



Por una cultura común del riesgo sísmico
Pour une culture commune du risque sismique

Actualización del sistema “Shakemap”

Informe 3.1.0 - Acción 3



Autores:Jose Antonio Jara¹Núria Salvador¹**Palabras clave: shakemap, terremoto, movimiento, suelo, mapa**

-
1. ICGC : Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, España
 2. BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Francia
 3. UPC : Universitat Politècnica de Catalunya, España
 4. DIGC : Secretaria General. Departament d'Interior. Generalitat de Catalunya, España
 5. IEA : Institut d'Estudis Andorrans, Andorra
 6. ENIT : Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, Francia
 7. CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique - Délégation Alsace, Francia
 8. EPLFM : Entente pour la Forêt Méditerranéenne, Francia
 9. DW : Deveryware, Francia
 10. ACE : Associació de Consultors d'Estructures, España

© 2021, proyecto POCRISC

Síntesis

Inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, al igual que en el caso de cualquier desastre natural como los huracanes, inundaciones, etc., las autoridades encargadas de la gestión de la crisis deben ser capaces de elaborar, lo más rápidamente posible, un escenario de los efectos y daños ocasionados, a fin de poder gestionar la emergencia y atender a las víctimas. Sin embargo, pueden pasar muchas horas antes de que la síntesis de las observaciones de campo proporcione una imagen clara de la situación. En este contexto, los gestores de crisis precisan disponer de herramientas de respuesta rápida que les permitan dimensionar la crisis estimando el alcance de los daños, pérdidas, averías y víctimas.

Para cubrir estas necesidades, el proyecto Interreg POCRISC (2018-2021) ha permitido:

- Mejorar la calidad de los mapas de movimiento del suelo, conocidos como “shakemaps”, así como la extensión del área cubierta.
- Utilizar estos “shakemaps” para hacer una estimación refinada de las pérdidas esperadas, con mayor resolución y cobertura que la herramienta desarrollada en el proyecto ISARD (Interreg IIIA, 2004-2007).

Este informe presenta la forma en que se realizan estos mapas de movimiento del suelo, con especial atención a los principales cambios respecto al sistema desarrollado en el proyecto SISPYR (<http://www.sispyr.eu>)

Contenido

1	Introducción.....	6
2	Elaboración de los “shakemaps”	7
2.1	Filosofía	7
2.2	Procedimiento de cálculo	8
2.2.1	Estaciones sísmicas.....	8
2.2.2	Intensidades.....	9
2.2.3	Tipos de suelo.....	9
2.2.4	Modelos	10
2.3	Automatización.....	10
3	Representación y difusión de los “shakemaps”	12
3.1	Representación de los “shakemaps”	12
3.1.1	Mapa de valores máximos de aceleración (PGAs).....	12
3.1.2	Mapa de valores máximos de velocidad (PGVs).....	13
3.1.3	Mapas de aceleraciones espectrales.....	15
3.1.4	Mapa de intensidades.....	16
3.2	Difusión de los “shakemaps”	18
4	Bibliografía	20

Lista de figuras

Figura 1.	Esquema de los principales elementos necesarios para la elaboración de los mapas de movimiento del suelo.....	8
Figura 2.	Esquema temporal de creación de los mapas de movimiento del suelo.....	11
Figura 3.	Mapa de los valores máximos de aceleración del suelo correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.....	13
Figura 4.	Mapa de los valores máximos de velocidad del suelo correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.....	15
Figura 5.	Mapa de los valores máximos de la aceleración espectral para un período de 0.3 segundos, correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.....	16
Figura 6.	Mapa de intensidades instrumentales correspondientes al terremoto de magnitud 4.4 ocurrido el día 30 de septiembre de 2020 con epicentro al este de Pamplona. Al pie de mapa se representa la relación obtenida en el proyecto SISPYR para relacionar las intensidades instrumentales con los valores máximos de aceleración y velocidad del suelo.....	17
Figura 7.	Tabla publicada en la página web del proyecto POCRISC con la fecha, localización y magnitud de los 15 últimos terremotos para los que se han calculado	

"shakemaps" (fecha: 29/12/2021), así como la fecha de la última actualización de cada uno de ellos.....	18
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Lista de tablas

Tabla 1. Modelos de propagación seleccionados para la zona POCRISC.....	10
-------------------------------------------------------------------------	----

Lista de anexos

Anexo 1. Fichero de configuración del módulo <i>trigger</i>	21
Anexo 2. Fichero de configuración del módulo <i>DARACOM</i>	23
Anexo 3. Modificaciones en la leyenda de <i>ShakemapV4</i>	25
Anexo 4. Utilización de la vs30	26

1 INTRODUCCIÓN

Inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, al igual que en el caso de cualquier desastre natural como los huracanes, inundaciones, etc., las autoridades encargadas de la gestión de la crisis deben ser capaces de elaborar, lo más rápidamente posible, un escenario de los efectos y daños ocasionados, a fin de poder gestionar la emergencia y atender a las víctimas. Sin embargo, pueden pasar muchas horas antes de que la síntesis de las observaciones de campo proporcione una imagen clara de la situación. En este contexto, los gestores de crisis precisan disponer de herramientas de respuesta rápida que les permitan dimensionar la crisis estimando el alcance de los daños, pérdidas, averías y víctimas.

Desde principios de la década del 2000, existen herramientas de este tipo para la estimación rápida de los efectos de los terremotos en el Pirineo:

- A través del proyecto Interreg ISARD (2003-2006), que puso en marcha una herramienta capaz, a partir de una estimación de primer orden de la intensidad sísmica, de estimar el daño potencial y de restaurar esta información en notificaciones automáticas (Goula et al., 2008).
- A través del proyecto Interreg SISPyR (2009-2012), que permitió configurar un procedimiento de cálculo automático para mapas rápidos del movimiento del suelo, o "shakemaps".

Si bien el sistema ISARD ya es utilizado en España desde hace años por la seguridad civil de Cataluña, la cuestión de la conveniencia de proceder con la variación operativa de este demostrador científico destinado a las autoridades francesas fue objeto de un debate. expectativas de los gestores de crisis franceses de sistemas de respuesta tan rápida (Terrier y Colas, 2010). Representando una mejora significativa en la confiabilidad de la respuesta rápida, los "shakemaps SISPyR" - aunque accesibles al público - son además poco utilizados, porque son difíciles de interpretar para los no especialistas y no dan indicaciones directas sobre el nivel de daño potencial.

En este contexto, el proyecto Interreg POCRISC (2018-2021) ha permitido, en particular:

- Mejorar la calidad de los "shakemaps", así como la extensión del área cubierta.
- Utilizar estos "shakemaps" para hacer una estimación refinada de las pérdidas esperadas, con mayor resolución y cobertura que la herramienta desarrollada en el proyecto ISARD (Interreg IIIA, 2004-2007).

Este informe presenta la forma en que se realizan estos mapas de movimiento del suelo, con especial atención a los principales cambios respecto al sistema desarrollado en el proyecto SISPYR (<http://www.sispyr.eu>).

A pesar de que la actualización del sistema de determinación y difusión de los mapas de movimiento del suelo no se había contemplado en la propuesta inicial, se ha considerado que era esencial realizar esta actualización para que pudieran funcionar correctamente el resto de las herramientas propuestas en la acción 3.

2 ELABORACIÓN DE LOS “SHAKEMAPS”

Un “shakemap” es una representación del movimiento real del suelo producido por un terremoto. La información que presenta es diferente de la magnitud y el epicentro del terremoto que se calculan después de un terremoto, porque el “shakemap” se centra en el movimiento del suelo producido por el terremoto, en lugar de en los parámetros que describen el punto donde se ha originado el terremoto (su hipocentro) y el tamaño (magnitud). Así, aunque un terremoto tiene una magnitud y un epicentro, éste es percibido de forma diferente en cada punto del territorio, dependiendo principalmente de la distancia al hipocentro, las características del suelo, y las variaciones en la propagación de ondas sísmicas debido a las complejidades en la estructura de la corteza terrestre.

