

**Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO  
URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y  
BOGOTÁ COLOMBIA**

Importancia de la Planificación del Desarrollo Urbano en Zonas de Amenaza sísmica, Caso

Mendoza Argentina y Bogotá Colombia

Cesar Alfredo Arevalo Matamoros. Cód. d7302231

Asesor: Luz Adriana Santos Castellanos

Arquitecta

Universidad Militar Nueva Granada

Febrero 2018

Notas del Autor

César Alfredo Arévalo Matamoros, Universidad Militar Nueva Granada

La correspondencia relacionada con este ensayo debe ser dirigida a Luz Adriana Santos  
Universidad Militar Nueva Granada, Kilometro 2 Vía Cajicá-Zipacquirá, Costado Oriental

Contacto: [d7302231@unimilitar.edu.co](mailto:d7302231@unimilitar.edu.co)

# Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**



## **Agradecimientos**

Doy gracias a Dios por ser mi guía, por llenarme de fe, sabiduría y fortaleza, a lo largo de este camino que inicio hace 5 años como una meta que hoy veo más cerca que nunca, pase por momentos de alegrías y tristezas, donde me convencía cada vez más de ser un buen Ingeniero Civil. Gracias a mi familia por el apoyo incondicional, a mis hijos y esposa por ser mi aliciente para seguir adelante y alcanzar mis objetivos.

Gracias a todos los Docentes que a lo largo de mi carrera me transmitieron de la mejor manera sus conocimientos para formarme como persona y profesional, a la Universidad Militar Nueva Granada por ser una institución de formación profesional que hace que los sueños de muchas personas se hagan realidad, gracias a mis amigos y compañeros de estudio con los que inicie y culmine este proceso de formación profesional, estoy seguro que aprendimos mucho unos de los otros y sobre todo siempre nos apoyamos para lograr un objetivo en común ser Ingenieros Civiles que aporten a la formación y desarrollo de este país.

¡Muchas gracias, Dios los bendiga hoy y siempre!

# Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

## Introducción

La ciudad de Mendoza se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad, debido a que se encuentra ubicada en la zona de subducción de la placa de Nazca y la continental suramericana, esto se puede evidenciar en los picos de gran altura que se han formado en la cordillera de los andes y cuyo esfuerzos tectónicos compresivos actuantes han favorecido el desarrollo y localización de varias fuentes sismogénicas potenciales que cumplen su propio siglo sísmico de liberación de energía generando terremotos.

En el caso de la ciudad de Bogotá, la cual también se encuentra sometida a actividades sísmicas por el mismo proceso de la placa de Nazca y Suramericana, además de algunas fallas geológicas como la son; la falla del Piedemonte llanero, Falla Bucaramanga, Falla Cauca y Falla Romeral, la liberación de energía de estas pueden considerarse como fuente de sismicidad para la ciudad de Bogotá. *“Para evaluar la amenaza sísmica es necesario conocer las fuentes sismogénicas que permiten determinar el nivel de riesgo sísmico que para el caso de Colombia se clasifica en un nivel de Amenaza: Alta, Intermedia y Baja. Bogotá se encuentra en una zona de nivel intermedio la cual está dividida en una zona de Microzonificación”*.<sup>1</sup>

Históricamente Mendoza y Bogotá fueron afectadas considerablemente por terremotos que ocasionaron daños estructurales muy importantes y pérdida de vidas humanas, por esta razón se implementaron normas Sismo Resistentes que permiten la planificación del desarrollo urbano en cuanto a la calidad de la construcción de las edificaciones ante posibles sismos.

---

<sup>1</sup> NSR-10, Ley 400 de 1997

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

### Actividad sísmica

En el mapa tectónico de placas (**Anexo 1**) se puede observar que un grupo de placas grandes y pequeñas interactúan entre sí; ocasionado problemas e inestabilidades donde se dan tres tipos de procesos. Generación de edificios montañosos, sistema montañoso, generación de zonas volcánicas, desarrollo y ubicación específica de zonas sísmicas. De acuerdo al mapa de tectónica de placas se genera el arco o cinturón de fuego del pacifico, donde toda la zona de interacción de la placa oceánica produce la mayor actividad sísmica y volcánica del planeta.

Según el esquema de tectónica de placas existe un movimiento entre las placas donde el continente Suramericano empuja asía el Oeste, mientras que Nazca empuja asía el Este donde las dos placas se chocan en la fosa Oceánica y van interactuando a lo largo del tiempo, las placas tectónicas tienen diferente geometría de inclinación, de contacto y diferente velocidad. El de mayor velocidad y mayor compresión es justo el de los andes centrales de Argentina y Chile.

Mendoza se encuentra justo arriba de la placa Sudamericana que está en constante colisión con la placa de Nazca, situada más abajo y que tiende a subir a medida que libera energía a este proceso se le conoce como Subducción, la liberación de esta energía se puede evidenciar de dos maneras, por medio de un terremoto o de erupciones volcánicas. Cuando ocurre un terremoto existen variables importantes a tener en cuenta; estas son la profundidad, la distancia y la magnitud, también el tipo de suelo donde ocurrió, un suelo geológicamente blando amplifica los efectos de los terremotos, a lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes escalas macrosísmicas que clasifican en grados los efectos que provoca un terremoto.

