

# PREVENCIÓN SÍSMICA, MITIGACIÓN Y RESILIENCIA

Ings. Susana Gea y José Luis García  
Comisión Riesgo Sísmico  
COPAIPA

## 8 de mayo Día Nacional de la Prevención Sísmica – El NOA, una región con centros urbanos de peligrosidad sísmica elevada

Esta fecha fue instrumentada en coincidencia con la creación del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) el 8 de mayo de 1972, con el propósito de contribuir a formar y mantener la conciencia sísmica en todos los niveles de la población.

El INPRES, a través de los estudios provenientes de sismos históricos y de su red de acelerógrafos, determina que parte de las provincias de Salta y Jujuy (que incluye las ciudades capitales) se encuentran en zona de elevada peligrosidad sísmica (Zona 3), como lo grafica en el mapa de zonificación sísmica. La Figura 1 muestra sólo las provincias del NOA, observándose que incluye varios centros urbanos de importancia.

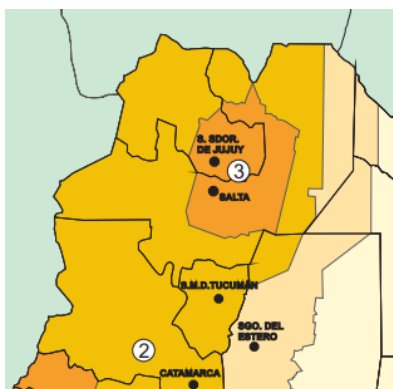


Figura 1 – Recorte del mapa de zonificación sísmica del INPRES

Vale la pena recordar los sismos históricos de esta región, proporcionada por el INPRES, que resumimos tomando sólo aquellos que superan la intensidad VI en la escala de Mercalli modificada (IMM):

Fecha	IMM	Descripción del evento
13 de septiembre de 1692	IX	SALTA: Destruyó el pueblo de Esteco, produjo derrumbes y agrietamientos en las construcciones del valle de Lerma. Se reportaron 11 muertos, durante varios días se sintieron las réplicas.
4 de julio de 1817	VIII	SANTIAGO DEL ESTERO: Los mayores daños se reportaron al norte de la ciudad de Santiago, donde se desplomaron casas y se produjo el agrietamiento del suelo, los temblores duraron alrededor de una semana.
19 de enero de 1826	VII	TUCUMÁN: Produjo daños en las localidades de Candelaria, Trancas, Zárate y El Tala. Fue sentido muy fuerte en las ciudades de San Miguel de Tucumán y Sgo. del Estero. Ocasiónó algunas víctimas en la región de Trancas.

18 de octubre de 1844	VII	SALTA: Afectó la ciudad de Salta, donde se reportaron importantes daños y destrucción en las viviendas, se sintió también muy fuerte en la ciudad de Jujuy. Las réplicas se sintieron hasta 10 días después.
14 de enero de 1863	VIII	JUJUY: Un movimiento de excepcional intensidad y duración se produjo en la ciudad de San Salvador de Jujuy, dañó seriamente las construcciones, en particular la Catedral y el Cabildo.
14 de enero de 1863	VIII	JUJUY: Un movimiento de excepcional intensidad y duración se produjo en la ciudad de San Salvador de Jujuy, dañó seriamente las construcciones, en particular la Catedral y el Cabildo.
9 de octubre de 1871	VIII	SALTA: Un terrible terremoto sacude Orán y todo el norte argentino, reduce a escombros las edificaciones, produciendo la pérdida de muchas vidas.
6 de julio de 1874	VII	SALTA: La ciudad de Orán es afectada por un terremoto, los recuerdos de 1871, produjo un éxodo a las ciudades de Jujuy y Salta, resultaron dañadas las construcciones del Cabildo, hospitales, escuelas y todas las casas del pueblo.
23 de septiembre de 1887	IX	SALTA: Sismo destructivo en la zona limítrofe de Bolivia y Argentina, afectó a las poblaciones de Tarija y Yacuiba en Bolivia; Salvador Mazza y Campo Durán en el norte de Salta.
5 de febrero de 1898	VIII	CATAMARCA: Causó la destrucción de Pomán y pueblos vecinos como Saujil y Mutquín. Fue sentido en las provincias de Salta, Tucumán, Sgo del Estero, La Rioja y norte de Córdoba.
3 de marzo de 1899	VIII	SALTA: Destruyó las poblaciones de Yacuiba (Bolivia) y la hoy llamada Salvador Mazza en Salta, la población huyó a Campo Durán. Su intensidad fue de VIII grados Mercalli
17 de noviembre de 1906	VII	TUCUMÁN: Tafí del Valle y localidades vecinas fueron las más afectadas, hubo agrietamiento y derrumbe de paredes en los edificios. Fue sentido fuerte en toda la provincia
24 de diciembre de 1930	VIII	SALTA: Los daños más importantes se localizaron en La Poma, donde hubo derrumbes y agrietamiento de viviendas. Se informó de 31 muertos y 70 heridos. El sismo fue sentido en todo el noroeste argentino.
25 de agosto de 1948	IX	SALTA: El departamento más afectado fue el de Anta, los mayores daños se reportaron en las localidades de Palomitas, La Trampa, Sta. Rita y Las Pavas, donde se cayeron algunas casas y se formaron grietas en el suelo
12 de mayo de 1959	VIII	SALTA: Las zonas más afectadas fueron los departamentos de Orán y San Martín. En el pueblo de San Andrés, 60 Km. al oeste de Orán, produjo los mayores daños, destruyó viviendas y produjo el deslizamiento de laderas en los cerros.

