

Monitorización multi-paramétrica de la Falla de Alhama de Murcia

Multi-parametric monitoring of the Alhama de Murcia Fault

J. J. Martínez-Díaz^{1,2}, R. Pérez-López³, A. Staller⁴ y equipo InterGeoSima*

1 Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid, jmdiaz@ucm.es

2 IGEO: Instituto de Geociencias (UCM, CSIC)

3 Área de Peligrosidad y Riesgos Geológicos. IGME, Instituto Geológico y Minero de España, C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003, España,

4 Dpto. de Ing. Topográfica y Cartografía, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Univ. Politécnica de Madrid. 28031 Madrid

Resumen: La obtención de datos en tiempo real relacionados con la evolución en el espacio y en el tiempo de parámetros geológicos, geofísicos y geoquímicos en la cercanía de fallas activas constituye una oportunidad única de observar todas las partes del ciclo sísmico de una falla y es crucial para avanzar en el entendimiento de su comportamiento a corto y medio plazo. En todo el mundo se están desarrollando cada vez más *Near Fault Observatories* (NFO) que permitirán la implementación y el desarrollo de metodologías para el seguimiento de la evolución en tiempo real de las fases pre-, sin- y post-sísmicas de una falla activa. En este trabajo se presenta la estrategia de monitorización multi-paramétrica (datos sísmicos, geofísicos, geodésicos, geoquímicos, etc...) diseñada para la falla de Alhama de Murcia (Cordillera Bética Oriental) en el marco del proyecto "InterGeoSima" que pretende ser la semilla para el desarrollo de un futuro NFO adaptado a las especificidades de una falla activa lenta, y que además permita seguir extrayendo datos geológicos, estructurales y geomorfológicos para avanzar en el conocimiento de esta fuente sísmica.

Palabras clave: falla de Alhama de Murcia, active fault, cordillera Bética, monitorización sísmica, observatorio de falla activa.

Abstract: *Real-time data related to the spatial and temporal evolution of geological, geophysical and geochemical parameters in the vicinity of active faults is a unique opportunity to observe the and quantify the seismic cycle of faults and it is crucial to improve the understanding of seismic behavior in the short and medium term. The number of Near Fault Observatories (NFO) is increasing in Europe and they will enable the scientific community the implementation and development of methodologies for the real-time monitoring of pre-, syn- and post-seismic phases of active faults. In this paper we present the strategy of multi-parametric monitoring (seismic, geophysical, geodetic, geochemical data) designed for the Alhama de Murcia Fault (Betic Cordillera) within the "INTERGEOSSIMA" research project, with the aim to be the seed for the development of a future NFO adapted to the specificities of an slow active fault. This strategy will also encourage the acquisition of new, structural and geomorphological data to improve the knowledge about this seismic source.*

Key words: *Alhama de Murcia Fault, Betic Cordillera, Near Fault Observatory NFO, active fault.*

INTRODUCCIÓN

La obtención de datos en tiempo real relacionados con la evolución en el espacio y en el tiempo de parámetros geológicos, geofísicos y geoquímicos en la cercanía de fallas activas constituye una oportunidad única de observar todas las partes del ciclo sísmico de una falla y es crucial para avanzar en el entendimiento de su comportamiento a corto y medio plazo. En todo el mundo se están desarrollando cada vez más *Near Fault Observatories* (NFO) (Chiaraluce et al. 2016) que están permitiendo y mejorarán la implementación y el desarrollo de metodologías para el seguimiento de la

evolución en tiempo real de las fases pre-, sin- y post-sísmicas de una falla activa con el fin de mejorar a medio y largo plazo en la gestión del riesgo sísmico.

En este trabajo se presenta la estrategia de monitorización multi-paramétrica que se ha comenzado a implantar en la Falla de Alhama de Murcia a través del proyecto INTERGEOSSIMA.

