

CAPÍTULO 5

Terremotos: similares magnitudes, diferentes consecuencias... ¿Por qué?

María Cristina Zilio, Gabriela Mariana D'Amico, Santiago Báez, María del Carmen Aranda Álvarez y Facundo Palacios

La explicación sobre el origen de los terremotos ha ido variando en función de las diferentes culturas y su forma de ver al mundo. Los textos sagrados de tres grandes religiones -cristianismo, islam y judaísmo- los atribuyen a las deficiencias en el comportamiento moral humano (Foulger *et al.*, 2018, p. 442). Esta mirada comienza a cambiar, en 1755, a partir del gran terremoto de Lisboa que, seguido por un tsunami y un incendio, destruyó la mayor parte de la ciudad y provocó más de 90 000 muertes. Por esa época, Portugal era un país muy católico, con una larga historia de inversiones en la Iglesia y en la evangelización de las colonias. Mientras que la Iglesia consideraba al sismo como un castigo de Dios, importantes pensadores, como Kant, Voltaire y Rousseau, reflexionaron sobre su origen natural o divino. Estas discusiones quedaron plasmadas en distintas publicaciones (Sáez, 2019). Las acciones implementadas por el primer ministro del país, Sebastião de Melo, futuro marqués de Pombal, marcan un punto de inflexión en la concepción del riesgo. Considerado un precursor de la sismología moderna, no sólo estimuló el estudio científico de las causas y consecuencias de un sismo (Murria, 2007, pp. 13-14). También hubo cambios normativos morales y sociales, se introdujeron reformas liberales y se inició la reconstrucción de la ciudad⁷⁸ (Sáez, 2019). Portugal es el primer país que reconoce su responsabilidad en las tareas de emergencia y reconstrucción.

Con la evolución de las ciencias geológicas, las concepciones naturalistas desarrollan explicaciones más racionales sobre las causas de los sismos y sus consecuencias catastróficas. No obstante, avanzado el siglo XX, al hablar de efectos destructivos sobre las ciudades, los geólogos todavía ponían todo el peso de la responsabilidad en los fenómenos naturales (Holmes, 1971, pp. 356-359). Más cercanos en el tiempo, Tarbuck y Lutgens (2005, p. 325) ya consideran, por ejemplo, que “los edificios de albañilería no reforzada son la amenaza más grave a la seguridad durante los terremotos”.

⁷⁸ Por temor a las epidemias debidas a los cuerpos en descomposición, Pombal ordenó que se arrojaran al mar, más allá de la desembocadura del Tajo, contrario a la tradición eclesial. Para prevenir los desórdenes, impedir el saqueo y obligar a los hombres sanos a colaborar en la reconstrucción, fue movilizó el ejército. Un año después iniciaba la modernización de la ciudad, con la construcción de edificios “a prueba de terremotos”. En 1759, expulsó a la orden jesuita, que controlaba la política, la cultura y la educación en el país (Sáez, 2019).

Pese a estos avances, se realizó un sacrificio humano para calmar la naturaleza después del Gran Terremoto de Chile de 1960⁷⁹ (Zúñiga, 2001), y un pastor estadounidense atribuyó el sismo de Haití, en 2010, a un supuesto “pacto con el diablo” realizado por esclavos fugitivos hacia 1800 (Foulger *et al.*, 2018, p. 442).

En este capítulo, comenzamos abordando conceptos básicos de la sismología para luego analizar, desde distintos enfoques, las respuestas antrópicas a los sismos más impactantes de los últimos siglos: Chile 1960; Sumatra, 2004; Haití y Chile, 2010, y Japón, 2011.

Terremotos, sismos, tsunamis y otros conceptos

Un **sismo** es un movimiento de la superficie terrestre generado a partir de la liberación súbita de tensiones acumuladas en el interior. El **Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)** argentino explica que “se manifiesta por desplazamientos de bloques anteriormente fracturados” (INPRES, 2017, p. 19). El punto del interior de la Tierra donde comienza la fractura que da origen al sismo es el **hipocentro** o foco (figura 1), desde donde se propagan las **ondas sísmicas** o vibraciones por el interior y por la superficie de la Tierra. El punto en la superficie que está en vertical sobre el hipocentro es el **epicentro**.

Figura 1. Elementos de un sismo



Fuente: elaborado por María Cristina Zilio.

Seísmo, sismo, terremoto y otros términos menos usados (remezón, temblor, sacudida), pueden utilizarse como sinónimos para referirse a movimientos telúricos con distintas magnitudes. Sin embargo, relacionado con la percepción de la población, se suele reservar el término terremoto para los temblores que implican tragedias. Por otra parte, cuando un terremoto ocurre en el fondo

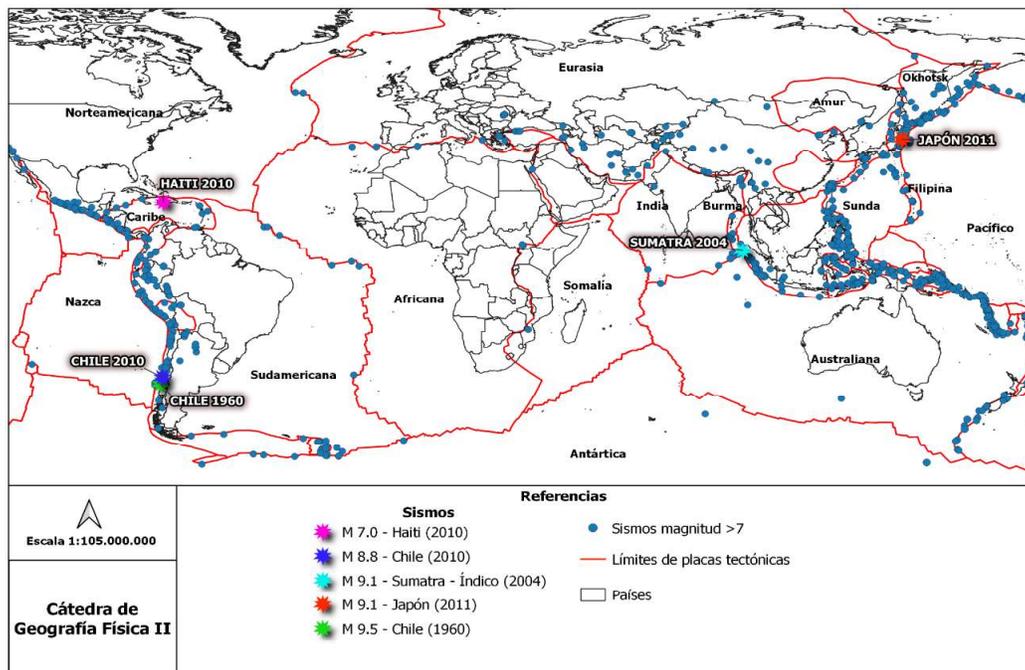
⁷⁹ Unos días después del terremoto, durante el período de fuertes réplicas, una *machi*—guía espiritual mapuche— sacrificó a un niño de cinco años para calmar a la naturaleza. Fue arrojado al mar desde un precipicio. La *machi*, los familiares y otros participantes del ritual fueron detenidos y condenados. La inmolación del niño había sido una práctica cultural de los mapuches, para quienes, mientras más grave sea la acción de un fenómeno hacia el ser humano, más grande debía ser el sacrificio para restablecer el equilibrio (Zúñiga, 2001).

del mar es un **maremoto**, que no debe confundirse con un **tsunami**. El primero es un temblor. El segundo es una ola gigante que puede ser generada por un sismo, pero también por una erupción volcánica, la caída de un meteorito o un deslizamiento abrupto de sedimentos en el fondo marino cercano⁸⁰. Las **réplicas** son sismos que suceden al evento principal, generados por un reajuste de los esfuerzos actuantes. Aun siendo menos violentos que el terremoto principal, algunos de ellos pueden ocasionar derrumbes en construcciones dañadas o debilitadas.

