

## La propensión a las catástrofes en las sociedades modernas – los terremotos de Northridge 1994 y Kobe 1995

**Introducción.** La historia de la civilización humana y del avance tecnológico puede interpretarse también como el esfuerzo constante del ser humano por independizarse de la naturaleza y de las fuerzas que en ella imperan. Este proceso se inició con la construcción de las primeras chozas y llegó provisionalmente a su punto culminante con el experimento denominado "Biosfera" (Arizona), en el que se pretendió sustituir el medio ambiente natural por un entorno totalmente aislado de la naturaleza. Los terremotos de Northridge/Los Ángeles 1994, Kobe 1995 e Izmit/Estambul 1999 nos han hecho ver claramente el punto en el que estamos actualmente en el largo camino que conduce a nuestra meta de no depender de la naturaleza.

Con los terremotos de Kobe y Northridge/Los Ángeles se vieron afectadas, en un intervalo exacto de un año, dos zonas urbanas de grandes ciudades en los países industrializados más grandes del mundo. Se trata de los terremotos más importantes que han tenido lugar en el mundo industrializado en las últimas décadas. El terremoto de Izmit, por el contrario, caracteriza más bien los problemas de una metrópolis con un acelerado crecimiento en un país emergente y, por lo tanto, no se trata con más detalle en el marco de nuestro tema. Los tres terremotos mencionados se alinean entre

las grandes catástrofes naturales urbanas de este siglo, junto con San Francisco 1906, Tokio 1923, Tangshan 1976 y Ciudad de México 1985. Los daños económicos en Northridge (44.000 millones de US\$) y en Kobe (más de 100.000 millones) han establecido nuevas marcas récord y permiten entrever el potencial siniestral a esperar de futuros terremotos en grandes metrópolis como Tokio, Osaka, San Francisco o Los Ángeles. Ambos eventos han permitido obtener nuevos conocimientos, en parte sorprendentes, referentes a la vulnerabilidad de las sociedades modernas altamente desarrolladas. Los considerables daños materiales e indirectos han corroborado que el grado de vulnerabilidad sigue siendo muy elevado. El mayor nivel de desarrollo de una región conduce, por una parte, a que disminuyan las pérdidas de vidas humanas y aumenten los daños materiales. No obstante, la interconexión cada vez mayor de todos los estratos del mundo actual, que abarca desde los escenarios locales hasta los escenarios globales, implica también que el alcance de las catástrofes naturales sea mayor que nunca a consecuencia de los siniestros indirectos. La industria aseguradora resulta especialmente afectada por este desarrollo, como lo demuestra la distribución de los siniestros por catástrofes asegurados que se ofrece en la parte estadística.

Los motivos de este fenómeno se encuentran a niveles muy diversos y pueden describirse como una concatenación de consecuencias que tiene su origen en el entendimiento teórico de los peligros de la naturaleza, pasando por el nivel de conciencia del riesgo de las partes afectadas hasta la realización de medidas destinadas a aminorar el riesgo – aunque a este último punto casi nunca se le concede la importancia que merece. La discusión sobre este tema se basa en gran parte en las observaciones realizadas en Northridge y Kobe y puede resumirse de la siguiente forma.

- la imperfección de los conocimientos científicos
- la puesta en práctica de los conocimientos obtenidos por la ciencia
- la conciencia del riesgo
- nuevas técnicas – nuevos riesgos
- "cargas" del pasado
- siniestros no estructurales
- problemas de infraestructura
- la interconexión y sus consecuencias

**La imperfección de los conocimientos científicos.** Cada catástrofe nos enseña lecciones nuevas o que no recibieron la debida atención en el pasado. Un aspecto de los terremotos de Northridge y Kobe sumamente interesante desde el punto de vista científico es que tuvieron lugar en una falla desconocida (Northridge)

El terremoto de Kobe produjo el derrumbamiento de toda una planta en el ayuntamiento antiguo de Kobe, construido

antes de 1981. En el fondo puede verse la parte nueva del ayuntamiento, construida de conformidad con el código para

edificaciones resistentes a terremotos. La nueva edificación hizo frente al terremoto sin sufrir daños considerables