El terremoto destructivo de Lorca de 2011 (Mw 5.2) fue interpretado como un terremoto ocurrido en la zona inter-segmento que separa los segmentos Lorca-Totana al NE y Goñar Lorca al SW. Al igual que la serie de

*Equipo Intergeosima: J. Alonso-Henar (UCM); J. A. Álvarez-Gómez (UCM); E. Azcue (IGN); J. Bach (UAB); M. Béjar (IGME); K. Berryman (GNS-NZ); C. Canora (UCM); J. V. Cantavella (IGN); R. Capote (UCM); R. Carbonell (ICTJA); E. Carreño (IGN); J. Crespo (ICTJA); S. Cuezva (CSIC); J. García Mayordomo (IGME); J. L. Giner-Robles (UAM); P. Gonzalo (IGN); J.M. Insua-Arévalo (UCM); D. Jiménez-Molina (UCM); G. Khazaradze (UB); M. J. Jurado (ICTJA); J.J. Ledo (UB); J. Lopez (IGME); A. Marcuello (UB); D. Martí (ICTJA); A. Martí (UB); S. Martín Velázquez (URJ); B. del Moral (IGME); J. M. Moratalla (UCM); J.A. Peña (UGR); P. Queralt (UB); E. Rodríguez-Escudero (UAM); M.A. Rodríguez-Pascua (IGME); M. J. Rodríguez-Peces (UCM); S. Sanchez Moral (CSIC); J.A. Sánchez Sobrino (IGN); M. De Sousa (IST-UL); T. Teixido (UGR); M. Tsige (UCM); M. Valdés (IGN); P. Villamor (GNS-NZ).

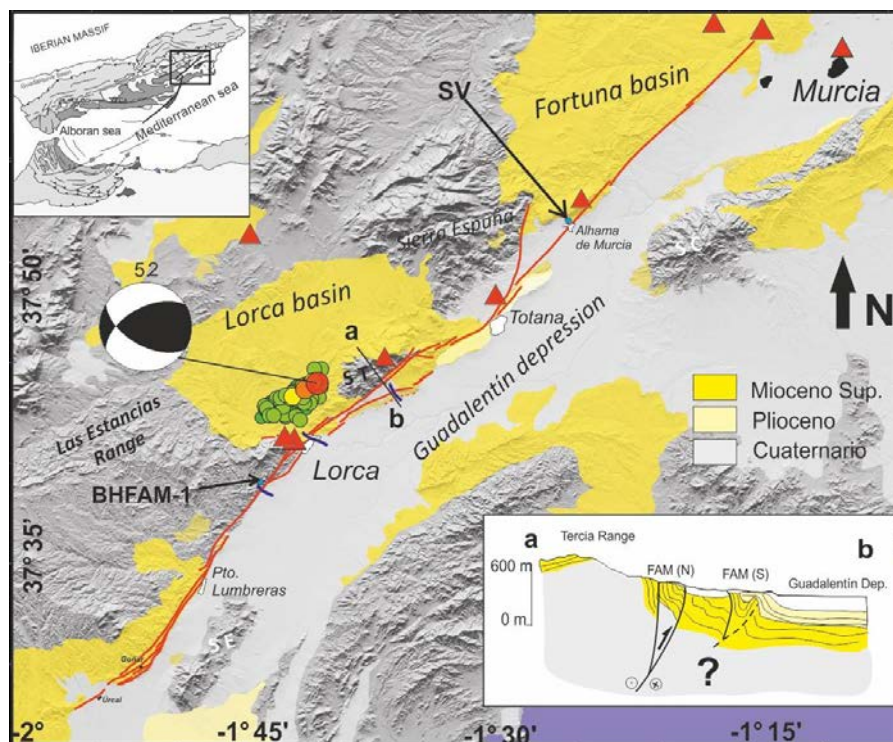


FIGURA 1. Mapa de la traza de la FAM. Los triángulos representan la sismicidad histórica de Intensidad >VI. Se proyectan además la serie de réplicas y mecanismo focal del terremoto de 2011 en Lorca (Mw 5.2). Datos del Instituto Geográfico Nacional y López-Comino et al. (2012). Se muestra un corte geológico esquemático de la transversal de La Hoya para mostrar algunos de las incógnitas estructurales que se pretenden resolver. Se marca además la posición de la Sima del Vapor (SV) y del sondeo FAM-1 realizado perforando la zona de falla en la zona de La Torrecilla (BHFAM-1). Las líneas azules marcan las zonas en las que se han realizado la prospección geofísica de la estructura en profundidad.

