

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Políticas Públicas

Convocatoria 2020-2022

Tesis para obtener el título de Maestría en Estudios Urbanos con mención en
Políticas y Planificación del Territorio

Vulnerabilidad física dentro de la gestión del riesgo sísmico en el Distrito Metropolitano de
Quito. Una mirada interdisciplinar desde la cultura del riesgo

José Daniel Salvador Pinos

Asesor: Marco Córdova Montufar

Lectores: Fabricio Yepéz Moya

Jonathan Menoscal Cevallos

Quito, septiembre de 2023

Epígrafe

Una mujer sentada en la vereda balancea
el torso hacia adelante y hacia atrás,
entonando salmos en voz baja, con el brazo
extendido en dirección a una casa que ya no existe
—Yanick Lahens

Índice de contenidos

Resumen	11
Introducción.....	13
Capítulo 1. Gestión del riesgo de desastre, vulnerabilidad física, y caracterización de la cultura del riesgo sísmico.....	17
1.1.Planificación en el contexto del desarrollo sostenible.....	18
1.2.El riesgo como un producto no resuelto del desarrollo	21
1.3.Conceptualización de los componentes del riesgo sísmico.....	22
1.3.1.Multiamenaza y amenaza sísmica.....	23
1.3.2.Exposición urbana.....	25
1.4.Vulnerabilidad física de la infraestructura.....	27
1.5.Construcción social del riesgo de desastre	31
1.6.Cultura del riesgo: Una mirada conceptual desde la amenaza sísmica	32
1.6.1.Percepción y conocimiento de amenazas y niveles de exposición	34
1.6.2.Instrumentos de regulación, normativa, y legislación preventiva.....	36
1.6.3.Intereses y limitantes económicas en políticas preventivas de reducción del riesgo sísmico	38
1.7.Gestión sísmica preventiva basada en la planificación integral	40
1.8.Metodología para la modelización del riesgo sísmico y vulnerabilidad física.....	42
Capítulo 2 Selección del caso y modelización de la vulnerabilidad sísmica.....	47
2.1.Justificación y selección del caso	47
2.1.1.Riesgo y amenaza sísmica en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)	48

2.1.2.El Carmen Bajo.....	53
2.1.3.Barrio Benalcázar- República de El Salvador.....	56
2.2.Modelización de la vulnerabilidad sísmica en las zonas de estudio	58
2.3.Modelo de Amenaza Sísmica en el DMQ	58
2.4.Modelos de exposición	63
2.4.1.Modelo de exposición el Carmen Bajo.....	63
2.4.2.Modelo de exposición República de El Salvador	67
2.5.Modelos de fragilidad y consecuencia	71
2.5.1.Elección de curvas de fragilidad en El Carmen Bajo.....	71
2.5.2.Elección de curvas de fragilidad en la República de El Salvador.....	72
2.5.3.Modelo de consecuencia	74
2.6.Vulnerabilidad sísmica cuantificada por daños y pérdidas.....	74
2.6.1.Daños y Perdidas en el Carmen Bajo.....	75
2.6.2.Daños y pérdidas en la República de El Salvador	79
Capítulo 3 . Influencia de la cultura del riesgo sísmico en la vulnerabilidad física en el Distrito Metropolitano de Quito	86
3.1.Conocimiento y percepción de la amenaza sísmica	86
3.1.1.Influencia y características del tipo de falla en la ciudad de Quito en lamemoria histórica de la ciudad.	88
3.1.2.Entendimiento del concepto de riesgo, amenaza, y vulnerabilidad	90
3.2.Aumento de vulnerabilidad física de las edificaciones en el DMQ desde un aspecto económico	93
3.2.1.Influencia del valor del costo de la ingeniería estructural en lavulnerabilidad de las edificaciones	94

3.2.2.Niveles y objetivos de desempeño como indicador de construcción sostenible.....	96
3.3.Influencia de la normativa en la reducción de vulnerabilidad.....	99
3.3.1.Alcance y efectividad de la Norma Ecuatoriana de la Construcción	102
3.4.Cultura del riesgo como detonante del incremento de vulnerabilidad sísmica en el DMQ	104
Conclusiones y recomendaciones	107
Referencias.....	112
Anexos	117

Lista de Ilustraciones

Tablas

Tabla 1.1 Metas mundiales del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2019.....	20
Tabla 1.2 Clasificación de fenómenos extremos de origen natural.....	25
Tabla 1.3 Elementos típicos que conforma un modelo de exposición	27
Tabla 1.4 Índice de daños para cuantificar la vulnerabilidad física de estructuras	31
Tabla 1.5 Medidas estructurales y no estructurales a seguir en procesos de planificación integral.....	43
Tabla 2.1 Magnitud esperada en cada segmento de las fallas de Quito	52
Tabla 2.2 Periodo de recurrencia hallados con Modelo de Gutenberg y Richter modificado .	53
Tabla 2.3 Coordenadas del a zona de estudio de la amenaza sísmica	60
Tabla 2.4 Geometría y condiciones del evento sísmico (Inputs).....	61
Tabla 2.5 Taxonomía estructural en CB.....	65
Tabla 2.6 Valor económico de las estructuras analizadas en el CB	66
Tabla 2.7 Número de pisos en la zona del Carmen Bajo	67
Tabla 2.8 Taxonomía estructural de las viviendas analizadas en R.S	69
Tabla 2.9 Valor económico y sistema estructural de las viviendas analizadas en R.S.....	70
Tabla 2.10 Curvas de fragilidad adoptadas en el CB	73
Tabla 2.11 Curvas de fragilidad adoptadas en la RS.....	74
Tabla 2.12 Pérdidas en USD en el C.B debido a un sismo Mw 6.2.....	76
Tabla 2.13 Probabilidad de daño en el C.B por un sismo Mw 6.2.....	77
Tabla 2.14 Pérdidas en USD en la RS debido a un sismo Mw 6.2	81
Tabla 2.15 Probabilidad de daño en la RS por un sismo Mw 6.2	82

Tabla 2.16 Resumen general de los daños y pérdidas de la modelización sísmica.....	85
--	----

Figuras

Figura 1.1 Planificación y gestión del riesgo de desastres.....	20
Figura 1.2 Las tres componentes para la evaluación del riesgo de desastre.....	23
Figura 1.3 Las relaciones y procesos clave en la construcción social del riesgo.....	32
Figura 1.4 Niveles de desempeño estructural.....	39
Figura 1.5 Desempeño estructural post terremoto	39
Figura 1.6 Ilustración y componentes de las curvas de fragilidad	45
Figura 2.1 Definición y mecanismo focal de una falla	60

Gráficos

Gráfico 1.1 Etapas de modelización del riesgo sísmico.....	43
Gráfico 1.2 Módulos de plataformas computacionales para la evaluación del riesgo	44
Gráfico 1.3 Diagrama de flujo de un escenario de riesgo sísmico.....	46
Gráfico 2.1 Número de pisos de las estructuras evaluadas en el Carmen Bajo	66
Gráfico 2.2 Sistema estructural de las viviendas evaluadas en el Carmen Bajo.....	67
Gráfico 2.3 Edificaciones en función del sistema estructural RS	70
Gráfico 2.4 Tipo de daño por número de viviendas en el CB	77
Gráfico 2.5 Tipo de daño por número de viviendas en RS	82
Gráfico 3.1 Pregunta encuesta N°1.....	91
Gráfico 3.2 Pregunta encuesta N°2.....	92
Gráfico 3.3 Pregunta encuesta N°3.....	92

Mapas

Mapa 2.1 Sistema de fallas de Quito (QFS).....	50
Mapa 2.2 Ubicación de zonas de estudio dentro DMQ.....	53
Mapa 2.3 Ubicación del barrio el Carmen Bajo.....	54
Mapa 2.4 Morfología del Carmen Bajo.....	54

Mapa 2.5 Falla Geológica en el Carmen Bajo.....	55
Mapa 2.6 Vulnerabilidad a la Pobreza en el Carmen Bajo	55
Mapa 2.7 Concentración de equipamiento y centralidades en el DMQ.....	57
Mapa 2.8 Índice de Pobreza Multidimensional (IPM).....	58
Mapa 2.9 Zona de estudio y ubicación del epicentro para determinar la amenaza sísmica	59
Mapa 2.10 Recopilación de Microzonas de Vs30 en el DMQ.....	61
Mapa 2.11 Modelo de Amenaza Sísmica Mw 6.2 Segmento ILB	62
Mapa 2.12 Estructuras analizadas para la construcción del modelo de exposición en RS	67
Mapa 2.13 Estados promedio de daño por un sismo Mw 6.2 en el Carmen Bajo.....	78
Mapa 2.14 Valores promedio en USD por pérdidas económicas de un Sismo Mw 6.2 en el CB	79
Mapa 2.15 Valores en USD por pérdidas de un sismo Mw 6.2 en RS.....	82
Mapa 2.16 Estados promedio de daño por un sismo Mw 6.2 en RS.....	83

Lista de Abreviaturas y siglas

DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
GEM	Global Earthquake Model
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
QFS	Sistema de Fallas de Quito

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, José Daniel Salvador Pinos, autor de la tesis titulada “Vulnerabilidad física dentro de la gestión del riesgo sísmico en el Distrito Metropolitano de Quito. Una mirada interdisciplinar desde la cultura del riesgo”, declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de Maestría concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, septiembre de 2023.

JOSE DANIEL SALVADOR PINOS	Firmado digitalmente por JOSE DANIEL SALVADOR PINOS Fecha: 2023.07.06 16:00:47 -05'00'
----------------------------------	--

José Daniel Salvador Pinos.

Resumen

El crecimiento poblacional y la informalidad de la construcción acompañada de procesos de urbanización en zonas de riesgo ha generado un aumento de vulnerabilidad en la ciudad de Quito. El modelo de desarrollo implantado en la ciudad ha forjado un crecimiento urbano marcado por la desigualdad y segregación, fenómenos que son visibilizados y magnificados con la ocurrencia de eventos naturales como terremotos, inundaciones, o movimientos en masa los cuales generan daños económicos, ambientales, y sociales por lo que resulta imprescindible la ejecución de políticas de planificación del territorio dirigidas hacia la reducción del riesgo de desastres.

La presente investigación analiza cómo la cultura del riesgo incide en la vulnerabilidad física de la infraestructura urbana. Metodológicamente se desarrollaron estrategias mixtas. Usando técnicas cuantitativas y socioespaciales, mediante una modelación de riesgo sísmico se determinó la probabilidad de daños y pérdidas producto de un sismo de magnitud Mw 6.2 a 6 km de profundidad en dos zonas de estudio dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Las áreas de estudio presentan condiciones opuestas en cuanto a sus técnicas constructivas entre la informalidad y formalidad. En el área informal se evaluaron 121 edificaciones donde las pérdidas económicas representan el 52% de su valor total, mientras que las pérdidas del mismo tipo en la zona formal tienen un valor del 38% con un total de 144 estructuras analizadas.

Posteriormente, a través de herramientas cualitativas se examinó las cifras de daños y pérdidas mediante la variable cultura del riesgo desagregada por medio de los enfoques cognitivo, racional e institucional. Se concluye que Quito posee una cultura del riesgo sísmico que no se encuentra fundamentada en la prevención para lo cual se indican recomendaciones para la reducción del riesgo sísmico dentro del marco de la gobernanza urbana de la ciudad.

Agradecimientos

A Estefy por todo su apoyo durante esta investigación, gracias por estar en todo momento.

A mi Familia, que en donde se encuentre, siempre es fuente de inspiración.

A quienes forman parte de FLACSO Ecuador, en especial a mi tutor, Marco Córdova, por su apoyo incondicional.

Al Centro de Información Urbana de Quito (CIUQ) por compartir su conocimiento e información.

A todas las personas que fueron parte de esta investigación cuyo pensamiento busca conseguir una sociedad menos vulnerable.

Introducción

Desde la década de 1990 inicia un cambio significativo en el abordaje del problema del desastre, el cual ya no se enfoca solo en el evento de ocurrencia y su respuesta, sino en el riesgo que anticipa el desastre el cual es construido socialmente. Por ejemplo, un terremoto es peligroso para la sociedad solamente si ésta es vulnerable. En realidad, el riesgo de desastre es producto de los fenómenos de crecimiento y desarrollo que son impulsados por cada sociedad (Gellert 2012).

Tradicionalmente, las ciencias básicas o físicas se ocupaban del estudio de los desastres, destacando sobre ellas el conocimiento, predicción, y monitoreo de las amenazas. Luego, desde la ingeniería y ciencias aplicadas surgió la investigación dentro de la probabilidad de pérdidas dando un salto importante al apareamiento del concepto del riesgo ligado a las amenazas y vulnerabilidad. Estos enfoques toman a la sociedad como un elemento pasivo y es precisamente en este punto en el cual surge el aporte desde las ciencias sociales donde la vulnerabilidad se convierte en un factor determinante en el origen o causa de los desastres que se fundamenta en la sociedad como elemento activo siendo parte de la construcción de riesgos lo que genera un cambio de paradigma en la evaluación del riesgo desde la atención enfocada a los desastres a la gestión integral del riesgo (Maskrey 1998).

Los terremotos son una de las amenazas más destructivas. Es así que en el lapso de los años 1998 a 2017, los 563 eventos telúricos registrados en el planeta cobraron la vida de 747 234 personas lo que produjo más del 55% del total de muertes por amenazas naturales, seguida con el 17% por huracanes y 11 % por inundaciones. En este mismo periodo de tiempo, las pérdidas económicas por terremotos en el mundo superaron la cifra de 661 000 millones de dólares (UNDRR 2018).

El presente trabajo se enmarca en el ámbito de la gestión de riesgo urbano y busca generar un modelo de vulnerabilidad física frente a un sismo de considerable magnitud en dos zonas de estudio dentro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), teniendo como resultado los daños y pérdidas y sus posibles causas que tienen como detonante la cultura del riesgo.

La ciudad de Quito se encuentra rodeada por volcanes, e implantada dentro de distintas fallas tectónicas activas y presenta una morfología compleja con fuertes pendientes. Según Celi y Pantoja (2017), adoptando un evento sísmico establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente NEC (2015), la probabilidad de tener daños considerables en las tipologías constructivas de vivienda en la ciudad oscila del 70 a 90%. Sin duda, estos valores

representan cifras alarmantes que provocarán profundos impactos sociales, económicos, y ambientales los cuales pueden ser evitados mediante estrategias de mitigación.

La falla geológica de Quito es de tipo cortical e inversa y sus características hacen que los eventos sísmicos se produzcan con lapsos de tiempo extensos. Esto produce una falsa percepción o desconocimiento de la amenaza sísmica en la población ya que no percibe constantemente eventos de este tipo. Además, otro factor que produce aumento de vulnerabilidad física corresponde al alto grado de asentamientos informales que no cumplen con reglas técnicas y procesos constructivos que no son guiados por un profesional.

Según Calderon et al. (2022) en un escenario macro de riesgo sísmico en Quito con un terremoto de magnitud 7.0 el cual representa un escenario previsto crítico, el costo de reemplazo por edificaciones dañadas supera los 17 billones de dólares. Con un promedio de 6 mil estructuras colapsadas y 7 mil fatalidades que equivale a un 30% del valor económico de la construcción de Quito, donde el 70% de los ciudadanos posee viviendas de uno a tres pisos con sistemas estructurales de limitadas provisiones sísmicas.

En función de la revisión de la literatura y como aporte, la presente investigación propone vincular mediante herramientas mixtas los factores técnicos asociados a la gestión del riesgo de desastre y amenaza sísmica con los factores sociales relacionados a la cultura del riesgo. Por lo que el problema a investigar representa el alto grado de vulnerabilidad física causado por una deficiente planificación del territorio sumado al impacto de un terremoto de mediana o gran intensidad en la Ciudad de Quito. En función de lo descrito anteriormente se plantea responder a la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera la cultura del riesgo incide en la vulnerabilidad física de la infraestructura urbana dentro de la gestión del riesgo sísmico en el Distrito Metropolitano de Quito?

La hipótesis plantea que el DMQ posee una cultura del riesgo sísmico que no se encuentra fundamentada en la prevención debido al desconocimiento del riesgo, falta de institucionalidad, y ahorro económico en los procesos constructivos lo cual incide en el aumento de la vulnerabilidad física de la infraestructura urbana de la ciudad.

Metodológicamente, la presente investigación parte de un modelo deductivo utilizando un diseño metodológico mixto y socioespacial. Se presenta un estudio de caso que tiene el objetivo de explicar minuciosamente un hecho. Dentro del estudio de caso se presentan dos zonas de estudio donde se aplica una modelización de riesgo sísmico.

En primera instancia, desde un enfoque cuantitativo y con la ayuda del software Open Quake Engine (Silva et al. 2014) se propone mediante teoría de probabilidades construir un modelo de riesgo sísmico cuyo objetivo es determinar las pérdidas producto de un sismo de considerable magnitud, para lo cual se construyen los modelos de amenaza, exposición, y vulnerabilidad. Para llevar a cabo la modelización se seleccionaron el barrio el Carmen Bajo y una zona del barrio Benalcázar ubicado dentro de la parroquia Ñaquito cuyas características son opuestas entre la informalidad y formalidad respectivamente.

En el modelo de amenaza sísmica se tomó en cuenta lo propuesto por Beauval et al. (2018), donde se seleccionó de forma determinista un evento sísmico de magnitud Mw de 6.2 simulando una ruptura en el segmento Ilumbisí la Bota que forma parte del sistema de fallas de Quito (QFS) a 6 km de profundidad de la misma. Para la modelación del riesgo sísmico en función de León (2018) se consideró los efectos de sitio a través de la velocidad promedio de ondas de corte en los primeros treinta metros de profundidad (V_{s30}) para posteriormente estimar el movimiento del terreno mediante ecuaciones de atenuación o de predicción del movimiento del suelo (GMPEs) que fueron seleccionadas en base a A. Calderon et al. (2022).

Para construir los modelos de exposición, en las zonas de estudio se realizaron levantamientos de información en campo, contrarrestando con información censal. En el barrio el Carmen Bajo se levantó información de 121 viviendas y 144 en la República de El Salvador respectivamente. En cada vivienda se determinó el número de pisos, material, sistema estructural preponderante, y el estado general de la edificación, cuyo objetivo fue construir una base de datos donde se indique las características estructurales de cada vivienda para determinar su taxonomía estructural y su valor económico en función de la base catastral emitida por el Municipio de Quito y por el Centro de Información Urbana de Quito (CIUQ 2022).

Para obtener las cifras de daños, para cada tipología o taxonomía estructural se adoptaron curvas de fragilidad en función de las bases de datos publicadas por GEM (2021), y para obtener pérdidas o vulnerabilidad se adoptó un modelo de consecuencia. Los hallazgos y resultados de vulnerabilidad física de las zonas de estudio cuantificados por daños y pérdidas se encuentran espacializados.

Además, para el análisis de la variable referente a la cultura del riesgo sísmico se aplicaron técnicas cualitativas tales como entrevistas semiestructuradas y encuestas a los actores claves dentro de la gestión del riesgo sísmico de Quito, que se complementaron con recorridos en las

zonas de estudio. Las entrevistas semiestructuradas se realizaron a consultores, diseñadores de proyectos de construcción, ejecutores de normativa sismorresistente, así como también, constructores, y maestros de obra. Dentro de la elaboración de encuestas se realizaron preguntas dirigidas a ingenieros, arquitectos, constructores y propietarios de vivienda de los barrios de análisis. En función del tamaño muestral se realizaron un total de 250 encuestas.

El presente documento se lo desarrolló en tres capítulos. El primer capítulo de la investigación señala al marco teórico partiendo con un enfoque del desarrollo sostenible para luego incluir una discusión sobre los componentes de la gestión de riesgos de desastre con el concepto del riesgo como un producto no resuelto del desarrollo, para posteriormente detallar cada uno de sus componentes. Luego, se construyó el concepto de cultura de riesgos mediante tres niveles que son: racional, institucional y cognitivo, para finalmente indicar la metodología empleada para la modelización del riesgo sísmico urbano.

En el segundo capítulo se encuentra la justificación del caso y de las zonas de análisis donde se empleó la modelización sísmica, para luego generar los modelos de amenaza, exposición, vulnerabilidad y consecuencia los cuales cuantifican la vulnerabilidad física de la infraestructura expresados por la probabilidad de pérdidas y daños. El modelo de riesgo sísmico indicó pérdidas económicas de más del 50 % en el barrio el Carmen Bajo con gran porcentaje de daños por colapso estructural, y más del 35% en la zona de la República de El Salvador donde la mayoría de los daños son moderados.

Finalmente, en el tercer capítulo como complemento de una investigación interdisciplinar se abordó desde un enfoque cualitativo la incidencia de la cultura de riesgo sísmico en la vulnerabilidad física de la ciudad, donde se analizaron los diversos factores para entender las cifras de los daños y pérdidas por un sismo de considerable magnitud en el DMQ, encontrando desde un aspecto cultural la reducción o aumento de vulnerabilidad.

Capítulo 1. Gestión del riesgo de desastre, vulnerabilidad física, y caracterización de la cultura del riesgo sísmico

El riesgo de desastres se encuentra vinculado directamente a los procesos de desarrollo debido a que los desastres en una población expuesta influyen en las condiciones de crecimiento y formas de comportamiento económico, ambiental, político, y social. Sin duda, un evento que se convierte en desastre condiciona y agudiza los escenarios de pobreza de diversos segmentos de la sociedad. Frecuentemente, los mayores daños se producen en los estratos económicos con menores ingresos que representan las personas más vulnerables con limitada capacidad de respuesta (Lavell y Rodríguez 2003).

Dentro del nuevo paradigma de la reducción del riesgo, la vulnerabilidad se ha convertido en un tema fundamental como una medida directa de mitigación. La vulnerabilidad se encuentra inmersa dentro de la gestión de riesgos y representa un factor directamente proporcional al riesgo que se encuentra expuesto determinado territorio.

Las metas de la gestión del riesgo de desastres tienen relación estrecha con el desarrollo sostenible y se constituyen como una herramienta integral para conseguir la disminución de pérdidas debido a fenómenos naturales de peligro que encuentran frágiles a territorios vulnerables. La gestión del riesgo se transversaliza en la gestión del desarrollo en sus diversas expresiones territoriales (Lizardo, Lavell, y Ortega 2009, 38).

Cuantificar la vulnerabilidad física representa un instrumento para conocer el riesgo al que se encuentra expuesta determinada locación, y constituye una herramienta para la reducción de riesgos de desastre ya que en función de los posibles daños o pérdidas se conciben medidas de mitigación, lo que consolida una cultura con respuesta basada en la prevención.

La cultura del riesgo influye sobre la vulnerabilidad física y se relaciona directamente con características locales y propias del territorio como son: la experiencia acumulada, conocimiento del entorno, percepción, tradiciones, y valores transmitidos por generaciones. Cuando una comunidad se encuentra apta a fin de mitigar amenazas o eventos de riesgo, se la conoce como una sociedad basada en la cultura preventiva lo que implica que además de cooperación y solidaridad existe un grado de organización armónica con capacidad de manejar eficientemente los recursos y tomar decisiones apropiadas en caso de una emergencia (Cilento 2005).

El objetivo fundamental de colocar a la cultura dentro de la reducción del riesgo de desastres no es responsabilizar a la cultura por sí misma, sino analizar su influencia en la vulnerabilidad.

1.1. Planificación en el contexto del desarrollo sostenible

Actualmente, dentro del campo de los estudios urbanos la sostenibilidad representa la directriz de la planificación. Un pilar fundamental hacia la sostenibilidad consiste el ámbito de la reducción de riesgo de desastre. El rol y ejercicio de la planificación puede desempeñar un papel fundamental en la reducción de riesgos mediante la aplicación de instrumentos como son los planes de desarrollo, ordenamiento territorial, coordinación intersectorial y códigos de construcción (Bello, Bustamante, y Pizarro 2020).

Las cifras correspondientes a pérdidas económicas debido a eventos naturales son elevadas y difíciles de cuantificar. El reporte de la oficina de Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres UNDRR (2021) indica que según compañías aseguradoras las pérdidas globales debido a desastres en el año 2020 fueron por 210 billones de dólares y en las últimas cuatro décadas desde 1980 las pérdidas suman más de 5 trillones de dólares por este tipo de eventos.

Debido a estas cifras alarmantes, la planificación hacia el desarrollo sostenible es una medida directa de mitigación. De hecho, la planificación preventiva se consigue mediante la aplicación de políticas de reducción de riesgo de desastre. Según UNDRR (2021) por cada dólar invertido en prevención y reducción de riesgos se consigue un ahorro de 15 USD en la recuperación posterior a un desastre. Según el Centro Global de Adaptación GCA (2019) una inversión de 800 millones de dólares en sistemas de alerta temprana en países en vías de desarrollo podría evitar pérdidas entre 3 mil millones a 16 mil millones de dólares al año.

Frente a los diferentes eventos de amenaza combinados con las vulnerabilidades, los países presentan el desafío de conseguir un cambio de paradigma de la atención de la emergencia causada por desastres a la gestión de desastres. En función de las dinámicas entre el desarrollo sostenible y los desastres, la comunidad internacional ha creado algunos marcos mundiales dentro de los cuales se destaca la Agenda para el Desarrollo Sostenible (2015) y el Marco de Sendai (2015) que representan elementos guía para una gestión de riesgos articulada entre los diversos actores del desarrollo, creando un entendimiento de la naturaleza de los riesgos para

la planificación antes, durante y después de un evento adverso. (Bello, Bustamante, y Pizarro 2020).

Dentro de la agenda 2030, nueve de los 17 objetivos se vinculan con la reducción del riesgo de desastres que corresponden elementos claves para alcanzar el desarrollo sostenible, ya que los daños ocasionados por un evento de gran magnitud pueden borrar los alcances económicos y sociales obtenidos por determinada nación. En realidad, hacer una planificación vinculada al riesgo implica trabajar para todas las esferas del desarrollo sostenible (Rastelli 2014).

Por otro lado, el Marco de Sendai (2015) propone siete metas para la reducción y prevención de pérdidas por desastres, convirtiéndose en una herramienta fundamental para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y representa un elemento que indica un cambio de paradigma de la comprensión del riesgo de desastres a un enfoque de gestión de riesgos de desastre vinculados con los componentes económico, ambiental, y social. Las siete metas propuestas por el Marco de Sendai se indican en la Tabla 1.1 donde se integran la reducción de riesgos de desastre en las medidas de desarrollo.

Tabla 1.1.1 Metas mundiales del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2019

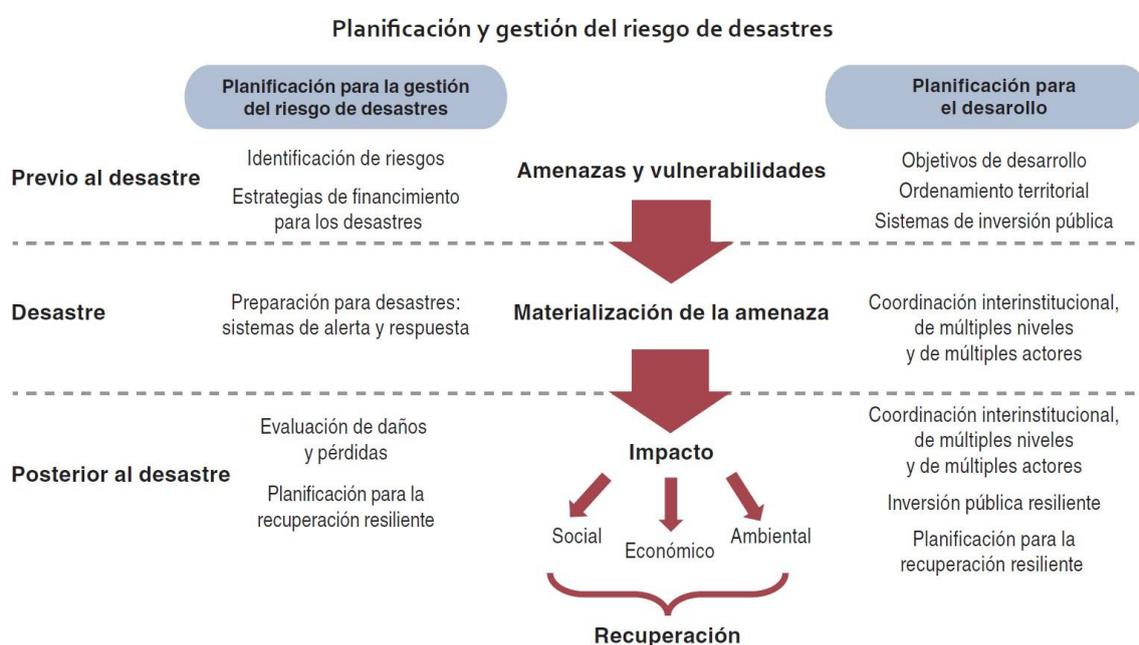
Meta	Objetivo
A	Reducir considerablemente la mortalidad mundial causada por desastres para 2030, y lograr reducir la tasa de mortalidad mundial causada por desastres por cada 100.000 personas en el decenio 2020-2030 respecto del período 2005-2015.
B	Reducir considerablemente el número de personas afectadas a nivel mundial para 2030, y lograr reducir el promedio mundial por cada 100.000 personas en el decenio 2020-2030 respecto del período 2005-2015.
C	Reducir las pérdidas económicas causadas directamente por los desastres en relación con el producto interno bruto (PIB) mundial para 2030.
D	Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030.
E	Incrementar considerablemente el número de países que cuentan con estrategias de reducción del riesgo de desastres a nivel nacional y local para 2020.

F	Mejorar considerablemente la cooperación internacional para los países en desarrollo mediante un apoyo adecuado y sostenible que complemente las medidas adoptadas a nivel nacional para la aplicación del presente Marco para 2030;
G	Incrementar considerablemente la disponibilidad de los sistemas de alerta temprana sobre amenazas múltiples y de la información y las evaluaciones sobre el riesgo de desastres transmitidas a las personas, y el acceso a ellos, para 2030

Fuente: Naciones Unidas, Marco de Sendai (2015)

La gestión del riesgo de desastres se refiere a un proceso multisectorial que debe incorporarse en la planificación. Según CEPAL (2019) la planificación y gestión del riesgo de desastres se basa en cinco pilares: identificación de riesgos, reducción de riesgos, preparación, protección financiera y recuperación resiliente. Estos elementos están estrechamente relacionados entre sí y deben ir acompañados de un entorno institucional, político, normativo y financiero. En la Figura 1.1 se observa la planificación en las fases previas, durante, y posterior al desastre.

Figura 1.1 Planificación y gestión del riesgo de desastres



Fuente: Bello, Bustamante, y Pizarro (2020)

1.2. El riesgo como un producto no resuelto del desarrollo

El proceso de desarrollo que atraviesa la sociedad industrializada reflejado en su crecimiento demográfico y avance tecnológico acelerado, pone en duda un modelo de crecimiento armónico con la naturaleza, que además si no se lo realiza de manera simétrica y unificada entre los diversos países y Estados desencadena en condiciones potenciales de desastre o sociedad del riesgo cuyo concepto desde la gestión de riesgos representa el enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana (Beck 2002). Precisamente, es en esta condición cuando la construcción del riesgo se convierte en un proceso inherente al desarrollo de la sociedad ya que el nivel de riesgo aumenta cuando existe un proceso de sobreexplotación y degradación de los recursos naturales.

La acumulación de capital representa un sistema que exagera la contradicción entre sociedad y naturaleza, al convertirse en un factor potencial de destrucción de su propia base material de reproducción. El crecimiento sin control genera efectos irreversibles para el ambiente aumentando con ello las condiciones de vulnerabilidad (Mansilla 2000).

El programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2004) indica que el proceso de desarrollo representa una fuerte influencia positiva o negativa en la configuración del riesgo de desastres. En realidad, existen territorios expuestos a similares amenazas naturales los cuales experimentan consecuencias muy diferentes. Por ejemplo, cuando los países presentan condiciones económicas prosperas, en general, presentan buenas condiciones para crear políticas de mitigación como la construcción de viviendas sismo resistentes. Por otro lado, un crecimiento económico desordenado puede favorecer el surgimiento de asentamientos no planificados, aumentando el riesgo de sufrir pérdidas humanas o daños irreversibles ante fenómenos adversos.

Las amenazas geofísicas de cierta manera se mantienen constantes en cuanto a su recurrencia. Las amenazas de tipo hidrogeológico aumentan debido a la acción antropogénica y a otros agentes externos. El riesgo y los desastres aumentan debido al crecimiento urbano o exposición ante amenazas. Según O'Keefe, Westgate, y Wisner (1976) a mediados del siglo XX los desastres y número de eventos se incrementaron exponencialmente y la mayor cantidad de daños ocurrieron en países subdesarrollados. A partir de ello, se plantea que las causas de los desastres representan procesos ligados al desarrollo o subdesarrollo de la sociedad.

El riesgo de desastre resulta de una amenaza que encuentra a una sociedad altamente expuesta y sin capacidad de hacer frente a fenómenos adversos. Por lo que, donde hay que ocuparse principalmente para reducir el riesgo de desastres es en minimizar las vulnerabilidades de la sociedad, pasando desde una mirada de la atención al desastre a una mirada al desarrollo. Sin duda, las acciones que se realicen en los modelos de desarrollo acentuarán o disminuirán los desastres, por lo tanto, las vulnerabilidades son un eje fundamental de mitigación (Lavell 2001b). El problema del riesgo corresponde a un problema ligado íntimamente con el desarrollo o falta del mismo (Wilches 2020; Lavell 2001b; Cardona et al. 2020).

El enfoque de la gestión del riesgo se relaciona a un proceso social complejo mediante el cual se pretende conseguir una reducción de los niveles de riesgo en la sociedad y fomentar procesos de construcción de nuevas oportunidades de producción y asentamiento en el territorio. Con el fin de conseguir la ejecución de planes de mitigación, la gestión del riesgo analiza directamente la anticipación del desastre.

“La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse” (Keipi 2005, 8).

El aprovechamiento de los recursos naturales y del ambiente en general, debe desarrollarse en condiciones de seguridad dentro de límites aceptables. La gestión de riesgos representa un proceso que mantiene diálogo permanente en función de los cambios de los instrumentos de mitigación o aseguramiento frente a un daño probable (Lavell y Rodríguez 2003). Las medidas de reducción de desastre representan prácticas que atraviesan de forma horizontal las actividades y procesos humanos, cuyo objetivo fundamental es garantizar que las técnicas de desarrollo se desenvuelvan en condiciones de seguridad (Lavell 2001a).

1.3. Conceptualización de los componentes del riesgo sísmico

Según la gestión del riesgo, el riesgo de desastre se lo define como las distintas consecuencias sociales, ambientales, y económicas potenciales que pueden ocurrir debido a la aparición de eventos externos o amenaza en un tiempo determinado (Barbat et al. 2010, 3)

El riesgo sísmico se refiere a la probabilidad de daño frente a un terremoto. Según la Figura 1.2 y en función de los lineamientos internacionales, la evaluación del riesgo sísmico urbano

se basa en tres componentes fundamentales que son: amenaza, exposición y vulnerabilidad. (GFDRR 2014, 5).

Figura 1.2 Las tres componentes para la evaluación del riesgo de desastre



Fuente: GFDRR (2014)

La Figura 1.2 indica que la amenaza se refiere a la probabilidad e intensidad de un determinado evento natural ajeno como el movimiento del suelo en un terremoto. La exposición se refiere a los atributos, características, y valor monetario de cada locación o su conjunto, y la vulnerabilidad física es la probabilidad que determinada estructura tenga daños en función de cierta amenaza (GFDRR 2014).

Con los componentes definidos anteriormente, es posible realizar una modelización de riesgo sísmico cuyo resultado consiste en la determinación del daño y pérdidas expresadas por pérdidas económicas o humanas por el impacto de determinado evento sísmico (A. Calderon et al. 2022). La evaluación del riesgo sísmico constituye una herramienta hacia los tomadores de decisión para evaluar posibles daños futuros y mitigarlos mediante políticas de reducción de riesgo de desastre.

A continuación, se detallan cada uno de los componentes del riesgo sísmico.

1.3.1. Multiamenaza y amenaza sísmica

La amenaza se refiere a un peligro latente o factor externo de un sistema, que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso, con cierta intensidad y en un sitio específico durante un tiempo de exposición determinado (Cardona 2001).

Un proceso de planificación preventiva y de mitigación es una tarea compleja que requiere tratamientos holísticos sobre diferentes amenazas y sus interacciones, por lo que la evaluación

multiamenaza es una herramienta efectiva en la reducción de riesgo ya que considera simultáneamente los escenarios de peligro (Khatakho et al. 2021). Existen territorios ubicados en zonas de inundación, rodeados por volcanes, y cuerpos de agua que son susceptibles a varias amenazas. En realidad, el termino multiamenaza fue presentado a la comunidad internacional en el contexto del desarrollo sostenible en la conferencia de Naciones Unidas por la Agenda 21 en Río de Janeiro llevada a cabo en el año 1992 donde se destaca la evaluación del riesgo multiamenaza y la cataloga como “Un elemento esencial para un planeta más seguro en el siglo XXI”. En la Tabla 1.2 se presenta un listado de fenómenos naturales en función de su origen.

Tabla 1.2 Clasificación de fenómenos extremos de origen natural

Subgrupo	Definición	Tipo de desastre
Geofísico	Un peligro procedente de tierra sólida. Los términos “geofísico” y “geológico” pueden usarse de manera indistinta.	Terremoto Movimiento de la tierra (seca) Actividad volcánica
Meteorológico	Un peligro causado por condiciones atmosféricas y climáticas de corta duración, de microescala a mesoescala, que duran desde minutos hasta días.	Temperatura extrema Niebla Tormenta
Hidrológico	Un peligro causado por la ocurrencia, el movimiento y la distribución de agua dulce y salada a nivel superficial y subsuperficial.	Inundación Deslizamiento de tierra Marea
Climatológico	Un peligro causado por procesos atmosféricos de larga duración, de microescala a mesoescala, cuya variabilidad climática puede variar entre intraestacional y multidecadal.	Sequía Desbordamiento repentino de lagos y glaciares Incendios
Biológico	Un peligro causado por la exposición a organismos vivos y sus sustancias tóxicas (como veneno) o enfermedades que portan a través de vectores. Por ejemplo, fauna silvestre e insectos venenosos, plantas venenosas y mosquitos portadores de agentes causantes de enfermedades, como parásitos, bacterias o virus (como malaria o coronavirus).	Epidemia Infestación de insectos Accidente animal
Extraterrestre	Un peligro causado por asteroides, meteoritos y cometas al pasar cerca de la Tierra, entrar a la atmósfera o impactar en la Tierra, y por cambios en las condiciones interplanetarias	Impacto Clima espacial

que afectan la magnetósfera, la ionósfera y la termósfera de la Tierra.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2020)

Dentro de diversas amenazas naturales, las que más efectos adversos provocan son las inundaciones, terremotos, huracanes, volcanes, y eventos meteorológicos, definida cada una por una medida local de intensidad. La amenaza sísmica se encuentra asociada con la actividad tectónica de cada región y según condiciones propias del suelo o sitio puede magnificar o disminuir su intensidad. En realidad, no existe un método exacto que alerte de forma temprana la aparición de un terremoto, la investigación y estado del arte permiten determinar probabilidades de ocurrencia (Yamin et al. 2013).

