar, bonos de vivienda	Condominios verticales de >4 pisos
<b>Transporte</b>	Red vial nacional/cantonal, carreteras asfaltadas, carreteras de lastre	Puentes, túneles



Reconociendo que el costo de reposición de los activos es un input fundamental de la metodología de cálculo, y que los potenciales usuarios de la herramienta no siempre tendrán un valor de referencia para los activos que quieran analizar, se ha incluido una pestaña de ayuda con una base de datos de costos de reposición de referencia, la cual se puede utilizar para estimar este valor para los activos considerados dentro del alcance de la herramienta.

Los costos de reposición incluidos en la herramienta se observan en la Tabla 3, los cuales fueron estimados según valores de referencia para construcciones para un costo y tipo de cambio del año 2025. Las referencias consultadas se pueden observar en la presente sección.

**Tabla 3:** Costos de reposición de referencia incluidos en la herramienta

Sector	Tipología	Unidad	Costo unitario \$USD
Residencial	Residencial baja	m2	\$ 600.0
	Residencial media	m2	\$ 850.0
	Residencial alta	m2	\$ 1,050.0
Educación	Centro educativo rural	m2	\$ 900.0
	Centro educativo urbano	m2	\$ 1,150.0
Salud	EBAIS	m2	\$ 1,100.0
	Clínica	m2	\$ 1,500.0
	Hospital	m2	\$ 2,400.0
Transporte	Carretera de asfalto 2 carriles	km	\$ 1,200,000.0
	Carretera de asfalto 3 carriles	km	\$ 1,800,000.0
	Carretera de asfalto 4 carriles	km	\$ 2,400,000.0
	Carretera de concreto 2 carriles	km	\$ 1,600,000.0
	Carretera de concreto 3 carriles	km	\$ 2,400,000.0
	Carretera de concreto 4 carriles	km	\$ 3,200,000.0
	Camino de lastre	km	\$ 200,000.0

## Referencias para Costos de Reposición (Base 2025)

### 1. Edificaciones (Sectores Educación, Salud y Residencial):

- **CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos):** "Tabla de Valores Unitarios por Tipo de Obra" (Promedios 2024-2025). Utilizado como base para el metro cuadrado de construcción estándar.
- **Ministerio de Hacienda (Órgano de Normalización Técnica - ONT):** "Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva". Utilizado para calibrar costos de viviendas de interés social y estructuras gubernamentales.
- **SICOP (Sistema Integrado de Compras Públicas):** Análisis de precios de adjudicaciones recientes para licitaciones de "Escuelas Tipo" (MEP) y EBAIS/Clínicas (CCSS)

### 2. Infraestructura Vial (Sector Transporte):

- **MOPT / CONAVI:** Precios promedio de licitación para obras de rehabilitación, recarpeteo asfáltico y construcción de puentes menores.
- **LanammeUCR:** Informes técnicos sobre costos de mantenimiento de la Red Vial Nacional.

## 4 Intervenciones y Calculadora de Resultados

A continuación, se describe la metodología y las suposiciones utilizadas para considerar escenarios de intervención en las obras existentes, con sus respectivos impactos en la reducción del riesgo base.

### 4.1 Factores de Intervención

La herramienta incorpora un Catálogo de Intervenciones para cada una de las tipologías consideradas en el análisis, de las cuales el usuario puede elegir para evaluar su costo y potencial impacto en reducción del riesgo base de la obra. Cada intervención disponible está asociada a un costo de implementación, el cual está definido como un porcentaje del costo de reposición de la obra, y a una reducción del riesgo base.

