

Capítulo 3

Aprender del desastre: terremotos, innovación tecnológica y cultura ingenieril en Chile

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos

Álvarez Sepúlveda, H. A., & Benoit Ríos, C. G. (2026). Aprender del desastre: terremotos, innovación tecnológica y cultura ingenieril en Chile. En F. J. Manjarrés Arias (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen II)*. (pp. 74-88). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.433.c929>



03

Aprender del desastre: terremotos, innovación tecnológica y cultura ingenieril en Chile

Resumen

Este capítulo analiza la relación entre terremotos, innovación tecnológica y cultura ingenieril en Chile, considerando cómo las catástrofes han influido en el desarrollo de la ingeniería sísmica y en la consolidación de normativas orientadas a la reducción del riesgo. El análisis se basa en una revisión de alcance de literatura especializada, desde un enfoque cualitativo e interpretativo, inscrito en un paradigma humanista-crítico y un diseño narrativo de tópico. Se examinan tres dimensiones: el papel de los terremotos como impulsores de aprendizaje técnico, la institucionalización del conocimiento mediante normativas antisísmicas y la construcción de una memoria tecnológica del desastre. Se sostiene que la experiencia histórica del desastre ha actuado como motor de aprendizaje institucional, consolidando una ingeniería orientada a la seguridad estructural en contextos de alta amenaza sísmica. En conclusión, la experiencia sísmica ha configurado una cultura ingenieril basada en aprendizaje histórico, innovación técnica y resiliencia.

Palabras clave: Ingeniería sísmica; Terremotos; Innovación tecnológica; Gestión del riesgo; Chile.

Introducción

Chile es uno de los países más sísmicamente activos del mundo debido a su ubicación en el borde convergente entre las placas de Nazca y Sudamericana, una zona tectónica caracterizada por una intensa actividad sísmica. A lo largo de su historia republicana, terremotos, tsunamis y otras catástrofes naturales han marcado profundamente la experiencia social del país, generando importantes pérdidas humanas y materiales, pero también impulsando procesos de aprendizaje institucional y avances significativos en el campo de la ingeniería y la planificación territorial (Lomnitz, 2004).

Desde la perspectiva de los estudios sobre desastres, estos eventos no deben entenderse únicamente como episodios de destrucción, sino también como momentos críticos que revelan las vulnerabilidades de las sociedades y que estimulan transformaciones en los sistemas técnicos, normativos e institucionales orientados a la reducción del riesgo (Bankoff et al., 2004; Comfort, 2007; Alexander, 2013). En este sentido, los desastres pueden funcionar como catalizadores de innovación tecnológica y de reorganización institucional, ya que obligan a revisar las prácticas de diseño, construcción y planificación urbana.

En el caso chileno, terremotos como los de Chillán (1939); Valdivia (1960) y Maule (2010) han desempeñado un papel clave en la evolución de la ingeniería estructural y en el desarrollo de normativas antisísmicas reconocidas internacionalmente. El análisis de los daños producidos por estos eventos ha permitido mejorar progresivamente las prácticas de diseño y construcción, contribuyendo a consolidar una cultura ingenieril orientada a la resiliencia y a la seguridad estructural (Lomnitz, 2004; Saavedra et al., 2022).

En este contexto, surge la pregunta que orienta el presente ensayo: ¿de qué manera las grandes catástrofes han contribuido a transformar la cultura ingenieril y el desarrollo de la ingeniería antisísmica en Chile? Para responder a esta interrogante, se examinan tres dimensiones principales: el impacto de los terremotos en el desarrollo de la ingeniería estructural, la institucionalización del conocimiento técni-

co mediante normativas de construcción antisísmica y la construcción de una memoria tecnológica del desastre que ha moldeado la cultura ingenieril del país.

Metodológicamente, este capítulo se desarrolla a partir de una revisión de alcance de literatura especializada en historia de los desastres, ingeniería sísmica, estudios sociotécnicos e investigación sobre gestión del riesgo, con énfasis en la experiencia histórica de Chile como territorio altamente expuesto a terremotos. Para ello, se analizaron fuentes académicas provenientes de bases de datos como Scopus, Scielo y Google Académico, junto con estudios clásicos sobre sismicidad chilena, ingeniería estructural y sociología de los desastres.