Los eventos sísmicos se miden utilizando una escala de magnitud basada en una escala logarítmica de base 10, lo que significa que por cada número entero que aumenta de magnitud, la amplitud sobre el terreno se multiplica por diez. La profundidad y tipo de falla de un evento telúrico es una característica vital para determinar la cantidad de daño esperado, siendo los sismos poco profundos los más devastadores, y los que ocurren en el mar pueden ocasionar tsunamis aumentando su poder de destrucción (Cardona 2008).

Cardona (2009, 181) indica que la amenaza sísmica representa “la descripción probabilista del tamaño y frecuencia de ocurrencia de futuras acciones sísmicas en un sitio de interés. Usualmente se cuantifica en términos de probabilidades de excedencia y valores de la aceleración horizontal del terreno en un lapso determinado”

1.3.2. Exposición urbana

Para evaluar el riesgo en determinada zona, además de caracterizar la amenaza se deben identificar los elementos expuestos en el área de estudio. De manera general, en la gestión del riesgo destacan dos clases de exposición: física y humana. La exposición es un reflejo de cómo las relaciones sociales de producción se desarrollan en el territorio (Smith et al. 2016).

La exposición humana, se refiere a la población que se encuentra en riesgo debido al daño físico que pueden presentar las edificaciones luego de un evento adverso. Se encuentra relacionada a la ocupación que puede llegar a tener determinada infraestructura. La exposición física se relaciona con las edificaciones e infraestructura en general, la cual representa la mayor parte del valor económico de una ciudad. La exposición física se la cuantifica en base a censos de población y vivienda, bases de datos, información secundaria, y

en función de la escala de análisis a través de fotografías aéreas e imágenes satelitales que posteriormente son validadas en sitio (Yamin et al. 2013).

Complementando, la exposición se define según la UNISDR (2016) como “la población, propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales”. Por lo que representa el capital físico o humano afectado por determinada amenaza. En la Tabla 1.3 se indica los elementos básicos a ser considerados en la construcción de bases de datos de exposición en la gestión de riesgo sísmico.

Tabla 1.3 Elementos típicos que conforma un modelo de exposición

	Características	Elementos
Componentes y exposición de edificaciones	Localización geográfica	Identificador
		Entidades geográficas o administrativas
		Dirección
		Longitud (coordenada x)
		Latitud (coordenada y)
	Componentes y características físicas	Número de pisos
		Área construida
		Tipo de estructura
		Tipo de entrepiso
		Tipo de cubierta
		Material de muros
		Tipo de fachada
		Fecha de construcción
		Norma o código de diseño

		Estado Actual
		Reparaciones o refuerzos
	Características de los contenidos	Descripción de los contenidos
		Valor de reposición de los contenidos
		Fragilidad de los contenidos
	Características socioeconómicas	Uso
		Destino económico
		Nivel socioeconómico
		Valor de reposición del bien
	Características de funcionamiento	Número de ocupantes promedio en diferentes escenarios
		Tipo de servicio
		Valor económico por unidad de tiempo
		Valores consecuenciales dependientes

Fuente: Yamin et al. (2013)

1.4. Vulnerabilidad física de la infraestructura

La vulnerabilidad corresponde a una serie de características diferenciadas de la sociedad o subconjuntos que predisponen al territorio a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo. Es sinónimo de debilidad o fragilidad, y corresponde la antítesis de capacidad y fortaleza. La vulnerabilidad es la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente (Lavell 2001b).

La vulnerabilidad, en términos generales, puede clasificarse mediante dos enfoques que son de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, como por ejemplo, en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda que prácticamente sólo

puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que se encuentra relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, e ideológicos (Cardona et al. 2020).

Las variables de la vulnerabilidad están inherentemente vinculadas a los medios de vida de la población, su nivel de desarrollo, y va más allá de la posibilidad del colapso de edificios o daño de infraestructuras, se trata de las características de la población y los distintos impactos que pueda tener sobre los pobladores (Salamanca 2007).

Los niveles de vulnerabilidad de la sociedad han aumentado considerablemente y su impacto es cada vez mayor, así como también es mayor el tiempo de recuperación luego de un evento adverso. Esto no se debe al incremento del número de eventos sino al incremento de condiciones de vulnerabilidad. Entre diversos factores, están el rápido crecimiento urbano en zonas marginales con métodos de construcción precarios en zonas de multiamenaza. Otros factores corresponden a la reducción en gasto social, la caída en la inversión pública en infraestructura, el desempleo y sus letales consecuencias en el entorno social, lo cual no sólo ha impedido avanzar en la reducción del riesgo, sino que en muchos casos genera una sociedad altamente expuesta a diversos desastres (Mansilla 2000).

Existen diversos tipos de vulnerabilidad, y dentro de la gestión del riesgo de desastres se destaca la vulnerabilidad social, económica, institucional, ecológica y física. Kaztman (2000, 281) define a la vulnerabilidad social como “la incapacidad de una persona o de un hogar para aprovechar las oportunidades disponibles en distintos ámbitos socioeconómicos, para mejorar su situación de bienestar o impedir su deterioro”

La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones o vulnerabilidad física se refiere a la capacidad que tiene una estructura para resistir un evento sísmico sin daño permanente (Guevara 2003), también representa al grado de fragilidad o capacidad de elementos expuestos a la acción de fenómenos adversos (Cardona 2008). Desde el punto de vista de la cultura constructiva, la vulnerabilidad física es una condición que permanece continua en el tiempo y se encuentra ligada al nivel de desarrollo de determinada comunidad.

La vulnerabilidad física se vincula con la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo con las deficiencias de sus estructuras físicas para "absorber" los efectos de esos riesgos. Por ejemplo, frente a los efectos de un evento sísmico la vulnerabilidad física se traduce en la localización de la comunidad en cercanías a fallas geológicas activas y se relaciona con la ausencia de estructuras sismo resistentes en los diferentes procesos de diseño

y construcción de edificaciones. La vulnerabilidad física está más ligada hacia una "fortaleza" económica o potencial productivo, que a una vulnerabilidad del mismo tipo (Wilches 1993).

Desde el punto de vista económico, la infraestructura de una ciudad representa un pilar fundamental en el desarrollo y crecimiento económico de una nación. El impacto de la infraestructura en el Producto Interno Bruto (PIB) resulta ser sustancial. Según Esfahani y Ramírez (2003) los países pueden ganar mucho mejorando la inversión y el desempeño en los sectores de infraestructura lo cual se consigue mediante reformas institucionales que van más allá de diseñar proyectos de infraestructura e invertir dinero en ellos. Los desastres limitan seriamente el desarrollo económico mediante, por ejemplo, la destrucción de activos fijos, daños en infraestructura en general y deterioro de modos de vida y capital físico.

Es vital medir la vulnerabilidad si se desea facilitar la toma de decisiones para reducir el riesgo de desastres ya que la falta de la misma contribuye a la inexactitud en los planes de gestión del riesgo (Cardona 2008).

Desde la ingeniería, una forma de cuantificar la vulnerabilidad física se consigue mediante la generación de modelos analíticos o matemáticos. En los países con índices bajos de desarrollo y con limitada investigación en sismorresistencia, poco se ha hecho para reducir la vulnerabilidad física, por lo que, con movimientos sísmicos de intensidad moderada y alta, el número de daños, vidas humanas, y pérdidas han generado graves crisis y catástrofes. (Yace 1998).

Los modelos de vulnerabilidad física tienen como resultado definir el nivel de daño y pérdidas de los elementos analizados. Generalmente los daños se refieren a la fragilidad y las pérdidas a la vulnerabilidad. El Instituto de Investigación de Ingeniería de Terremotos (EERI) propuso en 1994 cinco estados o niveles de daño que son: Sin daño, leve, moderado, severo, y colapso. Estudios del Instituto de evaluación sísmica de California ATC-40 ratifican estos niveles de daño y desempeño diferenciando daños en elementos estructurales, no estructurales, y contenidos. A continuación, en la Tabla 1.4 se indican los niveles de daño convencionales usados en los modelos de riesgo sísmico de estructuras.

Tabla 1.4 Índice de daños para cuantificar la vulnerabilidad física de estructuras

Sin Daño	
Leve	Daños menores en elementos no estructurales. La estructura continúa funcionando con normalidad en menos de una semana.
Moderado	Daños no estructurales considerables, se producen pequeños daños estructurales. La estructura puede estar cerrada hasta por 3 meses. No existe riesgo que se pierdan vidas humanas.
Extensivo	Los daños estructurales aumentan y es posible que la edificación deba estar cerrada por un periodo largo de tiempo. Hay alto riesgo que se pierdan vidas humanas.
Completo o Colapso	Los daños son irreparables con alta probabilidad de pérdida de vidas humanas.

Fuente: Instituto de Investigación de Terremotos (EERI 1994)

Existen diferentes metodologías analíticas para cuantificar el nivel de daño de una estructura frente a un evento sísmico las cuales han sido desarrolladas en los últimos años. Se destaca para evaluaciones de escala media y macro el modelo de vulnerabilidad propuesto por el Global Earthquake Model (GEM 2021) y la modelación de evaluación de riesgo HAZUS.

Los dos métodos de análisis parten del concepto de gestión de riesgo de desastres y es así como la amenaza sísmica se obtiene mediante leyes de predicción del movimiento de suelo o leyes de atenuación (GMPE). El modelo se lo realiza mediante análisis probabilísticos o determinísticos. Un evento probabilístico surge del análisis de comparación de eventos y predicción de incidencia, mientras que un análisis determinístico se refiere a un evento máximo esperado (Yepes et al. 2018).

Finalmente, para cuantificar la vulnerabilidad física se adoptan ecuaciones y curvas de fragilidad las cuales deben estar calibradas en función de condiciones propias estructurales como son el material, características geométricas, altura y año de construcción en función de cada tipología o taxonomía estructural.

1.5. Construcción social del riesgo de desastre

El análisis y evaluación dentro del campo del riesgo de desastres tiene una tradición histórica extensa. En primera instancia, los eventos externos tipo amenaza se asociaron con fuerzas divinas justificados como castigos, los cuales se encontraban por encima del alcance humano. Luego, desde una óptica naturalista su origen se atribuyó únicamente a las fuerzas de la naturaleza conservando su esencia exógena (Smith et al. 2016).

En los años setenta surge una nueva escuela de pensamiento conocida como “fiscalista” la cual indica que la sociedad puede realizar mejoras en su infraestructura como puentes, muros, y edificaciones sismorresistentes para combatir los efectos de eventos externos y no solo en predecir la ocurrencia de estos, mejorando con ello los bienes materiales de la población. Lo cual prioriza a las ciencias naturales e ingeniería mediante tecnología e investigación como herramientas útiles de mitigación (Salamanca 2007).

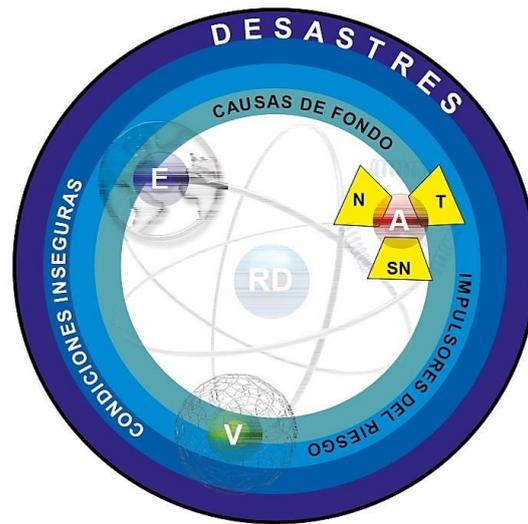
Actualmente, el uso de diques construidos para control de inundaciones puede crear un falso sentido de confianza ya que fomentan un mayor nivel de ocupación de infraestructura en las zonas inundables que se encuentran parcialmente protegidas. Es decir, medidas como la construcción de muros u obras de ingeniería pueden indicar una falsa percepción de seguridad. En realidad, en este caso una medida directa de mitigación corresponde a regular y restringir asentamientos urbanos en zonas que son susceptibles a inundaciones. (Smith et al. 2016).

La escuela que se encuentra en boga desde los años noventa en adelante sigue los lineamientos del “paradigma de la vulnerabilidad” donde la sociedad construye sus vulnerabilidades por lo que es ella misma quien puede mitigar los efectos de una amenaza y se traslada de un enfoque de gestión del desastre a gestión del riesgo, donde aborda una mirada multi e interdisciplinar entre las ciencias sociales y ciencias naturales, cuyo fin es conseguir la reducción de riesgo de desastres.

La desigualdad, y la vulnerabilidad figuran como uno de los principales factores para definir la construcción social del riesgo. Estas variables indican la evidencia de que los desastres no son naturales, sino que los eventos que causan desastre se deben a la acción antropogénica, degradación ambiental, procesos de urbanización e inequidades en general (García 2005). Los desastres se refieren a momentos de compresión o traslapes en el espacio y tiempo que están inmersos en procesos sociales e históricos más amplios, son en realidad el resultado de la elección humana. Eventos de crisis económicas y financieras, la falta de voluntad o capacidad

para hacer frente a las causas, en lugar de los síntomas forman parte de un proceso social que acentúa los riesgos conocidos (Smith et al. 2016). La Figura 1.3 indica las relaciones y procesos que son vitales en la construcción social del riesgo. Donde: (E) se refiere a la exposición, (V) a la vulnerabilidad, (A) representa las amenazas para las diversas categorías N (natural), T (tecnológica) y SN (socio natural) y RD se refiere al riesgo de desastres.

Figura 1.3 Las relaciones y procesos clave en la construcción social del riesgo



Fuente: Smith et al. (2016).

1.6. Cultura del riesgo: Una mirada conceptual desde la amenaza sísmica

La cultura se relaciona con instituciones sociales, costumbres, y creencias que posee una comunidad. Se refiere a creencias religiosas, valores, y tradiciones e influye sobre el riesgo frente a una amenaza ya que incide en las interpretaciones del entendimiento del riesgo y su capacidad de reacción. Además, configura a las normas mediante la aceptación del riesgo ya que un fenómeno puede ser para algunos muy riesgoso y para otro parte de su rutina diaria (CDKN 2014).

En realidad, constituyen y forman parte de la cultura de riesgos el conocimiento del entorno y amenazas naturales, la percepción, la tradición, y experiencia acumulada. Estos elementos determinan la capacidad de resistencia de la sociedad frente a determinada calamidad y se convierten en un valioso recurso propio de cada comunidad. La resiliencia de la sociedad frente a las amenazas de su entorno es un valor cultural que incide en la reducción de la vulnerabilidad (Cilento 2005). El término cultura representa un concepto discutido y desarrollado dentro de las Ciencias Sociales. En la presente discusión teórica se pretende

construir el término cultura del riesgo sísmico como un elemento dirigido a las medidas adoptadas propias de cada población para mitigar los efectos de un evento sísmico de considerable magnitud.

Desde la sociología, el concepto de cultura frente a los desastres nace con el objeto de reconocer que las formas de vida y las reacciones de las familias y organizaciones en general se ven sustancialmente afectadas debido a la presencia de adaptaciones culturales en territorios específicos (Wenger 1972; Dynes 1993). Este concepto se aplica para entender las experiencias adquiridas de la comunidad frente a un evento perturbador ajeno y como estas influyen en la respuesta y preparación (Dynes 1993).

En otro sentido, se emplea el concepto de cultura de riesgos al asesoramiento externo a determinada comunidad o locación para la reducción de riesgo de desastre donde los asesores crean y transmiten medidas de mitigación ya que la comunidad carece de recursos culturales y organización social propia para enfrentar un evento adverso (Macías 1992).

Frente a emergencias comunitarias y como respuesta a problemas con características propias, surge el concepto de subcultura del riesgo que representa los patrones que operan en una localización dada, orientados a la solución de problemas sociales como no sociales que nacen de la conciencia de alguna forma de amenaza o desastre periódico. Se relaciona también como el conjunto de defensas culturales que los colectivos desarrollan con el objetivo de hacer frente a los peligros recurrentes. Los patrones de una subcultura de riesgo asumen varias formas que incluyen normas, valores, conocimientos, y tecnología. En una comunidad, esta denominada subcultura sirve como modelo para el comportamiento individual y grupal antes, durante, y después del impacto o desastre donde se derivarán normativas de la forma de actuar y la capacidad de respuesta (Anderson 1965).

La capacidad de resistencia representa la capacidad de los individuos y sistemas sociales para reaccionar satisfactoriamente en un momento de emergencia. Es por ello que, determinada locación tendrá características relevantes propias, las cuales admiten un riesgo que es socialmente construido como reflejo de la cultura, por lo que la capacidad de resistencia corresponde a procesos históricos y dinámicos que se encuentran en función de varios factores donde algunos son incluso desconocidos, por lo que las respuestas se encuentran más allá de los límites estáticos y lineales (Aguirre 2004).

En realidad, como respuesta a un evento externo, el mismo nivel de vulnerabilidad entre poblaciones puede generar distintos tipos de pérdidas y daños en función de la capacidad de

resistencia, preparación o cultura preventiva de riesgo, por lo que la capacidad de resistencia y organización social son claves para disminuir el nivel de daños y desastre.

Se destaca que existe una marcada diferencia entre la vulnerabilidad y la capacidad de resistencia. Es así como puede existir el caso de un territorio con alta vulnerabilidad y con una fuerte capacidad de resistencia, como también puede existir el caso de una sociedad con bajos indicadores de vulnerabilidad y baja capacidad de resistencia. Es por ello que estos dos elementos dependen de las dinámicas donde ocurren eventos adversos y sus consecuencias, es decir se trata de una uniformidad definida (Aguirre 2004).

Las decisiones que se pueden tomar en una comunidad con el objeto de mitigar los efectos de un evento adverso desde la cultura preventiva de riesgos se encuentran en función del conocimiento de las diferentes características de adaptación, nivel tecnológico disponible, percepción sobre lazos y acuerdos entre otras personas. Se plantea que la adaptación al riesgo es función de la percepción al mismo y de las posibilidades de rentabilidad económica de las elecciones tomadas relacionándose con la organización política del grupo (G. Calderon 2001).

Se presenta un ejemplo que aborda la cultura de la reducción de riesgos la cual se menciona a raíz del terremoto y tsunami de Sumatra del 26 de diciembre de 2004. En este caso llamó la atención el análisis de dos grupos que son los trabajadores inmigrantes y los turistas frente a la comunidad originaria quien ha tenido conocimiento sobre este tipo de amenazas que ha sido transmitido por generaciones. Los turistas no reconocieron las señales de alerta y evacuación colocadas para tsunamis. Mientras las comunidades indígenas originarias de la zona reconocieron las ondas sísmicas y movimiento del suelo por lo que abandonaron el sitio de las olas destructivas. Esta medida se debe enteramente a su tradición cultural.

Precisamente, la fiesta principal de esta localidad en Indonesia se la realiza en honor a las erupciones volcánicas lo que genera una cultura o subcultura del riesgo expresada en sus actividades diarias (Mercer et al. 2012, 77).

A continuación, desde los niveles cognitivo, institucional, y racional se pretende precisar la variable referente a la cultura del riesgo sísmico.

1.6.1. Percepción y conocimiento de amenazas y niveles de exposición

Un factor cognitivo referente a la cultura del riesgo es el nivel de percepción y conocimiento sobre las amenazas al que se encuentra expuesto el territorio. Esto representa un trabajo multidisciplinar que está ligado a condiciones propias del sitio. Por ejemplo, en localidades

cercanas a ríos o fuentes de agua donde los eventos por inundaciones son recurrentes se consolida un determinado nivel de percepción sobre este tipo de eventos.

Se destaca dentro de la cultura del riesgo las tradiciones usadas por los habitantes para responder a eventos siniestros, las cuales van desde prácticas religiosas hasta modificaciones en la forma de construir viviendas (Wilches 2020).

El problema aumenta y tiene una incidencia directa en la vulnerabilidad física cuando existe desconocimiento de determinadas amenazas. En muchos casos donde se produce fenómenos de urbanización mediante asentamientos urbanos informales e incluso los formales, los habitantes no identifican las amenazas naturales a las que se encuentran expuestos, lo que limita significativamente la capacidad de respuesta ante un evento extremo (Vallejo y Vélez, 2009).

Por ejemplo, la frecuencia de amenazas de tipo geofísico como los terremotos varía en función del tipo de falla tectónica. Es así como algunas ciudades ubicadas en franjas costeras se encuentran asentadas sobre placas tectónicas las cuales generan movimientos sísmicos de alta intensidad a grandes profundidades debido al roce de placas marítimas y continentales. Los terremotos por subducción son constantes y frecuentes como es el caso de países como Chile y Japón ubicados en el cinturón de fuego del Pacífico donde se esperan grandes eventos sísmicos periódicamente.

Por otro lado, existen fallas tectónicas de tipo cortical ubicadas en ciudades asentadas sobre montañas y volcanes las cuales producen eventos con periodos de retorno largos y movimientos sísmicos cercanos a la superficie. Las magnitudes sísmicas de estos eventos son medianas, pero debido a la cercanía a la superficie los daños que producen estos movimientos son extensivos. Ciudades como Caracas o Quito se encuentran implantadas sobre este tipo de falla y los eventos sísmicos no son frecuentes y constantes.

Precisamente, en zonas sísmicas donde los eventos son recurrentes, la población genera una cultura sismorresistente marcada por una “memoria sísmica” donde las autoridades generan políticas de reducción de desastres y la comunidad crea cierto nivel de conciencia con los eventos sucedidos. Un ejemplo de ello es la ciudad de Concepción en Chile, donde luego del terremoto y maremoto ocurrido el 25 de mayo de 1751 que provocó la destrucción casi completa de la ciudad, se tomó la decisión por parte de las autoridades de reubicar la ciudad ya que la misma se encontraba en el borde costero (Musset 1996).

Mediante elementos simbólicos como la llamada “memoria sísmica”, que es un fenómeno adquirido por un número recurrente de eventos y realidades locales, se genera y consolida procesos constructivos seguros que representan formas de adaptación cultural e indican resiliencia colectiva (Capellà 2020). En ciudades donde no se tiene conocimiento o percepción de amenazas resulta complejo instaurar políticas de reducción de riesgo.

Con el conocimiento adecuado sobre amenaza sísmica, se puede realizar el emplazamiento seguro de edificaciones y proyectos evitando construcción e implantación en zonas de alto riesgo optando por una planificación urbana preventiva, disminuyendo con ello la vulnerabilidad física (Lupano y Sánchez 2009).

Finalmente, otro factor a tomar en cuenta dentro del conocimiento de la amenaza sísmica representa los diseños arquitectónicos de edificios irregulares con formas complejas. Desde el punto de vista ingenieril las irregularidades en planta y elevación aumentan la vulnerabilidad de una estructura. Es importante tomar precauciones en el diseño de estructuras irregulares, ya que en caso de un evento sísmico de considerable magnitud, esta geometría puede incidir en colapso estructural debido a fenómenos de torsión (Moehle y Deierlein 2004).

Los elementos estructurales tipo vigas o columnas que presentan irregularidades y alteraciones en el sentido de sus fuerzas internas son más susceptibles a sufrir daños y a la formación de mecanismos plásticos lo cual afecta directamente a la resistencia lateral de la estructura debido a sismos (Peña 2018).

1.6.2. Instrumentos de regulación, normativa, y legislación preventiva

Otro elemento mediante al cual se construye el concepto de cultura de riesgo es el nivel institucional que involucra a diversos actores dentro de los cuales se destacan los gobiernos nacionales y locales, la empresa privada, constructores, academia y la comunidad.

Existen profesionales e investigadores expertos en planes de mitigación para la reducción de riesgos. Desafortunadamente, en varias ocasiones el conocimiento individual y la vinculación de las instituciones privadas y públicas no son aprovechadas de la mejor manera por varias razones y debido a una confusión entre las tareas destinadas a la planificación del riesgo de desastres y las direccionadas a la atención de emergencias. Sin duda, la creación, actualización y fortalecimiento de instrumentos de regulación como normativas y legislación sísmica consolidan una cultura de riesgo basada en la prevención y son estrategias directas

hacia la reducción del riesgo sísmico y disminución de vulnerabilidad física (Lafuente, Grases, y Genatios 2014).

Precisamente, una de las prioridades descrita por el Marco de Sendai (2015) se refiere a fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres en los ámbitos local, nacional, regional y mundial donde debe existir objetivos y directrices claras mediante participación de los actores involucrados en las fases de prevención, mitigación, respuesta, recuperación y rehabilitación ante eventos adversos.

Alentar a que se establezcan los mecanismos e incentivos necesarios para asegurar un alto grado de cumplimiento de las disposiciones vigentes de mejora de la seguridad de las leyes y reglamentos sectoriales, incluidas las relativas al uso de la tierra y la planificación urbana, los códigos de edificación, la gestión del medio ambiente y los recursos y las normas de salud y seguridad, y actualizarlas, cuando sea necesario, para velar por que se preste una atención adecuada a la gestión del riesgo de desastres (UNISDR 2015, 17).

Desde un ámbito dirigido hacia el riesgo sísmico, la zonificación y microzonificación sísmica, el control de calidad de las edificaciones y la creación o actualización de normativas son elementos claves que componen una legislación sísmica preventiva (Salazar 2019). Las normativas sismorresistentes no son sino recomendaciones y guías de diseño para conseguir edificaciones más seguras y constituyen una vía que toma en cuenta el avance del conocimiento en temas vinculados a la amenaza sísmica y vulnerabilidad estructural. Por ello, para su efectividad requieren revisión y actualización periódica. (Lafuente, Grases, y Genatios 2014).

Históricamente, el desarrollo de las normativas sismorresistente se las ha realizado en función de la “memoria sísmica” ocasionada por los terremotos, es así como, naciones como Nueva Zelanda, Japón, Chile y Estados Unidos en la zona de California han sido pioneros en temas normativos en sus respectivas regiones. Además, de las grandes pérdidas producto de los eventos sísmicos de gran magnitud estos se convierten también en oportunidades de aprendizaje para entender su comportamiento (Lafuente, Grases, y Genatios 2014).

La ejecución de normativas sísmicas requiere de información técnica y de un determinado presupuesto de investigación para su desarrollo. Frente a ello, se ha tomado como medida desde las instituciones de países en vías de desarrollo adoptar normativas extranjeras que normalmente se emiten por Estados ubicados en el hemisferio norte y son trasladadas a condiciones externas de cada país lo que puede desencadenar en problemas, sino se toma en cuenta la amenaza sísmica o condiciones propias de cada zona de estudio.

Otro tema fundamental desde las instituciones representa la aplicabilidad y ejecución de las normativas lo cual se encuentra en función de la fortaleza del control y supervisión en construcción que varía de una ciudad a otra ya que para una correcta política de disminución de vulnerabilidad física es necesario garantizar la supervisión y seguimiento en ejecución de los proyectos.

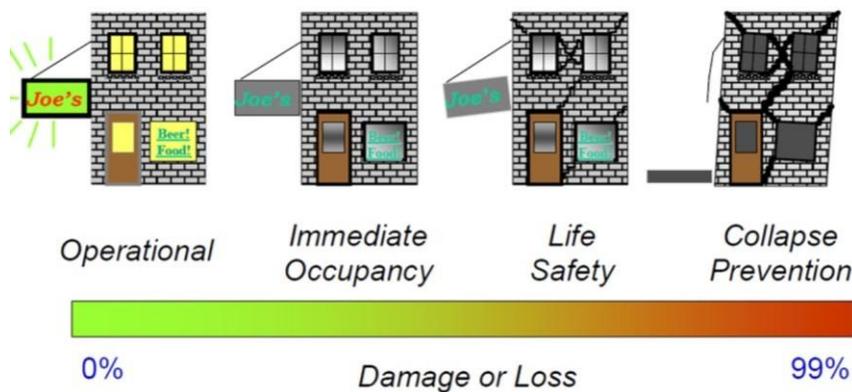
1.6.3. Intereses y limitantes económicas en políticas preventivas de reducción del riesgo sísmico

Finalmente, desde un enfoque racional existen intereses y limitantes económicos que forman parte de la cultura del riesgo sísmico e inciden directamente en la vulnerabilidad física.

Las normas sismorresistentes luego de su actualización aumentan su exigencia en cuanto al diseño de elementos estructurales los cuales se refieren al conjunto de elementos que componen la edificación y su objetivo es resistir cargas verticales, sísmicas y de cualquier tipo, sin embargo, existen limitantes económicas en el diseño sísmico ya que optar por un mejor desempeño estructural minimizando los daños tiene un costo económico alto por lo que varios códigos de construcción o normas luego de la fase técnica se someten a procesos de revisión debido a intereses económicos pasando desde una mirada netamente técnica a un fin político (Salazar 2019).

La estructura ideal y menos vulnerable desde la gestión de riesgos representa la edificación que luego de transcurrido un evento presenta daños mínimos o nulos. Lo que representa un costo mayor, por lo que existen límites de diseño para garantizar seguridad a los ocupantes. Esto se conoce como filosofía de diseño sismorresistente la cual se encarga de indicar el nivel de desempeño de la edificación. En función de los daños estructurales y como indica la Figura 1.4 el Consejo para la resiliencia de los Estados Unidos de Norteamérica (USRC 2016) indica cuatro niveles de desempeño que son: operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso. Cabe indicar que estos niveles de desempeño son avalados y adoptados por varios códigos de diseño sísmico mundial.

Figura 1.4 Niveles de desempeño estructural

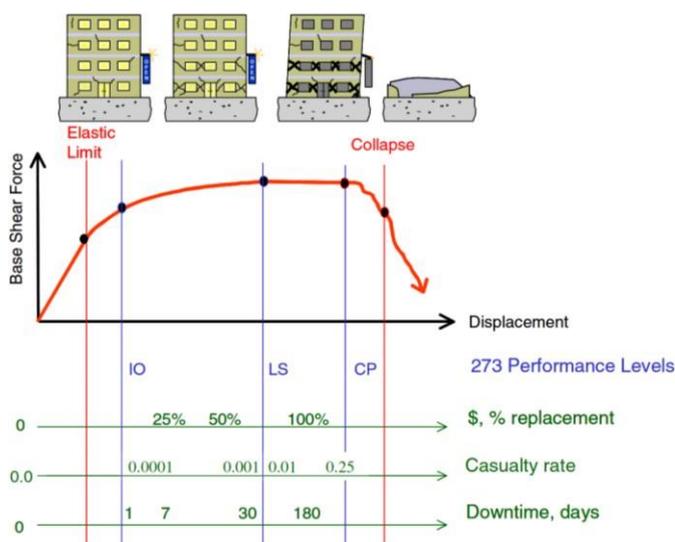


Fuente: U.S Resiliency Council USRC (2016)

Los códigos indican los niveles de desempeño en función del uso de la estructura. Es así como una vivienda familiar es catalogada como una estructura normal y debe cumplir el desempeño de prevención del colapso. Por otro lado, un hospital debe funcionar de manera continua luego de un terremoto por lo que debe cumplir un desempeño operacional o de ocupación inmediata.

La mayoría de las estructuras, como edificios de vivienda, se diseñan con la filosofía de diseño de prevención de colapso lo que significa que se acepta un gran nivel de daño luego de un evento sísmico severo lo que genera grandes pérdidas en costo y tiempo refiriéndose a la recuperación post desastre. La Figura 1.5 indica el desempeño estructural luego de un evento sísmico relacionado a los costos de reposición y tiempo de recuperación.

Figura 1.5 Desempeño estructural post terremoto



Fuente: Moehle y Deierlein (2004)

Seleccionar el costo y nivel de seguridad de cierta estructura provoca un dialogo y vínculos intensos entre los propietarios del proyecto, promotores, compañías de seguro y evaluadores del riesgo. El diseño actual sismorresistente va más allá que solamente incluir un análisis de los elementos estructurales. Una evaluación holística para obtener una estructura resiliente involucra cuantificar los daños del tiempo de recuperación para que la estructura cumpla sus funciones normales y además la cantidad de dinero requerida para ello. Este proceso se conoce como la nueva generación de evaluación de riesgo sísmico la cual incluye elementos de análisis económico (Dedeoğlu, Zülfikar, y Tüzün 2020).

Por otro lado, la cultura del riesgo sísmico sin prevención se ve reflejada en el ahorro del proyecto estructural con el objeto de conseguir mayores ganancias económicas lo que desencadena en un marcado aumento de vulnerabilidad física.

En realidad, emplear materiales con deficientes características físicas y mecánicas no representa un ahorro, ya que en caso de desastres o eventos extremos los costos de reconstrucción o reposición serán muy elevados. Esto se suma al ingente costo social y económico que representa en evento extremo en un territorio vulnerable. Los desastres desaceleran el crecimiento económico en temas macroeconómicos. Para los tomadores de decisión es vital conocer los costos económicos y beneficios asociados a estrategias particulares de reducción del riesgo (Cardona 2009).

Es importante considerar que la protección de edificaciones esenciales o históricas que forman parte del patrimonio cultural de la sociedad serán irremplazables en el caso de un evento sísmico de considerable magnitud por lo que la política del manejo del riesgo se rige por valores sociales más que por un análisis de costo beneficio (Cardona 2009).

1.7. Gestión sísmica preventiva basada en la planificación integral

La prevención sísmica se la consigue principalmente mediante la construcción sismorresistente la cual está basada en normativa actualizada y mediante planificación del territorio (González 2012).

Gómez (1993) indica que la planificación del territorio constituye o forma parte de un proceso cuyo fin es conseguir el ordenamiento territorial el cual se fundamenta en procedimientos y diagnósticos de modelos territoriales futuros. Conceptualmente, el ordenamiento territorial se refiere a la proyección en el espacio de políticas culturales, sociales, económicas, y ambientales de una comunidad, lo que representa un carácter multidisciplinar.

Las estrategias de mitigación se refieren a las medidas que tienen por objetivo minimizar sustancialmente los daños producto de la ocurrencia de amenazas o eventos naturales. Dentro de la visión moderna de la gestión del riesgo sísmico se conocen dos tipos de medidas, las estructurales y no estructurales, que se refieren a diferentes acciones manejadas por instituciones a nivel regional, nacional, y local (González 2012). La combinación de estas medidas genera una mitigación al riesgo. A continuación, se exponen los conceptos de cada una en función de lo indicado por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR 2009).

Las medidas estructurales se refieren a cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas, y las medidas no estructurales son medidas que no supongan una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación (EIDR 2009, 20).

Estas medidas mitigan al riesgo modificando los niveles de vulnerabilidad física de los elementos en riesgo potencial. Por otro lado, las medidas no estructurales no siempre requieren de costos o ingentes inversiones por lo que son aplicables para los países en vías de desarrollo. Estas medidas se promueven en procesos de planificación integral para el desarrollo, por lo que , en los últimos años se ha insistido en incorporar definitivamente la gestión del riesgo en procesos de planificación y ordenamiento territorial (Carreño 2006).

A continuación, se presenta la Tabla 1.5 donde se indican ejemplos de medidas de mitigación estructurales y no estructurales para la disminución de la vulnerabilidad física de la infraestructura.

Tabla 1.5 Medidas estructurales y no estructurales a seguir en procesos de planificación integral

Medidas Estructurales	Modificación de la vulnerabilidad de la infraestructura de líneas vitales mediante rehabilitación y reforzamiento.	Medidas no Estructurales Activas	Organización para la atención de emergencias
	Reforzamiento estructural de edificios vulnerables que no pueden ser reubicados		Desarrollo y fortalecimiento institucional
	Desarrollo de normativas de construcción para reducir la vulnerabilidad física.		Educación formal y capacitación
	Adecuación de la infraestructura de hospitales		Información pública y campañas
	Reubicación de infraestructura que se encuentra en zona de alta amenaza.		Participación comunitaria
	Construcción de muros y obras de contención	Medidas no estructurales Pasivas	Normativa sísmica
	Rehabilitación de infraestructura con elementos sísmicos como aisladores y disipadores de energía.		Reglamentación de usos desuelo y ordenamiento territorial
		Estímulos fiscales y financieros	
		Promoción de seguros	

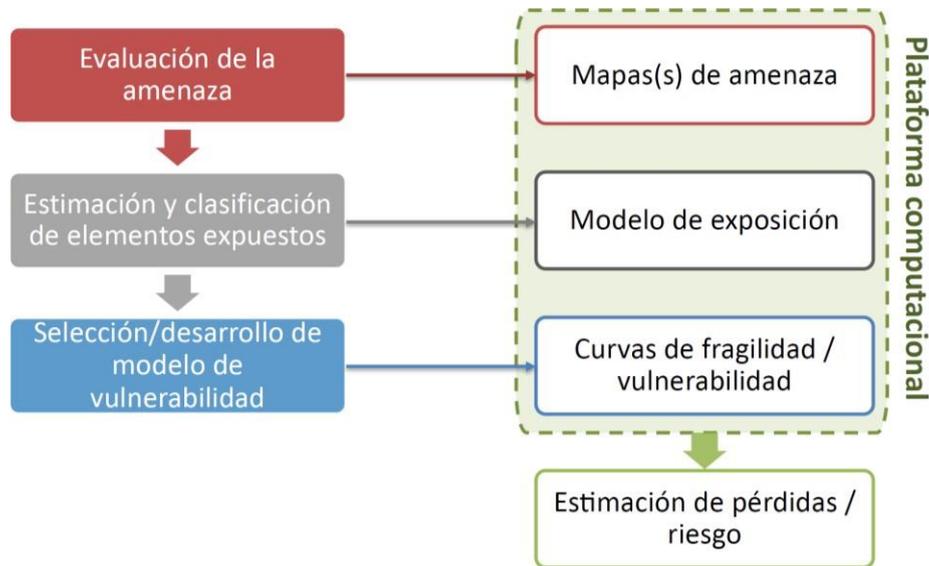
Fuente: Carreño (2006) y elaboración propia.

