

Asamblea General de Naciones Unidas
Día Internacional en Memoria de las Víctimas de los Terremotos
Construyendo Resiliencia:
Evolución de la ingeniería sísmica en Chile
Tomás Guendelman

I. Introducción: Cultura Sísmica

Esta charla no es una exposición técnica. Solo pretende, a través de analogías, incorporar conceptos de “cultura sísmica” a la población de un país muy expuesto a terremotos severos y que, tal vez, no está cabalmente preparada para convivir con ellos.

Los terremotos chilenos de gran magnitud son materia de análisis en todos los países expuestos a estos eventos, mal llamados “desastres naturales”, que deberían denominarse “eventos naturales”, porque son la expresión de un “parto de la madre tierra”.

Los eventos naturales no se limitan exclusivamente a los de carácter sísmico; también incluyen las erupciones volcánicas, los aludes de nieve, los huracanes y tornados, los desbordes de ríos y tantos otros fenómenos que pueden causar daños significativos.

Es importante precisar que estos desastres no significan que la naturaleza sea perversa, sino que los seres humanos interferimos negativamente con ella.

En el país ocurre un sismo de Magnitud Richter superior a 7.5 cada 6.5 años, en promedio, con un maremoto vez por media, razón suficiente para entender que el sismo de diseño, siendo de naturaleza probabilística, se puede estimar razonablemente con pronósticos, no con predicciones. Es decir, debe apoyarse sobre bases estadísticas confiables.

Pero el ser humano olvida. Siempre olvida. A medida que pasan los años y los temblores se diluyen en la memoria, la exigencia se relaja. Los muros se adelgazan, los estándares se flexibilizan, la prudencia cede ante la economía. He visto cómo se pasó de espesores de muros de cuarenta centímetros a muros

de veinte, y luego a estructuras donde el hormigón casi parece una ilusión. El terremoto de 1985 y más tarde el de 2010 evidenciaron esas liviandades.

El sismo de 2010 mostró con crudeza una paradoja normativa: nuestras reglas estaban diseñadas para evitar el colapso total y salvar vidas, lo cual se logró en gran medida. Pero muchas viviendas quedaron inutilizables: puertas trabadas, vigas deformadas, familias desplazadas.

Se evitó la muerte, pero no el desarraigo. Y recuerdo haber dicho, con cierta ironía amarga, que quien pasó treinta años pagando su casa terminó viviendo de allegado en casa de un familiar. Perdió su hogar, ganó incomodidad y perdió autoestima.

Vivir en un país sísmico significa aceptar que el desarrollo científico y técnico es un proceso continuo. Cada norma aprobada envejece en el mismo instante en que se publica. La ingeniería avanza, se corrige, aprende de sus errores, pero más allá de las normas técnicas, afecta a la conducta humana. El pánico mata tanto como la estructura mal diseñada. La falta de educación amplifica los efectos.

He sostenido siempre que la educación es la piedra angular de todo sistema. Retírela y el castillo se derrumba. Si una persona comprende lo que debe hacer durante un sismo, si sabe dónde ubicarse, qué objetos evitar, cómo mantener la calma, ya hemos reducido una parte importante del peligro.

En Chile es importante saber convivir con la vibración del suelo. Cada nuevo terremoto nos recuerda nuestra fragilidad. Si ocurrieran con mayor lejanía, olvidaríamos por completo la lección y repetiríamos errores sistemáticamente. La frecuencia relativa mantiene una alerta latente.

Cuando percibimos que está temblando nos preguntamos si será “el grande”, aquel que los sismólogos están esperando y que, con un margen de error de decenas de años, se puede asegurar que nos visitarán. En ese instante volvemos a mirar las normas, los planos, las estructuras.

Sin embargo, no basta con confiar en la inercia del susto. Necesitamos planificación consciente, responsabilidad sostenida.

Lo propio debe ser considerado para las olas de delincuencia, de vandalismo y de otros flagelos sociales que, como en el caso de las normas sísmicas, nos

conducen a revisar las disposiciones legales en las que se podría encontrar la explicación de las debilidades que las ampara.

Estos desastres sociales son de la misma naturaleza estructural de un muro mal armado. Un país no se sostiene solo con cemento y acero; se sostiene con cultura.

Siempre me ha gustado una imagen simple: si a un litro de agua le agrego dos gotas de pintura roja, el líquido se vuelve rosado. Dos gotas cambian el todo.

¿Cómo entonces dos gotas de cultura no van a demostrar que la ignorancia es más cara que la educación?

