



**PROYECTO ACTUALIZACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO
PARA LA REVISIÓN ORDINARIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

ANEXO TÉCNICO No. 5

AMENAZA SÍSMICA

**INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO - IDIGER
SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
Grupo de Trabajo Temático Amenaza Sísmica**

Bogotá D. C. junio de 2021



ÍNDICE ESTUDIO DE RIESGO TECNOLÓGICO EN EL DISTRITO CAPITAL DE BOGOTÁ

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo general	4
2.2	Objetivos específicos	4
3.	ALCANCES Y LIMITACIONES	5
4.	ANÁLISIS DE AMENAZA EN SUELOS RURALES	5
4.1	Sismo	5
5.	ANÁLISIS DE AMENAZA EN CENTROS POBLADOS	5
5.1	Sismo	5
6.	AMENAZA EN SUELOS URBANOS Y DE EXPANSIÓN URBANA	6
6.1	Sismo	6
6.1.1	Contexto del escenario de riesgo sísmico en la ciudad	6
6.1.2	Desarrollo de la gestión del riesgo del riesgo sísmico	15
6.1.3	Balance general sobre las acciones enmarcadas en el plan de ordenamiento territorial vigente 20	
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
7.1	Sismo	24
8.	REFERENCIAS	25



LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Zonas de amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá.</i>	7
<i>Figura 2. Fallas geológicas activas cercanas a la ciudad de Bogotá.</i>	8
<i>Figura 3. Zonificación de la respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Bogotá D.C.</i>	9
<i>Figura 4. Distribución de las edificaciones por número de pisos</i>	11
<i>Figura 5. Distribución de las edificaciones por antigüedad</i>	11
<i>Figura 6. Distribución de las edificaciones por sistema estructural</i>	12
<i>Figura 7. Distribución de las edificaciones por valor de la construcción.</i>	12
<i>Figura 8. Pérdida anual esperada relativa al valor expuesto por sismo.</i>	13
<i>Figura 22. Pérdida esperada para el escenario de umbral de daño por sismo.</i>	14
<i>Figura 10. Resultados de los valores esperados de pérdidas para diferentes magnitudes de sismo posibles.</i>	14
<i>Figura 11. Aceleraciones máximas registradas en superficie por el sismo de Quetame.</i>	17
<i>Figura 12. Esquema de localización Bogotá zonas urbana y rural sobre mapa parámetro Av.</i>	19

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. BALANCE ACCIONES ESTABLECIDAS EN EL POT-DECRETO 190 DE 2004 ASIGNADAS AL HOY INSTITUTO DISTRITAL DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO IDIGER	21
TABLA 2. ARTICULADO Y BALANCE GENERAL SOBRE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN EL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT-DECRETO 190 DE 2004)	22

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Anexo del Documento Técnico de Soporte – DTS del componente de escenario de riesgo sísmico para las zonas urbanas, de expansión y para la zona rural, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C.

Para la temática se tienen en cuenta las consideraciones del Decreto Nacional 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015), que establece para la amenaza – riesgo sísmico que debe evaluarse con base en la información disponible generada por las autoridades y sectores competentes y de acuerdo con la situación de Distrito Capital frente a esta amenaza, por lo que el documento se desarrolla en una secuencia que evidencia el cumplimiento de dicha normatividad.

Cabe resaltar que la amenaza sísmica no constituye en sí una restricción para el uso y ocupación del suelo, con base en la amenaza sísmica se definen los parámetros de las normas de construcción sismo resistente, por lo que la incorporación en el plan de ordenamiento territorial con el enfoque en términos de amenaza sísmica riguroso no es procedente. En este contexto, la información estratégica y de relevancia para ser incorporada en el ordenamiento territorial está relacionada con la respuesta dinámica de los suelos por la actividad sísmica regional, y que se expresa en términos de la microzonificación sísmica, la cual está vinculada con los parámetros establecidos en las normas de construcción sismo resistente. Complementariamente es importante incluir el monitoreo instrumental como mecanismo para mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de los suelos ante la actividad sísmica y la reducción del riesgo sísmico.

El presente documento incluye el análisis del escenario en suelos rurales, centros poblados y suelos urbanos y de expansión urbana, definiéndose el contexto del escenario en la ciudad, el desarrollo de la gestión del riesgo desarrollado y el balance general sobre las acciones enmarcadas en el plan de ordenamiento territorial vigente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un documento anexo que apoye la incorporación del componente amenaza/riesgo sísmico para la zona urbana, de expansión y rural de Bogotá Distrito Capital en cumplimiento del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015 o Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio), que servirá como una herramienta para definir medidas que orienten a establecer los aspectos que debe tenerse en cuenta en la revisión y actualización del instrumento de planificación territorial Plan de Ordenamiento Territorial – POT.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información disponible frente a la amenaza sísmica.



- Definir los lineamientos para incorporación del componente amenaza/riesgo sísmico en el Plan de Ordenamiento Territorial.
- Analizar el estudio de Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá y adoptar las zonas de respuesta sísmica establecidas en la Microzonificación sísmica de Bogotá D.C., y que se encuentran reglamentadas mediante el Decreto 523 de 2010.
- Aportar a la construcción del Documento Técnico de Soporte frente al componente amenaza/riesgo sísmico.
- Aporte a la construcción de la memoria justificativa frente al componente amenaza/riesgo sísmico.
- Apoyar en la definición de programas y proyectos para ejecutar en la planificación en la propuesta de IDIGER a SDP para el POT

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

La información plasmada en este documento, tiene como alcance enmarcarse y limitarse al cumplimiento de lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015) frente a la amenaza/riesgo sísmico que establece que debe evaluarse con base en la información disponible generada por las autoridades y sectores competentes y de acuerdo con la situación de cada municipio o distrito, de esta manera generar una propuesta de medidas de planificación que permitan incluir los eventos tipo sísmico en los procesos de gestión del riesgo.

4. ANÁLISIS DE AMENAZA EN SUELOS RURALES

4.1 SISMO

Para el caso de las zonas rurales y centros poblados, los espectros de respuesta sísmica a considerarse en el diseño y análisis de edificaciones, deberán elaborarse conforme lo especificado en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. En este sentido, para el ordenamiento territorial se plasman estos aspectos y no se considera necesaria la actualización o incorporación de planos normativos referente al escenario de riesgo sísmico.

5. ANÁLISIS DE AMENAZA EN CENTROS POBLADOS

5.1 SISMO

Para el caso de las zonas rurales y centros poblados, los espectros de respuesta sísmica a considerarse en el diseño y análisis de edificaciones, deberán elaborarse conforme lo especificado en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. En este sentido, para el ordenamiento territorial se plasman estos aspectos y no se considera necesaria la actualización o incorporación de planos normativos referente al escenario de riesgo sísmico.



6. AMENAZA EN SUELOS URBANOS Y DE EXPANSIÓN URBANA

6.1 SISMO

6.1.1 Contexto del escenario de riesgo sísmico en la ciudad

Colombia es un país que se localiza dentro de una de las zonas sísmicas más activas de la Tierra, pues en la región convergen las placas tectónicas de Nazca y del Caribe contra la placa suramericana. La interacción continua entre las placas Nazca y Suramericana que se mueven y chocan entre sí, ha producido la formación de montañas, cordilleras y fallas geológicas.

En general, la sismicidad en Colombia está relacionada con la actividad en la zona de subducción del pacífico colombiano y en las fallas geológicas activas del país. Una de las zonas con mayor concentración de eventos sísmicos en Colombia es el “Nido sísmico de Bucaramanga”, con epicentros ubicados en la zona de la Mesa de Los Santos en el departamento de Santander.