El estudio se inscribe en un enfoque cualitativo-interpretativo y adopta un diseño narrativo de tópico, sustentado en un paradigma humanista y crítico que privilegia la comprensión histórica de los procesos mediante los cuales las sociedades transforman las experiencias de catástrofe en conocimiento técnico e institucional. Este andamiaje metodológico permitió examinar cómo los terremotos han actuado como catalizadores de aprendizaje tecnológico, impulsando avances en el diseño estructural, en la institucionalización de normativas antisísmicas y en la construcción de una memoria tecnológica del desastre que ha configurado la cultura ingenieril chilena. Del mismo modo, este enfoque posibilita proyectar reflexiones orientadas a comprender el papel del conocimiento histórico del riesgo en el desarrollo de infraestructuras más resilientes y en la formulación de políticas públicas capaces de enfrentar los desafíos que imponen los desastres naturales en contextos de creciente urbanización y cambio ambiental.

Terremotos y aprendizaje técnico: el impulso histórico a la ingeniería sísmica

Los grandes terremotos que han afectado a Chile han desempeñado un papel decisivo en el desarrollo del conocimiento científico y técnico sobre el comportamiento estructural frente a movimientos sísmicos.

micos. En un territorio caracterizado por una alta recurrencia de eventos sísmicos de gran magnitud, cada catástrofe ha revelado debilidades en los sistemas constructivos existentes y ha generado oportunidades para mejorar los criterios de diseño estructural. De esta manera, los desastres han funcionado como momentos de evaluación crítica que permiten identificar fallas en las edificaciones y desarrollar nuevas soluciones técnicas orientadas a aumentar la seguridad estructural y la resiliencia de las infraestructuras (Lomnitz, 2004; Saavedra et al., 2022).

Uno de los hitos más relevantes en este proceso fue el terremoto de Chillán de 1939, considerado una de las catástrofes más devastadoras del siglo XX en Chile. El evento provocó la destrucción de gran parte de la ciudad y dejó más de veinte mil víctimas, lo que generó una profunda crisis nacional y evidenció la fragilidad de numerosas edificaciones construidas sin criterios antisísmicos adecuados. La magnitud del desastre impulsó una serie de transformaciones institucionales y técnicas orientadas a mejorar la seguridad de las construcciones y a fortalecer las capacidades del Estado en materia de planificación urbana y regulación del sector de la construcción. Asimismo, este acontecimiento estimuló el desarrollo de investigaciones científicas sobre comportamiento sísmico de materiales y estructuras, consolidando el interés por el estudio sistemático de la ingeniería sísmica en el país (Lomnitz, 2004; Romero y Vergara, 2022).

Posteriormente, el terremoto de Valdivia de 1960 —con una magnitud de 9,5, el mayor registrado instrumentalmente en la historia moderna— constituyó otro punto de inflexión para la ingeniería chilena. La magnitud de la catástrofe y sus efectos en amplias zonas del territorio impulsaron el desarrollo de estudios geofísicos, geotécnicos y estructurales que permitieron avanzar significativamente en la comprensión de los fenómenos sísmicos. Las investigaciones derivadas de este evento contribuyeron a mejorar los métodos de análisis estructural y a perfeccionar los criterios de diseño antisísmico aplicados en la construcción de edificios e infraestructuras (Plafker y Savage, 1960; Mönckeberg y Atarama, 2024).

A partir de estos procesos, siguiendo a Romero y Vergara (2022), la ingeniería chilena comenzó a consolidar una tradición técnica orientada a la mitigación del riesgo sísmico. El análisis detallado de los daños producidos por terremotos permitió identificar patrones de falla estructural y desarrollar soluciones constructivas más seguras. Este aprendizaje acumulado se tradujo en avances significativos en el diseño estructural y en el desarrollo de normativas técnicas cada vez más rigurosas. Como resultado, la ingeniería sísmica chilena ha llegado a ser reconocida internacionalmente por su capacidad para diseñar edificaciones capaces de resistir eventos sísmicos de gran magnitud.