He dedicado parte de mi vida a insistir en esto, con mis limitaciones, con mis herramientas imperfectas. Educar no es solo transmitir conocimientos técnicos; es formar criterio, responsabilidad, serenidad ante la crisis. Vivir en un país sísmico no es una maldición; es una condición que exige madurez.

No podemos detener los terremotos. Pero sí podemos decidir cómo nos preparamos para ellos. Podemos reforzar estructuras físicas y estructuras mentales.

Podemos educar para que el miedo no se convierta en pánico.

Podemos asumir que la naturaleza no negocia, pero nosotros sí podemos organizarnos frente a ella.

Vivir en un país sísmico es, en el fondo, aprender a convivir con la incertidumbre sin perder la razón. Es aceptar que el suelo puede moverse en cualquier momento y, aun así, construir con dignidad. Es saber que la cultura es la verdadera estructura antisísmica de una nación.

Es muy positivo observar que el sismo en Punitaqui, en febrero de este año, causó poco daño en esa localidad, lo que se debe, fundamentalmente, a que los habitantes de la zona se cultivaron y que redujeron la vulnerabilidad de sus construcciones, al evitar reconstruir en adobe.

II. Algunas analogías conceptuales

1. ¿Por qué es necesaria la cultura sísmica?
 - Imaginemos que los habitantes de Miami ignoraran la acción de huracanes que los visitan cada año. Sería desastroso.
 - ¿Y en un país sísmico sin cultura sísmica? ¡¡Ni pensarlo!!
2. ¿Qué es un terremoto?
 - Dos equipos humanos compiten en el juego de arrastrar al oponente tirando una cuerda en sentidos opuestos.
 - Cuando uno de los dos grupos cede, se produce la caída generalizada. Este es el fenómeno vibratorio en un terremoto con posterioridad a la ruptura profunda, denominado Rebote Elástico.
 - La acción sísmica se debe a aceleración impresa en la base de la estructura que genera fuerzas en las masas ubicadas en altura, de acuerdo a la segunda ley de Newton.
3. ¿Por qué usamos muros de rigidez en nuestros edificios?
 - Juntemos diez libros, uno al lado del otro, y apretemos el conjunto completo conformando una especie de bandeja, de modo de que sean capaces de resistir el peso de lo que pongamos sobre ellos, como si se tratara de un cuerpo monolítico.
 - En el caso de una estructura de muros agrietados, se produce el mismo efecto, porque el peso de lo que está encima de la grieta provoca una compresión, equivalente en vertical a lo que se logra con los libros en horizontal. Esto explica por qué no colapsan y es una de las razones del éxito de la modalidad chilena al emplear muros de corte en lugar de pórticos constituidos por columnas y vigas. Esta modalidad ha sido internacionalmente reconocida y se le denomina “Edificio Chileno”.
4. Aislación basal
 - Los efectos de un sismo no son percibidos en un avión en pleno vuelo, pero basta que se pose en la pista de aterrizaje para que quede expuesto.
 - En otras palabras, pese a que este ejemplo es extremo, es fácil apreciar que el grado de compromiso entre el soporte (suelo) y el soportado (estructura), provoca una aislación como es el caso del avión y el suelo.

5. Disipación de energía

- El inflado de un globo origina una presión en permanente aumento, hasta que el globo revienta, pero basta pincharlo en algunos puntos para que el inflado también provoque el aumento del diámetro de las perforaciones y llegará el instante en que el aire insuflado se iguala al que sale por las perforaciones, por lo que las presiones no continuarán creciendo.

6. Resiliencia

- Un oso de peluche que lo apretamos vuelve siempre a su forma original, efecto que se suele denominar “memoria de forma”. En el caso de una estructura, al incorporar criterios de resiliencia en su diseño y construcción, seguirá operativa después de una severa sollicitación sísmica.

7. Riesgo, vulnerabilidad y peligro

- Pensemos en una persona caminando en una calle oscura y solitaria.
- En este evento se conjugan Riesgo con Vulnerabilidad.
- El Riesgo se asocia al tránsito por esa calle.
- La Vulnerabilidad, a exhibir elementos de valor (celular, reloj).
- El Peligro, es el efecto conjunto de las dos anteriores.
- Con estos conceptos se concluye que las obras de ingeniería deben contar con estudio de Riesgo Sísmico del sitio y con un adecuado Criterio de Diseño para evaluar la Vulnerabilidad y estimar el Peligro.