A nivel numérico y de cálculo, cada intervención tiene dos coeficientes asociados, los cuales han sido determinados por juicio experto, pero pueden ser modificados por el usuario:

- **$\alpha_i$  : Factor de costo de Inversión** (% del valor de reposición)
- **$\beta_i$  : Factor de Mitigación de Riesgo** (% de la pérdida anualizada AALR que se reduce al implementar la intervención)

Estos coeficientes se aplican para calcular los siguientes parámetros:

- **Costo de Intervención ( $C_i$ ):** Costo asociado a llevar a cabo la intervención, basado en precios típicos de construcción en el país. Excluye costos de diseño y tramitología.

$$C_i = \alpha_i * \$CostoReposicion$$

- **Riesgo Reducido ( $AAL_{Red}$ ):** Valor estimado de pérdidas anualizadas del activo, después de aplicarse las intervenciones propuestas. Este valor es siempre menor que el Riesgo Base calculado anteriormente y posee **un mínimo de un 0.1% del valor del costo de reposición**, lo que constituye un piso de riesgo, para reconocer que inclusive estructuras nuevas tienen algún riesgo asociado.

$$AAL_{Red} = Min(R_{base} * (1 - \beta_i), 0.01) * \$CostoReposicion$$

- **Ahorro anual ( $B_{fin}$ ):** Monto económico que se deja de percibir en forma de mantenimiento y reparaciones, debido a la reducción en el riesgo base del activo, luego de implementar las intervenciones propuestas.

$$B_{fin} = R_{base} * \$CostoReposicion - AAL_{Red}$$

El inventario de intervenciones recomendado para cada sector, así como sus respectivos factores el costo y de beneficio se muestran en la Tabla 4. Es importante destacar que el usuario tiene la posibilidad de modificar los factores en caso de poseer información específica del inventario que desea analizar.

**Tabla 4:** Inventario de intervenciones incluido en la herramienta

Sector	Intervención	Descripción	Factor de Costo $\alpha_i$	Factor de Beneficio $\beta_i$
Educación	Mantenimiento Correctivo Menor	Reparación de techos/cielos y sistemas eléctricos	0.05	0.2
	Reforzamiento Estructural (Retrofitting)	Refuerzo de sistema estructural según código sísmico	0.35	0.7
	Reconstrucción Total (Código Actual)	Demolición y construcción nueva bajo código vigente	1.1	1
Residencial	Mejora de Techos y Drenajes	Reparación de cubiertas y bajantes	0.08	0.25
	Reforzamiento de Sistema Estructural	Refuerzo de sistema estructural según código sísmico	0.3	0.7
	Reconstrucción (Vivienda Nueva)	Demolición y construcción nueva bajo código vigente	1.1	1
Salud	Reforzamiento No Estructural	Aseguramiento de equipos/cielos/fachadas	0.1	0.3
	Reforzamiento Estructural Integral	Refuerzo completo para seguridad de la vida y operación	0.4	0.85
	Reconstrucción Hospitalaria	Nueva edificación de alta complejidad	1.2	1
Transporte	Estabilización de Taludes	Muros de contención y anclajes en puntos críticos	0.15	0.4
	Mejora de Sistemas de Drenaje	Ampliación de alcantarillas y cunetas	0.1	0.3
	Rehabilitación Mayor (Recarpeteo)	Sustitución de base y carpeta asfáltica/concreto	0.45	0.7

**Referencias para Costos y Beneficios de Intervenciones (Base 2025)**
**Costos:**

- Se utilizan las mismas referencias que las indicadas en la sección anterior

**Beneficios:**

- Zhang, Y., Fung, J. F., Cook, D., Johnson, K. J., & Sattar, S. (2024). Benefit-cost analysis for earthquake-resilient building design and retrofit: State of the art and future research needs. *Natural Hazards Review*, 25(3), 03124001. <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1910>

## 4.2 Valoración Ambiental: Carbono Evitado

Con el fin de integrar un componente de beneficio social/ambiental en el flujo de cálculo, el modelo integrado en la herramienta integra un componente donde se monetizan las emisiones de CO<sub>2</sub> que se evitan al prevenir el daño y posterior reparación o reconstrucción de los activos.