o poco activa (Kobe) hasta entonces y que ocurrieron en países en los que las investigaciones científicas han alcanzado un nivel sumamente elevado. Los grandes avances de las investigaciones científicas nos hacen olvidar frecuentemente que nuestra comprensión de los procesos físicos elementales, también los relacionados con los peligros de la naturaleza, continúa siendo imperfecta hasta nuestros días y que se basa muchas veces en hipótesis de trabajo. Como ejemplo, basta con tener presente que todavía existen controversias sobre la forma en que se originan los terremotos. A este respecto existen hipótesis elementalmente opuestas, como p. ej. la hipótesis determinista del rebote elástico de Reid, que presupone una acumulación de tensión a largo plazo causada por procesos de la tectónica de placas y una descarga de dichas tensiones en forma de terremotos. Esta teoría es totalmente contraria a la de la criticidad autónoma, que afirma que los terremotos tienen una dinámica propia y que son procesos caóticos, por lo que prácticamente cualquier pequeño movimiento telúrico puede convertirse en un terremoto de gran magnitud de forma impredecible. Asimismo, casi no se han comprendido todavía ni el origen ni los patrones de movimiento –especialmente importantes para los siniestros– de los ciclones trópicos, aun cuando se conocen con certeza las condiciones marco para que surjan y cobren fuerza.

Otro ejemplo es el así llamado “fault fling”. Se denomina de esta

forma a un golpe de energía de poca duración que provoca daños sobre todo en las construcciones altas. A este fenómeno se deben –dejando a un lado las deficiencias en la construcción– los daños inesperados que sufrieron las construcciones de marcos de acero en Northridge (ver abajo). El “fault fling” también dejó sus huellas en Kobe. A pesar de que este fenómeno se conoce, en principio, desde el terremoto de San Fernando en 1971, no ha sido incorporado hasta ahora en las normativas vigentes para construcciones sismorresistentes. En la actualidad sólo se incluye en los códigos de construcción para casos de terremoto como un “factor de campo cercano”

Lo que tratamos de ilustrar con estos ejemplos es que no debe presuponerse que exista un adelanto científico que permita a las sociedades modernas prepararse mejor para afrontar el alcance de los posibles daños materiales a consecuencia de las catástrofes naturales.

**La puesta en práctica de los conocimientos científicos.** Además de lo expuesto en el punto anterior, las sociedades modernas con un alto grado de desarrollo tecnológico tienden marcadamente a utilizar áreas especialmente expuestas para desarrollar allí actividades económicas y asentar en ellas a la población. Esta tendencia, que ha quedado descrita en otro artículo, puede observarse ya en las culturas altamente desarrolladas de la antigüedad. En muchos casos dichas culturas se establecieron y expandieron a lo largo de

los cauces de los ríos, estando por ello altamente expuestas a las inundaciones. También la exposición a terremotos es, asimismo, sumamente alta en los valles fluviales, ya que los sedimentos blandos y no consolidados, ubicados frecuentemente incluso a grandes profundidades, hacen que las ondas de los terremotos cobren más intensidad al llegar. En nuestros días la dinámica del desarrollo cualitativo y cuantitativo de las grandes ciudades aumenta la vulnerabilidad de las sociedades modernas de forma exponencial. Uno de los motivos de ello es que el factor determinante de dicha dinámica es frecuentemente la primacía de intereses económicos a corto plazo o de coerciones político-sociales. Por lo tanto, resulta difícil o hasta imposible que el factor imperante en la planificación territorial y en las normativas para la construcción sea el grado de exposición, e incluso el acatamiento de las normativas vigentes pasa a un segundo plano. Los ejemplos son innumerables. La marcada utilización a nivel mundial de áreas de inundaciones para la construcción de edificios y para asentamientos industriales corrobora lo anteriormente expuesto. Lo mismo puede decirse de la gran densidad de las construcciones en las zonas de aglomeración – que en el caso de Ciudad de México presenta una alta concentración de rascacielos en el especialmente expuesto centro urbano. El mismo fenómeno también puede observarse, aunque a menor escala, en Kobe, afectada en 1995. Son precisamente los edificios de gran altura los que generan riesgos de terre-

LOS GRANDES AVANCES DE LAS INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS NOS HACEN OLVIDAR FRECUENTEMENTE QUE NUESTRA COMPRENSIÓN DE LOS PROCESOS FÍSICOS ELEMENTALES CONTINÚA SIENDO IMPERFECTA.

motos en zonas muy alejadas de los focos sísmicos, cuyo grado de exposición era insignificante o muy leve en el pasado. Puede citarse como ejemplo a Singapur, cuyos rascacielos están amenazados por los terremotos que se producen frente a las costas de Sumatra.

