

# Conclusiones, Lecciones Aprendidas y Recomendaciones

## INTRODUCCION

El proyecto desarrollado, cuyos resultados se han expuesto en los capítulos precedentes, ha tenido un enfoque esencialmente práctico, pretendiendo por una parte aumentar la capacidad logística y técnica en El Salvador para una mayor comprensión de los fenómenos sísmicos, y por otra, estudiar el importante volumen de datos generados a raíz de los sismos de 2001, ahondando en el conocimiento de la sismicidad y sus efectos. De este trabajo realizado, se tiene como producto una serie de conclusiones y, como en casi todos los terremotos de importancia, se han extraído también una serie de “lecciones aprendidas”, las cuales contribuyen a aumentar el grado de conocimiento en el tema. Además, en los distintos puntos analizados se detectaron aspectos críticos o mejorables, permitiendo establecer interesantes recomendaciones para estudios futuros, a partir de la experiencia adquirida en el proyecto.

Las conclusiones, lecciones y recomendaciones derivadas del estudio se refieren a las temáticas abordadas, esencialmente: monitoreo del movimiento, distribución espacio-temporal de sismos y posibles interacciones entre ellos, movimiento fuerte y modelos de predicción y análisis de vulnerabilidad y daños. Se evaluaron también, aspectos intrínsecamente sismológicos y otros más relacionados directamente con la ingeniería, todos ellos encaminados como fin último a controlar

mejor el riesgo y a aminorar el daño en terremotos futuros.

Como se comentó en el prólogo, el terremoto es un fenómeno natural, pero el desastre no es natural. Este último se puede evitar mediante una adecuada planificación urbanística y adoptando medidas de diseño sismorresistente. En esta línea quedan enmarcados los productos del estudio realizado.

## CONCLUSIONES GENERALES

Las conclusiones parciales de cada uno de los aspectos abordados en el proyecto se han comentado en secuencia en cada uno de los correspondientes capítulos. A continuación se exponen las más destacables.

## SISMICIDAD DE 2001

El estudio de la distribución espacial y temporal de los sismos ocurridos durante 2001 ha llevado a identificar las series sísmicas del 13 de enero y del 13 de febrero, modelar las correspondientes superficies de ruptura y conocer la evolución de la intensa actividad que tuvo lugar ese año, junto con la transferencia de esfuerzos asociada a cada proceso de ruptura. Los resultados indican que el sismo de subducción del 13 de enero, de magnitud 7.6, disparó una serie de eventos asociados con el sistema de fallas alineado con el eje volcánico, dentro del territorio. El segundo

terremoto del 13 de febrero, con magnitud 6.6, fue localizado en una de esas fallas, cerca de San Pedro Nonualco. La superposición en tan corto intervalo de tiempo de ambos sismos principales, junto con sus secuencias de réplicas, produjo un periodo inusual de intensa actividad que no decayó, según las leyes conocidas (como la ley de Omori), y que fue responsable de la gran alarma causada en la población.

La intensa actividad observada puede explicarse por interacción entre las respectivas fuentes sísmicas (subducción y cadena volcánica), cuyas réplicas pudieron inducirse entre ellas. Algunos eventos con magnitud en torno a 5.0 parece que actuaron como factor de disparo de otros eventos con el mismo o diferente origen. Estos sismos son, al mismo tiempo, causa y efecto de la intensa actividad observada. Esta conclusión, aparte de las implicaciones que tiene en la amenaza sísmica de El Salvador, corrobora lo observado en otras series sísmicas y avala la tesis de que eventos de magnitud 5.0 pueden inducir perturbaciones en el decaimiento de las réplicas.

El estudio de la transferencia de esfuerzos después de los dos sismos principales del 13 de enero y 13 de febrero concluye que éste último sucedió en una zona donde los esfuerzos de Coulomb han incrementado en más de 0.8 bar tras el sismo previo. Un patrón similar puede ser inferido para los eventos posteriores que ocurrieron en otra falla de la cadena volcánica el 17 de febrero, debido al cambio de esfuerzos tras los sismos del 13 de enero y del 13 de febrero.