Causas de los sismos

La superficie terrestre parece un gigantesco “rompecabezas” en donde las piezas –placas tectónicas- encajan perfectamente entre sí. La mayor concentración de la actividad sísmica se registra en el llamado **Cinturón de Fuego del Pacífico**. Con una simple visualización de la cartografía se puede observar la coincidencia de los límites de placas con estas regiones donde las erupciones volcánicas y los sismos son más frecuentes e intensos (figura 2).

Figura 2. Placas tectónicas, sismos de magnitud mayor a 7 (1960-2021) y casos de estudio



De un total de 54 placas, en el planisferio se identifican las principales piezas y las placas menores (o microplacas) de interés para el capítulo. Fuente: elaborado por Santiago Báez, con datos de sismos provenientes del USGS y capa de placas tectónicas obtenido de GitHub.

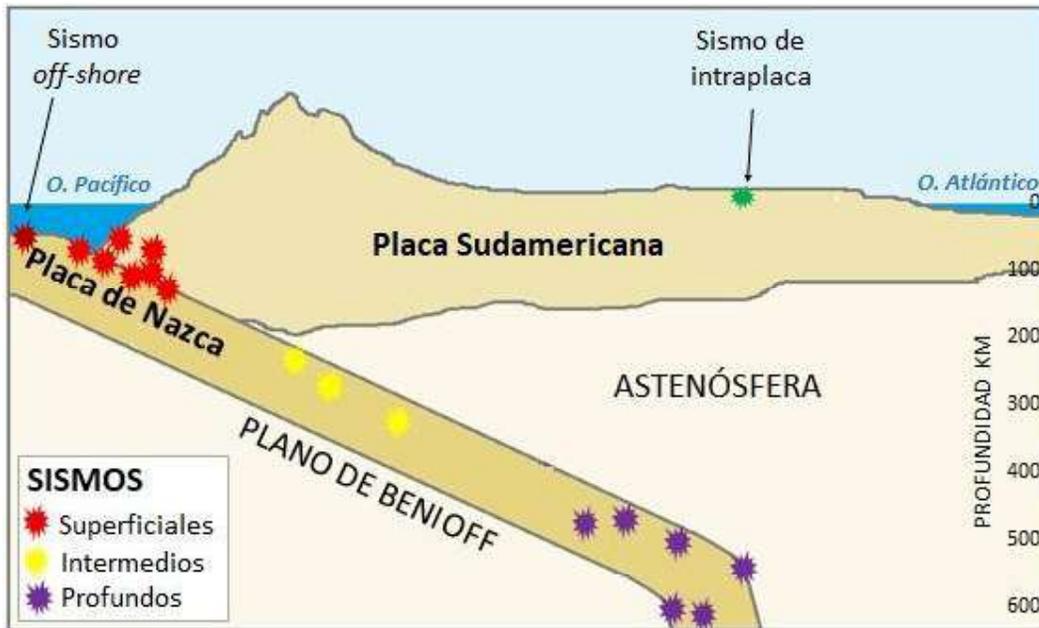
⁸⁰ Un fenómeno diferente es el “*meteotsunami*”, cuyo origen es atmosférico. Por ejemplo, la explosión del volcán Hunga-Tonga en el Pacífico Sur, el 20 de diciembre de 2021, generó un tren de ondas de presión por el aire, que se expandieron por toda la atmósfera y provocaron alteraciones en el nivel del mar incluso en la costa mediterránea, con subidas de hasta medio metro en algunos lugares de Menorca (Albalá, 2022).

Estas placas se mueven lentamente sobre el manto del núcleo, a una velocidad de 5-10 cm/año, comportándose como verdaderas cintas transportadoras que trasladan a los continentes y fondos oceánicos. Las corrientes convectivas del manto terrestre son el motor de este desplazamiento constante y su velocidad, lenta a los ojos humanos, genera desplazamientos de miles de kilómetros a lo largo de millones de años. Ya se trate de límites convergentes, divergentes o transformantes, donde dos placas hacen contacto se pueden producir diferentes fenómenos, pero en todos los casos se suelen registrar **sismos**⁸¹. En la zona de contacto de los límites convergentes no existe desplazamiento porque las placas se encuentran frenadas por asperezas. Como el empuje es continuo, se va produciendo una deformación elástica en las mismas, en cercanías a la zona de subducción (deformación intersísmica), que va aumentando hasta que se libera y se rompe (deformación cosísmica).

Los sismos se originan entre los 5 y 700 km de profundidad. Se los clasifica como superficiales cuando el hipocentro se localiza hasta los 70 km; intermedios, de 70 a 300 km, y profundos, a más de 300 km. El 90% de todos los terremotos se producen a menos de 100 km, siendo los menos profundos los que suelen provocar más daños (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 318). Comprender que los hipocentros no tienen una ubicación aleatoria sino que sus profundidades aumentan a medida que crece la distancia a la fosa, permitió reconocer la existencia del **plano de Benioff** (figura 3). En el proceso de subducción, la placa oceánica se introduce en el manto por debajo de otra placa menos densa, en forma diagonal. En nuestro país, salvo en Tierra del Fuego, la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana es responsable no solo de los grandes terremotos andinos, sino también de la formación de la cordillera homónima y sus volcanes activos y de que el centro-oeste argentino esté altamente fracturado. Un ejemplo se registra en el norte argentino. La profundidad de los focos aumenta desde la costa chilena hacia el este, hasta unos 200-250 km. A mayor profundidad hay muy escasos sismos pero, en Santiago del Estero reaparecen focos a 500-600 km de profundidad (Jaschek, 1983, p. 27).

⁸¹ Estos son sismos de interplaca, para diferenciarlos de los de intraplaca, que ocurren hacia el interior de las placas.

Figura 3. Esquema de subducción y distintos tipos de sismos



Fuente: elaborado por María Cristina Zilio.

Efectos de los sismos

La vibración del suelo durante un terremoto es la causa principal (y también la más conocida) de daños en estructuras edilicias, lo que puede ocasionar heridos y muertes. Sin embargo, existen otros fenómenos que acompañan a la sacudida y que también causan cuantiosos daños a nuestra sociedad: grietas y fracturas en el terreno, tsunamis, inundaciones y los denominados "efectos geotécnicos" (licuefacción y movimientos de ladera).

Los **tsunamis** se originan cuando un terremoto afecta un cuerpo de agua. En la superficie acuática, el sismo genera un tren de ondas concéntricas que se propagan como circunferencias de radio creciente. En aguas profundas, las olas de tsunami se desplazan hasta 800 km/h, con alturas de pocas decenas de centímetros. Se diferencian de las olas oceánicas comunes por su gran longitud de onda, es decir la distancia entre sus crestas, que puede superar los 100 km en altamar. El tiempo entre una y otra varía desde diez minutos hasta una hora. Al acercarse a la costa, debido a la menor profundidad, las olas se van frenando, la longitud de onda se acorta y su altura crece, causando un levantamiento del agua que puede ser de varios metros de altura (Estrada Roldán y Farbiarz Farbiarz, 2005, p. 87). El retiro de las aguas oceánicas es un fenómeno común en algunos tsunamis antes de su llegada inminente a la costa. Una onda tiene crestas y valles, y lo primero en llegar a la costa puede ser un valle. En ese caso, la ola que se está formando "chupa" el agua que está delante de ella y, por tanto, el mar retrocede (Sampedro, 2005).