Otro problema inmanente del sistema es la perspectiva liberal y con fe ciega en el progreso de una sociedad orientada hacia el mercado: las innovaciones están de moda, las normativas (estrictas) no lo están; está permitido todo lo que gusta. Para ilustrar esta afirmación podemos tomar como ejemplo las construcciones a prueba de terremotos, en las que se nota una incontenible tendencia hacia el "performance-based design". En este caso sólo se prescribe el objetivo que debe alcanzarse, a saber, la estabilidad del edificio. La forma en que el ingeniero constructor logre dicho objetivo no se enmarca en normativas de probada eficiencia, sino que se deja a cargo de su fantasía. Esto no implica necesariamente que los edificios tengan un comportamiento deficiente –"performance-based design" es una oportunidad de mejora, pero también es un riesgo

**Conciencia del riesgo.** La aminoración de riesgos mediante medidas de ingeniería –tales como el diseño de construcciones resistentes a terremotos y a vientos huracanados, la construcción de presas para controlar las inundaciones, etc.– es comparable a un balance comercial: la disminución innegable de las pérdidas de vidas humanas y, en segunda instancia, la posible disminución de las pérdidas materiales sobre todo en los eventos de poco alcance deben colocarse en el "haber". A esto se contraponen en el "debe" la disminución del nivel de conciencia que se tiene del peligro, pues los eventos catastróficos de poco

alcance no ocurren con la regularidad necesaria para mantener despierta esta conciencia. Los eventos de gran alcance que sobrepasan los límites de referencia –como p. ej., el terremoto de Kobe, Northridge, Ciudad de México 1985 o el desbordamiento del Red River en el norte de los EE.UU. y en el sur de Canadá en 1997– toman entonces por sorpresa a una población y/o a una administración preparadas de forma totalmente insuficiente. El ejemplo ya mencionado de las presas ilustra la tendencia generalizada de suplir la responsabilidad propia de los individuos por las ordenanzas colectivas. Este sistema funciona para los eventos "cotidianos" o para los eventos que ocurren cada 10 a 50 años. No obstante, cuando disminuye la conciencia de la exposición al peligro y se pasan por alto incluso las medidas preventivas más elementales, aumenta la vulnerabilidad frente a las catástrofes excepcionales de gran alcance.

A esto se suma que cuando ocurre una catástrofe se despierta repentinamente la conciencia de la exposición al riesgo y se asumen posturas exageradamente exigentes. Se reclama entonces que el Estado asuma el pago de los daños para los que no se tomó ningún tipo de medidas preventivas.

#### **Nuevas técnicas – nuevos riesgos**

Las técnicas nuevas conllevan nuevos riesgos. Desde el punto de vista histórico, el concreto es un material de construcción relativamente nuevo, aun cuando se utilizó ya en el Panteón en Roma hace casi 2.000 años. En este contexto, cabe citar tres ejemplos de nuevas técnicas:

- Hormigón armado: el hormigón armado es hoy en día un material tan universal en el ámbito de la construcción como es el idioma inglés como "lingua franca"

en el ámbito internacional, y no solamente en los países altamente tecnificados, sino a través de estos también en el resto del mundo. La fama que tenía el hormigón armado de ser un material sumamente estable se ha perdido de forma irrecuperable a causa de numerosos terremotos. La calidad indudablemente alta que puede alcanzar este material queda puesta en tela de duda por dos motivos. Uno de ellos es el alto porcentaje de posibilidades de falla que implican la mezcla de los materiales del hormigón y la ejecución del esqueleto de acero. El otro son las ya mencionadas condiciones marco económicas, tales como el ahorro desmesurado y los plazos de ejecución sumamente cortos. Desde una perspectiva global puede afirmarse con certeza que la invención del hormigón armado no ha conducido a una disminución de los daños por terremotos. Sin embargo, sí ha logrado reducir la exposición a otros peligros como, p. ej., los vientos huracanados.

- Marcos de acero: una de las sorpresas que trajo consigo el terremoto de Northridge fueron los "siniestros tardíos", conocidos hasta entonces principalmente en el ámbito medioambiental (p. ej., problemas de vertederos de residuos). Northridge ha proporcionado una nueva variante de la misma problemática, pero esta vez de no tan largo plazo. La detección ulterior de daños estructurales en los edificios con marcos de acero. La investigación de las causas duró varios años y el avance fue muy lento, pues se trata en este caso de una serie de causas cuyos efectos están entrelazados de forma compleja, por lo que no puede determinarse ninguna causa específica predominante. Antes del terremoto de Northridge se pensaba que este tipo de construcciones eran sumamente resistentes contra terremotos.

