

Lecciones aprendidas del terremoto de Lorca de 2011

Lessons learned from the 2011 Lorca Earthquake

PEDRO ALFARO¹, MARTA GONZÁLEZ², DAVID BRUSI³, JUAN A. LÓPEZ MARTÍN⁴, JOSÉ J. MARTÍNEZ DÍAZ⁵, JULIÁN GARCÍA MAYORDOMO⁶, BELÉN BENITO⁷, PATRICK MURPHY⁸, ALFONSO NÁJERA⁹, RICARDO VILLALBA¹⁰ Y FRANCISCO JÓDAR¹¹

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. E-mail: pedro.alfaro@ua.es

² Unitat de Riscos Geològics. Institut Geològic de Catalunya. Balmes, 209-211. 08006 Barcelona. E-mail: mgonzalez@igc.cat

³ Departament de Ciències Ambientals/GEOCAMB. Facultat de Ciències. Universitat de Girona. E-mail: david.brusi@udg.es

⁴ I.E.S. Ramón Arcas, Avda. Juan Carlos I, 72, 30800 Lorca. E-mail: juanan72@hotmail.es

⁵ Dpto. Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Instituto de Geociencias IGEO (UCM-CSIC) C/Jose A. Novais 15 28040 Madrid, Spain. E-mail: jmdiaz@geo.ucm.es

⁶ Instituto Geológico y Minero de España, c/La Calera, 1 Tres Cantos, Madrid 28760. E-mail: julian.garcia@igme.es

⁷ Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, 28031 Madrid. E-mail: mariabelen.benito@upm.es

⁸ Malyan Broadway, C/Julián Camarillo, 42, 28037 Madrid. E-mail: p.murphy@broadwaymalyan.com

⁹ Consorcio de Compensación de Seguros. E-mail: anajera@consorseguros.es

¹⁰ Servicio de Emergencias Municipal de Lorca

¹¹ Ayuntamiento de Lorca (Murcia)

Resumen El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011, de magnitud Mw=5,2, causó un enorme impacto en la ciudad y una gran alarma social, provocando 9 víctimas mortales, centenares de heridos y cuantiosos daños materiales. Este trabajo recoge las opiniones de varios expertos que tuvieron un papel destacado en la gestión y análisis del suceso, y la de 627 lorquinos a través de una encuesta llevada a cabo por estudiantes del I.E.S. Ramón Arcas de Lorca. Aunque cada uno de los expertos y los ciudadanos inciden en aspectos diferentes, el análisis de sus opiniones nos permite concluir, como principal lección aprendida, que terremotos futuros como el de Lorca pueden producir muchos menos daños si se trabaja conjuntamente en mejorar: (1) la investigación sísmica, (2) la calidad de las construcciones, (3) la gestión de las catástrofes naturales y (4) la formación de la ciudadanía. Esta aproximación multidisciplinar al terremoto de Lorca puede resultar interesante para los estudiantes, y puede aportar ideas a los docentes para el análisis de futuros terremotos.

Palabras clave: Terremotos, riesgo sísmico, Lorca, medidas de autoprotección, educación.

Abstract *The Mw 5,2 earthquake of 11 May 2011 in Lorca caused a great impact and social alarm, producing 9 fatalities, injuring hundreds and leaving widespread damage. This paper collects opinions by several experts on earthquakes and seismic risk management, and the opinions of 627 citizens from an opinion poll conducted by students of the Ramon Arcas high school in Lorca. Although experts and citizens focus their attention on different items, analyzing their opinions allows us to conclude that prevention or mitigation of the effects of future earthquakes needs combined efforts aimed at improving: (1) earthquake research, (2) earthquake-proof design of buildings, (3) seismic risk management and (4) self-protection measures and education of the population. This multidisciplinary approach of the Lorca earthquake is interesting for students and teachers when it comes to analyzing future earthquakes.*

Keywords: *Earthquakes, seismic risk, Lorca, self-protection measures, education.*

INTRODUCCIÓN

El 11 de mayo de 2011 dos terremotos sacudieron la ciudad de Lorca (Murcia, España). Aunque su magnitud fue relativamente baja ($MW=4,5$, el primero y $Mw=5,2$ el segundo: el más grave), sus efectos causaron un enorme impacto en la ciudad y sus alrededores (Figs. 1, 2, 3).

La catástrofe de Lorca desencadenó una amplia cobertura mediática y un evidente interés científico por parte de geólogos y sismólogos. También, por supuesto, la tragedia requirió de la intervención de las autoridades políticas, de los responsables de emergencias y protección civil (Fig. 4), así como de múltiples colectivos profesionales directamente relacionados con la diagnosis del temblor y sus consecuencias o con las medidas de restauración de los daños ocasionados.

En un país como España, en el que el riesgo sísmico no es especialmente elevado, el terremoto de Lorca ha recordado que determinadas zonas de nuestro territorio pueden presentar una peligrosidad moderada frente a este tipo de fenómenos. Además, algunas características del suceso han sorprendido a los expertos y han planteado algunos interrogantes.

El terremoto de Lorca:

- Ha tenido una duración muy corta, de apenas unos pocos segundos (y el movimiento más fuerte y dañino apenas duró un segundo).
- Ha producido el máximo valor de aceleración de suelo registrado desde que existe registro



Fig. 1. A. Aspecto de la Avenida Juan Carlos I, minutos después del terremoto principal de Lorca del 11 de mayo. B. La caída de elementos no estructurales de los edificios causaron el mayor número de víctimas mortales y heridos, así como cuantiosos daños materiales.



instrumental en nuestro país, $10,37 \text{ g!}$ (37% del valor de la gravedad).

- Ha causado el número más elevado de víctimas (9 muertos y centenares de heridos) desde el terremoto de Albolote, en la provincia de Granada, en 1956, y el terremoto producido en el SW del Cabo de San Vicente en 1969.
- Es el que ha causado más daños materiales en España en las últimas décadas: más de 300 millones de euros de pérdidas estimadas.
- Las víctimas se han producido por la caída de los elementos no estructurales de los edificios y no por el colapso de las estructuras (Fig. 1).
- Desencadenó casi 300 fenómenos de inestabilidad de laderas (caída de rocas principalmente) (Fig. 5).
- Afectó a edificios de especial importancia estratégica¹, como el hospital de Lorca.
- Se produjeron daños muy significativos en centros educativos de la ciudad (meses más tarde, varios colegios y centros de enseñanza secundaria están impartiendo sus clases en otros edificios habilitados temporalmente) (Fig. 6).
- El patrimonio histórico de la ciudad se ha visto seriamente dañado por el colapso de techos, torres, cúpulas,... (Fig. 2).

Desde el punto de vista del conocimiento científico de los ciudadanos, de los docentes y de los estudiantes ¿qué sabemos de los terremotos más allá de los conceptos básicos de nuestros libros de texto? ¿En qué contexto geodinámico se produjo este sismo? ¿Por qué un terremoto de 5,2 causó tantos daños? ¿Son adecuados los valores de aceleración definidos en la norma sismorresistente de nuestro país? ¿Hay edificios más o menos vulnerables? ¿Estamos suficientemente formados e informados sobre los fenómenos sísmicos?

En este trabajo se pretende reflexionar sobre el conocimiento científico y la percepción social del riesgo sísmico a partir de las opiniones de personas directamente implicadas en el análisis o la gestión de la catástrofe. Nuestras consideraciones también se fundamentan en los resultados de una encuesta realizada por los estudiantes del IES Ramón Arcas de Lorca entre más de 600 conciudadanos a lo largo de los meses posteriores al desastre.

El objetivo final de esta aportación pretende aprovechar el triste suceso para señalar algunas **“lecciones aprendidas del terremoto de Lorca”**. Las

¹ Edificios de especial importancia (de acuerdo a la normativa sismorresistente española NCSE-02) son aquellos cuya destrucción por un terremoto pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen los hospitales, bomberos, edificios de los medios de comunicación (radio, televisión, etc.), edificios de policía, vías de comunicación (carreteras, aeropuertos, ferrocarril), monumentos históricos, depósitos de agua, centrales eléctricas, etc.



“lecciones aprendidas” son las conclusiones más importantes que se alcanzan tras evaluar un suceso o una tarea. Desde un punto de vista científico constituyen evidencias que aportan nuevas interpretaciones del fenómeno. En términos de gestión, su determinación constituye el primer paso para no volver a cometer los mismos errores que en el pasado si se repitiera un evento. Finalmente, en relación a la mejora de las medidas de prevención, se extraen algunas consideraciones finales, ya conocidas, pero que conviene recordar.

En este artículo se dedica una atención especial a los aspectos educativos y de formación de los ciudadanos.

EL TERREMOTO DE LORCA: REACCIONES FRENTE A LA CATÁSTROFE

La catástrofe de Lorca afectó a la seguridad y el bienestar de los ciudadanos y perturbó profundamente las funciones y la actividad económica de Lorca. La tragedia generó una respuesta institucional inmediata para atender a los damnificados, evaluar los daños y recuperar cuanto antes la normalidad. El sismo también desconcertó inicialmente a la comunidad científica por los inusitados efectos de una magnitud relativamente baja.

Transcurrido cierto tiempo tras la conmoción inicial, nos pareció oportuno recabar las opiniones de determinadas personas que tuvieron un papel destacado en la gestión y análisis del suceso. Sus reflexiones son relatos breves pero muy valiosos para sacar conclusiones para el futuro.