La **licuefacción** sucede porque, durante el sismo, las vibraciones reordenan las partículas del suelo, reduciendo su volumen y aumentando la presión del agua en los poros. El material no

consolidado (generalmente arenas) se convierte en un fluido. Delgado (2011, p. 277) explica que el proceso es equivalente a rellenar un recipiente con azúcar: al sacudirlo para acomodar el producto, las partículas se desplazan levemente y cierran parte de los poros existentes entre ellas. A diferencia del azúcar, durante la licuefacción el fluido en los poros es agua, no aire. Como la sacudida dura poco tiempo, el agua de los poros no alcanza a salir de ellos, por lo que la presión que ésta ejerce se incrementa conforme se van cerrando los intersticios y se comporta como una especie de “arena movediza”. La elevada presión intersticial hace que el agua fluya hacia zonas de menor presión, frecuentemente la superficie del terreno, para lo cual aprovecha las zonas de debilidad -fracturas, grietas, etc.- que puedan existir o que se desarrollen durante la propia sacudida (Delgado, 2011, p. 280). Al generar asientos diferenciales en la cimentación, este proceso es capaz de desplazar, hundir o volcar infraestructuras, por ejemplo, las viviendas (Delgado, 2011, p. 284).

El registro de los sismos: una cuestión de escalas

Los sismogramas son registros de las ondas sísmicas y miden el tamaño relativo de los temblores. Son generados por un **sismógrafo**, un instrumento que está formado por un sismómetro -sensor que detecta el movimiento- conectado a un sistema de registro. Existen varios tipos de sismógrafos como así también distintas escalas para medir los sismos, aunque en la actualidad coexisten tres (figura 4).

Figura 4. Tres escalas para medir los sismos

	Mercalli Modificada	Richter o magnitud local	Magnitud Momento (Mw)
Autores	Giuseppe Mercalli, 1902 (modificada por Richter, 1931)	Charles Richter y Beno Gutenberg, 1935	Thomas Hanks y Hiroo Kanamori, 1979
Mide	Intensidad	Magnitud	Magnitud
Escala	Cerrada. Doce grados (I al XII) relacionados con daños a las construcciones	Cerrada. Doce grados (crecimiento logarítmico)	Valores casi iguales a la de Richter, pero sin unidad (escala adimensional) ni límite máximo
Como se mide	Alto grado de subjetividad. No aplicable fuera de zonas urbanas	Requiere un sismógrafo con características especiales	Se puede medir con cualquier sismógrafo moderno

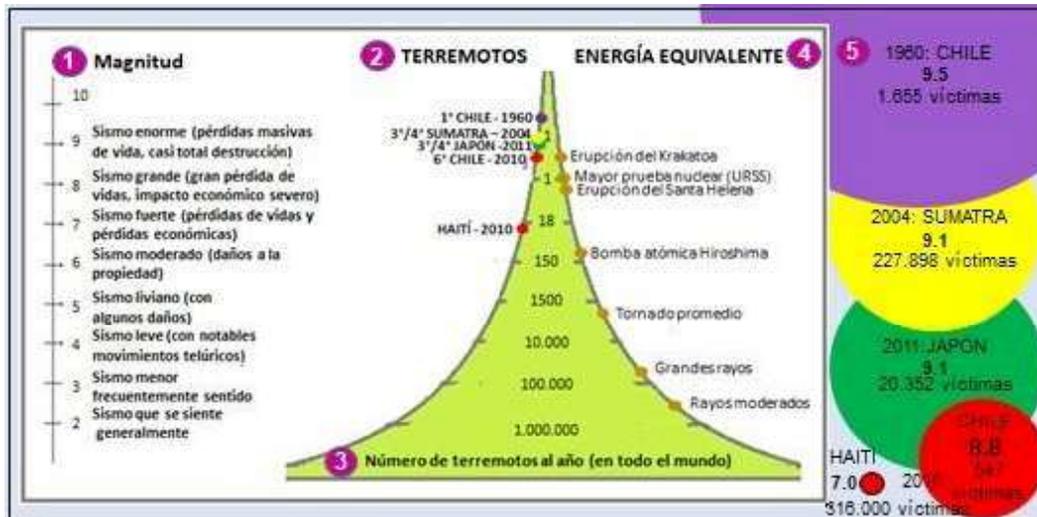
Fuente: elaborado por Santiago Báez, en base a Tarbuck et Lutgens (2005, pp. 321-323) y Rojas Hoppe y Diez Lorente (2013, p. 141).

La Tierra tiembla más de un millón de veces por año

Si bien el planeta tiembla siempre, la mayor parte de estos temblores no son percibidos por los seres humanos ya sea porque son de muy baja magnitud o porque se producen en zonas deshabitadas. Según el *Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS, 2011)*, cada año se producen un millón de temblores de magnitud 2 y por cada incremento de magnitud, el número anual de terremotos disminuye (aproximadamente) por un factor de 10 (figura 5). A la inversa, al aumentar una magnitud, cada temblor libera 30 veces más energía. De hecho, los cinco más fuertes liberaron casi la mitad de la energía producida por la totalidad de terremotos ocurridos en el último siglo.

El Servicio Geológico de Estados Unidos (en adelante, *USGS*, por sus siglas en inglés) ha listado los veinte **mayores terremotos** (*USGS, s.f.-a*), de los cuales analizaremos el primero (Chile, 1960), el tercero/cuarto (Sumatra, 2004, y Japón, 2011, con la misma magnitud) y el sexto (Chile, 2010), localizados en las figuras 2 y 5. El terremoto en Haití, en 2010, no forma parte de dicha lista porque tuvo una magnitud mucho menor, sin embargo, tuvo trascendencia mundial por ostentar el mayor número de víctimas de todos los eventos analizados (*USGS, s.f.-b*). La ausencia de una correlación directa entre magnitudes y el número de víctimas demuestra que el riesgo sísmico no es exclusiva responsabilidad de los fenómenos.

Figura 5. Magnitudes y energía liberada por los distintos terremotos



1) Clasificación por magnitud; 2) sismos analizados en el capítulo; 3) promedio de sismos anuales según magnitudes; 4) equivalente en energía liberada, y 5) doble comparación: energía liberada representada por el volumen aproximado de una esfera y número de víctimas. Fuente: modificado de *IRIS (2011)* y *Red Geocientífica de Chile (2019)* por María Cristina Zilio.

Chile, 1960: el mayor terremoto, un tsunami y mucho más

Nuestro vecino país ostenta un dramático ranking sísmico a nivel mundial. Fue afectado por dos de los mayores terremotos que se han registrado instrumentalmente. Encabeza la lista el Gran Terremoto (1960) y, en sexto lugar, el Terremoto del Maule (2010). El 22 de mayo de 1960, el **megaterremoto de Valdivia** alcanzó una M_w^{82} 9,5. Liberó el 35% de la energía de todos los temblores del siglo XX, equivalente a 12 000 bombas atómicas como la lanzada sobre Hiroshima (INPRES, 1991, p. 2). Si bien algunas fuentes hablan de una duración de diez minutos, el temblor percibido se habría extendido tres minutos y medio (Rojas Hoppe y Díez Lorente, 2013, p. 141).

Entre los efectos principales podemos mencionar:

Tsunamis. Minutos después del evento, olas gigantescas provocaron la mayor cantidad de muertes y daños a lo largo de la costa de Chile y, horas después, en muchas áreas del Océano Pacífico. Por ejemplo, Puerto Saavedra fue arrasado por olas de 11,5 m de altura y arrastraron restos de casas tierra adentro hasta 3 km. Además de las 1655 víctimas chilenas, los tsunamis son responsables de 61 muertes en Hawái (10,6 m); 185 en Japón (5,5 m); 32 en Filipinas. Hubo daños en la Isla de Pascua, en las Islas Samoa y en California (USGS, s.f.-a). En su larga historia, Japón registra un gran número de tsunamis, siendo el de 1960, el tercer evento más importante de ese país hasta ese momento⁸³ (Rhea *et al.*, 2010).