8. Continuidad de la Operación y Daño Emergente

- El Aeropuerto de Santiago sufrió severos daños en elementos no estructurales, debidos al sismo de 2010.
- La filosofía de diseño imperante en la norma sísmica de la época, solo contemplaba ausencia de colapso (protección de la vida).
- Los considerables efectos de este siniestro condujeron a cambios normativos orientados a la Continuidad de la Operación, evitando el daño de los contenidos.
- Lo propio podría ocurrir si en la sala de Control de una usina se cae un cielo falso sobre los computadores, que podrían quedar fuera de servicio por lapsos económicamente inaceptables.

III. Las lecciones de los terremotos se incorporan en las normas

- El Terremoto Magno del 13 de mayo de 1647 en Santiago es reconocido como el mentor de la ingeniería sismorresistente. Fue muy severo y destructivo e inspiró comportamientos responsables hacia adelante, pero como ocurre habitualmente, con el tiempo, los éxitos suelen provocar conductas desprolijas, propias del “triumfalismo”.
- El Terremoto de Talca de 1928 dio lugar a la promulgación de la Ley General de Urbanismo y Construcciones en 1931, que obligaba a considerar fuerzas horizontales en el cálculo de edificios, basándose en normativas incipientes de Alemania e Italia.
- El terremoto de Chillán de 1939 causó graves daños materiales y miles de víctimas humanas. Se habían olvidado las lecciones que nacieron en 1647.
- Años después, en 1968, surge la norma sísmica provisoria NCh433, oficializada en 1972, considerada como la primera norma sísmica de Chile y una de las primeras en el mundo en incorporar conceptos modernos de diseño antisísmico.
- El terremoto de Valdivia de 1960 —el más grande registrado en la historia— estableció la filosofía de diseño que ha prevalecido por más de medio siglo, señalando que las estructuras deben resistir sismos moderados sin daños y sismos excepcionalmente severos sin colapso, protegiendo la vida humana sobre la propiedad. De sus lecciones surge la versión de la norma NCh433 de 1996, a la que se debe que la infraestructura chilena se comportara de manera ejemplar durante las décadas siguientes.
- En 2003 surgió la primera versión de la norma sísmica NCh2369 para instalaciones industriales. Esta norma ha sido recientemente actualizada y ya es oficial de la República.
- El terremoto de Maule ocurrido el 27 de febrero de 2010, reveló vulnerabilidades en edificios modernos de hormigón armado.
- Poco después se dictaron los Decretos Supremos N°60 y N°61 que se integraron a la referida norma, dando lugar a su versión modificada.
- En 2026 se actualizó la norma NCh433, que consolida la experiencia sísmica chilena sin representar un cambio disruptivo en la práctica profesional, manteniendo su enfoque en estructuras de hormigón

armado. Su objetivo es perfeccionar el diseño sísmico frente a fenómenos tectónicos, sin incorporar materias de tsunamis o vulcanismo.

- En esta actualización se incorporaron los conceptos de Resiliencia, lo que permite transitar de la simple prevención de colapso a la continuidad operacional. Esto implica un control más riguroso de daños no estructurales (tabiquería, instalaciones) y la estabilidad de sistemas críticos.
- Es importante destacar que la resiliencia no se privilegia por sobre la resistencia; ambas son complementarias. La resistencia garantiza la integridad estructural (evitar el colapso), mientras que la resiliencia asegura la funcionalidad post-sismo.
- A las normas fundamentales relacionadas con el diseño antisísmico, se integran otras normas especializadas, tales como la que regula el diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales; otra orientada a asegurar la estabilidad de estanterías; dos normas que establecen los requisitos para el diseño de aisladores basales y disipadores de energía, entre las más importantes.
- A esta fecha, tanto la norma NCh433 como la NCh2369 mantienen la coherencia con los principios fundamentales de la ingeniería sísmica nacional, alejándose de copias de códigos extranjeros.

IV. Reflexiones finales

Debemos combatir, hasta desterrar, la idea de que el cálculo estructural y el diseño antisísmico, junto a la revisión de proyectos, son “lujos asiáticos”, muy caros y que se realizan sólo porque así lo exige la ley.

Tendremos la visita de muchos nuevos sismos, medianos y grandes, de tanto en tanto, incluso, mucho más temprano que tarde, cuando la herida que nos dejó aquel último no esté completamente cerrada.

Las lecciones de un sismo severo conducen, casi siempre, a la actualización de las disposiciones normativas, pero eso es insuficiente, porque si no se logra una rápida reposición de los servicios estratégicos y si no se disponen los recursos económicos para la recuperación de las viviendas dañadas, el éxito de la filosofía del diseño sísmico quedará en entredicho.