Francisco Jódar, Alcalde de Lorca

Creo que todas las personas que hemos tenido la desgracia de vivir la tragedia que supusieron para Lorca los terremotos del 11 de mayo coincidimos en que se trató de una catástrofe de tal virulencia que nos sorprendió a todos, y requirió de cuantas personas participamos en la coordinación las máximas capacidades de cooperación y entendimiento para

dar respuesta a las múltiples emergencias que se presentaron. En mi opinión, creo que fueron muchos los aciertos que gracias a la experiencia, la profesionalidad y la colaboración entre todos los cuerpos, se lograron alcanzar. Pero también es cierto que tenemos que aprender de los aciertos y de los errores cometidos y planificar en frío todos los protocolos de actuación que son necesarios en una situación límite de esta naturaleza. Una vez que hemos vivido en nuestras carnes la catástrofe, tenemos que aprovechar la experiencia para crear un marco firme de actuación extrapolable a catástrofes de cualquier índole. En circunstancias de máxima necesidad como la vivida en Lorca es fundamentalmente necesario contar con esa solvente hoja de ruta que permita actuar de una manera directa y precisa, que cuente con amplios frentes y que reduzca la improvisación a la mínima expresión. Entre las cuestiones esenciales que dicho protocolo debería reunir se encuentra la definición de la cadena de mando y de toma de decisiones, pues en situaciones de emergencia es necesario asumir las responsabilidades para una rápida actuación; crear una pirámide de prioridades en la que prime la atención al ciudadano desde muy distintas perspectivas que incluyen la atención sanitaria o psicológica en caso de que sea necesario, y también la administrativa; crear un plan de comunicación que destaque por su flexibilidad y rapidez y que impida que la rumorología catastrofista o interesada haga su aparición sembrando el caos; la planificación de espacios e itinerarios que permitan una respuesta rápida; las pautas de reconstrucción, rehabilitación, limpieza y seguridad que permitan reestablecer la normalidad en plazos mínimos de tiempo; etc... Este sería un plan que, desde la experiencia de Lorca, se podría convertir en el protocolo de actuación ante catástrofes de amplia magnitud en cualquier población. Además, desde el Ayuntamiento de Lorca ya estamos trabajando en un plan de gestión del riesgo sísmico local, aplicable exclusivamente al municipio de Lorca, en el que se desarrollan medidas de prevención, mitigación, pre-

Fig. 2. A. Daños producidos en el Convento de las Clarisas. B. Aspecto de la torre del Espolón, en el castillo de Lorca.

paración, alerta y organización de la respuesta para enfrentarse a los terremotos. Y otro frente en el que la experiencia sufrida nos dice que debemos ahondar es en la formación ciudadana de respuesta ante una catástrofe. Más allá de los conocimientos mínimos que cada uno podamos tener, hay que crear un plan formativo serio de respuesta que incluya conocimientos sobre arquitectura, zonas más resistentes a los terremotos, qué hacer y qué no hacer, y también principios de primeros auxilios para casos de necesidad. Este plan formativo debe impartirse de forma digna a través de centros educativos, asociaciones y colectivos sociales, comunidades de vecinos, etc. En niveles que exceden el ámbito municipal, habría que replantear las exigencias en la construcción y adaptarlas a zonas de especial riesgo sísmológico, pues está claro que no todos los ámbitos geográficos representan riesgos iguales. Y del

mismo modo, tendría que intensificarse el estudio en cuanto a la detección de situaciones de riesgo y crear vínculos de comunicación permanentes entre las administraciones y los centros de estudio de los movimientos telúricos, para que la detección y prevención sean las bases sobre las que actuar. Si me gustaría destacar en estas líneas un aspecto excepcional que hemos descubierto o recordado con la catástrofe del 11 de mayo: la solidaridad y capacidad de los seres humanos, la virtud de dejar a un lado problemas particulares y sumarse al colectivo para alcanzar grandes soluciones. A través de la respuesta ciudadana de los afectados, de los cuerpos de seguridad y emergencias participantes y de voluntarios venidos desde todos los puntos geográficos hemos conseguido concluir que ante el esfuerzo colectivo no hay dificultad que no pueda ser superada. Y esta es la principal lección aprendida dentro de la catástrofe que nuestra ciudad ha sufrido y sigue sufriendo.

Belén Benito, sismóloga de la Universidad Politécnica de Madrid

El terremoto de Lorca no ha resultado una sorpresa para la comunidad sísmológica, ni por su localización, ni por su magnitud. La falla de Alhama de Murcia, fuente del terremoto, es una de las más activas del Sureste de España, y un sismo de magnitud Mw 5 no es el más grande que cabe esperar en esta falla. Lo sorprendente ha sido el grado de daño causado, que puede explicarse por la alta aceleración pico registrada, de 0,37 g, además de por las características del parque inmobiliario de la zona. Desde el punto de vista sísmológico, cabe preguntarse si esa aceleración es anormalmente alta para un evento de magnitud 5. Varias consideraciones son necesarias al respecto: el foco fue muy superficial, con una profundidad de unos 3 km y ese valor pico fue registrado en la estación de Lorca, a 3 km de distancia epicentral y situada justo en el plano de ruptura. Fuera de este plano, la aceleración experimenta una fuerte atenuación. De hecho, en la siguiente estación -situada a 24 km del epicentro- el valor registrado fue de 0,02 g, casi 20 veces inferior



Fig 3. Daños producidos por el terremoto en el I.E.S. Ramón Arcas Meca de Lorca.



al anterior. Al igual que se ha evidenciado en otros sismos recientes (p.e L'Aquila, Italia, 2009), las aceleraciones se disparan en el plano de ruptura, cayendo bruscamente fuera del mismo. Parece existir un "efecto fuente" que en otros terremotos recientes no hemos podido comprobar, al no disponer de estaciones tan próximas. Si asumimos dicho efecto, la aceleración no resulta tan sorprendente. El problema es que, en este caso, la población está situada justo en la falla de Alhama de Murcia y se ha visto directamente afectada por ese efecto de la ruptura. Seguramente a distancias superiores a 10 km el movimiento habrá sido mucho menor y si la población hubiera estado a esa distancia de la falla no habría sufrido el mismo grado de daño observado. Ésta es una de las lecciones aprendidas del terremoto, que nos conduce a poner especial atención hacia poblaciones que se encuentren en una situación similar a Lorca, ubicadas en la vecindad de fallas activas. Para minimizar el riesgo en estas poblaciones, debería considerarse el citado efecto fuente en el diseño sismorresistente de sus edificaciones. Por lo demás, el terremoto entraba dentro de lo esperado, según las conclusiones del proyecto Rismur, dirigido al estudio del riesgo sísmico de la región de Murcia para el plan SISMIMUR. Una de ellas fue destacar Lorca como población prioritaria hacia estudios de detalle, en un ranking de poblaciones que tuvo en cuenta el riesgo sísmico, la proximidad de fallas activas y la ubicación en zonas de carga de esfuerzos de Coulomb, tras la sismicidad previa. También se ha puesto de manifiesto que los terremotos de magnitud 5, a corta distancia epicentral, presentan elevada contribución a la peligrosidad para periodo de retorno de 475 años, es decir para probabilidades de 10 % en 50 años, que son las consideradas en diseño de viviendas convencionales. Ésta fue otra conclusión del proyecto RISMUR, que también se evidenció en el estudio de riesgo de Andalucía (proyecto SISMOSAN). Todo ello reclama nuestra atención hacia los terremotos de magnitud moderada, próxima a Mw 5. Además de ser los que más contribuyen a la peligrosidad para la probabilidad citada en el sur y sureste peninsular, pueden generar elevadas aceleraciones en la proximidad de la fuente y, por tanto, causar importantes daños en poblaciones ubicadas en el entorno. Esta importante lección debería tenerse en cuenta en próximas ediciones de la normativa sismorresistente de nuestro país.

Patrick Murphy, Arquitecto

El terremoto de Lorca es el primer evento desde hace décadas en nuestro país en el que un gran parque inmobiliario se somete a una fuerte acción sísmica. La ciudad reúne edificios históricos de arquitectura tradicional así como edificación tecnológica realizada bajo el amparo de normas sismorresistentes. Un variado elenco de tipologías constructivas realizadas bajo las normas de 1974,



1994 y 2002 se halla presente en Lorca. Por ello el terremoto ha suscitado un extraordinario interés entre los arquitectos e ingenieros especializados en ingeniería sísmica. En Lorca se ha podido analizar el comportamiento de todo tipo de estructuras y verificar la respuesta a la acción sísmica de un variado número de tipologías de la edificación. Por otro lado quiero desmitificar la idea de que el terremoto de Lorca haya sido singular o excepcional para un evento de magnitud 5. Con anterioridad a este evento teníamos algunos precedentes de movimiento fuerte en terremotos de magnitudes parecidas en Mula en 1999 y La Paca en 2005. En aquellos terremotos vimos efectos sobre las edificaciones similares a las que se han verificado en Lorca, si bien sobre entidades poblacionales mucho más pequeñas. Los mismos patrones de daño que se han visto en Lorca estaban presentes, como el derribo de petos, antepechos y elementos no estructurales, deformaciones excesivas en plantas bajas diáfanas y daño frágil a la edificación muraria tradicional. Lo que es distinto es que en aquellos terremotos no teníamos registros de aceleración de suelo en el campo próximo como ha sido en el caso de Lorca. En Lorca estos daños se han multiplicado en número al tratarse de un gran parque inmobiliario, verificándose nuestro temor de que las tendencias de daños observados anteriormente no representaban casos aislados de edificación deficiente. Lorca ha puesto de manifiesto el comportamiento inadecuado de los elementos no estructurales en nuestras edificaciones. En parte se trata de un problema cultural, al generalizarse una técnica constructiva basada en pórticos de hormigón donde la sismorresistencia se confía únicamente en el empotramiento de pilares en forjados planos y los elementos no estructurales como la compartimentación interior y envolvente exterior se realiza con elementos de albañilería rígidos y frágiles. Esta tipología constructiva, muy representativa de la edificación actual, no es la más adecuada para una eficaz respuesta sismorresistente, pues no evita el daño frágil a elementos no estructurales. Las lec-

Fig. 4. La unidad militar de emergencia, los servicios de protección civil y los bomberos coordinaron las situaciones de emergencia. En la fotografía se observa a la UME en las labores de apuntalamiento de uno de los muchos edificios con amenaza de colapso.