Subsidencia de tierras costeras. Provocó la ruptura de casi 1000 km de largo por 130 km de ancho, generando un hundimiento de tierras costeras y un levantamiento mar adentro. Las placas a uno y otro lado se desplazaron más de 20 metros. En comparación, el terremoto chileno de 2010 generó una ruptura de 453 km de largo por 100 km de ancho y una dislocación de 10 metros (Hayes, 2017, p. 79; USGS, s.f.-a).

Réplicas. El terremoto principal fue precedido por cuatro sismos mayores a M_w 7 y lo sucedieron muchas réplicas, cinco de las cuales fueron de M_w 7 o más (USGS, s.f.-a)

Erupción del Puyehue. Dos días después del megaterremoto, este volcán entró en actividad durante varias semanas, enviando cenizas a 6000 metros de altura (USGS, s.f.-a)

Inundación. El sismo provocó derrumbes que obstruyeron el río San Pedro, emisario del lago Riñihue. Si bien las aguas represadas inundaron viviendas, gracias al esfuerzo de obreros e ingenieros, dos meses después se evitó una posible inundación de Valdivia (Memoria Chilena, 2005).

Tsunami. Cuando Valdivia tembló, el lago Nahuel Huapi se retiró de la orilla y luego regresó bajo la forma de un oleaje de cinco metros de altura. Provocó tres muertes, destruyó el puerto de madera de San Carlos e ingresó más de 100 metros dentro de San Carlos de

⁸² Magnitud momento.

⁸³ Tener en cuenta la catástrofe de 2011.

Bariloche, provocando daños y pánico generalizado (Goldes, 2015). Suele hablarse de “lagomoto” pero es un tsunami lacustre ya que no se originó por un movimiento del fondo sino por empuje lateral⁸⁴.

Tsunami de Sumatra, 2004: turistas curiosos, sabiduría ancestral y educación

El 26 de diciembre de 2004, frente a la costa oeste de Sumatra (Indonesia), se produjo un maremoto de Mw 9.1, a 30 km de profundidad, paradójicamente conocido como “tsunami de Navidad”. Fue producto de la liberación de tensiones acumuladas durante siglos por la subducción de la placa de la India debajo de la microplaca de Burma o Birmania, a 60 mm/año (USGS, 2014; Hayes *et al.*, 2017, p. 44). La falla de empuje se elevó varios metros generando olas que cruzaron todo el océano Índico. El tsunami tardó 30 minutos en llegar a Sumatra, entre 90 y 120 minutos a Tailandia, y entre dos y tres horas a Sri Lanka (USGS, 2014). En la costa oeste de Sumatra, se observaron olas de 30 m de altura (USGS, 2014), mientras que otras zonas reportaron olas de hasta 10 m. Incluso en los lugares donde la altura no fue muy significativa, la fuerza del oleaje fue igualmente grave (Estrada Roldán y Farbiarz Farbiarz, 2005, p. 86).

Si bien, tiempo después, las cifras totales superaron los 200 000 fallecidos (USGS, 2014), las cifras iniciales hablaban de 150 000 víctimas mortales, discriminadas de la siguiente manera: Indonesia (90 000), Sri Lanka (40 000), India (10 000) y Tailandia (5000). Otros países del este africano y sur asiático también registraron muertes a causa del tsunami (Somalia, Seychelles, Kenia, Tanzania, Islas Maldivas, Malasia, Bangladesh y Myanmar) que alcanzó, incluso, la costa oeste de América. Parte de las víctimas eran turistas de distintas partes del mundo. Un volcán de lodo cerca de Baratang (Islas Andamán) hizo erupción el 28 de diciembre, tal vez como consecuencia de este terremoto (Estrada Roldán y Farbiarz Farbiarz, 2005, p. 86).

En muchas playas, el tsunami fue anunciado por un retroceso de las aguas. El comportamiento de las personas en ese momento fue dispar. En una costa tailandesa, donde el mar retrocedió 500 m en diez minutos, turistas curiosos avanzaron para verlo mejor y hubo quienes se preguntaron si se debía a la Luna llena (Sampedro, 2005). En las islas de Andamán y Nicobar (India), seis tribus antiquísimas se trasladaron hacia el interior de las islas cuando percibieron cambios en la naturaleza -como el canto de las aves y el comportamiento de animales marinos- y prácticamente no registraron víctimas (Cárdenas, 2019). Por su parte, una niña británica, a quien le habían enseñado la historia del sismo de Lisboa (1755), anunció a los gritos la llegada de un tsunami cuando el mar comenzó a retroceder en Phuket (Tailandia). Gracias a este conocimiento no se registraron víctimas en esta playa (Sampedro, 2005).

⁸⁴ Para mayor información, se puede consultar la tesis doctoral de Delmónico (2018, p. 10).

Haití y Chile, 2010: estar preparados salva vidas

En 2010, en menos de dos meses, dos países latinoamericanos sufrieron intensos sismos⁸⁵. Un terremoto, con Mw 7.0, asoló la capital haitiana el 12 de enero. Otro temblor, con Mw 8.8, sacudió el centro-sur de Chile, el 27 de febrero. Chile fue afectado por un terremoto “muy grande”, mientras que Haití sufrió un terremoto “grande” (ver círculos en figura 5). Ese mismo año, otros 23 lugares en otras partes del planeta, sufrieron temblores de Mw 7.0. Pese a que el sismo chileno fue mucho más intenso, los efectos más catastróficos los sufrieron y todavía sufren los haitianos, como consecuencia de su mayor vulnerabilidad social, política y económica (figura 6).

Figura 6. Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo en Haití y Chile

SISMO	Haití	Chile	INDICADORES SOCIALES	Haití	Chile
Fecha	12 de enero de 2010	27 de febrero de 2010	IDH (2010) ¹	0,404	0,783
Duración	1.22 min	2.45 min	IDH ajustado por desigualdad (2010) ¹	0,239	0,684
Mw	7.0	8.8	Índice de Gini (2010) ¹	0,59	0,52
Epicentro	A 25 km de Puerto Príncipe	En el mar, a 105 km de Concepción	Esperanza de vida (2010) ²	61	79
Hipocentro	13 km	35 km	Tasa de mortalidad > 5 años (2009) ²	81	9
Réplicas	59 > Mw 4.5	280 > Mw 5	PBI per cápita (2010) ²	1192	12 808
			Tasa de alfabetización % adultos > 15 años ¹	61	98,6

Fuente: elaborado por María Cristina Zilio, a partir de datos de sismos (González et al., 2011, pp. 339-340) y datos sociales (1, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2011, y 2, Banco Mundial, 2010).

Terremoto tsunamigénico chileno

También conocido como “Offshore Bio-Bio”, es el sexto sismo más grande a nivel mundial y alcanzó su máxima intensidad en las regiones del Maule y del Bío-Bío, en el centro-sur de Chile. Como resultado de este evento, el sector comprendido entre las regiones de Valparaíso y de La Araucanía fue decretado como “zona de catástrofe”.

Se había pronosticado este temblor con una magnitud posible entre 8.0 a 8.5. Este avance se logró gracias al descubrimiento de un “gap” sísmico entre Concepción y Constitución, en una investigación sobre la subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica. Esta brecha o laguna sísmica es una zona geológica en la que no ha ocurrido un sismo fuerte durante un periodo prolongado de tiempo -no hubo grandes temblores desde el comunicado por Darwin en 1835- (González et al., 2011, p. 341-342). Los receptores de GPS instalados en este gap, en la década

⁸⁵ Basado en el artículo *Una mirada geográfica sobre las problemáticas geológicas y geomorfológicas. Riesgo e incertidumbre en los terremotos de Haití y Chile, 2010*, de los mismos autores (Zilio et al., 2017).

de 1990, permitieron predecir un gran terremoto aunque no se pudiera determinar el momento preciso (Ruiz y Madariaga, 2012, p. 13).