La ciudad de Bogotá está localizada en un ambiente sismotectónico que demuestra desde el punto de vista geológico, actividad sísmica reciente; por otra parte, según los datos históricos, en los últimos quinientos años la sismicidad en Bogotá y su área cercana ha sido importante. En la capital, tres sismos han causado destrucción parcial de la ciudad (1785, 1827, 1917) alcanzando intensidades de VIII, y cuatro sismos han causado daños serios (1743, 1826, 1923, 1967) con intensidad VII.

Para evaluar la amenaza sísmica, entendida como la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos y los movimientos del terreno que estos pueden generar para un sitio particular en un periodo de tiempo determinado, es necesario conocer dónde se pueden generar los sismos teniendo en cuenta las fallas geológicas activas identificadas y la información sísmica registrada a nivel histórico e instrumental en el país.

La amenaza sísmica es un fenómeno físico asociado con un sismo que tiene el potencial de producir una pérdida sobre las personas, sus bienes y el entorno en general, los cuales poseen una determinada vulnerabilidad según ciertas características que los hacen susceptibles de ser afectados o de sufrir efectos adversos. La amenaza sísmica está definida como el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado (FOPAE, Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones, 2010).

El territorio colombiano presenta diferentes niveles de amenaza sísmica (alta, intermedia y baja). Aproximadamente el 83% de la población nacional está ubicada en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta. En la Figura 1 se presenta la distribución de las zonas de amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá. De acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia del año 2009, se ha establecido para la ciudad de Bogotá un nivel de amenaza sísmico intermedio en el 54.8% del área total de la ciudad en zona urbana y un 45.2% en nivel alto, en zona rural de la localidad de Sumapaz.

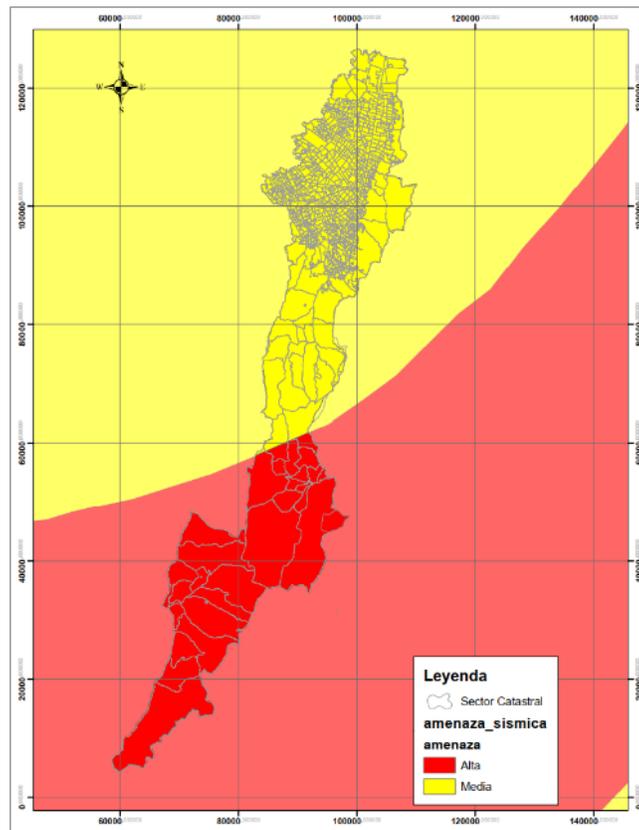


Figura 1. Zonas de amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá.
Fuente: (INGEOMINAS, 2009).

La ciudad de Bogotá, Distrito Capital de Colombia, de acuerdo con los estudios geológicos de la región, está expuesta a la actividad sísmica generada por los diversos sistemas de fallas geológicas activas existentes en el país, en mayor o menor grado en función de la distancia de la capital a estos sistemas, tales como el sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental (Falla Guaicáramo, Falla Algeciras), Falla Usme, Honda e Ibagué. De estos, la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, ubicada a 40 km de la ciudad, representa la mayor contribución a la amenaza sísmica de Bogotá.

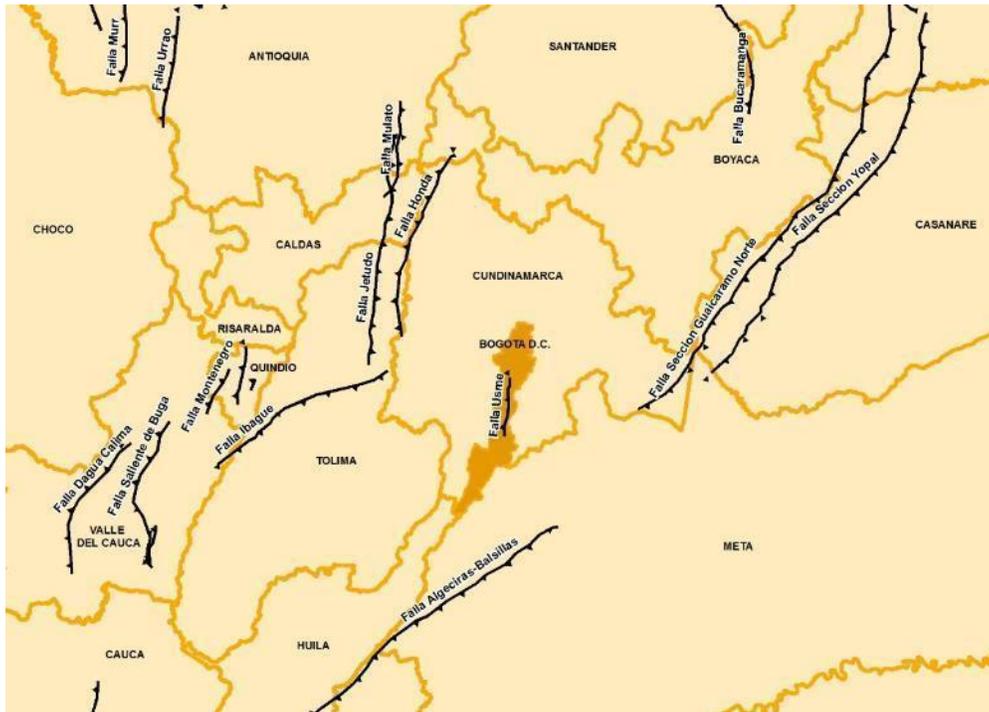


Figura 2. Fallas geológicas activas cercanas a la ciudad de Bogotá.

Fuente: Adaptado de (GEM & SGC, 2017).

La amenaza sísmica dicta en gran medida la intensidad de movimiento esperada a nivel de roca para un sitio, sin embargo, el movimiento que se puede llegar a sentir en diferentes puntos de la ciudad también está influenciado por el tipo de suelo en cada uno de ellos. Los efectos locales, es decir la respuesta del suelo en superficie producto de la propagación de las ondas sísmicas a través de los materiales de los cuales está constituido, dependen del tipo de suelo y la topografía del terreno.

La ciudad de Bogotá cuenta con estudios detallados de respuesta dinámica de los suelos por la actividad sísmica regional, conocidos como microzonificación sísmica. A partir de estos estudios, que están reglamentados en el Decreto Distrital 523 de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., se han definido parámetros de sismo resistencia para el diseño y análisis de edificaciones. En la siguiente figura se presenta la zonificación de respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Bogotá D.C. reglamentado en el Decreto Distrital 523 de 2010.

Los eventos sísmicos con incidencia en la ciudad de Bogotá son registrados a través de la red de acelerógrafos que administra la entidad; está conformada por 29 estaciones ubicadas en diversos puntos de la ciudad. La Red de acelerógrafos es la encargada del registro de la actividad sísmica en la capital y permite identificar las zonas que han estado expuestas a las mayores aceleraciones y mejorar el conocimiento de la respuesta sísmica de los suelos.