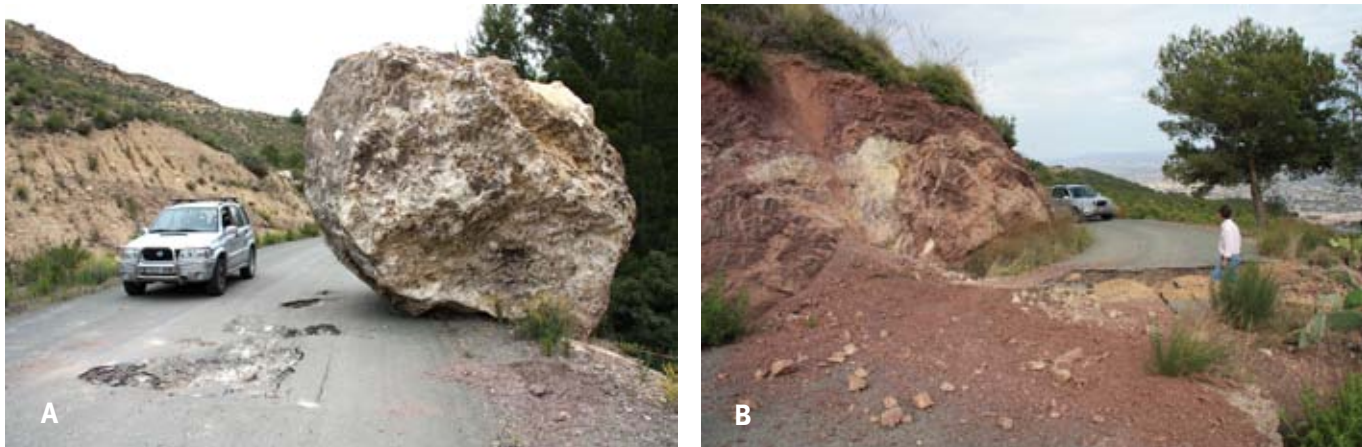


Fig. 5. A. Desprendimiento rocoso en la Rambla de los 17 Arcos. B. Las caídas de bloques llegaron a cortar varias carreteras y caminos, como el que conducía desde Lorca hasta la cima de la Sierra de Peñarubia.

ciones que nos confirma el terremoto de Lorca son numerosas. La norma sismorresistente debe considerar la globalidad de la edificación, no quedarse únicamente en el análisis teórico del modelo estructural. Debe definirse y desarrollarse a fondo la forma de considerar y tratar los elementos no estructurales para su eficaz confinamiento a la estructura. También deben divulgarse otras tipologías estructurales como las pantallas rígidas de hormigón armado, que al reducir la deformación y desplazamientos de la estructura, comprometen menos a los elementos no estructurales. Estas acciones deben acompañarse además de programas de formación y perfeccionamiento para darlas a conocer a los profesionales de la industria de la edificación.

José J. Martínez Díaz, geólogo experto en Tectónica Activa

La ocurrencia del terremoto de Lorca nos sorprendió a muchos fundamentalmente por la magnitud de los daños que ha ocasionado, considerando su magnitud relativamente pequeña. Sin embargo, no ha sido ninguna sorpresa desde el punto geológico. Es un terremoto que puede calificarse como normal en relación a su "tamaño" o a su localización. La falla que lo ha generado, denominada en la literatura científica falla de Alhama de Murcia, es bastante conocida por los que trabajamos en terremotos y en tectónica activa y ha sido objeto de numerosos estudios. Se sabe que en épocas históricas ha generado terremotos de magnitudes superiores a 6.0 en la zona de Lorca, es decir, decenas de veces superiores al que aquí nos ocupa. Una de las cosas que podemos aprender de la ocurrencia de este terremoto y de los daños que ha generado es la evidencia de la gran importancia que tiene en la distribución e intensidad de los daños la distancia a la falla que induce el terremoto, así como el tipo de propagación de la rotura. El plano de ruptura de la falla que generó el terremoto se sitúa justo debajo de la ciudad de Lorca, y eso explica la elevada aceleración (0,37 g) registrada en la ciudad. Pero además, el terremoto de Lorca se inició en un punto (hipocentro) situado unos 3 km al NE de Lorca y

la ruptura a lo largo de la falla se propagó hacia el SO en dirección hacia la ciudad y eso provocó un aumento en la amplitud del movimiento del suelo. Esta propagación lateral produjo, por un efecto de directividad, que la energía del evento se concentrase hacia Lorca. Si un terremoto similar, con idéntico epicentro, se hubiese propagado en sentido contrario, hacia el NE, habría provocado muchos menos daños en Lorca. A partir de estas evidencias aprendemos algo muy importante a la hora de entender los daños potenciales que pueden generar los terremotos como el de Lorca en nuestro país, y es la necesidad de conocer a fondo nuestras fallas activas. No es suficiente con saber en qué zonas pueden ocurrir los terremotos, sino que es fundamental saber dónde están las trazas de las fallas activas, si están cerca o lejos de nuestros núcleos de población y qué tipo de movimientos tienen para conocer los sentidos propagación de las rupturas.

Julián García Mayordomo, Investigador Titular del Instituto Geológico y Minero de España

El terremoto de Lorca me ha reafirmado en la convicción de la importancia de mi trabajo, tanto desde un punto de vista personal como profesional de la geología. Si bien personalmente ya había vivido experiencias reales de terremotos ha sido el de Lorca el que más me ha impactado en toda mi carrera, tanto por ocurrir en un territorio geológico que conozco muy bien como por el importante daño que ha producido. Los geólogos que investigamos el fenómeno de los terremotos en España lo hacemos, lógicamente, desde la ciencia y por la ciencia. Por ejemplo, nos interesa mucho identificar las fallas que controlan la evolución reciente del paisaje y entender cómo funcionan. Este tipo de trabajo científico es ciertamente imprescindible, sin embargo, el terremoto de Lorca nos va hacer reflexionar sobre la importancia que tiene, además, que nuestro conocimiento pueda transferirse de manera adecuada y efectiva a la práctica, tanto en educación ciudadana como en el asesoramiento a la administración y, particularmente, en la prevención de terremotos futuros. Los científicos de la tierra que conocen la

geología de Lorca sabían que este terremoto podría ocurrir, y es más, que terremotos de mayor magnitud pueden ocurrir. La Falla de Alhama de Murcia, la causante del terremoto y que cruza la ciudad de Lorca de punta a punta, ha sido objeto de estudios científicos que demuestran que en el pasado produjo terremotos mayores. Todo el mundo entiende que este conocimiento no debe ser exclusivo de los científicos, sino que debiera hacerse un esfuerzo para que traspasase a otros campos donde pueda repercutir finalmente en un beneficio social. Está claro entonces que el reto más importante no es sólo avanzar en el estado del conocimiento sino en ser capaz de transferirlo de manera efectiva al ámbito de la prevención, la gestión y ¿por qué no? la cultura. Un ejemplo interesante es la creación de bases de datos de fallas activas, fallas que potencialmente pueden producir terremotos dañinos. Estas bases de datos, además de servir a la ciencia como repositorios de conocimiento científico, también pueden ser útiles para mejorar la prevención sobre terremotos futuros. Su interés es tal que actualmente existen iniciativas tanto a escala europea como mundial para crear este tipo de bases de datos. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), motor de la creación de infraestructura geológica en nuestro país, ha producido recientemente la QAFI (Quaternary Active Fault Database of Iberia) merced a la colaboración altruista de un nutrido número de investigadores en geociencias de España y Portugal (García Mayordomo, 2011). La elaboración del nuevo mapa de peligrosidad sísmica oficial de España, actualmente en ejecución, no es ajeno a esta tendencia, relativamente moderna a nivel mundial pero vanguardista a nivel español, de introducir información y criterios geológicos en la evaluación de la peligrosidad sísmica. De hecho, la QAFI está siendo explotada con objeto de identificar aquellas fallas cuyo potencial sismogénico pueda tener un impacto en el cálculo de la peligrosidad. Ésta es sólo una pequeña aplicación, pero sin duda muy prometedora y, especialmente, gratificante; nuestro grano de arena hacia el objetivo final: reducir al mínimo las pérdidas humanas y materiales de los terremotos en España.