Algunos de sus efectos fueron:

Tsunami. Lo más devastador no fue el terremoto, sino el tsunami que lo sucedió. Este último provocó más de 500 muertes, cientos de personas desaparecidas y millones de damnificados, afectando severamente las ciudades y pueblos de la zona -graves daños a viviendas, edificios e infraestructura vial- (Morales Muñoz, 2010, p. 45).

Según Ramírez y Aliaga Sandoval (2012), una serie de escandalosos errores y omisiones en los sistemas de información entre el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (en adelante, ONEMI) determinaron que se cancele la alerta de llegada de grandes olas, cuando aún se podrían haber salvado vidas. Una sucesión de fallas en las cadenas de mando sumados al mal asesoramiento, determinaron órdenes y contraórdenes respecto de los planes de evacuación por alerta de estas olas gigantes.

Elevación del terreno. La tierra sufrió cambios de altura con respecto al nivel del mar, por ejemplo, la ciudad chilena de Concepción se elevó 1,2 m (Morales Muñoz, 2010, pp. 45-46). Levantamientos del orden de 1,9 m a 2,0 m se han estimado para Punta Lavapié y de 1,1 m en Concepción. En la península de Arauco se detectaron alzamientos de hasta 2 m en observaciones de algas coralinas (Barrientos, 2010).

El desastre haitiano

El terremoto haitiano fue devastador: un tercio de los 9 000 000 de habitantes se vio afectado de forma directa, un millón de personas perdió su casa y más de 200 000 perdieron la vida. Los funcionarios del gobierno tuvieron grandes dificultades a la hora de responder, ante los muchos edificios, escuelas y hospitales destruidos, incluso el palacio presidencial (Naciones Unidas Y Banco Mundial, 2010, p. 117). Si bien la energía liberada por el terremoto principal fue mucho menor a la liberada en el terremoto chileno, se incrementó su potencial destructivo al tener su hipocentro a escasa profundidad y a unos 15 kilómetros de Puerto Príncipe, caracterizado por las condiciones de pobreza extrema de sus habitantes. A esta situación inicial, en Haití, se suma la falta de planificación urbana y los servicios e infraestructura carenciados y no preparados para sismos, lo cual aumenta la vulnerabilidad, tanto frente a los efectos de los subsiguientes eventos de la catástrofe como a nuevos desastres⁸⁶.

Haití, que comparte la isla de La Española con la República Dominicana, se encuentra en el límite entre dos placas tectónicas: la placa del Caribe se mueve aproximadamente 19-20 mm/año

⁸⁶ Es importante mencionar que la población haitiana, además de sus conflictos sociales, siempre está afectada por eventos naturales, como el paso del huracán Matthew, en 2016, y el sismo de Mw 7,2, en 2021.

hacia el este-noreste respecto a la placa Norteamericana. Con estas tasas de movimiento, cuando pasa tiempo suficiente, se puede llegar a acumular energía elástica capaz de producir eventos muy significativos.

¿Por qué el sismo haitiano tuvo mayor impacto que el chileno?

Si bien la menor profundidad del sismo y la cercanía a la ciudad más poblada fueron responsables de la intensidad de las ondas superficiales en Haití, la magnitud fue muchísimo menor a la del temblor chileno. Cuando se analiza específicamente a Haití, uno de los países más pobres del mundo, se observa que la catástrofe es producto no solo de una peligrosidad sísmica importante (factor que comparte con Chile), sino de una elevada vulnerabilidad relacionada con su historia.

El epicentro haitiano coincidió con el área metropolitana de Puerto Príncipe a diferencia del sismo chileno que estuvo más alejado de grandes concentraciones demográficas. Las construcciones haitianas no estaban preparadas para desastres de este estilo y por eso se produjeron más derrumbes. Si consideramos las ideas de Romero y Maskrey (1993, p. 9), debemos afirmar que es “vulnerable por origen”. En palabras de Rofman (1974), este país aún está inmerso dentro de una estructura de dominación neocolonial a diferencia de Chile que ha logrado una autonomía mayor en el desarrollo de sus fuerzas productivas.

Además de 1,3 millones de personas desplazadas por el sismo, en Haití deben contabilizarse más de 300 000 casas colapsadas o críticamente afectadas, 60% de la infraestructura administrativa y económica dañada, 80% de las escuelas y 50% de los hospitales destruidos o dañados, bloqueo parcial del puerto y obstrucción de caminos, entre los servicios e infraestructuras afectados (Cavallo *et al.*, 2010, p. 10). Por su parte, en Chile, se vieron destruidas o con daños severos unas 220 000 casas, 1 de cada 3 escuelas sufrieron daños como así también 17 hospitales y más de mil kilómetros de carreteras (Gobierno de Chile, 2011, p. 17-19).

Chile presenta mejores condiciones económicas en comparación con Haití (figura 6). Si bien el índice de Gini no acusa diferencias significativas (siguiendo la tendencia general de los países latinoamericanos), el resto de los indicadores muestran una brecha muy marcada. Con respecto al Índice de Desarrollo Humano (IDH), Chile presenta un valor alto que lo ubica en el puesto 45, en tanto Haití presenta un valor bajo y ocupa el puesto 145. Cuando se considera el IDH ajustado por desigualdad, ocupan los lugares 43 y 125, respectivamente.

Haití se encuentra prácticamente desprovisto de estrategias de prevención y, solo con posterioridad al sismo, se instalaron cuatro estaciones de monitoreo (Dorfeuille, 2013, p. 32-33). La ausencia de instituciones específicas en Haití, probablemente debido a la menor recurrencia de eventos de este tipo y a cuestiones institucionales, político-administrativas y económicas, hace necesaria la referencia a instituciones internacionales o regionales. En cuanto a instituciones legitimadas por la comunidad científica, el *USGS* posee una red de sensores en distintos lugares

del planeta, en cooperación con otras instituciones, contando, en relación a nuestro estudio, con dos en el norte de Chile y uno en República Dominicana.

Chile, en cambio, ha sabido responder con estrategias y planes para prevenir y mitigar los posibles desastres. Su historicidad sísmica ha alimentado el desarrollo de su marco normativo e institucional. Funcionan la ONEMI, dependiente del Ministerio del Interior, desde 1974, y el Centro Sismológico Nacional⁸⁷, dependiente de la Universidad de Chile, creado en 2013 en respuesta al gran terremoto ocurrido tres años antes. Cuenta con la Ley 16.282/65, sobre Disposiciones Permanentes para Sismos y Catástrofes; el Plan Nacional de Protección Civil (puesto en práctica por la ONEMI); normas nacionales para construcción de edificaciones antisísmicas, y posgrado para la especialización en Sismología en la Universidad de Chile (Sáez del Pino, 2011, ONEMI, s.f.). Las medidas de prevención y mitigación se asocian con la planificación urbana y al uso de construcciones antisísmicas, la educación y protocolos de actuación. Para los chilenos, los temblores son una constante en sus vidas y desde temprana edad participan de simulacros.

Mientras que Chile ha sabido responder con estrategias y planes para prevenir o mitigar los posibles desastres, el destino de Haití continúa, parafraseando a Beck (1989, p.12)-, “adscripto al peligro” ya que no capitaliza los mismos en políticas de prevención que reduzcan la incertidumbre.

Japón, 2011: tres catástrofes y una historia sin fin

El 11 de marzo de 2011, Japón sufrió el mayor terremoto de su historia sísmica, y el cuarto a nivel mundial desde que empezaron los registros sismográficos, sucedido por un tsunami que, a su vez, dañó la planta de energía nuclear Fukushima *Daiichi*. Asociados al terremoto y al tsunami se produjeron otros fenómenos, como desplazamientos horizontales, hundimientos, deslizamientos de tierra y procesos de licuefacción. Con más de 20 000 muertes, el balance de víctimas es elevado teniendo en cuenta que es un país que se considera especialmente preparado para resistir desastres naturales (Shibayama *et al.*, 2012, p. 12).