## INTERPRETACIÓN TECTÓNICA GLOBAL

Los resultados obtenidos para los sismos de 2001 han sugerido la existencia de un mecanismo de disparo asociado a la transferencia de esfuerzos estáticos controlado por la interacción de fallas normales situadas en la zona de subducción centroamericana, con fallas de desgarre situadas a lo largo de la zona volcánica de El Salvador. La correlación entre los incrementos en el CFS y la sismicidad observada en el 2001, junto con el patrón histórico de los terremotos de subducción, seguidos de eventos de cadena volcánica, sugieren que la transferencia de esfuerzos estáticos puede ser un mecanismo importante para la región. Los eventos de magnitud mayor de 7.0 generados en la subducción de la placa de Cocos parecen responsables de la reactivación de las fallas a lo largo de la cadena volcánica en la placa del Caribe. Todo parece indicar la existencia de relaciones causa-efecto entre los grandes terremotos de falla normal en la zona de subducción y los terremotos de desgarre de carácter catastrófico de la zona volcánica

Para ratificar lo anterior, una evaluación más extensa de esfuerzos de Coulomb, ha sido hecha incluyendo los eventos de 1982 y 1986. Se ha comprobado que la secuencia de sismos 1982-1986 proporciona resultados bastante similares a los de 13 enero-13 febrero de 2001. El sismo de 1982 tuvo mecanismo de falla normal y ocurrió en la placa que subduce, lo cual hizo que algún tiempo después, en 1986, tuviera lugar el otro sismo en la zona de cadena volcánica, en un lóbulo de máximo incremento de esfuerzos tras el sismo anterior. (Martínez-Díaz et. al, 2004).

Los datos geológicos locales, así como las imágenes de satélite analizadas, apuntan a la existencia de una gran zona de falla de desgarre de más de 100 km de longitud, por primera vez identificada como tal, que hemos llamado Zona de Falla de El Salvador (ZFES). Esta es la fuente responsable de algunos de los terremotos destructivos ocurridos en la zona volcánica durante el último siglo. Está orientada N90°-100° E y es compuesta por varios segmentos que se extienden desde el borde Este de El Salvador hasta el lado Oeste del lago de Ilopango.

Esa zona de falla deforma los depósitos cuaternarios con movimiento lateral derecho y buzamiento oblicuo. Estos movimientos son evidentes cuando la falla afecta a las rocas piroclásticas ácidas de tierra blanca y tobas color café. La expresión topográfica de esta zona muestra que el movimiento lateral derecho ha producido la deflexión del río Lempa, el río Grande de San Miguel y la red fluvial noroeste del Jucuapa. En la parte Oeste, la ZFES pasa cerca de la ciudad de San Vicente y corta la pendiente noreste del volcán San Vicente y de la depresión del lago de Ilopango.

Seis de los mayores terremotos destructivos a lo largo del eje volcánico ocurrieron en la parte Oeste de la ZFES. La distribución de réplicas del terremoto del 13 de febrero de 2001 muestra claramente que este evento fue producido por la ruptura de un segmento de la ZFES (en un lóbulo de incremento de esfuerzos) comprendido entre el río Lempa y el lago de Ilopango, además, tras el sismo del 13 de febrero de 2001, una importante área de la ZFES al este del río Lempa ha quedado cargada con un cambio positivo de esfuerzos ( $> 0.15$  MPa). Un hipotético evento extensional localizado al sureste del epicentro del 13 de enero, produciría una recarga de CFS que podría promover la actividad sísmica en esta zona al este del río Lempa.

### MOVIMIENTO FUERTE

En lo referente al movimiento fuerte registrado durante los sismos de 2001, se obtuvo un total de 479 registros, procedentes de 188 sismos (entre eventos principales y réplicas), que han supuesto un notable incremento en la base de datos acelerométrica de El Salvador, compuesta hasta ese año, por alrededor de 200 registros. La interpretación de estos datos cuenta con la limitación de no disponer de información precisa sobre el tipo de suelo donde están ubicadas las estaciones, pero el estudio de los mismos, separando los que corresponden a sismos de subducción y a sismos de cadena volcánica, permite identificar características particulares de atenuación para ambas series y establecer diferencias entre ellas.

Un análisis de regresión de cada conjunto de datos, ha permitido inferir ecuaciones de atenuación o modelos de movimiento fuerte para sismos de subducción y para

sismos locales, que serán de gran utilidad para futuros estudios de amenaza en El Salvador. A este respecto, la atenuación encontrada para sismos de subducción se ajusta a la tendencia general para este tipo de sismos en otras regiones del mundo. Mientras que la atenuación deducida para sismos de cadena volcánica parece más fuerte que en otras zonas, lo que lleva a predecir valores de parámetros de movimiento más bajos, en el caso de El Salvador, para análogas condiciones de magnitud y distancia.