1977 se caracterizó por un evento precursor de magnitud inferior, pero ya dañino. Además, se caracterizó por una clara directividad en la propagación de la ruptura que indujo una aceleración en la ciudad de Lorca y unos daños por encima de los esperables para esa magnitud (López-Comino et al 2012). Es por tanto evidente la importancia que tiene el entendimiento del comportamiento sismogénico tanto de los tramos de la falla con continuidad estructural (segmentos estructurales) como de las zonas inter-segmento, y más cuando la mayor parte de las grandes poblaciones se sitúan encima de la falla en regiones de cambio de segmento. Las zonas inter-segmento (zonas de tránsito de un segmento a otro de una falla activa) son en las que la falla cambia de comportamiento y/o geometría y por ello suelen ser regiones en las que, los relieves asociados a su actividad cambian de morfología y dimensiones. Además cuando las fallas tienen componente de movimiento vertical, suelen limitar depresiones cuaternarias. Todo ello hace que los cursos fluviales mayores se implanten en dichas zonas entre segmentos y se abran en los valles y ello favorece la formación de asentamientos humanos desde época prehistórica, algunos de ellos ahora ciudades. Esto es especialmente claro en el Valle del Río Guadaleñín donde las mayores poblaciones: Lorca, Totana, Alhama de Murcia, se localizan encima de la traza de la FAM, y a orillas de cauces fluviales que se abren paso al valle a través de zonas donde dos segmentos de la falla se articulan. El terremoto de Lorca de 2011 ocurrió en una

de estas zonas y nos ha enseñado que para entender el riesgo sísmico a que está sometida una población cercana a una gran falla activa no es solo importante conocer el terremoto máximo posible y su intervalo medio de recurrencia, sino también lo es conocer la posición precisa de las trazas activas de la falla en relación, los modos de propagación de la ruptura a lo largo del plano y el mecanismo focal. Estos factores pueden hacer que terremotos de pequeña magnitud resulten catastróficos.

Asumiendo la hipótesis de que terremotos como el de Lorca de 2011 pueda ser un terremoto “típico” de las zonas inter-segmento de la FAM y teniendo en cuenta que terremotos de esa magnitud a priori han de ser mucho más frecuentes que los terremotos máximos ocasionados por la ruptura de segmentos completos, se nos plantean unas cuestiones que deberían ser contestadas para entender el comportamiento de la FAM y con ello mejorar las estimaciones de riesgo sísmico: ¿cuál es la tipología de los terremotos máximos que pueden ocurrir en esas zonas inter-segmento? ¿Es el terremoto de Lorca de 2011 de magnitud Mw 5.2 el terremoto máximo y/o característico de esa zona inter-segmento? o ¿pueden romper varios segmentos a un tiempo atravesando la zona inter-segmento y generando magnitudes próximas a 7.0 tan cerca de las ciudades? Además, la sismicidad histórica indica que la mayor parte de las series sísmicas dañinas en la zona son secuencias del tipo

precursor - principal (o principales) – réplicas ¿puede considerarse este modo de comportamiento como el típico o característico en estas zonas? Responder a estas preguntas, entre otras, nos lleva al asunto crucial de si ¿es posible monitorizar con parámetros geológicos, geodésicos, geoquímicos y geofísicos estas zonas de falla para entender y vigilar sus comportamientos a corto y medio plazo?

ESTRATEGIA DE MONITORIZACIÓN

Para poder llegar a contestar estas preguntas y entender en alguna medida el comportamiento en una falla activa lenta como las que caracterizan la tectónica activa de la península Ibérica, las dificultades aumentan debido a la escasez de datos de recurrencia de los grandes terremotos. Pero si existe alguna falla en esta zona en la que el número y calidad de los datos paleosísmicos, así como el detalle de su estructuración tectónica, está creciendo de forma importante en los últimos años, esa es la FAM (Ver referencias en Martínez-Díaz et al., 2012). Esto nos ha llevado a planificar e iniciar una estrategia de monitorización que descansa, no solo en la obtención de datos a corto plazo.