Un terremoto. El territorio japonés es propenso a sufrir estos eventos porque, geológicamente, se encuentra en un área de confluencia de cuatro placas tectónicas principales -del Pacífico, norteamericana, euroasiática y de Filipinas-, sin embargo en mapas actuales se ha propuesto la presencia de las microplacas de Okhotsk y de Amur. La placa del Pacífico subduce hacia el oeste, avanzando unos 80 mm/año, a lo largo de 2200 km, bajo la placa de Filipinas y de Okhotsk. Este proceso de subducción es el responsable de la creación de los arcos insulares, de las profundas fosas de Ogasawara y Japón y de la intensa actividad volcánica y sísmica (Hayes *et al.*, 2017, p. 91; Rhea *et al.*, 2010). Ese día, un sismo de Mw 9.1 (9° escala Richter) sacudió

⁸⁷ Deriva del Servicio Sismológico Nacional, creado en 2008.

la isla de Honshu. Su epicentro se registró en el mar, a varios kilómetros de la costa de la ciudad de Sendai y, su hipocentro, a 29 km de profundidad (USGS, s.f.-c). La falla se desplazó más de 50 m, sobre un área de 400 km de longitud (a lo largo del rumbo) y 150 km de ancho (en dirección descendente) y fue precedido por una serie de grandes sismos durante los dos días anteriores (Hayes *et al.*, 2017, p. 91).

Un tsunami. El área costera afectada, hacia el norte, es particularmente vulnerable a estos fenómenos ya que, al ser muy irregular, en las entradas se amplifican las olas de tsunami y causan grandes inundaciones (Hayes *et al.*, 2017, p. 91). Aunque están protegidas con rompeolas diseñadas para resistir este oleaje, no siempre consiguen contener su embate. Hacia la parte sur presenta largas playas arenosas que también poseen diques para proteger de olas generadas por vientos asociados a tifones y otras tormentas (Shibayama *et al.*, 2012, p. 7). En general, se ha registrado el impacto de olas de 5 a 10 metros de altura, pero, en la ciudad de Miyako, alcanzó los 40,5 metros sobre el nivel del mar, la máxima elevación a la que el agua se movió tierra adentro desde la costa. Cerca de Sendai, las aguas de la inundación penetraron 10 kilómetros tierra adentro (León, 2021). Olas gigantes, con menor altura, se registraron en todas las costas del Pacífico y también llegaron a la Antártida. Si bien el oleaje tenía tan sólo 30 cm de alto cuando llegó al continente frío, las ondas dispersas ocasionaron repetidas flexiones en el hielo hasta fracturarlo provocando el desprendimiento de enormes bloques de la plataforma de hielo de Sulzberger (Rincon, 2011).

Numerosos edificios y gran parte de la flota pesquera sufrieron daños. Las estructuras de defensa costeras también fueron afectadas, demostrando su utilidad en los eventos de mayor frecuencia pero menor magnitud, típicamente con un periodo de retorno de entre 50 y 160 años (Shibayama *et al.*, 2012, p. 16). Este evento tiene un periodo de retorno tan alto que lo hace relativamente único en la historia de Japón hasta este momento (Shibayama *et al.*, 2012, p. 6).

Una catástrofe nuclear. Como dice Beck (1998, p. 89), “el efecto secundario inadvertido de la socialización de la naturaleza es la socialización de las destrucciones y amenazas de la naturaleza”. Los efectos combinados del terremoto y el tsunami han provocado una tragedia no solamente para ese país sino para la humanidad. La central nuclear Fukushima *Daiichi*, integrada por seis unidades, fue diseñada con estructuras sismo-resistentes para afrontar terremotos de magnitud 7 en la escala Richter y muros rompeolas de 6,5 m de altura, pero los fenómenos excedieron considerablemente estos valores (Sajaroff, 2011, p. 3).

Cuando el agua del mar ingresó, los generadores que mantenían la planta refrigerada se detuvieron, los reactores se sobrecalentaron y se produjeron tres fuertes explosiones. La central dejó escapar radionucleidos a la atmósfera, que se depositaron en la tierra y el océano. También hubo emisiones directas al mar. Los pobladores más cercanos fueron evacuados y se impusieron restricciones a la distribución y consumo de agua potable y alimentos (Sajaroff, 2011, p. 9; IAEA, 2015, p. 1). Los residuos de combustible nuclear, que se fundieron y volvieron a solidificarse dentro de los reactores, siguen desprendiendo calor y deben enfriarse con agua constantemente. El agua de enfriamiento, además de la subterránea y de lluvia que se cuele en el edificio del reactor, está contaminada con una alta concentración de

sustancias radiactivas y, si bien es tratada en una planta de eliminación de materiales radiactivos, no se logra limpiar por completo (Naoe, 2020). Esta agua tratada sigue acumulándose en tanques con capacidad para almacenar unas 1000 toneladas, a razón de uno por semana (figura 7). Después de discusiones sobre su destino, el gobierno japonés aprobó el plan de verterlo al Pacífico, a partir de 2023. Se trata de más de un millón de toneladas de líquido tratado, pero aún con ciertos isótopos radiactivos (Vidal Liy, 2021). La agricultura y la pesca de Fukushima, que gradualmente están volviendo a ser aceptadas por el mercado, pueden verse severamente dañadas otra vez (Naoe, 2020).

Figura 7. La planta de Fukushima antes y después de la tragedia



*Ya no queda espacio para los tanques de almacenamiento de aguas tratadas (Ōkuma, prefectura de Fukushima).
Fuente: elaborado por María Cristina Zilio, sobre la base de Google Earth.*

El accidente de Fukushima reavivó las discusiones sobre el riesgo de esta tecnología y varios países se han preguntado si es necesario arriesgarse a este tipo de accidentes catastróficos para el suministro de energía (Planelles, 2021). Por ejemplo, tres meses después del tsunami japonés, Alemania aprobó el cierre de todas sus plantas nucleares para 2022. En ese momento, el 22% de la electricidad en Alemania era de origen nuclear (Planelles, 2021).

Comentarios finales

El análisis de los cinco terremotos demuestra que la magnitud no es el parámetro que determina necesariamente una catástrofe. Esta es condicionada por numerosas variables, entre las que se destacan las personas expuestas al temblor, sus características socioeconómicas, el tipo de infraestructuras, la existencia o no de una planificación territorial que considere el peligro sísmico y de planes de evacuación, la educación y el conocimiento de los fenómenos sísmicos y las estrategias de mitigación de sus consecuencias. En los eventos sísmicos, la preparación de la población es fundamental. Ya se trate de conocimiento formal

o de sabiduría ancestral, esta preparación debe ser contemplada en estrategias integrales de gestión territorial.

¿Sabías que algunos sismos son artificiales?

Si bien el motor de los sismos es la actividad de las placas tectónicas, también pueden deberse a la actividad volcánica, al impacto de meteoritos o, inclusive a la atracción luni-solar⁸⁸. Pero, además, no todos los terremotos son de origen natural, algunos son inducidos por la **actividad antrópica** (embalses, explosiones para la actividad minera en general, técnicas de fracturación hidráulica y explotación petrolífera- en particular, eliminación de aguas residuales por inyección en pozos- etc.). Por ejemplo, en la India, el trágico terremoto del embalse de Koyna (Mw 6,3), dañó la presa y mató al menos a 180 personas, en 1967 -cinco años después de haberse llenado-. Mantiene una actividad sísmica regular acompañando los cambios de nivel anuales del embalse (Foulger *et al.*, 2017, p. 442).

¿Sabías que La Plata no se ubica en una región “asísmica”?