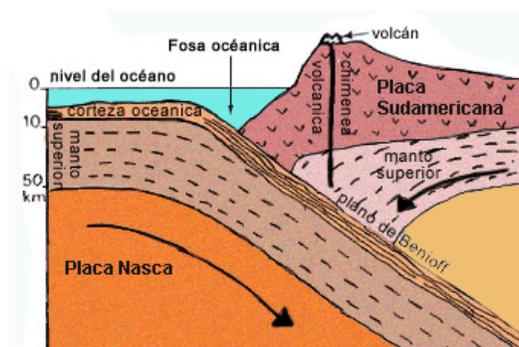


Ilustración 1(Subducción Placa Sudamericana y Nazca) <http://www.predes.org.pe/predes/terremotos.htm>

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

Las fallas geológicas son grietas que se generan por el movimiento de las placas tectónicas a lo largo del tiempo, actualmente existen tres fallas geológicas activas en Mendoza una de ellas está ubicada a 20 kilómetros de la ciudad en el Cerro La Cal y es la falla de más longitud con una profundidad entre 9 y 10 kilómetros, la otra es la de Barrancas, Ubicada en el distrito de Maipu, la tercera falla es la de Uspallata-Potrerrillos.

La amenaza sísmica a la cual está expuesta la ciudad de Santafé de Bogotá viene siendo estudiada por expertos desde finales de la década de los ochenta, la alerta la generó el terremoto ocurrido en la ciudad de México en 1985, donde los daños ocasionados a las estructuras se dieron sobre depósitos de suelos blandos con una geometría y estratigrafía particular, esto fue un campanazo de alerta debido a que Bogotá posee características geológicas muy similares.

*Desde hace muchos años se habla de la alta probabilidad que un terremoto afecte a Bogotá no solo por el movimiento telúrico si no por el nivel de vulnerabilidad en el que se encuentra la ciudad. Bogotá ha sufrido tres sismos de gran magnitud provocados principalmente por tres fallas que representan serias amenazas: la falla frontal de la Cordillera Oriental, la falla del Magdalena y la falla La Cajita, ubicada al sur de la ciudad. Aunque esta última no está activa, su cercanía a Bogotá la hace un peligro potencial.<sup>2</sup>*

Las autoridades distritales que son las responsables de planeamiento físico de la ciudad han tratado este tema desde finales de 1991, con la elaboración de un reglamento de estudio para el ordenamiento físico de la ciudad de Bogotá, esto se realizó mediante el acuerdo 6 de 1990 y derogado por el decreto distrital 619 del 2000 en el cual se adopta el estatuto para el ordenamiento físico de Bogotá.

Al identificar claramente las fallas geológicas en las dos ciudades Mendoza y Bogotá se podrán generar medidas restrictivas y normativas que mitiguen el impacto de colapso estructural y a su vez la mayor cantidad de pérdida de vidas humanas.

---

<sup>2</sup> <https://www.registraduria.gov.co/Cual-es-el-riesgo-sismico-en.html>

# Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

## Historial sísmico

Históricamente la ciudad de Mendoza y Bogotá se han visto afectadas por terremotos que han sido artífices de pérdida de vidas causadas por el colapso de muchas estructuras que no cumplían con ningún tipo de norma sismoresistente, aunque para las fechas en que ocurrieron no existían regulaciones, las estructuras existentes eran fabricadas empíricamente por constructores que de cierta manera querían que sus construcciones resistieran un movimiento telúrico.

La provincia de Mendoza Argentina fue fundada en 1561 pero solo a partir de 1782 existen registros escritos sobre la historia sismológica de esta provincia, los primeros registros fueron escritos en el año 1920 donde se encuentran registros instrumentales tomados por aparatos lejanos y desde esta fecha se creó la estación sismológica del parque San Martín en la provincia de Mendoza. Los terremotos más destructivos a lo largo de la historia de Mendoza son los ocurridos en 1861 y 1920. El mapa del (**Anexo 1**), muestra que Mendoza es una zona inestable sísmicamente. En los últimos quinientos años la ciudad de Bogotá se ha visto afectada por un gran número de sismos, pero 15 de ellos han causado daños, sin embargo, para hacer estadística solo se tomaran aquellos que han causado afectaciones intermedias o severas.

✚ **18 de Octubre de 1743** Sismo que causo daños considerables.

✚ **17 de Junio de 1826;** Uno de los más fuertes Terremotos de la historia y que destruyo varias edificaciones.

✚ **31 de Agosto de 1917;** el más violento terremoto que causo daños severos.

✚ Terremoto del 9 de Febrero de 1967, escala de 7.2 grados.

COMPARATIVO HISTORIAL SÍSMICO MAS IMPORTANTES MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA							
HISTORIAL SÍSMICO MENDOZA - ARGENTINA				HISTORIAL SÍSMICO BOGOTÁ - COLOMBIA			
DATA	ORIGEN	EFFECTOS	INTENSIDAD	DATA	ORIGEN	EFFECTOS EN BOGOTÁ	INTENSIDAD
1782, Mayo 22	Mendoza	Daños Severos	7	1743, Octubre 18	Paramo Chingaza	Daños Intermedios	7
1861, Marzo 20	Mendoza	Daños Severos	7	1785, Julio 12	Paramo Chingaza	Daños Severos	8
1903, Mayo 12	Mendoza	Daños Severos	6	1826, Junio 17	Sopo (Cundinamarca)	Daños Severos	7
1917, Julio 27	Mendoza	Daños Severos	6.5	1827, Noviembre 16	Tolima Huila	Daños Severos	8
1920, Diciembre 17	Mendoza	Daños Severos	6.3	1917, Agosto 31	Paramo Sumapaz	Daños Severos	8
1929, Mayo 23	Mendoza	Daños Severos	5.7	1928, Noviembre 1	Valle de Tenza	Daños Intermedios	7
1967, Abril 25	Mendoza	Daños Severos	5.4-5.7	1967, Febrero 9	Vega Larga Huila	Daños Intermedios	6.5
1985, Enero 26	Mendoza	Daños Severos	5.9	2008, Mayo 24	Calvario Meta	Daños Intermedios	5.5
2006, Junio 6	Mendoza	Daños Severos	5.6	X	X	X	X

Tabla 1 (Comparativo Sísmico Mendoza Argentina Vs Bogotá Colombia)

# Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

## Normas Sismo Resistentes

Dentro del concepto sismo existente en la mayoría de países del mundo se afirma que las construcciones como edificios, viviendas, coliseos y demás estructuras que alberguen personas se deben diseñar y construir de modo que no sufran daños de ningún tipo cuando se presente algún evento sísmico. Es importante establecer que las estructuras pueden sufrir daños en un sismo de gran magnitud, pero lo que se debe garantizar es que la estructura no colapse durante el evento sísmico, aunque se requiera de su demolición después de este evento. Cada país tiene sus normas establecidas bajo la filosofía escrita anteriormente, sin embargo, las normas Sismo Resistentes pueden llegar a variar según el nivel de riesgo sísmico donde se desarrolla la construcción.