Alfonso Nájera, Consorcio de Compensación de Seguros

El terremoto de Lorca no es la primera siniestralidad sísmica atendida por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), pero sí es la más grave y costosa a la que éste ha tenido que hacer frente. La gestión de una siniestralidad como la de Lorca reviste gran complejidad no sólo por las cuestiones técnicas relacionadas con la evaluación de los daños o por el gran número de solicitudes de indemnización a gestionar, sino por las amplias repercusiones económicas y sociales que tiene un evento de esta naturaleza, máxime cuando se producen pérdidas de

vidas humanas. La reacción del CCS fue sumamente rápida, poniendo en movimiento los medios necesarios para agilizar al máximo el pago de las indemnizaciones. Hasta 212 peritos ha desplazado el CCS a la zona para evaluar los daños correspondientes a 28.510 solicitudes de indemnización registradas, habiendo el CCS realizado pagos con relación al 84,8 % de las mismas, por un total de 181,7 millones de euros (datos a 19-9-2011). En colaboración con el Ayuntamiento de Lorca se abrió en la localidad una oficina de información a los asegurados para orientar a los afectados en los procedimientos de solicitud de indemnización. La intensidad y las especiales características del sismo han producido daños –sobre todo de naturaleza estructural en edificios– cuya valoración requiere análisis y estudios técnicos exhaustivos que en ocasiones, en pos de la mayor objetividad posible, representan dilatar el cierre definitivo de algunas solicitudes de indemnización. Para compensar, en lo posible, estas dificultades, el CCS se ha planteado desde el primer momento como objetivo reducir al mínimo los plazos de otras fases de la tramitación, como los relativos al registro de solicitudes de indemnización y el pago de las mismas, a través de nuevos procedimientos electrónicos. El tratamiento de esta siniestralidad ha permitido constatar, una vez más, la capacidad de respuesta del sistema español de cobertura de catástrofes, con una rápida movilización de una importante masa de recursos (las indemnizaciones alcanzarán un total de más de 300 millones de euros, según las previsiones), que sin duda amortiguan el impacto de las pérdidas en los presupuestos de las diferentes administraciones públicas. Una respuesta, además, que en términos de calidad de servicio a los asegurados es altamente satisfactoria, según los sondeos realizados. Así, y aunque la siniestralidad no se ha concluido todavía, las reclamaciones recibidas en el Servicio de Atención al Asegurado

Fig. 6. Demolición del I.E.S. Ramón Arcas Meca de Lorca.



por discrepancias en la valoración de los daños han sido 11 hasta la fecha, esto es, 4 reclamaciones por cada diez mil solicitudes de indemnización recibidas. Desde el punto de vista de los daños en edificios, el terremoto de Mula (2-2-1999) aportó muchos elementos de aprendizaje para la evaluación de los mismos y para la reconstrucción de estructuras. Sin duda, este terremoto de Lorca, con daños más severos que el de Mula, está aportando también conocimientos técnicos que serán de gran utilidad para establecer medidas que mitiguen el riesgo sísmico y reduzcan las pérdidas, con especial repercusión en las normas y preceptos que regulan los códigos de construcción y en la vigilancia de su cumplimiento. Por lo demás, desde la perspectiva aseguradora, podemos sacar conclusiones que son comunes a todos los eventos catastróficos, aunque se hacen más evidentes en siniestros de esta intensidad. Y se refieren a la necesidad de adquirir protección aseguradora por parte de los propietarios de bienes, con sumas aseguradas acordes con el valor de las exposiciones, de tal manera que, en la eventualidad de una siniestralidad de tipo catastrófico, puedan disponer de recursos suficientes con los que financiar las pérdidas y restituir su patrimonio con el menor coste a su cargo.

Ricardo Villalba Gómez, Coordinador del Servicio de Emergencias Municipal

La madrugada del 11 al 12 de mayo sentí caer sobre mí, la mayor responsabilidad de mi vida, al ser consciente de que teníamos alrededor de 40.000 personas en la calle, con lo puesto, y que necesitaban con urgencia ser atendidos. Podemos felicitarlos por que la respuesta de los servicios de emergencia (incluidas Fuerzas Armadas) frente al desastre, fue coordinada, diligente, eficaz y proporcionada. Pero no podemos añadir el calificativo de planificada, toda vez que hemos puesto en práctica lo establecido en nuestros distintos planes de emergencia, y normas de sismo resistencia, pero lo previsto se ha quedado corto. Sirva como ejemplo el protocolo de colores que hubo que improvisar para catalogar los daños de los edificios, propuse trasladar el sistema de “triaje” de víctimas a las construcciones, por lo que en la madrugada del día 12 de mayo acuñamos el concepto de “triaje de edificios”, no existiendo procedimiento alguno para tal fin, y menos aún criterios unificados para la evaluación de los mismos por parte de los técnicos. Nuestra normativa en materia de planificación de protección civil, ha demostrado estar obsoleta, dejando lagunas que hemos tenido que cubrir con la improvisación acertada de los directivos, el oficio de los intervinientes, y el comportamiento ejemplar de la población. Contra los terremotos sólo podemos luchar con la prevención y seguridad en la construcción; la formación en autoprotección para toda la población; unos servicios de emergencias bien

coordinados dotados y entrenados; así como una planificación amplia, actualizada, y dinámica. Y todo esto dentro de un marco legal realista, basado en un esfuerzo científico de investigación profundo. Como máximo responsable técnico de las emergencias en Lorca, quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de los distintos servicios de emergencias y técnicos, tanto municipales, como autonómicos y nacionales, así como a la ciudadanía en general, que ha cooperado desinteresadamente para minimizar las consecuencias del desastre.

De la opinión de los expertos se pueden extraer algunas ideas clave:

- Tenemos que aprovechar la experiencia para crear un marco firme de actuación extrapolable a catástrofes de cualquier índole. En circunstancias de máxima necesidad como la vivida en Lorca es necesario contar con esa solvente hoja de ruta que permita actuar de una manera directa y precisa, reduciendo la improvisación a la mínima expresión (Francisco Jódar, alcalde de Lorca).
- Debemos poner especial atención en las poblaciones que se encuentren en una situación similar a Lorca, ubicadas en la vecindad de fallas activas. Para minimizar el riesgo en estas poblaciones, debería considerarse el “efecto fuente” en el diseño sismorresistente de sus edificaciones (Belén Benito, sismóloga).
- La norma sismorresistente debe considerar la globalidad de la edificación, no quedarse únicamente en el análisis teórico del modelo estructural. Debe definirse y desarrollarse a fondo la forma de considerar y tratar los elementos no estructurales para su eficaz confinamiento a la estructura (Patrick Murphy, arquitecto).
- Existe una necesidad evidente de conocer a fondo nuestras fallas activas. No es suficiente con saber en qué zonas pueden ocurrir los terremotos, sino que es fundamental saber dónde están las trazas de las fallas activas, si están cerca o lejos de nuestros núcleos de población y qué tipo de movimientos tienen para conocer los sentidos propagación de las rupturas (José J. Martínez Díaz, geólogo de terremotos).
- Nuestro conocimiento científico debe transferirse de manera adecuada y efectiva, tanto en educación ciudadana como en el asesoramiento a la administración y, particularmente, en la prevención de terremotos futuros (Julián García Mayordomo, Instituto Geológico y Minero de España).
- Existe una necesidad de adquirir protección aseguradora por parte de los propietarios de bienes, con sumas aseguradas acordes con el valor de las exposiciones, de tal manera que, en la eventualidad de una siniestralidad de tipo catastrófico, puedan disponer de recursos suficientes con los que financiar las pérdidas y restituir su patrimonio con el menor coste (Alfonso Nájera, Consorcio de Compensación de Seguros).

- Nuestra normativa en materia de planificación de protección civil ha demostrado estar obsoleta. Contra los terremotos sólo podemos luchar con la prevención y seguridad en la construcción; la formación en autoprotección para toda la población; unos servicios de emergencias bien coordinados dotados y entrenados; así como una planificación amplia, actualizada, y dinámica (Ricardo Villalba, coordinador del Servicio Municipal de Emergencias de Lorca).

¿QUÉ OPINAN LOS CIUDADANOS DE LORCA?


Para conocer la opinión de los ciudadanos, algunos de los autores de este trabajo diseñamos una encuesta con 18 preguntas sobre diferentes aspectos relacionados con los terremotos en general, y con el de Lorca en particular. La encuesta se realizó con una muestra de 627 personas, intentando que ésta fuese representativa de los diferentes barrios de la ciudad (La Viña, San Diego, San Antonio, Diputación Río, Virgen Huertas, San Cristóbal, Alameda Cervantes, Santa Quiteria, San Fernando, La Alberca y San Cristóbal), así como de los diferentes rangos de edad (<12, 12-16, 17-18, 19-25, 25-45, 45-65, >65). La encuesta, llevada a cabo por estudiantes de 2º de Bachillerato del I.E.S. Ramón Arcas de Lorca, se realizó durante el mes de septiembre de 2011 (4 meses después del terremoto).

El objetivo de la encuesta era valorar el grado de conocimiento que los ciudadanos tenían sobre diferentes aspectos relacionados con los terremotos como la peligrosidad sísmica de Lorca y su entorno, o sobre las consignas de autoprotección, entre otras. La encuesta estaba formada por 19 preguntas que se recogen en la figura 7.

A continuación se describen los principales resultados de la investigación (Fig. 8). En cada uno de los apartados se incluyen unos recuadros informativos sobre algunas ideas clave. Entre paréntesis se indica el número de pregunta de la encuesta relacionada con cada apartado temático.

¿Qué conoce la población sobre terremotos?

A través de preguntas se pretendía investigar cuál era la cultura científica general que los ciudadanos



Asociación Española Para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

TERREMOTO DE LORCA DEL 11 DE MAYO DE 2011

Señalar con una X o un círculo la casilla correcta

EDAD	<12	12-16	17-18	19-25	25-45	45-65	>65				
BARRIO	La Viña	San Diego	San Antonio	Diputación Ríos	Virgen Huertas	San Cristóbal	Alameda Cervantes	Santa Quiteria	San Fernando	La Alberca	Casco Antiguo