En 1954, Gutenberg y Richter realizaron una detallada investigación sobre la sismicidad del planeta. Localizaron las áreas sísmicas a partir de la ubicación de los epicentros conocidos hasta ese momento y asignaron un carácter “asísmico” a las zonas que no registraron temblores. Sin embargo, tanto el perfeccionamiento del instrumental técnico como una mejor distribución de las estaciones han mostrado que no hay zonas totalmente “seguras” (Jaschek, 1983, p.11-12). Por ejemplo, la región en la que se encuentra la ciudad de La Plata se consideraba estable, sin embargo, el riesgo sísmico no es nulo. El registro más antiguo corresponde a 1848, con epicentro cerca de Montevideo. En 1884, un tsunami inundó parte de esa ciudad. En 1888, un sismo tsunamigénico más importante, afectó ambas costas del Río de la Plata (Sistema Nacional de Emergencias, 2019, p. 2). También hay registros de un sismo entre las localidades de Brandsen y San Vicente (1949), otro “más antiguo y menos preciso, sentido tanto en Quilmes como en Martínez”, y un sismo entre Vieytes y Magdalena, en 1971 (Jaschek, 1983, p. 12). El sismo más reciente se registró el 30 de noviembre de 2018. Con una profundidad de 25 km, tuvo su epicentro en Canning, a 50 km de La Plata. Tuvo una Mw 3,7 -3,9° Richter- (Venerdini *et al.*, 2019, p. 179). Todos

⁸⁸ Una reciente investigación arriesga una posible relación con la atracción de la Luna y el Sol. Esta fuerza es responsable de las mareas oceánicas y las terrestres. Una leve presión de estas mareas terrestres, podría desencadenar los temblores al influir en los movimientos de las rocas vecinas a las zonas de falla (Witze, 2016).

se explican cómo sismos de intraplaca (figura 3), asociados a fallas geológicas activas, que responden a los esfuerzos de compresión provenientes de la fosa chilena y la dorsal atlántica (Ballarino, 2018; Venerdini *et al.*, 2019, p. 180).

Preguntas para reflexionar

- ¿Qué estrategias son fundamentales para estar preparados frente a un potencial evento sísmico? Estos acontecimientos, ¿afectan a toda la población por igual?
- ¿Educar en la prevención y mitigación de riesgos debe ser exclusivo para quienes viven en zonas geológicas adversas? ¿Deberían deshabitarse zonas de alto riesgo sísmico?, ¿es posible?
- ¿Cómo estudiarías los sismos analizados en este trabajo desde la Teoría Social del Riesgo?

Referencias

- Albalá, A. (17 de enero de 2022). Meteotsunami en el Mediterráneo por el volcán de Tonga: el nivel del mar sube medio metro en Menorca. *20minutos.es*. Recuperado de <https://www.20minutos.es/noticia/4942441/0/meteotsunami-mediterraneo-volcan-tonga-nivel-mar-medio-metro-menorca/>
- Ballarino, F. (30 de noviembre de 2018). Por qué se produjo el temblor de hoy. *Perfil*. Recuperado de <https://www.perfil.com/noticias/ciencia/por-que-se-produjo-el-sismo-temblor-terremoto.phtml>
- Banco Mundial. Banco de Datos. Recuperado de <https://databank.bancomundial.org/home.aspx>
- Barrientos, S. E. (2010). Terremoto (M = 8.8) del 27 de febrero de 2010 en Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(3), 412-420. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262434324_Terremoto_M88_del_27_de_febrero_de_2010_en_Chile
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.
- Cárdenas, A. (22 de Mayo de 2019). Conocimientos ancestrales salvaron del tsunami a las tribus primitivas de la India. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/mundo/313481-conocimientos-ancestrales-salvaron-del-tsunami-a-las-tribus-primitivas-de-la-india/>
- Cavallo, E., Powell, A. y Becerra, O. (febrero, 2010). Estimating the direct economic damages of the earthquake in Haití. *Inter-American Development*, 163, 1-16. Recuperado de <https://publications.iadb.org/en/publication/estimating-direct-economic-damage-earthquake-haiti>
- Delgado, J. (2011). Efectos geotécnicos de los terremotos. *Revista de la Asociación Española inprespara la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Universidad de Alicante, 19(3), 276-288. Recuperado de: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/35302/1/2011_Delgado_ECT.pdf
- Delménico, A. (2018) Peligrosidad y vulnerabilidad de áreas costeras urbanas del lago Nahuel Huapi frente a eventos volcánicos y tsunamigénicos (Tesis doctoral). FaHCE. UNLP. Recuperado de <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1698/te.1698.pdf>

- Dorfeuille, J. 2013. *Diseño de la red sísmica digital por satélite haitiana* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, 1-74. Recuperado de https://oa.upm.es/34109/7/TE-SIS_MASTER_JEAN_MICHAEL_HAENDEL_DORFEUILLE.pdf
- Estrada Roldán, B. y Farbiarz Farbiarz, J. (2005). El terremoto y posterior tsunami del 26 de diciembre de 2004 en Indonesia. *Dyna* 145, 85-90. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n145/a09v72n145.pdf>
- Foulger, G., Wilson, M., Gluyas, J., Julian, B. y Davies, R. (Marzo, 2018). Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*, 178, 438-514. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001282521730003X>
- Gobierno de Chile (2011). Balance de la Reconstrucción a 1 año del 27-F. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de Chile. Recuperado de <https://docplayer.es/34275992-Balance-de-reconstruccion-a-un-ano-del-27-f.html>
- Goldes, G. (15 de abril de 2015). Bariloche y su extraño lagomoto de 1960. *UNCiencia*. Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de <https://unciencia.unc.edu.ar/divulgacion/bariloche-y-su-extrano-lagomoto-de-1960/>
- González, M., Alfaro, P. y Brusi., D. 2011. Los terremotos “mediáticos” como recurso educativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(3), 330-342. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/257505/344611>
- Hayes, G.P., Myers, E.K., Dewey, J.W., Briggs, R.W., Earle, P.S., Benz, H.M., Smoczyk, G.M., Flamme, H.E., Barnhart, W.D., Gold, R.D., and Furlong, K.P., 2017, Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015: *U.S. Geological Survey*. Report 2016–1192, 148, Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/2016/1192/ofr20161192.pdf>
- Holmes, A. 1971. *Geología Física*. Barcelona, Omega.
- IAEA (2015). El accidente de Fukushima Daiichi. Organismo Internacional de Energía Atómica Informe del Director General. Viena, 235 pp. Recuperado de <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1710/Languages/Spanish.pdf>
- INPRES (13 de diciembre de 1991). Energía del terremoto, 1-7. Recuperado de <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Energ%C3%ADa%20del%20terremoto.pdf>
- INPRES (2017). *Manual de Prevención Sísmica*. San Juan. Recuperado de <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Manual de Prevencion Sismica.pdf>
- IRIS - Incorporated Research Institutions for Seismology (junio, 2011). ¿Con qué frecuencia ocurren los terremotos?, 3, 1. Recuperado de <https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how-often-do-earthquakes-occur>
- Jaschek, E. (1983). Sísmicidad del Arco de las Malvinas, Georgias y Sandwich del Sur. *Revista de la Universidad*. Edición extraordinaria, 11-32. La Plata: UNLP.
- León, F. M. (12 de marzo de 2021). Diez años después del tsunami de Tohoku, Japón. *Me-teored*. Recuperado de <https://www.tiempo.com/ram/diez-anos-despues-del-tsunami-de-tohoku-japon.html>