Las distribuciones espaciales de movimiento fuerte para los terremotos del 13 de enero y 13 de febrero, deducidas a partir de los modelos anteriores, tienen buena concordancia con las diferencias de atenuación esperadas en sismos de foco profundo y de foco superficial.

### EVALUACIÓN DE DAÑOS

Pasando al estudio de daños causados por los sismos del 13 de enero y 13 de febrero, se han realizado análisis con tres niveles de detalle, acordes con la información disponible. De estos análisis se han extraído lecciones sobre el comportamiento de las diferentes tipologías constructivas existentes en el país y se han propuesto recomendaciones que sirvan de guía para futuras campañas de daño y lleven a la mejora de los criterios de diseño. Estas lecciones y recomendaciones se resumirán en los siguientes sub-apartados.

En un primer nivel, se ha efectuado un análisis global de daños reportados por departamentos para cada uno de los sismos: 13 de enero y 13 de febrero, partiendo de las valoraciones dadas por el COEN. Esta información es de carácter general, desglosando para cada departamento el número de personas heridas y fallecidas, el de viviendas dañadas y destruidas, el número de iglesias destruidas, etc. El mayor problema presentado para el análisis es que la información disponible no facilita el censo total de cada categoría en cada población, y ello impide calcular porcentajes de daño, como es habitual en estimaciones dirigidas a riesgo sísmico. Una primera conclusión al respecto es la necesidad de incluir los censos totales por departamento en las valoraciones de daños. No obstante, el análisis ha permitido establecer diferencias relativas de daños



entre departamentos y realizar estadísticas descriptivas para visualizar de forma gráfica los efectos de cada uno de los sismos.

Para el sismo del 13 de enero, en la valoración global, el terremoto causó daños severos en una amplia área al sur de la zona volcánica de El Salvador, afectando fundamentalmente a las zonas rurales, si bien la mayor parte de víctimas mortales se debió al deslizamiento de la zona de Las Colinas en Santa Tecla, con más de 600 muertos. En total, en El Salvador se reportaron 800 muertos, y seis en el sur de Guatemala. El número de heridos fue superior a 4 mil 500 y más de un millón de personas resultaron damnificadas. Los mayores daños se reportaron en los departamentos de La Paz, Usulután y la Libertad, donde el número de viviendas destruidas fue superior a 15 mil. Chalatenango, Cabañas y Morazán, sufrieron menores daños.

En general, las estructuras que sufrieron mayor daño fueron las de adobe y bahareque, también, aunque en menor grado, las de ladrillo mixto, mientras que las de concreto resistieron aceptablemente. En la capital, San Salvador, la mayoría de los edificios resistió bien el terremoto y algunos presentaron daños estructurales sin colapso. Sin embargo en las poblaciones de Comasagua y San Agustín, prácticamente el 100 % de las viviendas fueron destruidas.

En términos de porcentaje, La Libertad registra el mayor porcentaje de fallecidos (72 %) y heridos (39 %), pero en edificios públicos el porcentaje más alto se presenta en Usulután (29 %), donde también se registra el más elevado porcentaje de viviendas dañadas (18 %), viviendas destruidas (27 %) e iglesias dañadas (22 %). La mayor parte de los muelles dañados están en Santa Ana (90 %) y el número más alto de damnificados corresponde también a Usulután (26 %).

El sismo del 13 de febrero causó graves daños en un área más restringida que el del 13 de enero, siendo los departamentos más afectados los de Cuscatlán, La Paz y San Vicente, pertenecientes a la zona central del país. Al igual que el sismo del 13 de enero, este terremoto fue sentido con fuerza en Honduras y Guatemala.

El mayor porcentaje de fallecidos se registra en Cuscatlán (52%), donde también se reporta el mayor porcentaje de lesionados (41 %), de viviendas dañadas (58 %), de iglesias dañadas (64%) y de derrumbes (62%). La mayor parte de viviendas destruidas corresponde a La Paz (41 %), donde también se da el mayor porcentaje de muelles dañados (50 %). En cuanto a damnificados en general el mayor porcentaje corresponde a Cuscatlán. (0.42 %).

