



## Modelo de Terremoto del CCRIF



### *Sistema para la evaluación probabilista de amenaza y riesgo (SPHERA, por sus siglas en inglés)*

Los países del Caribe y de Centroamérica se enfrentan a una serie de peligros naturales, en particular a los relacionados con terremotos y huracanes.

El CCRIF SPC ofrece productos de seguro paramétrico que proporcionan cobertura ante ciclones tropicales, terremotos y exceso de lluvia. Estos productos fueron diseñados para limitar el impacto financiero ante eventos catastróficos causados por ciclones tropicales, terremotos y eventos de lluvia en exceso para los gobiernos del Caribe y Centroamérica, proporcionando liquidez de manera rápida a corto plazo cuando se activa una póliza.

Desde la introducción de estos productos, el CCRIF ha realizado 38 pagos a 13 países miembros, por un total aproximado de 138.8 millones de dólares, de los cuales 9.2 millones correspondieron a terremotos.

Durante el periodo de la póliza 2016/17, el CCRIF comenzó el desarrollo de nuevos modelos de evaluación de pérdidas por ciclones tropicales (TC) y terremotos (EQ) denominado colectivamente Sistema para Evaluación Probabilista de Amenaza y Riesgo (SPHERA, por sus siglas en inglés). SPHERA reemplazará el modelo actualmente utilizado por el CCRIF - Sistema de Estimación de Multi-Peligro de Riesgo (MPRES, por sus siglas en inglés). MPRES actualmente respalda los productos de seguros,

ante TC y EQ, adquiridos por países del Caribe y de Centroamérica.

Los nuevos modelos de evaluación de pérdidas implementados en SPHERA usan las bases de datos y técnicas más actualizadas. El nuevo modelo de terremoto en SPHERA es capaz de:

- Calcular las probabilidades de distintos umbrales de pérdidas económicas para la asignación del costo de pólizas del seguro paramétrico.
- Modelar pérdidas, en tiempo casi real, para edificios e infraestructura debidas al movimiento sísmico del terreno causado por un evento que ocurra en la región.
- Calcular el pago para los países asegurados ante la ocurrencia de un terremoto de acuerdo con los parámetros del evento definidos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

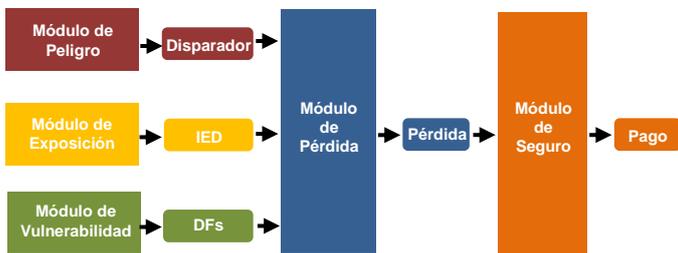
El módulo de amenaza por terremoto ha sido diseñado para estimar estadísticamente el impacto que causarían futuros terremotos a través de un enfoque de análisis probabilista de amenaza sísmica (PSHA, por sus siglas en inglés). Dicho enfoque combina, en tiempo y espacio, la frecuencia de ocurrencia de futuros terremotos de diferentes magnitudes y la distribución espacial de las intensidades de movimiento del terreno generados por cada evento.

## Componentes del modelo SPHERA para de terremoto

El modelo de terremoto es integrado por los siguientes módulos:

- Módulo de exposición, describe el entorno construido en cada país junto con el costo de reposición de cada elemento expuesto.
- Módulo de amenaza, calcula en tiempo casi real las intensidades del movimiento del terreno inducidas por la ocurrencia de un terremoto y estima el peligro sísmico a largo plazo a través de un análisis probabilista clásico.
- Módulo de vulnerabilidad, define la distribución de probabilidad de la pérdida económica para diferentes niveles de intensidad del movimiento del terreno inducida por un terremoto para diferentes elementos expuestos.
- Módulo de pérdida, genera en función de la intensidad del movimiento del terreno, los datos de exposición y las funciones de vulnerabilidad, una estimación de las pérdidas totales.
- Módulo de seguro, que, en función de las condiciones de la póliza del país (deducible, límite de responsabilidad y porcentaje cedido) determina si dicha póliza se activa y, de ser así, calcula el monto del pago al país.