Los acontecimientos históricos de terremotos ocurridos en Mendoza y Bogotá lamentablemente acabaron con muchas vidas y ocasionaron el colapso de muchas edificaciones, esto obligó a la creación e implementación de normas Sismo Resistentes que debían ser de estricto cumplimiento para las construcciones posteriores a la creación de las mismas. Mendoza Argentina cuenta con el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) quien ha desarrollado tres reglamentos: CONCAR 70, NAA 80 e INPRES-CIRSOC 103, este último creado en el año de 1983 y actualizado en 1991; actualmente vigente para todas las obras constructivas Nacionales.

Reglamento INPRES-CIRSOC 103, está conformado por cuatro partes para las construcciones Sismo Resistentes:

- ✚ **PARTE I** - año 2013 - elevado para su puesta en vigencia legal a nivel nacional, CONSTRUCCIONES EN GENERAL.<sup>3</sup>
- ✚ **PARTE II** - año 2005 - en vigencia legal a nivel nacional CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN ARMADO.<sup>4</sup>
- ✚ **PARTE III** - año 1991 - en vigencia legal a nivel nacional CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA.<sup>5</sup>

---

<sup>3-4-5-6</sup> <http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/inpres-cirsoc>

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

### ✚ **PARTE IV** - año 2005 - en vigencia legal a nivel nacional CONSTRUCCIONES DE ACERO.<sup>6</sup>

Argentina cuenta con un mapa de zonificación sísmica ver **Anexo 1**, que está dividido en cinco niveles de peligrosidad sísmica enumerados de cero a cuatro, siendo cero una zona muy reducida y cuatro muy elevada, la ciudad de Mendoza se encuentra ubicada en el más alto nivel de peligro sísmico donde la aceleración máxima del suelo es de 0.35 g, (Aceleración de la gravedad). Los requerimientos Sismo Resistentes son diferentes según el nivel de riesgo sísmico donde se realice la obra, a Mendoza se le aplican requerimientos severos para las construcciones. La provincia de Mendoza se encuentra clasificada en la siguiente zonificación sísmica:

- ✚ Zona I-Sismicidad Reducida : Parte de Malargue
- ✚ Zona II-Sismicidad Moderada: parte de La Paz, parte de San Rafael, Gral Alvear, parte de Malargüe
- ✚ Zona III-Sismicidad Elevada: parte de Lavalle, Tupungato, Rivadavia, Santa Rosa, parte de La Paz, Tunuyán, San Carlos, 16 parte de San Rafael.
- ✚ Zona IV-Sismicidad muy Elevada: Las Heras, parte de Lavalle, Capital, Godoy Cruz, Luján de Cuyo, Guaymallén, Maipú, San Martín, Junín

Bogotá a diferencia de Mendoza se encuentra en un nivel de riesgo sísmico intermedio en donde ocurrieron terremotos importantes a lo largo de la historia. Es a partir del año 1984 donde el gobierno nacional expide la primera reglamentación sismo resistente mediante el decreto 1400, el objeto de este reglamento es normalizar las construcciones para que cumplan con los requisitos mínimos de sismo resistencia para salvaguardar la vida de las personas en caso de un sismo fuerte, en el año de 1998 mediante el decreto 33 se hace la primera actualización al reglamento NSR-98, por último y como normativa actual se hace la segunda actualización a la norma por medio del decreto 926 del 19 de Marzo de 2010, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

---

## Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

Actualmente Bogotá cuenta con un mapa de Microzonificación en el cual se definen las zonas de comportamiento geológico y sísmico ver **Anexo 1** este se encuentra dividido en cinco zonas de riesgo sísmico a las cuales se les ha definido condiciones de diseño para que las construcciones sean sismo resistente, esta microzonificación fue reglamentada mediante el decreto 523 de 2010 que en el artículo uno establece:

*“Adoptar las disposiciones de Microzonificación Sísmica de Bogotá, O.C., de acuerdo con los resultados del estudio de zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá, de conformidad con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, expedido de acuerdo con la Ley 400 de 1997 por medio de sus Decretos 926 y 2525 de 2010, que dentro del presente Decreto se denominará el Reglamento NSR-10. La presente reglamentación tiene carácter obligatorio y es substitutiva de las secciones A.2.4 y A.2.6 del Reglamento NSR-J 0, es aplicable para el diseño y construcción de las edificaciones cubiertas por el alcance establecido en su sección A.1.2.3 y no se podrán aplicar con la versión del Reglamento NSR-98.”*

A lo largo del tiempo la ciudad de Bogotá ha tenido un crecimiento hacia los terrenos de la Sabana que están conformados por suelos blandos que actúan como amplificadores de ondas sísmicas, esto quiere decir que en un sismo los daños en las estructuras pueden ser más graves que los generados en suelos duros o rocosos, del mismo modo los suelos tienen un alto nivel de humedad a poca profundidad, son suelo saturados de agua, que hace más complejo su comportamiento en un evento sísmico. Una gran parte de la ciudad fue construida antes de la expedición del decreto 1400 de 1984, Código de Construcción Sismo Resistente; es importante conocer el grado de vulnerabilidad de la ciudad ante una amenaza sísmica.