Parte de la estrategia utilizada para la elaboración de estos mapas rápidos de movimiento del suelo ha incluido la determinación de una presentación adecuada dada la diversa audiencia, que incluye científicos, empresas, administración, protección civil, medios de comunicación y el público en general. En un esfuerzo por simplificar y maximizar el flujo de información hacia el público en general, se ha implementado un sistema que permite generar no solo mapas de valores máximos de aceleración (PGA) y de velocidad (PGV), sino también un mapa estimado de la intensidad macrosísmica EMS98 (Grüntal, 1998). Este mapa de intensidad hace que sea más fácil relacionar los movimientos del suelo registrados con la zona de percepción del terremoto y la distribución de los posibles daños. Al mismo tiempo, también se generan mapas de aceleración espectral que no son particularmente útiles para el público en general, pero que proporcionan datos fundamentales para la estimación de las pérdidas y las evaluaciones de ingeniería sísmica.

El sistema de cálculo y elaboración de los mapas de movimiento del suelo implementado en el marco del proyecto está basado en el sistema ShakeMapV4, creado por el United States Geological Survey (USGS) (Worden et al, 2020).

2.1 Filosofía

Si hubiera estaciones en cada una de las decenas de miles de puntos que componen la cuadrícula de los mapas necesarios para representar adecuadamente el temblor, entonces la creación de éstos sería relativamente simple. Por supuesto, las estaciones no están disponibles para la inmensa mayoría de estos puntos de la cuadrícula y, en muchos casos, los puntos de la cuadrícula pueden estar a decenas de kilómetros o más de la estación de sísmica más cercana. La distribución de estaciones sísmicas en zona POCRISC es heterogénea. La mayoría de las estaciones se concentran en las zonas con una mayor sismicidad, así es de esperar que los mapas del movimiento del suelo generados en estas regiones sean más precisos que en otras.

Así, la filosofía utilizada en el sistema es combinar los datos de las estaciones sísmicas con las intensidades obtenidas a partir de los cuestionarios macrosísmicos, las características del suelo y los modelos de propagación del movimiento en la zona de interés. El procedimiento debe permitir realizar estimaciones razonables en los puntos ubicados lejos de los datos observados sin que estos sean alterados (Wald et al, 1999a).

2.2 Procedimiento de cálculo

La elaboración de los mapas de movimiento del suelo requiere, principalmente, los 4 elementos que se muestran de forma esquemática en la Figura 1, que son: registros de las estaciones sísmicas, las intensidades macrosísmicas obtenidas a partir de la información aportada por los testimonios, el mapa de los tipos de suelo y, finalmente, los modelos de propagación.

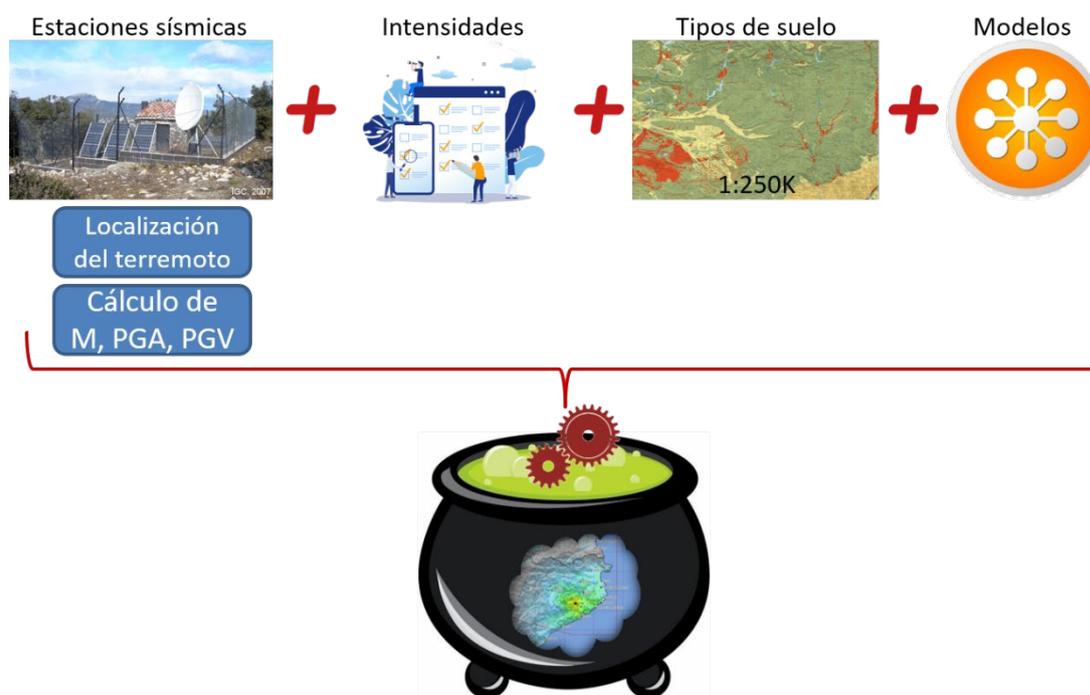


Figura 1. Esquema de los principales elementos necesarios para la elaboración de los mapas de movimiento del suelo.

2.2.1 Estaciones sísmicas

Las estaciones sísmicas existentes en la zona POCRISC y cercanías son elementos fundamentales para la elaboración de los mapas de movimiento del suelo. Las formas de onda registradas en estas estaciones permiten determinar la localización y la magnitud del terremoto. Así mismo, a partir de estas señales, se calculan también los valores de los picos de aceleración (PGA), picos de velocidad (PGV) y valores de las aceleraciones espectrales para los períodos de 3, 1 y 0.3 segundos (SA30, SA10 y SA03).

El sistema desarrollado permite utilizar los registros y metadatos de cualquier estación sísmica, independientemente del tipo de sensor (velocidad, aceleración, rotacional, etc.), que estén disponibles en Internet mediante servicios estándar de la Federación Internacional de Redes Sísmicas Digitales (FDSN, International Federation of Digital Seismograph Networks) (<https://fdsn.org>).

Para la obtención de los datos y metadatos de las estaciones sísmicas de la zona POCRISC y cercanías se utilizan 2 puntos de acceso a servicios FDSN, ambos integrados en EIDA (European Integrated Data Archive) (<http://www.orfeus-eu.org/data/eida/>):

- ICGC: estaciones sísmicas en España y Andorra.
- RESIF: estaciones sísmicas en Francia y Andorra.

2.2.2 Intensidades

Las intensidades macrosísmicas se determinan según la Escala Macrosísmica Europea, conocida por las siglas EMS-98 a partir de los datos facilitados por los testimonios del terremoto a través, principalmente, de cuestionarios publicados en páginas web y de aplicaciones de teléfonos móviles inteligentes. A diferencia de las escalas sísmicas de magnitud, como la escala de Richter, que se basan en la estimación de la energía sísmica liberada, la EMS-98 indica el grado en que un terremoto afecta a un lugar específico.