La figura abajo muestra el diagrama de flujo del modelo de terremoto implementado en SPHERA:



## El módulo de AMENAZA: ¿Qué tan frecuentes son los eventos sísmicos?

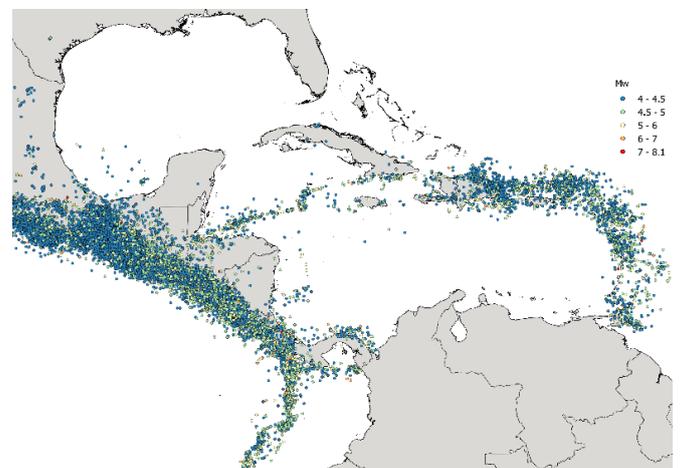
El módulo de amenaza funciona tanto de manera prospectiva como retrospectiva. Es capaz de:

- Estimar estadísticamente el impacto de futuros terremotos a través de un análisis probabilista de amenaza sísmica, evaluando las tasas de excedencia de las intensidades de movimiento del terreno (normalmente cuantificadas en términos de la aceleración máxima del terreno o por la aceleración espectral) en una malla de cálculo.
- Calcular en tiempo casi real las intensidades del movimiento del terreno inducidas por la ocurrencia de un terremoto de acuerdo con los parámetros (tales como magnitud, profundidad y solución del momento tensor) proporcionados por agencias científicas de renombre como el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Para cumplir con los requisitos anteriores, se compiló un catálogo actualizado de terremotos para caracterizar adecuadamente las fuentes sísmicas de las regiones de Centroamérica y del Caribe. Se eligieron y combinaron los modelos de atenuación del movimiento del terreno más actualizados y adecuados para la región y así calcular las intensidades del movimiento del terreno.

## Catálogo histórico

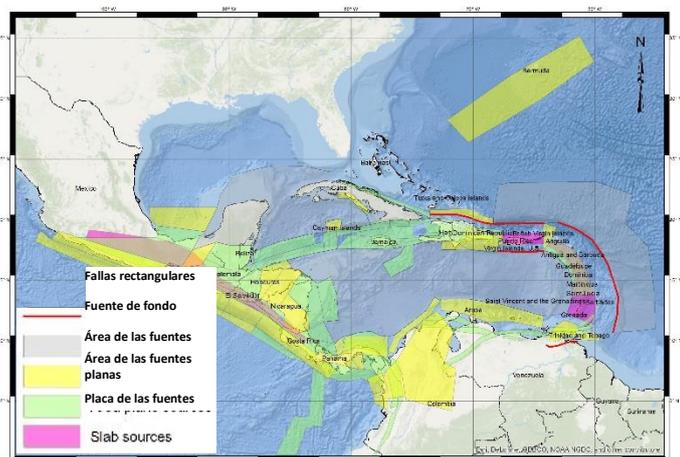
Se compiló un catálogo histórico y actualizado de terremotos para estimar estadísticamente la frecuencia de ocurrencia de eventos sísmicos futuros de diferentes magnitudes y características (ej., mecanismo de falla). El catálogo fue construido a partir de la recolección de información histórica e instrumental con eventos ocurridos en la región de Centroamérica y del Caribe desde 1520.