En este sentido, los terremotos pueden entenderse como verdaderos laboratorios de aprendizaje, donde el comportamiento real de las estructuras frente a eventos extremos proporciona información invaluable para el desarrollo del conocimiento técnico. El estudio de estas experiencias ha permitido mejorar progresivamente las prácticas de diseño y construcción, fortaleciendo la capacidad de la ingeniería para enfrentar los desafíos asociados a la permanente amenaza sísmica que caracteriza al territorio chileno.

Institucionalización del conocimiento y desarrollo de normativas antisísmicas

El aprendizaje técnico derivado de los desastres sísmicos en Chile ha trascendido el ámbito estrictamente científico, materializándose en procesos de institucionalización del conocimiento mediante normativas, regulaciones y estándares de construcción. En un territorio caracterizado por una alta recurrencia de eventos sísmicos, la experiencia acumulada ha permitido transformar el conocimiento empírico en marcos regulatorios orientados a reducir la vulnerabilidad del entorno construido y fortalecer la seguridad estructural de las edificaciones (Lomnitz, 2004; Tierney, 2025).

Este proceso se consolida a lo largo del siglo XX, particularmente a partir de eventos críticos como los terremotos de Chillán (1939) y

Valdivia (1960), los cuales evidenciaron la fragilidad de las construcciones de adobe y la ausencia de criterios normativos homogéneos. A partir de estos desastres, el Estado chileno comenzó a incorporar de manera progresiva exigencias técnicas en el diseño estructural, incluyendo criterios de cálculo, selección de materiales y sistemas constructivos orientados a disipar la energía sísmica. De este modo, la normativa antisísmica se configuró como una respuesta directa a la experiencia del desastre, articulando conocimiento científico, regulación estatal y práctica profesional (Lomnitz, 2004; Romero y Vergara, 2022).

Durante las décadas siguientes, este desarrollo normativo se vio reforzado por la consolidación de capacidades científicas e institucionales en el ámbito de la ingeniería estructural y la geofísica. Universidades, centros de investigación y organismos públicos contribuyeron a sistematizar el estudio del comportamiento sísmico de estructuras y suelos, generando una base técnica que permitió perfeccionar progresivamente los estándares de construcción. Este proceso se tradujo, entre otros aspectos, en la implementación de normativas como la NCh433, que formalizó criterios avanzados de diseño sísmico y estableció un marco regulatorio más exigente para edificaciones e infraestructuras críticas.

El terremoto del Maule de 2010 constituye un punto de inflexión para evaluar la eficacia de este proceso de institucionalización. Por una parte, el comportamiento de numerosas edificaciones modernas evidenció la efectividad de las normativas antisísmicas vigentes, reflejando avances significativos en diseño estructural y calidad constructiva. Por otra, el evento expuso limitaciones relevantes en la implementación y fiscalización de dichas regulaciones, particularmente en casos como el colapso del edificio Alto Río en Concepción, que puso en evidencia fallas en la cadena de control técnico y administrativo. Asimismo, las deficiencias en la coordinación interinstitucional y en los sistemas de alerta de tsunami revelaron que el desarrollo normativo no siempre se traduce en una gestión del riesgo plenamente eficaz (Alexander, 2013; Saavedra et al., 2022).

En esta línea, el análisis comparativo entre los terremotos de 1939, 1960 y 2010 muestra que, si bien Chile ha experimentado avances sustantivos en normativas, planificación territorial y capacidades institucionales, persisten desafíos estructurales asociados a la articulación interinstitucional, la comunicación del riesgo y la participación ciudadana en contextos de emergencia. Esta premisa sugiere que la institucionalización del conocimiento técnico debe entenderse como una dinámica compleja en la que coexisten progreso normativo y tensiones operativas.