El sistema desarrollado en el marco del proyecto POCRISC permite acceder a los datos de intensidades macrosísmicas mediante 3 tipos de mecanismos, cada uno de ellos adaptado a las características de uno de los 3 organismos encargados de la recogida de testimonios de terremotos, y del cálculo de los valores de las intensidades macrosísmicas en la zona del proyecto, que son:

- ICGC: <https://icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Terremotos/Ha-percibido-un-terremoto>
- IGN: <https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-cuestionario-macrosismico>
- BCSF: <https://www.franceseisme.fr/formulaire/index.php?IdSei=0>

2.2.3 Tipos de suelo

Cuando se produce un sismo, el comportamiento del suelo puede ser muy diferente en función de las características geomecánicas de los materiales que lo forman. En aquellos casos en que el suelo está compuesto de materiales blandos y / o poco consolidados se pueden producir amplificaciones de las ondas sísmicas produciendo daños en edificios incluso en zonas muy alejadas del epicentro. También se han observado incrementos de la amplitud y duración del movimiento del suelo cuando las ondas sísmicas se propagan por determinadas geometrías del subsuelo o en relieves topográficos. En la mayoría de los terremotos destructivos de los últimos años como Michocán 1985 (México), Loma Prieta 1989 (California, Estados Unidos), Kobe 1995 (Japón), Izmit 1999 (Turquía), Aquila 2009 (Italia), el Maule 2010 (Chile) y Tohoku 2011 (Japón) se ha podido comprobar la importancia de la amplificación del movimiento sísmico debido a efectos de suelo en la distribución de los daños. Hay que tener en cuenta este fenómeno de amplificación en la planificación territorial, en el diseño antisísmico de estructuras (normas de construcción sismorresistente) y también en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios ya construidos.

Se ha realizado una clasificación del terreno inspirada en la normativa europea de construcción sismorresistente, llamada Eurocódigo 8 (CEN, 2004). La clasificación de los suelos tiene en cuenta la resistencia del terreno superficial, su espesor y el contraste con la resistencia del terreno subyacente, factores que permiten estimar los efectos de amplificación de las ondas sísmicas. Las características de cada una de las clases son:

- Clase A: terrenos en el cuales aflora la roca bien consolidada o que está recubierta de un espesor de material más blando inferior a 5 m.

- Clase B: terrenos formados por arena o grava muy densas, arcillas muy rígidas o rocas sedimentarias con un grado de consolidación medio, con un espesor inferior a 100 m y con recubrimiento inferior a 20 m de terrenos blandos o muy blandos. Por debajo de estos materiales se encuentra un substrato rocoso bien consolidado.
- Clase B': terrenos formados por depósitos de arenas o gravas muy densas, arcillas muy rígidas o rocas sedimentarias con un grado de consolidación medio y con un espesor superior a 100 m.
- Clase C: terrenos formados por depósitos de arena o gravas densas y arcillas rígidas con espesores que oscilan de 20 a 100 m y que recubren un substrato rocoso.
- Clase D: terrenos formados por depósitos de arenas finas y limos poco densos o arcillas de blandas a medianamente rígidas de un espesor que oscila entre 20 y 100 m y que recubren un substrato rocoso.
- Clase E: terrenos formados por depósitos de arenas finas y limos poco densos o arcillas de blandas a medianamente rígidas de un espesor que oscila entre 5 y 20 m y que recubren un substrato rocoso bien consolidado (clase A).

Para cada una de las clases de terreno se han definido las correspondientes características en términos de amplificación del movimiento sísmico y de intensidad macrosísmica.

2.2.4 Modelos

Los modelos de propagación del movimiento del suelo, o relaciones de "atenuación", proporcionan un mecanismo para predecir la amplitud de vibración del suelo y su incertidumbre, en un sitio o ubicación determinados, en función de la magnitud del terremoto, la distancia entre la fuente y el sitio, las características del suelo, el mecanismo de la falla que ha causado el terremoto, etc. Para la zona de estudio se han implementado los modelos de la Tabla 1, los cuales fueron seleccionados para la zona de los Pirineos en el marco del proyecto SISPYR.

Tabla 1. Modelos de propagación seleccionados para la zona POCRISC.

Variable	$3.0 \leq \text{Magnitud} \leq 4.5$	$4.5 < \text{Magnitud}$
Aceleración	Tapia 2006	Akkar and Boomer 2010
Velocidad	Akkar and Boomer 2007	Akkar and Boomer 2010
Intensidad	Isard 2008	

2.3 Automatización

La automatización de la generación de los mapas de movimiento del suelo ha sido uno de los puntos clave del proyecto. Esta automatización permite producir, de forma automática, mapas de movimiento de suelo en tiempo casi real inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto significativo en la zona de estudio o en su periferia. El hecho de poder disponer de estos mapas lo más rápido posible justo después de un terremoto es fundamental para los servicios de protección civil y administraciones al cargo de la atención y gestión de la emergencia, pero también es de sumo interés para la población en general, medios de comunicación, empresas, etc.

Los primeros mapas de movimiento del suelo están disponibles unos 10 minutos después de la ocurrencia del terremoto (Figura 2). Estos mapas se actualizan de forma periódica, según los parámetros de configuración, considerando todos los nuevos datos disponibles.

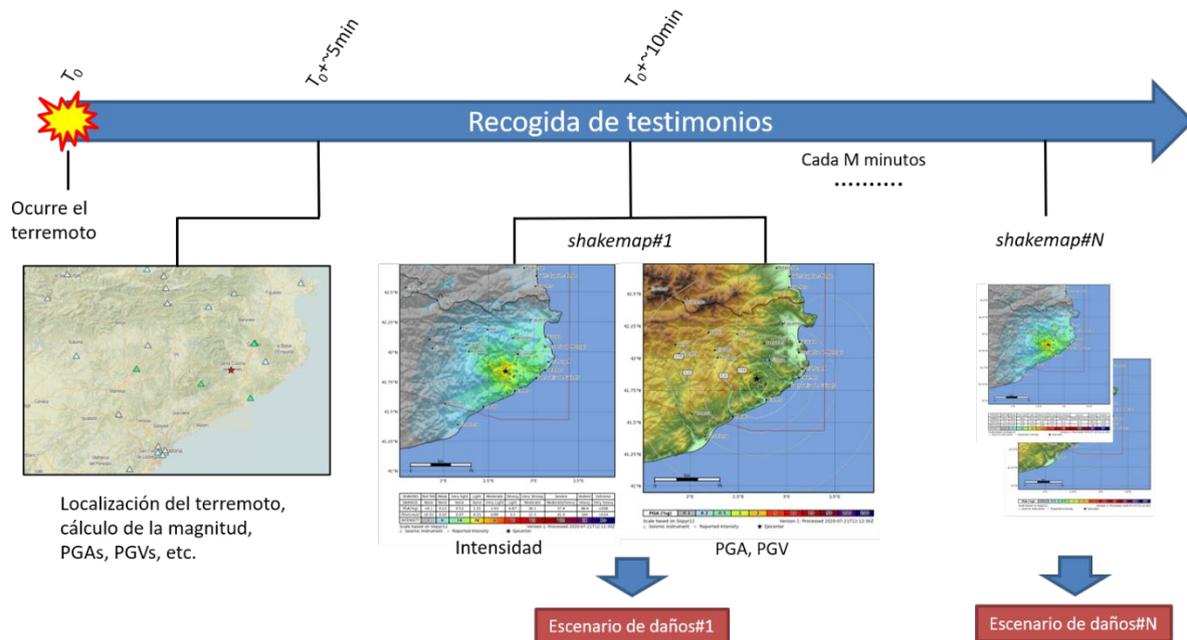


Figura 2. Esquema temporal de creación de los mapas de movimiento del suelo.

El sistema diseñado e implantado que realiza esta automatización está compuesto por los siguientes módulos:

- Trigger: comprueba la existencia de un nuevo evento. Una vez se confirma la existencia de un evento, se comprueba que se cumplan las condiciones de validación configuradas y, si éstas se cumplen, se desencadena el proceso posterior.
- Daracom: obtiene y procesa los datos y metadatos de las estaciones sísmicas y las intensidades macrosísmicas.
- Shakemap Manager: crea de los mapas de movimiento del suelo.
- Damages: en caso necesario solicita el cálculo de los escenarios de daños y creas los informes de resultados.

Adicionalmente al sistema de automatización también se creado un sistema que permite la creación y actualización de los mapas de movimiento del suelo bajo demanda. Esta funcionalidad permite realizar simulaciones de escenarios posibles, calibraciones del sistema y crear nuevos mapas en caso necesario una vez que el automatismo finaliza las actualizaciones programadas por defecto.