Distribución geográfica de sismos ocurridos en Centroamérica y el Caribe desde 1520

## Caracterización de las fuentes sísmicas

Una vez compilado el catálogo histórico de terremotos, el siguiente paso fue identificar y caracterizar las fuentes sísmicas capaces de producir terremotos de ciertas características en las regiones de Centroamérica y del Caribe. La caracterización de las fuentes incluyó la definición geométrica de cada una de ellas junto con la selección del modelo de sismicidad para evaluar las sismicidad futura. Según las características de cada fuente, se utilizaron diferentes modelos geométricos para tener en cuenta sus particularidades. Las frecuencias de ocurrencia se obtuvieron después de analizar el catálogo histórico, además de determinar la magnitud máxima esperada en cada fuente.



Fuentes sísmicas y modelos geométricos asignados

## Estimación del movimiento del terreno

Una vez definida la geometría de las fuentes, así como calculados los parámetros sísmicos de las fuentes que caracterizan la actividad futura, el siguiente paso fue seleccionar los modelos de atenuación del movimiento del terreno (GMPEs, por sus siglas en inglés) más apropiados para calcular las intensidades a nivel de terreno. Estos modelos predicen la distribución de probabilidad de la intensidad del movimiento del terreno en función de diferentes variables como la magnitud, distancia (fuente-sitio), mecanismo de falla, condiciones de suelo, etc. La selección de las GMPEs se basó en estudios previos específicos para las regiones de Centroamérica y del Caribe y para regiones sismo-tectónicas de entorno similar.

Los modelos de atenuación fueron seleccionados para poder estimar no sólo la aceleración máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) sino también las intensidades de movimiento del terreno para otras ordenadas espectrales, principalmente para aquellos períodos de vibración representativos de las tipologías de edificios e infraestructura incluidas en la base de datos de exposición; intensidades que se reconocen como buenos predictores de daños estructurales y no estructurales. Para obtener intensidades a nivel del terreno, además de las GMPEs, se utilizó un factor de amplificación basado en el valor promedio de la velocidad de propagación de la onda de corte en los últimos 30m del suelo, Vs30.

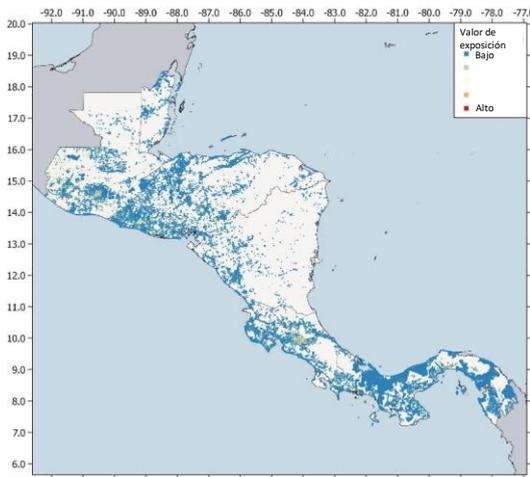
## Generación de eventos estocásticos

Para realizar la evaluación probabilista de pérdidas por terremoto a nivel país, se generó un catálogo estocástico de eventos simulados, compatible con las distribuciones de localización, profundidad y magnitud identificadas en la caracterización de las fuentes sísmicas. El catálogo estocástico comprende un conjunto de posibles y futuros eventos sísmicos generados a través de un muestreo en el que se considera la incertidumbre en la localización y en la distribución de las intensidades de movimiento del terreno para cada evento. Para cada fuente sísmica se generaron conjuntos de eventos con diferentes magnitudes compatibles con el modelo de recurrencia de magnitud en cada una de ellas. Las otras características de los eventos estocásticos como el mecanismo y geometría de la ruptura se simulaban a partir de las distribuciones probabilísticas de los diferentes parámetros identificados para las diferentes fuentes sísmicas.

## El módulo de EXPOSICIÓN: ¿Qué activos están en riesgo y cuáles son sus valores?

La base de datos de exposición es una lista completa de los activos susceptibles a sufrir daños por terremoto distribuida espacialmente. A cada elemento expuesto se le asignan varios atributos, p. ej. sus características (tipo de construcción y clasificación de materiales y altura), ubicación geográfica, uso y valor de reposición. El conjunto de datos de exposición se ha mejorado mediante la recopilación de varias fuentes de datos hasta 2017 relacionadas con el entorno urbano y la topografía

circundante, incluidos los datos locales disponibles más recientes, tales como censos nacionales de edificios y población, los mapas del uso del suelo y de la cubierta terrestre, los mapas de luces nocturnas, los mapas digitales de elevación e imágenes satelitales. La base de datos tiene un nivel de resolución variable, aproximadamente igual a 1x1 km tierra adentro y de entre 250x250 m y 120x120 m en las zonas costeras.