### **Importancia de la planificación Urbana Frente a las Amenazas Sísmicas**

Existe una gran pregunta que se hacen las personas que habitan en Mendoza y Bogotá “Estamos preparados para un Terremoto.” Es una pregunta que no tiene una respuesta concreta ya a que nadie sabe de qué magnitud, cuando y donde se producirá un terremoto, aunque los terremotos no se pueden predecir lo que sí se puede es implementar medidas de prevención, planeación y control que eviten que llegado el momento de una catástrofe esta no sea tan grande en destrucción y pérdida de vidas humanas. A raíz de los antecedentes históricos las ciudades de

## **Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

Mendoza y Bogotá cada una teniendo presente su historial sísmico, la magnitud de los terremotos, la interacción con las placas tectónicas, su geología y el nivel de riesgo sísmico donde se encuentran, decidieron adoptar medidas preventiva tales como; la creación y puesta en marcha de normas Sismo Resistentes que tiene como base la geología, el estudio sísmico de su región, la creación de mapas de microzonificación, la caracterización y vulnerabilidad de edificaciones en peligro, de la misma manera estudiando los casos desafortunados de terremotos anteriores de los cuales se vieron forzados a aprender para que cuando ocurra un sismo fuerte en lo posible afecte a la menor parte de la población.

Actualmente Mendoza tiene que mejorar su infraestructura de planificación donde existen construcciones justo por donde pasan ciertas fallas que podrían activarse si ocurriera un terremoto, aunque existen diferentes modos de prevención que se deben tener en cuenta en territorios con riesgo sísmico, como políticas para el desarrollo urbano y la construcción, así como políticas de acción y reacción en el caso de un terremoto. En todo proceso de construcción hay cuatro etapas fundamentales: el diseño estructural, el control, la construcción en sí y el mantenimiento, este proceso hace parte fundamental de la planificación de zonas urbanas que se encuentran bajo amenaza sísmica.

Luego del terremoto de 1861 en la ciudad de Mendoza donde el 80% de la ciudad quedó destruida y el restante no habitables, fue necesario que la ciudad se trasladara al Suroeste, donde franceses e Italianos reconstruyeron la ciudad, pero se genera un gran interrogante, ¿fue planificada la ciudad de acuerdo a los estudios geológicos de riesgo sísmico? En el afán de reconstruir la ciudad y superar la crisis ocasionada por el terremoto se obviaron muchas cosas, también la falta de información geológica con la que si se cuenta hoy en día podría a haber sido de mucha utilidad para mitigar el riesgo en el que hoy se encuentra Mendoza, con el núcleo urbano expuesto al mayor riesgo sísmico del país.

Mendoza en su proceso de planificación de desarrollo urbano de zonas de amenaza sísmica, establece la Ley 8051 de Ordenamiento Territorial de Mendoza, con el fin que la ciudad crezca en infraestructura de manera ordenada y realizando construcciones sismo resistente en lugares autorizados por las entidades estatales, cuando de planificación de desarrollo urbano se trata; no

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

se puede dejar nada a la suerte, se deben tener en cuenta todos los factores que hacen vulnerable una estructura a un terremoto.

Actualmente en Mendoza un grupo de investigadores del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (Ceredetec, de la UTN), trabajan en inspeccionar durante todo el año cinco edificios escolares que tengan diferente tipología estructural, con el fin de utilizar estos datos en la implementación de refuerzos estructurales aplicados a los establecimientos educativos que se encuentran bajo vulnerabilidad sísmica y que permitirá evaluar el grado de seguridad sísmica de estas construcciones. De los casi dos mil edificios escolares que hay en la provincia de Mendoza unos 500 fueron construidos bajo los lineamientos del código de construcción de 1987, ajustándose a la normativa vigente mientras los demás necesitan una revisión. La metodología de estudio se basa en los principios estructurales y arquitectónicos de un edificio, metodología de **Neri Pizarro** donde una vez se detecta que el tipo de construcción puede ser vulnerable se avanza a otra etapa, donde se determina que intervención es la más adecuada, en el estudio se observa que en los años 70 se construían las típicas escuelas con ventanas en la parte superior de los muros, con columnas estrechas, esto genera que el peso del techo ocasione un colapso de la estructura en un sismo fuerte. En el 2015 se repararon con fibra de carbono siete escuelas que fueran afectadas por un sismo ocurrido en ese mismo año, las escuelas tuvieron refuerzos estructurales con fibras de carbono en muros y columnas una de las escuelas a las que se les realizó el refuerzo estructural fue la de Pio XII ubicada en la ciudad de Mendoza.

Parte de la planificación de desarrollo urbano no está centrada solo en las construcciones nuevas o de crecimiento, también está en la evaluación y estudio de las edificaciones existentes, de esta manera se pueden evaluar los terrenos, las estructuras y cuál es la mejor solución para mitigar el riesgo al que se encuentran expuestas. Por otra parte y evaluando la planificación del desarrollo urbano en zonas de amenaza sísmica según el mapa de microzonificación de la ciudad de Bogotá donde los barrios con mayor amenaza sísmica de la ciudad son los siguientes:

 Usaquén

 Teusaquillo

 Puente Aranda

 Barrios Unidos

 Fontibón

## Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

Gran parte de la extensión de la ciudad fue construida antes de la expedición del decreto 1400 de Junio de 1984 o Código de Construcción Sismo Resistente para Colombia, hay que tener en cuenta que dicho código no contempla especificaciones de respuesta local a las ondas sísmicas, como la amplificación de las ondas en suelos blandos o efectos topográficos, es por esto que es necesario conocer el grado de vulnerabilidad de la ciudad de Bogotá ante la amenaza sísmica.