- Memoria Chilena (2005). Los terremotos en Chile (1570-2010). Terremoto del 22 de mayo de 1960, Valdivia. Biblioteca Nacional de Chile. Recuperado de <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-98075.html>
- Morales Muñoz, R. (noviembre, 2010). Terremoto y *Tsunami* del 27 de Febrero de 2010. Efectos urbanos en localidades de la provincia de Arauco. *Revista Urbano*. 13(22), 43-62. Recuperado de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-TerremotoYTsunamiDel27DeFebreroDe2010EfectosUrbano-5231651%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-TerremotoYTsunamiDel27DeFebreroDe2010EfectosUrbano-5231651%20(1).pdf)
- Murria, J. (2007). El terremoto de Lisboa del 1° de noviembre de 1755: ¿El primer desastre “moderno”? *EIRD*, 14, 13-16. Recuperado de <https://www.eird.org/esp/revista/no-14-2007/contribuciones.pdf>
- Naciones Unidas y Banco Mundial. 2010. *Peligros naturales, desastres evitables La economía de la prevención efectiva*. España: Gondo, 1-332. Recuperado de <https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/peligros-naturales-desastres-evitables-2010.pdf>
- Naoe, K. (12 de marzo de 2020). La central nuclear de Fukushima Daiichi: nueve años sin luz al final del túnel. *Nippon.com*. Recuperado de <https://www.nippon.com/es/japan-topics/q00835/>
- Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (s.f.). Marco Normativo Institucional del Sistema Nacional de Emergencias y Protección Civil. Recuperado de https://www.preventionweb.net/files/28726_marconormativoinstitutionaldelsiste.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2011). *Informe sobre Desarrollo Humano 2010. La verdadera riqueza de las naciones: Caminos al desarrollo humano*. Recuperado de https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2010_es_complete_reprint.pdf
- Planelles, M. (9 de marzo de 2021). 10 años de Fukushima: golpe a la reputación de una energía en retroceso. *El País*. Recuperado de <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-03-09/10-anos-de-fukushima-golpe-a-la-reputacion-de-una-energia-en-retroceso.html>
- Ramírez, P. y Aliaga Sandoval, J. (18 de enero de 2012). *Tsunami* paso a paso: los escandalosos errores y omisiones del SHOA y la ONEMI. *Ciper*. Recuperado de <https://www.ciperchile.cl/2012/01/18/tsunami-paso-a-paso-los-escandalosos-errores-y-omisiones-del-shoa-y-la-onemi/>
- Red Geocientífica de Chile (22 de mayo de 2019). En esta imagen se muestra la comparación de la energía liberada en el terremoto de Valdivia, 1960, y otros terremotos a lo largo de la historia a nivel mundial [tuit]. Recuperado de <https://twitter.com/RedGeoChile/status/1131235938322059265>
- Rhea, S., Tarr, A., Hayes, G., Villaseñor, A. y Benz, H. (2010). Seismicity of the Earth 1900—2007, Japan and Vicinity. Open-File Report 2010-1083-D, Hoja de mapa escala 1: 5 000 000. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/2010/1083/d/>
- Rincon, P. (9 de agosto de 2011). El *tsunami* de Japón generó icebergs en la Antártica. *BBC Ciencia*. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/08/110809_japon_tsunami_glaciares_antartica_jrg
- Rofman, A. (1974). *Dependencia, estructura de poder y formación regional en América Latina*. Buenos Aires: Siglo XXI editores.

- Rojas Hoppe, C. y Díez Lorente, S. (julio-diciembre, 2013). El terremoto chileno del 27 de febrero de 2010: análisis preliminar de las consecuencias en la ciudad de Valdivia. *Investigaciones Geográficas*. Instituto Interuniversitario de Geografía, 60, 139-153. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34749/1/Investigaciones_Geograficas_60_08.pdf
- Romero, G. y Maskrey, A. (1993). Como entender los desastres naturales. En A. Maskrey (Comp.). *Los desastres no son naturales* (pp. 6-10). Bogotá: La Red - Tercer Mundo Editores. Recuperado de <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Ruiz, S. y Madariaga, R. (2012). Sismogénesis, Proceso de Ruptura y Réplicas del Mega Terremoto del Maule 2010. En Departamento Ingeniería Civil. Universidad de Chile. *Mw=8.8 Terremoto en Chile*. Recuperado de <http://dqf.uchile.cl/~sruiz/Papers/books/13-30.pdf>
- Sáez, C. (31 de octubre de 2019). Otro 1 de noviembre. El terremoto que ayudó a modernizar Portugal. *La Vanguardia*. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/edad-moderna/20191101/471029259656/terremoto-lisboa.html>
- Sáez del Pino, J. 2011. Normativa nacional antisísmica en materia de construcción. Bases y proyecciones (Tesis doctoral). Universidad de Chile. Facultad de Derecho. Recuperado de https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-22_01-40-10102567.pdf
- Sajaroff, P. (2011). Consecuencias del terremoto y tsunami ocurridos el 11 de marzo de 2011, en Japón: estado de situación. *Sociedad Argentina de Radioprotección*. Recuperado de <https://radioproteccionsar.org.ar/downloads/informe-pedro-sajaroff.pdf>
- Sampedro, J. (8 de enero de 2005). Cómo salvarse de un 'tsunami'. *El País*. Recuperado de https://elpais.com/diario/2005/01/09/domingo/1105246353_850215.html
- Shibayama, T., Esteban, M., Nistor, I., Takagi, H., Nguyen, T., Matsumaru, R., Mikami, T., Ohira, K. y Ohtani, A. (2012). Implicaciones del tsunami de Tohoku del año 2011 para la gestión de desastres naturales en Japón. *Obras y Proyectos* 11, 4-17. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n11/art01.pdf>
- Sistema Nacional de Emergencias (26 de agosto de 2019). *Sismos en Uruguay*. Presidencia de Uruguay, 1-5. Recuperado de <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sismos>
- Tarback, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la Geología*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- United States Geological Survey [USGS] (23 de diciembre de 2014). Indian Ocean Tsunami Remembered. Scientists reflect on the 2004 Indian Ocean that killed thousands. Recuperado de <https://www.usgs.gov/news/featured-story/indian-ocean-tsunami-remembered-scientists-reflect-2004-indian-ocean-killed>
- United States Geological Survey [USGS] (26 de junio de 2019). 20 Largest Earthquakes in the World. Recuperado de <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/science/20-largest-earthquakes-world>
- United States Geological Survey [USGS] (s.f.-a). 1960-05-22 Recuperado de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official19600522191120_30/executive

- United States Geological Survey [USGS] (s.f.-b). Mundo - M7+ en 2010. Recuperado de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/m7-world.php?year=2010>
- United States Geological Survey [USGS] (s.f.-c). 2011-03-11. Recuperado de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive
- Venerdini, A., López, L., Orozco, P., Sánchez, G., Alvarado, P., Perucca, L. y Galván, R. (2019). Parametrización sismológica del sismo del 30 de noviembre de 2018, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76(3): 173-182. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/125096/CONICET_Digital_Nro.4f1cbad6-1c13-4ded-8126-66b49e849d04_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Vidal Liy, M. (13 de abril de 2021). Japón aprueba el polémico plan de vertido de agua de Fukushima al mar entre críticas de países vecinos. *El País*. Recuperado de <https://elpais.com/internacional/2021-04-13/japon-aprueba-verter-agua-contaminada-de-fukushima-al-mar.html>
- Witze, A. (12 de septiembre de 2016). Moon's pull can trigger big earthquakes. *Nature*. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/nature.2016.20551#citeas>
- Zilio, M., D'Amico, G., Báez, S., Palacios, F. y Aranda Álvarez, M. (15-16 de noviembre, 2017). Una mirada geográfica sobre las problemáticas geológicas y geomorfológicas. Riesgo e incertidumbre en los terremotos de Haití y Chile, 2010, 1-17. XIX Jornadas de Investigación. CIG. FaHCE. UNLP. Recuperado de <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=eventos&d=Jev13860>
- Zúñiga, Arturo (15 de Agosto de 2001). El Niño Inmolado. *El Mercurio electrónico*. Centro de Documentación Mapuche. Recuperado de <http://www.mapuche.info/news02/merc010815.htm>