## Metodología y conjunto de datos empleados

El módulo de exposición en SPHERA incluye información acerca de:

- Conjunto de edificios:
  - Edificios residenciales
  - Edificios comerciales
  - Instalaciones industriales
  - Edificios públicos
  - Hoteles y restaurantes
  - Infraestructura sanitaria
  - Infraestructura educativa
- Infraestructura:
  - Sector energético
  - Puertos y aeropuertos
  - Red de transporte (red vial)

El proceso mediante el cual se desarrolló la base de datos de exposición de edificios e infraestructura involucró una serie de pasos, muchos de los cuales usaron herramientas y conjuntos de datos de Sistemas Información Geográfica (SIG). En primer lugar, se identifican los tipos constructivos representativos en cada país. A continuación, se estima un número de edificios y se asignan valores de reposición por país. El valor económico, definido como "costo de reemplazo",

que significa el costo para devolver el edificio a las condiciones existentes antes de que ocurra un evento, generalmente no está disponible directamente y, por lo tanto, se estima a través del uso de proxies como datos de estudios técnicos e informes posteriores al evento. Por ejemplo, los informes compilados por instituciones locales o subregionales sobre los costos de construcción se utilizaron para estimar los costos de reemplazo unitario de los activos residenciales. Por último, la distribución geográfica de la exposición se estima utilizando fuentes de datos independientes, como la cartografía de la población y de la densidad urbana derivada de imágenes satelitales. Este proceso da como resultado una representación en forma de malla de la exposición distribuida a través de cada país participante.

## Luces nocturnas

Una fuente de datos comúnmente utilizada para distribuir edificios dentro de una región dada es la capa de luces nocturnas. Es decir, datos sobre la intensidad de luz durante la noche en una malla de resolución de 30 arco segundos. Este conjunto de datos es particularmente útil para distribuir espacialmente el conjunto de edificios comerciales e industriales, ya que hay una fuerte correlación entre industrialización y electrificación.

## Uso de suelo

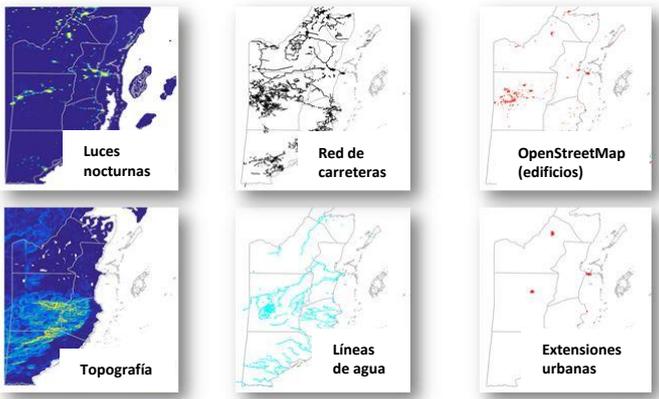
Estos conjuntos de datos suelen incluir diferentes categorías de uso como residencial, industrial, comercial, infraestructura e instalaciones gubernamentales y públicas. Los conjuntos de datos sobre el uso de suelo suelen generarse a nivel local con fines de planeación urbana, a nivel regional por parte de los gobiernos locales, o a nivel nacional mediante iniciativas de libre acceso como *OpenStreetMap*.

## Modelo Digital de Elevación (MDE)

La elevación se utiliza, entre otras cosas, para evaluar si un activo se encuentra localizado cerca del nivel del mar (y por lo tanto potencialmente sujeto a marejadas) o lejos de él. Además, la pendiente topográfica se utiliza como un indicador de la ocupación humana, ya que los asentamientos urbanos tienden a existir en zonas planas (p. ej., valles).