El objetivo de la microzonificación en la ciudad de Bogotá y las áreas de futura expansión es que de acuerdo con la respuesta sísmica local del subsuelo se puedan definir parámetros específicos que debe cumplir el diseño estructural sismo resistente que hace parte de la planificación del desarrollo urbano. En los últimos años Bogotá ha tenido un crecimiento exorbitante en su zona urbana donde no siempre se logra garantizar el cumplimiento a cabalidad de las normas sismo resistente y los estudios geológicos relacionados al nivel de riesgo sísmico de donde se construye, hablemos entonces de un caso puntual donde se presentan inconsistencias relacionadas a la vulnerabilidad sísmica. Existen edificaciones las cuales no deben ser sensibles a fenómenos naturales en caso de un terremoto, están son las instituciones prestadores de salud, las entidades de emergencias como bomberos, defensa civil, instalaciones militares, hidroeléctricas entre otras, lamentablemente algunas de estas entidades no cumplen con las condiciones sismo resistentes exigidas actualmente en Bogotá, muchas de ellas porque fueron construidas mucho antes de que entrara en vigencia la norma Sismo Resistente. *“En la ley 400 (título X, artículo 54), se señala que a las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica.”*<sup>7</sup>

En Bogotá es frecuente los casos de edificaciones con problemas de asentamientos diferenciales, desplomes y hasta daños causados por cargas de ocupación, cargas sísmicas y cargas de viento.

Existen interrogantes relacionados a los problemas mencionados anteriormente y que se ven reflejados en edificaciones existentes. ¿Es mejor demoler, cumplir las normas de plan de ordenamiento territorial o reforzar y aprovechar los derechos ya adquiridos de las edificaciones?

---

7

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

Siempre hay alternativas desde el punto de vista técnico y administrativos, veamos el caso del instituto de cancerología de Bogotá.

### Estudio de Caso

En el 2006 el Instituto Nacional Cancerológico INC emprendió un ambiciosa obra para ampliar, modernizar y corregir algunos problemas estructurales, así como todas las entidades prestadoras de salud IPS están obligadas a reforzar sus estructuras para hacerlas Sismo Resistentes como lo ordenan las leyes 400 del 97, 715 de 2001, y 1151 de 2007, esta última dio un plazo máximo a las IPS a reforzar sus estructuras hasta el 2013, la ley 400 de 1997 establece en uno de sus párrafos lo siguiente:

*“Una edificación diseñada siguiendo los requisitos consagrados en las normas que regulan las construcciones sismo resistentes, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño en elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso.”*

La intervención al Instituto Nacional de Cancerología (INC) es un ejemplo de la adaptación de la estructura a las normas sismo resistentes, se efectuaron estudios de vulnerabilidad sísmica donde los resultados arrojaron que la edificación no cumplía con las normas Sismo Resistentes para el caso de las edificaciones indispensables, dicho estudio consideró un reforzamiento estructural por método convencional, es decir elaboración de muros de corte, concreto armado, aumento de secciones de columnas, aumento de secciones de cimentación, refuerzo de muros de antepecho mediante el confinamiento entre columnas. Es importante resaltar que este tipo de soluciones no es la más adecuada para edificaciones de uso prioritario, las demoliciones, la preparación de superficies, el uso de herramientas mecánicas de vibración y manuales de alto impacto, instalación de formaletas, vaciado y curado de concreto entre otros procesos de obra. Esto genera altos costos, tiempos más amplios de implementación y afectación a terceros como ruido y polvo, por estos motivos el INC detuvo la ejecución de las obras de reforzamiento para buscar alternativas diferentes que garantizaran lo siguiente:

## Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

- ✚ *Que el sistema de refuerzo debía impactar lo menos posible la funcionalidad del INC.*
- ✚ *Causar el menor traumatismo a los trabajadores y usuarios.*
- ✚ *Que la alternativa de reforzamiento a implementar cumpla con todos los requerimientos exigidos en los estudios realizados y en la NSR.*
- ✚ *Que la intervención se realizara en corto tiempo y con un costo de construcción lo más bajo posible.<sup>8</sup>*

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores fue descartado el reforzamiento estructural tradicional y reemplazado por Polímeros Reforzados con fibras (FRP), esta alternativa usada en muchos países para el refuerzo estructural de losas, vigas, columnas, atribuidos a la degradación por factores naturales como los terremotos, factores ambientales, envejecimiento y falta de mantenimiento podría dar los resultados técnicos, logísticos y administrativos requeridos, se realizaron estudios preliminares mediante ensayos de laboratorios de materiales y ensayos acreditados para garantizar la resistencia mecánica y la adherencia de las fibras a los bloques de concreto obteniendo excelentes resultados y dando inicio a la etapa de diseño con las fibras de polímeros. El primer paso fue reemplazar las pantallas de rigidizarían por muros de bloques de concreto confiándolos externamente con fibras de carbono, claro está que calculando las tensiones que asumirían las barras de acero con el sistema compuesto FRP. Para las columnas el estudio determino usar algunas barras de FRP alrededor de ellas para mejorar el comportamiento de carga axial y garantizar su confinamiento de acuerdo a lo exigido por la NSR. Para los antepechos también se usaron fibras de carbono para confinar y anclar la estructura a los elementos de mampostería. Para este tipo de sistemas de reforzamiento denominados sistemas compuestos fue necesario que el INC tuviera la colaboración de empresas especializadas en la producción, comercialización y soporte técnico en Polímeros Reforzados con fibras (FRP). Como es común en este tipo de proyecto se encontró con un inconveniente técnico en uno de los sectores que se estaban reforzando, se descubrió que debajo de un área existía una gran piscina donde anteriormente el instituto almacenaba agua, fue necesario desecar la zona y rehacer las

## Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

columnas desde sus cimientos, para esto se usó concreto reforzado y se le colocaron cinturones de polímeros reforzados con fibra.