3 REPRESENTACIÓN Y DIFUSIÓN DE LOS “SHAKEMAPS”

Un “shakemap” es fundamentalmente una representación espacial del campo de vibraciones del terreno en una región, potencialmente muy complejo, asociado con un terremoto. Debido a su naturaleza compleja, estamos obligados a generar numerosos mapas que representen diferentes aspectos personalizados para usos o audiencias específicas. Así mismo, para permitir que usuarios especializados puedan generar otros mapas personalizados es también necesario difundir los datos resultantes de los cálculos realizados, además de los propios mapas generados de forma sistemática. En esta sección, describimos con más detalle estos productos generados y la variedad de mapas y formatos que se distribuyen.

3.1 Representación de los “shakemaps”

Parte de la estrategia para generar mapas de movimiento del suelo en tiempo casi real es determinar el mejor formato para una presentación adecuada de los resultados dada la diversidad de los destinatarios potenciales, que incluye científicos, empresas, protección civil, administraciones, medios de comunicación y el público en general. Así, a partir de los resultados obtenidos, y descritos previamente, se generan 4 tipos de mapas: 1 mapa de valores máximos de aceleración, 1 mapa de valores máximos de velocidad, 3 mapas de aceleración espectral y 1 mapa de intensidades instrumentales.

3.1.1 Mapa de valores máximos de aceleración (PGAs).

La aceleración horizontal máxima en cada punto se representa mediante isolíneas en unidades de porcentaje g (donde g = aceleración debida a la fuerza de gravedad = 981 cm/s^2). El intervalo de las isolíneas puede variar mucho y se basa en el valor máximo registrado para cada evento.

Para eventos de moderados a grandes, el patrón de aceleración máxima del suelo suele ser bastante complicado, con una variabilidad elevada para distancias epicentrales de unos pocos kilómetros. Esto se atribuye a las diferencias geológicas a pequeña escala cerca de los sitios que pueden cambiar significativamente la amplitud de la aceleración a altas frecuencias y patrón de la forma de onda.

Los mapas de valores máximos de aceleración son una herramienta fundamental para el análisis de los posibles daños y efectos ocasionados por el terremoto. Así, cuanto más precisos y fiable sean, mejor será la estimación y efectos, pérdidas y daños consecuencia del seísmo.

La Figura 3 muestra un ejemplo de mapa de valores máximos de aceleración correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021, con epicentro al este de Pamplona. En él se observa que los valores de aceleración máxima son superiores al 2%g cerca del epicentro, y a unos 100 km del epicentro estos valores descienden por debajo del 0.1%g.

Peak Ground Acceleration Map
 POCRISC ShakeMap: NW LIZOÁIN-ARRIASGOITI.NA
 Oct 11, 2021 20:45:25 UTC M4.1 N42.81 W1.49 Depth: 0.0km
 ID:202110112045

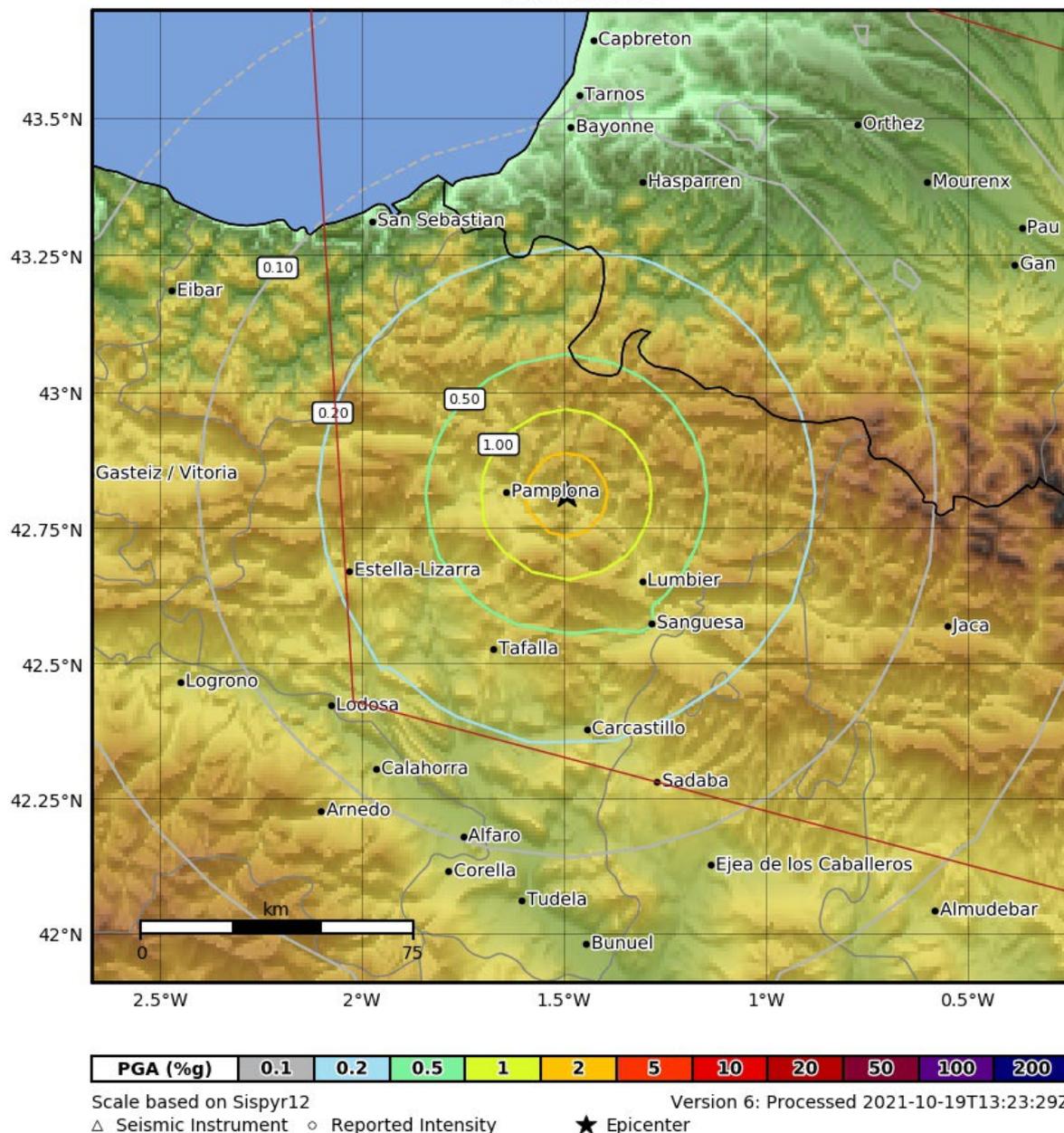


Figura 3. Mapa de los valores máximos de aceleración del suelo correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.

3.1.2 Mapa de valores máximos de velocidad (PGVs).

De igual manera que en el caos de los valores máximos de aceleración, los valores máximos de velocidad se representan mediante isolíneas, pero en este caso las unidades utilizadas son cm/s. Al igual que con los mapas de aceleración, las amplitudes de los componentes verticales se descartan por coherencia con las relaciones de regresión utilizadas para estimar los valores entre las estaciones sísmicas. Las diferencias entre los sitios de roca y suelo son

evidentes, pero el patrón general es normalmente más simple que el patrón de aceleración máxima.

Los mapas de valores máximos de velocidad, igual que los de aceleración, son una herramienta fundamental para el análisis de los posibles daños y efectos ocasionados por los terremotos. La diferencia fundamental entre ambos es que la velocidad máxima del suelo está más relacionada que la aceleración con daños severos y/o daños a estructuras flexibles.