Este modelo utiliza un modelo sencillo donde se considera un factor de conversión de un kilogramo de CO<sub>2</sub> evitado por cada dólar ahorrado en reparación o reconstrucción de obra física. Además, a partir de las recomendaciones del MIDEPLAN, se toma un costo social de **\$40 por cada tonelada de CO<sub>2</sub>** así como una **tasa de descuento de 8.31% anual**, para traer los ahorros a valor presente como se describe en la siguiente sección.

A nivel numérico y de cálculo, el beneficio social ambiental se considera de la siguiente manera:

- **Emisiones evitadas ( $E_{CO_2}$ ):** Toneladas de CO<sub>2</sub> que se evitan al llevar a cabo las intervenciones consideradas.

$$E_{CO_2} = B_{fin} * \frac{FactorConversion \left( \frac{kgCO_2}{USD} \right)}{1000}$$

*Factor utilizado: 1.0 kg CO<sub>2</sub>e / USD (Basado en intensidad de carbono de la construcción).*

- **Beneficio Social-Ambiental ( $B_{soc}$ ):** Beneficio social debido a la reducción de CO<sub>2</sub> implícita por las intervenciones realizadas, expresado como un monto económico equivalente.

$$B_{soc} = E_{CO_2} * PrecioSocialCarbono$$

*Precio utilizado: \$40 USD/ton (Estándar recomendado por el MIDEPLAN para evaluación social).*

## 4.3 Análisis Financiero (Resultados)

Una vez que se han contabilizado los ahorros económicos anuales, se debe de hacer un análisis financiero temporal para determinar si el beneficio percibido a lo largo de la vida útil remanente del activo, compensa el costo de la inversión realizada en la intervención.

- **Valor Presente Neto ( $VPN_{fin}$ ):** El valor total de ahorros futuros traídos a valor presente, que se calcula dada una tasa de descuento ( $r$ ) elegida por el usuario, y una vida útil esperada del proyecto ( $n$ ) expresada en años.

$$VPN_{fin} = \sum_{t=1}^n \frac{B_{fin}}{(1+r)^t}$$

- **Ahorro Social Total ( $VPN_{soc}$ ):** El valor total de ahorros sociales futuros traídos a valor presente, que se calcula dada una tasa de descuento ( $r_{soc}$ ) elegida por el usuario, y una vida útil esperada del proyecto ( $n$ ) expresada en años.

$$VPN_{soc} = \sum_{t=1}^n \frac{B_{soc}}{(1 + r_{soc})^t}$$

*El cálculo se hace de manera separada al  $VPN_{fin}$  ya que se utiliza una tasa de descuento social diferente, requerida por el MIDEPLAN para llevar a cabo este tipo de análisis.*

- **Relación Beneficio/Costo (B/C):** Finalmente, se consigue un indicador de costo-beneficio dividiendo los beneficios netos en valor presente sobre el costo de la intervención. Este valor es el indicador que se utiliza para evaluar la factibilidad de la inversión en términos meramente económicos.

$$B/C = \frac{VPN_{fin} + VPN_{soc}}{C_i}$$

## 5 Caso de Estudio (Ejemplo y Validación)

A manera de ejemplificar y validar el funcionamiento de la herramienta, se eligió un caso de estudio tomado de la lista de proyectos PROERI correspondiente a una intervención propuesta en la **Escuela Colorado, ubicada en Corredores de Puntarenas**.

Para este activo, información de PROERI indica que se encuentra en una condición de riesgo “Alto” y que se plantea un proyecto por un monto de \$66,536.5 para llevar a cabo la rehabilitación del techo, así como una mejoría del sistema pluvial. Por otro lado, este mismo proyecto en el GRAF, reporta una pérdida anualizada relativa (AALR) de 0.0232 (equivalente a un 2.32%). A partir de fotografías satelitales, se determina que el proyecto tiene un área de aproximadamente 1400 m<sup>2</sup> en aulas, comedor y obras complementarias, para lo cual se estima un valor de reposición de \$1,260,000. La ubicación de la obra, así como los parámetros de entrada para la herramienta se pueden observar en la Figura 5 y la Tabla 5 correspondientemente.