Ilustración 2(Refuerzo estructural INC de Bogotá)

[https://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/reforzamiento\\_estructural\\_para\\_reducir\\_la\\_vulnerabilidad\\_sismica\\_de\\_un\\_hospital.asp](https://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/reforzamiento_estructural_para_reducir_la_vulnerabilidad_sismica_de_un_hospital.asp)

Como resultado a este proyecto de reforzamiento estructural se dio una obra más limpia, menor ruido, con menos aumento de áreas, con superficies reforzadas según la necesidad del INC y garantizando el cumplimiento de las normas sísmo resistentes. Parte del desarrollo urbano de una ciudad frente al conocimiento de las amenazas sísmicas es la restauración y conservación de las estructuras existentes que en su momento no fueron construidas bajo los parámetros recomendados por las normas sísmo resistentes.

### Conclusiones

En los últimos años la ciudad de Bogotá ha tenido un crecimiento urbano bastante amplio, lamentablemente no todas las construcciones actuales cumplen con lo establecido en la NSR-10, el estudio de microzonificación de Bogotá y el plan de ordenamiento territorial (POT).

No basta solo con tener una norma sísmo resistente actualizada, también se debe de tener presente un seguimiento a las obras en construcción por parte de las entidades de control, de esta manera se garantiza un poco más la buena práctica y calidad en la ejecución de las obras.

Gran parte de la población de Mendoza y Bogotá se construyó sin contar con la vigencia de una norma sísmo resistentes, parte de la importancia de planificación consiste en que se va a hacer con las las estructuras actuales que no cumplen los parámetros requeridos según su riesgo sísmico, esto es muy importante para disminuir el nivel de riesgo en caso de un sismo fuerte.

## **Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

Aunque los sismos o terremotos no ocurren constantemente, no por esto se debe de estar tranquilos, es más justo porque son fenómenos naturales que ocurren en un largo periodo denominado ciclo sísmico se tiene tiempo para planear un crecimiento urbano que cumpla con las normas Sismo Resistentes en las ciudades de Mendoza y Bogotá.

El conocimiento y estudios geológicos actuales de Mendoza y Bogotá permiten desarrollar leyes o decretos que regulan el crecimiento urbano de estas ciudades. De igual manera el avance tecnológico en materiales de reforzamiento estructural de edificaciones existentes permite la restauración estructural de las mismas, para garantizar un buen comportamiento sismo resistente, de esta manera se podrá reducir el nivel de riesgo de colapso de muchas edificaciones.

Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**



**Bibliografía**

- BAQUERO, A. E. (18 de 10 de 2004). *HISTORIA SISMICA DE BOGOTÁ*. Obtenido de <https://sogeocol.edu.co/documentos/histosisbta.pdf>
- BOGOTÁ, A. M. (16 de 12 de 2010). *ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ*. Obtenido de [www.scg.org.co/.../DECRETO-523-DE-2010-MICROZONIFICACION-BOGOTA.pdf](http://www.scg.org.co/.../DECRETO-523-DE-2010-MICROZONIFICACION-BOGOTA.pdf)
- BOGOTÁ, A. M. (13 de 07 de 2011). *GUIAS DE PATOLOGIAS CONSTRUCTIVAS*. Obtenido de [https://www.elespectador.com/files/pdf\\_files/f938a83978ecae571b3713873fad1224.pdf](https://www.elespectador.com/files/pdf_files/f938a83978ecae571b3713873fad1224.pdf)
- BOGOTÁ, A. M. (12 de 03 de 2016). *TERREMOTOS*. Obtenido de [https://www.fucsalud.edu.co/themes/custom/fucs/images/documentos-FUCS/Cartilla\\_Terremoto.pdf](https://www.fucsalud.edu.co/themes/custom/fucs/images/documentos-FUCS/Cartilla_Terremoto.pdf)
- Buriticá, H. A. (18 de 07 de 2002). *OSSO.ORG*. Obtenido de [http://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/escenarios/documento\\_final.pdf](http://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/escenarios/documento_final.pdf)
- CASTRO, G. E. (11 de 10 de 2010). *FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA*. Obtenido de [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion\\_digital/Suelo\\_Bogota/Zonificacion\\_Respuesta\\_Sismica-FOPAE-2010.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Suelo_Bogota/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE-2010.pdf)
- CONSTRUDATA. (29 de 07 de 2013). *CONSTRUDATA*. Obtenido de [https://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/reforzamiento\\_estructural\\_para\\_reducir\\_la\\_vulnerabilidad\\_sismica\\_de\\_un\\_hospital.asp](https://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/reforzamiento_estructural_para_reducir_la_vulnerabilidad_sismica_de_un_hospital.asp)
- FEDERAL, M. D. (14 de 07 de 2013). *REGLAMENTO INPRES-SIRSOC 103*. Obtenido de <https://sogeocol.edu.co/documentos/histosisbta.pdf>
- INGEOMINAS. (01 de 08 de 1997). *INGEOMINAS*. Obtenido de <http://200.119.88.135/RSNC/index.php/amenaza-sismica/microbogota>

**Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

LOSANDES. (14 de 06 de 2016). *SOCIEDAD LOS ANDES*. Obtenido de

<http://www.losandes.com.ar/article/inician-medicion-de-la-vulnerabilidad-sismica-de-edificios-escolares>

RESISTENTE, R. C. (19 de 03 de 2010). *NSR-10*. Obtenido de

<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>

Romero, F. R. (10 de 05 de 2012). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*. Obtenido de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/8845/1/franciscorosalesromero.2012.pdf>

SUELOS, L. R. (11 de 03 de 2005). *LA RESPUESTA SISMICA DE LOS SUELOS*. Obtenido de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3363/36067-7.pdf?sequence=7>

*Paéz, C. (2014). DETERMINACIÓN DE LA CARGA PERMANENTE DEBIDA AL PESO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE EN EDIFICACIONES DE VIVIENDA.*

**Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO  
URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y  
BOGOTÁ COLOMBIA**



**ANEXOS**

Encabezado. **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA**

**Tectónica de placas Global**

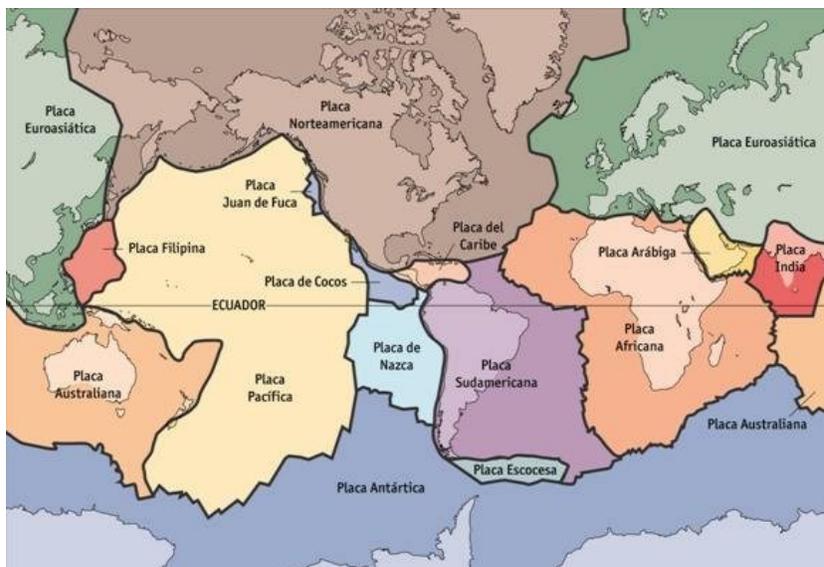


Ilustración 1 (Tectónica de Placas Global, origen: <https://tectoclub2011.wikispaces.com>)

**Tipo de Bordes**

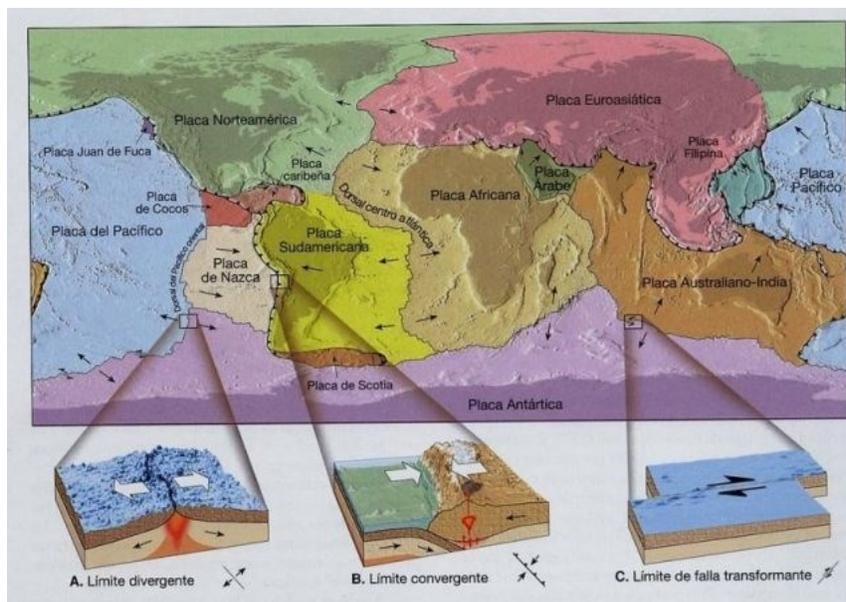


Ilustración 2 (Tectónica de Placas tipo de bordes, origen: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/618-tipos-de-bordes-de-placas>)



# Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

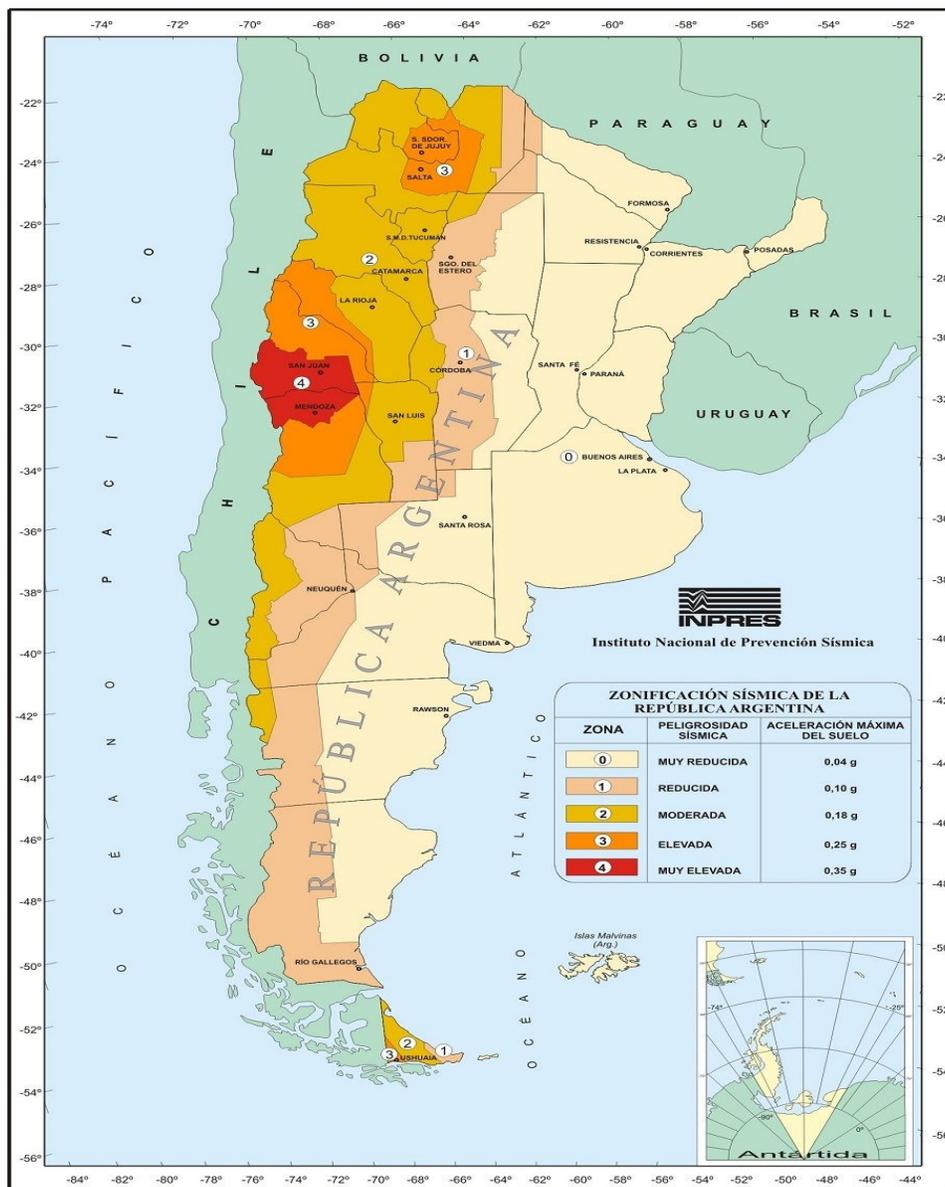


Ilustración 4 (Zonificación Sísmica Argentina)

<http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Reglamentos#Zonificaci%C3%B3n%20S%C3%ADsmica>.

# Encabezado. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA, CASO MENDOZA ARGENTINA Y BOGOTÁ COLOMBIA

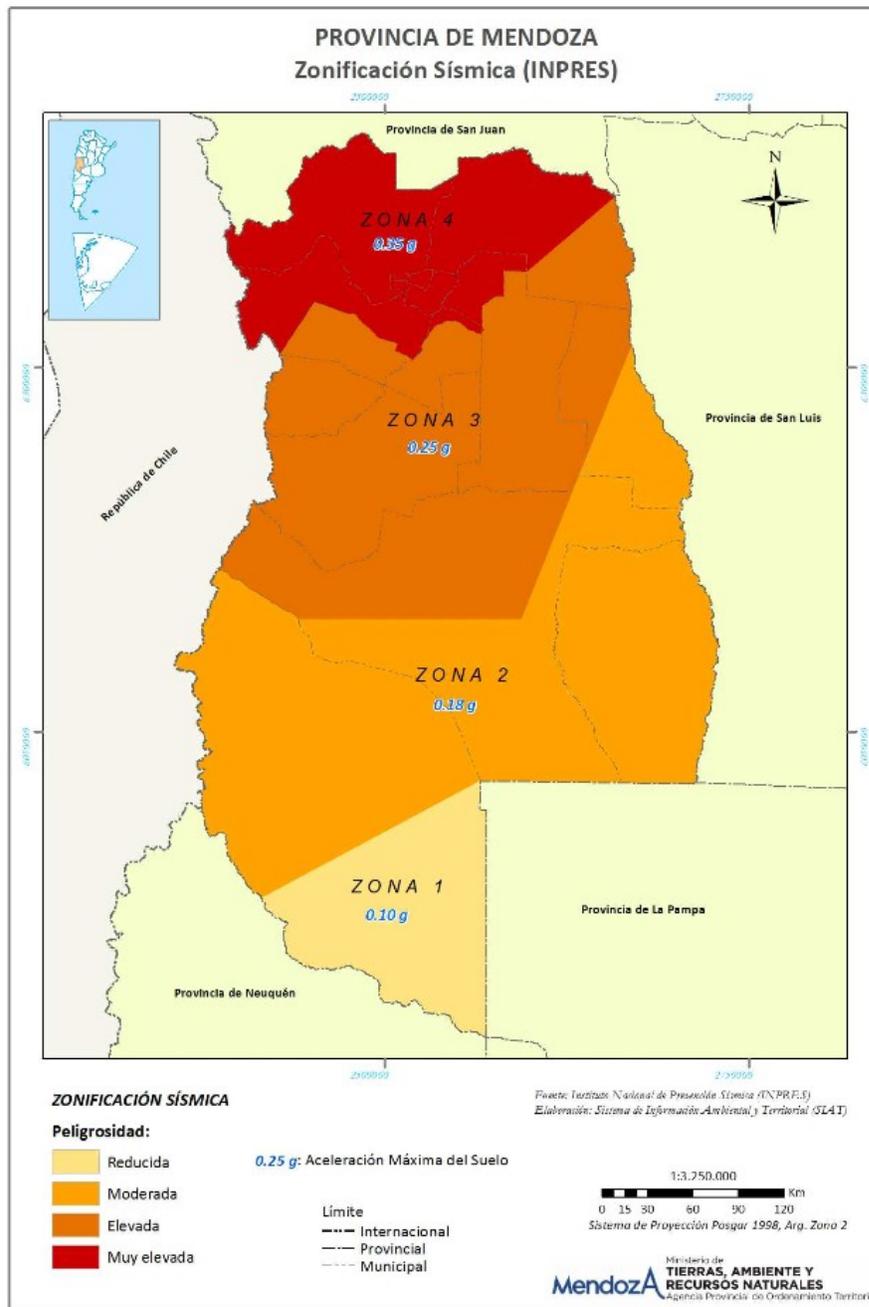


Ilustración 5 (Zonificación Sísmica de Mendoza) <http://www.ambiente.mendoza.gov.ar/organismos/ordenamiento-territorial/agencia-provincial-de-ordenamiento-territorial/siat/mapas-siat/>