1.8. Metodología para la modelización del riesgo sísmico y vulnerabilidad física

A continuación, se expone la metodología a seguir sobre los modelos de riesgo sísmico. Realizar un modelo de riesgo sísmico es una tarea compleja que parte de varias incertidumbres que se compone con tres etapas básicas conocidas como modelos de amenaza, exposición, y vulnerabilidad que se indican en el Gráfico 1.1. Debido a la gran cantidad de información y bases de datos los modelos de riesgo sísmico en la actualidad se los realiza en programas computacionales que simplifican los procesos mediante algoritmos y códigos de

programación. Mediante interacciones y teoría de probabilidades estiman las pérdidas de una locación en varias etapas.

Gráfico 1.1 Etapas de modelización del riesgo sísmico



Fuente: CIGIDEN (2020)

El proceso inicia con el modelo de amenaza sísmica donde se simulan los posibles sismos desde escenarios deterministas o probabilistas. Un análisis determinista considera cada escenario de terremoto específico en función de registros históricos o posibles eventos donde se destaca su magnitud, ubicación, profundidad, y movimientos sintéticos del suelo. El análisis determinista es recomendado para decisiones cualitativas. Un análisis probabilístico considera la frecuencia de ocurrencia de todos los posibles terremotos o eventos mediante registro históricos en un lugar determinado y se lo usa para decisiones cuantitativas. (Benito, Molina, y Laín 2001).

El modelo de amenaza debe contener leyes de atenuación o ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPEs) que se refieren a la relación entre una medida de intensidad de un movimiento sísmico dado un escenario de magnitud y ubicación del sismo. Las leyes de atenuación permiten estimar los parámetros de intensidad de un terremoto en función de la distancia a la fuente, magnitud y otros elementos y características propias del sitio. (Schmidt 2014). La selección de estas ecuaciones se las realiza de acuerdo con un amplio conocimiento y experticia en función del tipo de falla y características propias del sitio.

Como indica Gráfico 1.2 las plataformas de evaluación de riesgo comparten una estructura similar que se basan en los tres módulos fundamentales, que son amenaza, exposición, y

vulnerabilidad. Uno de ellos es el software de código abierto Open Quake Engine el cual fue desarrollado por el Global Earthquake Model (GEM) desde el año 2012 y fue lanzado en 2015 el cual permite evaluar el riesgo sísmico obteniendo resultados como daños y pérdidas lo cual representa una medida directa de vulnerabilidad física.

Gráfico 1.2 Módulos de plataformas computacionales para la evaluación del riesgo



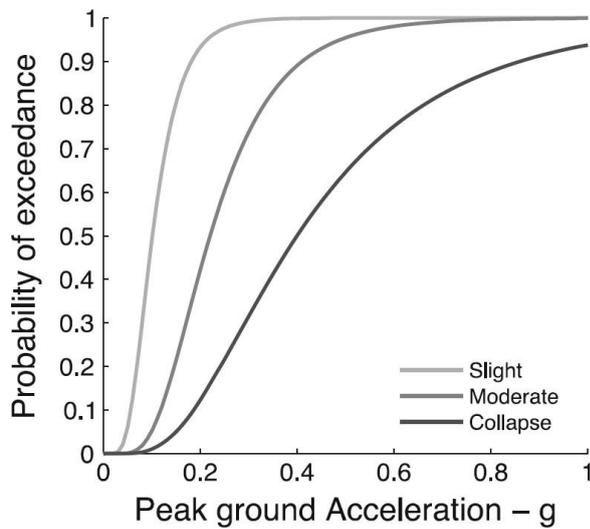
Fuente: CIGIDEN (2020)

Mediante un análisis de amenaza se construye el modelo de ruptura con el cual se genera la geometría del terremoto, datos que representan los inputs con los que se construye el modelo de amenaza.

De manera complementaria, el software genera un inventario de las edificaciones que puede realizarse por manzana o por cada estructura de análisis. La base de datos posee de forma básica: ubicación, taxonomía (sistema estructural), valor del edificio y datos relevantes de cada estructura lo cual permite construir el modelo de exposición.

Luego, para construir el modelo de vulnerabilidad es necesario seleccionar curvas de fragilidad por cada tipología o taxonomía estructural. Una curva de fragilidad (ver Figura 1.6) representa la relación entre la probabilidad de exceder estados de daños (leve, moderado, extensivo, colapso) dada una intensidad de amenaza determinada, de esta manera las estructuras más frágiles presentan mayor nivel de riesgo. Open Quake presenta un catálogo de curvas de fragilidad las cuales han sido desarrolladas en distintos artículos y publicaciones.

Figura 1.6 Ilustración y componentes de las curvas de fragilidad

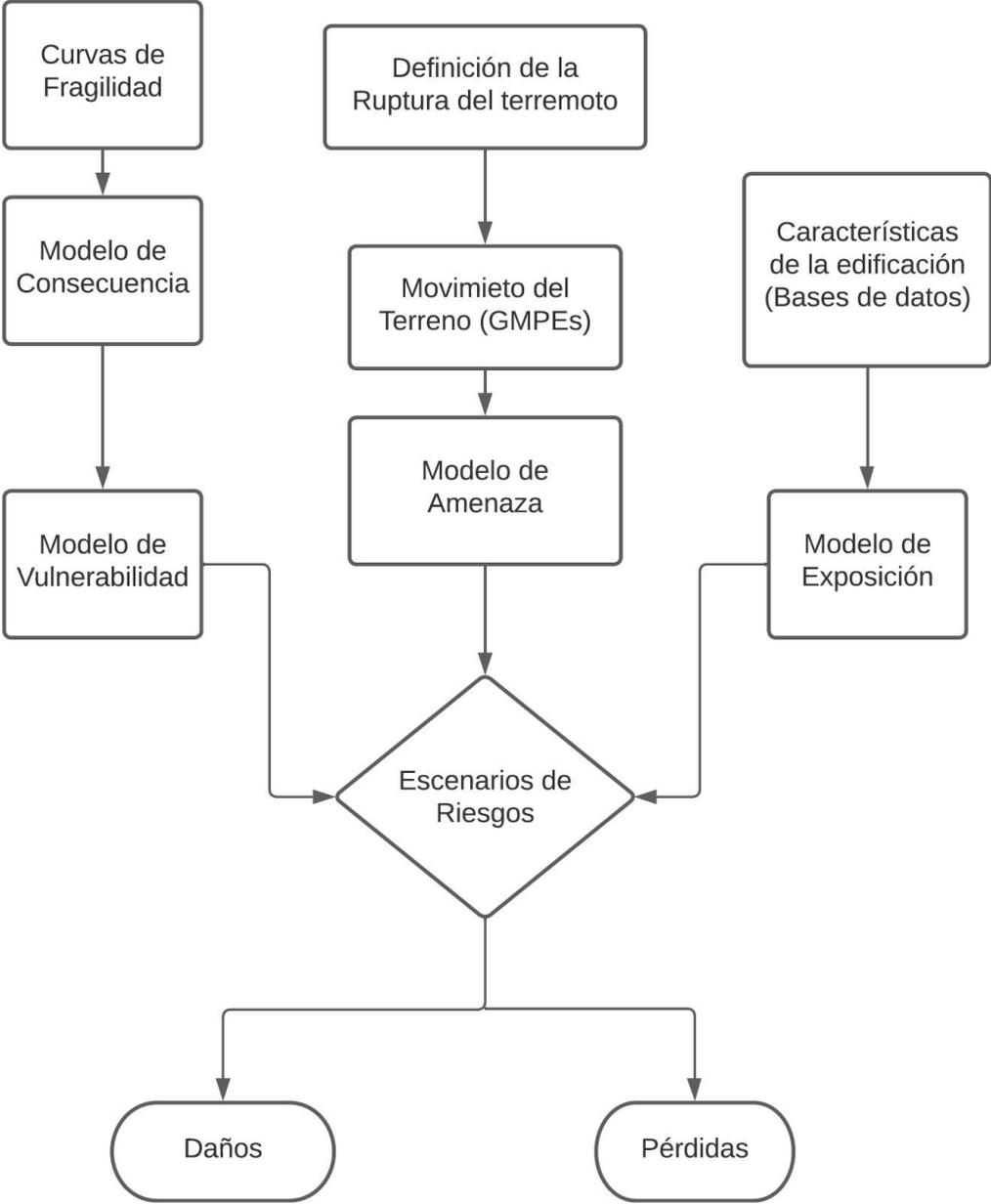


Fuente: Silva et al. (2014)

Definidas las curvas de fragilidad, el siguiente paso para determinar las pérdidas corresponde a la generación del modelo de consecuencia. Una forma de cuantificar vulnerabilidad es mediante pérdidas económicas para lo cual se establece un porcentaje en función del nivel de daño. Por ejemplo, los daños leves representan el 10% de pérdidas económicas en una estructura, y el colapso se refiere al 100% de pérdidas. Esto se encuentra en función de la experiencia del analista de riesgos de acuerdo con condiciones del sitio de análisis.

Mediante lo expuesto anteriormente el Gráfico 1.3 indica el flujo general o metodología a seguir para determinar escenarios de riesgo sísmico.

Gráfico 1.3 Diagrama de flujo de un escenario de riesgo sísmico



Fuente: Silva et al. (2014)

Se destaca que la investigación dentro de la gestión del riesgo sísmico se compone de un análisis interdisciplinar debido a sus componentes relacionadas con planificación, desarrollo, estudios sociales y parámetros culturales que se encuentran ligados con términos técnicos como amenaza, exposición y cuantificación de vulnerabilidad. Esta interrelación determina la probabilidad de riesgo en determinado territorio. Los estudios de riesgo sísmico permiten cuantificar el nivel de daño y pérdidas cuyo objetivo es conocer y entender las condiciones de vulnerabilidad y en función de ellos planificar hacia la reducción del riesgo sísmico.

Capítulo 2 Selección del caso y modelización de la vulnerabilidad sísmica

Para cuantificar la vulnerabilidad física o sísmica se propone realizar una modelización mediante la metodología propuesta por el Global Earthquake Model (GEM 2020) conforme indica la Figura 1.3 y a través del software Open Quake Engine (Silva et al. 2014) como herramienta de generación y construcción de los modelos de amenaza sísmica, exposición y fragilidad. Este programa permite optimizar el conjunto de bases de datos referentes a la modelación sísmica y mediante análisis probabilístico indica como resultado los daños y pérdidas luego de un sismo o evento externo. El presente capítulo justifica el caso de estudio que corresponde al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y debido al alcance de la presente investigación, se han seleccionado dos barrios o zonas de estudio con condiciones opuestas cuya intención es aplicar una modelización del riesgo sísmico.

2.1. Justificación y selección del caso

Mediante un estudio de caso se propone analizar una ciudad representativa en América Latina que se encuentre expuesta a amenazas de origen sísmico. La región latinoamericana se encuentra expuesta en gran parte de su territorio a terremotos debido a su ubicación entre las placas de Nazca, Cocos, Sudamericana y entre otras fallas tectónicas locales e inversas conocidas como corticales. Además, los indicadores de pobreza y condiciones socioeconómicas hacen a esta región vulnerable a eventos naturales externos los cuales visibilizan la fragilidad de su territorio.

El DMQ, a pesar de que cuenta con una población de alrededor de tres millones de habitantes, no posee dentro de su planificación urbana instrumentos directos de mitigación sísmica. El nuevo plan de ordenamiento territorial PMDOT (2021) indica políticas para la reducción de riesgo de desastre dirigidas hacia varias amenazas de tipo volcánico, movimiento en masas, e inundaciones, pero no aborda a los sismos de manera directa. Por ejemplo, la ciudad no cuenta con una microzonificación sísmica oficial, la cual es imprescindible para edificar construcciones en sitios seguros. Esto, a pesar de que la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2015) indica que poblaciones de más de 100 000 habitantes deberían contar con este tipo de estudios.

Cabe indicar que, otras ciudades como Bogotá y Lima cuentan hace algunos años con ordenanzas sismorresistentes que regulan el mercado inmobiliario en función del tipo de suelo. Además, debido a las condiciones y características tectónicas propias del DMQ no se

tiene registros recientes de terremotos directos en la ciudad con intensidades considerables. Como antecedente, en el año de 1987 se produjo un evento sísmico de magnitud $M_w = 6.9$ cuyo epicentro fue la provincia de Napo, la cual se encuentra ubicada en alrededor de 100 km de distancia de Quito. Con este evento se produjeron daños sustanciales en la ciudad, esto según datos del propio Municipio de Quito (Yepes et al. 2018).

En general, todos los eventos significativos registrados en los últimos 500 años se produjeron cuando el DMQ tenía menos exposición y su desarrollo y tamaño poblacional eran bastante reducidos. Desde la última década, la ciudad ha hecho algunos intentos para disminuir la vulnerabilidad física mediante la implementación de la revisión y supervisión de diseños arquitectónicos y estructurales a nivel de planos. Sin embargo, todavía la revisión y control en obra es una tarea pendiente (Salazar 2019). Además, se han propuesto ordenanzas relacionadas con la legalización de barrios y construcciones informales incluyendo rehabilitación estructural, pero no han sido puestas en práctica debido su falta de aplicabilidad. Debido a su componente histórico de infraestructura, el tamaño de su población, e importancia económica dentro del Ecuador, el DMQ constituye dentro de la región un caso típico relevante y pertinente a ser investigado como una ciudad vulnerable a eventos de origen natural.

2.1.1. Riesgo y amenaza sísmica en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Desde la geodinámica y de manera general en el Ecuador, la actividad sísmica se produce básicamente por la interacción de tres placas que son la de Nazca, sudamericana y el bloque Nor-andino (Alfonso 2010). Es por ello que, en el territorio ecuatoriano se producen 3 tipos de terremotos que corresponden a: eventos por subducción en el margen costero a grandes profundidades, eventos superficiales, y en tercer lugar los sucesos originados por volcanes siendo los eventos por subducción los que generan magnitudes mayores. Ejemplo de ello fue el terremoto de Esmeraldas de 1906 con magnitud $M_w 8.8$ que corresponde a uno de los terremotos de mayor magnitud registrados en el planeta. Por otro lado, los terremotos superficiales de tipo cortical que se producen en la sierra ecuatoriana son los más destructivos (Alvarado et al. 2014).

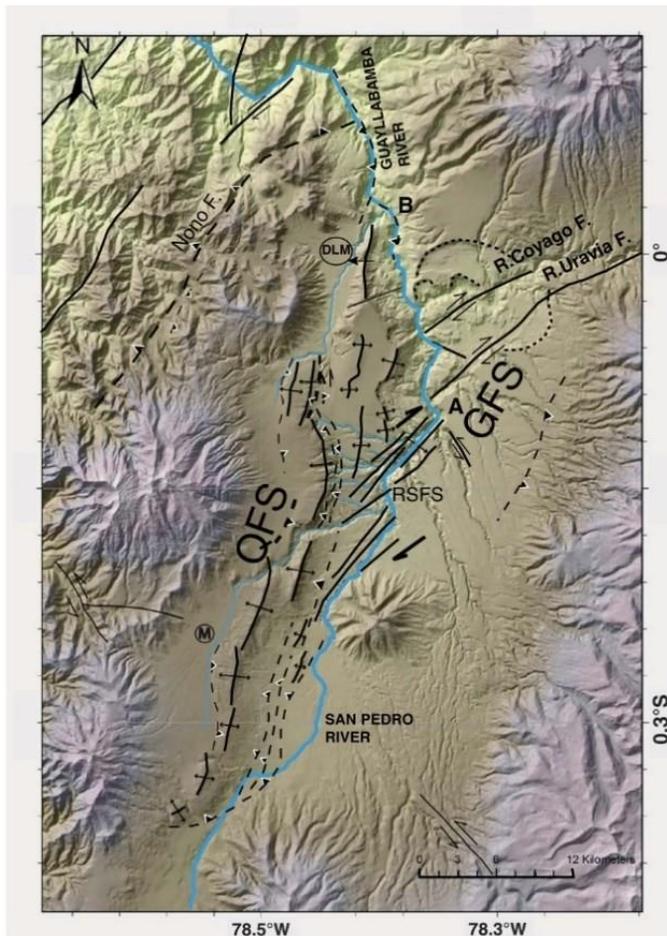
Precisamente, la región del valle interandino ha sido una de las zonas más afectadas por sismos, por lo que el DMQ se encuentra expuesto a un alto riesgo sísmico. Un terremoto que afectó considerablemente a Quito fue el evento del año 1868 donde la ciudad tenía una población de apenas 40 mil habitantes que vivía en un área de 4 kilómetros cuadrados

(Alfonso 2010). Actualmente, la ciudad presenta un incremento urbano considerable no planificado, según el PMDOT (2021) la población para el año 2020 fue de 2'781.641 habitantes de los cuales más del 70 % se estima que viven en zonas urbanas y dentro de ello un porcentaje considerable se asienta en zonas de riesgo con sistemas constructivos deficientes.

Desde que se tiene registros de eventos, se contabilizan siete sismos de considerable magnitud que han afectado a la ciudad: 1587, 1627, 1698, 1755, 1797, 1859 y 1868. De los cuales los que presentaron más daños fueron los de 1587 y el de 1859 con características de eventos corticales con magnitudes considerables y de intensidad VIII en la escala MSK en el DMQ que indican dificultades de mantenerse de pie y colapsos estructurales en estructuras de adobe. Cabe indicar que, la ciudad no solo ha sido afectada por eventos sísmicos locales sino también por eventos de otras ciudades como el de Riobamba de 1797, Ibarra 1868 y los ocurridos en la costa ecuatoriana por subducción.

Estudios e investigaciones realizadas sobre amenaza sísmica en el DMQ indican que la mayor fuente de energía proviene de sismos de origen cortical cuyos epicentros se encuentren entre un radio de 30 km con magnitudes de alrededor 6.5 (Aguilar, López, y Quizanga 2017). La ciudad se asienta sobre un sistema de fallas ciegas inversas donde se esperan sismos con magnitudes considerables, lo cual se indica en el Mapa 2.1 y se lo conoce como el sistema de fallas de Quito (QFS) (A. Calderon et al. 2022).

Mapa 2.1 Sistema de fallas de Quito (QFS)



Fuente: Alvarado et al. (2014)

Los eventos sísmicos que se generan en el QFS son de tipo impulsivo y de corta duración, pero presentan un pulso de velocidad bastante alto por lo que son muy destructores en zonas urbanas cercanas. Ya que la ciudad se encuentra asentada sobre fallas inversas, es importante el comportamiento y evaluación de la componente vertical ya que esta puede inducir a las edificaciones a movimientos verticales (Aguilar, López, y Quizanga 2017).

Dentro de los segmentos de Quito se ha realizado una descripción sobre las magnitudes sísmicas esperadas y su periodo de recurrencia, las cuales se indican en las Tabla 2.1 y Tabla 2.2.

Tabla 2.1 Magnitud esperada en cada segmento de las fallas de Quito

Magnitud máxima esperada en cada segmento de las fallas de Quito (QFS)			
Segmento	Área ruptura (km ²)	Magnitud (M _w)	Longitud de ruptura (km)
Puengasí	259	6.4	22
ILB	176	6.2	15
CEI	82	5.9	7
BC	191	6.3	17.5
Tangahuilla	108	6.0	12

Fuente: Alvarado et al. (2014)

Debido a la actividad sísmica y volcánica de Quito, se han colocado 10 sismómetros y 15 acelerómetros que han estado en operación varias décadas los cuales han registrado 1758 eventos corticales en el periodo de 1994 a 2009 con magnitudes de 3 a 5.3 en profundidades menores a 40 km lo cual confirma la actividad tectónica superficial y cortical de la ciudad. Para el QFS el evento máximo probable esperado se podría dar dentro de un área de ruptura de 720 km² con magnitudes M_w estimadas entre 6.8 y 7.1 a lo largo de 60 km de la zona de falla, con una recurrencia entre 195 a 235 años. La exactitud de este rango se complica debido a la inexistencia de eventos considerables en los últimos cinco siglos pasados, e incluso, este periodo de recurrencia puede encontrarse en un rango de 150 a 435 años (Alvarado et al. 2014). Estas condiciones se refieren a una ruptura completa a lo largo de todo el QFS.

Sin embargo, según indica Alvarado (2014) otro escenario posible y más probable según las características geomorfológicas de la falla de Quito representa una ruptura individual por cada segmento. En función de esta hipótesis se definen cinco segmentos de sur a norte: Puengasí, Ilumbisí-La Bota, Carcelén-El Inca, Bellavista-Catequilla, and Tangahuilla. Tabla 2.2 indica las magnitudes probables con los respectivos periodos de recurrencia que se encuentran en rangos de 200 a 400 años según la historia sísmica de la ciudad.

Se confirma que la actividad sísmica de Quito es alta debido al movimiento de la falla de la ciudad, lo cual se demuestra con los instrumentos y dispositivos colocados en sitio los cuales indican un movimiento entre las placas de 4 milímetros por año (Alvarado et al. 2014).

Tabla 2.2 Periodo de recurrencia hallados con Modelo de Gutenberg y Richter modificado

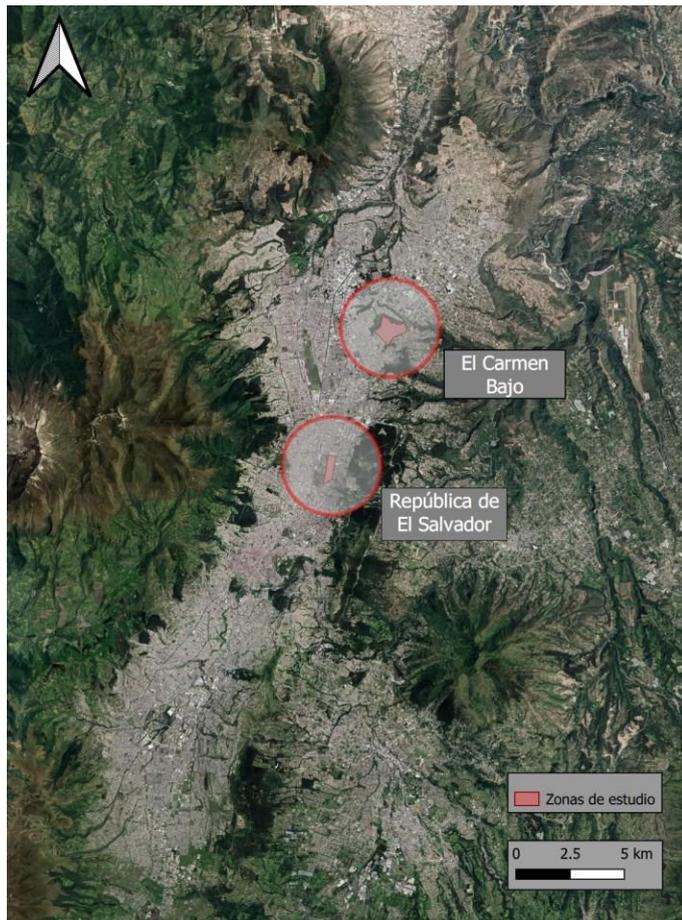
Rango de Magnitud	Periodo de recurrencia (años)				
	Puengasí	ILB	CEI	BC	Tangahuilla
5.0-5.5	20-35	18-30	27-39	18-31	23-34
5.5-6.0	62-87	56-75	85-130	57-78	65-97
6.0-<	164-262	179-279			579-1016
Mmax	1224-2190 (Mw 6.4)	610-981 (Mw 6.2)	549-952 (Mw 5.9)	908-1630 (Mw6.3)	579-1016 (Mw6.0)

Fuente: Rivas Medina (2014)

Lo expuesto anteriormente confirma la actividad sísmica de la ciudad y su riesgo debido a sus condiciones de vulnerabilidad y exposición lo cual hacen del DMQ un caso de estudio desde un enfoque sísmico.

A continuación, se exponen y justifican como indica el Mapa 2.2 las áreas de estudio dentro del DMQ que corresponden a: el barrio el Carmen Bajo y una zona dentro del barrio Benalcázar en la Av. República de El Salvador, donde se aplica el modelo de vulnerabilidad sísmica.

Mapa 2.2 Ubicación de zonas de estudio dentro DMQ

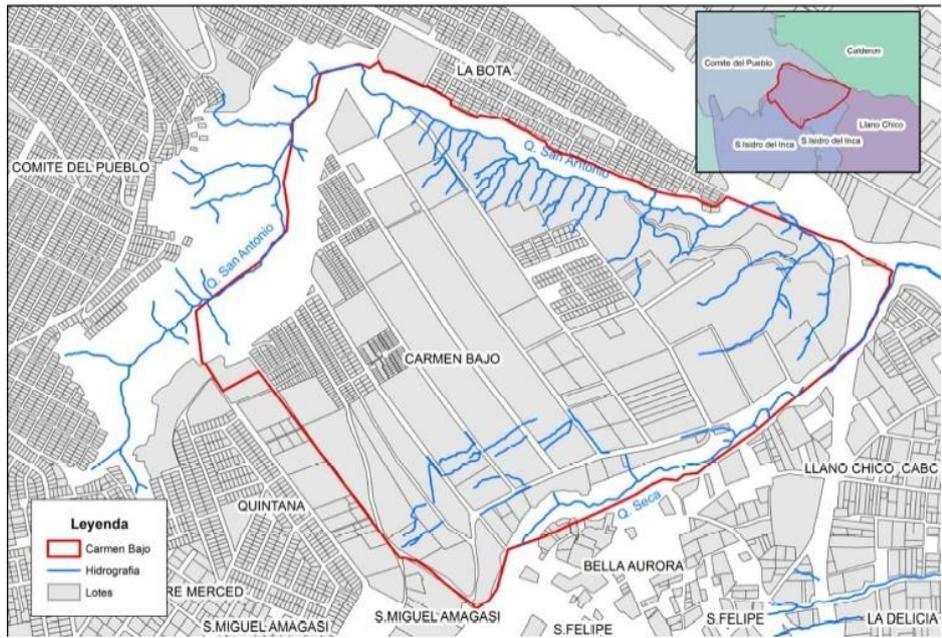


Fuente: Elaboración propia en base a mapas QGIS (2022)

2.1.2. El Carmen Bajo

El barrio o zona de estudio como indica el Mapa 2.3 se encuentra ubicado en la parroquia de Llano Chico al noreste del DMQ. El Barrio El Carmen Bajo se encuentra limitado al norte y oeste por la quebrada de San Antonio cuyo accidente geográfico separa a los barrios Comité del Pueblo y la Bota, al sur por la quebrada seca y al este por el barrio la Quintana. Es un barrio cuyas características se encuentran marcadas por la construcción informal sin planificación y dirección técnica.

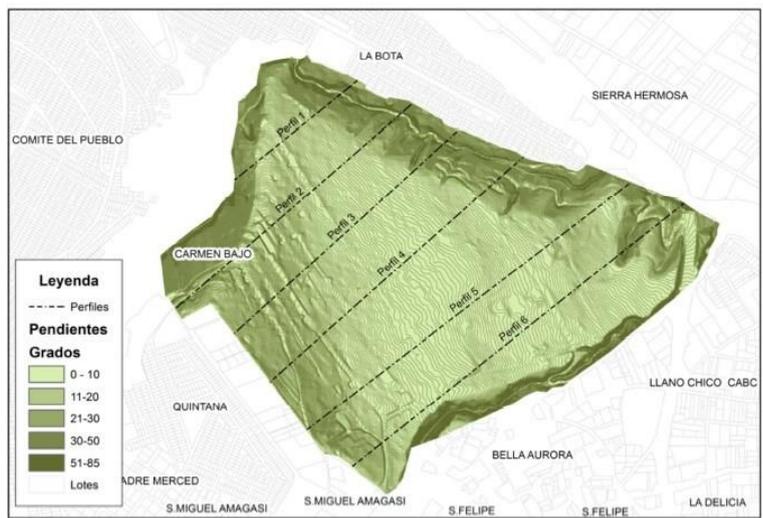
Mapa 2.3 Ubicación del barrio el Carmen Bajo



Fuente: SHTV (2018)

Topográficamente como indica el Mapa 2.4, el Carmen Bajo es bastante irregular con un desnivel relativo de 268 metros con pendientes pronunciadas que van desde los 0 a 85 grados las cuales marcan las características morfológicas principales del barrio.

Mapa 2.4 Morfología del Carmen Bajo

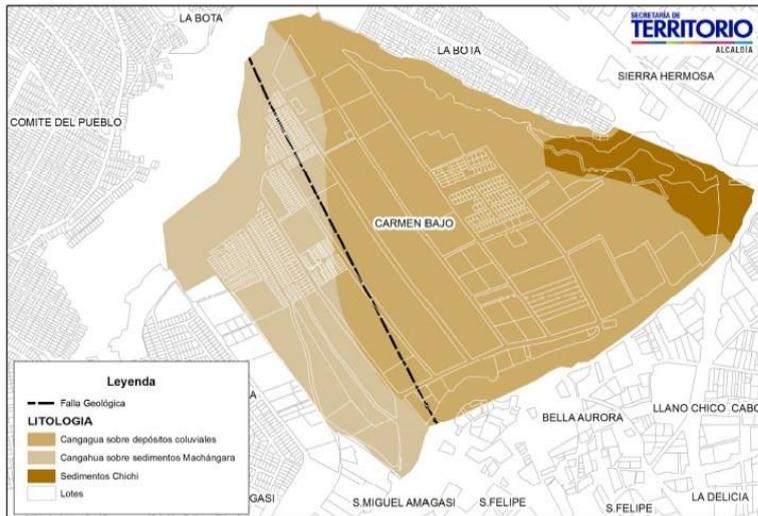


Fuente: SHTV-DMPPS (2018)

Llama la atención, como se aprecia en el Mapa 2.5, la existencia de una falla geológica como parte del sistema de fallas de Quito (QFS) que atraviesa todo el barrio de forma longitudinal con una orientación N20°W. Más del 80 % del territorio que comprende el Carmen Bajo se encuentra en zonas de susceptibilidad a movimientos en masa. Debido a que el barrio se

encuentra asentado justamente sobre esta falla es considerado una de las zonas con mayor peligro sísmico en el DMQ.

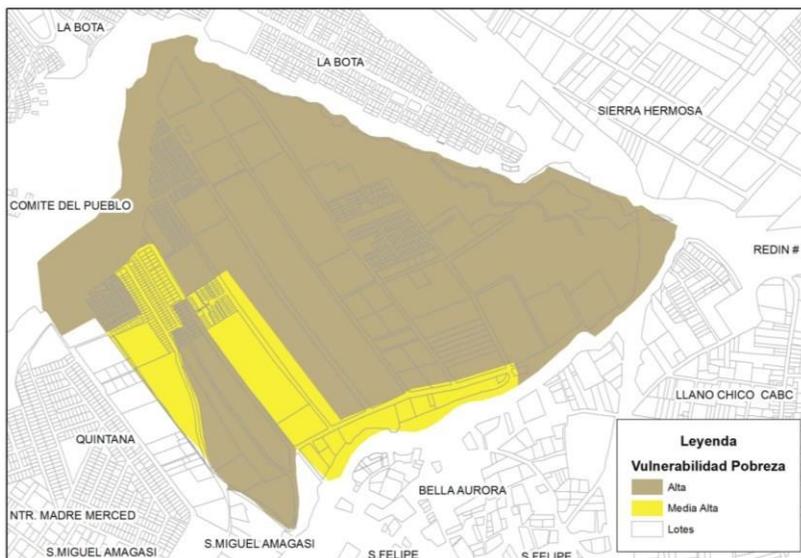
Mapa 2.5 Falla Geológica en el Carmen Bajo



Fuente: SHTV-DMPPS (2016)

En función de lo indicado por la Dirección Metropolitana de Riesgos (2016), en el sector se realizó un análisis descriptivo de las viviendas usando la base de datos del censo de población y vivienda del 2010 incluyendo las variables techo, material de paredes y pisos, calificando a las viviendas como buena, regular, o mala. Este análisis indica que el 55% presenta vulnerabilidad media, el 19 % vulnerabilidad baja, y el 8.8 % califica como alta vulnerabilidad (ver Mapa 2.6).

Mapa 2.6 Vulnerabilidad a la Pobreza en el Carmen Bajo



Fuente: INEC SHTV (2010)

Según el mismo censo, el 49.50% de la población de la parroquia Llano Chico es considerada pobre, y el 45.57% de los pobres se encuentran en condiciones de pobreza extrema. En cuanto a servicios básicos el 43 % cuenta con ellos y el 37% indica tener servicios muy malos.

Dentro de la planificación urbana del barrio, alertan los datos sobre los índices de ocupación del suelo. Según el plan de uso y ocupación de suelo de Quito PUOS (2012) el coeficiente de ocupación de suelo total para el barrio es 240% es decir que aumenta la capacidad del suelo en 1.4 veces es por ello que existen algunos conjuntos habitacionales en la zona y proyección futura para proyectos interés social en el sector.

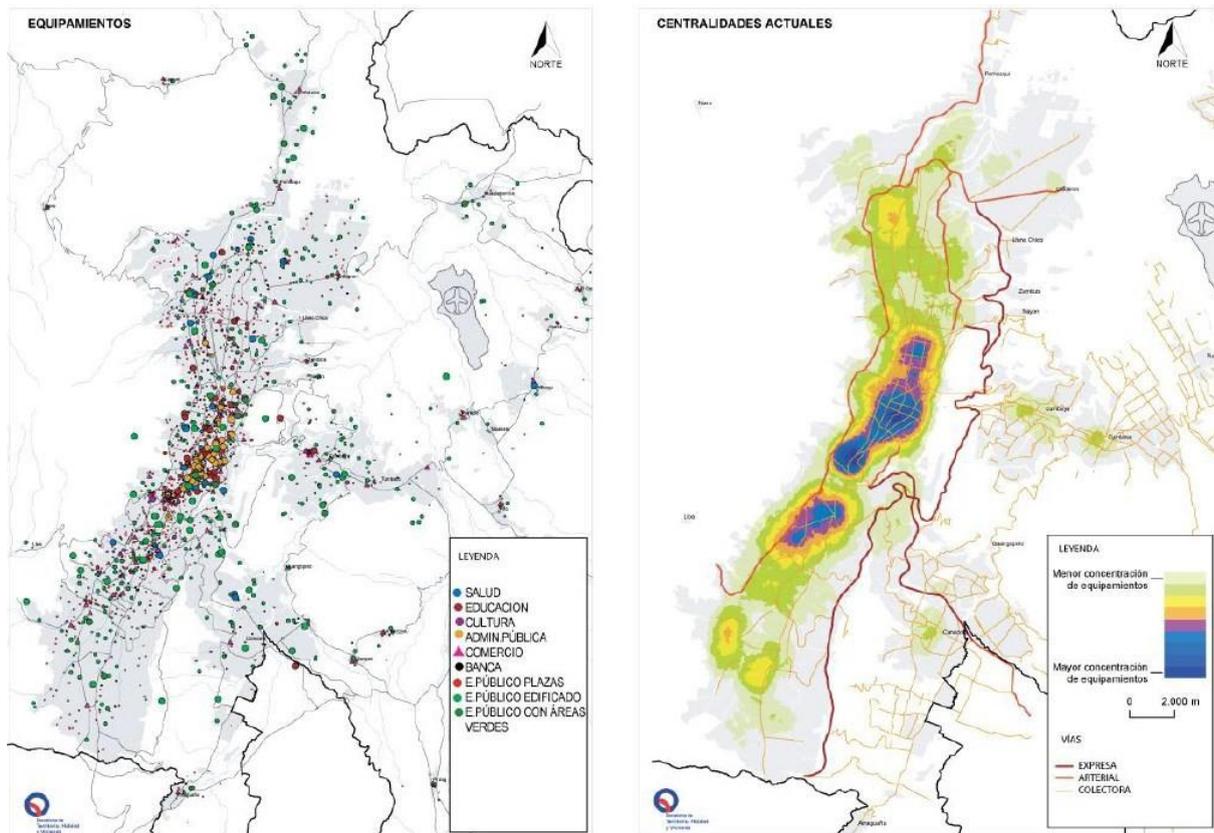
2.1.3. Barrio Benalcázar- República de El Salvador

La República de El Salvador se ubica en la Parroquia Ñaquito y se encuentra dentro del barrio Benalcázar, conformando el núcleo del llamado “hipercentro” de Quito, cuya denominación proviene debido a la gran concentración de servicios y factores productivos en el sector. La delimitación del hipercentro de Quito comprende el área entre los ejes de la Tomás de Berlanga al norte, Alonso de Angulo al sur, la av. América del oeste y 6 de diciembre al este. El sector se lo conoce también como La Carolina y se caracteriza por construcciones en altura de tipo formal (con planificación, permisos de construcción y dirección profesional).

Actualmente, en este sector se construyen edificios de gran altura debido a la ordenanza municipal de ecoeficiencia, la cual permite la compra de pisos hasta el doble de altura mediante el cumplimiento de estándares sostenibles con el ambiente, aumentando considerablemente la densidad de ocupantes en las viviendas. Estas edificaciones materializan grandes inversiones económicas por lo que aumenta significativamente su exposición a eventos ajenos como un sismo. Precisamente, la zona de Ñaquito cuyo núcleo es la avenida República de El Salvador, se ha convertido en la centralidad más importante de la ciudad debido a la concentración de equipamientos como indica el Mapa 2.7.

Según el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial POT (2012) la ciudad de Quito concentra los equipamientos y los servicios en el “hipercentro” de la ciudad lo que favorece a las dinámicas urbanas del sector norte dejando desplazado al sur de la ciudad.