19 de noviembre de 1973	VII	JUJUY: El evento fue violento y prolongado, causó pánico y lesionados. Los mayores daños se registraron en la zona comprendida entre Santa Clara, Arroyo Colorado, Apolinario Saravia y Las Lajitas. El sismo fue sentido desde Paraguay hasta San Antonio de los Cobres y desde Tartagal a Tucumán.
27 de febrero de 2010	VII	SALTA: Sismo destructivo en el departamento Cerrillos, provincia de Salta. Se reportaron 2 muertos e importantes daños materiales en las construcciones no sismorresistentes
17 de octubre de 2015	VII	SALTA: Terremoto en El Galpón, Salta. Se reportó 1 muerto y 30 heridos. Hubo 170 viviendas dañadas, 20 debieron ser demolidas y otras apuntaladas.

## Mitigación

Todos debemos asumir la seguridad preventiva como una norma de vida para saber actuar ante este tipo de siniestros. Aunque todavía no se pueda predecir la ocurrencia de los terremotos a fin de disminuir las víctimas, los conocimientos científicos y tecnológicos disponibles en la actualidad son suficientes para prevenir gran parte de los efectos de aquellos eventos desastrosos.

Por eso se aconseja adoptar medidas preventivas tendientes a proteger de la acción sísmica tanto la vida humana como todo lo que el hombre construye para su confort. Para ello todo el ambiente creado por el hombre debe poseer un diseño adecuado, tanto en el aspecto edilicio como en el urbano, y una construcción segura.

La prevención sísmica, incluido el diseño sismorresistente de las construcciones, constituye una serie de medidas de mitigación. Es decir, medidas previas a un sismo que harán que sus consecuencias sean menos devastadoras.

La Filosofía de Diseño Sismorresistente de las normas argentinas (Figura 2) sostiene que la construcción (a) no sufrirá daño si el sismo es leve, (b) podrá haber daño en elementos no estructurales para intensidad moderada, y (c) si esta es elevada, se espera daño a los elementos estructurales, no estructurales y contenidos, previniendo el colapso.

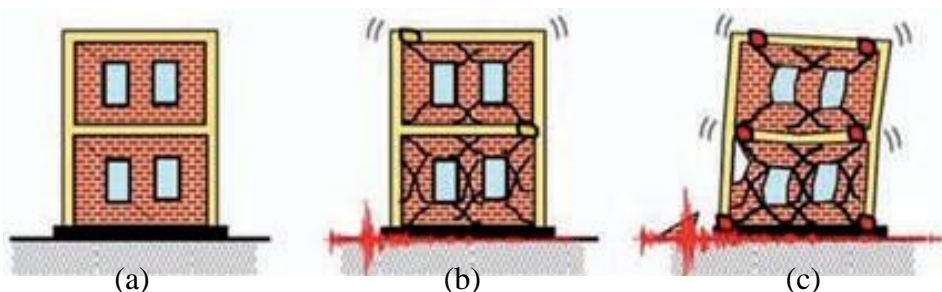


Figura 2. Filosofía de Diseño Sismorresistente de la normativa actual

Este es **el paradigma de la preservación de la vida**, que seguramente conducirá a daños y estos a pérdidas económicas directas (costo de las reparaciones de elementos no estructurales y contenidos de edificio tales como mobiliario, tabiquería, cielos rasos, redes de

agua potable, equipamiento eléctrico y mecánico, etc.) y a pérdidas indirectas (periodo de inactividad mientras que el edificio esté fuera de funcionamiento). Esto puede impactar en la recuperación de las comunidades por años o incluso décadas después de un terremoto. Es necesario recordar que el terremoto de Kobe de 1995 en Japón ( $M_w=6,8$ ) produjo pérdidas económicas por 166.000 millones de dólares, a pesar de su relativamente moderada magnitud.