**Figura 5:** Ubicación de Escuela Colorado, elegida como caso de estudio

**Tabla 5:** Detalles del caso de estudio:

Parámetro	Detalle del Caso
<b>Activo</b>	Escuela Colorado (ID: 43754-EP-FNE-014)
<b>Ubicación</b>	Corredores, Puntarenas
<b>Valor de Reposición</b>	\$1,260,000 USD
<b>Perfil de Riesgo</b>	Vulnerabilidad "Alta"
<b>Intervención</b>	Mantenimiento correctivo menor

Luego de completar la información en la herramienta, así como definir algunos otros parámetros como una vida útil de 30 años y una tasa de descuento del 4%, se obtienen los resultados observados en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Valores obtenidos de la herramienta:

Parámetro	Resultado
<b>AALR Referencia</b>	2.315%
<b>Riesgo Base (AAL)</b>	\$29,173.7 USD
<b>Intervención</b>	Mantenimiento correctivo menor
<b>Costo de Intervención</b>	\$63,000 USD
<b>Riesgo Reducido (AAL<sub>red</sub>)</b>	\$23,338.9 USD
<b>Ahorro Anual</b>	\$5,834.73 USD
<b>Vida Útil</b>	30 años
<b>Tasa Descuento</b>	4%
<b>Valor Presente Neto (VPN<sub>fin</sub>)</b>	\$685,234.2 USD
<b>Emisiones evitadas E<sub>CO2</sub></b>	62.8 toneladas CO2
<b>Ahorro social total (VPN<sub>soc</sub>)</b>	\$2,552.4 USD
<b>Beneficio/Costo</b>	1.64

Como se puede observar, la herramienta asigna un valor casi exacto de riesgo base, como el calculado en el GRAF para el activo en específico (ambos de 2.32%) y un valor muy cercano para el costo requerido de la intervención propuesta (\$66,500 presupuestado contra \$63,000 estimado por la herramienta). Además, para este proyecto y esta intervención, se obtiene un índice de Beneficio/Costo de un 1.64, por lo que la inversión propuesta en este proyecto se valida desde el punto de vista económico.

## 6 Análisis Técnico: Aplicabilidad a Costa Rica

### 6.1 Ventajas Identificadas

1. **Cambio de Paradigma:** Permite a instituciones gubernamentales evaluar proyectos basándose en "riesgo evitado" y no solo en demanda de servicios, alineándose con las prioridades del Marco de Sendai.
2. **Granularidad Territorial:** Al utilizar las estadísticas cantonales del GRAF (media y desviación estándar), la herramienta discrimina el riesgo y permite a tomadores de decisiones optimizar el uso de sus presupuestos para llevar a cabo intervenciones de una manera eficiente.
3. **Sostenibilidad:** La inclusión de la variable de carbono moderniza la evaluación de proyectos públicos, alineándose con el Plan Nacional de Descarbonización.

### 6.2 Limitaciones Técnicas

1. **Resolución de Datos (Proxy):** La herramienta utiliza estadísticas agregadas a nivel cantonal. No sustituye un estudio de amenaza sitio-específico (geotecnia o hidrología detallada) para el diseño final de la obra.
2. **Simplificación de Costos:** Los costos de intervención son paramétricos (% del valor del activo). En obras complejas (ej. hospitales), estos márgenes de error pueden ser significativos.
3. **Riesgo Indirecto:** El modelo actual cuantifica daños directos (infraestructura) y a nivel parcial también ambientales, pero no captura pérdidas por interrupción de servicios (ej. días de clases perdidos o interrupción de carreteras) lo cual representa un gran porcentaje de las pérdidas económicas totales que no se están contabilizando como parte del análisis.