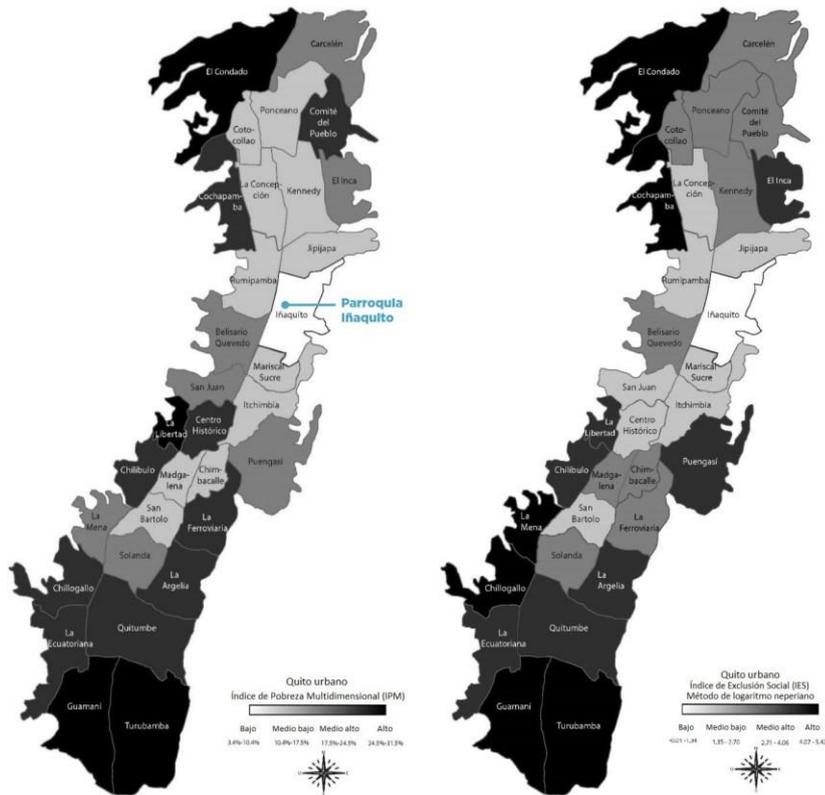
Mapa 2.7 Concentración de equipamiento y centralidades en el DMQ



Fuente: SHTV (2010)

El “hipercentro de Quito” se constituye como la zona dentro de la ciudad que más viajes atrae debido a la cantidad de equipamiento existente y actividad económica. El Mapa 2.8 indica los índices de pobreza multidimensional e índices de exclusión social de Quito y se observa que la parroquia con menor índice de pobreza y exclusión es Iñaquito, justamente esta condición a más de su proyección futura desde la planificación urbana de la ciudad justifica que esta zona sea evaluada a un posible impacto de un sismo de considerable magnitud poniendo a prueba sus estrategias de mitigación,

Mapa 2.8 Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)



Fuente: Bustamente y Olarte (2017)

2.2. Modelización de la vulnerabilidad sísmica en las zonas de estudio

A continuación, se presentan los modelos de amenaza sísmica, exposición, y vulnerabilidad en las zonas de estudio elegidas que son el Carmen Bajo y un área dentro del “hipercentro” ubicada en la Av. República de El Salvador, cuyo objetivo es determinar los posibles daños y pérdidas como cuantificación de riesgo y vulnerabilidad física luego de un sismo de considerable magnitud.

2.3. Modelo de Amenaza Sísmica en el DMQ

Con el objeto de conseguir un modelo de vulnerabilidad sísmica es vital partir con un modelo de amenaza. Para ello, en función de la Tabla 2.1 y según lo indicado por Beauval et al. (2018) se plantea un escenario determinístico tomando en cuenta un posible evento con un sismo de Magnitud 6.2 en el segmento de Ilumbisí la Bota a 6 km de profundidad. Es decir, se plantea un evento donde exista la ruptura en un segmento de la falla de Quito (QFS) y no una ruptura a

lo largo de todo el segmento, lo que representa un evento muy probable en función de las características tectónicas de la falla. Además, como indica la Tabla 2.2 se selecciona este segmento debido a su periodo de recurrencia lo cual indica que es uno de los escenarios más probables. Además, esta falla atraviesa directamente el barrio el Carmen Bajo y se encuentra cercana a la zona de la República de El Salvador.

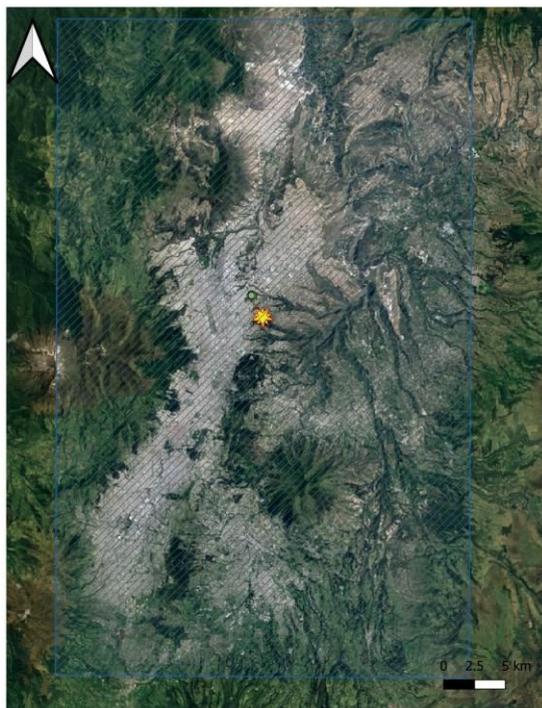
El área de influencia para la determinación de la amenaza sísmica se encuentra dentro de las siguientes coordenadas como indica la Tabla 2.3 y Mapa 2.9. Para determinar la ubicación del epicentro se ha tomado el punto medio del segmento de esta falla que tiene las coordenadas (-0.137,-78.45).

Tabla 2.3 Coordenadas del a zona de estudio de la amenaza sísmica

Zona de estudio	
Latitud	Longitud
0.08	-78.60
0.08	-78.30
-0.40	-78.30
-0.40	-78.60

Fuente: Elaboración propia

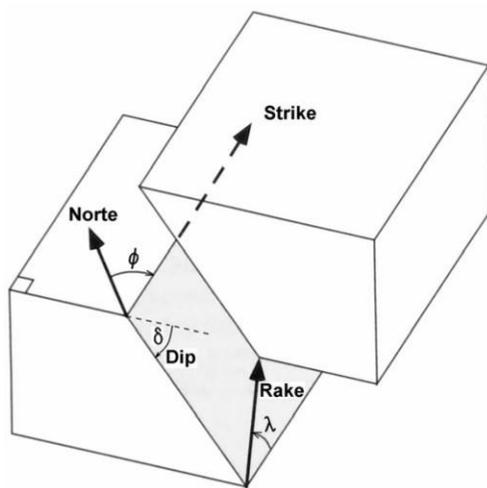
Mapa 2.9 Zona de estudio y ubicación del epicentro para determinar la amenaza sísmica



Fuente: Elaboración propia

En un escenario determinístico se debe contar con la geometría del terremoto que se define en función de su magnitud, profundidad, área de ruptura y los parámetros: strike, dip y rake que se refieren a la orientación del espacio del plano de falla y el movimiento relativo de sus caras. Como indica la Figura 2.1 el ángulo strike corresponde al rumbo o azimuth medido desde un ángulo horizontal con respecto al norte. El ángulo dip se refiere al buzamiento del plano de falla medido en un plano vertical, y el ángulo rake es el deslizamiento del bloque superior respecto al bloque inferior de falla. A continuación, en la Tabla 2.4 se presenta la geometría del terremoto.

Figura 2.1 Definición y mecanismo focal de una falla



Fuente: (Shearer 2009)

Tabla 2.4 Geometría y condiciones del evento sísmico (Inputs)

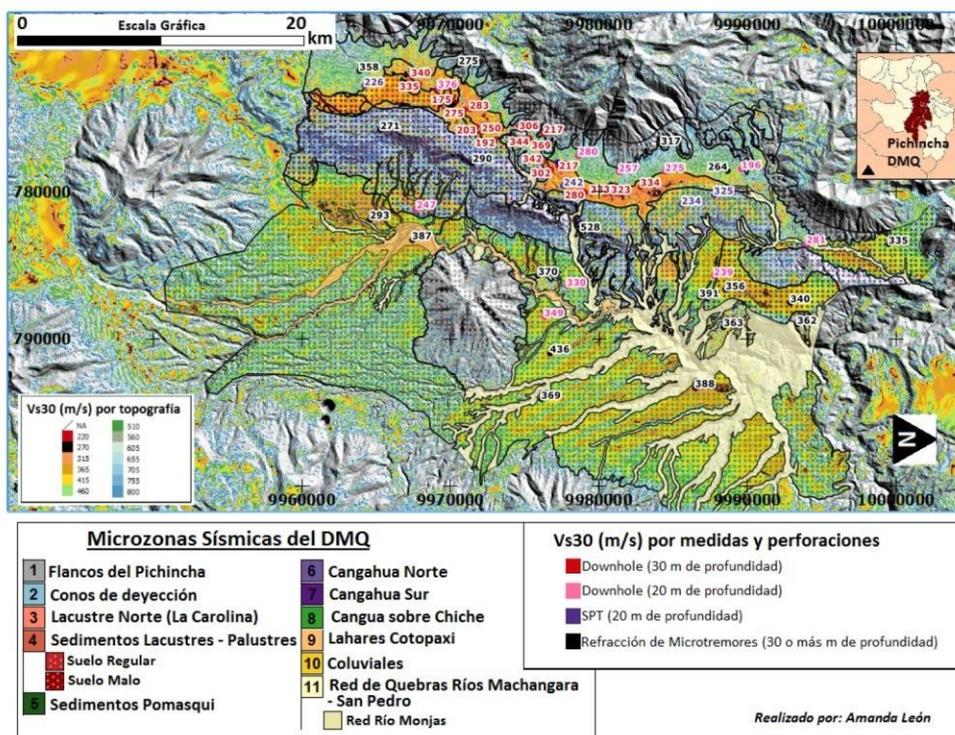
Ruptura del Terremoto en Falla ILumbisí - La Bota	
Magnitud Mw	6.2
Profundidad (Km)	6
Strike(°)	9.1137
Dip(°)	55
Rake(°)	90
Vs 30 (m/s)	290
Área de Ruptura (km2)	176

Fuente: Elaboración propia

Luego de definida la geometría del terremoto según los parámetros expuestos por Beauval et al. (2018) se deben seleccionar las leyes de atenuación, o leyes de predicción del

movimiento del suelo (GMPEs), esto de acuerdo al tipo de falla. Para el caso de Quito según Calderón (2022, 23) se adaptan a las características del QFS las ecuaciones para fallas corticales de: Bindi Et al 2011, Zhao Et al 2016, ChiouYoungs 2014, AkkarEtal2014. Como un valor aproximado de la respuesta de sitio, es necesario definir el valor de la onda de corte a 30 metros de profundidad (V_{s30}). Es así que según León (2018) y como indica en el Mapa 2.10 para efectos de evaluación de riesgo urbano en las zonas de estudio dentro del DMQ se coloca en el modelo una velocidad de onda de corte promedio a 30 metros de profundidad de 290 m/s.

Mapa 2.10 Recopilación de Microzonas de V_{s30} en el DMQ



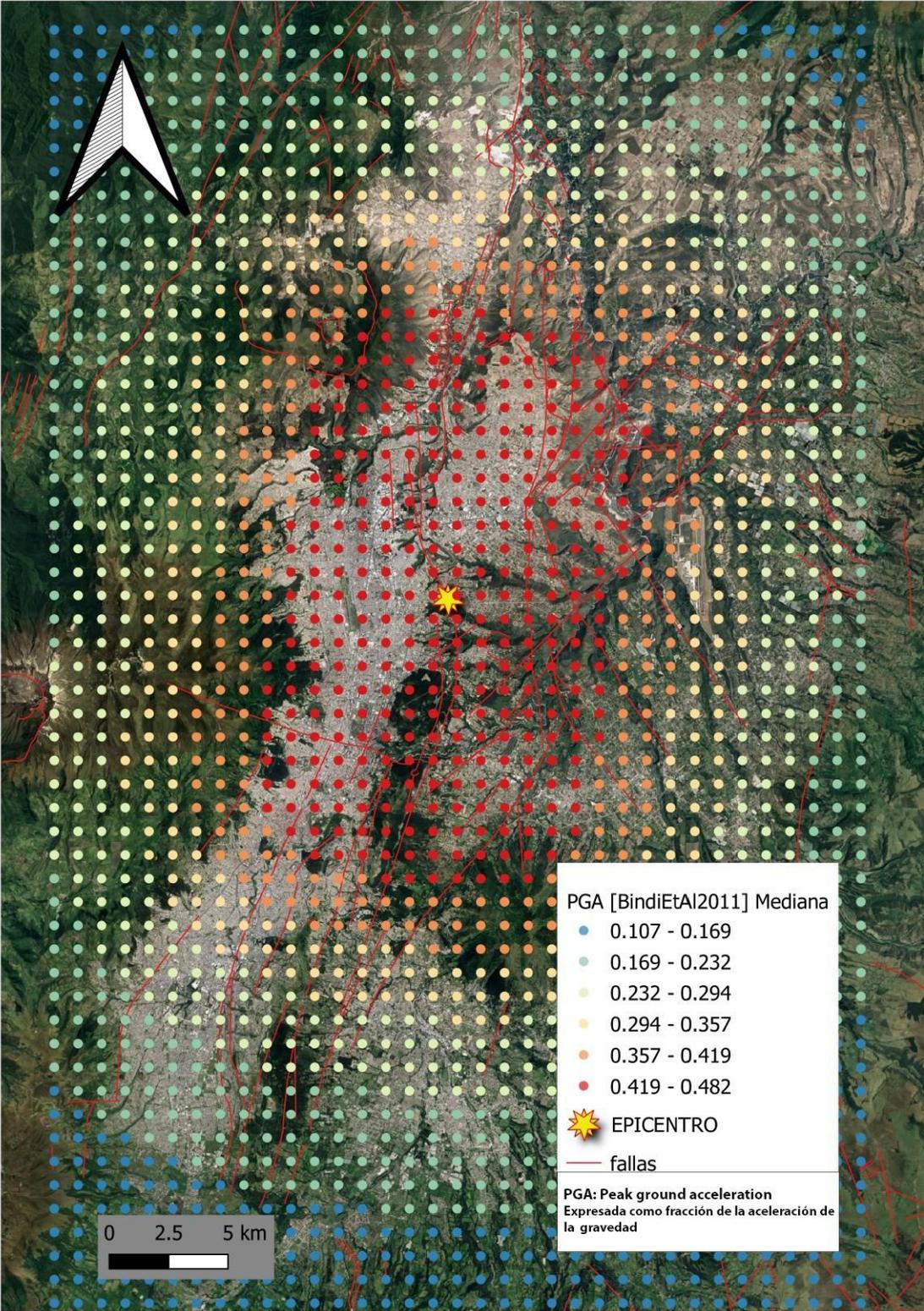
Fuente: León (2018)

Con los datos ingresados el software Open Quake Engine se indica la geometría del evento sísmico que se encuentra en el Anexo 1.

Los resultados de amenaza sísmica se los presenta mediante intensidades sísmicas PGAs (peak ground acceleration) que representan un porcentaje del valor de la gravedad en mediana y variabilidad. En realidad, los resultados deben considerarse usando variabilidad ya que en un sismo se presentan picos en la aceleración del terreno. Para la variabilidad se ha considerado un nivel de truncamiento igual a tres. Los resultados tanto para variabilidad como mediana se los tiene para cada ley de atenuación descrita anteriormente. A manera de ilustración, el Mapa

2.11 indica las intensidades sísmicas en función de la ecuación propuesta por Bindi (2011) con mediana. En el Anexo 2 se presentan los resultados más críticos sobre la amenaza.

Mapa 2.11 Modelo de Amenaza Sísmica Mw 6.2 Segmento ILB



Fuente: Elaboración propia

2.4. Modelos de exposición

El siguiente componente para conseguir la modelización de riesgo sísmico de determinada zona de estudio es el modelo de exposición. El objetivo del modelo de exposición es encontrar las características principales de los bienes físicos de determinada locación para lo cual se realizan inventarios de estructuras que permitan conocer sus características de material, sistema resistente a sismos, número de pisos, ubicación geográfica, y costo de reposición (Hinestroza 2018).

Para este modelo se requiere la construcción de bases de datos que deben ser verificadas en inspecciones en el sitio, mediante levantamiento de información del sistema estructural y condiciones específicas de cada edificación. Además, para cuantificar y determinar la vulnerabilidad en pérdidas económicas se debe contar con los costos de cada estructura. La fuente de la base de datos referente a los avalúos de cada unidad de análisis o predio de la presente investigación corresponde al Centro de Información Urbana de Quito CIUQ (2022) y datos del Censo de Población y vivienda realizado por el INEN en 2010. Para determinar la taxonomía o sistema estructural en función de lo indicado por la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos (FEMA) se realizaron evaluaciones visuales en el sitio donde se determinó los materiales y sistema estructural de cada edificación. Además, se verificó y contrastó la información de los materiales de construcción de los censos realizados. Luego del análisis de esta información se construyó la base de datos de cada zona de estudio. Para fines prácticos dentro de la evaluación del riesgo se adoptó la taxonomía propuesta por el Global Earthquake Model (GEM 2021).

2.4.1. Modelo de exposición el Carmen Bajo

Dentro del Barrio el Carmen Bajo (CB) se analizaron 121 unidades de vivienda. La base de datos construida por cada unidad de análisis o estructura presenta la siguiente información:

Id: Representa un código de identificación (puede colocarse letras y números).

Lon: Valor de la coordenada en el eje horizontal. (Sistema UTM WGS84)

Latitud: Valor de la coordenada en el eje vertical. (Sistema UTM WGS84)

Taxonomy: Taxonomía estructural, se compone por el sistema estructural principal resistente y el número de pisos.

Number: Número de unidades de análisis, puede existir la misma unidad repetida por zona.

Structural: Valor total en dólares del bien de análisis. (Avalúo del predio según CIUQ)

Predio: Identificación catastral de la edificación.

Uso: Representa el uso principal de la vivienda.

Año: Año de construcción de la edificación

Siguiendo la taxonomía GEM, y luego de la inspección en sitio donde se realizó una evaluación visual de las edificaciones, se encontraron de manera general dos sistemas estructurales en el C.B compuestos por mampostería de bloque sin refuerzo (MUR+CBH) y semi pórticos de hormigón armado con ductilidad limitada rellenos de mamposterías (CR+CIP). A continuación, se detallan estos sistemas estructurales.

Se encontraron viviendas de uno y dos pisos con sistemas de mampostería sin columnas o refuerzo. Por otro lado, se evidenció estructuras de uno a cuatro pisos que tratan de conformar pórticos de hormigón armado (unión de elementos horizontales y verticales) de forma antitécnica, por lo que corresponden a sistemas estructurales de limitada ductilidad (DNO). La Tabla 2.5 indica los sistemas estructurales específicos o taxonomías correspondientes a las 121 unidades analizadas en el CB donde se observa que prevalecen las estructuras con mampostería no reforzada (MUR/LWAL) y de pórticos con losas planas no dúctiles (CR/LFINF).

Tabla 2.5 Taxonomía estructural en CB

	Taxonomía GEM	Equivalencia
1	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	Mampostería no reforzada no dúctil de 1 piso
2	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	Mampostería no reforzada no dúctil de 2 pisos
3	CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 1 piso
4	CR/LFINF+DNO/HEX:2/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 2 pisos

5	CR/LFINF+DNO/HEX:3/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 3 pisos
6	CR/LFINF+DNO/HEX:4/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 4 pisos.

Fuente: Elaboración propia

En recorridos en sitio se constató que el Carmen Bajo (CB) es un barrio que se caracteriza por la informalidad de su construcción donde la mayoría de las viviendas son de baja altura. El rango de pisos se encuentra entre uno y cuatro pisos (ver Tabla 2.7 y Gráfico 2.1). Además, se evidenció que las viviendas analizadas no cumplen con los requerimientos de las normativas vigentes. En la Tabla 2.6 se adjunta el valor económico el cual se obtuvo con los registros del Centro de Información Urbana de Quito e información de bases catastrales de la ciudad. El valor total de las 121 unidades de vivienda sobrepasa los 5.5 millones de dólares.

Tabla 2.6 Valor económico de las estructuras analizadas en el CB

TAXONOMÍA GEM	SISTEMA ESTRUCTURAL	Nº viviendas	Costo (USD)
MUR/LWAL+DNO/HEX 1	Mampostería sin refuerzo de 1 piso	46	908701.7
MUR/LWAL+DNO/HEX 2	Mampostería sin refuerzo de 2 pisos	8	269353
CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 1 piso	10	275156.46
CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 2 pisos	44	2250887.43
CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 3 pisos	11	1721365.62
CR/LFINF+DNO/HEX 4/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 4 pisos.	2	299632.62
	TOTAL	121	5725096.83

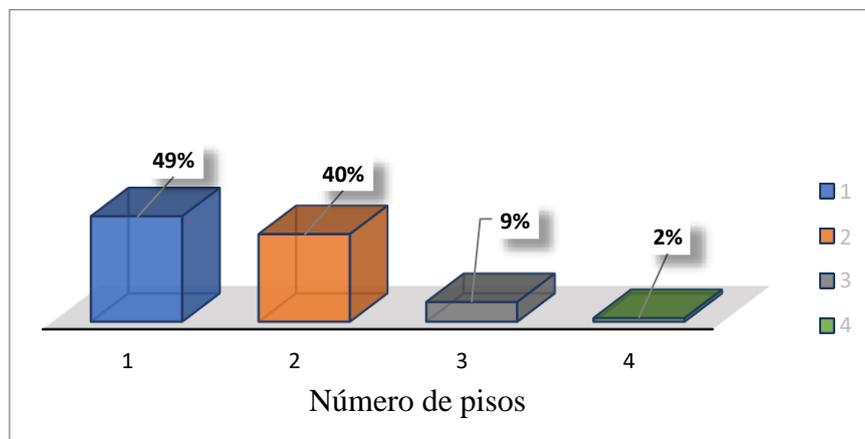
Fuente: Elaborado por el autor en base a partir del CIUQ (2022)

Tabla 2.7 Número de pisos en la zona del Carmen Bajo

Nº Pisos	Edificaciones
1	59
2	49
3	11
4	2
TOTAL	121

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2.1 Número de pisos de las estructuras evaluadas en el Carmen Bajo

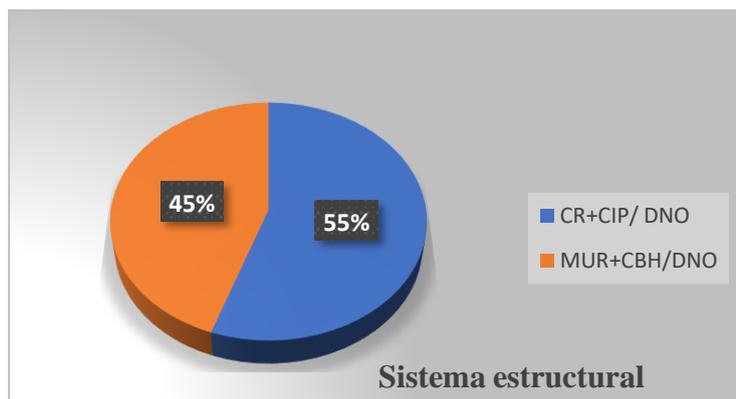


Fuente: Elaborado por el autor en base a partir del CIUQ (2022)

En el Gráfico 2.1 se aprecia que la gran mayoría de construcciones de esta zona analizada se encuentra entre uno y dos pisos de altura.

En general, y a manera de resumen el Gráfico 2.2 indica los dos sistemas estructurales preponderantes que son pórticos de hormigón con rellenos de mampostería no dúctiles (CR+CIP). Estas mamposterías se las construye en su mayoría de bloque y también en ladrillo o usando una mixtura de los dos materiales. En realidad, existe un porcentaje importante de viviendas donde no existen elementos estructurales principales como columnas y vigas, sino que su material principal es mampostería sin refuerzo (MUR+CBH). Las cubiertas son de losa tradicional de hormigón y también de zinc o materiales metálicos. Estas características y sistemas constructivos hacen que el comportamiento estructural carezca de ductilidad (DNO),

Gráfico 2.2 Sistema estructural de las viviendas evaluadas en el Carmen Bajo



Fuente: Elaborado por el autor en base a partir del CIUQ (2022)

En el Anexo 3 se coloca la base de datos completa correspondiente al modelo de exposición del barrio Carmen Bajo donde se detalla información de cada unidad de análisis.

2.4.2. Modelo de exposición República de El Salvador

El presente barrio o zona de análisis, como se mencionó anteriormente, se caracteriza por presentar en su mayoría construcciones en altura de tipo formal (permisos de construcción). El perímetro de estudio se encuentra limitado por las Avenidas: Naciones Unidas al Norte, República de El Salvador al Este y Sur, y Shyrís al Oeste. En total se evaluaron 144 edificaciones como se indica en el Mapa 2.12

Mapa 2.12 Estructuras analizadas para la construcción del modelo de exposición en RS



Fuente: Elaboración propia

En función de la visita del terreno y datos catastrales de la zona se construyó una base de datos con los siguientes parámetros:

Id: Representa un código de identificación (puede colocarse letras y números).

Lon: Valor de la coordenada en el eje horizontal. (Sistema UTM WGS84)

Latitud: Valor de la coordenada en el eje vertical. (Sistema UTM WGS84)

Taxonomy: Taxonomía estructural, se compone por el sistema estructural principal resistente y el número de pisos.

Number: Número de unidades de análisis, puede existir la misma unidad repetida por zona.

Structural: Valor total en dólares del bien de análisis (Avalúo del predio según CIUQ)

Uso: Representa el uso principal de la vivienda o edificio

La zona de análisis dentro de la República de El Salvador (RS) se caracteriza por presentar construcción en altura. De hecho, en este momento se encuentra el “boom” de la construcción en altura en este sector y gran parte de las casas existentes de pocos pisos están siendo derrocadas para la implantación de edificios de altura. Justamente, en esta zona se están construyendo los edificios más altos de la ciudad que tendrán más de 30 pisos lo que significa que está cambiando rápidamente el paisaje urbano del sector. Se encontró la existencia de cuatro sistemas estructurales principales: pórticos (unión viga columna) de hormigón armado, pórticos de hormigón armado con muros de corte, pórticos de acero con y sin muros de corte.

Con el objeto de usar la metodología de los modelos de riesgo sísmico se adoptó la taxonomía GEM. La Tabla 2.8 indica la taxonomía identificada y su equivalente la cual se la clasifica por sistema estructural y rango de número de pisos.

Tabla 2.8 Taxonomía estructural de las viviendas analizadas en R.S

TAXONOMIA (GEM)	Sistema Estructural Equivalente
CR/LFM/HBET:1,3/m	Pórticos de hormigón armado de 1 a 3 pisos
CR/LFM/HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado de 4 a 7 pisos
CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/l	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos con ductilidad limitada
CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos

CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 8 a 19 pisos
S/LFM/HBET:1,3/1	Pórticos de acero de a 1 a 3 pisos
S/LFM/HBET:8,19/h	Pórticos de acero con muros de corte de 8 a 19 pisos

Fuente: Elaboración propia

Para establecer el número de pisos y siguiendo la taxonomía GEM se realizó una clasificación por rangos con edificaciones que van desde uno hasta tres pisos consideradas de baja altura, de cuatro a siete pisos que son de altura intermedia, y más de ochos pisos se consideran estructuras altas.

Siguiendo la metodología propuesta por GEM (2021) descrita en Gráfico 1.3, y luego de la evaluación en sitio y mediante verificación de la base catastral, la Tabla 2.8 indica que de las 144 estructuras analizadas la gran mayoría son mayores a ocho pisos, seguidas por edificaciones de tres pisos. Como el caso anterior, en la zona del Carmen Bajo el modelo de exposición cuantifica el valor de cada unidad de análisis en función del avalúo catastral información publicada por el Municipio de Quito y datos del Centro de Información Urbana de Quito (CIUQ 2022). La Tabla 2.9 indica que la suma de todas las edificaciones presenta un valor de más de 456 millones de dólares, cifra que justifica su alta exposición frente a un evento adverso como un terremoto. Estos valores se resumen en la Tabla 2.9 donde se indica el sistema estructural (taxonomía), rango de número de pisos y valor catastral de la zona de estudio

Tabla 2.9 Valor económico y sistema estructural de las viviendas analizadas en R.S

TAXONOMIA (GEM)	SISTEMA ESTRUCTURAL		VALOR (USD)
CR/LFM/ HBET:1,3/m	Pórticos de hormigón armado de 1 a 3 pisos	42	23491670.95
CR/LFM/ HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado de 4 a 7 pisos	6	3755438.58
CR+PC/LDUAL/ HBET:4,7/1	Pórticos de hormigón armado con muros de cortede 4 a 7 pisos	4	3340396.27
CR+PC/LDUAL/ HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado con muros de cortede 4 a 7 pisos	3	9016270.88
CR+PC/LDUAL/ HBET:8,19/m	Pórticos de hormigón armado con muros de cortede 8 a 19 pisos	91	415540524.60
S/LFM/HBET:1,3/1	Pórticos de acero de a 1 a 3 pisos	2	961506.45

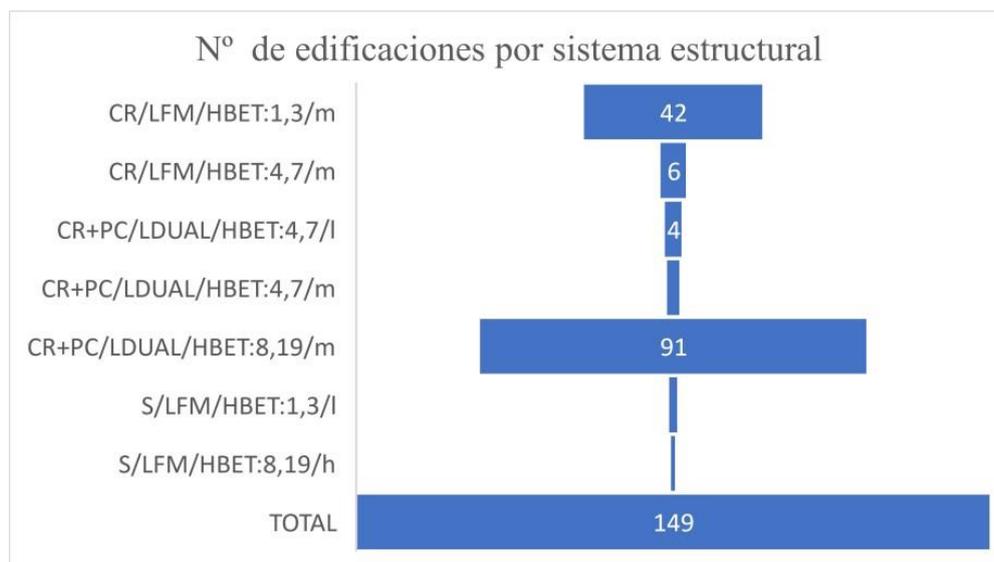
S/LFM/HBET:8,19/h	Pórticos de acero con muros de corte de 8 a 19pisos	1	885834.37
	TOTAL	149	456991642.10

Fuente: Elaborado por el autor en base a partir del CIUQ (2022)

En el Anexo 4 según la metodología GEM se adjunta la base de datos completa producto del modelo de exposición en esta zona.

Como resumen general y luego de la evaluación visual en campo, el Gráfico 2.3 indica el número de viviendas por sistema estructural donde se observa que en la zona de análisis de la República de El Salvador la mayoría de las edificaciones son de hormigón armado con vigas descolgadas con y sin muros de corte (CR/LFM/LDUAL) en un intervalo de 8 a 19 pisos.

Gráfico 2.3 Edificaciones en función del sistema estructural RS



Fuente: Elaboración propia en base a CIUQ (2022)

2.5. Modelos de fragilidad y consecuencia

Finalmente, con los modelos de amenaza y exposición definidos, para cuantificar vulnerabilidad expresado por pérdidas económicas, el siguiente paso es determinar las curvas de fragilidad en función de cada taxonomía o tipología estructural. En general, los análisis de riesgo en escalas macro y meso usan ecuaciones de fragilidad establecidas previamente, las cuales son publicadas. Cuando se realizan estudios específicos se crean o generan curvas de fragilidad para cada estructura mediante análisis estructurales no convencionales, los cuales tienen un costo significativo para su implementación. Las curvas a utilizarse en la presente investigación son las publicadas por el Global Earthquake Model (GEM 2021).

2.5.1. Elección de curvas de fragilidad en El Carmen Bajo

La elección de las curvas de fragilidad se la realizó en función de las tipologías estructurales encontradas en el Carmen Bajo según el modelo de exposición y análisis de la información en campo. Villar Vega (2017) propone para países latinoamericanos curvas de fragilidad para tipologías estructurales que no cumplen con códigos o normativas sismorresistentes y de baja altura que son condiciones que se adaptan al sistema constructivo del Carmen Bajo.

Básicamente, y según el modelo de exposición indicado en la Tabla 2.10 se definen dos sistemas estructurales que son compuestos por pórticos de hormigón armado sin ductilidad y mamposterías sin refuerzo que van de uno a cuatro pisos. Con ello se indica la respectiva curva de fragilidad para cada sistema estructural y número de pisos.

Tabla 2.10 Curvas de fragilidad adoptadas en el CB

	Taxonomía GEM	Equivalencia	Curva de fragilidad	Autor-referencia
1	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	Mampostería no reforzada no dúctil de 1 piso	MUR/H:1	Villar-Vega (2017)
2	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	Mampostería no reforzada no dúctil de 2 pisos	MUR/H:2	Villar-Vega (2017)
3	CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 1 piso	LFINF/H:1/DNO	Villar-Vega (2017)
4	CR/LFINF+DNO/HEX:2/RES	Pórticos de hormigón armado no dúctiles con vigas banda de 2 pisos	LFINF/H:2/DNO	Villar-Vega(2017)
5	CR/LFINF+DNO/HEX:3/RES	Pórticos de hormigón armado nodúctiles con vigas banda de 3 pisos	LFINF/H:3/DNO	Villar-Vega(2017)
6	CR/LFINF+DNO/HEX:4/RES	Pórticos de hormigón armado nodúctiles con vigas banda de 4 pisos.	LFINF/H:4/DNO	Villar-Vega(2017)

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 5 se indican los valores y gráficas de cada una de las curvas indicadas.

2.5.2. Elección de curvas de fragilidad en la República de El Salvador

Para la elección de esta zona de estudio se usaron curvas de fragilidad propuestas por la agencia federal para manejo de emergencias de los Estados Unidos (HAZUS). Esto debido a que las construcciones vistas en sitio tienen altura de pisos considerable y además se aprecia construcciones de tipo formal las cuales cuentan con diseños y dirección profesional. En realidad, según información catastral del Municipio de Quito las edificaciones en esta zona

cuentan en un alto porcentaje con permisos y licencias de construcción (CIUQ). De hecho, la normativa ecuatoriana sigue algunos lineamientos de la norma estadounidense. Según el modelo de exposición como indica la Tabla 2.11 y en función de la taxonomía estructural se seleccionaron las siguientes curvas de fragilidad.

Las curvas de fragilidad (HAZUS) que se encuentran publicadas por GEM (2021) se las clasifica en función de las características de la estructura, dentro de las cuales se destacan: sistema resistente a sismo, material predominante, número de pisos, y código de diseño en función del año de construcción expresado por los términos, low, moderate y high code. Low code se refiere a las estructuras que cumplen mínimamente con los códigos o normas sismoresistentes. Moderate code indica que las estructuras cumplen medianamente con las normas y presentan ductilidad limitada por lo que se adopta para construcciones diseñadas antes de la década del noventa. Finalmente, Highcode se refiere a las estructuras que cumplen con los requisitos de la normativa presentando alta ductilidad.

Tabla 2.11 Curvas de fragilidad adoptadas en la RS

TAXONOMIA (GEM)	SISTEMA ESTRUCTURAL EQUIVALENTE	Curva de fragilidad.	Autor Referencia
CR/LFM/HBET:1,3/m	Pórticos de hormigón armado de 1 a 3 pisos	HAZUS C1L - High code	FEMA-HAZUS 2003
CR/LFM/HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado de 4 a 7 pisos	HAZUS C1M - High code	FEMA-HAZUS 2003
CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/l	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos con ductilidad limitada	HAZUS PC2M - Moderate code	FEMA-HAZUS 2003
CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos	HAZUS PC2M - High code	FEMA-HAZUS 2003
CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 8 a 19 pisos	HAZUS PC2H - High code	FEMA-HAZUS 2003
S/LFM/HBET:1,3/l	Pórticos de acero de a 1 a 3 pisos	HAZUS S1H	FEMA-HAZUS 2003
S/LFM/HBET:8,19/h	Pórticos de acero con muros de corte de 8 a 19 pisos	HAZUS S4H - High code	FEMA-HAZUS 2003

Fuente: Elaboración propia

Las curvas de fragilidad en esta zona de estudio se encuentran en el Anexo 5.

2.5.3. Modelo de consecuencia

Luego de determinadas las curvas de fragilidad en función de su tipología estructural, el siguiente paso para determinar las pérdidas es definir el modelo de consecuencia. Según la metodología empleada en los modelos de riesgo sísmico los daños se expresan en: leves, moderados, extensivos, y completos. Es así como el modelo de consecuencia cuantifica estos daños y con ello se expresan estas pérdidas en dinero. Los modelos de consecuencia convierten los estados de daños en pérdidas económicas. Estos modelos se realizan en función de la opinión de expertos y de acuerdo a los estados de daños de estructuras afectadas por sismos pasados y asociando los costos requeridos para repararlos (Hinestroza 2018). Durukal, Erdik, y Sesetyan (2006) proponen un modelo de consecuencia en función del análisis y de estructuras dañadas por terremotos en Estambul. El modelo considera según la opinión de expertos las pérdidas en función de los siguientes estados o grados: Grado 1 (10% de pérdidas), grado 2 (20% de pérdidas), grado 3 (40% de pérdidas), grado 4 (90% de pérdidas), y grado 5 (100% de pérdidas).

Según las condiciones socioeconómicas del DMQ y los métodos empleados en sus sistemas constructivos se propone para la siguiente investigación que los daños leves representan un 10% del valor económico, los moderados el 30%, los extensivos el 60%, y los daños completos el 100% del bien. Los dos modelos de consecuencia ingresados en el software Open Quake se los indica en el Anexo 6 los cuales se refieren a las dos zonas de estudio.

2.6. Vulnerabilidad sísmica cuantificada por daños y pérdidas

Con los modelos de amenaza, exposición, consecuencia y definidas las curvas de fragilidad, y en función de lo indicado en Silva et al. (2014), el siguiente paso es obtener los daños y pérdidas en las zonas elegidas de análisis. Daños se refieren a fragilidad, y pérdidas económicas a vulnerabilidad propiamente. Estos valores de vulnerabilidad se refieren a un análisis determinista donde se tomó como datos de entrada un evento sísmico con magnitud Mw 6.2 a 6 km de profundidad en un segmento de la falla de Quito conocido como Ilumbisi la Bota. A continuación, por cada zona de estudio se exponen los hallazgos y resultados referentes a la modelización.