La estrategia planteada se basa en el objetivo mayor de identificar y comprender la estructura y el comportamiento sismogénico de la FAM mediante el estudio de su actividad a largo, a medio y a corto plazo. El largo plazo se estudia mediante el análisis de la reología de la zona de cizalla, y la geomorfología tectónica. El medio plazo se analiza a partir de las evidencias de actividad paleosísmica y deformación de la red fluvial. El corto plazo que abarcaría los últimos cientos de años, incluyendo la tectónica activa, se analiza con datos de deformaciones geodésicas (datos GNSS), datos de arqueo-sismología, datos de sismicidad histórica e instrumental y el estudio de los posibles precursores relacionados con la emisión de gas y cambio de temperatura en cavidades conectadas con la falla. Para llevar a cabo este análisis se están llevando a cabo las siguientes tareas divididas en una fase -1) de parametrización del comportamiento y potencial sismogénico y otra -2) de monitorización:

1) Análisis del potencial sísmico de la FAM: -1a). Caracterización paleosísmica de los segmentos Goñar-Lorca y Lorca-Totana y de las zonas inter-segmento de Lorca y Alhama; -1b). Determinación de la estructura 3D de la FAM mediante uso de datos de topografía LIDAR, tomografía eléctrica, perfiles de sísmica de reflexión y un perfil de magnetotelúrica. -1c). Análisis reológico de la roca de falla de la Falla de Alhama de Murcia (FAM) mediante, por una parte el estudio microtectónico de la fábrica de muestras en superficie de *fault gouges* a lo largo de la FAM. Y, por otra parte, la realización de un sondeo de exploración cortando la zona de cizalla con mayor grado de exhumación.

-2) Monitorización y vigilancia de la FAM: -2a: Medida de deformaciones corticales mediante datos GNSS; -2b: Monitoreo sísmico mediante red sísmica local de banda ancha con el fin de determinar la posición y tasa de la sismicidad y relacionarla con la estructura de la falla. -2c: Monitoreo de la microsismicidad dentro de la zona de falla mediante instalación de sismómetro en fondo de sondeo; -2d: Monitoreo Termo-gaseoso de la Sima del Vapor (junto a Alhama de Murcia) mediante colocación de estaciones de medida de tipo logger para diferentes gases (CO₂, O₃, H₂, Rn) y de temperatura (resolución 0,01°C), a distintas profundidades.

RESULTADOS PRELIMINARES

Hasta el momento se han realizado las primeras campañas de prospección geofísica de la estructura en profundidad de la FAM (Fig. 1): 4 perfiles sísmicos de reflexión somera cortando la falla en la zona de La Torrecilla, Lorca y La Hoya, 5 perfiles de tomografía sísmica en las mismas zonas y un perfil de prospección magnetotelúrica en la zona de La Torrecilla. Los datos están en proceso de interpretación (ver Martí et al. En este volumen).

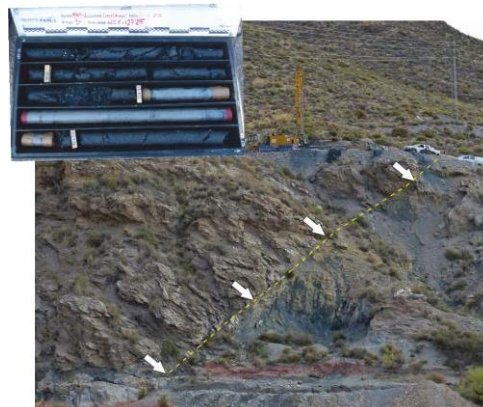


FIGURA 2. Foto de máquina de perforación del sondeo FAM-1. Las flechas marcan el contacto entre protolito y fault gouge. A la izquierda detalle de una de las cajas de testigos extraídos.