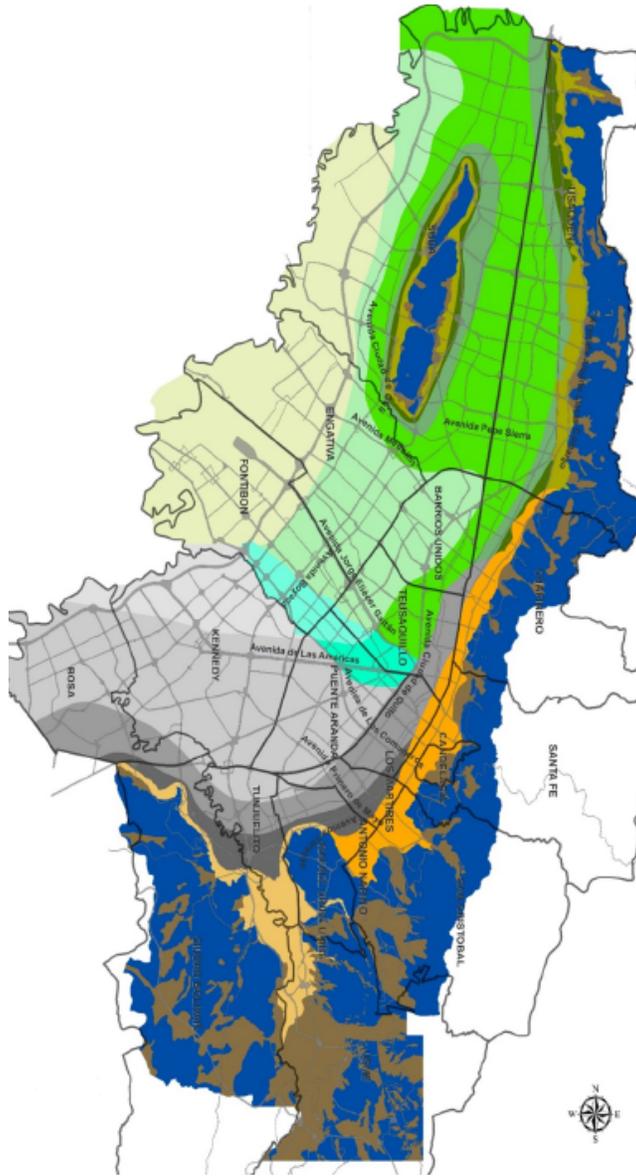




Figura 3. Zonificación de la respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Bogotá D.C.

Fuente: (FOPAE, Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones, 2010).

Es importante indicar que este mapa define los espectros de respuesta para el diseño de nuevas edificaciones o el reforzamiento de edificaciones antiguas en los suelos urbanos y de expansión, a ser considerados. Para el caso de las zonas rurales y centros poblados, los espectros de respuesta deberán elaborarse conforme lo especificado en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. En este sentido, para el ordenamiento territorial y el desarrollo de infraestructura se plasmarán estos aspectos y no se considera necesaria la actualización o incorporación de planos normativos referente al escenario de riesgo sísmico.

Igualmente, se aclara que este mapa de zonificación de la respuesta sísmica no se puede categorizar en rangos de amenaza, como el mapa nacional, dado que representa la respuesta para diferentes rangos de periodo de vibración de las edificaciones, es decir, la intensidad de la amenaza sísmica dependerá de las características estructurales de cada edificación.

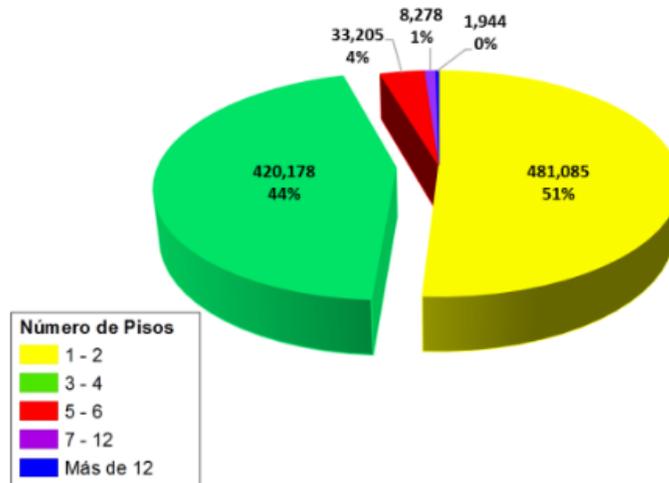
Bogotá ha experimentado varios sismos históricos que han generado afectaciones a la población y la infraestructura de la ciudad. Los reportes de varios eventos históricos y sus efectos pueden ser consultados en la hemeroteca de emergencias de Bogotá que contiene toda una base de datos sobre estos eventos y que ha servido como base para el análisis de sismicidad histórica de la ciudad en particular en los casos en los que no existe un registro instrumental.

El potencial destructivo de un sismo lo definen las características intrínsecas de evento como su magnitud (cantidad de energía liberada), localización, profundidad y tipo de falla (subducción o cortical) cuando un sismo es lo suficientemente fuerte para ocasionar daños se denomina terremoto; y por otro lado las características y localización del medio ambiente expuesto (ecosistema, construcciones y población). La combinación de un sismo fuerte, con epicentro cercano a un medio ambiente de alta vulnerabilidad configura una zona de alto riesgo (FOPAE, Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones, 2010).

La vulnerabilidad sísmica está relacionada con la capacidad de una edificación (o la población) para resistir el daño frente a la amenaza sísmica. Por lo tanto, para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones ante un sismo es importante construir de acuerdo a la norma de construcción sismo resistente vigente NSR-10 (establecida mediante Decreto 926 de 2010 y sus respectivas modificaciones).

Desde el punto de vista de la exposición de las edificaciones de la ciudad, de acuerdo con la información suministrada por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital – UAECD, en el año 2017, la distribución por número de pisos, antigüedad, sistemas estructurales y valor, se pueden observar en las siguientes figuras.

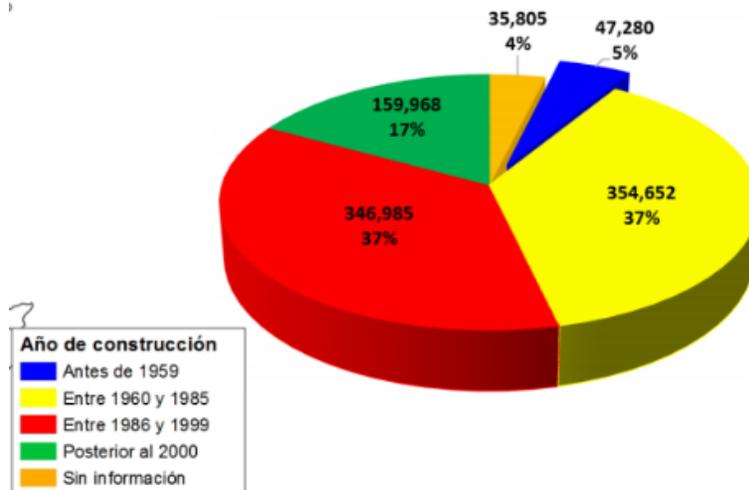
Cantidad de construcciones



Total construcciones modeladas: 944,690
 Total área de construcción: 315'199,543 m2

Figura 4. Distribución de las edificaciones por número de pisos
 Fuente: (IDIGER, 2018).