2.6.1. Daños y Perdidas en el Carmen Bajo

Tomando un promedio de los escenarios de análisis por cada ley de atenuación (GMPEs), se tiene que las pérdidas totales en dólares luego de un evento sísmico de magnitud 6.2 en 121 unidades de vivienda en el barrio el Carmen Bajo corresponden a un valor de 3 001710.8 USD. Cabe destacar que, según el modelo de exposición las 121 unidades de vivienda presentan un valor total de 5 725096.83 USD lo que representa que un sismo de estas características produciría pérdidas económicas en este sector del DMQ por más del 50% de su valor. Las pérdidas se distribuyen conforme la Tabla 2.12 en función del sistema estructural y número de pisos de la siguiente manera:

Tabla 2.12 Pérdidas en USD en el C.B debido a un sismo Mw 6.2

TAXONOMÍA GEM	SISTEMA ESTRUCTURAL	Nº viviendas	Pérdidas (USD)	Valor Total (USD)	% pérdidas parciales	% acumulado
MUR/LWAL+DNO/HEX 1	Mampostería sin refuerzo de 1 piso	46	343526.23	908701.7	38%	11%
MUR/LWAL+DNO/HEX 2	Mampostería sin refuerzo de 2 pisos	8	121980.24	269353	45%	4%
CR/LFINF+DNO/HEX1/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 1 piso	10	63042.15	275156.46	23%	2%
CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 2 pisos	44	905649.55	2250887.43	40%	30%
CR/LFINF+DNO/HEX 3 /RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 3 pisos	11	1343262.3	1721365.62	78%	45%
CR/LFINF+DNO/HEX 4/RES	Pórticos de hormigón armado sin ductilidad de 4 pisos.	2	224250.8	299632.62	75%	7%
	TOTAL	121	3001711.27	5725096.83	52%	100%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los daños los cuales representan la fragilidad de las edificaciones analizadas. La modelización toma en cuenta las probabilidades de daño que son: ninguno, leves, moderados, extensivos, y completos.

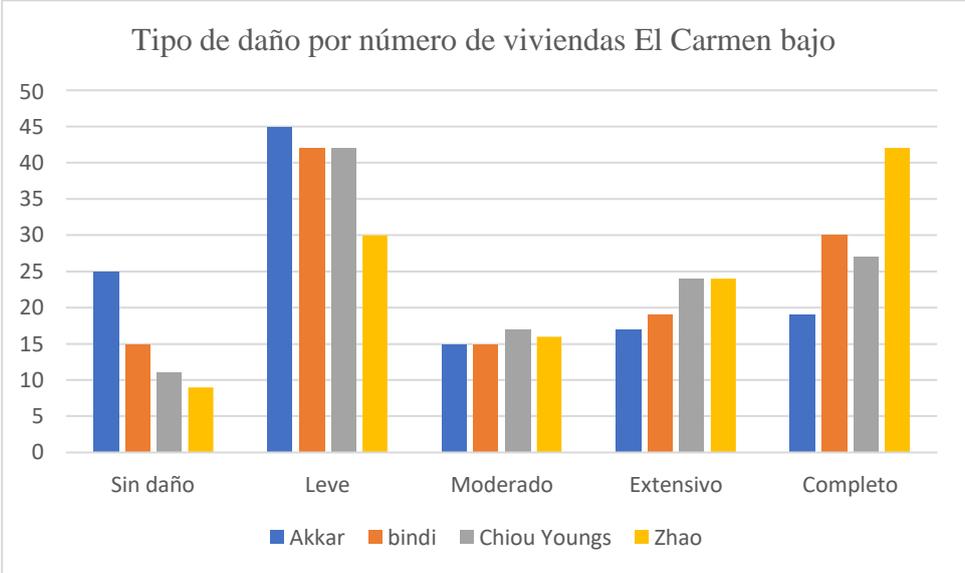
Por otro lado, el resumen del nivel de daño de las edificaciones del Carmen Bajo se encuentra en la Tabla 2.13 y Gráfico 2.4. La modelización determina cada nivel de daño en función de las ecuaciones de atenuación o leyes de movimiento del suelo, las cuales fueron seleccionadas y justificadas en el modelo de amenaza en función de las condiciones del QFS. Justamente, la variabilidad de los resultados se debe a las condiciones propias de cada ley de atenuación (GMPEs)

Tabla 2.13 Probabilidad de daño en el C.B por un sismo Mw 6.2

Estado de daño	LEYES DE ATENUACIÓN (GMPEs)			
	Akkar	bindi	Chiou Youngs	Zhao
Sin daño	21%	12%	9%	7%
Leve	37%	35%	35%	25%
Moderado	12%	12%	14%	13%
Extensivo	14%	16%	20%	20%
Completo	16%	25%	22%	35%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2.4 Tipo de daño por número de viviendas en el CB



Fuente: Elaboración propia

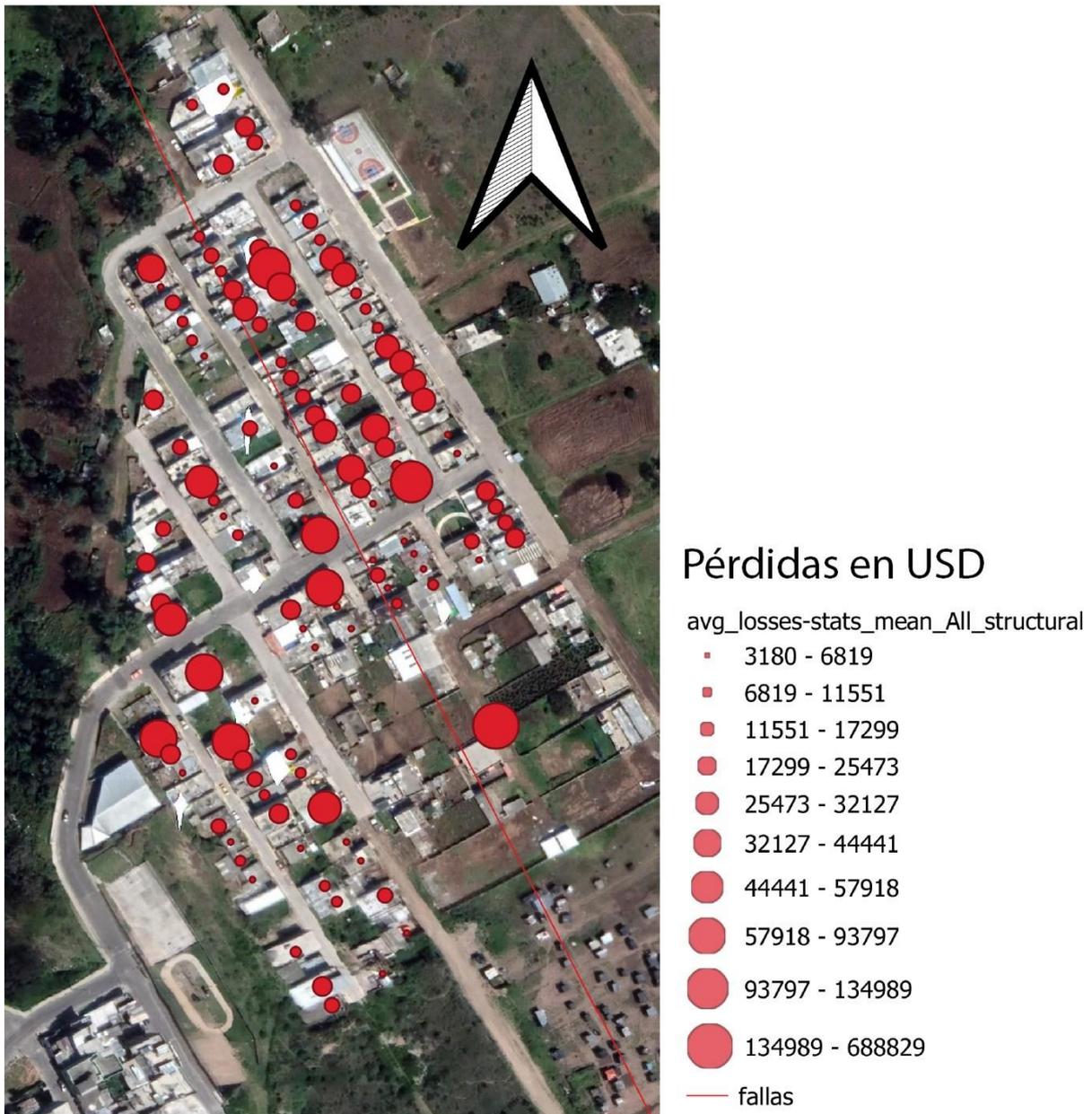
En función de la Tabla 2.12 se aprecia que el sistema estructural que más pérdidas económicas produce son las construcciones con pórticos de hormigón armado de tres pisos en adelante. En cuanto a los daños, como indica el Gráfico 2.4 el porcentaje más amplio se encuentra en el colapso estructural o daño completo lo que indica la alta vulnerabilidad física del sector. Comparando entre los resultados de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo, y en función de las características constructivas de la zona de estudio, la ecuación que más se ajusta es la de Zhao donde indica que apenas el 7% de las estructuras analizadas no tendrán ningún tipo de daño, el 25% daños leves, el 13% daños moderados, el 20% extensivos y el 35 % daños completos. Estas cifras indican la probabilidad de daño y representan un indicador de vulnerabilidad cuyo objetivo es tener conocimiento sobre el nivel de riesgo del sector. En el Mapa 2.13 los daños se encuentran indicados de forma espacial, y en el Mapa 2.14 se observa un promedio de las pérdidas en dólares en la zona de estudio.

Mapa 2.13 Estados promedio de daño por un sismo Mw 6.2 en el Carmen Bajo



Fuente: Elaboración propia

Mapa 2.14 Valores promedio en USD por pérdidas económicas de un Sismo Mw 6.2 en el CB



Fuente: Elaboración propia

2.6.2. Daños y pérdidas en la República de El Salvador

Con los modelos de amenaza, exposición, fragilidad y definido el modelo de consecuencia se obtienen los daños y pérdidas de las estructuras analizadas en el área de estudio dentro de la República de El Salvador. En la Tabla 2.14 se indican las pérdidas económicas de las estructuras analizadas luego de un sismo con las condiciones descritas anteriormente.

Tabla 2.14 Pérdidas en USD en la RS debido a un sismo Mw 6.2

TAXONOMIA (GEM)	SISTEMA ESTRUCTURAL EQUIVALENTE	Nº	Pérdidas (USD)	ValorTotal (USD)	% Pérdida	% Pérdida acumulada
CR/LFM/HBET: 1,3/m	Pórticos de hormigón armado de 1 a 3 pisos	42	7892160.1	23491670.95	34%	4.5%
CR/LFM/HBET: 4,7/m	Pórticos de hormigón armado de 4 a 7 pisos	6	1321546	3755438.58	35%	0.8%
CR+PC/LDUAL /HBET:4,7 /l	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos con ductilidad limitada	4	2109377	3340396.27	63%	1.2%
CR+PC/LDUAL /HBET:4,7 /m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 4 a 7 pisos	3	2792266	9016270.88	31%	1.6%
CR+PC/LDUAL /HBET:8,1 9/m	Pórticos de hormigón armado con muros de corte de 8 a 19 pisos	91	160702042	415540524.6	39%	91.5%
S/LFM/HBET:1, 3/l	Pórticos de acero de a 1 a 3 pisos	2	412624	961506.45	43%	0.2%
S/LFM/HBET:8, 19/h	Pórticos de acero con muros de corte de 8 a 19 pisos	1	318672	885834.37	36%	0.2%
		149	175548687.1	456991642.1	38%	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que las pérdidas económicas corresponden a más de 175 millones de dólares de los 457 millones que se encuentra cuantificado el total de las 149 unidades analizadas que representan más del 35%. Las pérdidas debido a su exposición se encuentran en su gran mayoría con los edificios de hormigón armado de 8 a 19 pisos. Además, existe gran afectación económica en las estructuras de hormigón armado de 4 a 7 pisos ya que cuantificadas parcialmente tienen más del 60% de pérdidas económicas con este sistema estructural que representan a estructuras con limitada ductilidad por su año de construcción (moderate code).

Con respecto al nivel de daño tomando un promedio de los resultados, se tiene según indica la Tabla 2.15 y el Gráfico 2.5 que la probabilidad de daño se encuentra entre daños moderados y extensivos en su mayoría, con un 8% de estructuras colapsadas y un 9% de las edificaciones evaluadas no presentan daños. Comparando entre los resultados de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo, y en función de las características constructivas de la zona de estudio, Se indica la ecuación de atenuación de Chiou Youngs se ajusta convenientemente a las condiciones de esta zona donde prevalecen las estructuras en altura. Precisamente, la diferencia de los resultados de la probabilidad de daño de las estructuras se produce por características propias de las leyes de atenuación.

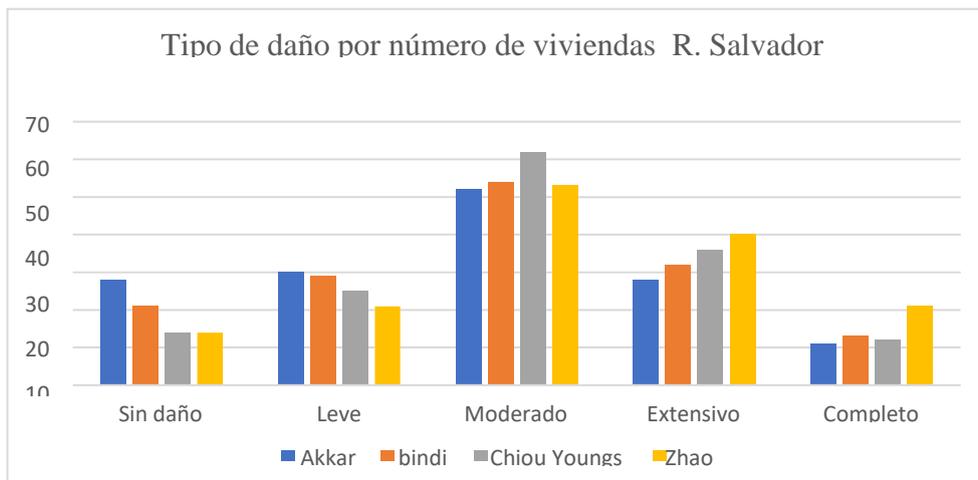
Tabla 2.15 Probabilidad de daño en la RS por un sismo Mw 6.2

Estado de daño	LEYES DE ATENUACIÓN (GMPES)			
	Akkar	bindi	Chiou Youngs	Zhao
Sin daño	19%	14%	9%	9%
Leve	20%	19%	17%	14%
Moderado	35%	36%	42%	36%
Extensivo	19%	21%	24%	27%
Completo	7%	9%	8%	14%

Fuente: Elaboración propia

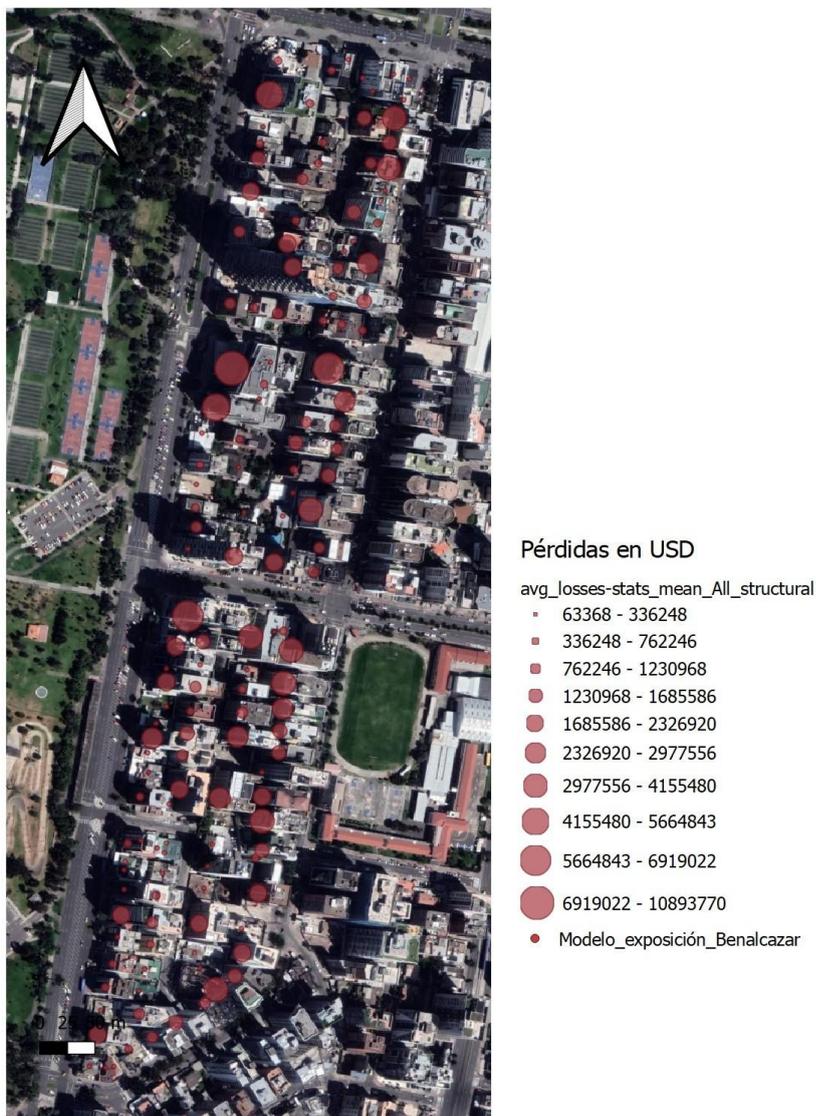
El Mapa 2.15 indica de manera espacial la distribución promedio de las pérdidas económicas debido a un sismo de 6.2 y el Mapa 2.16 indica las probabilidades de daño por colapso luego de un sismo con las características indicadas.

Gráfico 2.5 Tipo de daño por número de viviendas en RS



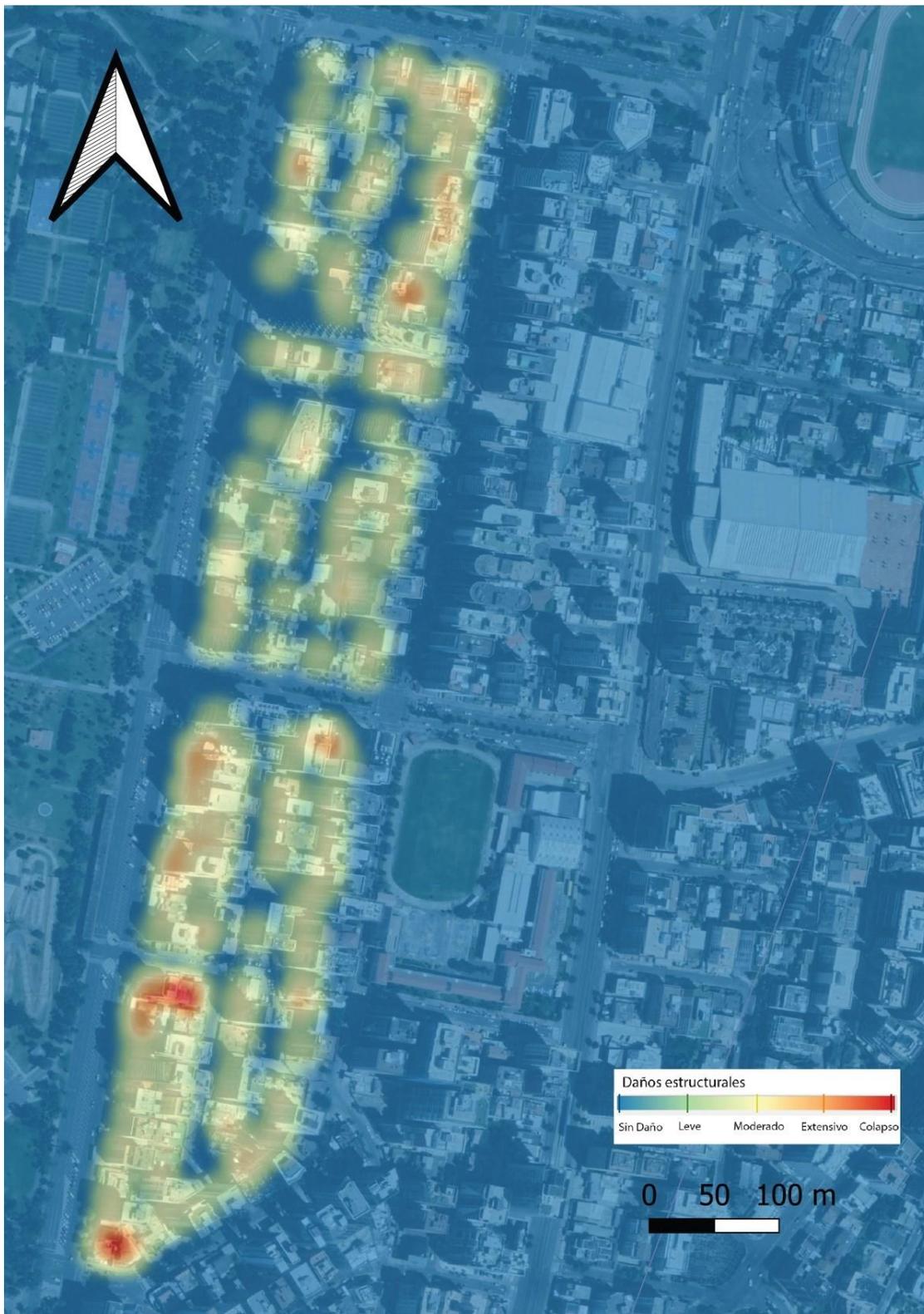
Fuente: Elaboración propia

Mapa 2.15 Valores en USD por pérdidas de un sismo Mw 6.2 en RS



Fuente: Elaboración propia

Mapa 2.16 Estados promedio de daño por un sismo Mw 6.2 en RS



Fuente: Elaboración propia

En el presente capítulo se justificaron los barrios seleccionados dentro del DMQ donde se aplicó el modelo de vulnerabilidad los cuales corresponden a: el Carmen Bajo donde impera la construcción informal y por donde atraviesa directamente la falla de Quito, y la República de El Salvador que se caracteriza por la construcción planificada de tipo formal y en altura.

Los resultados producto de la modelización indican que los barrios de estudio están en riesgo de presentar daños luego de un sismo de Magnitud Mw 6.2 a 6 km de profundidad. Estos daños en el barrio el Carmen Bajo son muy altos, las cifras económicas por pérdidas superan el 50 % con un gran porcentaje de colapsos estructurales. Además, en la zona de estudio de la República de El Salvador donde la construcción es formal con planificación ingenieril los daños son cuantiosos y alcanzan el 38%. Esto se debe a que se presentan daños moderados y extensivos en su mayoría lo cual indica que no necesariamente debe existir colapso estructural para presentar daños considerables. Realizando un promedio de los escenarios arrojados por el software y seleccionando las leyes de atenuación más críticas se presenta en la Tabla 2.16 un resumen general de los daños y perdidas de las zonas de estudio.

Tabla 2.16 Resumen general de los daños y perdidas de la modelización sísmica

	Daños-Fragilidad			
	El Carmen Bajo		República de El Salvador	
Niveles de daño	Nº Bienes	Porcentaje	Nº Bienes	Porcentaje
sin daño	5	4%	19	13%
leves	31	26%	25	17%
moderado	17	14%	52	36%
extensivo	24	20%	35	24%
colapso	44	36%	13	9%
	121		144	
	Pérdidas- Vulnerabilidad			
Exposición (USD)	5725000		456991642	
Pérdidas (USD)	3001710	52%	175548687	38%

Fuente: Elaboración propia

Estas cifras expuestas visibilizan que la ciudad no cuenta con una cultura basada en la prevención del riesgo sísmico lo que ocasiona que la infraestructura de Quito sea vulnerable. Estos datos se pueden replicar en diferentes barrios del DMQ con técnicas de construcción similares, lo cual indica que un sismo de considerable magnitud sería devastador para la ciudad y país en general y el primer paso para crear políticas de reducción de riesgo sísmico es precisamente conocer el riesgo al que se encuentra expuesta la ciudad. Además, según los resultados se indica la diferencia de las zonas de estudio entre la relación de los costos

estructurales y no estructurales (acabados de construcción). En la zona del Carmen Bajo los daños en su mayoría son estructurales lo que desencadena en colapso o derrocamiento. En la República de El Salvador los daños principalmente ocurren en elementos no estructurales (daños leves y moderados) que resulta una fuerte inversión económica en cuanto a reposición de estos elementos.

Capítulo 3 . Influencia de la cultura del riesgo sísmico en la vulnerabilidad física en el Distrito Metropolitano de Quito

El presente capítulo aborda la influencia de la cultura del riesgo en la vulnerabilidad física desde un enfoque interdisciplinar. El análisis se basa en cómo la cultura del riesgo incide en el aumento o disminución de la vulnerabilidad física de la infraestructura urbana. Se trata de comprender, desde un ámbito cultural, las cifras de los daños y pérdidas que se indican en la Tabla 2.16 producto de un sismo de considerable magnitud en la ciudad de Quito. Para ello, a lo largo del presente capítulo se aborda la cultura del riesgo sísmico en toda la escala del DMQ y no solamente en los barrios de estudio donde se aplicó la modelización. Para el análisis de esta variable se usan herramientas cualitativas mediante entrevistas semiestructuradas y encuestas dirigidas a actores claves que se encuentran inmersos en la gestión de riesgo sísmico de la ciudad.

El concepto de cultura del riesgo sísmico se refiere a diferentes métodos y experiencias fundamentados en la prevención para mitigar los efectos de un sismo. A continuación, desde los niveles cognitivo mediante la percepción, racional desde la economía, e institucional basándose en la normativa, se analiza la influencia en el aumento o reducción de vulnerabilidad física en el DMQ.

3.1. Conocimiento y percepción de la amenaza sísmica

Un paso importante en la generación de políticas de reducción de riesgo sísmico en el DMQ constituye conocer la amenaza sísmica desde varios niveles, los cuales involucran a la academia, autoridades, profesionales y ciudadanos. En general, el número y magnitud de eventos naturales permiten que la sociedad genere consciencia sobre distintas amenazas y con ello, en función de sus experiencias, se construye una cultura basada en la prevención. Debido al grado de exposición de la ciudad de Quito, es vital conocer las principales fuentes sísmicas que pueden causar daño y sus posibles consecuencias. Por ejemplo, una herramienta desde la planificación es la zonificación sísmica, es decir clasificar a los suelos de la ciudad en función de sus características físicas y mecánicas ya que, según el tipo de suelo, se puede seleccionar las zonas donde existe o no amplificaciones de las ondas sísmicas.

Quito no tiene una microzonificación sísmica oficial, ha habido como tres intentos anteriormente, el tercero llegó bastante más lejos, pero ninguno de los tres ha sido adoptado oficialmente, y es triste ver, por ejemplo, en la última ocasión como el mismo Municipio la

contrató y el mismo Municipio decidió no acogerlo. Me parece que esos esfuerzos se han hecho no técnicamente sino políticamente para disponer de un estudio de microzonificación que no se sabe para qué sirven y reposan en un escritorio, lo importante de un estudio es saber cómo aplicarlo, creo yo que los municipios no saben la importancia de tener un estudio como estos. (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería Civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022)

En Quito, el plan de uso y gestión de suelo vigente PUGS (2022) no contempla regular la edificabilidad y altura de pisos en función del tipo de suelo, lo cual genera aumento de vulnerabilidad física de la infraestructura. Por ejemplo, existen proyectos de vivienda planificados en barrios como Solanda o Guamaní que se encuentran implantados en zonas de pantano y actualmente las construcciones presentan hundimientos y fisuras por diferentes causas por lo que se encuentran en alto riesgo y su condición de vulnerabilidad aumenta en caso de movimientos del terreno.

En general, debido al costo del suelo los proyectos de interés social en Quito se los implanta en la periferia donde existen suelos con deficientes características mecánicas y con niveles freáticos altos. Para conocer la amenaza sísmica a la que se encuentra expuesta la ciudad es necesaria la generación de mapas de riesgo y vulnerabilidad. Lastimosamente, Quito cuenta dentro de sus mapas solamente con información sobre amenazas de manera aislada y no como un concepto integral multiamenaza. Como describen los barrios de análisis, la ciudad de Quito presenta contrastes en sus construcciones que se distingue en dos grandes grupos que son los barrios formales e informales.

En construcciones o proyectos formales que cuentan con dirección técnica, existe un criterio para cuantificar la amenaza en función de la normativa, pero si esta amenaza normada es subestimada las estructuras son vulnerables a daños mayores a los esperados. Por ello, es vital conocer el grado de amenaza sísmica al que se encuentra expuesta la ciudad. Actualmente, la normativa NEC (2015) indica para un sismo de diseño en roca un valor de 0.4g como medida de intensidad sísmica en Quito. En el caso de que un evento supere este valor las construcciones serán sujetas a sollicitaciones mayores a las que fueron previstas en su diseño, aumentando su vulnerabilidad y posibilidad de generar daños considerables.

Por otra parte, el problema aumenta debido a la construcción informal. Se verificó en el levantamiento de información en campo mediante inspecciones visuales y encuestas realizadas a los maestros constructores de la zona y constructores, que la forma de construir vivienda en zonas informales se la realiza conforme a percepciones propias siguiendo tradiciones y conocimientos que no contemplan sismorresistencia, ésto debido a su percepción

ante la falta de un sismo considerable en Quito a lo largo de la vida útil de las viviendas. Es por ello que se sigue un modelo antitécnico que se ejemplifica en asentamientos informales en la ciudad. Es así como los métodos y sistemas de construcción se los realiza desde un aspecto cultural, que no contemplan un conocimiento sísmico preventivo. Esto se evidencia en el barrio de estudio el Carmen Bajo donde los sistemas estructurales son muy similares.

Las columnas la mayoría las hace a mano y algunos contratan un mixer, aquí hicimos con concretera. Las columnas son de 20 x30 cm con 6 varillas de media o 12 mm. Esto se aplica en la mayoría, pocos le ponen 8 varillas alguno que otro, por ejemplo, acá a lado yo veo que le ponen solo 4 varillas y ya van 2 y 3 pisos, he visto que hacen la losa con bloque de 10 y losa plana sin vigas que se salen, (entrevista a albañil del barrio Carmen bajo, Quito, 2 de junio de 2022).

Estas viviendas con técnicas constructivas expuestas están fuera de normativa y se encuentran en pie debido a que resisten a cargas por gravedad o peso propio únicamente, por lo que un desplazamiento horizontal producto de un sismo produciría una falla frágil que puede derivar en colapso con daños permanentes. En general, estos métodos constructivos se los realiza sin un conocimiento o experticia técnica siendo las prácticas de rehabilitación y reforzamiento estructural herramientas para disminuir la vulnerabilidad de estas edificaciones.

Lastimosamente, al no tener un conocimiento claro de la amenaza y riesgo estas técnicas de rehabilitación no forman parte de la agenda de política pública y planificación en la ciudad.

Dentro de los ámbitos de la construcción formal e informal, el conocimiento y percepción de la amenaza sísmica es fundamental para consolidar una cultura de riesgo fundamentada en la prevención, ya que se pueden tomar medidas de mitigación desde la planificación o mediante la correcta implementación de buenos hábitos de construcción. A continuación, se indica desde las características del tipo de falla tectónica de Quito, y desde el entendimiento del concepto del riesgo el desconocimiento de la amenaza sísmica en la ciudad.

3.1.1. Influencia y características del tipo de falla en la ciudad de Quito en la memoria histórica de la ciudad.

Un fenómeno que consolida una cultura preventiva de riesgos corresponde a la memoria de la sociedad que se construye en función del conjunto de eventos externos, desastres generados, y lecciones aprendidas. El hecho que durante el desarrollo urbano reciente de Quito no se han dado eventos sísmicos propios considerables, influye directamente en la memoria histórica de la ciudad. Los daños recientes que ha tenido la ciudad han sido debido a movimientos ajenos

al QFS como el terremoto de Pedernales de 2016 y el del Reventador de 1987, sismos que tuvieron epicentros distantes a la ciudad, sin embargo, ocasionaron daños visibilizando la vulnerabilidad de su infraestructura. Se suman eventos propios del QFS como los registrados en 1990 y 2014, cuyas magnitudes fueron menores a la considerada en la presente investigación y provocaron daños en el DMQ visibilizando su vulnerabilidad.

La Tabla 2.2 indica que los periodos de recurrencia de los sismos que afectarían a la ciudad varían en lapsos de tiempo distantes, comparados con los eventos por subducción que se presentan en las zonas costeras que pueden tener rangos menores a 50 años para magnitudes considerables. Es así como, en el QFS un evento máximo esperado se repite en un rango de tiempo que puede variar entre 550 a 2 mil años, por lo que en la ciudad los eventos máximos no son reiterativos ni recurrentes. Esto complica las condiciones sobre consolidar una cultura sísmica basada en su memoria. Además, existe mayor conocimiento e investigación en otro tipo de fallas como son las de subducción que son más frecuentes, y no en las fallas locales corticales.

Lo expuesto anteriormente crea en la sociedad en general una falsa percepción sobre la amenaza, que se ve reflejada en las técnicas deficientes constructivas aplicadas en la ciudad. En realidad, construir una memoria sísmica es complejo y va más allá de la recurrencia de los eventos. La recurrencia es parte importante del conocimiento y percepción, pero debe ir acompañada con campañas de educación de diferentes actores como la academia, autoridades y organismos privados como ONGs. Por ejemplo, la existencia de un día nacional de terremotos genera conciencia en la ciudadanía. Han existido algunos eventos sísmicos en Ecuador bastante representativos como el terremoto de Esmeraldas con magnitud 8.8 en 1906 y Manabí 7.8 en 2016, pero aun así la construcción deficiente se mantiene.

La vulnerabilidad en Ecuador es tan grande y se ha construido la vulnerabilidad tan consistentemente que ni siquiera los terremotos pasados hacen que disminuya la vulnerabilidad en la nueva construcción. Como detonantes de aumento de vulnerabilidad se tiene la falta de asimilar las lecciones con terremotos pasados como parte de un conocimiento sistémico que pase a varios niveles como la academia y los ingenieros sean más conocedores, a las autoridades que sepan que exigir y controlar, y a nivel de la población que sepa que se está haciendo y que riesgos tiene (Hugo Yepes, experto en riesgos sísmicos, entrevista vía zoom, 12 de febrero 2022).

La recurrencia de los eventos sísmicos permite generar conocimiento hacia la amenaza, pero sin duda las medidas preventivas y planes de reducción de riesgos son los que permiten

disminuir las cifras de daños luego de un evento significativo. El primer paso es conocer las amenazas y su probable magnitud, el siguiente es trabajar en función de la disminución de vulnerabilidad física y con ello conseguir la disminución del riesgo.

Nosotros nos olvidamos muy rápidamente, es un tema psicológico, cuando hay una catástrofe para recuperarse y recomponerse rápidamente los ecuatorianos olvidamos y luego negamos que ocurrió. Pensar que no va a volver a ocurrir y seguir adelante es un fenómeno de autoprotección y es un problema. La memoria histórica no la tenemos desarrollada. Existen países donde existen días conmemorativos de esto, hay museos dedicados a ello a que la gente recuerde que no olvide su pasado porque el pasado va a volver a repetirse. Usted no ha visto acá un día que nos dediquemos a eso, ni un solo día, aquí no estamos dedicados a ver si existe riesgo sísmico. Las necesidades prioritarias de los ecuatorianos se vuelven prioritarias en otras ramas, dejamos de lado el riesgo sísmico y eso siempre nos va a pasar factura (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería Civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022).

En algunos países con amenaza sísmica considerable se aplica el concepto “memoria sísmica” que se refiere al conjunto de actividades que se encuentran ligadas y son directamente proporcionales a la conciencia sísmica de la ciudadanía. Por ejemplo, en México luego del sismo de 2017 se realizaron exhibiciones en museos donde se conformó rostros de las personas fallecidas con los restos de las edificaciones colapsadas. En Japón existen estatuas y plazas en sitios donde se construyeron estructuras que sufrieron daños severos. En Chile se creó una ley que establece “El día nacional de la memoria y educación sísmica sobre desastres socio naturales” que se conmemora el 22 de mayo debido al terremoto registrado en 1960 en Valdivia con magnitud superior a nueve el cual representa al más grande registrado en la historia sísmica del planeta (CIGIDEN 2020).

3.1.2. Entendimiento del concepto de riesgo, amenaza, y vulnerabilidad

Para entender el riesgo sísmico urbano es vital diferenciar los conceptos de las componentes vulnerabilidad y amenaza. Dentro de los recorridos realizados en los barrios de estudio y en función de las encuestas, se observó que existe una fuerte mayoría como indica el Gráfico 3.1 la cual considera que la amenaza sísmica en Quito es alta y muy alta (más del 80% de encuestados). Contradictoriamente, el Gráfico 3.2 indica que la mayoría de los encuestados consideran que su vivienda no se encuentra en riesgo de sufrir daño frente a un evento considerable. Finalmente, como indica el Gráfico 3.3 la mayoría de los encuestados indican tener miedo moderado o intermedio a los sismos o temblores en la ciudad de Quito, es decir gran parte de los encuestados indica no tener miedo en su máxima escala.