## Red vial

A nivel nacional se recopilieron conjuntos de datos que describen las características de la red de transporte de cada país. Estos conjuntos de datos contienen la distribución espacial de vías del ferrocarril y transporte terrestre; este último componente suele subdividirse en vías primarias, secundarias y terciarias. Exceptuando el primer tipo de caminos (que se utilizan generalmente para conectar grandes centros urbanos), existe una fuerte correlación entre la densidad de las redes viales y la presencia de edificaciones. A través de varias fuentes de información se puede encontrar este tipo de bases de datos, desde empresas privadas (normalmente responsables de actualizar los mapas GPS -por sus siglas en inglés-) hasta iniciativas de dominio público como *Bing*, *Google*, *Digital Chart of the World* y *OpenStreetMap*.

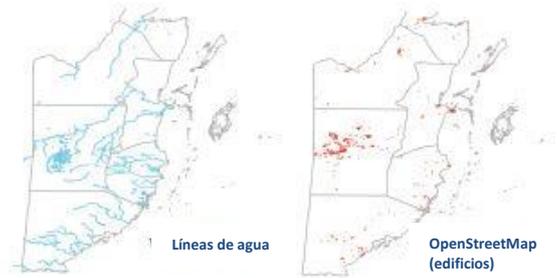


## Imágenes satelitales

Los datos obtenidos a través de percepción remota desempeñan un papel fundamental en la elaboración de cartografía urbana. Las imágenes utilizadas en SPHERA han sido adquiridas por medio del satélite óptico 'Landsat-8'; compuesto de 8 bandas multispectrales con 30 m de resolución espacial, 1 banda pancromática con 15 m de resolución espacial y otras 2 bandas térmicas con 100 m de resolución espacial (re-muestreadas a 30 m).

El método utilizado para la elaboración de la cartografía urbana puede dividirse en tres fases; la primera consiste en la recopilación de nubes de puntos para toda la región de interés. En la segunda fase, los datos obtenidos a través de percepción remota se utilizan para llevar a cabo la elaboración de la cartografía urbana. En la tercera y

última fase, un refinamiento manual se realiza en toda la región de análisis.



## Base de datos *OpenStreetMap*

*OpenStreetMap* (OSM) es un proyecto de colaboración iniciado en 2004 en el University College de Londres (UCL, por sus siglas en inglés) con el objetivo de crear una base de datos geográfica gratuita para todo el mundo. Debido a que muchas fuentes de información geográfica cuentan con licencias que restringen su uso, los datos de OSM se distribuyen bajo la licencia "*Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC-BY-SA)*", que facilita su uso y gestión pública. OSM es probablemente la iniciativa de información geográfica voluntaria más popular y exitosa, apoyada por investigaciones recientes en aspectos relacionados con su integridad y calidad. OSM va más allá del mapeo de la red vial, ya que contiene múltiples datos espaciales como redes viales, edificios, uso del suelo, puntos y zonas de interés, enfatizando el potencial de su uso en el desarrollo de modelos de exposición a nivel mundial.

## Ríos y cuerpos de agua

El procedimiento para distribuir espacialmente los activos expuestos también considera las áreas donde no existen edificios debido a la presencia de ríos u otros cuerpos de agua (lagos, lagunas, etc.). Esta información se proporciona generalmente como parte de los límites administrativos del país, o a través de *Digital Chart of the World*.

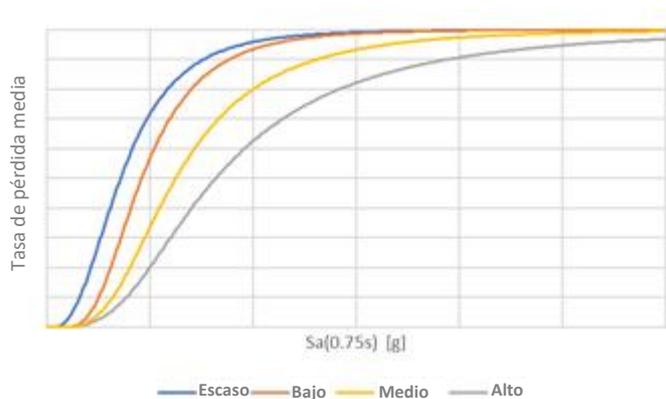
## ***El módulo de VULNERABILIDAD: ¿Qué pasaría con las construcciones cuando ocurre un terremoto?***

El modelo de vulnerabilidad sísmica de SPHERA comprende funciones de daño específicas para las diferentes tipologías de los activos incluidos en la base de datos de exposición (p. ej., edificios e infraestructura) para todos los países. Para el desarrollo del módulo, se

evaluaron las tipologías de construcción, la altura, las clases de ocupación, los requisitos del código de construcción, las prácticas de construcción y otros parámetros.