Para Pirti (2024), esta evolución confirma que la institucionalización del conocimiento técnico es un componente clave en la construcción de sociedades resilientes. Sin embargo, su eficacia depende de la existencia de normativas avanzadas, así como también de su adecuada implementación, fiscalización y articulación con sistemas de gobernanza del riesgo más amplios. En el caso chileno, esta interacción entre experiencia histórica, desarrollo científico y regulación institucional ha permitido posicionar al país como un referente internacional en diseño antisísmico, aunque manteniendo desafíos pendientes en la gestión integral del riesgo.

Memoria tecnológica del desastre y cultura ingenieril

Más allá de sus dimensiones técnicas e institucionales, los desastres también contribuyen a la construcción de una memoria tecnológica que influye tanto en la cultura profesional de los ingenieros como en la manera en que la sociedad percibe y gestiona el riesgo sísmico. Esta memoria se configura a partir del registro sistemático de los daños observados en eventos pasados, del análisis científico de sus causas y efectos, y de la incorporación de las lecciones aprendidas en los procesos de diseño estructural, planificación urbana y desarrollo de infraestructura. De este modo, cada terremoto se convierte en una fuente de conocimiento que permite mejorar progresivamente las prácticas constructivas y fortalecer las capacidades de respuesta frente a futuras catástrofes (Lomnitz, 2004; Tierney, 2025).

Como plantean Alexander (2013) y Tierney (2025), la noción de memoria tecnológica del desastre hace referencia precisamente a este proceso de acumulación histórica de conocimiento técnico basado en la experiencia de eventos extremos. Las sociedades que enfrentan recurrentemente desastres tienden a desarrollar sistemas de aprendizaje institucional que les permiten adaptar sus estructuras técnicas, normativas y organizacionales con el objetivo de reducir la vulnerabilidad frente a nuevos eventos. Por consiguiente, la memoria del desastre no se limita al recuerdo social de la tragedia, sino que se materializa en transformaciones concretas en las formas de construir, planificar y gestionar el territorio.

En Chile, esta memoria tecnológica se manifiesta en diversos ámbitos. En primer lugar, se expresa en la formación académica de ingenieros y arquitectos, donde el estudio de terremotos históricos constituye una herramienta fundamental para comprender el comportamiento estructural de los edificios frente a movimientos sísmicos. Los casos de desastres pasados se utilizan como material de análisis en programas universitarios y en investigaciones científicas orientadas a mejorar las metodologías de diseño estructural y evaluación del riesgo. En segundo lugar, esta memoria se refleja en los programas de investigación desarrollados por universidades, centros científicos y organismos públicos dedicados al estudio del riesgo sísmico y de la dinámica tectónica del territorio chileno (Moreno et al., 2010; Saavedra, 2021; Pirti, 2024).

Asimismo, la memoria tecnológica también se materializa en la continua actualización de las normativas de construcción y en la revisión permanente de los estándares técnicos aplicados al diseño de edificaciones e infraestructuras. Cada evento sísmico relevante genera nuevos estudios que permiten evaluar el desempeño real de las estructuras y ajustar los criterios de diseño en función de la información obtenida. Este proceso de retroalimentación constante ha permitido que la ingeniería chilena desarrolle sistemas constructivos cada vez más eficientes para enfrentar la amenaza sísmica.

De esta manera, la cultura ingenieril chilena se ha configurado en estrecha relación con la experiencia histórica del desastre. La conciencia permanente de la amenaza sísmica ha favorecido el desarrollo de una ingeniería orientada a la resiliencia y a la reducción del riesgo, donde la seguridad estructural constituye un principio central del diseño. La memoria tecnológica acumulada a lo largo de décadas de experiencia sísmica ha permitido consolidar un enfoque técnico basado en la prevención, el aprendizaje continuo y la adaptación permanente a las condiciones geológicas del territorio.

Conclusión

El examen de la relación entre ingeniería, catástrofes y memoria tecnológica permite sostener que los desastres naturales, más que eventos disruptivos aislados, constituyen instancias estructurantes en la producción histórica del conocimiento técnico. En el caso chileno, la recurrencia sísmica ha operado como un dispositivo de aprendizaje sociotécnico que articula experiencia empírica, investigación científica e institucionalidad normativa, configurando una trayectoria de desarrollo en la que la ingeniería responde a la catástrofe y se transforma a partir de ella.