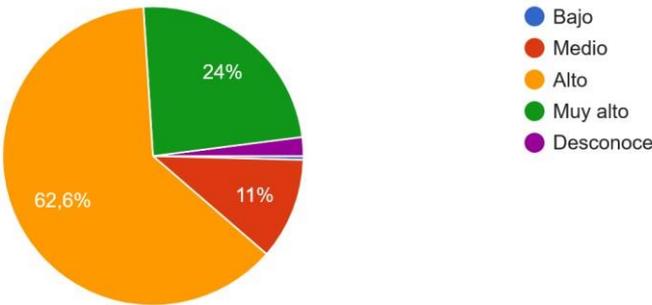
Lo expuesto anteriormente indica que existe un problema del entendimiento del riesgo. Se evidenció en el barrio el Carmen Bajo, en algunos propietarios de viviendas, que el concepto de amenazas naturales como terremotos se asocia a castigos divinos y poco o nada se puede hacer para contrarrestar sus efectos. Es decir, se reconoce la existencia de la amenaza frente a un sismo, pero no las estrategias de mitigación y condiciones de vulnerabilidad de las edificaciones. “Si Dios quiere ha de pasar, un terremoto como castigo hemos de tener, ahí si lo que Dios diga, que podemos hacer nosotros” (notas de campo, pregunta a propietario, en el Carmen Bajo, Quito 6 de mayo 2022)

Precisamente, no se genera conciencia y conocimiento de los daños que podrían tener las viviendas y la afectación económica dentro del entorno familiar. Esto también justifica que la mayoría de encuestados no sienta gran temor en caso de la ocurrencia de un sismo en la ciudad. Es por ello que no existe un entendimiento dentro de la construcción social del riesgo, es decir las medidas de mitigación que se puedan realizar para la reducción de vulnerabilidad y con ello disminuir los efectos de la amenaza a un sismo. Otro factor importante es que existe un desconocimiento en la diferenciación de los daños que pueda tener una estructura ya que no es lo mismo daños leves como fisuras en ventanas, que daños extensivos donde puede existir derrocamiento.

Gráfico 3.1 Pregunta encuesta N°1

Indique en su opinión ¿cuál considera que es el nivel de amenaza sísmica que presenta la ciudad de Quito?

246 respuestas

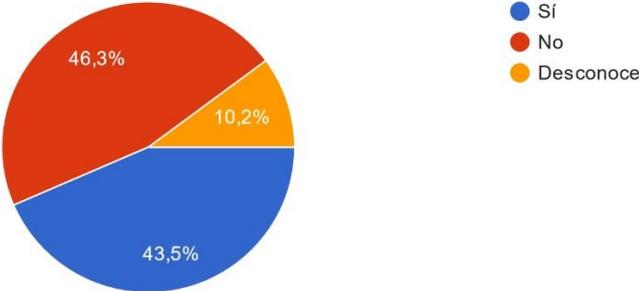


Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2 Pregunta encuesta N°2

¿Considera que su vivienda o proyecto/s de construcción se encuentran en riesgo de sufrir daños luego de un evento sísmico de considerable Magnitud?

246 respuestas

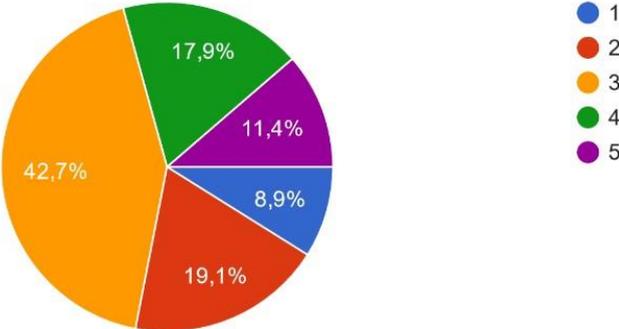


Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3 Pregunta encuesta N°3

En escala del 1 al 5 indique si usted presenta temor o miedo al momento de experimentar un sismo o temblor en la ciudad de Quito (1 “no presenta temor” y 5 “máximo temor”)

246 respuestas



Fuente: Elaboración propia

Refiriéndose a las construcciones formales, el problema del entendimiento del riesgo sísmico genera aumento de vulnerabilidad también desde el lado profesional y desde la propia Academia. En zonas sísmicas, cuando se proponen diseños irregulares desde la concepción del proyecto debido a la arquitectura se está proponiendo estructuras vulnerables, es decir desde el lado profesional se puede aumentar o disminuir vulnerabilidad desde su inicio o creación. Existen diseños que se los planifica fuera de Ecuador, en oficinas de arquitectura que no contemplan estructuraciones de países sísmicos.

Ese es otro problema del aumento de vulnerabilidad que viene atado a falta de instrucción especialmente a nivel de las escuelas de arquitectura, y ahora se ve mucho con los arquitectos jóvenes que hacen proyectos muy osados, en zonas sísmicas sabemos que cada vez que hacemos una cosa irregular que se salen de ciertos estándares, la norma castiga y pone cascaras de plátano en el camino, pero como que eso no termina de fraguar. En los proyectos grandes de mi experiencia y en lo personal yo trabajo desde el anteproyecto para que la arquitectura contenga un criterio básico apropiado. Cuando llega la estructura y me dicen esto es así y no puedo aumentar 5 cm a las columnas porque pierdo parqueos, entonces ahí a uno le ponen atado de pies y manos y así no funciona la cosa (Juan Carlos Garcés, Ingeniero estructural, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022).

Es vital conocer que toda estructura se encuentra expuesta a determinada medida de riesgo o nivel de daño. Lo importante es planificar con el objeto de que los daños en caso de eventos extremos sean mínimos, y no extensivos, y peor aún que los daños se transformen en colapsos estructurales con pérdidas de vidas. Un diseño estructural resiliente y sostenible contempla la menor cantidad de daños con una inversión económica razonable.

3.2. Aumento de vulnerabilidad física de las edificaciones en el DMQ desde un aspecto económico

En la región latinoamericana, debido a sus condiciones socioeconómicas, es determinante el valor o costo de los proyectos de vivienda y construcción en general. Desde la informalidad, se utilizan métodos constructivos deficientes basados en el ahorro del proyecto. La edificación aumenta considerablemente su vulnerabilidad cuando el ahorro del proyecto se lo aplica en la estructura cuya relación es inversamente proporcional a la seguridad. Un detonante que produce aumento de vulnerabilidad debido al costo del proyecto es la omisión de contratación de un profesional para edificar un proyecto de vivienda. Para construir favorablemente una vivienda es necesario planificar un proyecto desde la arquitectura y la ingeniería de forma complementaria.

El tema económico aparece cuando el dueño quiere disminuir costos entre comillas facilitando el acceso de esas actividades a los profesionales que no hacen reconocer sus valores o directamente evaden los profesionales, pero al final los resultados no son económicos, incluso los resultados de no aplicar la normativa o de aplicarla incorrectamente causan costos mayores al no haberlos utilizado. Yo he podido ver en mi experiencia en las últimas décadas en donde haciéndolo bien seguramente hubiera sido más barato (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería Civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022).

La omisión de un profesional en la construcción acarrea pérdidas desde varios sentidos. Primero, la construcción podría presentar daños al tener dimensiones insuficientes. Estos costos a largo plazo son mayores debido al mejoramiento y rehabilitación necesario de una vivienda para disminuir el riesgo o incluso en caso de colapso los costos de reposición son muy elevados. Segundo, un profesional maneja los recursos de manera eficiente lo que genera ahorro al finalizar un proyecto.

Desde la formalidad, por otro lado, se aprecia que en el DMQ la venta de varios proyectos inmobiliarios se promociona desde el punto de vista estético, es decir, por sus acabados, ubicación, y otros factores relevantes a la arquitectura y no a la seguridad.

“Lamentablemente en la ciudad de Quito existe ahorro en la parte estructural, y existe la práctica de quitarle a la estructura para hacerle más bonito al edificio” (entrevista, consultor estructural de edificios en Quito, 18 de mayo de 2022).

Desde la gestión de riesgos en función de la creación de políticas para la reducción de desastres, es importante analizar los costos de una edificación de manera global e integral. Es así como los costos finales se tienen a lo largo del tiempo y luego de acontecidos los eventos, por lo que los costos reales totales no corresponden al terminar la construcción de un proyecto. De hecho, edificar un proyecto se compone de varias etapas en función del tiempo que corresponden a: planificación, construcción, mantenimiento, rehabilitación.

Es importante destacar el concepto de reducción de riesgo desde la planificación, por lo que cualquier ahorro económico en seguridad en etapas de diseño o construcción lo que ocasiona es elevar significativamente los costos en las etapas finales de rehabilitación o mejoramiento en el caso de un sismo severo.

3.2.1. Influencia del valor del costo de la ingeniería estructural en la vulnerabilidad de las edificaciones

Como se indicó anteriormente, para materializar de la mejor manera un proyecto de construcción o edificación se debe cumplir varias etapas dentro del mismo. El diseño y planificación son claves ya que se conceptualiza el proyecto y fija las bases mediante normativas y especificaciones las cuales deben seguirse en la etapa de construcción. La planificación urbana de Quito desde el 2020 se caracteriza por la construcción en altura debido al impulso de la política urbana basada en la ciudad compacta (PUGS 2022). Es así como existe diversa demanda en venta de edificios en altura, como los indicados en la zona de

estudio que están dirigidos a estratos medios y altos especialmente. De hecho, los edificios más altos de la ciudad que superan los 25 pisos de altura se los vende y se consideran por parte las constructoras como edificios emblemáticos para la ciudad.

Como una estrategia de mercado, estos edificios están siendo diseñados por arquitectos reconocidos mundialmente, los cuales proponen arquitecturas complejas y novedosas cuyo valor de consultoría es elevado, situación que por el contrario no sucede con el calculista estructural. Según consultas hechas a personas involucradas en la industria de la construcción y validado por gremios profesionales como el Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha y el Colegio de Arquitectos del Ecuador, existe gran diferencia entre el cobro del diseño arquitectónico y el estructural siendo el primero bastante más costoso.

Las dos disciplinas son importantes, desde el punto de vista de la reducción de riesgos y sostenibilidad es vital el diseño estructural ya que éste es fundamental para salvaguardar la vida de sus ocupantes y la responsabilidad que genera este trabajo es fundamental.

El bajo costo del diseño estructural es una de las razones por la cual a veces no son realizados los cálculos con toda la prolijidad y atención del caso. En otros países del mundo, yo he trabajado en algunos proyectos internacionales, y un profesional estructural cobra lo mismo que el profesional arquitectónico. Es lo lógico teniendo en cuenta que la responsabilidad siempre recae sobre el ingeniero estructural. Estamos de acuerdo que los arquitectos cobren los honorarios que deban cobrar. Pero, igualmente los de un ingeniero que se merece la consideración y la responsabilidad, y ese es un problema que ha estado entre ingenieros. Entonces, es un problema gremial, hacer consciencia de esto porque cuando uno hace un trabajo solamente se cobra el trabajo y se acabó, ¿uno de estos días hay un terremoto y se le cae la estructura y...? No hizo bien el trabajo o la remuneración que recibió no es lo suficientemente justa para que haga un buen trabajo, entonces creo que ese es un tema álgido pero que amerita también una discusión” (Juan Carlos Garcés, Ingeniero estructural, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022).

El problema del costo o valor de un proyecto estructural se relaciona también a la forma de venta de los proyectos. En el mercado inmobiliario de Quito, un proyecto se lo comercializa por sus atributos arquitectónicos, como vista, ubicación y acabados, más no por el grado de seguridad de su estructura. De ahí que no existe una consciencia o cultura dirigida hacia la seguridad.

“El desconocimiento de seguridad de los propietarios, de los impulsores de proyectos y de quienes contratan profesionales y ciertos profesionales que no hacen valer su trabajo y hacen

un trabajo de poca calidad en vista que son poco retribuidos y esto no solo pasa en proyectos pequeños, también pasa en proyectos de gran envergadura” (Consultor estructural, entrevista, vía zoom, 20 de mayo de 2022).

Si los diseños estructurales no contemplan toda la prolijidad técnica que amerita y éstos no son hechos por profesionales especialistas en el tema, aumenta grandemente la vulnerabilidad de la estructura. En la ciudad de Quito los diseños tienen que cumplir una fase de revisión, pero si estos no se cumplen en obra, por temas de desconocimiento o de ahorro económico se está omitiendo una parte fundamental del proceso (Salazar 2019).

3.2.2. Niveles y objetivos de desempeño como indicador de construcción sostenible

Los últimos avances de la filosofía sismorresistente proponen un diseño estructural basado en los niveles y objetivos de desempeño que se relacionan con la funcionalidad y daños de la estructura luego de un evento externo como un sismo (Almufti y Willford 2013). En realidad, estos objetivos son pensados en conseguir estructuras resilientes. Actualmente, la mayoría de las estructuras convencionales se diseñan con un nivel de desempeño de prevención al colapso lo que significa que la estructura puede dañarse luego del sismo especificado en las normas, esperado lo que contempla que pueda ser demolida debido a daños severos salvaguardando la vida de los sus ocupantes. Es decir, se diseñan las estructuras para brindar un tiempo determinado para que sus ocupantes puedan salir de ella, lo que significa que desde el diseño se contempla daños considerables en las estructuras.

Según análisis económicos y experiencia de constructores en el medio ecuatoriano, la estructura u obra gris se encuentra entre un porcentaje de un 30 a 35% del costo total de la edificación (uso convencional de vivienda). Este porcentaje disminuye en el caso de oficinas y hospitales donde el contenido de equipos tiene un valor elevado. Es por ello que la nueva filosofía sismorresistente para conseguir un edificio resiliente va más allá y propone no solamente evitar daños para evitar el colapso sino más bien evitar daños en los elementos no estructurales o incluso que los ocupantes o usuarios de un edificio no necesiten salir del mismo en caso de un sismo severo, lo cual se consigue con un diseño estructural adecuado y mediante el uso de dispositivos sísmicos como aisladores de base y disipadores de energía. Este nivel de desempeño se lo conoce como funcionalidad continua.

Actualmente, los niveles altos de desempeño donde se pretende tener estados mínimos de daños encuentran en las normativas para estructuras esenciales como hospitales, bomberos y

demás infraestructura que no puede paralizarse en caso de un terremoto. El nivel de desempeño está ligado íntimamente al diseño estructural y costo de éste. Es decir, una inversión inicial en la estructura permitirá conseguir ahorro en un futuro.

Precisamente, esto se aprecia en la modelización de vulnerabilidad realizada en la zona de la República de El Salvador donde los principales daños se encuentran en niveles moderados y extensivos. Es decir, cumplen la normativa de diseño de prevención al colapso. Sin embargo, los daños son cuantiosos debido a los altos desplazamientos de la estructura que se derivan en daños en elementos no estructurales como vidrios, pisos, acabados que se encuentran dentro del 65 a 70% del costo total del bien según lo expuesto anteriormente.

Para conseguir los niveles de desempeño es fundamental crear una cultura donde se eduque a los actores de la construcción y principalmente al propietario quien es el usuario final, es decir la decisión de la inversión en la estructura la deben tomar entre el propietario y promotor del proyecto (Almufti y Willford 2013). La estructura empieza a ser resiliente desde la concepción arquitectónica y es en ese momento donde los involucrados deben llegar a un consenso entre el costo del proyecto y la seguridad objetivo. Siendo responsabilidad del ingeniero y proyectista transmitir los objetivos y condiciones de desempeño al propietario. Caso contrario el diseño contempla daños y pérdidas en un evento futuro. Justamente estas pérdidas pueden ser minorizadas y tratar que sean mínimas o leves desde la concepción del proyecto en sus fases iniciales.

La verdad es que muy pocos conocen los niveles de desempeño yo he conversado con amigos, con gente que no se encuentra en el campo de la ingeniería, y piensan que a su propiedad o edificio no le va a pasar absolutamente nada porque les han vendido como un diseño sismorresistente. No están conscientes de eso, de que para el sismo de diseño una estructura puede quedar totalmente inservible. Es un tema de educación al consumidor, y el problema que tenemos en el medio, es que somos malos consumidores, no solamente de un producto que es un departamento, casa o edificio, sino cualquier tipo de producto. El más barato es el que compro, no estoy viendo sus cualidades y los beneficios que me aportan. La mayoría va al departamento lindo que tiene una vista espectacular con griferías a todo dar y eso es lo bonito, eso es lo que paga, pero lo que esta adentro lo que le va a dar seguridad como que no lo pone en la balanza, entonces si debería haber una mayor difusión de este tipo de conceptos para que la gente vaya bien entendida y pueda decir ok aquí me están ofreciendo un edificio que si viene el sismo de diseño va a quedar hecho pedazos y yo me voy a quedar en la calle, y acá me están ofreciendo otro donde voy a poder regresar a seguir habitándolo con poca reparación, o de pronto otro que me ofrecen con aisladores, disipadores y todo lo demás y me dicen vea usted va

a poder regresar a los diez minutos o mejor dicho no va necesitar salir del edificio porque no va a sentir el sismo. Entonces, la persona puede tomar una decisión con ese conocimiento (Juan Carlos Garcés, Ingeniero estructural, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022).

Planificar los proyectos estructurales basados en los objetivos de desempeño crea una cultura sísmica preventiva, es vital poner en práctica estos conocimientos en todos los actores involucrados en la construcción. La academia debe fortalecer este conocimiento y transmitirlo y no solo a las carreras de ingeniería y arquitectura, es importante conocer esto desde la economía y demás ciencias sociales para generar conciencia en la ciudadanía.

No, claro que no existe conocimiento del desempeño en nuestro medio. Para eso se necesita maduración. Es complejo, yo que soy consultor, y explicar esto a profesionales de otras ramas es bien difícil que puedan entender el desempeño que uno persigue en la construcción. En países industrializados, ya se habla del nivel de desempeño. Cuando se construyó el edificio de Apple en California los promotores pidieron un mejor nivel de desempeño, ya que ellos eran expertos en el tema y podían exigir más cosas. Entonces necesita nivel de enriquecimiento hasta del propietario, del dueño, del contratante y eso créame es muy duro encontrar, muy duro. Hay que crear esto desde las universidades y ahí no se les está contando estas cosas, y si a profesionales que están diseñando proyectos frecuentemente e inclusive infraestructura importante no entienden del tema ya me dirá usted que pasa con los demás que son constructores y propietarios. Entonces sí, espero que algún día se dé esto y debería ser rutinario, pero hoy en cambio es extraordinario, entonces todavía nos falta madurar al cliente, y madurar también al oferente y todavía pasa eso en los países industrializados y todavía falta mucha conciencia y educación. (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022).

Finalmente, uno de los procesos para conseguir una cultura sísmica es precisamente crear una cultura en el consumidor. Básicamente el propietario o consumidor debe conocer el riesgo al que se encuentra expuesta su estructura. Primero, una forma es crear conciencia en la compra de vivienda, por lo que los vendedores deben indicar el desempeño que fue contemplado en el proyecto de vivienda. Una forma de cumplir esto, es incluir en las normativas y ordenanzas en los gobiernos locales. Segundo, cuando se realiza la construcción por parte del propietario, los actores que son los diseñadores y constructores deben informar los daños que puede tener la estructura y con eso afinar el tema de costos y seguridad como inversión a largo plazo. Es decir, el análisis por objetivos de diseño debe incluirse en la concepción inicial del proyecto y tanto los constructores, promotores, y propietarios deben tener consciencia de ello por lo que es fundamental la comunicación e interrelación entre los involucrados.

3.3. Influencia de la normativa en la reducción de vulnerabilidad

A continuación, desde una mirada institucional se aborda cómo la normativa incide en el aumento o reducción de vulnerabilidad física en el DMQ desde dos fenómenos asociados a las construcciones formales e informales.

Como se ha expuesto anteriormente, la informalidad de la construcción en Quito es un problema estructural y corresponde a la mayoría de las construcciones de la ciudad. En el barrio de estudio el Carmen Bajo se constató en sitio que el sistema estructural de las viviendas no cumple con normativas técnicas mínimas. La encuesta realizada a los habitantes del sector, la gran mayoría indicó que no tiene conocimiento de la existencia de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Este desconocimiento representa un fenómeno que se expande a lo largo de la ciudad e inclusive en zonas de riesgo.

“Cada uno por acá hace sus proyectos sin la dirección de un profesional. He visto esto en otros sectores y se hace lo mismo. Por qué le digo porque me han llevado a trabajar, contratan albañiles, y nos llevan a otros lados y es lo mismo” (Entrevista maestro constructor, el Carmen Bajo, 2 de junio 2022).

La vulnerabilidad aumenta con las ampliaciones en elevación de las viviendas informales. Se constató en sitio que las construcciones inician con uno o dos pisos y posteriormente incrementan el número a tres o más sin realizar ningún mejoramiento o reforzamiento estructural. Esto constituye una de las mayores causas de aumento significativo de vulnerabilidad en la ciudad, en tanto los métodos y sistemas constructivos se repiten en cada manzana.

“Cuando hacen estas ampliaciones los vecinos no amplían las columnas, a veces me preguntan, si aguanta o no, yo les digo dos pisos, o quizás tres con una loseta y a veces les he aconsejado que no hagan, o hacen mediaguitas con eternit en pisos superiores” (Entrevista maestro constructor, el Carmen Bajo, 2 de junio 2022).

Además, los niveles de construcción de entre piso de las casas colindantes son diferentes lo cual genera patologías estructurales. Es decir, algunas casas se construyen una junto a la otra de manera adosada, y las losas de entre piso se colocan en diferentes niveles. Esto se agrava cuando las pendientes de las calles son pronunciadas. Cuando se tiene esta distribución en caso de un sismo existe un fenómeno conocido como efecto martillo que es el golpeteo entre estructuras o bloques, lo que aumenta la vulnerabilidad y puede provocar colapsos estructurales. También, cuando existen desniveles se producen patologías por columna corta

lo cual produce una falla frágil en una estructura en caso de movimientos horizontales. Estas técnicas no recomendadas fueron algunas de las causas de los colapsos estructurales en el terremoto de México de 1985.

Otro inconveniente se produce por el suelo de cimentación. La normativa indica que se debe realizar estudios de mecánica de suelos en cada edificación, cuyo objetivo es determinar la resistencia mecánica del suelo y encontrar la mejor cimentación en función del tipo de proyecto. La ciudad de Quito al ser una ciudad de montaña con topografía irregular tiene zonas de relleno, y además existen zonas pantanosas con suelos blandos. En suelos de malas características mecánicas las viviendas son vulnerables a hundimientos y asentamientos agravando las condiciones de vulnerabilidad.

Una cultura basada en la prevención indica que las construcciones deben realizarse con estudios y diseños, contar con planos para dimensionar los elementos estructurales de forma correcta. Además, en la construcción los materiales deben seguir especificaciones técnicas con resistencias mínimas.

Desde los planes de regulación, emitidos por el Municipio de Quito como el plan de uso y gestión de suelo PUGS (2022) se indica que no se debe construir en lotes que presenten pendientes mayores al 50%, y existen restricciones en las zonas de borde de quebrada. Lastimosamente, desde la informalidad se constata el incumplimiento de estas regulaciones.

La otra cara de la moneda corresponde a las viviendas formales. En teoría las viviendas formales cumplen una normativa, pero eso no quiere decir que una vivienda que cumpla la norma no está exenta de sufrir daños, lo cual es fundamental dentro del entendimiento del riesgo. El cumplimiento de la normativa no representa los máximos estándares, sino representan lo mínimo que un profesional o diseñador debe cumplir. Esto se demuestra en el modelo de vulnerabilidad donde los resultados del daño en la zona de estudio dentro de la República de El Salvador se presentan daños considerables con altas pérdidas económicas. Además, dentro de la ciudad de Quito dentro de la construcción formal no existe una política o proceso cuyo fin sea el cumplimiento de diseño durante la construcción.

Las normativas sismorresistentes deben actualizarse constantemente, generalmente se actualizan cuando existen eventos considerables y sus requerimientos se incrementan en exigencia. En los países que conforman el Cono Sur las normativas sismorresistentes difieren en algunas condiciones y siguen los lineamientos de la normativa propuesta por los Estados Unidos. Para el correcto diseño de una norma es importante contar con investigación en el

tema. Caso contrario su aplicabilidad es incierta, es decir a más del conocimiento se requiere aplicabilidad según las condiciones de cada país.

En el Ecuador la investigación en el campo de la ingeniería civil y de las áreas relativas a la construcción y diseño no es relevante. Hay muy pocas universidades que se dedican a la investigación de calidad. La investigación en el país es casi insuficiente para poder generar normativa, esa es una limitante, la otra limitante es el número de personas que tienen el conocimiento, pero también la experiencia práctica juntas para poder proponer cambios, sugerencias, o nuevos métodos o algoritmos para insertarlos en la normativa, no solo es necesario el conocimiento, uno puede traer rápidamente ideas de un país desarrollarlo para implantar, pero la otra es tener la experiencia para poder aplicarlo en la vida real. La normativa intenta lograr un diseño, económico y técnicamente seguro (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022).

Aplicar y cumplir la normativa constructiva es un buen inicio, como se mencionó anteriormente para disminuir los daños y vulnerabilidad. En general, es necesario contar con los niveles y objetivos de desempeño entre los diferentes actores involucrados. La normativa sísmica busca crear estructuras seguras capaces de mitigar los efectos de un terremoto y su cumplimiento es una tarea por parte de las autoridades. Además, la normativa debe planificarse en conjunto entre el gobierno nacional y local con la participación de constructores como empresa privada y la sociedad para evaluar su aplicabilidad.

Yo creo que hay una parte de promotores y constructores y diseñadores que todavía no creen que la problemática es tan importante. Ya hay un grupo de ellos que trabajamos con normas y con exigencias mayores de las que pide la NEC. Somos un grupo reducido, pero ya se está generando conciencia, toma tiempo, pero en esas cosas es así. Si la persona no se pega el suelazo no está cuidando por donde pisa (Juan Carlos Garcés, Ingeniero estructural, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022).

Desde la planificación urbana llama la atención que en Quito no existan políticas directas hacia la reducción del riesgo por amenazas sísmicas. A más de la inexistencia de una microzonificación sísmica, algunos proyectos de interés social se construyen en zonas de riesgo donde los suelos tienen características deficientes. Incluso no existe regulación desde la planificación en los barrios por donde atraviesa la falla de Quito como el caso puntal del barrio el Carmen Bajo.

Por ejemplo, como vamos a mitigar el riesgo en una zona de exposición al borde de la quebrada, vamos a bajar la densidad lo que quiere decir que ya no van a matar a 50 personas sino a 25, esto no tiene sentido. En Solanda es tan complicado todo, el aspecto de suelo, construcciones

que son totalmente informales a pesar de que iniciaron formales. La EPN hizo un levantamiento sobre la vulnerabilidad midiendo columnas, en donde existen muchas deficiencias, además en Solanda el poste de luz lo ponen en la sala, el alcantarillado esta también dentro de las viviendas. (Hugo Yepes, consultor de riesgos y sismólogo, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022).

Los planes municipales indican regulaciones en zonas de riesgo que se fundamentan en controlar las densidades de viviendas. Esto trata de controlar el crecimiento urbano, pero no es suficiente ya que en zonas de alto riesgo debe existir prohibiciones a las construcciones como única medida de prevención. Otra deuda pendiente desde la planificación urbana en la ciudad es la falta de políticas de reforzamiento estructural esto debido a que gran parte de la ciudad no cumple con los estándares de construcción de la norma vigente.

3.3.1. Alcance y efectividad de la Norma Ecuatoriana de la Construcción

La Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente NEC (2015) se referencia sobre algunas normativas internacionales y ha existido poca actualización de la normativa sísmica del Ecuador. La primera normativa constructiva se emitió en la década del 70, luego, cerca del año 2000 se emitió el Código Ecuatoriano de la Construcción con la inclusión de un capítulo sísmico, y posteriormente en el año 2011 se presentó un borrador de lo que hoy se conoce como Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15), la cual fue emitida por el Ministerio de Vivienda mediante Registro Oficial en el año 2015.

La NEC 15 es de obligatorio cumplimiento y es exigida por los gobiernos locales del país. En el caso del DMQ se realiza desde el año 2013 la revisión del cumplimiento de esta a nivel de diseño para todos los proyectos que superen los 40m². Si el proyecto cumple con la normativa se emite un certificado de conformidad y con ello se solicita la Licencia de Construcción.

“Hace 10 años atrás no se revisaban los diseños estructurales en Quito entonces había un manejo demasiado informal con relación al cumplimiento normativo. Entonces, lo que en teoría podía haber sido una estructura formal que cumplía con un requisito de entrega de planos no necesariamente cumplía con las disposiciones normativas” (Ingeniero estructural, entrevista junio 2022)

El Ministerio de vivienda no cuenta con una disposición en la que se indique que la normativa deba ser actualizada periódicamente, es por ello que luego de siete años de su emisión todavía no se tiene una nueva versión. Por ejemplo, la normativa de Estados Unidos a quien la NEC hace referencia es sometida a una actualización cada cinco años.

Es vital trabajar para la aplicabilidad de la normativa e incentivar su uso. Por ejemplo, una norma muy exigente con un valor muy alto de amenaza dificulta su aplicación, además se debe encontrar un equilibrio entre la seguridad y el costo de las estructuras. La revisión de planos es un paso para su aplicación, y el siguiente paso es el control en obra. Actualmente, el tema de control y fiscalización de obra es un tema pendiente en el DMQ. La Agencia Metropolitana de Control (AMC) es la encargada de verificar que las obras se construyan en función de los planos de diseño, pero debido a falta de presupuesto y personal, actualmente el control se lo realiza de manera aleatoria en un porcentaje bastante reducido.

La normativa se aplica para estructuras nuevas, Quito cuenta con estructuras patrimoniales y con gran cantidad de infraestructura antigua. Es decir, gran cantidad de la ciudad no cumple con la normativa vigente por lo cual se encuentra en vulnerabilidad. La falta de eventos sísmicos considerables por las características del sistema de fallas de la ciudad ha hecho que estas estructuras no se pongan a prueba.

Creo que Quito no tiene una cultura de riesgo sísmico, por muchos años no hemos tenido eventos importantes aquí en la ciudad pues se piensa que no los vamos a tener y esto va ligado a la ausencia de normativa o deficiencia de la misma pues ha hecho que no se genere esta cultura de riesgo más que nada en el tema preventivo porque hay que tomar en cuenta toda la infraestructura que se ha construido hace más de 50 años y que no cuenta con ningún tipo de diseño adecuado para el caso. Entonces, la prevención también debería incluir reforzamiento de estructuras ya que estas no cumplen con los requerimientos actuales (Juan Carlos Garcés, Ingeniero estructural, entrevista vía zoom, 18 de mayo de 2022)

Debido al tamaño de la construcción informal que se extiende por todo el Ecuador y a los lapsos de tiempo de su actualización es complejo analizar la efectividad de la normativa sísmica. Todavía no existe un número elevado de construcciones que cumplan la normativa y sobre todo que hayan sido puestas a prueba. Cuando sucedió el terremoto de Pedernales en 2016 la norma tenía pocos meses de vigencia por lo tanto el número de estructuras con esta normativa era casi nulo, seguramente los próximos eventos sísmicos pondrán a prueba la infraestructura diseñada con la normativa vigente.

Yo diría si es efectiva desde su emisión eso todavía lo tenemos que mirar, eso todavía no lo sabemos, necesitamos que pase un tiempo, que haya montón de infraestructura diseñada con NEC-15 y luego haya sido sometida a una prueba especial y podríamos decir, ah esta parte nos equivocamos, hay que eliminarla, es irrelevante incrementarla o debe ser más rigurosa. Lo único que nos estamos basando es en normativa comparada que es mirando a otros países como están

haciendo, pero no hemos podido probar la nuestra y el uso de la NEC 15 no es lo suficiente extendido y solo hablando de infraestructura donde se aplica normativa. Quito es uno de los pocos Municipios y en otros la revisión es casi nula y mucho menos la revisión durante la construcción entonces para garantizar el cumplimiento hay que tener que establecer procedimientos de revisión y de exigencia, procedimientos de penalidad cuando se encuentran que no se ha cumplido. Sino el ciudadano no va a estar incentivado en aplicarla o exigir su aplicación (Fabricio Yépez, PhD en Ingeniería civil, entrevista vía zoom, 24 de mayo 2022).

Un paso importante es evaluar el no cumplimiento de la normativa de construcción y una forma es mediante planes de educación y a través de multas o penalidades. Sin duda, la efectividad de la normativa se encuentra en función de su cumplimiento y va más allá de su exigencia. La norma puede contener actualizaciones con exigencias técnicas, pero si esta no es aplicada en el territorio es complejo analizar su efectividad.

3.4. Cultura del riesgo como detonante del incremento de vulnerabilidad sísmica en el DMQ

Como indica la Tabla 2.16 los hallazgos y resultados del modelo de vulnerabilidad física de la presente investigación indican que existirán daños considerables en el DMQ luego de un evento sísmico de Magnitud 6.2 en el segmento Ilumbisi la bota a 6 km de profundidad. Luego de un análisis de los resultados se indica que los daños no solamente se producirán en los sectores informales sino también existe un porcentaje alto de daños moderados y extensivos en zonas con construcción planificada con permisos de construcción.

Realizando una proyección a la infraestructura y construcción con similares características de la ciudad y expandiendo las consecuencias a la largo de la ciudad se tiene que un sismo de estas características será de notable trascendencia e impacto en Quito y en el Ecuador en general. Básicamente, sino se toman medidas de prevención las cifras en pérdidas económicas representan un colapso económico para todo el país con un costo de recuperación muy elevado.

La presente investigación aborda desde un estudio interdisciplinar como una cultura de riesgo que no se encuentra fundamentada en la prevención es un detonante en el aumento de vulnerabilidad de la infraestructura de una ciudad y esto se visibiliza o magnifica con un evento de origen natural. El concepto de cultura de riesgo sísmico se lo construye desde tres niveles que son el desconocimiento de la amenaza, el incumplimiento de la normativa, y el

ahorro en la seguridad estructural. En realidad, estos tres elementos se encuentran interrelacionados entre sí y constituyen medidas directas para crear planes de mitigación desde la planificación y políticas preventivas en general.

Una forma directa para alimentar los componentes de la cultura de riesgo se lo consigue mediante campañas de educación dirigido a todos los actores.

No para nada creo que Quito tenga una cultura de riesgo sísmico, haber hay buena práctica formal en diseño y más escasa en construcción, pero en realidad, me parece que un porcentaje muy alto de la construcción fuera de lo informal no sigue los cuidados, detalles, que produce un buen diseño y eso hablando del 30 y 40% de la construcción. A mí me marcó mucho lo que conocimos del terremoto de Portoviejo de 2016 porque ahí estudiamos la exposición y desarrollamos curvas de fragilidad para las construcciones y luego a partir de ello se obtuvo la vulnerabilidad. Esto fue una construcción empírica y encontramos que el 10 % de las edificaciones tenía daño de cualquier nivel, pero hicimos el análisis por una clasificación de las estructuras destinado fundamentalmente a la altura y al material de construcción y del universo de los edificios los que tuvieron daño no fueron los más pequeños. Que significa un edificio de cinco pisos ? que es muy difícil que sea informal, y muy difícil que sea del estrato más bajo de la población, y muy difícil que no sea regulado por el Municipio, entonces es formal y de la clase alta, Quién construyó eso ?, los constructores que usaron los diseños de la escuela de ingeniería ecuatoriana , no es que solo los de Portoviejo son así. (Hugo Yepes, experto en riesgos sísmicos, entrevista vía zoom, 12 de febrero 2022).

Lastimosamente, una sociedad que actúa luego de sucedidos los eventos cuantifica las pérdidas económicas después y no antes. La generación de normativa debe venir desde el conocimiento de las amenazas y también debe estar ligado a lo económico, en función de esto se define su aplicabilidad. Se debe analizar el nivel de exigencia para que su impacto económico no sea demasiado fuerte y el sector de la construcción pueda recuperarse convenientemente. Es decir, se debe llegar a un consenso entre los actores involucrados en la construcción. Caso contrario el cumplimiento normativo e informalidad en general pueden aumentar (Salazar 2019).

Las normativas y planes de ordenamiento territorial deben actualizarse periódicamente en función del conocimiento de las amenazas. Es importante desde los gobiernos locales y central verificar el cumplimiento normativo de la construcción y crear sanciones en caso de no aplicarse.

Como se ha mencionado reiteradamente, al no tener eventos significativos en la ciudad es complejo poner a prueba su infraestructura, por lo que se realizó un modelo de vulnerabilidad sísmica para aproximar y proyectar los posibles daños en dos zonas de estudio en el DMQ desde los contrastes formal e informal.

Conclusiones y recomendaciones

Mediante un análisis interdisciplinar y con los fundamentos de la gestión de riesgos se ha propuesto cuantificar la vulnerabilidad sísmica en dos áreas urbanas del DMQ con características de construcción opuestas representadas por la formalidad e informalidad. Los resultados de los daños y las pérdidas frente a un sismo de considerable magnitud fueron el punto de partida para entender sus causas que tienen como detonante la cultura del riesgo de la ciudad. Cabe señalar que los resultados del modelo constituyen una aproximación al riesgo sísmico.

Se concluye de forma teórica que existe aumento de vulnerabilidad física de la infraestructura urbana cuando la cultura del riesgo sísmico no se encuentra fundamentada en la prevención debido al entendimiento del riesgo, falta de institucionalidad y ahorro económico en los procesos constructivos.

En la presente investigación se aplicó una modelización del riesgo sísmico en los barrios el Carmen Bajo y en una zona del sector de la República de El Salvador. La primera corresponde a un área netamente informal donde según análisis en campo las edificaciones no cumplen con reglas técnicas, tienen deficientes métodos de construcción, y el número de pisos se encuentra entre uno y cuatro. Por otro lado, la segunda zona de estudio presenta en su mayoría edificaciones en altura que superan los 15 pisos y corresponden a estructuras con permisos de construcción. La modelización presenta como resultado los daños y pérdidas frente a un evento sísmico local en el sistema de fallas de Quito de magnitud Mw 6.2 a 6 km de profundidad. Las dos zonas de estudio presentan daños y cuantiosas pérdidas económicas. En el Carmen Bajo las pérdidas económicas superan el 50% y el índice de daños se concentra en daños extensivos y colapsos en un rango del 56%, y en la zona de la República de El Salvador las pérdidas económicas superan el 35% y el rango se concentra en daños moderados y extensivos los cuales suman un total de 60%.

Se construyó el concepto de cultura de riesgo sísmico desde los enfoques racionalista mediante el aspecto económico, institucional relacionado con la normativa, y el cognitivo basado en la percepción y se analizó su influencia en el aumento de vulnerabilidad física de la infraestructura dando validez a la hipótesis que el DMQ no presenta una cultura de riesgo sísmico fundamentada en la prevención y validada mediante los resultados de los daños y pérdidas en el modelo de vulnerabilidad. En función de las características de los barrios de estudio este análisis puede ser replicado en distintas zonas de la ciudad lo cual puede ser

validado en investigaciones futuras. El objetivo de cuantificar la vulnerabilidad física es dar a conocer a los tomadores de decisión los riesgos a los que se encuentra expuesta determinada locación y generar mediante ello políticas de reducción de riesgo de desastres.