El modelo de vulnerabilidad para edificios se desarrolló utilizando un procedimiento analítico diseñado para evaluar el comportamiento estructural y la fragilidad de los activos expuestos bajo sollicitaciones sísmicas. El uso de una metodología analítica permite considerar las diferencias entre diversas tipologías y configuraciones estructurales que son comunes en el Caribe y Centroamérica. Además, permite tener en cuenta las diferencias entre países y superar la falta de datos confiables y de estudios particulares sobre la vulnerabilidad sísmica de los edificios en algunos de los países bajo análisis. Se recopiló información sobre la calidad del conjunto de construcciones y las características estructurales de cada país para derivar funciones de vulnerabilidad específicas para las regiones de Centroamérica y del Caribe. Además, las funciones de daño obtenidas analíticamente se calibraron y validaron comparándolas con los resultados de otros estudios de vulnerabilidad disponibles para la región.

El modelo de vulnerabilidad para infraestructura se creó a partir de una base de datos de funciones de fragilidad y vulnerabilidad disponibles en la literatura científica reciente. Un ejemplo de una función de daño se muestra en la siguiente figura. Estas gráficas representan la pérdida esperada asociada a diferentes medidas de intensidad de la amenaza sísmica para una tipología determinada. Los colores indican las diferencias que pueden existir al considerar cuatro diferentes niveles de vulnerabilidad.



Curvas de vulnerabilidad para marcos de concreto reforzado con

*muros de relleos de mediana altura y diferentes calidades de construcción*

### **El módulo de PÉRDIDA: ¿Cuáles son las pérdidas causadas por un terremoto?**

El módulo de pérdidas en SPHERA permite conocer las pérdidas inducidas mediante estimaciones ex-ante de posibles y futuros terremotos en cualquier país de la zona bajo estudio. Tras la ocurrencia de un terremoto, el sistema también calcula en tiempo casi real si la intensidad del movimiento del terreno, estimada por el módulo de amenaza, podría causar pérdidas significativas en los activos expuestos. Con base en las intensidades del movimiento del terreno, la base de datos de exposición y las funciones de vulnerabilidad, el modelo SPHERA calcula la pérdida esperada en cada país afectado tras la ocurrencia del evento analizado.



Escuela colapsada en Puerto Príncipe, Haití [Earlb.com]

### **El módulo de SEGURO: ¿Qué parámetros determinan el pago de un evento de terremoto?**

El módulo de seguro utiliza las estimaciones de pérdidas modeladas para calcular el pago a cada país afectado por un evento de pérdida por terremoto. El pago depende de los valores de un conjunto de parámetros seleccionados por cada país asegurado y especificados en la póliza de seguro por terremoto (ver figura a continuación):

El **Deducible** (en inglés: *Attachment Point*) representa la pérdida que un país retiene antes de que comience cualquier pago de seguro y es equivalente a un “deducible” en una póliza de seguro convencional.

El **Límite de Responsabilidad** (en inglés: *Exhaustion Point*) es el valor de pérdida al cual se lleva a cabo el pago total.

El **Porcentaje Cedido** (en inglés: *Ceding Percentage*) es la fracción de la diferencia entre el límite de

responsabilidad y el punto de activación que el país asegurado transfiere al CCRIF.