La Figura 4 muestra un ejemplo de mapa de valores máximos de velocidad del suelo correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021, con epicentro al este de Pamplona. En él se observa que los valores de aceleración máxima son superiores a 2 cm/s cerca del epicentro, y a unos 100 km del epicentro estos valores descienden por debajo del 0.05 cm/s.

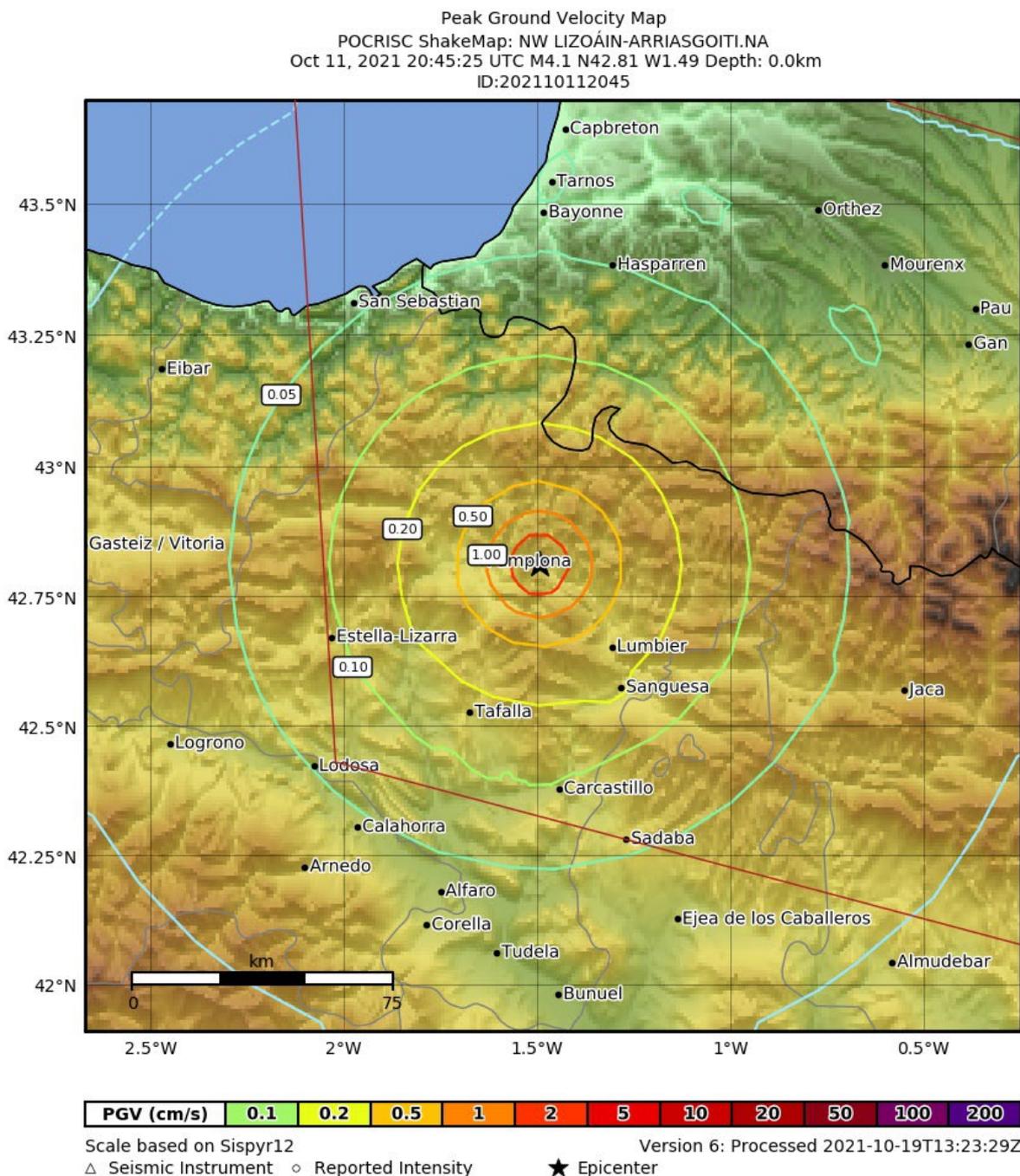


Figura 4. Mapa de los valores máximos de velocidad del suelo correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.

3.1.3 Mapas de aceleraciones espectrales.

Los mapas de aceleraciones espectrales, o espectros de respuesta, que se elaboran son 3, cada uno de ellos correspondiente a un período distinto: 3.0, 1.0 y 0.3 segundos. Estos espectros de respuesta representan la respuesta de un oscilador amortiguado de un solo grado de libertad, a los movimientos del suelo registrados. Esta representación de datos es útil para que los ingenieros determinen cómo reaccionará una estructura a los movimientos del suelo.

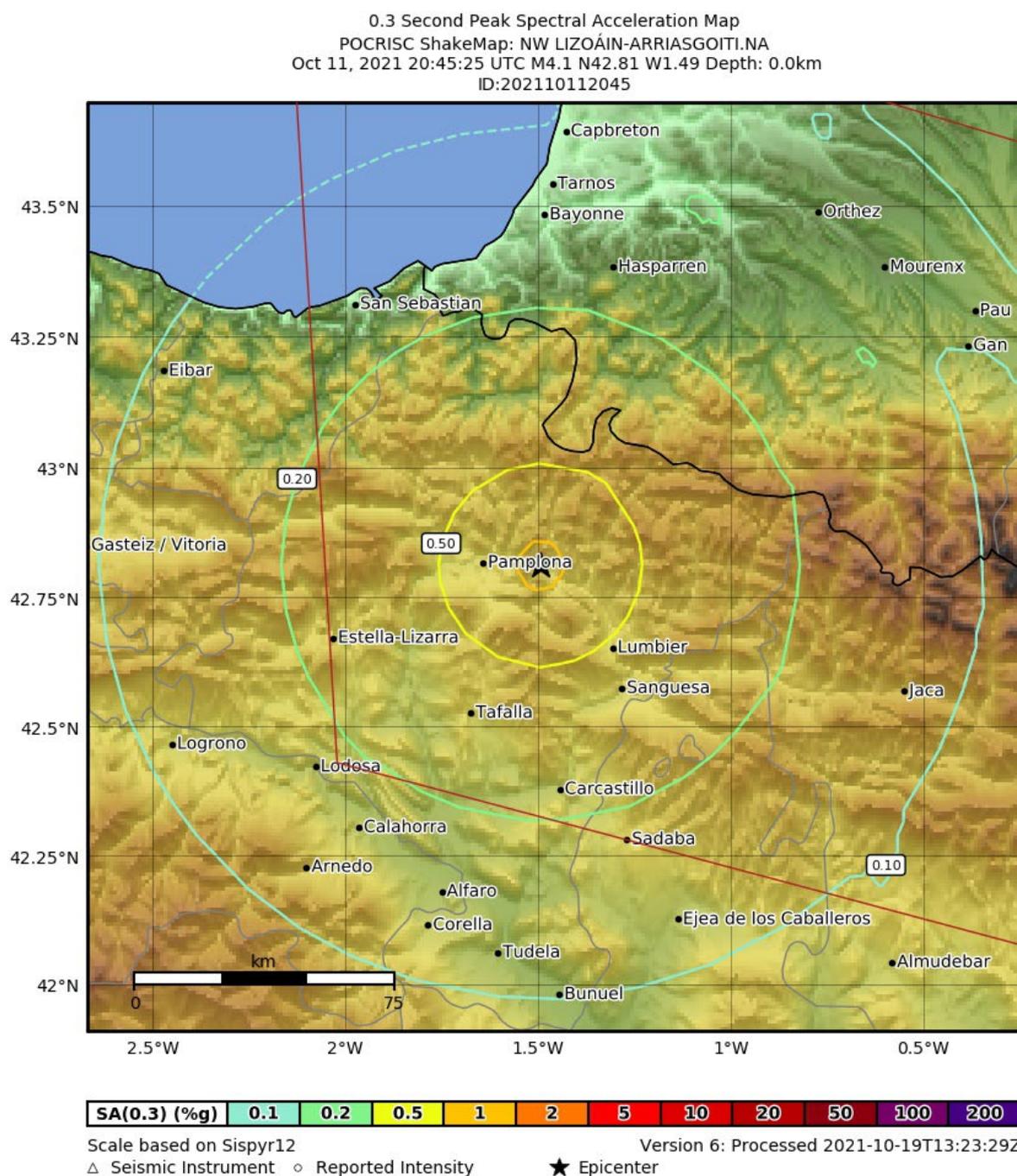


Figura 5. Mapa de los valores máximos de la aceleración espectral para un período de 0.3 segundos, correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021 con epicentro al este de Pamplona.