En un segundo nivel, se han analizado los daños por municipios, partiendo de información suministrada por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano. Esa información se refiere al número total de viviendas rurales y urbanas que han sufrido daños reparables e irreparables en cada municipio, así como al censo total de cada clase. Aunque la información no permite desglosar clases de vulnerabilidad, atendiendo al material y sistema constructivo, se ha podido hacer una evaluación en términos de porcentaje de daños frente al total de cada municipio, para las categorías rural y urbana. Así mismo se logró establecer las pautas de actuación para futuros estudios en la misma línea, detallando clases de vulnerabilidad, siendo éste otro aspecto concluyente del estudio.

En un tercer nivel de análisis se ha construido una base de datos de daño con información de más de 4 mil 500 estructuras, referente tanto a tipología estructural como al material constructivo y al grado de daño pormenorizado sufrido en cada terremoto. La elaboración de esta base ha requerido diseñar un proceso de evaluación de daños y un modelo de cuestionario que pueden ser referencia para inspecciones de daños futuras, por lo que pueden considerarse otro aporte del estudio.

La información contenida en la base de datos ha permitido asignar clase de vulnerabilidad y grado de daño a cada observación, y además localizarla geográficamente con precisión, al ser ésta georreferenciada. La información a este nivel de análisis es la más detallada de los tres niveles desarrollados. Sin embargo, la muestra de observaciones no resulta completa ni representativa del número total de edificaciones existentes en el país, y no permite estudios de daños en porcentaje. Además, esta base fue construida

inicialmente con criterios de habitabilidad y no refleja información de los daños extremos, es decir daño nulo y colapso. Una importante conclusión al respecto se deriva de este aspecto negativo encontrado: la necesidad de reflejar, en futuras inspecciones, *todos* los grados de daño para cada tipología, incluyendo los extremos (daño nulo y colapso total), y al mismo tiempo, evaluar muestras representativas de cada tipología en cada población.

A pesar de la limitación anterior, la información de la base de datos ha permitido extraer lecciones y recomendaciones para futuras campañas de daño (siguientes sub- apartados) así como analizar cualitativamente los comportamientos de las diferentes clases y la variabilidad geográfica del daño para cada una de ellas. Puede concluirse que el adobe y el bahareque presentan daño más severo (colapsos, ruina parcial o total) que la mampostería con refuerzo integral, marcos de concreto reforzado y marcos de acero. Ese daño severo se reportó incluso en departamentos alejados de la fuente, para el sismo del 13 de enero, como Chalatenango y Santa Ana, reflejando la alta vulnerabilidad de los sistemas constructivos de adobe y bahareque, debido a la forma artesanal de construcción y al escaso mantenimiento de la estructura.

Contrastando el mapa de daños del sismo del 13 de enero con el mapa de zonificación del reglamento para la Seguridad Estructural de El Salvador (RESESCO), se comprueba que el mayor porcentaje de daño severo se presenta en la Zona I, de mayor coeficiente sísmico según el reglamento. Ello corrobora la idoneidad de la zonificación de RESESCO.

Cada uno de los tres niveles de análisis de daño realizado presenta alguna ventaja e inconveniente frente al resto, siendo lo ideal construir una base de datos completa y representativa con la cual poder subsanar las deficiencias parciales encontradas. Los aspectos negativos identificados son también conclusiones, que llevan a proponer recomendaciones para estudios futuros.

## **LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES**

Además de las conclusiones obtenidas, hay otros aspectos críticos que se han puesto



de manifiesto en el estudio, que no pueden considerarse en sí concluyentes del mismo, pero sí lecciones aprendidas para mejorar, en el futuro estudios como el realizado, subsanando las deficiencias encontradas, con vistas a una disminución del riesgo. Estas lecciones conducen a recomendaciones prácticas que se refieren, tanto al estudio del fenómeno sísmico en sí, como al del movimiento generado y sus efectos.

Es de destacar la importancia del comportamiento de ciertos eventos como factor de disparo de otros con el mismo o diferente origen, en la amenaza sísmica de la zona y en otras con régimen tectónico similar. La modelación de las condiciones bajo las cuales un sismo de subducción puede actuar sobre otros de cadena volcánica es un reto para investigaciones futuras. Si el mecanismo de disparo pudiera ser modelado sistemáticamente, podría suponer una considerable mejora en las estimaciones de leyes de recurrencia y por tanto, en el conocimiento de la amenaza sísmica de El Salvador. Sería conveniente a este respecto investigar otras series de eventos ocurridos durante el siglo XX, donde también han ocurrido sismos de subducción y de cadena volcánica en sucesión, a fin de comprobar si han seguido patrones similares de transferencia de esfuerzos a los encontrados en este estudio.