¿Sabía que en Lorca podían producirse terremotos de estas características?	SI	NO		
¿Supo qué tenía que hacer durante el terremoto?	SI	NO		
¿Supo qué tenía que hacer después del terremoto?	SI	NO		
¿Quién piensa que le debería haber informado sobre qué hacer antes, durante y después de un terremoto?	Ayuntamiento			
	Protección Civil			
	Profesores (Escuela/Instituto)			
	Medios de comunicación			
Han transcurrido cuatro meses del terremoto, las noticias sobre el terremoto en los medios de comunicación han sido numerosas,	¿Sabe por qué sucedió el terremoto?	SI	NO	
	¿Conoce por qué causó tantos daños?	SI	NO	
	¿Sabe si todas las réplicas que están ocurriendo desde el 11 de mayo son normales?	SI	NO	
¿Sabe qué es la Norma Sismorresistente?	SI	NO		
¿Estaría dispuesto a pagar un 5% más del valor de una vivienda, si está construida con un buen diseño sismorresistente?	SI	NO		
Después del terremoto, y antes de consultar su póliza de seguro ¿sabía si estaba asegurada contra terremotos?	SI	NO		
Un terremoto de magnitud 5.1 como el ocurrido en Lorca le parece...	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE	
El terremoto de Lorca tuvo una magnitud 5.1 mientras que el de Japón, ocurrido un par de meses antes, tuvo una magnitud 9.0. Si comparamos el "tamaño" de ambos terremotos, indica cuál de estas afirmaciones es correcta.	El de Japón fue casi un millón de veces más grande			
	El de Japón fue mil veces más grande			
	El de Japón fue diez veces más grande			
A las 17:05 de la tarde se produjo un primer terremoto de magnitud 4.5. Después de ese terremoto los servicios de Protección Civil avisaron en las calles de que aproximadamente a las 7 de la tarde se produciría otro de mayor magnitud. ¿Sabe si es verdadero o falso?		V	F	NS/NC
Es un comentario generalizado entre la población que después de los terremotos del 11 de mayo se ha liberado energía suficiente como para que no se produzcan más terremotos en unos centenares de años		V	F	NS/NC
En Lorca ha habido edificios que han sufrido muchos daños mientras que otros apenas se vieron afectados. Indique a continuación (Verdadero o Falso) cuál o cuáles cree que son las causas.	Porque los edificios dañados eran muy antiguos	V	F	NS/NC
	Porque los dañados estaban contruidos con materiales de mala calidad	V	F	NS/NC
	Por el mal diseño arquitectónico	V	F	NS/NC
	Porque el edificio estaba construido sobre rocas y suelos muy poco resistentes	V	F	NS/NC
	Porque Lorca tiene una mala planificación urbanística	V	F	NS/NC
Por el azar		V	F	NS/NC
En la actualidad, el ser humano no dispone de los conocimientos científicos suficientes ni de la tecnología necesaria para evitar que terremotos como el de Lorca causen tantos daños y víctimas		V	F	NS/NC
Después de los terremotos del 11 de mayo, ¿sufre ansiedad o tiene miedo de que se vuelva a repetir una situación similar?	SI	NO		
Si la población hubiera sabido más sobre terremotos, ¿cree que se habrían producido menos víctimas y daños materiales?	SI	NO		
¿Le parecería oportuno que en los colegios e institutos se organizaran simulacros de emergencia sísmica como los que se realizan en otros países?	SI	NO		
¿Cree que se puede vivir seguro en un lugar con riesgo sísmico?	SI	NO		
COMENTARIOS: (en caso necesario, use el reverso de la hoja)				

tenían sobre el fenómeno natural de los terremotos, tanto de aspectos generales sobre riesgo sísmico, como aspectos locales sobre la sismicidad de Lorca y de su entorno, o sobre el propio sismo del 11 de mayo.

Sobre aspectos generales de terremotos (9, 10, 14)

El terremoto de Lorca sólo le ha parecido pequeño al 3% de los encuestados, frente al 47% que les

Fig. 7. Encuesta realizada a más de 600 ciudadanos de Lorca.

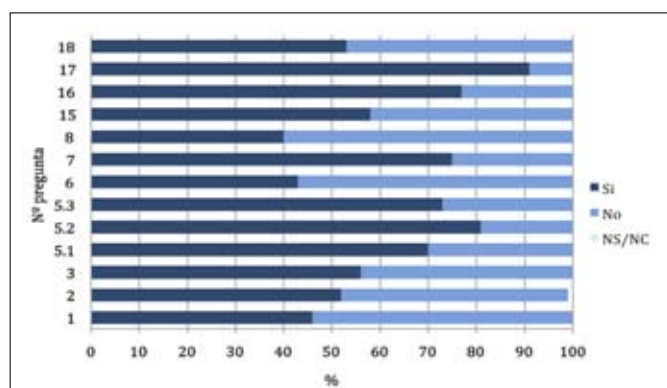
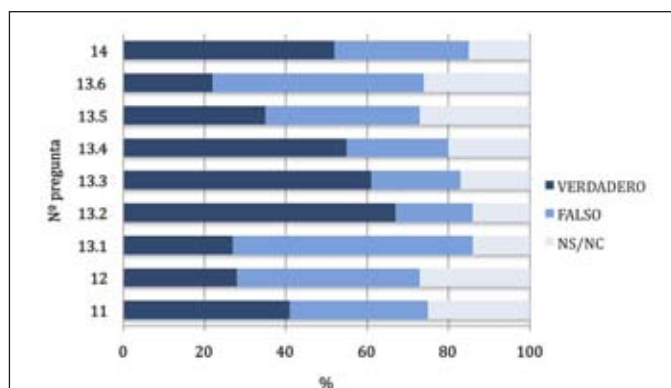


Fig. 8. Diagramas de barra que muestran los resultados, por preguntas, de la encuesta realizada a 627 ciudadanos de Lorca.

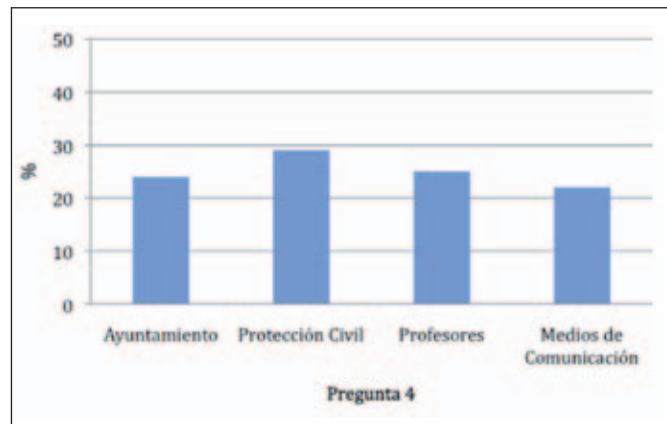
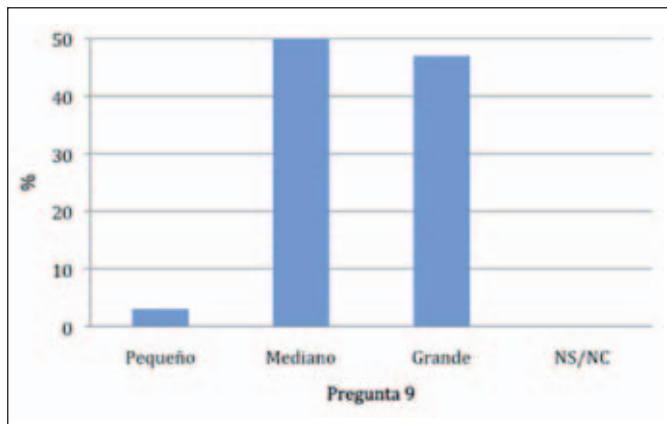


Fig. 8. Diagramas de barra que muestran los resultados, por preguntas, de la encuesta realizada a 627 ciudadanos de Lorca.

pareció grande. El resto contestaron que se trataba de un terremoto moderado.

Sólo un 17% de los encuestados contestaron correctamente a la pregunta 10 que relacionaba los terremotos de Lorca y Japón e, incluso, un 19% contestó que ambos habían tenido la misma magnitud. Sólo la franja de población de 17-18 años obtuvo un mejor resultado. Peláez (2011), en este mismo volumen, indica que la energía liberada por el terremoto de Japón fue unas 710000 veces superior a la de Lorca (Fig. 9).



Fig. 9. Esquema comparativo entre la superficie de ruptura aproximada producida por los terremotos de Lorca y Japón de 2011.

Un 33% acierta al creer que a día de hoy el ser humano dispone de los conocimientos científicos suficientes y la tecnología necesaria para haber evitado que el terremoto de Lorca hubiese producido tantos daños y víctimas. El 52%, de alguna manera,

piensa que la catástrofe ha sido inevitable. De nuevo, como en la cuestión anterior, los estudiantes de Bachillerato (17-18 años) piensan de forma diferente y más acertada.

Sobre Lorca y su entorno (1, 5)

Un 54% de los encuestados no sabían que en Lorca podían producirse terremotos de estas características. La respuesta es diferente en la población de 12 a 16 años, en los estudiantes de Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO).

Una vez transcurridos cuatro meses del terremoto, cuando se realizó esta encuesta, la gran mayoría de encuestados afirma saber por qué sucedió el terremoto (70%), conoce por qué causó tantos daños (81%) y sabe que las réplicas posteriores al evento principal son normales (73%). Estos porcentajes tienen su explicación en la profusa información que llevaron a cabo los medios de comunicación.

Sobre el terremoto del 11 de mayo de 2011 (11, 12)

Sólo un 34% cree que es falso el rumor que circuló por la ciudad de Lorca sobre los servicios de Protección Civil que, después del terremoto precursor de magnitud 4.5 ocurrido a las 17:05 h, avisaron en las calles de Lorca de que aproximadamente a las 7 de la tarde se produciría otro de mayor magnitud.

Predicción sísmica

En la actualidad la predicción de terremotos, entendida como la capacidad de pronosticar la ocurrencia de éstos, tanto de su localización como de su magnitud, antes de que sea demasiado tarde, no es posible. No se puede predecir qué día se va a producir un terremoto, ni de qué tamaño va a ser, ni en qué punto va a ocurrir. Pero sí es posible, mediante la evaluación de la peligrosidad sísmica, pronosticar el movimiento del suelo esperable en una zona y la probabilidad de que supere ciertos niveles de severidad. Así las únicas estrategias posibles para reducir sus efectos y protegernos de ellos son la prevención sísmica y la preparación ante el desastre. Para ambos aspectos es necesario un buen conocimiento del fenómeno sísmico, de dónde se pueden producir y de cuán grande pueden llegar a ser.