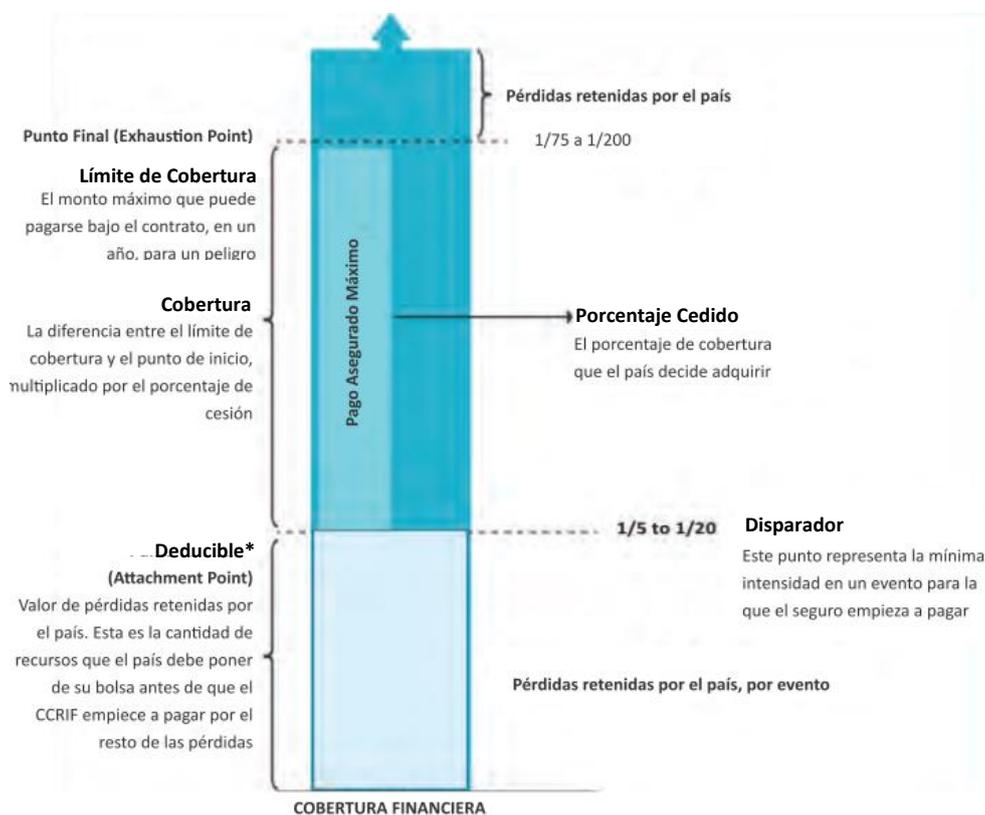
El **Límite de Cobertura o de Póliza** (en inglés: *Coverage Limit*) es el monto máximo que puede pagarse a un país asegurado en un año de cobertura.

La póliza de un país se activa sólo cuando la pérdida modelada para el evento de terremoto es igual o superior al deducible, por lo tanto, no hay pago por pérdidas por debajo de este punto.

El pago máximo que un país asegurado puede recibir después de cualquier evento de terremoto es igual al límite de responsabilidad menos el deducible multiplicado por el porcentaje cedido. Los valores de

estos parámetros incluidos en las pólizas de seguro están diseñados para proporcionar la mejor cobertura posible que satisfaga las necesidades de gestión de riesgo del país dentro del presupuesto de primas deseado. Una vez elegidos el deducible y el límite de responsabilidad, existe una relación de uno a uno entre el importe de la prima pagada y el porcentaje cedido - un porcentaje cedente más elevado significa una prima más elevada.

El seguro ofrecido por el CCRIF solo cubre pérdidas gubernamentales, calculadas como un porcentaje de las pérdidas totales a escala nacional.



\*El punto de inicio puede ser descrito como la severidad mínima necesaria en un evento de pérdida para que exista un pago y es, por tanto, el valor de pérdida al cual el contrato de seguro se activa. El punto inicial funciona como un deducible en una póliza de seguro convencional

### ¿ Por qué son cada vez más importantes los mecanismos de transferencia de riesgo?

Los mecanismos de transferencia de riesgo constituyen una parte importante en la gestión del riesgo de desastres (GDR) y de las estrategias de resiliencia relacionadas con el clima. Es importante que los países participen en una serie de estrategias para reducir sus

vulnerabilidades y desarrollar políticas y estrategias dinámicas y de primera clase en materia de gestión del riesgo de desastres. Por lo tanto, los mecanismos de transferencia de riesgo deben considerarse como parte de una combinación de políticas más amplia y completa de gestión de riesgos y desastres en cada país.