De cualquier forma, muchos sismos en El Salvador han ocurrido en secuencias conjuntas subducción-eje volcánico a través de la historia. De especial interés debe ser el estudio del tiempo de retraso de los eventos de subducción a los eventos continentales, así como el estudio del intervalo de tiempo entre los sismos de gran magnitud en la zona de subducción. Los eventos de subducción ocurren menos frecuentemente que los de cadena volcánica, por lo que los intervalos de recurrencia son mayores, pero también lo son las magnitudes generadas. De igual forma se aprecia un retraso de tres a cuatro años para los sismos continentales que ocurren después de uno de subducción, con excepción de los dos eventos del 2001. El análisis de ese retraso, combinado con la acumulación de esfuerzos a largo plazo, puede proporcionar nuevos elementos para comprender la coherencia mecánica de un comportamiento sistemático de disparo.

Una mayor investigación geológica es sugerida por el resultado de la interpretación tectónica global, que apunta a la existencia de una Zona de Falla de El Salvador (ZFES), de unos 100 km de longitud. La localización de réplicas del sismo del 13 de febrero de 2001, en un segmento de la falla comprendido entre el río Lempa y el lago de Ilopango, ha generado una transferencia de esfuerzos por la cual se ha podido observar la carga o incremento positivo en una zona al este del río Lempa. Teniendo en cuenta la relación causa-efecto entre sismos de subducción y de cadena volcánica, un hipotético evento de subducción podría disparar otro sismo local en esta última región. En cualquier caso, la localización del próximo sismo de subducción deberá tenerse en cuenta en la evaluación de la probabilidad del movimiento esperado en la cadena volcánica.

En lo referente al movimiento fuerte, los registros obtenidos durante el 2001 (del orden de 450) han incrementado notablemente la base de datos acelerométrica del país. Sin embargo, esta base de datos aún no puede considerarse completa para estudios de atenuación y para deducción de modelos de movimiento fuerte, ya que existen importantes vacíos de datos en el rango de Magnitud Mw de 5.9 a 7.6 para sismos de subducción y Mw 5.4 a 6.5 para sismos de cadena volcánica. Debe garantizarse las condiciones de operatividad de la red existente en la actualidad para asegurar el registro de sismos futuros, que previsiblemente puedan cubrir esos intervalos. Es importante además, incorporar los datos de los países vecinos con tectónica similar, esencialmente Guatemala y Nicaragua, a fin de completar la base de datos y al mismo tiempo poder efectuar análisis de atenuación en un entorno más regional. Ello supondría un indudable beneficio para mejorar el conocimiento de la amenaza sísmica de la región centroamericana.

Un importante problema que presenta la interpretación de los registros de movimiento fuerte en El Salvador es el desconocimiento de las condiciones precisas de sitio en las estaciones de registro. Lo anterior, impide conocer la amplificación local que ha podido experimentar el movimiento registrado y a su vez dificulta

la clasificación de registros atendiendo al factor suelo. Esto a su vez dificulta el tratamiento de los datos para inferir modelos de atenuación para cada clase de suelo, como es práctica habitual en este tema. Sería muy recomendable, para optimizar el uso de los registros existentes en El Salvador, efectuar algún tipo de análisis en los emplazamientos de las estaciones de registro (sondeos, campañas de ruido, etc.), con el fin de estimar la velocidad de las ondas de cizalla y el período predominante del suelo en las mismas. Esta medida llevaría a una valoración del efecto local en las estaciones, que a su vez, podría extrapolarse a otras zonas con tipo de suelo similar, lo que supondría un gran beneficio en la caracterización del movimiento, además de una mejora en el propio conocimiento de la atenuación sísmica.