El DMQ se encuentra expuesto ante amenazas sísmicas de tres tipos. La primera, corresponde a los sismos por subducción que se originan en el borde costero del Ecuador, eventos que pueden tener magnitudes grandes y pueden causar daños en la ciudad. La segunda, es la amenaza más dañina y destructiva para la ciudad la cual se refiere al sistema de fallas de Quito donde se generan eventos locales superficiales de tipo cortical. Y la tercera, que se produce debido a erupciones volcánicas.

Luego de la aplicación del modelo de vulnerabilidad y riesgo sísmico en dos barrios de la ciudad y con los índices de daños y pérdidas se indica que el DMQ no se encuentra preparado para contrarrestar los efectos de un sismo local de magnitud Mw 6.2. Los efectos de un sismo o amenaza pueden ser todavía más devastadores que el considerado, debido a que la modelización no tomó en cuenta efectos como: la amplificación que puede tener el suelo de la ciudad, las patologías existentes en construcciones como efectos de columnas cortas, pisos blandos, o efecto de golpeteo entre viviendas debido a la diferencia de altura de estas. Tampoco se consideró en la zona del Carmen Bajo, por donde atraviesa una falla tectónica, que en caso de un terremoto esta tenga una fractura superficial lo cual sería devastador. Es decir, las características tomadas para la modelización de la presente investigación no tomaron en cuenta los escenarios más críticos, menos probables, y más destructivos.

En base a los resultados obtenidos en la simulación de vulnerabilidad sísmica, el impacto de un sismo de Magnitud 6.2 a 6 km de profundidad en Quito no solo causará daños a los estratos socioeconómicos bajos y construcciones informales. Sino también existirán daños considerables en estratos altos de la ciudad, por lo que los efectos de un sismo tendrán consecuencias en todos los niveles socioeconómicos. Esto permite argumentar que, si no existen medidas preventivas para disminuir la vulnerabilidad física de la ciudad, las consecuencias frente a un terremoto serán catastróficas para la economía del país en general.

La cultura del riesgo sísmico se basa en la prevención y medidas de mitigación propias de la sociedad para contrarrestar los efectos de un terremoto o sismo de considerable magnitud. El presente caso de estudio aporta al conocimiento de ciudades consolidadas que no presentan eventos recurrentes. Por ello se indica que un terremoto o un gran evento externo se convertiría en un hito o precedente histórico para la ciudad de Quito. De ahí que, a manera de

hallazgo se evidencia que una de las causas de la deficiencia de cultura de riesgo sísmico en la ciudad se produce precisamente por la falta de un gran sismo en el tiempo reciente, el cual en caso de suceder se convertiría en un motor o fiscalizador encargado de generar medidas de mitigación futuras. Para reducir los daños producto de un sismo de esta magnitud y no solamente esperar el desastre, es tarea de las autoridades, academia y ciudadanía en general impulsar una cultura preventiva mediante políticas basadas en la disminución del riesgo sísmico.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) es un primer avance desde la institucionalidad para conseguir la reducción de riesgo sísmico. Es fundamental conseguir la aplicación de esta normativa en el territorio lo cual genera una cultura preventiva. Es importante a más de los avances técnicos, que la norma analice su impacto y aplicabilidad hacia condiciones propias de cada locación, lo cual se consigue mediante investigación en el territorio, por lo que es vital crear campañas de educación sobre entendimiento del riesgo. El uso de la norma genera construcciones menos vulnerables por lo que conseguir su aplicabilidad es incluso más importante que la implementación de nuevas exigencias técnicas.

Una estrategia para conseguir disminución de informalidad en la construcción es elaborar manuales de vivienda sismorresistentes los cuales pueden ser desarrollados por actores como la academia, gremios de profesionales, y gobiernos locales. Estos manuales deben cumplir holgadamente la normativa y presentar métodos constructivos sencillos en función de las características propias de la población. Los manuales deben tener acompañamiento de capacitación dirigida hacia la comunidad en general.

Un instrumento para disminuir la vulnerabilidad física de las edificaciones se consigue mediante la generación de una cultura de consumidor, es decir del propietario de una edificación. Al momento de construir o comprar un inmueble, es importante generar consciencia y educación sobre la seguridad de la vivienda y no solamente adquirir un bien por estética. Para ello, los actores involucrados que son los planificadores, promotores y constructores, deben tener conocimiento de los objetivos de desempeño, es decir, realizar la inversión con el conocimiento del nivel de daños que se encuentra expuesta la estructura en el caso de la aparición de un movimiento sísmico.

Se resalta que, por fines de seguridad estructural es fundamental la intervención del Estado central y gobiernos locales en los procesos de regulación y control en obra cuya ejecución se la realiza principalmente mediante dos mecanismos que son la revisión de proyectos en su

fase de diseño y el control de estos en la fase de construcción. Además, es importante el seguimiento y control en función del tiempo ya que existe actualización de las normativas y las estructuras pueden prescindir mecanismos de rehabilitación o reforzamiento estructural.

Debido a la incertidumbre latente en los modelos de amenaza, exposición y fragilidad y en general de riesgo sísmico, se requiere calibración, lo cual suele conseguirse en óptimas condiciones mediante eventos sísmicos reales o de similares magnitudes en las poblaciones de estudio. Representa un trabajo a futuro, validar los índices de daños y pérdidas de la presente investigación con amenazas reales de características similares, lo cual genera un mayor entendimiento del riesgo urbano.

Otra forma de mitigar directamente los efectos de un sismo es regular la geometría de los proyectos de construcción y sobre todo la infraestructura esencial como hospitales o centros de emergencia cuyo uso debe ser continuo. Una forma directa para disminuir vulnerabilidad en ciudades con amenaza sísmica alta es planificar proyectos sin geometrías complejas en planta y elevación. Esto representa un trabajo en conjunto desde la ingeniería y arquitectura. Es decir, estas regulaciones podrían evitar el diseño de proyectos con patologías desde su concepción o al menos tomar precauciones.

Es vital colocar regulaciones y restricciones desde la planificación urbana en zonas por donde atraviesa el sistema de fallas de Quito, como el caso del Carmen Bajo. Actualmente, se observa en el sector la implantación de conjuntos habitacionales lo cual genera alta densidad y concentración de viviendas. En esta zona pueden existir rupturas superficiales donde los efectos en caso de un sismo sean devastadores. Es por ello que, las densidades para edificar en estas zonas deben ser mínimas y restringidas. Los planes de uso y gestión de suelo pueden clasificar estas zonas como protección donde no se planifique vivienda. Desde la planificación preventiva los gobiernos locales deben regular y restringir la construcción en zonas de riesgo, para lo cual deben contar con mapas de amenaza y vulnerabilidad como información clave.

Es fundamental incluir la reducción del riesgo de desastres en el debate de sostenibilidad y no tratarlos por separado de manera aislada. Según los resultados del modelo de riesgo de la presente investigación un sismo de considerables características ocasionará graves daños económicos, sociales, y ambientales. Las estructuras colapsadas y las que tengan daños extensivos deben ser reconstruidas lo que genera un gasto e impacto excesivo de recursos. Todas las medidas y gastos hechos desde el inicio por seguridad estructural representan un

ahorro a largo plazo. Por lo que es fundamental en territorios expuestos colocar en los planes de ordenamiento territorial y planificación urbana en general políticas de reducción de riesgo sísmico.

La presente investigación se puede complementar en trabajos futuros mediante la generación e inclusión de número de fallecidos en el modelo de vulnerabilidad y no solamente con pérdidas económicas, lo cual permitiría perfeccionar los planes de mitigación post desastre. Además, se puede complementar mediante la realización de varios escenarios sísmicos con magnitudes mayores o menores en el DMQ. También, es importante complementar en estudios futuros el término cultura del riesgo desde una forma integral desde los lineamientos de las ciencias sociales.

Corresponde un objetivo fundamental el buen uso de la gobernanza multinivel enfocada a la reducción del riesgo sísmico donde es imprescindible la definición y participación de actores desde las instituciones que construyen política pública, la participación activa de la sociedad con sectores como gremios profesionales, líderes barriales, la Academia y además sectores del mercado como constructores y empresas privadas ya que en función de su participación se consigue la efectividad de una política de reducción de desastres cuya incidencia es fomentar una cultura del riesgo basada en la prevención. Es vital, por lo tanto, transmitir a la ciudadanía que los desastres son socialmente contruidos y estos pueden mitigarse en función de la fragilidad estructural o vulnerabilidad física.

Referencias

- Aguiar Roberto, Eduardo López, y Diego Quizanga. 2017. “Relaciones V/H para espectros asociados a las fallas inversas de la ciudad de Quito”. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, n.º 42: 25-35. <https://doi.org/10.15446/rbct.n42.54922>.
- Aguirre. 2004. “Los desastres en Latinoamérica: vulnerabilidad y resistencia”. *Revista Mexicana de Sociología* 66 (0188-2503): 485-510.
- Alfonso, Victor. 2010. “El Riesgo Sísmico En Quito : Análisis Y Simulaciones”, 55. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-12/010053328.pdf.
- Almufti, Ibrahim, y Michael Willford. 2013. “REDi”. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20267.75043>.
- Alvarado, Audin, Nocquet, Lagreulet, Segovia, Font, Lamarque, Yepes, Mothes, Rolandone, Jarrín. 2014. “Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity”. *Tectonics* 33 (2): 67-83. <https://doi.org/10.1002/2012TC003224>.
- Anderson, William A. 1965. “Some observations on a disaster subculture: The organizational response of a Cincinnati, Ohio, to the 1964 Flood”, 24.
- Barbat, Alejandro, Liliana Carreño, Omar Cardona, y Cristina Marulanda F. 2010. “Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas”. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería* 27 (1): 2-27. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77680>.
- Beauval, C., J. Marinière, H. Yepes, L. Audin, J. M. Nocquet, A. Alvarado, S. Baize, J. Aguilar, J. C. Singaicho, y H. Jomard. 2018. “A new seismic hazard model for ecuador”. *Bulletin of the Seismological Society of America* 108 (3): 1443-64. <https://doi.org/10.1785/0120170259>.
- Beck, Ulrich. 2002. *La sociedad del riesgo global*. Siglo Vein. Madrid.
- Bello, Omar, Alejandro Bustamante, y Paulina Pizarro. 2020. “Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”.
- Benito, Belén, Enrique Molina, y Luis Laín. 2001. “Metodología Para Estudio De Amenaza Sísmica En Guatemala Aplicación Al Diseño Sismorresistente”.
- Bustamante, Bernardo, y Susana Olarte. 2017. “La clase dominante como determinante de la forma de Quito”. *Bitacora* 27, 2017. <https://doi.org/doi.org/10.15446/bitacora.v27n3.5593>.
- Calderon, Alejandro, Catalina Yepes, Carlos Celi, y Jose Marrero. 2022. “Training and Communication for TREQ Project Evaluación de Riesgo Sísmico para el Distrito Metropolitano de Quito Evaluación del riesgo sísmico para el Distrito Metropolitano de Quito”, n.º July. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16762.16322>.
- Calderon, Giorgina. 2001. “Construcción y reconstrucción del desastre.”
- Capellà, Hugo. 2020. “Las Puertas de la Memoria: Concepción Chile”. *ACE Architecture City and enviroment* 15 (45): 0-3. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.45.9643>.

- Cardona, Mabel Cristina Marulanda Fraume, Paula Marulanda Fraume, Martha Liliana Carreño T, y Alex H. Barbat. 2020. "Evaluating risk from a holistic perspective to improve resilience: The United Nations evaluation at global level". *Safety Science* 127 (May 2019): 104739. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104739>.
- Cardona, Omar. 2001. "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos." Universidad Politécnica de Catalunya.
- . 2008. "Medición de la gestión del riesgo en América Latina". *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, n.º Número 3: 1-20.
- . 2009. "La Gestión Financiera del Riesgo de Desastres", 53-.
<http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/Temas/AtencionPrevencionDesastres/EJET1GestionFinancieraRiesgoInstrumentosFinancierosCAN.pdf>.
- Carreño, Martha. 2006. "Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post". Catalunya.
- CDKN. 2014. "Alianza Clima y Desarrollo". 2014. <https://cdkn.org/es/noticia/opinion-por-que-reconocer-el-rol-de-la-cultura-en-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres>.
- Celi, Carlos, y Juan Pantoja. 2017. "Final Report: Capacity Curves and Fragility Curves of Residential Buildings for the City of Quito.", n.º May: 39.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28046.46402>.
- CIGIDEN. 2020. "Día nacional de la memoria y educación sobre desastres socio-naturales". Centro de investigación para la gestión Integrada del riesgo de desastres. 2020.
- Cilento, Alfredo. 2005. "Capacidad de resistencia, vulnerabilidad y cultura de riesgos". *Espacio Abierto* 14 (2): 0.
- CIUQ. 2022. "Centro de Información Urbana de Quito". 2022. <https://www.ciuq.ec/>.
- Dedeoğlu, Ali, Abdullah Zülfikar, y Cüneyt Tüzün. 2020. "Earthquake Performance Based Design And Resilience Based Analysis in High-Rise Buildings". *Disaster science and engineering* 2020 6: 12-34.
- Durukal, E, M Erdik, y K Sesetyan. 2006. "Expected earthquake losses to buildings in Istanbul and implications for the performance of the Turkish catastrophe insurance pool. Proceedings of geohazards, international engineering conferences". En . Lillehammer, Norway.
- Dynes, Russell. 1993. "Disaster Reduction. The importance of adequate assumptions about social organization". *Sociological Spectrum*, 175-92.
- EIDR. 2009. "UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres". *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR)*. Ginebra.
- Esfahani, Hadi Salehi, y Maía Teresa Ramírez. 2003. "Institutions, infrastructure, and economic growth". *Journal of Development Economics* 70 (2): 443-77.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00105-0).
- García, Virginia. 2005. "El riesgo como construcción social". *Desacatos* 19: 11-24.
- Gellert, Gisela. 2012. "El cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo". *Sapiens Research* 2 (1): 13-17.
- GEM. 2021. "Global Earthquake Maps | Global Earthquake Model Foundation | Italy". 2021.
<https://www.globalquakemodel.org/gem>.

- GFDRR. 2014. "Open Data for Resilience Initiative Field Guide", 134.
- Gómez, Domingo. 1993. *Ordenación del Territorio Una aproximación desde el Medio Físico*. Madrid.
- González, Marta. 2012. "Experiencias e Ideas para el Aula La gestión del riesgo sísmico : recursos didácticos en internet". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19 (3): 1-XX.
- Guevara, Teresa. 2003. "La planificación urbana en zonas sísmicas: La normativa de zonificación y la vulnerabilidad d sísmica de las edificaciones". *Estudio*.
- Hinestroza, Juan Camilo. 2018. "Evaluación del Riesgo Sísmico de viviendas de Barrancabermeja (Colombia)". EAFIT. <https://www.barrancabermeja.gov.co/>.
- Kaztman, Rubén. 2000. "Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social". *BID-Banco Mundial-CEPAL* 23 (3): 275-301.
<http://ecaths1.s3.amazonaws.com/vulnerabilidad/1630198540.Notas sobre la medicion de la vulnerabilidad social.pdf>.
- Keipi, K. 2005. "La gestión del riesgo dentro del ciclo de los proyectos". *Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Khatakho, Rajesh, Dipendra Gautam, Komal Raj Aryal, Vishnu Prasad Pandey, Rajesh Rupakhety, Suraj Lamichhane, Yi Chung Liu, et al. 2021. "Multi-hazard risk assessment of kathmandu valley, Nepal". *Sustainability (Switzerland)* 13 (10).
<https://doi.org/10.3390/su13105369>.
- Lafuente, Marianela, José Grases, y Carlos Genatios. 2014. *Revisión de la Normativa Sísmica en América Latina*. CAF-Banco. Carácas.
- Lavell, Allan. 2001a. "Riesgo, ambiente, desastre y desarrollo":
———. 2001b. "Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición (versión electrónica)", 1-22.
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>.
- Lavell, Allan, y Manuel Rodriguez. 2003. *Gestión del riesgo: un enfoque prospectivo*. PNUD.
https://www.researchgate.net/publication/265873827_Gestion_de_riesgo_un_enfoque_prospectivo.
- León, Amanda. 2018. "Generación de mapas Vs 30 y microzonas sísmicas en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador".
- Lizardo, Narváez, Allan Lavell, y Gustavo Ortega. 2009. *La Gestión del Riesgo un enfoque basado en procesos*. www.comunidadandina.org.
- Lupano, Jorge A, y Ricardo J Sánchez. 2009. "Políticas de movilidad urbana e infraestructura urbana de transporte". *Cepal* 230 (LC/W.230-P/E): 65 pp.
- Macías, Jesús Manuel. 1992. "Significado de la vulnerabilidad social frente a los desastres." *Revista Mexicana de Sociología*, 3-10.
- Mansilla, Elizabeth. 2000. "Riesgo y Ciudad".
- Maskrey, Andrew. 1998. *Navegando entre brumas la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina*. Editado por ITDG /LA RED. Lima.

- Mercer, Jessica, J C Gaillard, Katherine Crowley, Bob Alexander, Simon Day, Julia Becker, y Rachel Shannon. 2012. "Culture and disaster risk reduction : Lessons and opportunities", n.º January 2015: 37-41. <https://doi.org/10.1080/17477891.2011.609876>.
- Moehle, Jack, y Gregory G Deierlein. 2004. "a Framework Methodology for Performance-Based Earthquake Engineering". *13th World Conference on Earthquake Engineering*, n.º 679.
- Musset, Alain. 1996. "Mudarse o desaparecer : traslado de ciudades hispanoamericanas y desastres (siglos XVI-XVIII)".
- NEC. 2015. *Norma Ecuatoriana de La Construcción capitulo seguridad estructural*. ECUADOR: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- O'Keefe, Phil, Ken Westgate, y Ben Wisner. 1976. "Taking the naturalness out of natural disasters". *Nature* 260 (5552): 566-67. <https://doi.org/10.1038/260566a0>.
- Peña, Pérez. 2018. "Estudio de la influencia de las irregularidades en planta en la respuesta sísmica de una estructura de concreto armado." *Revista Internacional de de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 18 18: 3-14.
- PMDOT. 2021. "Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2021-2033". Quito.
- PNUD. 2004. *La reducción de riesgo de desastres. Un desafío para el desarrollo*. New York.
- POT. 2012. "Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial de Quito 2012- 2022". QUITO.
- PUGS. 2022. *Plan de uso y Gestión del Suelo del Distrito Metropolitano de Quito*.
- Rastelli, Victoria Montbrun. 2014. "La reducción del riesgo ante desastres y la sostenibilidad urbana". *The Journal of Clinical Pharmacology* 35 (1): 22-30. <https://doi.org/10.1002/j.1552-4604.1995.tb04741.x>.
- Salamanca, Luis. 2007. "¿Los riesgos, un problema de todos/as en la ciudad de La Paz? Las vulnerabilidades en las laderas de la ciudad de La Paz". *Revista Umbrales Revista del Postgrado de Ciencias del Desarrollo* 15: 289-322. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/bolivia/cides/umbrales/15/umbrales15.html>.
- Salazar, Mármol. 2019. "Hacia una Legislación Sísmica Preventiva en Ecuador: Efecto Económico de una Política de Revisión Obligatoria del Diseño Sísmico de Edificaciones en Quito". Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Schmidt, Víctor. 2014. *Ground Motion Prediction Models for Central America Using Data From 1972 To 2010*. *Revista Geológica de América Central*. Vol. 50.
- Silva, Vitor, Helen Crowley, Marco Pagani, Damiano Monelli, y Rui Pinho. 2014. "Development of the OpenQuake engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment". *Natural Hazards* 72 (3): 1409-27. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0618-x>.
- Smith, Oliver, Irasema Ayala, Ian Burton, y Allan Lavell. 2016. "Investigación Forense de Desastres (FORIN):un marco conceptual y guía para la investi- gación".
- UNDRR. 2018. "Pérdidas económicas, pobreza, y desastres pobreza y desastres". *Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres*. Vol. 4.
- . 2021. "International Cooperation in Disaster Risk Reduction". *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*. Vol. 3.

- UNISDR. 2015. *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Resolución aprobada por la Asamblea General el 3 de junio de 2015.* http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf.
- . 2016. “Impacto de los Desastres en América Latina y el Caribe 1990-2013. Tendencias y estadísticas para 22 países.”, 70.
- USRC. 2016. “USRC U.S. Resiliency Council”. 2016. <https://www.usrc.org/>.
- Villar-Vega, Mabé, Vitor Silva, Helen Crowley, Catalina Yepes, Nicola Tarque, Ana Beatriz Acevedo, Matías A. Hube, Coronel D. Gustavo, y Hernán Santa María. 2017. “Development of a fragility model for the residential building stock in South America”. *Earthquake Spectra* 33 (2): 581-604. <https://doi.org/10.1193/010716EQS005M>.
- Wenger, Dennis. 1972. “Some Observations on the concept of disaster subculture”. *University of Delaware*.
- Wilches, Gustavo. 1993. “La Vulnerabilidad Global”. *Los desastres no son naturales*, 11-44.
- . 2020. “Desastres Naturales en América Latina y el Caribe, 2000 - 2019”. *Reliefweb*, 20. <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources>.
- Yace, Joseph. 1998. *Vulnerabilidad y daño sísmicos : concepto y evaluación*. Universaid. Lima.
- Yamin, L., F. Guesquiere, O. D. Cardona, y M. G. Ordaz. 2013. *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. Banco Mundial / Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.* <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19763#.YSWejW5962U.mendeley>.
- Yepes, H., J. Marinière, C. Beauval, L. Audin, J. M. Nocquet, A. Alvarado, S. Baize, J. Aguilar, J. C. Singaicho, y H. Jomard. 2018. “A new seismic hazard model for Ecuador”. *Bulletin of the Seismological Society of America* 108 (3): 1443-64. <https://doi.org/10.1785/0120170259>.

Anexos

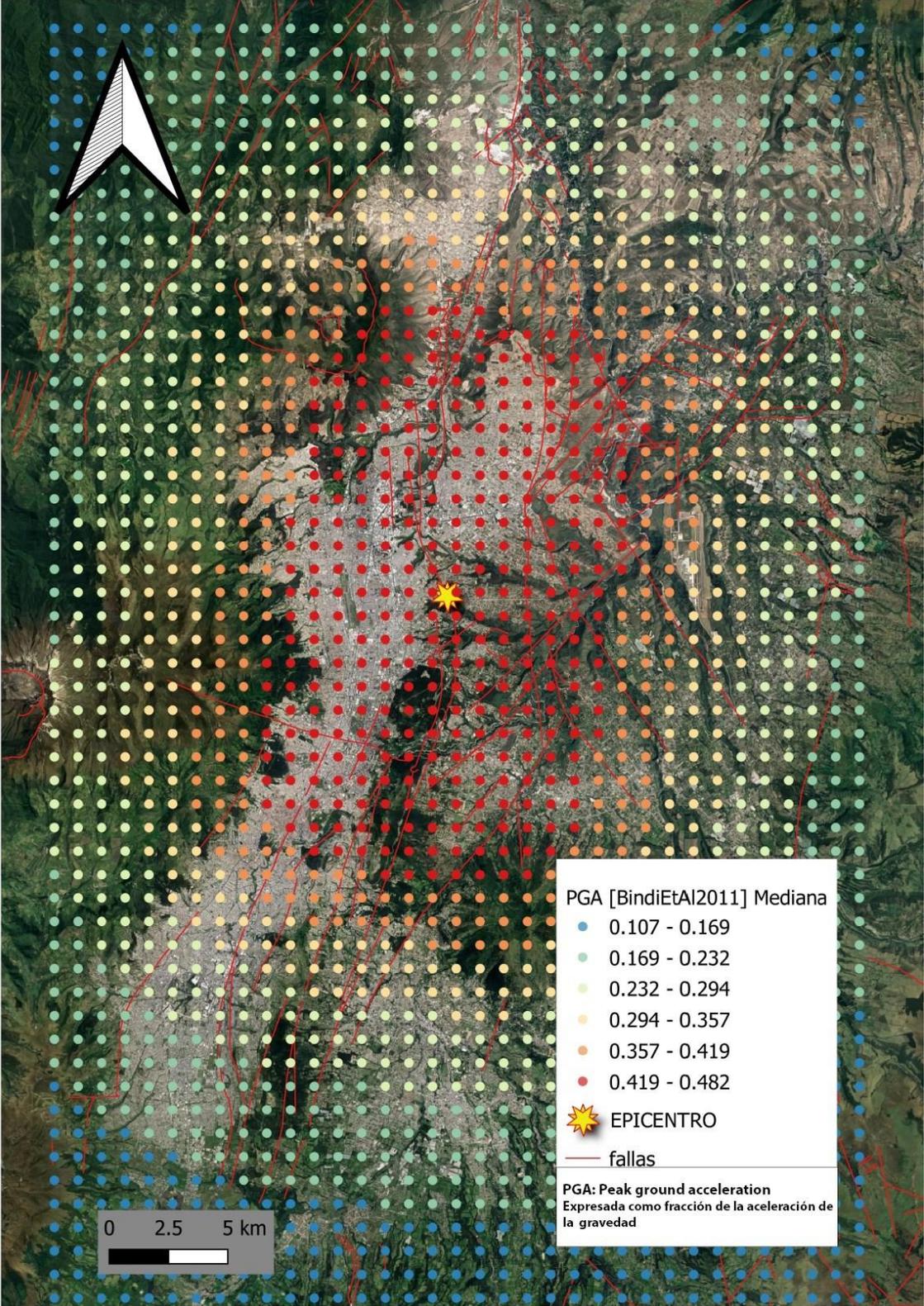
Anexo 1: Geometría de la ruptura del terremoto