La prevención sísmica consiste en la reducción de los daños que un terremoto puede causar sobre una región determinada. Ésta se realiza fundamentalmente mediante: (1) la buena construcción de los edificios, utilizando las normas de construcción sismorresistentes, que son códigos de construcción adecuados a la peligrosidad sísmica de una zona, para conseguir que los edificios soporten el terremoto y, (2) la planificación del territorio; conocidos los lugares donde se encuentran las fuentes sísmicas se puede evitar el desarrollo de las poblaciones alrededor de determinadas áreas. La preparación ante el desastre se realiza desarrollando planes de emergencia y preparando a la población frente al terremoto. Es necesario informar a la población que se encuentran en una zona de riesgo (explicarles que conviven con un riesgo natural y darles las pautas de actuación antes, durante y después de un terremoto para que sepan cómo comportarse en el momento que se produzca). La mejor forma de protegerse de un terremoto es estar bien informado y preparado.

Hay un 41% de los entrevistados que piensan que realmente ocurrió así.

El 28% de la población cree que después de los terremotos del 11 de mayo se ha liberado energía suficiente como para que no se produzcan más terremotos en unos centenares de años, frente a un 46% que piensa que es falso.

¿Por qué el terremoto de Lorca ha sido tan dañino?

El terremoto de Lorca, a pesar de su relativa baja magnitud, ha tenido consecuencias catastróficas debido a que se han sumado varios factores: (1) el terremoto se ha producido a muy poca distancia de la ciudad, el epicentro se ha localizado a aproximadamente 3 km del centro de la ciudad, (2) ha sido muy superficial, de apenas 3 km de profundidad, (3) se ha producido un efecto de "directividad", que ha agravado y ha sido responsable de un valor muy alto de aceleración de 0.37 g, (4) gran parte de Lorca se asienta sobre sedimentos aluviales, que han podido amplificar la señal sísmica, (5) es probable que el terremoto de las 17:05 h, de magnitud 4.5 debilitase algunas estructuras, aunque también es cierto que este terremoto salvó muchas vidas porque se habían evacuado muchos edificios, (6) por la mala calidad constructiva de algunos edificios, y (7) la población, en algunos casos, no ha sabido cómo actuar durante el terremoto.

Sobre el riesgo sísmico (18)

Un 53% de los entrevistados cree que se puede vivir seguro en un lugar con riesgo sísmico frente al 47% que cree que no. Los de mayor edad (a partir de 25 años) piensan lo contrario.

Riesgo sísmico

Según la definición propuesta en 1980 por la UNESCO, el riesgo sísmico es la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto igualen o excedan valores predeterminados, para un emplazamiento o área geográfica dada. Es un concepto de orden social y económico que estima la probabilidad de pérdidas en vidas humanas o materiales debido a un terremoto. Así, el riesgo sísmico se define como la combinación de la peligrosidad sísmica, de la vulnerabilidad de los elementos expuestos y de las pérdidas económicas (expresadas en términos de unidades monetarias), y se expresa mediante la siguiente relación:

$$RS = P \times V \times CE$$

RS = Riesgo sísmico, P = peligrosidad sísmica, V = vulnerabilidad, CE = costes económicos

La gestión del riesgo sísmico

Sobre las consignas de autoprotección (2,3)

El 52% y el 56% de los encuestados creen que supieron qué tenían que hacer durante y

después del terremoto, respectivamente. Estos porcentajes se incrementan progresivamente en los estudiantes de Bachillerato, ESO y Enseñanza Primaria, hasta alcanzar el máximo valor en los más jóvenes, de Primaria. Sin embargo, en la población mayor de 18 años los porcentajes son menores.

Consignas de autoprotección

Las consignas de autoprotección son el conjunto de acciones dirigidas a la protección, realizadas por uno mismo, para sí mismo. Saber cómo comportarnos antes, durante o después de un terremoto puede ayudar a protegernos, e incluso salvar vidas, a nosotros mismos e incluso a las personas que tenemos a nuestro alrededor. La capacidad de conservar la calma junto con algunos conocimientos sobre terremotos y medidas de autoprotección es clave.

ANTES: Las medidas a adoptar van encaminadas a evitar al máximo la caída de estructuras, edificios, objetos, etc. y a conocer los lugares más seguros donde poder protegernos de estas caídas

DURANTE: En el interior de un edificio: refugiarse bajo una mesa sólida, en una esquina de la habitación o al pie de un muro, o debajo del marco de una puerta, evitando estar debajo de elementos pesados que puedan caer (estanterías, armarios, etc.). No huir durante la sacudida. No utilizar el ascensor. Fuera de un edificio: alejarse de los edificios. Si no puede, refugiarse en un portal.

DESPUÉS: Mantener la calma, usar el teléfono sólo en caso de emergencia y encender la radio para seguir los consejos de las autoridades.

Sobre las campañas informativas (4, 16, 17)

La población más joven (estudiantes de Primaria, ESO y Bachillerato) cree que son los docentes los que deberían informar sobre qué hacer antes, durante y después de un terremoto. Los segmentos de población de mayor edad creen que esa tarea le corresponde a Protección Civil.

La gran mayoría de los encuestados (77%) cree que se habrían reducido las víctimas y los daños materiales si la población hubiese tenido un mayor conocimiento sobre terremotos.

Además, al 91% le parecería oportuno que en los colegios e institutos se organizaran simulacros de emergencia sísmica como los que se realizan en otros países.

Sobre la norma sismorresistente (6)

El 57% de la población no conoce lo que es la Norma Sismorresistente. Estos porcentajes son más elevados en los extremos de edad de la población entrevistada, tanto en los mayores de 65 años como en los estudiantes más jóvenes de enseñanza Primaria y ESO. Además, hay que tener en cuenta que la encuesta se realizó cuatro meses después del terremoto, por lo que el porcentaje de población que no la conocía antes del terremoto sería mucho mayor.

Normativa Sismorresistente NCSE-02

En España la primera norma sismorresistente data del año 1962. Actualmente la norma vigente es la NCSE-02, aprobada por el Ministerio de Fomento en el Real decreto 997/2002, del 27 de septiembre y publicada el viernes 11 de octubre en el BOE número 244. En ella se establecen las condiciones técnicas que tienen que cumplir las estructuras de edificación, a fin de que su comportamiento ante fenómenos sísmicos evite consecuencias graves para la salud y la seguridad de las personas, evite pérdidas económicas y propicie la conservación de servicios básicos para la sociedad en caso de terremotos de intensidad elevada.

La norma define un mapa de peligrosidad sísmica del territorio (Fig. 10). La norma incluye el mapa de aceleración del terreno basado en el mapa de peligrosidad sísmica oficial de España en términos de Intensidad EMS-98 ([http://www.02.ign.es/ign/layoutn/sismoDetalleMapasSismicos.do?mapa=peligrosidadintensidades_peq.jpg&titulo=Mapa de peligrosidad sísmica de España \(en valores de intensidad, escala EMS-98\)&leyenda=no&mapabig=peligrosidadintensidades.jpg](http://www.02.ign.es/ign/layoutn/sismoDetalleMapasSismicos.do?mapa=peligrosidadintensidades_peq.jpg&titulo=Mapa+de+peligrosidad+sismica+de+Espana+(en+valores+de+intensidad,+escala+EMS-98)&leyenda=no&mapabig=peligrosidadintensidades.jpg)) y nos indica un valor de peligrosidad (aceleración con periodo de retorno 500 años) a partir del cual es necesario (obligatorio) aplicarla. Este valor de aceleración se corresponde con la Intensidad EMS VI. Este mismo valor es el que, de acuerdo a la Directiva de PC sobre Riesgo Sísmico (BOE 238, Sábado 2 de octubre de 2004, pág 33205), es necesario establecer un Plan Especial de Emergencias

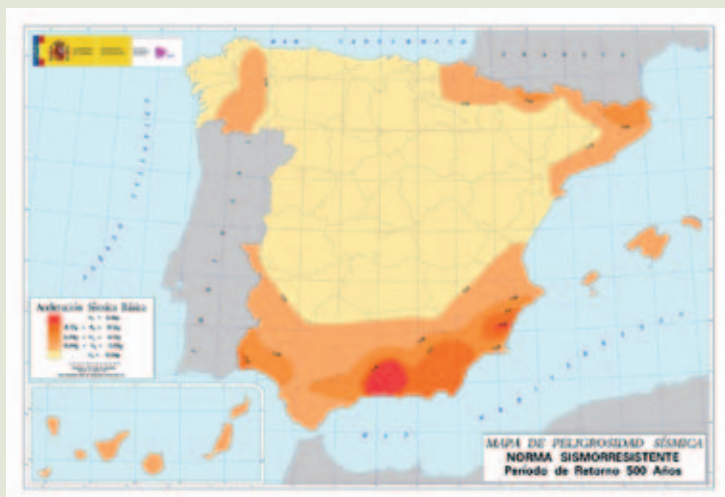


Fig. 10. Mapa de peligrosidad sísmica basada en la aceleración sísmica básica, utilizado en la Norma Sismorresistente española.

La percepción del riesgo (8, 15)

El 60% desconocía si su vivienda estaba asegurada contra terremotos, una vez que ocurrió éste, y antes de consultar su póliza de seguro.

El 58% de la población sufre ansiedad o tiene miedo de que se vuelva a repetir una situación similar a la del 11 de mayo de 2011 en Lorca, a excepción de los estudiantes de Bachillerato (17-18 años).

¿Están nuestras viviendas protegidas contra los terremotos? (7, 13)

Una de las preguntas intentaba que los encuestados identificasen las causas de que en Lorca hubiese habido daños desiguales en los edificios. Las posibilidades, en las que tenían que indicar verdadero o falso, eran: (1) porque los edificios dañados eran muy antiguos, (2) porque los dañados estaban contruidos con materiales de mala calidad, (3) por el mal diseño arquitectónico, (4) porque el edificio estaba contruido sobre rocas y suelos muy poco resistentes, (5) porque Lorca tiene una mala planificación urbanística, y (6) por el azar.