Este y otros terremotos recientes (incluido el de Christchurch en Nueva Zelanda, de moderada magnitud) confirman que la vulnerabilidad más importante no es la seguridad de la gente (gracias al reglamento), sino las pérdidas económicas directas debidas al daño y las pérdidas indirectas, incluyendo las pérdidas de la comunidad, de la cultura y la pérdida de la calidad de vida.

La Figura 3 muestra la incidencia, en los costos de la construcción, de los elementos estructurales, no estructurales y contenidos en distintos tipos de edificios.

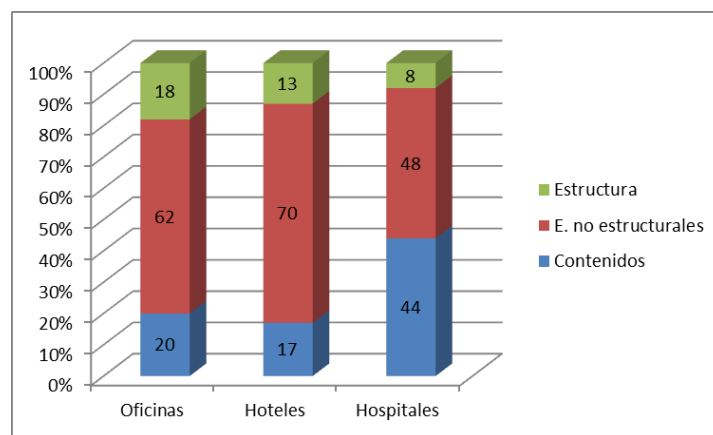


Figura 3. Costos de inversión en edificios

El reglamento sin duda hace un buen trabajo salvando vidas, pero debemos preguntarnos los ingenieros, incluso desde el punto de vista ético, qué clase de vida queda para los sobrevivientes y si podría lograrse algo mejor con un mínimo costo adicional.

Es indudable que los sistemas de protección sísmica en general, como los aisladores y disipadores, son tecnologías ampliamente probadas teórica y experimentalmente, y además su comportamiento ante terremotos severos ha sido excelente. Ello sin agregar grandes costos a la construcción.

En particular, el objetivo de la aislación sísmica es reducir la cantidad de energía que pasa del suelo a la estructura y consecuentemente se puede lograr:

- Reducción del daño estructural.
- Protección de los contenidos.
- Continuidad ocupacional.
- Reducción del pánico de los ocupantes.

Recordemos que el daño en los contenidos afecta la funcionalidad de los edificios y ocurre a intensidades sísmicas menores; la falla podría representar riesgo a la vida y la reparación es costosa ya que corresponden a un alto porcentaje del costo de construcción. Es por esto que

los sistemas de protección sísmica constituyen, de esta manera, una alternativa más que válida a la construcción sismorresistente tradicional, posibilitando el tránsito hacia el diseño sísmico resiliente. (Figura 4)



Figura 4. Sistemas de protección sísmica: aislador (izq.) y y disipador (der.)

### Una comunidad sísmicamente resiliente.

En el párrafo anterior hicimos mención al término resiliencia. En el campo de la ingeniería se define este término como la capacidad de un sistema para mantener su funcionalidad y de degradarse controladamente frente a cambios internos y externos, avanzando hacia un estado previo de estabilidad en el tiempo más corto posible y con un costo mínimo.

En ingeniería estructural, la resiliencia sísmica consta de tres características: ductilidad, redundancia y recuperación. Hoy, un proyecto que cumple con las normas sísmicas en vigencia garantiza las dos primeras.