### 6.3 Desafíos de Implementación

- **Cultura de Datos:** La herramienta requiere que las instituciones desarrollen una cultura de documentación acerca de sus inventarios de activos y mantengan actualizados parámetros como tipología, tamaño, estado de deterioro, cronograma de mantenimiento y costos de reposición para sus edificaciones.
- **Capacitación:** Es necesario nivelar el conocimiento de las Unidades Ejecutoras sobre conceptos probabilistas (AAL, Periodo de Retorno) para evitar la interpretación errónea de los resultados ("caja negra").



## 7 Recomendaciones y Escalabilidad

Para garantizar la sostenibilidad y evolución de esta herramienta dentro del ecosistema de inversión pública de Costa Rica, se recomienda:

### 7.1 Corto Plazo: Fortalecimiento de Datos

- **Consideración Explícita de Vulnerabilidad:** Se recomienda incorporar explícitamente el uso de curvas de vulnerabilidad específicas para cada tipo de activo en el inventario a evaluar. Esto mejoraría significativamente los resultados y las métricas que se pueden reportar para tomar mejores decisiones basadas en riesgo.
- **Validación de Parámetros:** Establecer una mesa de trabajo con profesionales técnicos expertos en la gestión de riesgo en el país para actualizar la herramienta con
- **Integración de Redes:** Expandir el modelo para incluir otros tipos de infraestructura como por ejemplo puentes, lo cual requiere procesar nuevas capas de datos GRAF y generar nueva información.

### 7.2 Mediano Plazo: Plataforma Web

- Migrar la lógica de cálculo de Excel a un **Dashboard Web (PowerBI o Tableau)** conectado en tiempo real a las bases de datos del SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública). Esto eliminaría el riesgo de versiones desactualizadas del archivo y centralizaría la información, al mismo tiempo que la haría más llamativa y mejoraría su adopción.
- Llevar a cabo el desarrollo de un módulo de cálculo que evalúe el riesgo bajo **escenarios de nuevas construcciones** (en contraste a la herramienta actual que evalúa intervenciones sobre activos existentes). Esto permitiría a tomadores de decisiones evaluar opciones de construcción de nuevas obras, considerando beneficios futuros en reducción de riesgo para justificar la inclusión de **criterios de resiliencia en el proceso de diseño y construcción**.

### 7.3 Política Pública

- Incorporar el cálculo de **métricas de riesgo** como un requisito obligatorio en la etapa de Perfil de Proyecto para toda infraestructura pública crítica, condicionando la aprobación de recursos de reconstrucción a la demostración de una reducción efectiva del riesgo.

## 8 Anexo: Contexto del Marco Global de Evaluación de Riesgos (GRAF)

### 8.1 Descripción General

El Marco Global de Evaluación de Riesgos (GRAF) proporciona una base de datos sobre la exposición de activos en Costa Rica y su riesgo asociado ante terremotos e inundaciones. Como se muestra en la Figura 2, la base de datos contiene información sobre más de **2.2 millones de activos** clasificados en seis sectores: Acueductos, Energía, Transporte, Residencial, Educación y Salud. Para cada uno de estos activos, el GRAF reporta una estimación de la Pérdida Anual Promedio (AAL), y su correspondiente relativo AALR el cual normaliza el valor de pérdida anual con respecto al valor de reposición del activo expuesto. Los resultados analizados fueron desarrollados por la empresa Evaluación de Riesgos Naturales (ERN) en el año 2023.

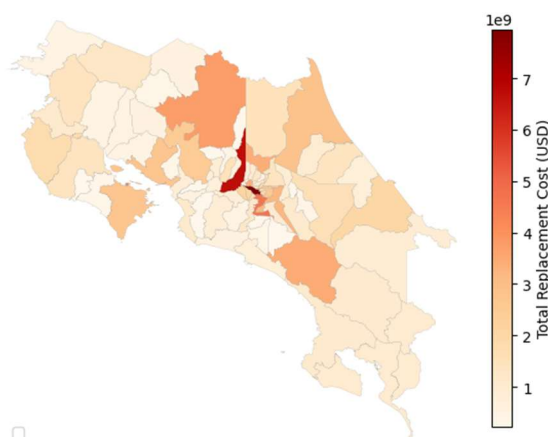
### 8.2 Resultados disponibles GRAF

El valor total de reemplazo de los activos expuestos en la base de datos GRAF asciende a **\$109,352 millones de dólares**. Como se muestra en la Figura 6, el sector **Residencial** representa la mayor parte de este valor (72%), seguido por el sector de **Transporte** (14%).