Desde esta perspectiva, los grandes terremotos han funcionado como momentos de inflexión que revelan las limitaciones de los sistemas constructivos y, al mismo tiempo, habilitan procesos de innovación orientados a su superación. Este carácter reflexivo del desastre ha permitido consolidar un modelo de ingeniería sísmica basado en la mejora continua, donde el conocimiento se produce en la intersección entre evidencia empírica, experimentación técnica y regulación estatal. En efecto, el avance de la ingeniería antisísmica en Chile puede comprenderse como expresión de una racionalidad técnica moldeada por la experiencia histórica del riesgo.

En este marco, la noción de memoria tecnológica adquiere un papel central, ya que permite explicar cómo el conocimiento derivado de eventos extremos se sedimenta en prácticas profesionales, dispositivos normativos y procesos formativos. Esta memoria actúa como

un principio activo de anticipación, orientando decisiones en materia de diseño, planificación y gestión del territorio. Así, la resiliencia no emerge exclusivamente de la capacidad de resistencia material de las estructuras, sino también de la internalización histórica del riesgo en la cultura ingenieril.

No obstante, el análisis también evidencia que este proceso de aprendizaje no es lineal ni exento de tensiones. Persisten desafíos asociados a la implementación efectiva de las normativas, la articulación interinstitucional y la consideración de dimensiones sociales de la vulnerabilidad, lo que sugiere la necesidad de avanzar hacia enfoques más integrales de gestión del riesgo que trasciendan lo estrictamente técnico. En este contexto, comprender la relación entre catástrofes, conocimiento y desarrollo institucional implica reconocer tanto los logros alcanzados como los límites de los modelos actuales.

El ensayo abre diversas posibilidades para futuras investigaciones orientadas a profundizar en la comprensión histórica y social de los procesos analizados. En primer lugar, resulta pertinente desarrollar análisis comparativos que examinen cómo distintos países sísmicamente activos han incorporado la experiencia del desastre en la evolución de sus sistemas de ingeniería y en la formulación de políticas de reducción del riesgo. Asimismo, futuras investigaciones podrían explorar con mayor detalle la relación entre desarrollo tecnológico, planificación urbana y vulnerabilidad social, considerando cómo las transformaciones en la infraestructura y en los sistemas constructivos han impactado de manera diferenciada a distintos territorios y grupos sociales. Del mismo modo, se proyecta una línea de estudio relevante en torno a la interacción entre conocimiento científico, políticas públicas y cultura del riesgo, particularmente en contextos de cambio climático y creciente urbanización. Finalmente, la incorporación de enfoques interdisciplinarios provenientes de la historia de la tecnología, la geografía del riesgo y los estudios sobre desastres permitirá ampliar la comprensión de cómo la memoria histórica de las catástrofes puede contribuir al diseño de ciudades más resilientes y a la construcción de sistemas de ingeniería capaces de enfrentar los desafíos ambientales del futuro.

Referencias

- Alexander, D. (2013). Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2707–2716. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>
- Bankoff, G., Frerks, G., & Hilhorst, D. (2004). *Mapping vulnerability: Disasters, development and people*. Earthscan.
- Comfort, L. (2007). Crisis management in hindsight: Cognition, communication, coordination, and control. *Public Administration Review*, 67(1), 189–197. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2007.00827.x>
- Lomnitz, C. (2004). Major earthquakes of Chile: A historical survey, 1535-1960. *Seismological Research Letters*, 75(3), 368–378. <https://doi.org/10.1785/gssrl.75.3.368>
- Mönckeberg, M., & Ararama, T. (2024). La representación del pasado como forma narrativa de la esperanza en los desastres naturales: Análisis de la prensa chilena para los terremotos de 1960 y 2010. *ASRI: Arte y Sociedad. Revista de Investigación*, (26), 51–65. <https://doi.org/10.33732/ASRI.6803>
- Moreno, M., Rosenau, M., & Oncken, O. (2010). 2010 Maule earthquake slip correlates with pre-seismic locking of Andean subduction. *Nature*, 480(7377), 198–202. <https://doi.org/10.1038/nature09349>
- Pirti, A. (2024). Investigation and prediction of the 2010 Maule, Chile earthquake by using GNSS on 25, 26 and 27 February 2010. *Journal of South American Earth Sciences*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104702>
- Plafker, G., & Savage, J. (1970). Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. *Geological Society of America Bulletin*, 81(4), 1001–1030.