En lo referente al análisis de daños, los aspectos críticos encontrados llevan a obtener importantes lecciones para mejorar, en el futuro, las campañas de daños y las evaluaciones posteriores. La primera idea importante es que, si el análisis va encaminado a estimación del riesgo sísmico, debe diseñarse de manera que se pueda determinar el comportamiento de cada tipología constructiva, en relación con el movimiento experimentado. Ello requiere, a su vez, conocer, para cada tipología, el porcentaje de estructuras que sufre cada grado de daño frente al total de esa tipología, para cada población. Conocer, por ejemplo, que en cierto municipio 10 casas de adobe han sufrido daño fuerte, no es muy relevante a efectos de riesgo, si no se conoce el total de casas de adobe en el municipio (Obviamente no es lo mismo 10 de 100, que supondría un 10 % que 10 de 10, que sería un 100 %). Pero además, si se quiere llegar a conocer bien el comportamiento del adobe en el municipio, debería disponerse de información de cómo han respondido las restantes, si globalmente han resistido mejor o peor que las primeras. Ello supone controlar todos los grados de daño, incluyendo el daño nulo (que a pesar de su importancia, muchas veces es ignorado) y por supuesto el colapso total.

Por ello, con esa idea central, las inspecciones de daños deben realizarse evaluando muestras completas de cada



tipología examinada en cada población, incluyendo siempre el censo total de viviendas de esa tipología. Por otra parte, cada observación debe contener toda la información necesaria para la posterior asignación de vulnerabilidad y grado de daño, según la escala adoptada. A este respecto es importante disponer de modelos de cuestionarios que faciliten la toma de datos, incluyendo todos los detalles sobre el tipo de estructura, material constructivo, estado de conservación, etc., sin olvidar la ubicación del edificio que, en la medida de lo posible, debería hacerse con GPS, para mayor precisión.

Es conveniente que toda la información recabada sea estructurada en una base de datos, que facilite su posterior interpretación. La presentada en el proyecto puede ser un modelo a seguir en posteriores estudios. Después, deberían construirse matrices de vulnerabilidad y daño para cada población, que representen el porcentaje de cada grado de daño para cada clase de vulnerabilidad definida. De esta manera se brindaría una idea completa del comportamiento de las diferentes tipologías o clases de vulnerabilidad en la población. Estas matrices serán el punto de partida para cualquier estudio de riesgo sísmico, facilitando el análisis de correlaciones entre el porcentaje de daños y los parámetros de movimiento.

Tras los problemas encontrados en las evaluaciones realizadas en el proyecto, se han propuesto recomendaciones para futuras campañas de daño, incluyendo cambios de logística en la evaluación, en la documentación de una norma de estimación de daños y en los cuestionarios formulados, todo ello dirigido a mejorar la actuación post-terremoto. Esas recomendaciones van dirigidas al sector gubernamental, al sector gremial y al sector universitario, fundamentalmente. (Aptdo 4.3.5.)

Además, se han propuesto recomendaciones para futuros estudios de vulnerabilidad y riesgo incluyendo la elaboración de bases de datos, asignación de clase de vulnerabilidad y grado de daño, elaboración de matrices de vulnerabilidad y grado de daño, estudio de variabilidad geográfica

del daño y relación movimiento-daños. (Apto 4.4.).

Con todo ello se ha pretendido dar una orientación sobre este tipo de análisis, destacando los resultados obtenidos -tanto positivos como negativos- y brindando las pautas a seguir para análisis posteriores de modo que la experiencia adquirida permita optimizar los estudios en el futuro.

## **IMPORTANTES LOGROS ADICIONALES DEL PROYECTO**

La importancia de este proyecto se debe, no solamente al producto descrito en los capítulos previos, sino también a los procesos y relaciones interpersonales e interinstitucionales que se han derivado del mismo.

La interacción entre los diferentes equipos de trabajo ha producido una relación estable y duradera, que a su vez ha generado otros frutos y proyectos. A nivel nacional, las instituciones involucradas han logrado una cooperación importante entre sí, que se concreta específicamente en el intercambio de información y apoyo para el mantenimiento de la red acelerográfica, que creció considerablemente en cantidad y calidad después de los terremotos del 2001, gracias a esfuerzos propios y a la cooperación internacional.

En la actualidad, la Red Acelerográfica Nacional se compone de 51 estaciones distribuidas a lo largo del territorio, integrando las pertenecientes a diferentes instituciones. El SNET cuenta con 25 estaciones, la mayor parte de ellas digitales; la UCA ha logrado adquirir equipos adicionales y dispone de 13 estaciones digitales; CEL invirtió fondos propios para adquirir e instrumentar sus cuatro centrales hidroeléctricas y en ellas ha ubicado 9 estaciones digitales; LAGEO S.A. de C.V. también adquirió un equipo adicional y ahora cuenta con 4 estaciones. La buena relación entre los responsables del mantenimiento de la red de cada institución, ha posibilitado la existencia de un verdadero intercambio de información, producto del cual ha resultado un notable incremento en la base de datos de registros acelerográficos

que, actualmente asciende a un mil 323 registros.