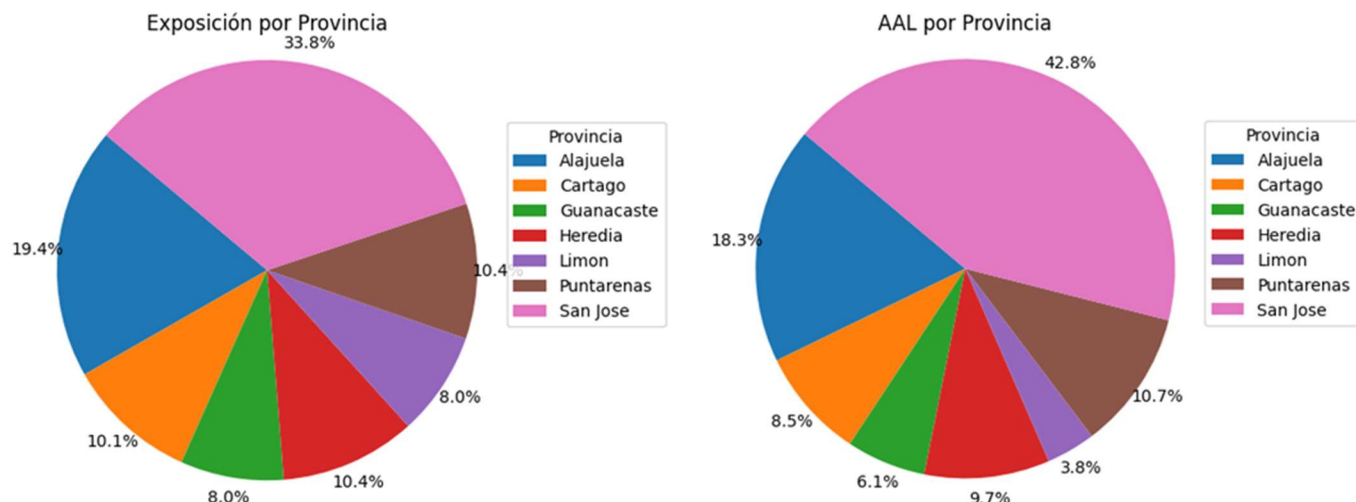
A nivel regional, la exposición se concentra principalmente en las provincias de San José y Alajuela, con un 34% y un 19% del inventario nacional respectivamente, mientras que las otras provincias poseen un valor de reposición alrededor del 10% cada una como se muestra en la Figura 7. A nivel cantonal, los cinco cantones que acumulan la mayor cantidad de exposición son **San José (Central), Alajuela (Central), Desamparados, San Carlos y Pérez Zeledón**; las cuales acumulan \$26,480 millones en costo de reposición (el 24% del total para todo el portafolio de activos nacional).

**Tabla 7:** Distribución del número de activos GRAF por tipología

Tipo	Valor total
<b>Residencial</b>	\$ 98,014,990,000
<b>Energía</b>	\$ 670,420,000
<b>Acueductos</b>	\$ 2,107,590,000
<b>Educación</b>	\$ 2,183,260,000
<b>Transporte</b>	\$ 5,529,160,000
<b>Salud</b>	\$ 847,500,000