- 86
CAPÍTULO 3
- Romero, J., & Vergara, F. (2022). Ciudadanía preparada en un país sísmico: Reflexiones sobre cómo imaginamos el próximo “gran terremoto” en Chile. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 6(2), 125–129. <https://doi.org/10.55467/reder.v6i2.101>
- Saavedra, J. (2021). Gobierno del desastre en el neoliberalismo: Una mirada genealógica desde los terremotos en Chile durante el siglo XX. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 5(2), 48–62. <https://doi.org/10.55467/reder.v5i2.71>
- Saavedra, J., Carrasco, Y., & Núñez, D. (2022). Las vidas cotidianas de las y los testigos del terremoto de 2010 en Chile: Ruptura, recuperación y reconstitución. *Apuntes*, 49(91), 47–72. <https://doi.org/10.21678/apuntes.91.1365>
- Tierney, K. (2025). *Disasters: A sociological approach*. Polity Press.

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0001-5729-3404>

halvarez@ucsc.cl

humalvarezsep@gmail.com

Académico de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). Doctor en Sociedad y Cultura por la Universidad de Barcelona (España). Autor de diversos capítulos de libros y artículos sobre educación histórica publicados en revistas científicas indexadas a Wos, Scopus y Scielo.

Claudine Glenda Benoit Ríos

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0002-1791-2212>

cbenoit@ucsc.cl

claudbenoit@gmail.com

Académica del Departamento de Didáctica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción (Chile). Doctora en Lingüística, por la Universidad de Concepción. Investigadora en didáctica de la comprensión y producción del lenguaje, y estrategias colaborativas durante el procesamiento.

Learning from Disaster: Earthquakes, Technological Innovation and Engineering Culture in Chile

Abstract

This chapter analyzes the relationship between earthquakes, technological innovation, and engineering culture in Chile, considering how disasters have influenced the development of seismic engineering and the consolidation of regulations aimed at risk reduction. The analysis is based on a scoping review of specialized literature, using a qualitative and interpretive approach, framed within a humanistic-critical paradigm and a narrative design. Three dimensions are examined: the role of earthquakes as drivers of technical learning, the institutionalization of knowledge through seismic regulations, and the construction of a technological memory of the disaster. It is argued that the historical experience of the disaster has acted as a catalyst for institutional learning, consolidating an engineering approach focused on structural safety in contexts of high seismic hazard. In conclusion, the seismic experience has shaped an engineering culture based on historical learning, technical innovation, and resilience.

Keywords: Seismic engineering; Earthquakes; Technological innovation; Risk management; Chile.

Aprender com o desastre: Terremotos, inovação tecnológica e cultura de engenharia no Chile

Resumo

Este capítulo analisa a relação entre terremotos, inovação tecnológica e cultura de engenharia no Chile, considerando como as catástrofes influenciaram o desenvolvimento da engenharia sísmica e a consolidação de normas voltadas à redução do risco. A análise baseia-se em uma revisão de escopo da literatura especializada, a partir de uma abordagem qualitativa e interpretativa, inscrita em um paradigma humanista-crítico e em um design narrativo de tópico. Examinam-se três dimensões: o papel dos terremotos como impulsionadores da aprendizagem técnica, a institucionalização do conhecimento

por meio de normas antissísmicas e a construção de uma memória tecnológica do desastre. Sustenta-se que a experiência histórica do desastre atuou como motor de aprendizagem institucional, consolidando uma engenharia orientada à segurança estrutural em contextos de alta ameaça sísmica. Em conclusão, a experiência sísmica configurou uma cultura de engenharia baseada na aprendizagem histórica, na inovação técnica e na resiliência.

Palavras-chave: Engenharia sísmica; Terremotos; Inovação tecnológica; Gestão de riscos; Chile.