Cantidad de construcciones



Total construcciones modeladas: 944,690

Figura 5. Distribución de las edificaciones por antigüedad
Fuente: (IDIGER, 2018).

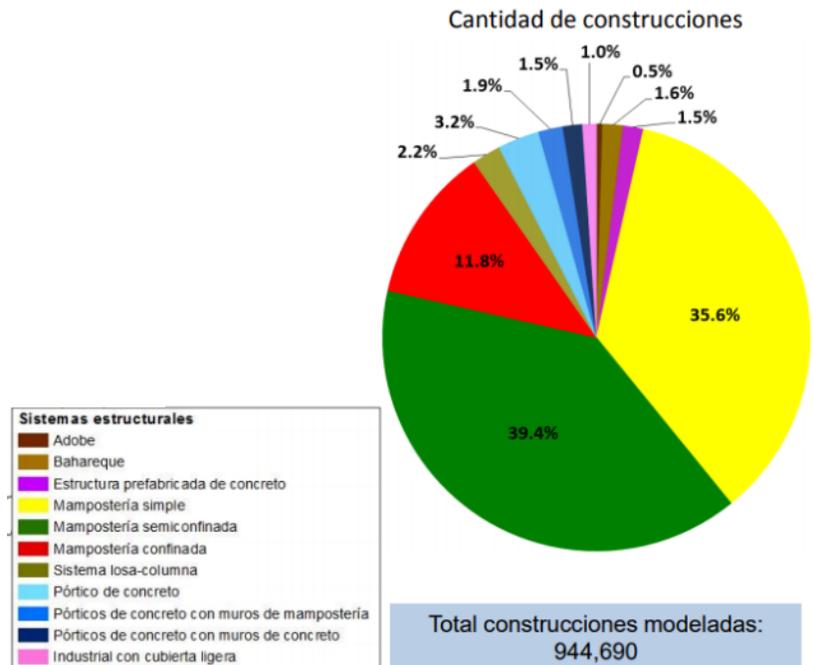


Figura 6. Distribución de las edificaciones por sistema estructural
Fuente: (IDIGER, 2018).

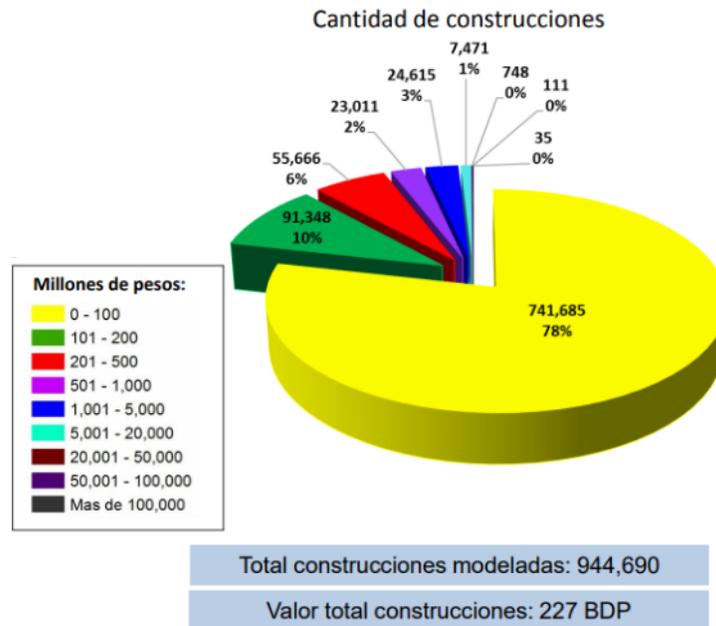


Figura 7. Distribución de las edificaciones por valor de la construcción.
Fuente: (IDIGER, 2018).

De acuerdo con estos análisis, se puede evidenciar que aproximadamente el 95% de las edificaciones en la ciudad corresponden a edificaciones de a lo sumo 4 pisos, el 75% de la edificaciones de la ciudad se construyeron entre los años 1960 y 1999, el 75% de las edificaciones presenta sistemas estructurales correspondientes a mampostería simple (altamente vulnerable) y mampostería semiconfinada (moderadamente vulnerable) y el 80% de las edificaciones presentan un valor en sus construcciones inferior a los 100 MDP para el año 2017.

En este contexto, el riesgo sísmico comprende las posibles consecuencias representadas en daños en las construcciones, incendios, deslizamientos en zonas montañosas, inundaciones, licuación, afectación a personas, pérdidas económicas, entre otras. Considerando el ambiente tectónico y de actividad de las fallas geológicas identificadas, así como la vulnerabilidad sísmica de los elementos expuestos, en Bogotá se han estimado escenarios de daños por terremoto para orientar acciones en la gestión de riesgo de desastres. Para el año 2018 se hizo una nueva actualización de escenarios cuyos principales resultados se exponen a continuación.

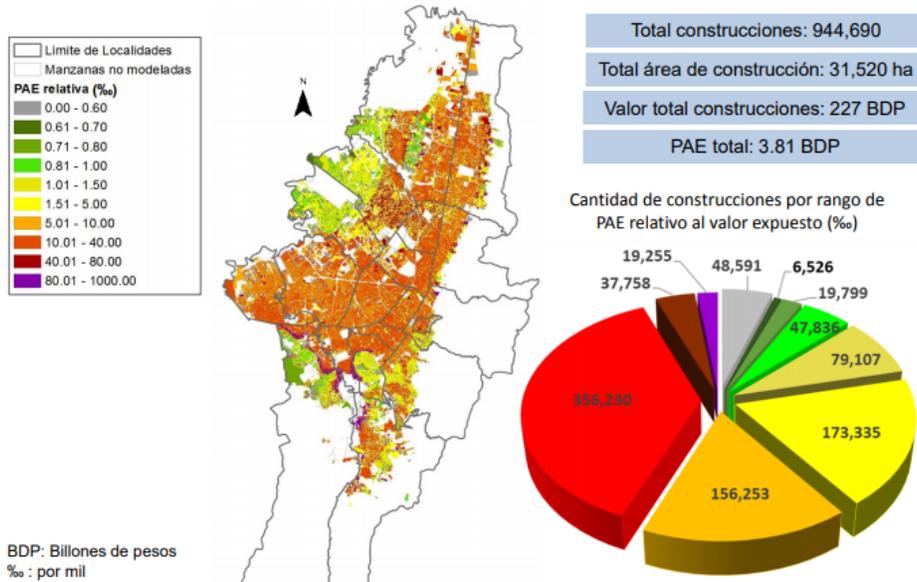


Figura 8. Pérdida anual esperada relativa al valor expuesto por sismo.
Fuente: (IDIGER, 2018).

De acuerdo con los análisis realizados, se espera que cerca del 40% del total de las edificaciones de la ciudad presenten una pérdida esperada entre el 10% y el 40% de su valor. El escenario de modelación de umbral de daño, relacionado con un evento de magnitud 6.5 a una profundidad de 25Km, a una distancia focal de 50Km y teniendo como fuente sismogénica la falla frontal de la Cordillera Oriental, presentaría los siguientes resultados.

