

Sistema de alerta sísmica temprana en la región Ibero-mogrebí

Breve descripción

Un **terremoto** es una sacudida brusca del terreno causado por la liberación de energía procedente del interior de la Tierra. Es un fenómeno natural que ocurre de repente, sin avisar. Además, pueden tener un gran potencial destructor y causar considerables pérdidas, tanto humanas como materiales. Actualmente, no es posible predecir dónde y cuándo va a ocurrir un terremoto. Por tanto, la **prevención** es la mejor arma para mitigar los daños que los terremotos pueden ocasionar, y una de las herramientas más eficaces en este ámbito son los **Sistemas de Alerta Sísmica Temprana (SAST)**, cuya efectividad ha sido demostrada durante terremotos como el de Tōhoku ($M_w 9.0$) en Japón en 2011. Los SAST permiten la vigilancia sísmica en tiempo real y la emisión de alertas ante la ocurrencia de terremotos potencialmente dañinos para mitigar sus efectos y proteger tanto infraestructuras como a la población local. Se basan en que, en los primeros segundos de la onda P (la primera generada por el terremoto y que viaja a mayor velocidad), ya hay suficiente información para calcular su tamaño y capacidad destructiva, lo que permite emitir una alerta antes de que lleguen las ondas más destructivas (las ondas S) a los emplazamientos a proteger. Un aspecto clave de los SAST es el **lead time**, que representa el tiempo disponible desde que se emite la alerta en un emplazamiento hasta la llegada de las ondas destructivas, que varía entre segundos y algunos minutos, y es clave para implementar acciones preventivas (Fig. 1). Por ejemplo, con hasta 5 s se pueden tomar medidas de autoprotección, con 10 s cortar suministros de gas y electricidad, y con más tiempo reducir la velocidad de trenes o detener procesos industriales. Por tanto, un SAST no evitará los efectos de un terremoto, pero permite mitigarlos y anticiparse tomando medidas de prevención.



Figura 1: Rango de tiempos de alerta de un SAST (modificado de Conte, 2013)

¿Cómo funciona?

La hipótesis básica que utiliza un SAST es que los primeros segundos del registro de la onda P, la primera onda generada por el terremoto, ya hay información suficiente para poder localizarlo y determinar su tamaño. Esta es la principal diferencia con los sistemas clásicos, que esperan a disponer del registro completo del terremoto para calcular su magnitud, y por lo tanto de su capacidad destructora. Si el registro del terremoto (sismograma) en una estación cercana al foco se transmite en tiempo real al centro de procesamiento de datos, bien por internet, satélite, teléfono, etc, la información viaja a la velocidad de la luz (300.000 km/s) y por tanto más rápida que las ondas sísmicas (6 km/s las ondas P y a unos 4 km/s las S y superficiales, las más destructoras). Estos primeros segundos de señal se procesan en el centro de procesamiento de datos y el SAST es capaz de estimar los parámetros de la alerta (Fig. 2). Si estos superan un valor umbral, el SAST genera de forma automática una alerta. Un factor a tener en cuenta en un SAST es el tamaño de la **zona ciega**, esto es la zona alrededor del epicentro en que no se puede dar la alerta. Para que un SAST sea eficaz la zona ciega debe ser lo más pequeña posible o no incluir los emplazamientos a proteger. El primer paso, antes de implementar un SAST en una región es estudiar la viabilidad del mismo.

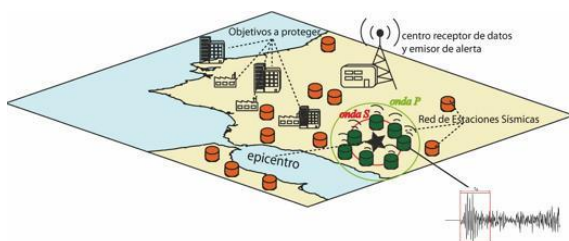


Figura 2: Esquema de funcionamiento de un SAST. La estrella representa el epicentro, los cilindros las estaciones sísmicas (en verde las que ya ha llegado la onda P y están calculando los parámetros de la alerta). También se muestra un sismograma y la ventana de tiempo utilizada (modificado de Carranza, 2016).



¿Qué problema resuelve?