Se ha perforado el sondeo FAM-1 de 174 m (Fig. 2) en la zona de La Torrecilla, donde la deformación de la FAM se concentra una única banda principal (ver Martínez-Díaz et al. en este volumen) y blog del sondeo <https://proyectointergeo.wordpress.com/> La cartografía y el registro de las trincheras realizadas para definir la prognosis del sondeo, y la información de éste han permitido determinar la estructura 3d de la zona de falla y se ha podido extraer más de 100 m de roca de falla inalterada de muy alta calidad con el fin de ser utilizadas en los análisis mineralógicos, microtectónicos y geomecánicos. Así mismo se ha perforado un sondeo paralelo de 30 m de profundidad específico para la instalación de un sismómetro en el fondo del sondeo, junto con un segundo sensor en la cabeza permitirán detectar una señal libre de ruido y

capaz de monitorizar la microsismicidad asociada a la zona de falla.

Se ha implementado una red de puntos de medidas geodésicas (Fig.3). La red consta de un total de 8 estaciones GNSS, 7 estaciones de campaña y una estación permanente (estación ENMD) distribuidas lo más homogéneamente posible a lo largo de la zona de estudio, complementando las redes de campaña y permanentes ya existentes en la zona. Para el diseño espacial de la red se ha tenido en cuenta la cartografía de las fallas activas de la zona. Las estaciones proyectadas densifican la red CuaTeNeo (Echeverría et al., 2013) existente en la zona (círculos rojos en la Fig. 3), cubriendo principalmente los segmentos Lorca-Totana, Totana-Alhama de la Falla de Alhama, y la falla de Carrascoy. Además de los nuevos puntos en la monitorización se están realizando observaciones en la red REGENTE del IGN con el fin de tener una mayor densidad de datos útiles en caso de deformaciones cósmicas importantes.



FIGURA 3. Localización de las nuevas estaciones de monitoreo de la Falla de Alhama (círculos rojos), estaciones de campaña de la red CuaTeNeo ya existente en la zona (círculos azules; velocidades de Echeverría et al. (2013), referidas a Europa estable) y estaciones GNSS permanentes de otras redes (triángulos negros). Abajo detalle de dos de los puntos creados, uno en roca (Carrascoy) y otro en el valle. Detalle del clavo geodésico utilizado (25 cm de longitud).

Por otra parte, se ha instrumentado la Sima del Vapor, localizada junto al plano de falla de la FAM a la altura de Alhama de Murcia, que aprovecha para

desarrollarse la propia zona de falla y fallas secundarias de la principal lo que indica que es probable la conectividad de la cavidad con la estructura de la falla en profundidad. Para ello se ha realizado: -1) Monitorización térmica: análisis de la temperatura a -80m; -2) Monitorización CO₂ -3) Monitorización radón: se ha introducido un medidor Canary PRO, mostrando valores en modo long range superiores a 10.000 Bq/m³. También se realizarán medidas en superficie. Así mismo se está muestreando aire del interior de la cavidad para determinar el origen del CO₂ y del CH₄ en su interior, establecer el equilibrio con la atmósfera exterior, y determinar los % de CO₂ de forma exacta para la calibración con los aparatos introducidos.



FIGURA 3. Detalle de sensores instalados en Sima del Vapor. Sensor de temperatura HOBO de dos canales (Temp. en roca y Temp ambiente) y sensor de CO₂ de tipo SENS AIR al 1% con 30 ppm de resolución. Colocados a -30m, registran un dato cada 20 minutos

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto proyecto: CGL2013-47412. Agradecemos al Ayuntamiento de Lorca por las facilidades prestadas así como a la empresa DINAMO Instalaciones.

REFERENCIAS

- Chiaraluce, L y EPOS NFO Team (2016): Near Fault Observatories (NFO) services and integration plan for European Plate Observing System (EPOS) Implementation Phase. *Geophysical Research Abstracts*, 18: EGU2016-1287.
- Echeverría, A., Khazaradze, G., Asensio, E., Gárate, J., Martín Dávila, J. y Suriñach, E., (2013): Crustal deformation in eastern Betics from CuaTeNeo GPS network. *Tectonophysics*, 608: 600–612.
- Lopez-Comino, J.A., Mancilla, F., Morales J. y Stich, D. (2012): Rupture directivity of the 2011, Mw 5.2 Lorca earthquake (Spain). *Geophysical Research Letters* 39, L03301.
- Martínez-Díaz, J.J., Masana, E., y Ortuño, M. (2012): Active tectonics of the Alhama de Murcia fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Iberian Geology*, 38: 253–270.