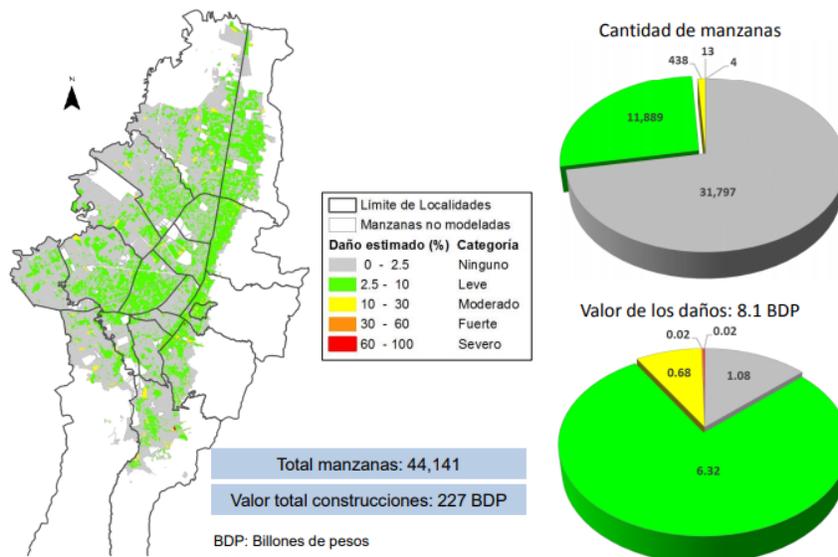




Figura 9. Pérdida esperada para el escenario de umbral de daño por sismo.
Fuente: (IDIGER, 2018).

Este modelo estima unas pérdidas cercanas a 8.1 BDP equivalentes al 3.5% de valor total de las edificaciones en la ciudad.

Finalmente, a continuación se presentan los resultados de los valores esperados de pérdidas para diferentes magnitudes de sismo posibles de acuerdo a las fuentes sismogénicas más representativas de amenaza para la ciudad.

No	Fuente Sísmica	Distancia Epicentro a Bogotá (km)	Magnitud del sismo	Manzanas con daño Leve y Moderado	Manzanas con daño Fuerte y Severo	Valor total de los daños (BDP)
1	Falla Frontal Cordillera Oriental	35	7.3 ¹	23,300	15,565	62.39
2		40	7.0 ²	33,929	2,675	38.04
3		50	6.5 ³	12,327	17	8.12
4	Falla Usme	28	4.5	26 (leve)	-	0.23
5			5.8	7,532	26	3.65
6			7.1	19,492	19,357	59.10
7	Falla Guaicaramo Norte	99	4.5	-	-	0.23
8			6.1	129	-	0.37
9			7.5	23,102	32	16.45
10			7.8	33,473	483	26.66
11	Falla Ibagué	119	4.5	-	-	0.23
12			6.0	43 (leve)	-	0.26
13			7.5	19,422	25	9.75
14	Falla Algeciras-Balsillas	129	4.5	-	-	0.23
15			5.9	10 (leve)	-	0.24
16			7.3	7,006	7	5.74

¹ Sismo de Diseño
² Sismo de Seguridad Limitada
³ Sismo del Umbral de Daño

BDP: Billones de pesos.

Figura 10. Resultados de los valores esperados de pérdidas para diferentes magnitudes de sismo posibles.
Fuente: (IDIGER, 2018)



6.1.2 Desarrollo de la gestión del riesgo del riesgo sísmico

Bogotá viene adelantando desde hace varios años diversas actividades en torno a la gestión integral del riesgo sísmico del área urbana de la ciudad. Dentro del planeamiento físico de la ciudad, en el año 1991, las autoridades distritales responsables participaron en el proceso de formulación del Plan de Gestión Ambiental PGA, dentro del cual se incluyó la estrategia para la prevención y atención de desastre por riesgo sísmico y que tuvo como base la elaboración de estudios necesarios para efectuar una microzonificación sísmica de Bogotá.

En septiembre de 1992 La Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias – OPES, presentó al Concejo Distrital el Plan Integral de Prevención y Atención de Desastres de Bogotá, en el cual se incluyó la realización del "Estudio de la Respuesta Sísmica del Subsuelo de Santafé de Bogotá y de los efectos de un terremoto sobre la Ciudad". Dicho Plan fue aprobado como parte integrante del Plan General de Desarrollo de la ciudad, mediante el Acuerdo 31 de 1992.

Posteriormente, en Diciembre de 1993, se firmó un convenio para el desarrollo del proyecto "Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá", entre la Unidad para la Prevención y Atención de Emergencias – UPES, como la entidad distrital responsable de la ejecución del proyecto, la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – DNPAD, como la entidad nacional cabeza del sistema nacional para la prevención y atención de desastres y el instituto de investigaciones en geociencias, minería y química – INGEOMINAS, como la institución directora de las actividades técnicas previstas.

De esta manera, entre 1994 y 1997 la Unidad para la Prevención de Emergencias del Distrito (UPES), la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD) e INGEOMINAS establecieron un convenio con el fin de terminar el proyecto "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá". Este proyecto de microzonificación sísmica definió cinco zonas de comportamiento homogéneo con base en la respuesta sísmica del suelo, caracterizadas por parámetros particulares para el diseño y construcción de edificaciones.

La microzonificación sísmica de Bogotá de 1997, definió 5 zonas homogéneas de acuerdo con la respuesta sísmica del subsuelo: Cerros, Piedemonte, Lacustre A, Lacustre B, Terraza y conos. En el Artículo 88 del Decreto 619 del 28 de julio de 2000 correspondiente al plan de ordenamiento territorial de Bogotá (POT), se adoptó el mapa de la microzonificación sísmica para Bogotá y ordenó, que en cumplimiento del Artículo 13 del Acuerdo 20 de 1995, el alcalde, adopte los espectros de diseño y sus determinaciones, contenidas en el estudio de Microzonificación.

En el año 2001, la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, aprobó el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá. En cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 2 del Decreto Nacional 2809 de 2000. Seguidamente, el Decreto 074 de 2001, que complementa y modifica el código de construcción de Bogotá, identifica los límites de la microzonificación sísmica y se adoptan los espectros de diseño.

Paralelamente, en el año 1999, se establece la Red de Acelerógrafos de Bogotá, con lo cual la ciudad monitorea la respuesta sísmica en suelo y roca en diferentes sectores de la ciudad. El Estudio de Microzonificación Sísmica de 1997 había recomendado que teniendo en cuenta las dificultades en la evaluación de la amenaza sísmica regional por falta de información respecto al comportamiento de las rocas y suelos de la ciudad frente a las ondas sísmicas y su atenuación a través del material



sedimentario, se requería en general mucha más instrumentación especialmente en la zona de suelos blandos para lograr captar las señales de sismos que ocurran en el futuro. Fue entonces cuando el FOPAE inició los trámites correspondientes para la implementación de la Red de Acelerógrafos de Bogotá - RAB.

La Red de Acelerógrafos de Bogotá – RAB fue instalada a partir de un Convenio Interadministrativo suscrito en 1997 entre el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE y el Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Dentro del convenio se adquirieron 33 Acelerógrafos digitales de los cuales 30 fueron distribuidos en toda el área urbana de la ciudad y 3 equipos de respaldo se guardaron en las instalaciones del FOPAE como stock o reemplazo en caso de fallas. Complementariamente, el Distrito Capital cuenta con el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático-SIRE (www.sire.gov.co), administrado por el IDIGER, en donde es posible consultar los informes de procesamiento e interpretación de registros sísmicos y los boletines y catálogo de eventos.

Seguidamente, en el Artículo 139 del Decreto 190 de 2004, se establece que bajo la dirección del DPAE, se debe mejorar el conocimiento sobre amenaza sísmica a través del monitoreo de la RAB y adicionalmente, en el Artículo 144, adopta el mapa de microzonificación sísmica y encomienda al alcalde adoptar mediante decreto, los espectros de diseño y las determinaciones de la microzonificación.