La mayoría achaca los daños a la mala calidad de los materiales utilizados, al mal diseño arquitectónico y a que los edificios estaban contruidos sobre rocas y suelos muy poco resistentes. Los encuestados no creen que fuese por la antigüedad de los edificios ni por el azar. En relación a la planificación urbanística, la respuesta es muy igualada, un 35% cree que la ciudad tiene una mala planificación urbanística, un 38% cree que no y un 27% no contesta.

Un 75% de los encuestados estarían dispuestos a pagar un 5% más del valor de una vivienda si está contruida con un buen diseño sismorresistente.

Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un terremoto de una intensidad dada. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Esto significa que una estructura puede ser vulnerable y no estar en riesgo porque está ubicada en una zona sin peligrosidad sísmica. La vulnerabilidad de las estructuras depende principalmente de sus características de diseño y construcción, incluyendo la geometría, la calidad de los materiales, la antigüedad y la altura, entre otras propiedades.

DISCUSIÓN

El riesgo sísmico depende de la peligrosidad sísmica, la vulnerabilidad y el coste económico (o exposición) (González y Mases, 2003; Cortés et al., 2011; González, 2011).

La *peligrosidad sísmica* de la Península Ibérica es moderada. Aunque no se encuentra en una de las zonas sísmicamente más activas del Planeta, suele sufrir cada década algún terremoto de magnitud baja-moderada (alrededor de $M=5,0$) que causa alarma social e incluso algunos daños materiales. Ocasionalmente, también se producen terremotos de consecuencias catastróficas (Capote et al., 2011; Carreño, 2011; Martínez Solares, 2011; Masana et al., 2011). La peligrosidad sísmica es un elemento natural que el ser humano no tiene capacidad de reducir.

La *exposición* frente al peligro de los terremotos es relativamente elevada en nuestro país. España es un país con una densidad de población relativamente alta, con más de 47 millones de habitantes. Existen numerosos núcleos de población expuestos a sufrir terremotos moderados; incluso algunos se sitúan sobre la traza de fallas activas. Aunque este factor puede ser modificable por el ser humano, en la práctica no lo es tanto. Cambiar la ubicación de algunas ciudades puede suponer, en la mayoría de los casos, un coste inasumible económica y socialmente. Sin embargo, sí se pueden mejorar los futuros desarrollos urbanísticos de nuestras poblaciones.

La *vulnerabilidad* es el elemento clave ya que terremotos similares (con una magnitud, profundidad y proximidad a núcleos de población parecidas) no tienen las mismas consecuencias. Aunque no son exactamente comparables, es evidente que las consecuencias de un terremoto son muy diferentes en Haití, China, Turquía, California (EEUU), Japón o Nueva Zelanda.

Por tanto, reducir la vulnerabilidad frente a los terremotos es el objetivo principal que cualquier sociedad debe plantearse. Del análisis de las opiniones de los expertos se obtienen algunas conclusiones muy interesantes sobre cómo ser menos vulnerables. También algunos resultados de la encuesta llevada a cabo a los ciudadanos coinciden con estas conclusiones. Aunque cada uno de los expertos inciden en aspectos diferentes, se puede concluir que las mejoras deben ser dirigidas a cuatro aspectos principales: (1) el conocimiento científico sobre la actividad sísmica y las fallas de nuestro entorno, (2) la calidad de algunas construcciones, (3) la gestión de las catástrofes naturales y (4) la formación de la ciudadanía.

Investigación sobre terremotos

Tal y como apuntan los expertos, el terremoto de Lorca ha puesto de manifiesto la importancia de conocer más y mejor la actividad sísmica y las fallas activas de nuestro país. Asumiendo que es inviable cambiar de ubicación a algunos núcleos de población que a lo largo de los últimos siglos de historia se han construido sobre las trazas de fallas activas, ¿qué podemos hacer entonces? Un conocimiento detallado de estas fallas puede resultar de enorme utilidad para planificar y ordenar mejor el territorio en el futuro, a tomar decisiones más acertadas sobre cómo y dónde deben crecer algunas de nuestras ciudades situadas sobre fallas, a ubicar de forma más racional algunos edificios que se pueden considerar especialmente sensibles (p.e. hospitales, centros de enseñanza, servicios de emergencia, entre otros).

También es importante conocer detalladamente la actividad sísmica, intentar conocer cuál es el terremoto de máxima magnitud que se puede producir y el periodo de recurrencia (de repetición) aproximado de estos terremotos. Para ello es importante estudiar no sólo la actividad sísmica reciente sino estudiar el registro histórico y pre-histórico de terremotos. Esto es especialmente necesario en zonas del planeta con fallas lentas, como es el caso de la Península Ibérica (Capote et al., 2011; Masana et al., 2011). Algunos terremotos ocurridos en los últimos años nos están advirtiendo que no podemos basar los estudios de peligrosidad sísmica exclusivamente en la actividad sísmica que se ha producido en las últimas décadas o incluso en los últimos siglos (basados en registros instrumentales e históricos). Recientemente, en el planeta se han producido terremotos con una magnitud muy superior a la que se tenía constancia en el registro histórico e instru-

mental. Terremotos como el de Wenchuan (China) de 2008, que alcanzó una magnitud 8,0, como el de Tohoku (Japón) que en 2011 ha alcanzado una magnitud 9,0, o terremotos como los de Christchurch (Nueva Zelanda) que se produjeron sobre una falla desconocida por la comunidad científica hasta ese momento (se trataba de una falla ciega sin expresión en superficie), han puesto de manifiesto la necesidad de mejorar nuestro conocimiento científico sobre los terremotos y las fallas que los causan.

Construcción sismorresistente

¿Están nuestras viviendas protegidas contra los terremotos? Unos cuantos años antes del terremoto de Lorca de 2011, otros sismos habían ocasionado daños en viviendas a pesar de su relativa baja magnitud, alrededor de 5,0 (p.e. terremoto de Mula de 1999; terremoto de Bullas de 2002; terremoto de Aledo o de Zarcilla de Ramos-La Paca de 2005; terremoto de Pedro Muñoz de 2007).

El terremoto de Lorca de 2011 no sólo ha producido daños en edificios históricos o edificios antiguos, sino también en edificios modernos. Aunque sólo colapsó un edificio durante la sacudida sísmica, posteriormente tuvieron que ser derribados otros tantos, y en los meses posteriores muchos han necesitado costosos trabajos de rehabilitación. Todo ello ha sido ocasionado por un terremoto de $M_w=5,2$, de una magnitud relativamente pequeña, pero que ha producido una sorprendente aceleración del suelo de 0,37 g. Este hecho pone de manifiesto que no sólo los terremotos de gran magnitud (en la Península Ibérica se consideran los comprendidos aproximadamente entre magnitud 6,0 y alrededor de 7,0) pueden producir daños significativos, sino también tenemos que preocuparnos de terremotos de magnitud moderada o pequeña, alrededor de 5,0, que ocurran muy próximos a núcleos de población. Por tanto, es necesario hacer estudios de peligrosidad sísmica específicos en aquellas poblaciones de nuestro país que se sitúan sobre fallas activas (p.e. Lorca, Granada o Murcia, entre otras). La incorporación de todos los datos geológicos relativos a las fallas activas así como a la naturaleza del sustrato geológico en los planes municipales de gestión del riesgo sísmico se hace imprescindible para la elaboración correcta de los escenarios sísmicos que permitan una mejor gestión de futuras emergencias, priorización de zonas más vulnerables, etc.

Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de mejorar la ubicación de edificios estratégicos. El hospital Rafael Méndez de Lorca (por cierto, construido sobre la traza de falla), tuvo que cerrarse inmediatamente, y numerosos colegios y centros de enseñanza de Lorca sufrieron importantes daños.

Finalmente, los elementos no estructurales de los edificios causaron el mayor número de víctimas mortales y heridos, así como cuantiosos daños económicos. La Norma Sismorresistente española, de-

bido a la gran variabilidad de las costumbres constructivas de nuestro país, apenas hace referencia a estos elementos. Sin embargo, las normas municipales de cada ayuntamiento (de los municipios con mayor peligrosidad sísmica), deberían regular de alguna manera estos elementos no estructurales.

Gestión de la catástrofe

Tanto el alcalde como el coordinador del servicio de emergencias municipal de Lorca, destacan aspectos positivos en la gestión de la catástrofe de mayo de 2011, pero también inciden en la necesidad de mejorar los protocolos de actuación frente a catástrofes similares. Ambos insisten en realizar una buena planificación, que permita una respuesta ágil y efectiva.

Formación de la población

En zonas como la Península Ibérica, con una actividad sísmica baja a moderada, donde los terremotos con consecuencias catastróficas se repiten con una frecuencia de varias décadas, la percepción del peligro se diluye rápidamente desde la ocurrencia del último terremoto significativo. Y es precisamente en estas zonas donde la población está menos preparada, desconoce u olvida las consignas de autoprotección y su cultura científica sobre el fenómeno natural suele ser muy escasa. Por ejemplo, en aquellas localidades que han sufrido sismicidad histórica significativa, sería interesante introducir en el currículo de Enseñanza Secundaria, de forma interdisciplinar entre asignaturas de Historia y Geología o Ciencias de la Tierra, un estudio de estos terremotos históricos.

Las administraciones del estado, regionales y locales tienen la responsabilidad de formar a la población frente a cualquier riesgo natural en general

y los terremotos en particular. Está suficientemente demostrado que una población preparada consigue reducir considerablemente el número de víctimas y de daños materiales. Recomendamos la lectura del artículo de Nicholas Ambraseys y Roger Bilham, publicado en *Nature* (vol. 13, 2011, pp. 153-155). Entre otros muchos aspectos interesantes, concluyen que la falta de educación tiene como consecuencia el desconocimiento general sobre el diseño sismorresistente y es “caldo de cultivo” de prácticas constructivas no deseables que suelen tener consecuencias catastróficas.