También en Kobe se produjeron numerosos daños en las construcciones de acero. Una característica especial de este fenómeno es que los daños más severos en los edificios con marcos de acero en Kobe los sufrió un grupo de edificios altos de apartamentos con un tipo de construcción muy peculiar y que, por lo tanto, no se había probado todavía en la práctica. Al igual que en Northridge, en los casos más extremos pudo observarse un cizallamiento total de los soportes macizos de acero. Los daños ocurridos en las construcciones de acero no son, sin embargo, un problema específicamente estadounidense o japonés, sino un problema mundial. A consecuencia de los siniestros de Northridge las normas de construcción para las construcciones de acero perdieron su vigencia durante casi un año en todos los EE.UU., con los respectivos retrasos de los proyectos en ejecución y planificados.

Amortiguamiento de oscilaciones  
La atenuación de oscilaciones es una técnica bastante reciente que no ha tenido todavía su bautizo de fuego en forma de fuertes terremotos o huracanes. El objetivo de este tipo de procedimientos es aislar a los edificios de las oscilaciones que los alcanzan o incluso contrarrestar dichas oscilaciones mediante elementos de amortiguación controlados electrónicamente. El ejemplo de un edificio de este tipo ubicado a aproximadamente 30 km de distancia del epicentro del terremoto de Northridge muestra que se ha conseguido el objetivo deseado, es decir, reducir las vibraciones del suelo del edificio. Sin embargo, de ninguna forma pueden sacarse conclusiones para ubicaciones más cercanas al epicentro ni para terremotos más fuertes. Los cálculos modelo realizados han mostrado que en estos casos existe el peligro de que el

edificio golpee la cubeta del cimiento y sufra graves daños como consecuencia de ello. En Kobe no se conoce ningún caso de construcciones con aislamientos sísmicos. Las grandes aceleraciones que se presentaron allí hubieran sido, sin lugar a dudas, la prueba de fuego que no se obtuvo en Northridge debido a la distancia a la que se encontraba el epicentro.

Los sistemas de este tipo son un ejemplo clásico de productos concebidos por el genio creativo de algunos ingenieros, cuyo potencial de aplicación –teóricamente– es muy prometedor, pero cuyo comportamiento bajo cargas extremas no ha quedado demostrado todavía y, por lo tanto, sigue siendo inseguro. Esto rige, como mencionábamos arriba, para todo el complejo del “performance-based design”, del que los sistemas de amortiguación forman sólo una parte.

Uno de los objetivos inmanentes de la ingeniería es “ser más listo” que la naturaleza. Este objetivo, en parte, está determinado también por la ubicación, para cuya selección rigen frecuentemente motivos económicos. Las nuevas técnicas crean nuevas posibilidades inimaginables hasta ahora, pero también nuevos potenciales de riesgo. El mejor ejemplo para esto son tal vez los puentes y túneles que cruzan dislocaciones activas, tales como el puente Akashi cerca de Kobe o el puente planificado sobre el Estrecho de Messina.

“Cargas del pasado”. El contrapunto de las nuevas técnicas son las “cargas del pasado” constituidas por las construcciones antiguas. Por lo general, este tipo de construcciones representan la mayor parte de los riesgos asegurados y, sobre todo, de los siniestros. Muy pocos terremotos han mostrado tan claramente la relación directa existente entre las

evidencias del siniestro y la edad de los edificios como el terremoto de Kobe. Los edificios más antiguos, tales como los edificios de altura media en la parte céntrica y comercial de Kobe, reaccionaron frente a las fuerzas del terremoto con roturas frágiles y, como consecuencia de ello, con el derrumbamiento de partes del edificio o de plantas enteras. En cambio, los relativamente moderados daños sufridos por los edificios construidos después de las revisiones del Código de Construcción, que tuvieron lugar en 1971 y 1981, demostraron que es posible construir obras resistentes a terremotos que hagan frente incluso a fuerzas tectónicas muy intensas.

La premisa para ello es, lógicamente, que se respeten las correspondientes normativas para la construcción. Sin embargo, dichas normativas rigen sobre todo para las construcciones más modernas. Puede decirse que, en promedio, la totalidad de edificios de una zona determinada se renueva una vez cada 100 años. Los terremotos de Kobe y Northridge han demostrado muy claramente que un problema grave –sobre todo en los países altamente desarrollados en materia de técnicas para protección contra terremotos– es el comportamiento de los edificios viejos o que pueden considerarse anticuados con respecto al desarrollo de las normativas para la construcción. El objetivo principal de las construcciones resistentes a terremotos, la protección de las vidas humanas, se alcanza en gran medida en esos países en el caso de las construcciones modernas (ver arriba). Con respecto a las construcciones antiguas puede afirmarse que se requieren mayores esfuerzos para brindarles una mejor protección contra terremotos y otras fuerzas de la naturaleza, sobre todo en vista del alto riesgo de muerte y de los enormes daños materiales y financieros.