Cada una de las zonas definidas por la microzonificación sísmica y las determinantes del estudio de microzonificación se adoptaron mediante el Decreto 193 de 2006. Posteriormente, se identificaron algunos aspectos que debían ser revisados con respecto a las especificaciones dadas en el Decreto, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: 1) la necesidad de mejorar las especificaciones para zonas heterogéneas, 2) las señales sísmicas utilizadas en el estudio del 97 no representaban los escenarios sísmicos más probables y 3) los espectros sísmicos no eran uniformemente confiables para todos los periodos, con lo cual se generaban un impacto importante en el nivel de demanda sísmica de diseño de estructuras. Teniendo en cuenta lo anterior, se vio la necesidad de adelantar una serie de actividades encaminadas a actualizar los estudios de microzonificación sísmica de la ciudad.

El principal evento registrado por la RAB fue el ocurrido el 24 de mayo de 2008 en el municipio de Quetame Cundinamarca, que activó todas las estaciones y se obtuvieron registros que permitieron caracterizar la respuesta sísmica. Los valores de aceleración máxima del terreno (*Peak Ground Acceleration - PGA*) de este sismo se muestran en la siguiente figura, donde se aprecia la correlación con las zonas geotécnicas, puesto que las mayores amplificaciones ocurrieron en las zonas de piedemonte y lacustre, y en menor medida en las zonas de cerros y aluviales.

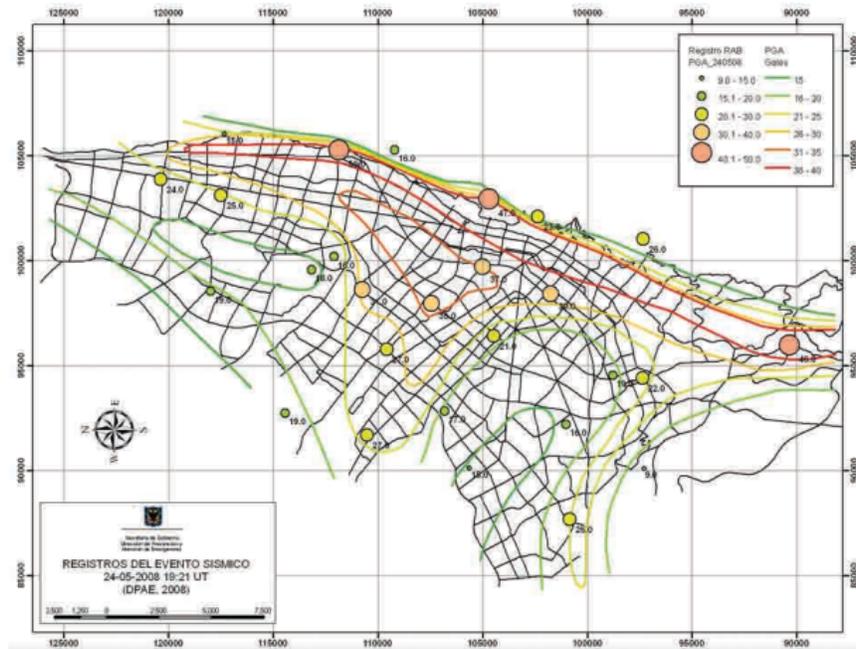


Figura 11. Aceleraciones máximas registradas en superficie por el sismo de Quetame.
Fuente: (FOPAE, Procesamiento e interpretación de señales de la red de acelerógrafos de Bogotá - RAB., 2008)

A partir del año 2004, en la ciudad de Bogotá se han llevado a cabo acciones conducentes a reducir la vulnerabilidad sísmica de edificaciones indispensables de acuerdo a la clasificación que se ha establecido en las normas de construcción sismorresistentes. En este sentido se resalta el Decreto No. 318 de 2006 que corresponde al Plan Maestro de Equipamientos en Salud (PMES), donde están todos los Hospitales adscritos a la SDS, con su tipo de intervención y en un periodo de 2006 a 2019; la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá – UAECOB, ha llevado un proceso de planificación enfocado en su línea misional, acorde al Plan Maestro de Equipamientos de Seguridad Ciudadana Defensa y Justicia (Decreto 563 de 2007); la Secretaría Distrital de Integración Social – SDIS, viene desarrollando desde el año 2004 la evaluación de la vulnerabilidad física de sus equipamientos llevando a cabo las tareas de identificación y reforzamiento estructural necesarias, estipuladas en el Plan Maestro de Equipamientos de Bienestar Social por medio del cual se definen de manera integral y sistémica las necesidades de suelo urbano destinados al desarrollo dotacional y el mejoramiento de calidad de vida y la Secretaría de Educación del Distrito – SED, desarrollando el programa de construcción, reforzamiento estructural, ampliación y mejoramiento de establecimientos educativos, se estructura en dos proyectos: construcción y dotación de nuevos colegios (proyecto 7069) y mejoramiento integral de infraestructura y prevención de riesgos en las instalaciones educativas distritales (Proyecto 0312).

De igual forma, las edificaciones requeridas para la prestación de servicios públicos en el Distrito Capital, tales como las de los sistemas de abastecimiento de agua potable, gas, energía eléctrica y telecomunicaciones, el sistema de transporte urbano (Vías, puentes vehiculares y peatonales, manejo de tráfico), y los sistemas de manejo y disposición de aguas residuales, lluvias y de residuos



sólidos, también están comprendidas dentro de las edificaciones indispensables y su reforzamiento tiene carácter obligatorio conforme a las normas de sismo resistencia. Consecuente con ello, las entidades y empresas responsables de las mismas, han emprendido las actividades necesarias para dar cumplimiento a la normatividad. Algunas de las acciones realizadas son: reforzamiento de edificaciones de la EAAB, embalses, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y estaciones elevadoras; reforzamiento de edificaciones de la Secretaría de Movilidad, IDU, Unidad de Mantenimiento Vial, reforzamiento de puentes, vehiculares y peatonales y terminales de transporte; reforzamiento de edificaciones de la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, de la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá y de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

En el año 2009, la AIS realiza un estudio de amenaza sísmica para Colombia y finalmente, en el año 2010, mediante el convenio entre la Universidad Nacional e INGEOMINAS, se realiza el estudio general de amenaza sísmica de Colombia.

A partir de la información actualizada de los estudios de amenaza sísmica, se cuenta adicionalmente con una base de datos geotécnica importante, de los estudios de efecto local de la ciudad y del estudio del metro. Lo anterior, sumado a la mejora en los análisis computacionales para sistemas de información geográfica y respuesta dinámica, permitieron realizar el estudio: “Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones”, desarrollado por el FOPAE, la Universidad de los Andes, la Sociedad Colombiana de Geotecnia y la Asociación de Ingeniería Sísmica de Colombia (AIS). De esta manera, se realizó una actualización del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá por parte del FOPAE, reglamentado a través del decreto 523 de 2010, y cubre la totalidad del área urbana del distrito, y del área rural cubre cerros orientales y parte del área de Ciudad Bolívar y Usme.

A partir del análisis de las respuestas obtenidas en la superficie se definieron 15 zonas de respuesta sísmica homogénea y 3 zonas de tratamiento especial (Depósitos de ladera, basura, excavación). Las zonas de respuesta sísmica guardan el vínculo con las zonas geotécnicas, destacándose cinco zonas, cerros, piedemonte, lacustre, lacustre-aluvial y aluvial, de las cuales se subdividen las de la zona plana por espesores de depósito. Este mapa define los espectros de respuesta de cada zona que se emplean para el diseño sismo resistente de edificaciones nuevas o el reforzamiento de edificaciones antiguas (FOPAE, Bogotá frente a la gestión integral del riesgo sísmico, 2011).