La Figura 5 muestra un ejemplo de mapa de valores máximos de la aceleración espectral para un período de 0.3 segundos, correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021, con epicentro al este de Pamplona.

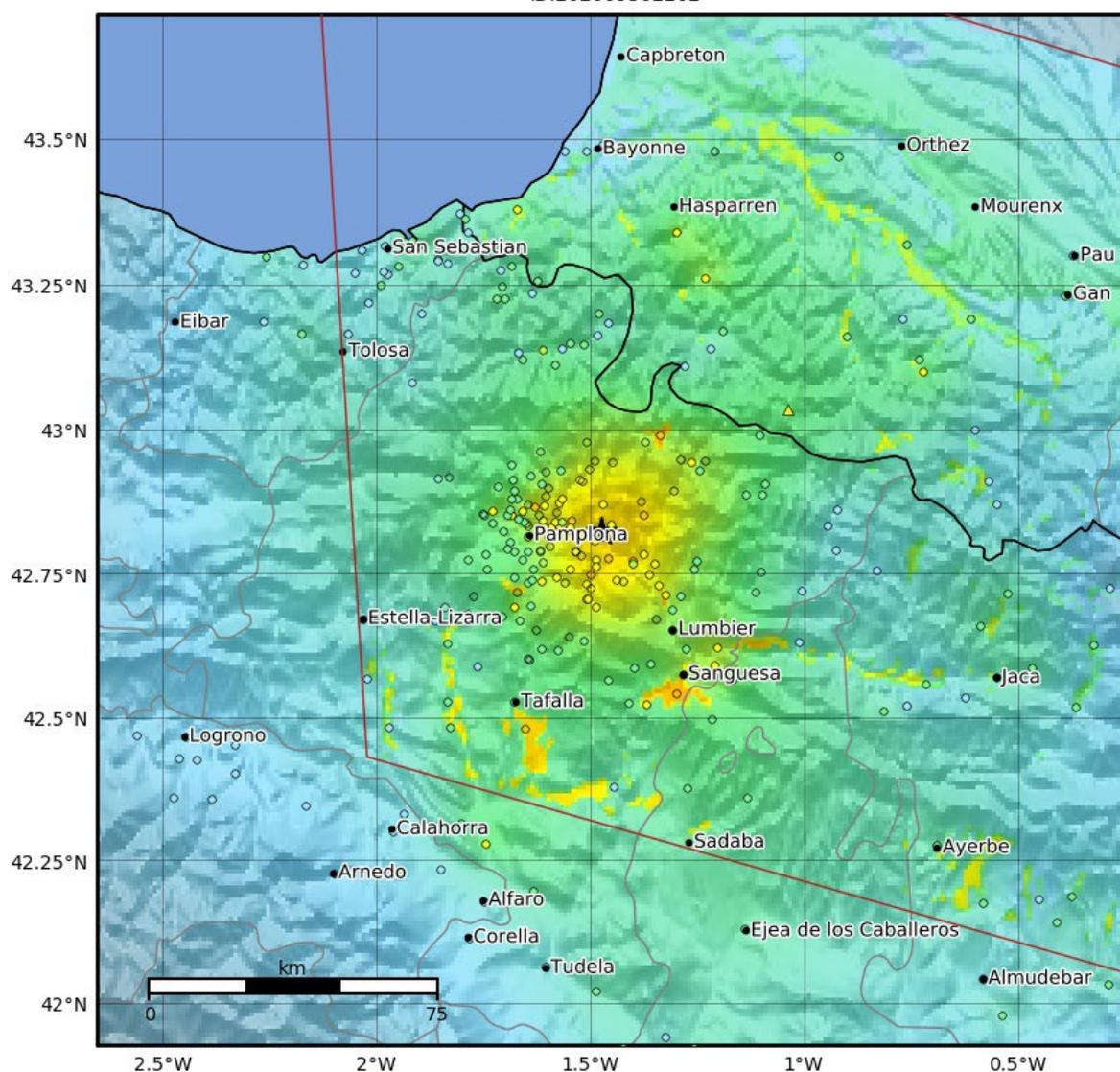
3.1.4 Mapa de intensidades.

Con la voluntad de simplificar y maximizar el flujo de información al público en general, se ha desarrollado un medio para generar mapas de intensidad estimada basados en registros instrumentales del movimiento del suelo; utilizando la escala de intensidad EMS-98. Esta intensidad instrumental se basa en una regresión combinada de la aceleración máxima y las amplitudes de velocidad frente a la intensidad observada. Para la zona POCRISC, utilizamos la ecuación predictiva de intensidad de Goula et al. (2008), basado en la fórmula de Sponheuer (1960) y las ecuaciones de conversión Souriau (2006) y Faccioli & Cauzzi (2006).

De la comparación con los mapas de intensidad observada, encontramos que una regresión basada en la velocidad máxima para la intensidad > VII y en la aceleración máxima para la intensidad <VII es la más adecuada. Esto es consistente con la noción de que las bajas intensidades están determinadas por elementos sensibles a la aceleración. El daño moderado, de intensidad VI-VII, ocurre típicamente en estructuras rígidas (muros de mampostería, chimeneas, etc.) que también son sensibles a los movimientos del suelo de alta frecuencia (aceleración). A medida que aumentan los niveles de daño, el daño también ocurre en estructuras flexibles, por lo que el daño es proporcional a la velocidad del suelo, no a la aceleración. Al relacionar los movimientos del suelo registrados con las intensidades, ahora podemos estimar las intensidades de los temblores a los pocos minutos del evento en función de los movimientos máximos registrados en las estaciones sísmicas. En el caso del proyecto POCRISC utilizamos las relaciones, entre intensidades instrumentales y valores máximos de aceleración y velocidad, obtenidas en el proyecto SISPYR, las cuales se representan en la leyenda de los mapas de intensidad generados.

La Figura 6 muestra un ejemplo de mapa de intensidades instrumentales correspondientes al terremoto de magnitud 4.1 ocurrido el día 11 de octubre de 2021, con epicentro al este de Pamplona. Al pie de mapa se representa la relación obtenida en el proyecto SISPYR para relacionar las intensidades instrumentales con los valores máximos de aceleración y velocidad del suelo. Asimismo, cabe destacar los siguientes elementos representados en el mapa: (i) el epicentro está representado mediante una estrella de color negro, (ii) las estaciones sísmicas se representan mediante triángulos y (iii) los puntos con intensidades macrosísmicas se representan mediante círculos.

Macroseismic Intensity Map
 POCRISC ShakeMap: NW LIZOÁIN-ARRIASGOITI.NA
 Sep 30, 2020 22:02:31 UTC M4.4 N42.82 W1.48 Depth: 5.0km
 ID:202009302202



SHAKING	Not felt	Weak	Very light	Light	Moderate	Strong	Very Strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	None	Very Light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.1	0.23	0.53	1.25	2.93	6.87	16.1	37.8	88.6	>208
PGV(cm/s)	<0.01	0.02	0.07	0.25	0.89	3.2	11.5	41.4	149	>534
INTENSITY	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based on Sispyr12

△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

★ Epicenter

Version 2: Processed 2020-10-05T13:00:26Z

Figura 6. Mapa de intensidades instrumentales correspondientes al terremoto de magnitud 4.4 ocurrido el día 30 de septiembre de 2020 con epicentro al este de Pamplona. Al pie de mapa se representa la relación obtenida en el proyecto SISPYR para relacionar las intensidades instrumentales con los valores máximos de aceleración y velocidad del suelo.