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.4">
  <singlePlaneRupture>
    <magnitude>6.2</magnitude>
    <rake>90</rake>
    <hypocenter lat="-0.137" lon="-78.45" depth="6"/>
    <planarSurface strike="9.1137" dip="55">
      <topLeft lon="-78.48246" lat="-0.20009" depth="2.49785"/>
      <topRight lon="-78.46109" lat="-0.06692" depth="2.49785"/>
      <bottomLeft lon="-78.43891" lat="-0.20708" depth="9.50215"/>
      <bottomRight lon="-78.41754" lat="-0.07391" depth="9.50215"/>
    </planarSurface>
  </singlePlaneRupture>
</nrml>
```

Fuente: Open Quake elaboración propia 2022

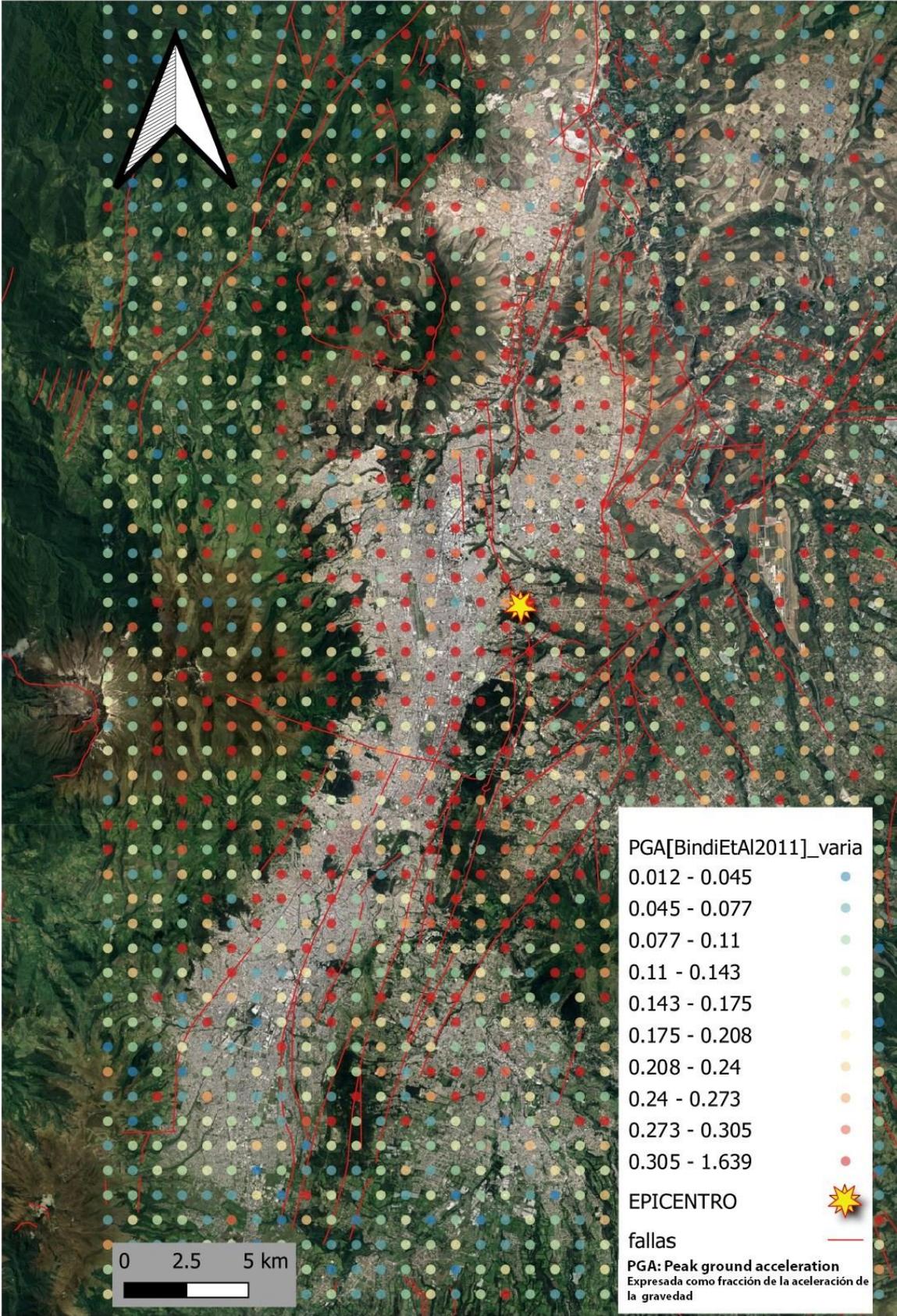
Anexo 2 Modelo de amenaza sísmica

Intensidades sísmicas según mediana-Bindi 2011 (PGA)



Fuente: Elaboración propia (2022)

Intensidades sísmicas según Variabilidad-Bindi 2011 (PGA)



Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo 3 Modelo de exposición el Carmen Bajo

BASE DE DATOS MODELO DE EXPOSICIÓN EL CARMEN BAJO								
id	lon	lat	taxonomy	number	structural	predio	uso	anio
256154	-78.45857	-0.122314	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	22869.56	577172	CASA	2000
256372	-78.45812	-0.122747	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	18128.42	577448	CASA	2000
141356	-78.4587	-0.120063	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	23526.73	249073	CASA	2011
141358	-78.45863	-0.120178	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	54141.54	249075	CASA	2002
256636	-78.4586	-0.120232	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	30393.95	577677	CASA	1998
256630	-78.4587	-0.120298	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	54144.09	577669	CASA	2000
256633	-78.4588	-0.120112	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	2	8592.65	577672	BODEGA	2013
257672	-78.45893	-0.12063	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	54372.15	577256	CASA	2000
257624	-78.4589	-0.120687	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	10377.11	577257	CASA	2000
257625	-78.45886	-0.120745	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	42445.07	577258	CASA	2001
257675	-78.45883	-0.1208	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	43680.87	577259	CASA	2005
257676	-78.4588	-0.120855	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	19876.20	577260	CASA	2000
257677	-78.45876	-0.120914	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	16303.71	577261	CASA	2005
257681	-78.45862	-0.121144	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	38729.75	577265	CASA	2005
256311	-78.45854	-0.121259	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	15984.73	577267	CASA	2008
256313	-78.45847	-0.121373	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	26838.68	577269	CASA	2012
256314	-78.45844	-0.12143	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	17043.16	577270	CASA	2000
256316	-78.4584	-0.121485	CR/LFINF+DNO/HEX 4/RES	1	124620.60	577272	CASA	2006
256134	-78.4586	-0.122011	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	33569.41	577152	CASA	2013
520444	-78.45779	-0.123886	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	15187.65	3528254	CASA	1998
519742	-78.45757	-0.123875	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	15001.47	3528237	CASA	1998
520447	-78.45744	-0.123857	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14262.73	3528256	CASA	1998
519943	-78.45763	-0.123781	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	15513.92	3528241	CASA	1998
520545	-78.4575	-0.123766	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	16188.73	3528261	CASA	1998
519844	-78.4576	-0.123829	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	13249.77	3528243	CASA	1998
520546	-78.45753	-0.123718	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14994.87	3528263	CASA	1998
520542	-78.45747	-0.123811	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14240.56	3528259	CASA	1998
256502	-78.45847	-0.120425	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	18542.50	577589	CASA	2008
256229	-78.45843	-0.120482	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	36369.82	577295	CASA	2013
256230	-78.4584	-0.120539	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	23671.28	577296	CASA	2008
256233	-78.45836	-0.120597	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	73346.83	577298	CASA	2004
256234	-78.45832	-0.120654	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	65674.53	577299	CASA	2000
256235	-78.45828	-0.12071	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	31068.85	577300	CASA	2010
256236	-78.45825	-0.120764	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	21156.64	577301	CASA	2000
256237	-78.45821	-0.120819	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	22578.33	577302	CASA	2013
256238	-78.45818	-0.120877	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	71084.94	577303	CASA	2013
256239	-78.45814	-0.120934	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	77457.66	577304	CASA	2005
256240	-78.4581	-0.12099	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	80429.47	577305	CASA	2013
256241	-78.45807	-0.121047	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	79965.34	577306	CASA	2002
256242	-78.45799	-0.121161	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	28838.64	577308	CASA	2008
256243	-78.45796	-0.121219	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	19781.49	577309	CASA	2005
256504	-78.45859	-0.120572	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	55362.66	577591	CASA	2006
256505	-78.45856	-0.120629	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	170069.18	577592	CASA	2008
257668	-78.45852	-0.120686	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	88925.55	577252	CASA	2005
257667	-78.45848	-0.120745	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	17548.61	577251	CASA	2004

257666	-78.45844	-0.120802	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	30965.43	577250	CASA	2001
256188	-78.4583	-0.121028	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	52205.57	577245	CASA	2001
256186	-78.45822	-0.121142	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	84000.59	577243	CASA	2005
256184	-78.45819	-0.121198	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	51022.89	577241	CASA	2006
256183	-78.45815	-0.121256	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	20727.44	577240	CASA	1995
256182	-78.45811	-0.121313	CR/LFINF+DNO/HEX 4/RES	1	175012.02	577239	CASA	1998
256101	-78.45823	-0.121383	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14780.01	577238	CASA	1998
256100	-78.45827	-0.121326	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	61937.01	577237	CASA	2005
256181	-78.4583	-0.12127	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	110145.91	577236	CASA	2004
256179	-78.45838	-0.121154	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	76068.17	577234	CASA	2006
256178	-78.45841	-0.121097	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	64007.52	577233	CASA	2012
256177	-78.45845	-0.121041	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	34768.54	577232	CASA	1996
256176	-78.45849	-0.120984	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	28709.17	577231	CASA	2002
256167	-78.45852	-0.120928	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	26702.50	577211	CASA	1998
256165	-78.45859	-0.120814	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	34382.39	577209	CASA	2003
256164	-78.45863	-0.120756	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	74611.98	577208	CASA	2007
256163	-78.45867	-0.1207	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	63128.28	577207	CASA	2005
256162	-78.45871	-0.120645	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	26746.42	577206	CASA	2006
256161	-78.45874	-0.120589	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	37584.77	577204	CASA	1999
256711	-78.45878	-0.120533	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	25559.44	577255	CASA	1999
256202	-78.45891	-0.122125	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	96772.43	577117	CASA	1998
256129	-78.45887	-0.122182	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	60831.30	577147	CASA	2003
256205	-78.45883	-0.122238	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	15731.59	577120	CASA	2008
256127	-78.45872	-0.122408	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	31343.84	577144	CASA	2013
256112	-78.45868	-0.122464	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	12099.19	577130	CASA	2005
256545	-78.45865	-0.122521	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	25649.05	577644	CASA	2013
256123	-78.45861	-0.122577	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	13414.11	577134	CASA	2008
256353	-78.45847	-0.122806	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	19705.20	577429	CASA	2013
256355	-78.45839	-0.122922	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	47578.96	577431	CASA	2011
256358	-78.45836	-0.122983	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	36301.13	577433	CASA	2004
256374	-78.4582	-0.12288	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14645.29	577450	CASA	2004
256147	-78.45834	-0.122653	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	21386.45	577166	CASA	2000
256148	-78.45838	-0.122596	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	20938.00	577167	CASA	2008
256150	-78.45846	-0.122483	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	16051.11	577169	CASA	2008
256152	-78.45853	-0.12237	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	50404.92	577171	CASA	2005
256155	-78.4586	-0.122257	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	42461.40	577173	CASA	2004
256156	-78.45864	-0.122199	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	49485.32	577174	CASA	2000
256157	-78.45868	-0.122142	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	95098.36	577175	CASA	2002
256131	-78.45876	-0.121918	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	82699.15	577149	CASA	2005
256137	-78.45849	-0.122182	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	32103.58	577155	CASA	2000
256138	-78.45846	-0.122239	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	31418.20	577156	CASA	2013
336712	-78.45838	-0.122352	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	69660.14	1321069	CASA	2003
256141	-78.45831	-0.122465	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	27513.01	577160	CASA	2000
256142	-78.45827	-0.122521	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	20117.58	577161	CASA	2005
256144	-78.45819	-0.122634	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	32581.05	577163	CASA	2000
256245	-78.45889	-0.121461	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	27369.71	577311	CASA	2010
256250	-78.45887	-0.121753	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	73402.20	577316	CASA	2004

256153	-78.4589	-0.121699	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	50455.94	577317	CASA	2012
256252	-78.45895	-0.121568	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	46608.02	577318	CASA	2005
335972	-78.45849	-0.121715	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	51372.49	1321042	CASA	2000
335971	-78.45838	-0.12165	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	87468.11	1321037	CASA	2002
335933	-78.45834	-0.121712	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14991.50	1321038	CASA	1998
335934	-78.4583	-0.121777	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14008.01	1321039	CASA	2007
335969	-78.45821	-0.121606	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	34118.95	1321035	CASA	2005
336682	-78.45813	-0.121496	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	9727.93	1321024	CASA	1998
256109	-78.4581	-0.121545	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	12810.67	577125	CASA	2000
335965	-78.45807	-0.121593	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	10434.29	1321031	CASA	2000
335966	-78.45804	-0.121642	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	22797.74	1321032	CASA	1998
336681	-78.45792	-0.121503	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	36871.32	1321022	CASA	2002
336635	-78.45781	-0.121441	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	45575.44	1321018	CASA	2000
141251	-78.45784	-0.122085	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	889437.68	249083	CASA	1997
335935	-78.45841	-0.12184	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	14759.66	1321040	CASA	2005
335936	-78.45845	-0.121776	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	11033.02	1321041	CASA	2000
335968	-78.45818	-0.121655	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	11624.76	1321034	CASA	1998
336680	-78.45784	-0.121391	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	41310.22	1321016	CASA	2002
336679	-78.45787	-0.121342	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	51465.36	1321015	CASA	2002
335967	-78.45815	-0.121703	MUR/LWAL+DNO/HEX 2	1	20134.40	1321033	CASA	2005
335970	-78.45823	-0.121558	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	9902.88	1321036	CASA	2002
336637	-78.45789	-0.121556	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	12723.36	1321021	CASA	2002
336636	-78.45778	-0.121493	CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES	1	64408.61	1321019	CASA	2000
256318	-78.45892	-0.121045	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	64484.76	577274	CASA	2004
256207	-78.45884	-0.121198	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	33740.14	577278	CASA	2005
256212	-78.45877	-0.121311	CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES	1	71420.79	577283	CASA	2000
256214	-78.45873	-0.121366	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	28185.44	577285	CASA	2008
256215	-78.4587	-0.121421	CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES	1	21039.99	577286	CASA	1998
256125	-78.45866	-0.121479	MUR/LWAL+DNO/HEX 1	1	26206.63	577287	CASA	1994

Anexo 4 Modelo de exposición República de El Salvador

BASE DE DATOS MODELO DE EXPOSICIÓN REPÚBLICA DEL SALVADOR

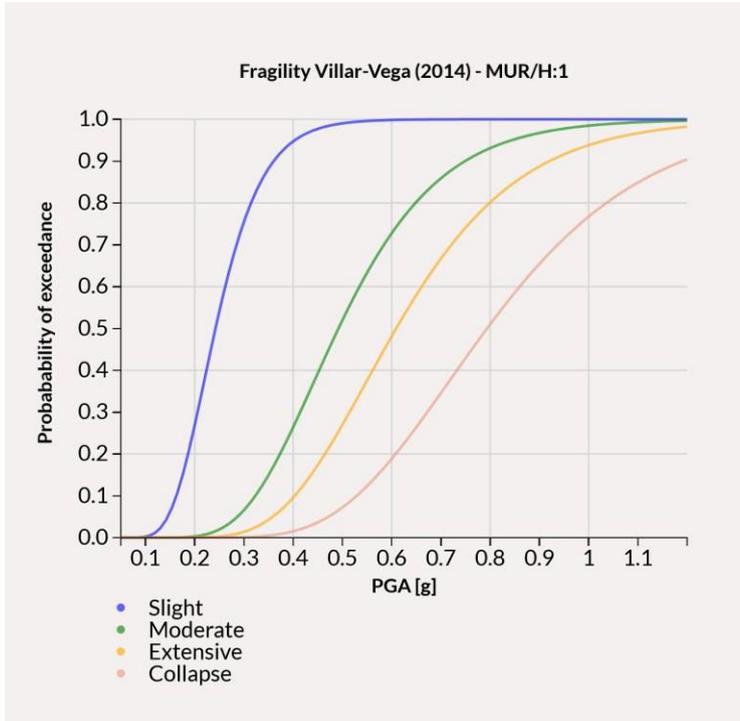
id	lon	lat	taxonomy	number	structural	uso
817753	-78.4809424799999900	-0.1838385690000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	1554469.81	COM
59500	-78.4813866100000000	-0.1847394290000000	S/LFM/HBET:1,3/l	1	512898.79	COM
1949	-78.4806447499999900	-0.1808497530000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	247137.92	COM
11398	-78.4810310600000000	-0.1810143170000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	440502.19	RES
32923	-78.4822577799999900	-0.1854451410000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	324990.53	COM
27820	-78.4816692299999900	-0.1837232520000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	185496.49	RES
84495	-78.4816844399999900	-0.1838027140000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	188872.63	RES
45853	-78.4820862299999900	-0.1855542680000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	528929.20	RES
22130	-78.4802189800000000	-0.1788703690000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	270770.46	COM
25234	-78.4813871199999900	-0.1822555630000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	373240.11	RES
50118	-78.4820136900000000	-0.1839390670000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	289625.01	RES
10361	-78.4808874999999900	-0.1785295320000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	460655.65	COM
27819	-78.4817439499999900	-0.1837584670000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	188765.05	RES
5683	-78.4798172299999900	-0.1774226350000000	S/LFM/HBET:1,3/l	1	448607.66	COM
5809	-78.4798919499999900	-0.1783719110000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	669586.85	COM
21614	-78.4820086299999900	-0.1841048460000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	550450.69	COM
43487	-78.4801525099999900	-0.1787921320000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	321247.89	RES
421461	-78.4821629700000000	-0.1855653610000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	724600.92	RES
55	-78.4797368600000000	-0.1776315170000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	1019656.65	COM
30628	-78.4799320099999900	-0.1784571670000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	693210.14	COM
418908	-78.4807895600000000	-0.1819939650000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	692425.39	RES
39993	-78.4814359199999900	-0.1846250190000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	480687.36	COM
46826	-78.4822921300000000	-0.1855543810000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	354726.66	RES
53075	-78.4808814700000000	-0.1778517210000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	405370.00	COM
18627	-78.4810758900000000	-0.1806346860000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	677421.21	RES
51526	-78.4801870499999900	-0.1773044570000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	590524.41	COM
19457	-78.4812939100000000	-0.1837286230000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	534709.81	RES
611203	-78.4814880999999900	-0.1813138560000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	599341.88	COM
20264	-78.4816434600000000	-0.1833967990000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	275274.12	RES
416967	-78.4813787700000000	-0.1803641530000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	706530.82	COM
57784	-78.4807207799999900	-0.1810452980000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	614935.19	COM
27013	-78.4799868100000000	-0.1775604590000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	712337.19	COM
7646	-78.4796896099999900	-0.1774553240000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	500822.56	RES
416693	-78.4803859600000000	-0.1779817300000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/l	1	1154121.15	RES
416925	-78.4818937200000000	-0.1849321620000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	449501.92	RES
15924	-78.4817482499999900	-0.1827391490000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	315920.51	COM
17700	-78.4821974799999900	-0.1850914750000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	577349.84	RES
417116	-78.4808883200000000	-0.1831413300000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/m	1	411900.04	RES
42613	-78.4810102400000000	-0.1823042970000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	480215.36	RES
1553	-78.4819970599999900	-0.1838706840000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	362642.23	RES
47152	-78.4814204799999900	-0.1807753880000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	639214.91	COM
53435	-78.4809064699999900	-0.1800817890000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	501260.45	COM
57426	-78.4818220399999900	-0.1829836030000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	386737.01	COM
422844	-78.4817044299999900	-0.1839667710000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	613523.97	RES
423139	-78.4818422900000000	-0.1847468720000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	644937.22	RES
47711	-78.4819699500000000	-0.1854066520000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	1465366.68	RES
16491	-78.4807056500000000	-0.1819778310000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/p	1	1043628.59	COM
60079	-78.4816698599999900	-0.1825948440000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	791100.13	COM
20921	-78.4805027599999900	-0.1776623930000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	1651369.97	COM
424786	-78.4808954800000000	-0.1779905610000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1289714.23	RES
416996	-78.4799475599999900	-0.1786350260000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/l	1	1287395.82	RES
418753	-78.4814322400000000	-0.1809708020000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/l	1	898879.30	RES
413049	-78.4813582000000000	-0.1840930260000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	584037.61	RES
22563	-78.4818727000000000	-0.1837009590000000	CR/LFM/HBET:4,7/m	1	573091.03	RES
421149	-78.4803083900000000	-0.1792417890000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1203484.20	RES
420812	-78.4820585899999900	-0.1844882080000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	508590.08	RES
17657	-78.4816288600000000	-0.1820603330000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1865930.39	COM
419020	-78.4817962000000000	-0.1845520890000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1292051.70	RES
413855	-78.4814667499999900	-0.1826364880000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1645761.23	RES

419102	-78.480960909999900	-0.179325504000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	977055.92	RES
412931	-78.482154600000000	-0.184897290000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1199870.04	RES
414322	-78.479996220000000	-0.178152918000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2469552.30	RES
424184	-78.481050359999900	-0.182461326000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1733879.54	RES
421521	-78.480238090000000	-0.179470568000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1706789.26	RES
415404	-78.480393969999900	-0.179445111000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1122790.24	RES
43383	-78.481056240000000	-0.184421956000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	325437.46	RES
415426	-78.481745610000000	-0.184148885000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1778586.88	RES
422307	-78.480867480000000	-0.179961846000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1903650.16	COM
416972	-78.481421170000000	-0.181131184000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2223582.78	COM
27015	-78.480073750000000	-0.177448156000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	603586.93	COM
459	-78.481499860000000	-0.182818970000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3482864.94	RES
421113	-78.480282759999900	-0.180494421000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2278381.44	RES
417655	-78.481351320000000	-0.185034405000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2392338.80	COM
419524	-78.480915659999900	-0.178109212000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3354900.71	COM
421488	-78.481391290000000	-0.180620428000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1989242.47	RES
423701	-78.482103949999900	-0.184709098000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1579791.81	RES
422348	-78.481434289999900	-0.182445039000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2510735.54	RES
53257	-78.481367860000000	-0.182070371000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3943879.74	RES
416753	-78.481069640000000	-0.180413424000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1557608.22	RES
417636	-78.481983470000000	-0.183716411000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1787900.01	RES
38052	-78.480316290000000	-0.177391565000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1503829.11	COM
417634	-78.481330929999900	-0.183909432000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	524905.48	RES
420414	-78.481889589999900	-0.185123517000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2027082.92	RES
2082	-78.480982490000000	-0.178381180000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5606203.56	COM
418771	-78.480473419999900	-0.181502353000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2989459.50	RES
412469	-78.481539470000000	-0.182996324000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2481623.66	RES
413990	-78.481586940000000	-0.185188331000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3647873.11	RES
13391	-78.481556110000000	-0.183276418000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4540534.84	RES
414955	-78.480629250000000	-0.180657780000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1487485.88	RES
417585	-78.480221020000000	-0.180104153000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	7068409.01	RES
410745	-78.481150940000000	-0.179304961000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2402819.86	COM
424180	-78.481779779999900	-0.184368285000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2699723.21	RES
419538	-78.480531089999900	-0.180266802000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2283430.98	RES
413191	-78.480419810000000	-0.181298807000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2907043.83	COM
422124	-78.480748849999900	-0.182975700000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3829287.71	RES
411148	-78.480605990000000	-0.178623040000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1414429.96	RES
420184	-78.480741859999900	-0.182800565000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3312254.96	RES
423057	-78.480759680000000	-0.179376058000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2264157.58	RES
413475	-78.481110060000000	-0.184808250000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4000998.12	COM
17550	-78.480065530000000	-0.179518904000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1180077.58	RES
416922	-78.481882470000000	-0.183340802000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1796997.60	RES
37035	-78.480893660000000	-0.183781848000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4040859.80	COM
30721	-78.480924729999900	-0.184133460000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4825086.95	RES
57162	-78.481090550000000	-0.182845902000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	6433895.91	RES
5701	-78.480142180000000	-0.178551192000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4391963.96	RES
416643	-78.481402570000000	-0.184385307000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4536067.45	RES
412620	-78.479810040000000	-0.177783138000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	10197481.26	COM
415444	-78.481053669999900	-0.182652747000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3151803.47	RES
415460	-78.480287030000000	-0.180301582000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3181414.81	RES
50476	-78.481114590000000	-0.181373940000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/m	1	5838612.28	RES
656109	-78.480644670000000	-0.178997818000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5040095.97	RES
417061	-78.480559529999900	-0.178283720000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2673779.22	RES
414919	-78.481071180000000	-0.178709604000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2844659.58	RES
413623	-78.481778170000000	-0.185313175000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	2725751.35	RES
418705	-78.480064720000000	-0.177780900000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4219444.25	RES
9453	-78.479845740000000	-0.177977234000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4146864.33	RES
412266	-78.481053680000000	-0.184621875000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5741239.14	COM
425436	-78.480351369999900	-0.180710300000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4098435.06	RES
20731	-78.481778340000000	-0.182862709000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/h	1	7102067.90	COM
424046	-78.482217300000000	-0.185288062000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4787111.81	COM

412737	-78.480791099999900	-0.181416906000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5160217.53	RES
46176	-78.480718899999900	-0.182621303000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	7481360.99	COM
40027	-78.480823749999900	-0.179784081000000	S/LFM/HBET:8,19/h	1	885834.37	COM
417191	-78.480885970000000	-0.183335289000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5046438.63	RES
422131	-78.480680440000000	-0.178809786000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5150091.90	RES
414173	-78.480033169999900	-0.178972669000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	6683044.02	RES
422361	-78.480707030000000	-0.182412772000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	8484303.74	RES
415530	-78.480977980000000	-0.182026337000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	9442755.28	RES
50762	-78.481258350000000	-0.184918689000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	9163585.80	COM
312338	-78.479857310000000	-0.178191471000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	8812572.28	RES
424896	-78.480652460000000	-0.182140472000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	9463464.80	RES
418330	-78.481256799999900	-0.180151038000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	14783605.89	COM
422358	-78.480490649999900	-0.180992412000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	9300810.54	RES
31735	-78.481670879999900	-0.182399062000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/h	1	4722255.10	COM
599226	-78.481488159999900	-0.181857991000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	17715646.26	RES
23007	-78.480894010000000	-0.183535679000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	10639800.95	COM
420182	-78.481129820000000	-0.179834264000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	28429597.43	COM
553293	-78.480831620000000	-0.177593009000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	13437040.41	RES
20462	-78.480061000000000	-0.179276600000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	4398891.94	RES
416902	-78.481806000000000	-0.183137000000000	CR/LFM/HBET:1,3/m	1	708088.44	RES
18811	-78.481588680000000	-0.182110980000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5468949.31	COM
39339	-78.481671980000000	-0.182291670000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/h	1	637946.46	COM
47597	-78.480756380000000	-0.177314490000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	1214756.67	COM
49303	-78.480609010000000	-0.180436760000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3993478.75	RES
45325	-78.482026940000000	-0.184313160000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	5957908.15	RES
18133	-78.481229870000000	-0.183353990000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	7623813.14	RES
633112	-78.480353360000000	-0.179826150000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	16763278.86	RES
10358	-78.480273270000000	-0.179011140000000	CR+PC/LDUAL/HBET:8,19/m	1	3055739.53	RES
423040	-78.480427080000000	-0.178147300000000	CR+PC/LDUAL/HBET:4,7/m	1	1722129.97	RES

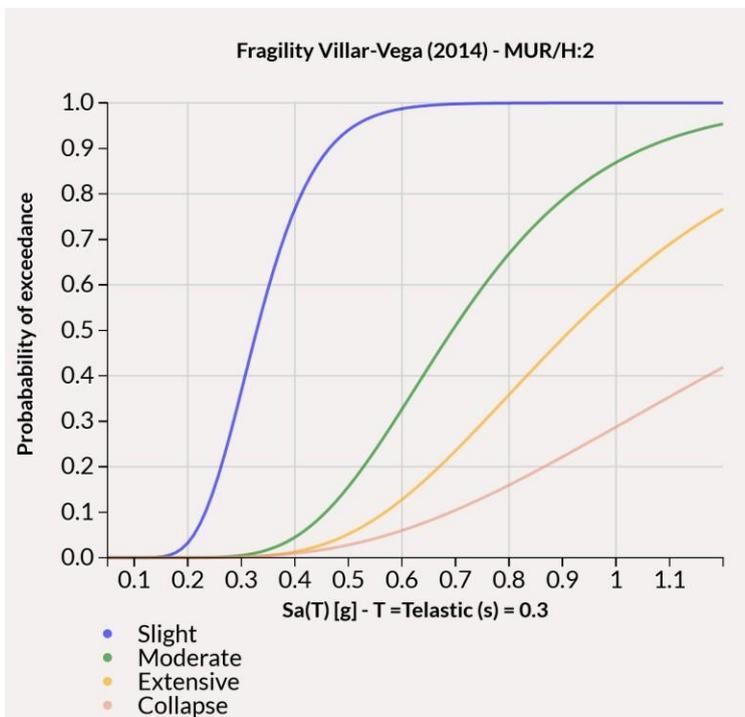
Anexo 5 Curvas de fragilidad

Curva de Fragilidad MUR/H:1



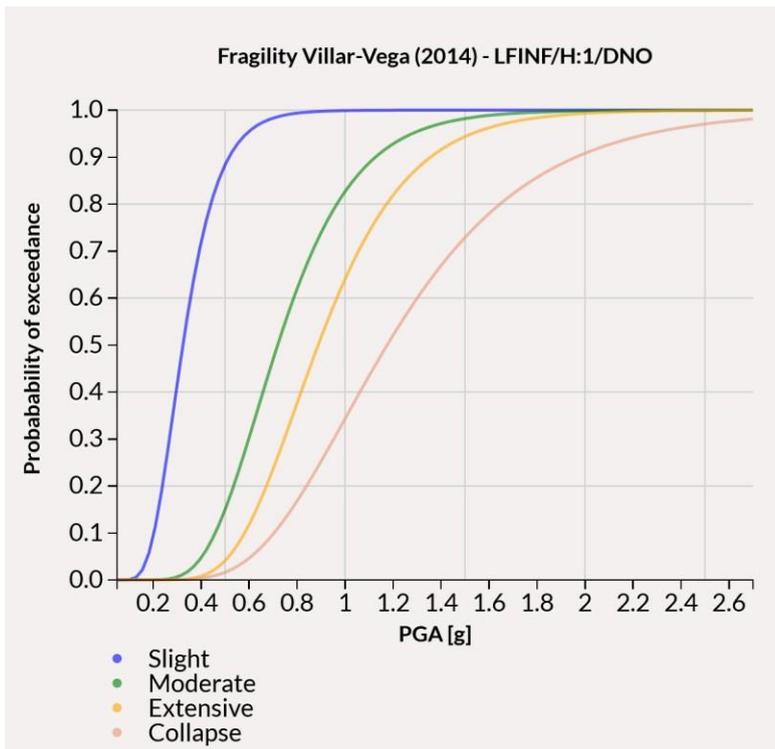
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad MUR/H:2



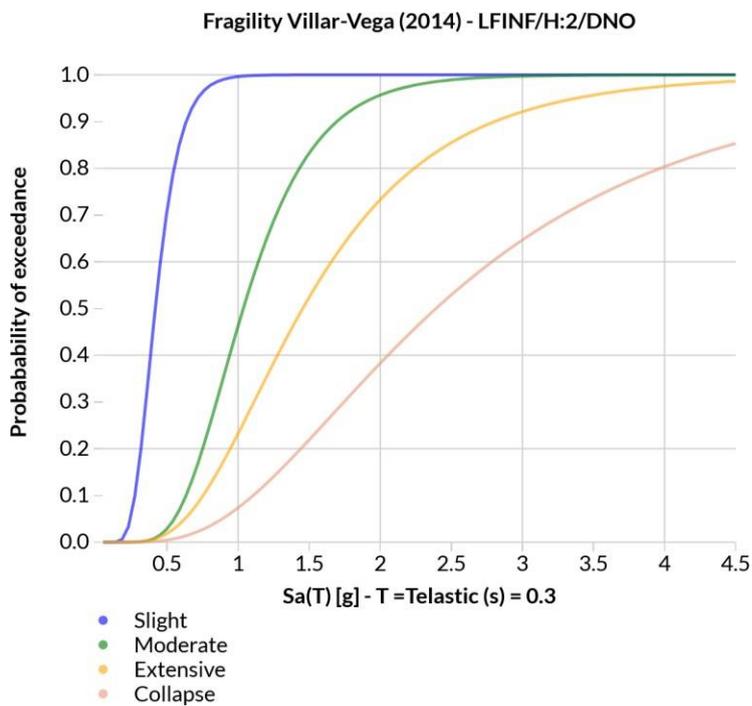
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de fragilidad LFINF/H:1/DNO



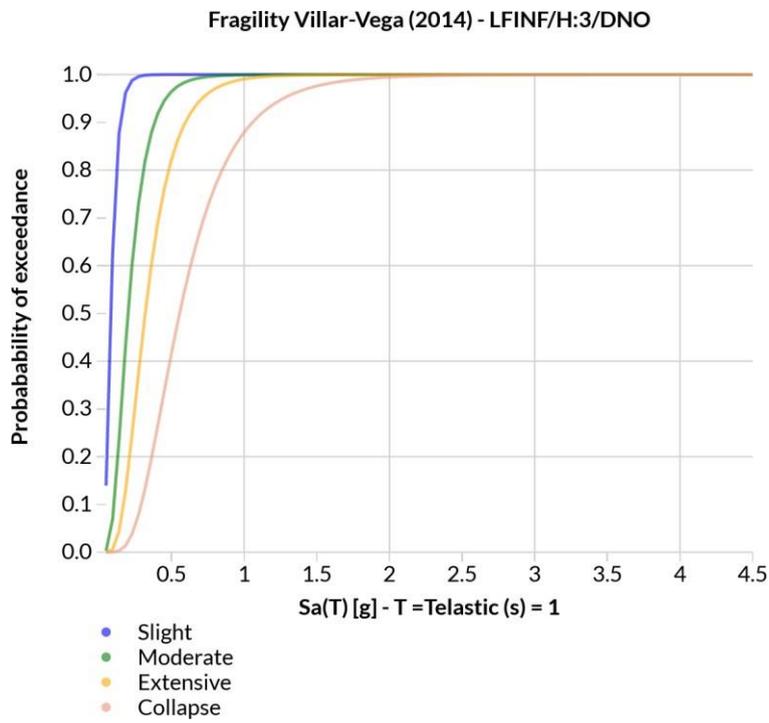
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad LFINF/H:2/DNO



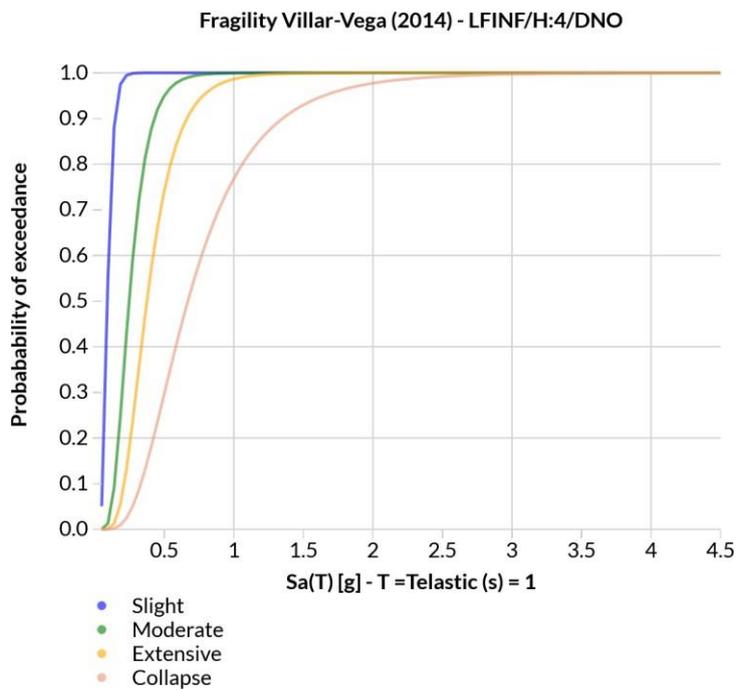
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad LFINF/H:3/DNO



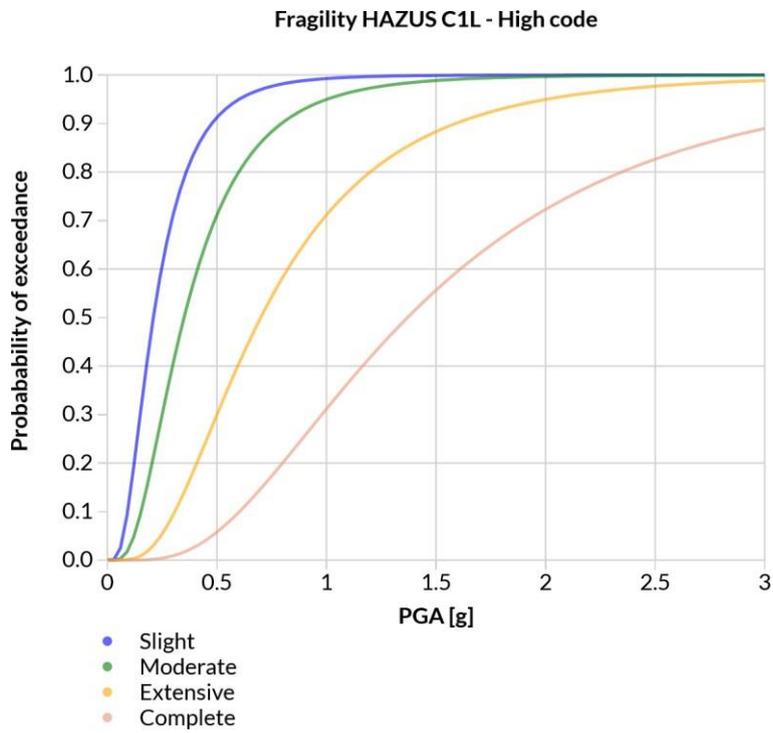
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad LFINF/H:4/DNO



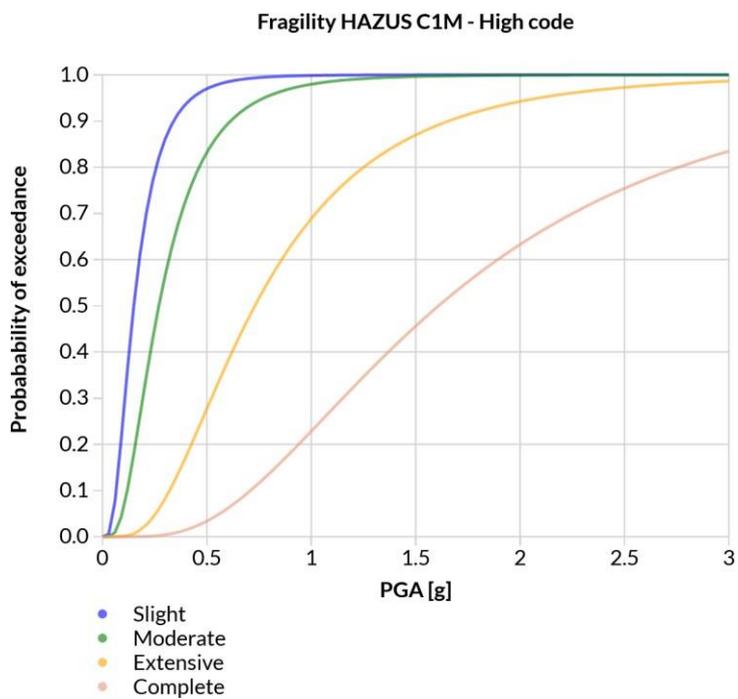
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad HAZUS C1L-High code



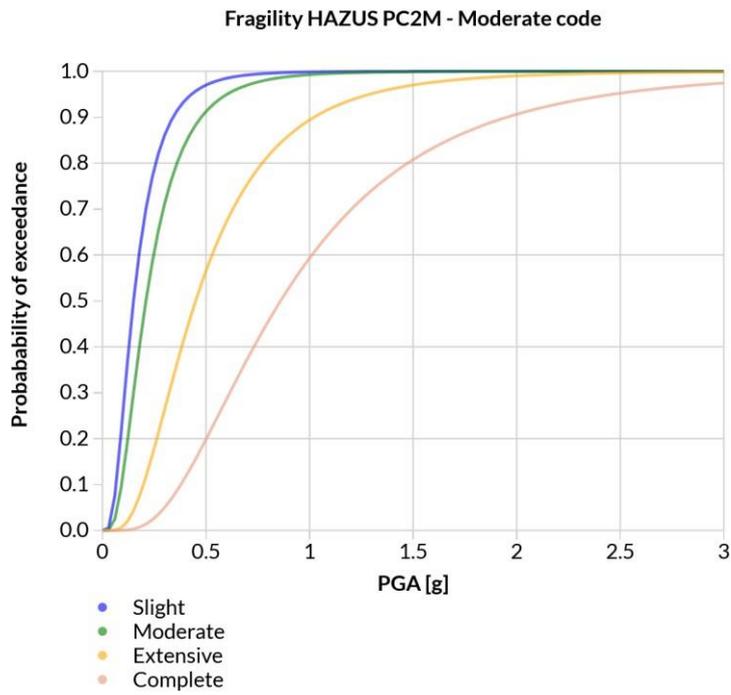
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2003

Curva de Fragilidad HAZUS C1M-High code



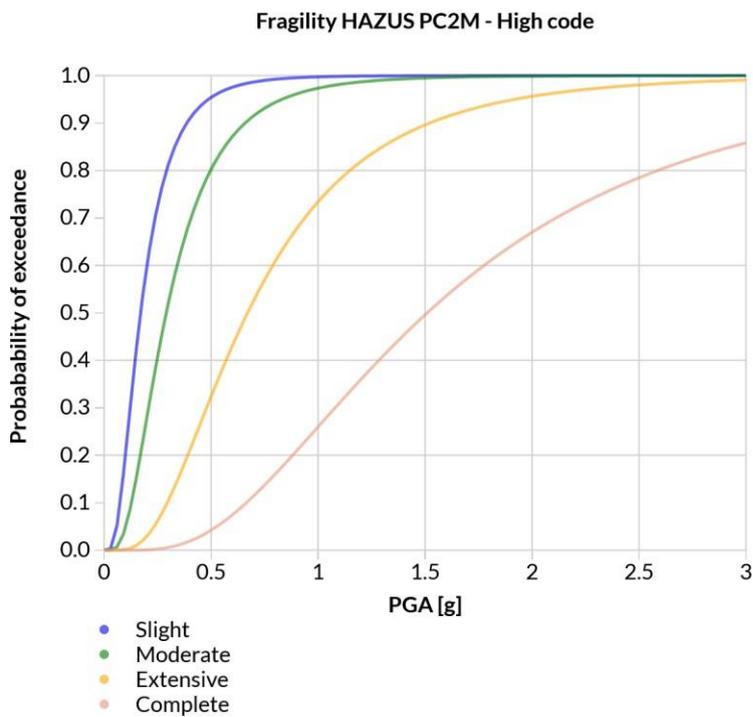
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad HAZUS PC2M - Moderate code



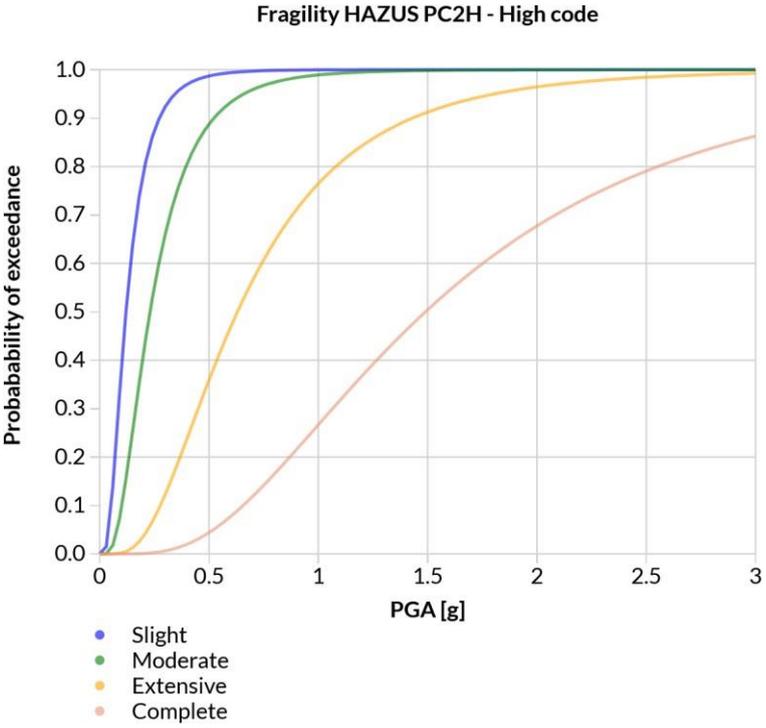
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2003

Curva de Fragilidad HAZUS PC2M - High code



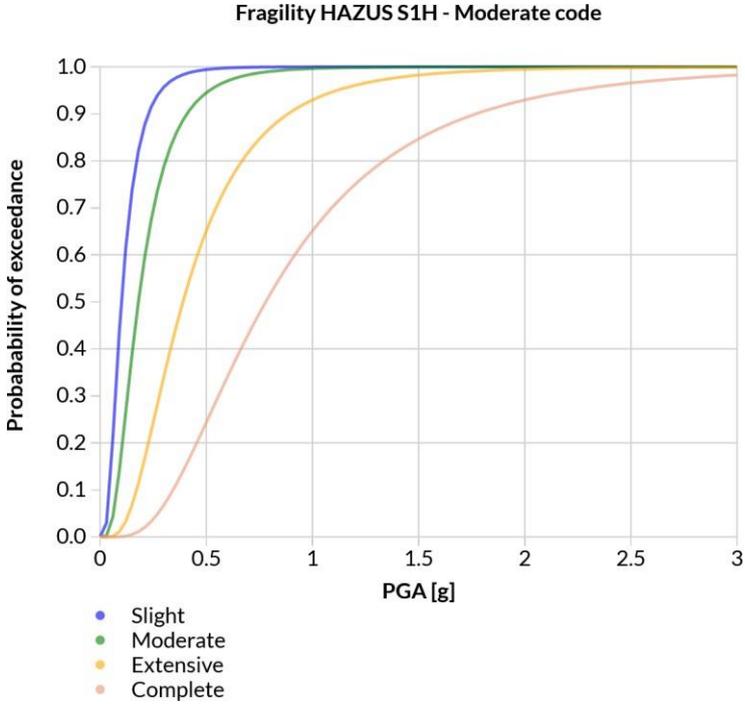
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2017

Curva de Fragilidad HAZUS PC2H - High code



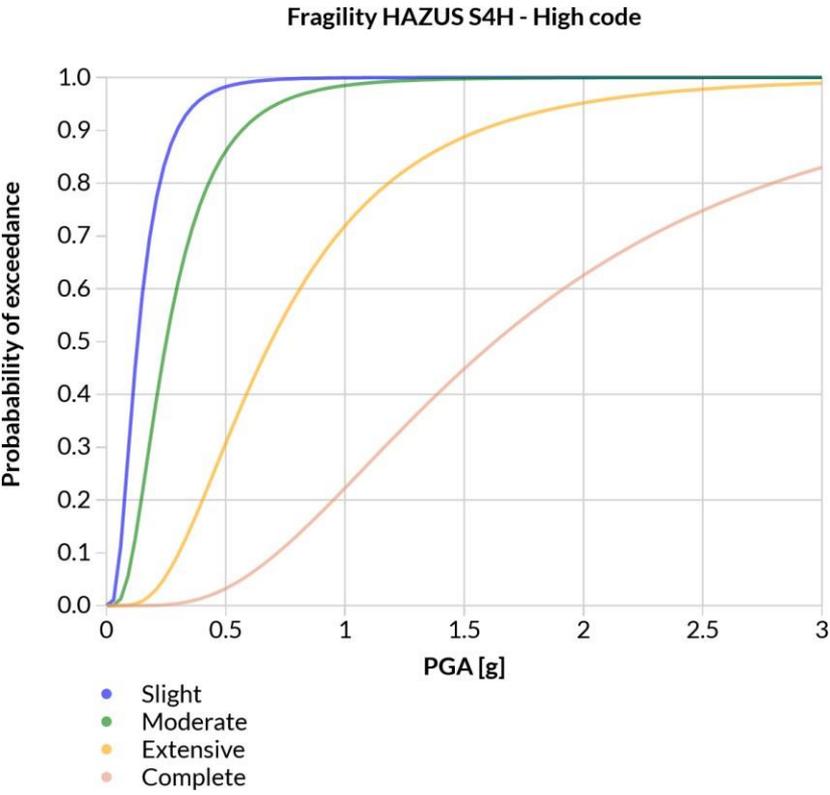
Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2003

Curva de Fragilidad HAZUS S1H



Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2003

Curva de Fragilidad HAZUS S4H - High code



Fuente: Global Earthquake Model (GEM) 2003

Anexo 6 Modelos de consecuencia

Modelo de consecuencia para el Carmen Bajo

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<nrm1 xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.5">
  <consequenceModel id="consequence-from-IPT" assetCategory="buildings" lossCategory="
    <description>consecuencia el carmen </description>
    <limitStates>slight moderate extensive collapse</limitStates>
    <consequenceFunction id="MUR/LWAL+DNO/HEX 1" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="MUR/LWAL+DNO/HEX 2" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR/LFINF+DNO/HEX 1/RES" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR/LFINF+DNO/HEX 2/RES" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR/LFINF+DNO/HEX 3/RES" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR/LFINF+DNO/HEX 4/RES" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
  </consequenceModel>
</nrm1>
```

Modelo de consecuencia para la República de El Salvador

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<nrm1 xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.5">
  <consequenceModel id="consequence-from-IPT" assetCategory="buildings" lossCategory="structural">
    <description>modelo_consecuencia_rep_sal_21_04_2022</description>
    <limitStates>slight moderate extensive collapse</limitStates>
    <consequenceFunction id="CR/LFM/HBET:1.3/m" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR/LFM/HBET:4.7/m" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR+PC/LDUAL/HBET:4.7/1" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR+PC/LDUAL/HBET:4.7/m" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="CR+PC/LDUAL/HBET:8.19/h" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="S/LFM/HBET:1.3/1" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
    <consequenceFunction id="S/LFM/HBET:8.19/h" dist="LN">
      <params ls="slight" mean="0.1" stddev="0"/>
      <params ls="moderate" mean="0.3" stddev="0"/>
      <params ls="extensive" mean="0.6" stddev="0"/>
      <params ls="collapse" mean="1" stddev="0"/>
    </consequenceFunction>
  </consequenceModel>
</nrm1>
```

Fuente: Open Quake y elaboración propia (2022)