**Figura 6:** Costo de reposición de activos GRAF por tipología y su distribución regional por cantón



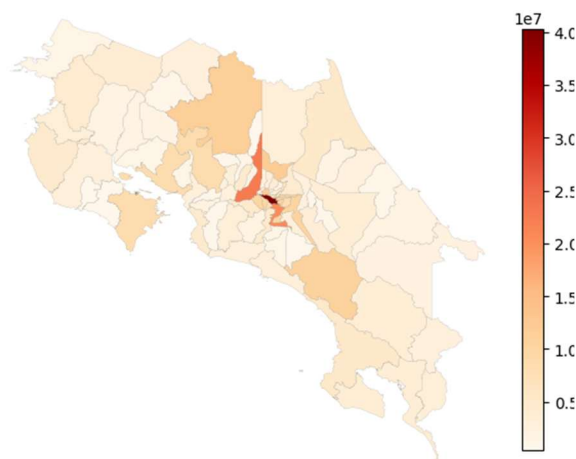
**Figura 7:** Distribución de costo de reposición por provincia (izquierda) y resultados totales de pérdidas anuales por provincia (derecha) según GRAF

En términos de resultados de pérdidas, la Pérdida Anual Promedio (AAL) total para Costa Rica, considerando las amenazas de sismo e inundación, se estima en **\$381.8 millones de dólares**. Un hallazgo fundamental de este análisis es que la amenaza sísmica es el principal motor del riesgo en el país, siendo responsable del **96% del AAL total**. Esta abrumadora contribución indica que las estrategias de reducción del riesgo de desastres y las normativas de construcción deben priorizar la mitigación del riesgo sísmico para ser efectivas. Geográficamente, la provincia de San José presenta el AAL más elevado, lo cual es consistente con su alta concentración de población y valor de activos.

La distribución de pérdidas anuales por sector se puede observar en la Tabla 8 , donde se evidencia que la mayoría de las pérdidas se acumulan en el sector **Residencial con un 81%** del total de pérdidas del país, lo cual está en línea con el valor expuesto correspondiente. En términos de valor relativo de pérdidas anuales, se observa que el sector Educativo posee un valor de AALR mucho mayor que la mayoría de los otros sectores, lo cual indica que este sector posee una vulnerabilidad relativa alta y puede ser considerado como un sector prioritario para inversión en resiliencia del país.

**Tabla 8:** Distribución de pérdidas anuales GRAF por tipología

Tipo	AAL Total	AALR
<b>Residencial</b>	\$ 311,825,700	0.32%
<b>Energía</b>	\$ 3,156,859	0.47%
<b>Acueductos</b>	\$ 5,943,288	0.28%
<b>Educación</b>	\$ 39,111,700	1.79%
<b>Transporte</b>	\$ 15,308,980	0.28%
<b>Salud</b>	\$ 6,053,278	0.71%



**Figura 8:** Distribución espacial de pérdidas anuales según resultados GRAF

Adicionalmente, la distribución espacial de pérdidas anuales promedio se puede observar en la Figura 8. A nivel cantonal, los cinco cantones que acumulan la mayor cantidad de pérdidas anuales son **San José (Central), Alajuela (Central), Desamparados, Heredia y San Carlos**; las cuales acumulan \$106.7 millones en pérdidas anuales promedio (el 28% del total para todo el portafolio de activos nacional).

### 8.3 Limitaciones de los resultados GRAF disponibles

Es importante reconocer las limitaciones inherentes al conjunto de datos GRAF para contextualizar los resultados. Las curvas de vulnerabilidad utilizadas no se encuentran disponibles en la base de datos, por lo cual los resultados reportados no pueden ser reproducidos ni verificados. Además, algunos de los resultados de inundaciones no se encuentran en la base de datos, lo cual no es ideal, especialmente considerando que los resultados indican un aporte muy bajo de pérdidas (sólo el 4% de las pérdidas totales) por esta amenaza. No se incluyen otras amenazas relevantes como la actividad volcánica o los deslizamientos, que también tienen un impacto significativo en el país. Finalmente, la base de datos de exposición, aunque extensa, no está completamente actualizada ya que proviene de bases de datos nacionales con diferentes años de referencia. Estas limitaciones deben ser consideradas al interpretar los resultados y formular recomendaciones.