3.2 Difusión de los “shakemaps”

Tanto los datos utilizados para el cálculo de los mapas de movimiento del suelo, como los resultados de los cálculos y su representación en diferentes formatos se difunden a través de Internet a través de la página web del proyecto POCRISC (<https://pocrisc.eu/es>).

En la página web de inicio encontramos el mapa de intensidades macrosísmicas correspondiente al último terremoto registrado. Seleccionando esta imagen el navegador nos traslada a una nueva página (<https://pocrisc.eu/shakemap/index.php?lang=es>) donde por defecto se muestra, en formato tabla, la fecha, localización y magnitud de los últimos 15 terremotos para los que se han calculado los “shakemaps” (Figura 7), así como la fecha de la última actualización de cada uno de ellos.

Figura 7. Tabla publicada en la página web del proyecto POCRISC con la fecha, localización y magnitud de los 15 últimos terremotos para los que se han calculado “shakemaps” (fecha: 29/12/2021), así como la fecha de la última actualización de cada uno de ellos.

Mostrando registros del 1 al 15 de un total de 15 registros

ShakemapId	Fecha	Lat(°)	Lon(°)	Profundidad (km)	Mag	Región	Creado
202112231303	2021-12-23 13:03:47	42.83 N	1.1 W	5	3.0	SE SARRIÉS/SARTZE.NA	2021-12-23 18:39:03
202110112102	2021-10-11 21:02:56	42.84 N	1.49 W	5	3.1	NW LIZOÁIN-ARRIASGOITI.NA	2021-10-18 21:51:03
202110112045	2021-10-11 20:45:25	42.81 N	1.49 W	0	4.1	NW LIZOÁIN-ARRIASGOITI.NA	2021-10-19 15:24:04
202110110823	2021-10-11 08:23:15	42.52 N	1.43 E	3	3.6	Alt Urgell	2021-10-18 22:19:28
202110080943	2021-10-08 09:43:42	42.41 N	2.31 E	1	3.5	RIPOLLÉS.CA	2021-10-18 22:09:42
202105300339	2021-05-30 03:39:01	42.37 N	3.20 E	5	3.0	N EL PORT DE LA SELVA.GI	2021-05-31 14:41:18
202104250105	2021-04-25 01:05:11	42.70 N	0.14 E	5	3.1	NW BIELSA.HU	2021-04-25 07:40:21
202104240754	2021-04-24 07:54:18	43.05 N	0.48 W	5	3.0	NW LARUNS.FRA	2021-04-24 14:31:18
202104031508	2021-04-03 15:08:11	43.01 N	3.17 E	5	3.6	E PORT LA NOUVELLE.FRA	2021-04-08 16:16:56
202101161140	2021-01-16 11:40:41	41.85 N	2.99 E	0	3.4	N SANTA CRISTINA D ARO.GI	2021-01-16 17:15:21
202012200606	2020-12-20 06:06:32	43.04 N	0.73 E	5	2.9	S SAINT GAUDENS.FRA	2020-12-20 11:41:13
202012132012	2020-12-13 20:12:13	42.57 N	0.75 E	5	3.0	NE MONTANUY.HU	2020-12-14 01:47:42
202011230917	2020-11-23 09:17:37	42.93 N	0.19 E	5	3.1	NW LA MONGIE.FRA	2020-11-23 14:52:49
202010290630	2020-10-29 06:30:46	42.95 N	0.23 E	5	3.1	NE LA MONGIE.FRA	2020-10-29 07:37:59
202010091044	2020-10-09 10:44:53	42.86 N	1.45 W	5	3.2	WARCE/ARTZINA	2020-10-09 12:51:27

Anterior 1 Siguiente

Adicionalmente, esta página web pone a disposición de los usuarios un formulario que permite realizar búsquedas de terremotos según los siguientes parámetros:

- Fecha inicial y final.
- Latitud mínima y máxima.
- Longitud mínima y máxima.
- Magnitud mínima y máxima.

Para cada uno de los terremotos de la tabla anterior el sistema muestra la información de los “shakemaps” organizada en 5 pestañas:

- Intensidad: muestra el mapa de intensidades instrumentales.
- PGA: muestra el mapa de valores máximos de aceleración del suelo.
- PGV: muestra el mapa de valores máximos de velocidad del suelo.
- PSA: muestra los mapas de las aceleraciones espectrales para períodos de 3.0, 1.0 y 0.3 segundos.
- Descarga: lista el conjunto de ficheros de datos y representaciones disponibles para su descarga, que son:

Intensidad

- Mapa de intensidad macrosísmica. ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos de intensidad macrosísmica. ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la intensidad macrosísmica. ([PNG](#))

Aceleración pico

- Mapa de aceleración pico. ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos de aceleración pico del mayor de los dos componentes horizontales (%g). ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la aceleración pico (%g). ([PNG](#))

Velocidad pico

- Mapa de velocidad pico. ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos de velocidad pico del mayor de los dos componentes horizontales (cm/s). ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la velocidad pico (cm/s). ([PNG](#))

Aceleración espectral pico

- Mapa de la SA 0.3 segundos (%g) ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos del mayor de los dos componentes horizontales de la aceleración espectral máxima a 3 segundos con 5% amortiguamiento (%g). ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la aceleración espectral máxima a 0.3 segundos (%g). ([PNG](#))
- Mapa de la SA 1.0 segundos (%g) ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos del mayor de los dos componentes horizontales de la aceleración espectral máxima a 1.0 segundos con 5% amortiguamiento (%g). ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la aceleración espectral máxima a 1.0 segundos (%g). ([PNG](#))
- Mapa de la SA 3.0 segundos (%g) ([JPG](#)) ([PDF](#))
- Contornos del mayor de los dos componentes horizontales de la aceleración espectral máxima a 3.0 segundos con 5% amortiguamiento (%g). ([JSON](#))
- Gráfico de la regresión de la aceleración espectral máxima a 3.0 segundos (%g). ([PNG](#))

Otros

- Archivo HDF con todos los resultados del shakepap. ([HDF](#))
- Archivo XML con todos los resultados del shakemap. ([XML](#))
- Parámetros del procesado del shakemap e información de resumen del mapa. ([JSON](#))
- Curvas de atenuación nominal. ([JSON](#))
- Lista de datos de entrada de shakemap. ([JSON](#))
- Malla XML de incertidumbres. ([XML](#))

4 BIBLIOGRAFÍA

CEN (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, EN 1998-1:2004.

Faccioli, E., and Cauzzi, C. (2006). Macroseismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3–8 September 2006, Paper no. 569.

Goula X., Dominique P., Colas B., Jara J.A., Roca A., Winter T. (2008). Seismic rapid response system in the Eastern Pyrenees. Proc. of the 14th WCEE, Beijing, China.

Grünthal, G. (Ed.)(1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ; 15), Luxembourg : Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 99 p. DOI :<https://doi.org/10.2312/EMS-98.full.en>

Souriau, A. (2006). Quantifying felt events: A joint analysis of intensities, accelerations and dominant frequencies. *Journal of Seismology*, 10, 23–38.

Sponheuer, W. (1960). Methoden zur Herdtirefenbestimmung in der Makroseismic, *Freiberger Forschungshefte*, C88, 117 pp.

Tapia, M (2006). Desarrollo y aplicación de métodos avanzados para la caracterización de la respuesta sísmica del suelo a escala regional y local. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 355 pp.

Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner, and C.B. Worden (1999a). TriNet “ShakeMaps”: Rapid Generation of Peak Ground-motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, *Earthquake Spectra* 15(3), 537-556.

Worden, C.B., E. M. Thompson, M. Hearne, and D.J. Wald (2020). ShakeMap Manual Online: technical manual, user’s guide, and software guide, U. S. Geological Survey. <http://usgs.github.io/shakemap/>. DOI: <https://doi.org/10.5066/F7D21VPQ>.

Anexo 1. Fichero de configuración del módulo *trigger*

El fichero de configuración del módulo *trigger* es un fichero *xml* que incluye los parámetros siguientes:

triggermodule	
ftp (información del servidor <i>ftp</i>)	
host	Dirección IP del servidor <i>ftp</i>
username	Nombre de usuario para acceder a la carpeta <i>home</i> del servidor <i>ftp</i> con permisos de lectura y escritura
password	Contraseña correspondiente al usuario anterior
tc	Intervalo de tiempo en minutos, para revisar la existencia de un nuevo fichero en el servidor <i>ftp</i>
tpurge	Intervalo de tiempo entre la operación de purga de la carpeta <i><data></i> del servidor <i>ftp</i> , en horas.
trigger (se permite más de un <i>trigger</i>)	
name	Trigger ID. Debe ser único
latmin	Latitud mínima (en grados decimales, negativo en el hemisferio sur)
latmax	Latitud máxima (en grados decimales, negativo en el hemisferio sur)
longmin	Longitud mínima (en grados decimales, negativos en el hemisferio oeste)
longmax	Longitud máxima (en grados decimales, negativos en el hemisferio oeste)
depthmin	Profundidad mínima en km, positivos hacia abajo
depthmax	Profundidad máxima en km, positiva hacia abajo
magmin	Magnitud mínima
magmax	Magnitud máxima
shape	(Opcional) Dirección absoluta, incluyendo el nombre del fichero con extensión <i>shp</i> que define la región de <i>trigger</i>
shake (se permite más de un <i>shake</i>)	
name	Shake ID
delay	Demora en minutos para generar el <i>Shakemap</i> una vez se ha detectado el evento.

Ejemplo:

```
<triggermodule>
<ftp host='172.18.118.25' username='user' password='password' tc='1'
tpurge='24' />
<trigger name='zone1' latmin='40.0000' latmax='43.0000' longmin='-2.0000'
longmax='3.0000' depthmin='0.000' depthmax='25.0000' magmin='3.5' magmax='5.0'
shape='C:\Sispvr\Shakemap\Shape\sispvr.shp' >
```

```
    <shake name='shake1' delay='0' />
    <shake name='shake2' delay='30' />
</trigger>
```

```
<trigger name='zone2' latmin='41.0000' latmax='42.0000' longmin='-1.0000'
longmax='2.0000' depthmin='0.000' depthmax='25.0000' magmin='5.0'
magmax='8.0' />
    <shake name='shake1' delay='5' />
</trigger>
</triggermodule>
```

Anexo 2. Fichero de configuración del módulo **DARACOM**

El fichero de configuración del módulo *DARACOM* es un fichero *xml* que incluye los parámetros siguientes:

configDaracom	
FDSNserver	
name	nombre del servidor
network name	nombre de la red
station name	nombre de la estación
channel location	localización del canal
channel code	código del canal
data	
velP	velocidad de la onda P en m/s
tinterval	intervalo de tiempo del que se desean obtener los datos en segundos
tprevi	tiempo previo al sismo desde el que se quiere empezar a obtener los datos
macroServers	
server name	nombre del servidor web
server address	dirección del servidor web
server token	<i>token</i> del servidor web (solo en <i>tipus='1'</i>)
server tipus	tipo de petición web para obtener los datos del servidor. Se debe especificar '1' en el caso de usar un formulario web tipo el del BCSF. El tipo '2' es para servidores web que siguen el patrón del servidor macro del ICGC.

Ejemplo:

```
<configDaracom>
<FDSNserver name= 'ICGC'>
  <network name = 'CA' >
    <station name= 'CAVN'>
      <channel location= "1" code= "HHE" />
      <channel location= "1" code= "HHZ" />
    </station>
  </network>
</FDSNserver>
<data>
  <velP value= '5.1' />
  <tinterval value= '180' />
  <tprevi value= '10' />
</data>

<macroServers>
<server name='franceseseisme' address= 'http://www.franceseseisme.fr/ws-macro.php?'
token='AaBbCcDd1234' tipus='1' />
```

```
<server name='icgc' address='http://172.18.158.31/webeventsmacro/l1listat/export'  
tipus='2' />  
</macroServers>  
</configDaracom>
```

Anexo 3. Modificaciones en la leyenda de *ShakemapV4*

La relación de colores en la leyenda de los mapas que viene definida en la versión 4 de *Shakemap* se debe modificar ligeramente para adaptarse a la leyenda establecida para este proyecto basada en la usada por *BCSF*.

En primer lugar, se modifican los colores, y para ello se debe modificar el código del fichero 'palette.py' ubicado en la carpeta:

```
/home/ggpadmin/miniconda/pkgs/impactutils-0.8.15-py_0/site-packages/impactutils/colors
```

En este fichero se define la paleta de colores correspondiente a la etiqueta 'MMI', entre otras, y es esta la que se debe modificar. Los nuevos parámetros que debe tomar esta paleta son los siguientes:

```
MMI = {'z0': np.arange(0, 10),
      'z1': np.arange(1, 11),
      'rgb0': [(180, 180, 180),
              (180, 180, 180),
              (160, 230, 255),
              (122, 244, 147),
              (255, 255, 0),
              (255, 145, 0),
              (255, 0, 0),
              (200, 0, 0),
              (145, 0, 0),
              (110, 0, 140)],
      'rgb1': [(180, 180, 180),
              (160, 230, 255),
              (122, 244, 147),
              (255, 255, 0),
              (255, 145, 0),
              (255, 0, 0),
              (200, 0, 0),
              (145, 0, 0),
              (110, 0, 140),
              (0, 0, 120)],
      'nan_color': (0, 0, 0, 0),
      'resolution': 0.1}
```

- Tot el tema de la llegenda:
 - o Colors
 - o Noms llegenda
 - o Intervals
- Afegir atribut a hdf

Anexo 4. Utilización de la vs30

Para aplicar las amplificaciones de suelo en el procesamiento de los datos se ha usado el parámetro que ShakemapV4 utiliza para definir la vs30. Se ha procedido del siguiente modo:

- Se ha creado un fichero con extensión *grd* en el que se define un valor según el tipo de suelo.
- Este fichero se ha usado como fichero de valores vs30 en la ejecución del Shakemap. Por este motivo, las GMPE (tapia 2006, Akkar and Bommer 2007 y Akkar and Bommer 2010) y la IPE (Isard 2008) usan el valor de vs30 como amplificación.
- Las amplificaciones según el tipo de suelo son las siguientes:

Tipo de suelo	Código numérico	Letra txt	Ln factor PGA	Ln factor PGV	Ln factor PSA0.3	Ln factor PSA1.0	Ln factor PSA3.0	Factor MMI
A	6 i/o 7	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	5	B	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50
B'	4	BP	0,18	0,53	0,36	0,52	0,52	0,50
C	3	C	0,41	0,59	0,59	0,59	0,59	1,00
D	2	D	0,47	0,64	0,65	0,65	0,65	1,00
E	1	E	0,59	0,34	0,36	0,36	0,36	1,50
Aigua	9	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- El fichero contiene el valor especificado en la columna 'código numérico', y la amplificación se aplica según la magnitud.
- En los casos en el que el propio programa define un suelo como roca, se le aplica la amplificación tipo A. En el caso de tipo suelo, se aplica la amplificación del tipo D.
- La ubicación, se define en el fichero de configuración *model.conf*:
`vs30file = <INSTALL_DIR>/data/vs30/sispyr_ec8.grd`