El uso de mecanismos de transferencia de riesgo constituye una planificación previa al evento y garantiza

que los países adopten un enfoque proactivo, global y sostenible en la GRD. Este tipo de mecanismos son cada vez más importantes y constituyen un componente indispensable de toda política económica y estrategia de GRD, ya que los países tratan de hacer crecer sus economías, reducir la pobreza y ser competitivos a nivel internacional.

### ***Acerca del CCRIF SPC***

En el año 2007, la Facilidad de Seguros contra Riesgos Catastróficos en el Caribe (CCRIF, por sus siglas en inglés) se formó como el primer mecanismo en el mundo para agrupar riesgos catastróficos para varios países. También fue el primer instrumento en desarrollar y ofrecer con éxito seguros paramétricos respaldado por los mercados tradicionales de reaseguro y capital. Fue diseñado como un fondo regional para los Gobiernos del Caribe para limitar el impacto financiero de ciclones tropicales y terremotos catastróficos al proporcionar rápidamente liquidez financiera cuando se activa una póliza.

En el año 2014, el Mecanismo se reestructuró en una sociedad de cartera segregada (SPC, por sus siglas en inglés) para facilitar la expansión en nuevos productos y áreas geográficas y ahora se llama el CCRIF SPC. La nueva estructura, en la que los productos se ofrecen a través de una serie de carteras segregadas, permite la segregación total del riesgo.

En el año 2015, la Facilidad firmó un memorándum de entendimiento con el COSEFIN (Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica y República Dominicana) para que los países de Centroamérica pudieran unirse formalmente al CCRIF. Durante ese período, Nicaragua fue el primer gobierno de Centroamérica en convertirse en un miembro del CCRIF.

El CCRIF ofrece actualmente pólizas para terremoto, ciclones tropicales y exceso de lluvia a los gobiernos del Caribe y Centroamérica. Desde el inicio del CCRIF en el año 2007, el mecanismo ha realizado 38 pagos por un total de aproximadamente US\$138.8 a 13 gobiernos miembros.

El CCRIF fue desarrollado bajo el acompañamiento técnico del Banco Mundial y con una subvención del Gobierno de Japón. Fue capitalizado mediante contribuciones a un Fondo Fiduciario de Donantes Múltiples (MDTF, por sus siglas en inglés) por el Gobierno de Canadá, la Unión Europea, el Banco Mundial, los gobiernos del Reino Unido y Francia, el Banco de Desarrollo del Caribe y los gobiernos de Irlanda y las Bermudas, así como a través de las cuotas de afiliación pagadas por los gobiernos participantes.

En 2014, el Banco Mundial estableció un MDTF para apoyar el desarrollo de nuevos productos del CCRIF SPC para miembros actuales y potenciales, y facilitar el ingreso de países de Centroamérica y otros países del Caribe. Actualmente, el MDTF canaliza fondos de diversos donantes, entre ellos: Canadá, a través del Asuntos globales de Canadá; los Estados Unidos, a través del Departamento del Tesoro; la Unión Europea, a través de la Comisión Europea; Alemania, a través del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo y KfW; y Irlanda. En 2017, el Banco de Desarrollo del Caribe, con recursos proporcionados por México, aprobó una subvención al CCRIF SPC para proporcionar una cobertura de seguro mejorada a los Países Miembros Prestatarios del Banco (BMC) que aseguran a través del CCRIF contra ciclones tropicales, terremotos y exceso de lluvia.

**Actualmente los países miembros del CCRIF son:**

**El Caribe** – Anguila, Antigua y Barbuda, Barbados, Belice, Bermuda, Islas Vírgenes Británicas, Islas Caimán, Dominica, Granada, Haití, Jamaica, Montserrat, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Martín, San Vicente y Las Granadinas, Bahamas, Trinidad y Tobago e Islas Turcas y Caicos  
**Centroamérica** – Nicaragua and Panamá



[www.ccrif.org](http://www.ccrif.org)



[ccrif.spc](https://www.facebook.com/ccrif.spc)



[pr@ccrif.org](mailto:pr@ccrif.org)



[@ccrif\\_pr](https://twitter.com/ccrif_pr)

*Febrero 2019*