Es importante mencionar que el mapa de zonificación de la respuesta sísmica no se puede categorizar en rangos de amenaza baja, intermedia o alta, como el mapa nacional de amenaza sísmica, dado que representa la respuesta para todo un rango de periodos de vibración (respuesta espectral); por ende, la intensidad de la amenaza dependerá del periodo de vibración del elemento expuesto. Por ejemplo, un edificio de tres pisos en la zona de piedemonte estará expuesto a mayor intensidad que si estuviera en la zona de lacustre, pero si el edificio es de 20 pisos en la zona lacustre estaría expuesto a mayor intensidad que en la zona de piedemonte, esta dependencia del número de pisos o en términos técnicos del periodo de vibración es la gran diferencia con el mapa de amenaza sísmica nacional, siendo este mucho más preciso al incluir la respuesta sísmica de los depósitos.

Para la zona rural no se cuenta con una zonificación de respuesta sísmica, salvo las áreas que cubre la zonificación de respuesta sísmica elaborada para el área urbana, por lo tanto hay que adoptar la amenaza para el área rural según el mapa nacional de Amenaza sísmica. Donde se observa que el

área rural del distrito se encuentra entre zona de amenaza Intermedia y alta, como es el caso de la localidad de Sumapaz.

La Norma sismo Resistente (NSR-10) define los movimientos sísmicos de diseño en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y la velocidad pico efectivo, representada por el parámetro A_v , en las zonas donde no existe estudios de respuesta sísmica. Estos parámetros son divididos en regiones según su valor y de igual modo se asocian a las zonas de amenaza sísmica definida en “Estudio de amenaza sísmica para Colombia” como se observa en la siguiente figura.



Figura 12. Esquema de localización Bogotá zonas urbana y rural sobre mapa parámetro A_v .

Fuente: NSR-10.

Dado que no todas las edificaciones cumplen con los requisitos de sismo resistencia, desde hace varios años la administración distrital ha implementado programas de reforzamiento o reposición de edificaciones existentes como hospitales, colegios, estaciones de bomberos, escenarios deportivos y culturales, edificaciones gubernamentales, la infraestructura de movilidad y de líneas vitales, así como el mejoramiento de vivienda.

Otras medidas de reducción comprenden la protección financiera, la cual busca poder acceder a recursos económicos para la atención de la emergencia, reconstrucción y recuperación. Las estrategias de protección financiera son los fondos de reserva, créditos contingentes, seguros y financiamiento ex post.

Desde el año 2017, se han desarrollado y puesto en funcionamiento herramientas para el análisis y modelación para la estimación de daños frente a terremoto (SEDAR, SISMARB) y se continúa con el desarrollo de aplicaciones de estimación rápida de daños (proyecto SATREPS), con el fin de soportar y priorizar las acciones de reducción del riesgo sísmico de la ciudad. En este sentido, el IDIGER ha



desarrollado un análisis que estima para eventos sísmicos determinados, los daños en las edificaciones, pérdidas económicas directas por los daños y las afectaciones a la población en términos de pérdida anual esperada y pérdida máxima probable.

Actualmente se está realizando la estructuración del inventario de edificaciones públicas distritales, para disponer de información estructurada, homogénea y actualizada con fines de conocimiento frente al riesgo sísmico. De igual forma, la ciudad de Bogotá cuenta con El Marco de Actuación de la Estrategia Distrital de Respuesta a Emergencias, que define la organización y coordinación para la respuesta a emergencias, constituyéndose como componente esencial de la preparación para la respuesta, y como tal, es la base para el planeamiento de acciones como la capacitación, equipamiento y entrenamiento.

Las guías de preparación para la respuesta a emergencias, la metodología de evaluación de daños en edificaciones después de sismo, y la estructuración de un marco de actuación para la recuperación post terremoto son instrumentos desarrollados para la ciudad de Bogotá.

6.1.3 Balance general sobre las acciones enmarcadas en el plan de ordenamiento territorial vigente

Las acciones indicadas en el Plan de Ordenamiento Territorial que trata el Decreto 190 de 2004, relacionadas con el tema sísmico y que implican la participación del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (antes Dirección de Prevención y Atención de Emergencias), comprenden el monitoreo y la microzonificación sísmica. El balance general permite apreciar que las acciones se han venido cumpliendo con la puesta en marcha de la Red de Acelerógrafos de Bogotá y en la actualización del marco normativo de la microzonificación sísmica, aspectos fundamentales que contribuyen a mejorar el conocimiento sobre la respuesta dinámica de los suelos de la ciudad y en la definición de parámetros para el diseño y construcción sismo resistente de edificaciones.

Con relación a la implementación de las medidas de reducción de riesgo en lo que corresponde a la aplicación del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, se vienen realizando esfuerzos por parte de las entidades públicas para llevar a cabo el reforzamiento estructural de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad e incluso en infraestructura de líneas vitales y de movilidad.

En las siguientes tablas se presentan de forma sucinta el balance de las acciones establecidas en el plan de ordenamiento territorial (POT-Decreto 190 de 2004) asignadas al hoy Instituto Distrital de Riesgos y Cambio Climático IDIGER en relación al monitoreo y microzonificación sísmica y reducción del riesgo sísmico.

Tabla 1. Balance acciones establecidas en el POT-Decreto 190 de 2004 asignadas al hoy Instituto Distrital de Riesgos y Cambio Climático IDIGER

Artículos del POT (Decreto 190 de 2004)	Estado actual - Balance
--	--------------------------------

<p>Artículo 139. Monitoreo de amenazas</p> <p>Se deben implementar, bajo la coordinación de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE), las siguientes acciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mejorar el conocimiento sobre la amenaza sísmica a través de monitoreo de la red de acelerógrafos. 2. Diseñar e implementar un sistema de información de riesgos que permita la actualización permanente de estudios, tratamientos y gestión de los mismos. 	<p>La Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB) fue instalada en 1997 y en la actualidad está integrada por 27 estaciones en operación distribuidas en el área urbana de la ciudad. Los instrumentos se han venido reemplazando por equipos tecnológicamente más avanzados con el propósito de registrar mayor información y de mejor resolución. Los registros obtenidos han contribuido en los análisis de la respuesta dinámica de los suelos de la ciudad para la formulación de parámetros y correspondiente actualización de las normas de construcción sismo resistente en lo que respecta a la microzonificación sísmica.</p> <p>En relación con los sistemas de información de riesgos, en concordancia con lo establecido en el Artículo 46 la Ley 1523 de 2012 y el Artículo 11, literal i) del Acuerdo 546 de 2013, el Distrito Capital cuenta con el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático-SIRE (www.sire.gov.co), administrado por el IDIGER. Complementariamente se han desarrollado y puesto en funcionamiento herramientas para el análisis y modelación para la estimación de daños frente a terremoto (SEDAR, SISMARB), y se continúa con el desarrollo de aplicaciones de estimación rápida de daños (proyecto SATREPS).</p>
<p>Artículo 144. Microzonificación Sísmica en el D. C.</p> <p>Se adopta el mapa de Microzonificación Sísmica para Santa Fe de Bogotá resultante del estudio que lleva el mismo nombre el cual se identifica con el plano No. 7 denominado "Microzonificación Sísmica" que hace parte del presente Plan.</p> <p>En cumplimiento del Artículo 13 del Acuerdo 20 de 1995 (Código de Construcción del Distrito Capital) y como complemento del mismo, el Alcalde Mayor de Santa Fe de Bogotá adoptará mediante decreto, los espectros de diseño y las determinaciones contenidas en el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá.</p>	<p>Se actualizó el plano de microzonificación sísmica en armonía con las disposiciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Se emitió el Decreto Distrital 523 de 16 diciembre de 2010 "Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C."</p> <p>La cartografía que fue incluida en el POT 2004 corresponde a la definida en los Decretos 074 de 2001 y 193 de 2006, la cual fue actualizada por el Decreto 523 de 2010.</p>