La relación UCA-SNET ha ido más allá de lo concerniente a la red acelerográfica, posibilitando también, la generación de diversas investigaciones en conjunto como son: la actualización de modelos de atenuación, la ampliación y depuración del catálogo sísmico y las investigaciones relacionadas con la amplificación sísmica y la amenaza de deslizamientos. Asimismo, la relación UPM-SNET continúa desarrollándose con proyectos relacionados con el potencial de deslizamientos en El Salvador, la actualización del peligro sísmico y la determinación de la transferencia de esfuerzos a lo largo de fallas activas en el país.

Es claro que la oportunidad facilitada por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) ha sido multiplicadora de investigaciones y como consecuencia, generadora de varios productos que han llevado a una mejora del conocimiento de los fenómenos naturales que afectan al país. La aplicación directa de estas investigaciones se encuentra en la reducción de la vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Por otra parte, los productos tangentes de este estudio también tienen grandes implicaciones y aplicaciones en las acciones destinadas a la prevención de desastres.

La actualización de las normas de construcción es uno de los procesos que se verá beneficiado con los productos de esta investigación, al incorporar los conocimientos actualizados del fenómeno sísmico en El Salvador. Asimismo, la sistematización de las evaluaciones de daños servirá directamente para estudios de vulnerabilidad de edificaciones, y proveerá ideas dirigidas a mejorar las evaluaciones en el futuro.



# Agradecimientos

Son numerosas las personas e instituciones que han contribuido al trabajo que se presenta en esta publicación. Los autores quieren expresar su sincero agradecimiento a todas ellas:

A la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), que tras los sismos ocurridos en El Salvador a comienzos de 2001 financió el proyecto de investigación “Contribución a la renovación de la red acelerométrica de El Salvador y estudio del movimiento de los sismos de 2001 y sus efectos” en el marco del cual se han desarrollado gran parte de los trabajos cuyos resultados se presentan.

Al Ministerio de Educación y Ciencia de España (antiguamente Ministerio de Ciencia y Tecnología) que ha financiado el proyecto ANDES (REN2001\_0266\_C0202/RIES.), dentro del cual se han llevado a cabo otros trabajos incluidos y con el que se ha financiado parcialmente esta publicación.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, por haber facilitado administrativamente el desarrollo de las actividades relacionadas con el proyecto de investigación “Contribución a la renovación de la red acelerométrica de El Salvador y estudio del movimiento de los sismos de 2001 y sus efectos”.

A M<sup>a</sup> José García, Jorge Rodríguez, Cesar Ruiz y Elena Martín por su inestimable ayuda en la digitalización del mapa Geológico de El Salvador y la creación del SIG Geológico que ha sido de utilidad para buena parte de los trabajos realizados. A Erick Antonio Burgos Ganuza, cuyo aporte en el análisis de atenuación fue importante.

A Julian Bommer, Conrad Lindholm y David Boore, que con sus comentarios y observaciones enriquecieron el análisis de atenuaciones que se presenta en este documento.

A la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA) por haber proporcionado los cuestionarios de evaluación de daños de los terremotos del 2001.

A Ricardo Mata, Ramón Palacios, Miguel Márquez, Blanca Cuenca, Jenniffer Larreinaga, Walter Ruiz, Rafael Chilín, Nelson Ayala, Boris Carías y Carlos Marroquín, por su labor como digitadores de la base de datos de daño y la geo-referenciación de las estructuras evaluadas para los eventos del 2001, lo cual ha sido de utilidad en análisis realizados en este trabajo.

Los autores:

Maria Belen Benito (Universidad Politécnica de Madrid)  
Patricia de Hasbun (Universidad Centroamericana “Jose Simeón Cañas”)  
Jose Cepeda (Universidad Centroamericana “Jose Simeón Cañas”)  
Douglas Hernandez (Servicio Nacional de Estudios Territoriales)  
Carlos Pullinger (Servicio Nacional de Estudios Territoriales)  
Jose Martinez Diaz (Universidad Complutense de Madrid)  
Griselda Marroquín (Servicio Nacional de Estudios Territoriales)