Para reducir la vulnerabilidad de la población es fundamental incorporar estos conocimientos en el currículo de Enseñanza Primaria y Secundaria, y complementarlo con campañas educativas para adultos, que transmitan consignas de autoprotección básicas (qué hacer antes, durante y después) (Fig. 11). También es importante mejorar la cultura científica de los ciudadanos sobre este fenómeno natural. Tal y como apunta el alcalde de Lorca, es necesario crear un plan de comunicación que impida que la rumorología catastrofista o interesada haga su aparición sembrando el caos.

Diversas instituciones de nuestro país están llevando a cabo programas de formación y educación. En este sentido nos gustaría destacar el programa de concienciación sísmica que se está intentando llevar a cabo en Lorca, cuyo objetivo es diseñar actividades didácticas dirigidas a estudiantes de enseñanza primaria y secundaria que les permitan comprender lo que ocurrió en Lorca el 11 de mayo y adquirir nuevas competencias y capacidades que les ayuden a afrontar la situación de riesgo y actuar en caso de un nuevo terremoto.

A nivel internacional se han desarrollado iniciativas muy interesantes que deberían importarse a nuestro país. El **Shake Out** (Fig. 12) es un simulacro diseñado para educar al público sobre cómo protegerse durante un terremoto, y cómo prepararse. La iniciativa nació en California y se celebra desde 2008. En 2008 se realizó un simulacro de un terremoto similar al de 1906, que devastó la ciudad de California, si éste ocurriera en la actualidad. En el simulacro participaron 5,4 millones de personas, repartidos en ocho condados en la parte sur del estado, siguiendo los

Fig. 11. A. Estudiantes de bachillerato, enseñando la zona de falla de Lorca a otros compañeros participantes en la Olimpiada de Geología. B. Estudiantes del I.E.S. Ramón Arcas trabajando con la “máquina de terremotos”, un instrumento para comprender mejor el ciclo sísmico (deformación intersísmica y cosísmica). C. Estudiantes del I.E.S. Ramón Arcas discutiendo sobre una imagen de la zona de falla de Alhama de Murcia (mural de 8 m de longitud elaborado por el equipo de Tectónica Activa de la Universidad Complutense de Madrid, cortesía de José J. Martínez-Díaz).





consejos indicados, agacharse, cubrirse y esperar y no salir corriendo a la calle hasta que cese el temblor. Agacharse, cubrirse, agarrarse. En 2009 se unió a la iniciativa la Costa Oeste de Nueva Zelanda, siendo la primera vez que el simulacro se realizaba en otra región, participaron 6,9 millones de californianos de los 58 condados, divididos en 11 áreas. En 2010 participaron 7.9 millones de personas y en 2011 se unió al simulacro la Columbia Británica (Canadá), simulando el aniversario de un terremoto de magnitud 9,0 producido en la zona de subducción de Cascadia, y la parte central de Estados Unidos.

CONCLUSIONES

Son las sociedades las que deciden si merece la pena o no tomar en consideración un riesgo que se repite a largo plazo, si sus ciudadanos debe protegerse contra fenómenos naturales que ocurren con periodos de repetición de centenares o miles de años. Nosotros estamos convencidos de que es imprescindible, al igual que la inmensa mayoría de ciudadanos lorquinos encuestados. Es evidente que la percepción del peligro sísmico es muy diferente si se ha sufrido recientemente un terremoto de consecuencias catastróficas.

Además, el terremoto de Lorca de 2011 ha puesto de manifiesto que no son necesarios terremotos de magnitudes entre 6,0 y 7,0 para producir un gran impacto social. Terremotos de magnitudes mucho más bajas, que se repiten con una frecuencia mucho mayor, también son peligrosos.

Este terremoto debería hacernos reflexionar a todos, a los científicos, a los responsables políticos, a los ingenieros y arquitectos, a los ciudadanos de Lorca pero también al del resto de nuestro país (existen otras zonas con una peligrosidad sísmica similar a Lorca, y vivimos en un mundo cada vez más globalizado en el que la movilidad de los ciudadanos es cada vez mayor).

Teniendo en cuenta que el ser humano no tiene capacidad para modificar la peligrosidad sísmica de una región, y asumiendo que es inviable económica y socialmente cambiar la ubicación de núcleos de población expuestos al riesgo sísmico, el elemento clave para mitigar el riesgo sísmico es la **vulnerabilidad**. Reducir la vulnerabilidad se consigue mejo-

rando conjuntamente en investigación, en la calidad sismorresistente de las construcciones, en la gestión de las catástrofes, y en la formación ciudadana. Estos cuatro elementos son claves si no queremos que nuestra mesa cojee.

En este trabajo nos gustaría resaltar el papel de la Educación. Tal y como reflejan los resultados de la encuesta, los estudiantes de ESO y Bachillerato poseen un mayor conocimiento sobre terremotos. Asignaturas de Ciencias Naturales, Biología y Geología o Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente son necesarias para tratar este tema y otros fenómenos naturales que suponen un riesgo para la Sociedad. Además, los riesgos naturales no son un tema de interés exclusivo para los estudiantes de las especialidades científicas, sino que son esenciales para cualquier ciudadano.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a los estudiantes de la asignatura de Geología de 2º de Bachillerato del I.E.S. Ramón Arcas de Lorca por su desinteresada colaboración en la realización de la campaña de encuestas. Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación CGL2011-30153-Co2-02.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambraseys, N. y Bilham, R. (2011). Corruption kills. *Nature*, 13, 153-155.
- Capote, R., Estévez, A., Santanach, P., Sanz de Galdeano, C. y Simón, J.L. (2011). ¿Dónde y por qué se producen terremotos en la Península Ibérica? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx-xxx.
- Carreño, E. (2011). Sismicidad de la Península Ibérica en el periodo instrumental: 1985-2011. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx-xxx.
- Cortés Gracia, A.L., Calvo Hernández, J.M., Martínez Peña, B. y Gil Quílez, M.J. (2011). Simulación de las consecuencias de los terremotos a través del entorno web Oikos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx.
- García Mayordomo, J. (2011). La Base de Datos de Fallas Activas Cuaternarias de Iberia (QAFI). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx.
- González, M. (2011). La gestión del riesgo sísmico: Recursos didácticos en internet. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx.
- González, M. y Mases, M. (2003). Riesgo sísmico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11.1, 44-53.
- Martínez Solares, J.M. (2011). Sismicidad pre-instrumental. Los grandes terremotos históricos en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx.
- Masana, E., Rodríguez Pascua, M.A. y Martínez Díaz, J.J. (2011). Los paleoterremotos: estudiando el pasado para entender el futuro. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, xxx-xxx. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 10 de septiembre de 2011 y aceptado definitivamente para su publicación el 16 de octubre de 2011.

Fig. 12. SHAKE OUT es una iniciativa llevada a cabo en Estados Unidos (<http://www.shakeout.org/>).

Tabla I. Principales resultados de la encuesta realizada a 627 ciudadanos de Lorca. Resultados de las preguntas son en %. (A – Ayuntamiento; PC – Protección Civil; Prf – Profesores; MC – Medios de Comunicación; P – Pequeño; M – Mediano; G – Grande; MI – Millón de veces más grande; 1000 – Mil veces más grande; 10 – Diez veces más grande; = Parecidos)

	<12			12-16			17-18			19-25			24-45			45-65			>65			Total			
	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	
1	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	A	PC	Prf	MC	A	PC	Prf	MC	A	PC	Prf	MC	A	PC	Prf	MC	A	PC	Prf	MC	A	PC	Prf	MC	
5	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC		
5.1	7	3	0	0	24	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.2	9	2	0	0	29	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.3	9	3	0	0	23	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	3	7	0	0	10	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	5	4	0	0	28	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	3	6	0	0	13	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	P	M	G	X	P	M	G	X	P	M	G	X	P	M	G	X	P	M	G	X	P	M	G	X	
10	MI	1000	10	=	MI	1000	10	=	MI	1000	10	=	MI	1000	10	=	MI	1000	10	=	MI	1000	10	=	
	1	3	5	1	6	10	12	5	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC	X	SI	NO	NS/NC		
11	5	3	2	0	15	10	9	0	4	2	2	0	3	2	1	0	7	10	5	0	6	6	5	0	
12	4	3	3	0	8	17	7	0	1	3	2	0	7	10	6	0	5	7	6	0	1	2	1	0	
13	13.1	4	5	1	0	8	21	3	0	2	3	1	0	6	14	3	0	4	9	4	0	1	2	1	
	13.2	8	2	1	0	24	4	0	5	2	1	0	13	6	4	0	10	3	3	0	3	1	0	0	
	13.3	5	3	3	0	22	7	4	0	6	1	0	12	6	5	0	10	4	3	0	2	1	0	0	
	13.4	5	2	3	0	19	9	6	0	4	2	1	0	8	4	0	8	4	4	0	2	1	0	0	
	13.5	4	3	4	0	10	14	8	0	2	4	1	0	8	6	0	6	6	5	0	1	1	1	0	
	13.6	2	5	4	0	6	17	10	0	1	6	1	0	6	11	5	0	5	9	4	0	1	1	0	
14	5	3	3	0	19	8	5	0	2	5	0	0	12	8	3	0	9	6	2	0	2	1	1	0	
15	4	5	0	0	18	15	0	0	3	5	0	0	16	8	0	0	11	6	0	0	2	2	0	0	
16	8	2	0	0	27	6	0	0	4	1	0	0	18	6	0	0	11	5	0	0	3	1	0	0	
17	9	1	0	0	31	3	0	0	5	0	0	0	21	1	0	0	15	2	0	0	3	1	0	0	
18	5	5	0	0	19	14	0	0	3	0	0	0	11	12	0	0	9	9	0	0	1	2	0	0	