<p>Artículo 156. Documentos de la Revisión</p> <p>Hacen parte de la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial, los siguientes documentos:</p> <p>8. La cartografía que comprende los siguientes planos:</p> <p>7 Micro zonificación sísmica</p>	
--	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Articulado y balance general sobre medidas de reducción del riesgo sísmico en el plan de ordenamiento territorial (POT-Decreto 190 de 2004)

Artículos del POT (Decreto 190 de 2004)	Estado actual - Balance
<p>Artículo 45. Planes Maestros</p> <p>Los planes maestros constituyen el instrumento de planificación fundamental en el marco de la estrategia de ordenamiento de la ciudad-región; permiten definir las necesidades de generación de suelo urbanizado de acuerdo con las previsiones de crecimiento poblacional y de localización de la actividad económica, para programar los proyectos de inversión sectorial en el corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Los planes maestros contendrán como mínimo:</p> <p>8. El análisis, evaluación y diseño de la estrategia ambiental y de reducción de vulnerabilidad.</p> <p>11. El análisis y evaluación de riesgos y diseño de planes de prevención y contingencia.</p>	<p>El diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones en el territorio de la República de Colombia debe someterse a los criterios y requisitos mínimos que se establecen en la Normas Sismo Resistentes Colombianas, las cuales comprenden: la Ley 400 de 1997, la Ley 1229 de 2008, el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 y las resoluciones expedidas por la “Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes” del Gobierno Nacional, adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y creada por el Artículo 39 de la Ley 400 de 1997.</p>
<p>Artículo 65. Aumento del Índice de Seguridad Humana</p> <p>8. Consolidación de una estrategia para evitar la generación de nuevos riesgos y la mitigación de riesgos existentes.</p>	<p>En la ciudad se implementan medidas de intervención particular que abarcan el reforzamiento de edificaciones existentes como hospitales, colegios, estaciones de bomberos, escenarios deportivos y culturales, la infraestructura de movilidad y de líneas vitales, así como el programa de mejoramiento de vivienda. En el Capítulo II del libro “Bogotá Frente a la Gestión Integral del riesgo Sísmico” editado en el año 2010 se hace un balance sobre obras de reforzamiento en infraestructura y equipamientos.</p>
<p>Artículo 158. Política Habitacional</p> <p>10. Reconocimiento y promoción de la diversidad en los procesos de producción de hábitat. Se reconocerá los procesos de producción social de vivienda y oferta de espacio habitacional desarrollados por la población, facilitando y promoviendo el conocimiento y cumplimiento de las normas urbanísticas y de sismo-resistencia, así como las condiciones de habitabilidad de las</p>	<p>Adicionalmente se desarrollaron otros programas relacionados con la reducción del riesgo sísmico, de los cuales se destaca el programa de Bogotá con los</p>

<p>viviendas.</p> <p>Artículo 179. Normas aplicables a predios ubicados en zonas de reserva</p> <p>Sobre los predios donde se hayan demarcado zonas de reserva, se podrán solicitar licencias de urbanismo y construcción, en sus diferentes modalidades, con base en las normas vigentes. No obstante, será posible acogerse a los usos temporales de comercio y servicios que se puedan desarrollar en estructuras desmontables metálicas, de madera o similares, siempre que se cumplan las normas vigentes de sismo resistencia, espacio público referido a andenes, antejardines y cupos de parqueo. Para el efecto, se deberá obtener la correspondiente licencia ante una curaduría urbana.</p>	<p>pies en la tierra, los proyectos de mejoramiento de vivienda de Caja de vivienda popular, el plan de recuperación post desastres que elaboró PNUD en 2009</p>
<p>Artículo 262. Normas generales aplicables a las cesiones públicas destinadas a equipamiento comunal</p> <p>Las áreas de cesión pública destinadas a la construcción del equipamiento comunal público, se regularán por las siguientes normas:</p> <p>Parágrafo. Los equipamientos existentes que deban reforzarse o adecuarse estructuralmente, no requerirán licencia de intervención y ocupación del espacio público, ni la expedición del respectivo Plan Maestro, para lo cual solamente se será necesario el acto de reconocimiento.</p>	
<p>CAPÍTULO 1. PROGRAMA DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL</p> <p>Subcapítulo 1. Subprograma de Producción de Vivienda Nueva</p> <p>Artículo 286. Objetivos</p> <p>1. Garantizar una oferta habitacional en condiciones de sostenibilidad ambiental, equidad territorial y en el acceso a los servicios públicos domiciliarios y sociales sujeta a las normas urbanísticas y de sismo-resistencia y de tenencia en la propiedad de la vivienda para los segmentos más pobres de la población.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



7.1 SISMO

Se considera que no es necesario incluir el mapa de respuesta sísmica en el POT, ya que lo importante es que en la norma de ordenamiento territorial se promueva la aplicación de los instrumentos de gestión del riesgo sísmico, más no generar restricción al uso del suelo por este escenario.

Se identifican aspectos relevantes a tener en cuenta para la actualización del POT como la actualización de la microzonificación sísmica, el fortalecimiento de la red de monitoreo y establecer lineamientos para la promoción de la reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas y edificaciones indispensables.

Para el caso de construcciones diferentes a edificaciones, se cuenta con la norma AIS 180, la cual se actualizará una vez se actualice la NSR. Igualmente se cuenta con las normas de construcción de puentes y las normas de construcción particulares de la EAB. Vale la pena aclarar que los coeficientes de la norma sismorresistentes están concebidas solamente a edificaciones y no a otras estructuras, lo cual es importante que se articule en la actualización de la norma.

Considerando que el mapa de microzonificación sísmica elaborado en el año 2010 no coincide plenamente con los límites urbanos y de expansión de la ciudad para el POT 2021, es procedente llevar a cabo la respectiva actualización normativa. Mientras se lleva cabo dicha actualización, se deberá considerar lo planteado en el Artículo 5.5 del Decreto 523 de 2010, teniendo en cuenta las distancias que en este caso puedan tener los límites urbanos de ambos mapas, incrementando la distancias de 500 m a máximo 1.000 m, en relación a lo siguiente:

“5.5 Se deberá clasificar el perfil geotécnico del sitio en el cual se ubique una edificación en alguna de las zonas descritas en la Tabla 2 de acuerdo a su localización en la zonificación de respuesta sísmica y al estudio geotécnico realizado de conformidad con el Título H del Reglamento NSR-10.

Si los resultados del estudio geotécnico demuestran que las características del terreno, materiales y espesor del depósito, son diferentes a los dados en la zonificación de respuesta sísmica para el sitio de interés, se deberá ampliar el alcance del estudio geotécnico, conforme al artículo 6° del presente Decreto y aplicar los parámetros espectrales de la zona de respuesta sísmica que sean consistentes con él. Esta clasificación sísmica debe coincidir con alguna de las zonas adyacentes a la localización del predio o máximo a una zona de por medio, siempre y cuando no supere una distancia de 500 metros, respecto a su localización”.



8. REFERENCIAS

- FOPAE, F. d. (2008). *Procesamiento e interpretación de señales de la red de acelerógrafos de Bogotá - RAB.*
- FOPAE, F. d. (2010). *Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones.*
- FOPAE, F. d. (2011). *Bogotá frente a la gestión integral del riesgo sísmico.*
- GEM & SGC, F. G. (2017). *Evaluación y monitoreo de la actividad sísmica.*
- IDIGER, I. D. (2018). *Modelación del riesgo sísmico en edificaciones para la ciudad de Bogotá .*
- INGEOMINAS, U. N. (2009). *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Insumo adopción Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR-10.*