Pero la resiliencia sísmica estructural exige también un corto período de recuperación edilicio, el cual sólo es posible si la estructura no sufre daño, o este es muy pequeño. Sino, la recuperación puede llevar meses o años. El énfasis entonces debe ser puesto en el uso de los sistemas de protección sísmica, especialmente de los aisladores, como medida básica de mitigación. (Figura 5)

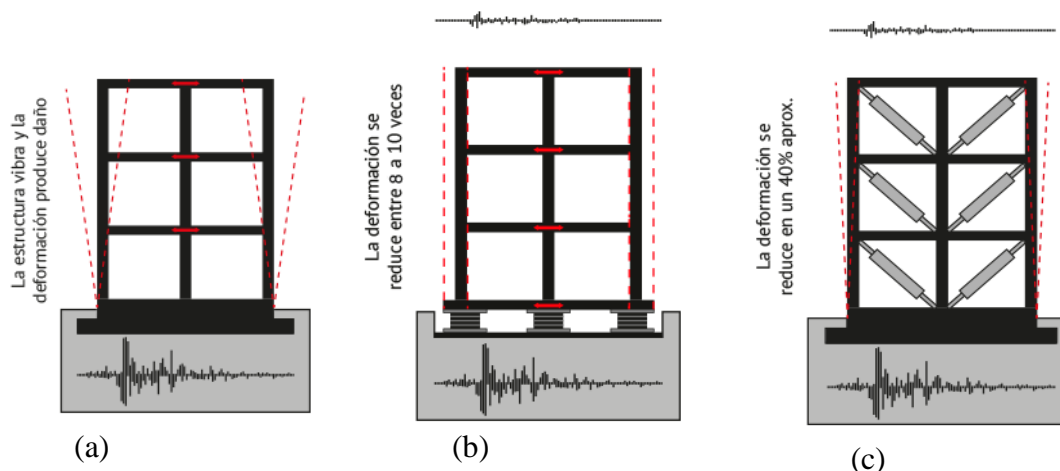


Figura 5 – Comportamiento de una estructura: (a) tradicional, (b) aislada y (c) con disipadores

Debemos considerar que cuando hablamos de recuperación, el desarrollo estructural también debe tener en cuenta operaciones de evacuación y rescate, y facilitar a través del diseño estas tareas en caso de ser necesarias.

En realidad, la resiliencia debe ser estudiada a nivel global, no individual. Frente a un sismo destructivo, deberían ser alcanzados cuatro tipos de resiliencia: técnico (relacionado con la capacidad de un sistema de llevar a cabo su funcionalidad), organizacional (describe la habilidad de la comunidad para manejar el sistema), social (por ejemplo cuán bien enfrenta la sociedad un corte generalizado de suministro eléctrico) y económico (capacidad de reducir las pérdidas directas e indirectas).

Una comunidad sísmicamente resiliente es aquella que puede soportar un terremoto destructivo con un nivel tolerable de pérdidas y es capaz de llevar adelante medidas de mitigación consistentes en alcanzar ese nivel de protección.

La resiliencia de la comunidad considera el proceso de recuperación también incluyendo el comportamiento de los individuos y las organizaciones en la etapa post desastre.

Por último, consideramos necesario reflexionar acerca de que el objetivo de una comunidad resiliente a sismos sólo podrá alcanzarse si incluimos medidas de mitigación fundamentales:

- Educación en prevención sísmica.
- Evaluación y refuerzo de sistemas de agua potable, cloacas, tendidos eléctricos y sistema de distribución de gas.
- Desarrollo de un sistema de respuesta y recuperación.
- Evaluación y refuerzo de hospitales y escuelas.
- Evaluación y reducción de la vulnerabilidad de redes de comunicación.
- Evaluación de la seguridad de los edificios patrimoniales.

Concluimos de este último párrafo que los habitantes del NOA debemos abordar y recorrer un camino de gran responsabilidad, con el aporte técnico de profesionales competentes a un sistema estatal que aún no despierta a una realidad, cuyos indicios muestran periódicamente sismos como los ocurridos históricamente en la provincia.

## **Bibliografía**

Cimellaro, G. *New trends on resiliency research*. 16th World Conference on Earthquake Engineering, Chile, 2017.

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas.

Giuliano A. *Hacia un cambio de paradigma en ingeniería sísmica: De seguridad de vida a resiliencia*. Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas, CIMOP. 2017

<https://copaipasalta.wixsite.com/sismos>

<https://www.uncuyo.edu.ar/ices/dia-nacional-de-la-prevencion-sismica>

Miranda, E., and Taghavi, S. 2003. *Estimation of seismic demands on acceleration-sensitive non-structural components in critical facilities*. ATC-29-2 Report, Applied Technology Council, California.

Vial I. *Resiliencia y protección sísmica. Ingeniería y construcción 4.0*. Perú, 2017.

### **Créditos de figuras:**

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

2. Giuliano A. *Hacia un cambio de paradigma en ingeniería sísmica: De seguridad de vida a resiliencia*. Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas, CIMOP. 2017

4. (izq.) <https://www.coinesed.com.pe/el-empleo-de-aisladores/>

4. (der) <http://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>

5. <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2017>