En la actualidad, el crecimiento de las grandes ciudades y la alta concentración de edificaciones en áreas metropolitanas aumentan la vulnerabilidad frente a los terremotos. Los SAST, vigentes en países como Japón, Taiwan, México o EE.UU han demostrado su eficacia para mitigar los daños de los terremotos. Sin embargo, la efectividad de estos sistemas está estrechamente relacionada con la educación y preparación de la población sobre cómo actuar en caso de sismo. Sin planes de acción adecuados ni conocimiento sobre las medidas de seguridad, las alertas por sí solas no garantizan la protección completa. Por tanto, es crucial combinar el uso de los SAST con una adecuada formación y sensibilización pública para maximizar la seguridad y eficacia de las respuestas ante un terremoto.

¿Qué productos futuros resultarán?

Desde octubre de 2015, en el departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (FTA) de la UCM se encuentra en funcionamiento un SAST adaptado a la Región Ibero-Mogrebí (RIM), utilizando el software *PRESTo* (*Probabilistic and Evolutionary Early Warning SysTem*). Recibe los registros en tiempo real de 57 estaciones sísmicas de la RIM pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional (IGN, <https://doi.org/10.7914/SN/ES>), a la red *Western Medirerranean* (<https://doi.org/10.14470/JZ581150>) y al del *Instituto Português do Mar e da Atmosfera* (<https://doi.org/10.7914/SN/PM>). Desde su instalación, *PRESTo* ha sido objeto de diversos estudios. Los resultados muestran que, para el 70-80 % de los terremotos detectados, las diferencias en hora de origen y epicentro con respecto al IGN son inferiores a 2 s y 20 km, respectivamente, y que las diferencias en magnitud (M_w) son menores a 0.3 para el 60-65 % de los terremotos. El SAST se encuentra en pleno funcionamiento y está sujeto a mejoras continuas, tanto en la metodología empleada como en su funcionalidad. En la actualidad, se está implementando un SAST basado en la predicción temporal progresiva del movimiento del suelo ("shaking") para la RIM. A diferencia del SAST que se utiliza en la actualidad, basado en la determinación temprana de las características de la fuente sísmica (hipocentro y magnitud), se basa en determinar la Zona de Daño Potencial (PDZ, del inglés *Potential Damage Zone*) definida como el área donde la Intensidad Instrumental (I_{MM}), calculada a partir de los valores Pico de Velocidad del Suelo (PGV, del inglés *Peak Ground Velocity*) predichos por el SAST, superan un umbral establecido.

Ventajas competitivas frente a otras investigaciones

En España, han ocurrido grandes terremotos que han ocasionado cuantiosas pérdidas económicas y víctimas. Ejemplos son los terremotos de Lisboa de 1755, Torrevieja (Alicante) de 1829 o Arenas del Rey (Granada) de 1884. Pero incluso, terremotos de magnitud pequeña-moderada, como el de Lorca de 2011, han causado grandes daños materiales y la pérdida de vidas humanas. Por tanto, existe un riesgo importante de que en España ocurra un terremoto de gran tamaño y en consecuencia disponer de un SAST permitiría mitigar y reducir los daños. El SAST instalado en el departamento FTA ha demostrado que un sistema de esta característica es viable para RIM y genera resultados eficaces. El implementar ahora un SAST basado en la estimación de las PDZ, aumentaría significativamente la eficacia de estos sistemas en la RIM y permitiría disponer de una información muy útil no solo a nivel científico sino también social, ya que se posibilitaría transmitir alertas muy concretas a los servicios de emergencias lo que permitiría acortar los tiempos de actuación y optimizar los recursos en el caso de una catástrofe sísmica.

¿Dónde se ha desarrollado?

El equipo investigador que ha implementado esta tecnología está formado por miembros del Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM, junto con el *RISSC-Lab* de la *Università di Napoli Federico II* (Italia), el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando y *el Institut Cartografic i Geologic de Catalunya*.



Y además...

El grupo de investigación de Estructura y Dinámica de la Tierra, Sismicidad y Riesgo Sísmico de la UCM ofrece su experiencia y conocimientos para estudios de sismicidad (histórica e instrumental), evaluación de daños, estimación de la intensidad, mecanismo focal de los terremotos (fuente puntual y extensa), estudios de directividad, determinación del esfuerzo regional, modelos sismotectónicos y procesos de ruptura de terremotos.

Responsable de la investigación

Maurizio Mattesini, mmattesini@ucm.es y **Lucía Escudero Palencia**, lescud01@ucm.es

Departamento: **Física de la Tierra y Astrofísica**

Facultad: **Ciencias Físicas**