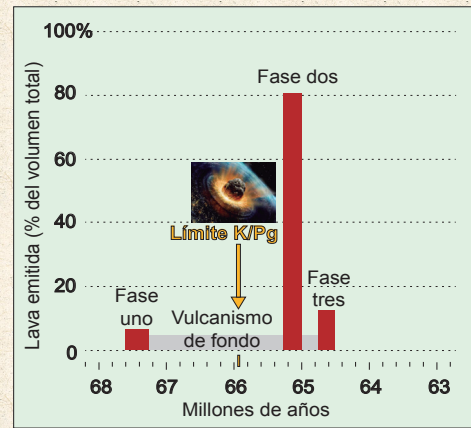


# LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

CHICXULUB-DECÁN:

## ¿Una conspiración contra los dinosaurios?

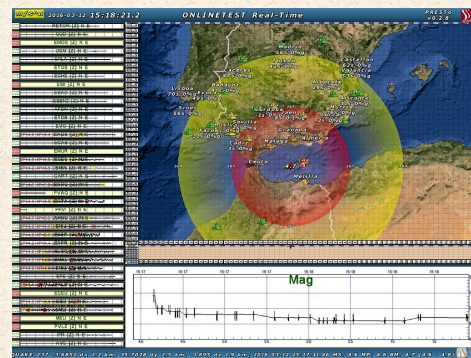
Francisco Anguita, José Antonio Arz,  
Ignacio Arenillas y Vicente Gilabert \_\_\_\_\_ (p. 240)



SISTEMAS DE ALERTA SÍSMICA TEMPRANA:

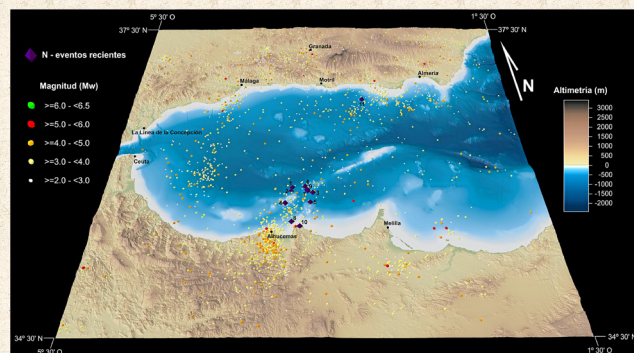
## Hacia la prevención de los daños de los terremotos

Elisa Buforn \_\_\_\_\_ (p. 244)



## La tierra tiembla bajo el Mar de Alborán

Adolfo Maestro, Fernando Bohoyo, Antonio Pedrera  
y María Gómez-Ballesteros \_\_\_\_\_ (p. 247)



## Marte: nuevas evidencias sobre agua líquida reciente y habitabilidad

Jesús Martínez-Frías \_\_\_\_\_ (p. 250)





## SISTEMAS DE ALERTA SÍSMICA TEMPRANA:

# Hacia la prevención de los daños de los terremotos

ELISA BUFORN

*Dpto de Geofísica y Meteorología.  
Fac. CC. Físicas, Universidad Complutense  
de Madrid. 28040 Madrid.  
ebuformp@ucm.es*

Ante la ocurrencia de un terremoto que provoca grandes daños y, lo que es más lamentable, la pérdida de vidas humanas, surge la pregunta de si es posible predecir los terremotos. Aunque el tema de la predicción sísmica tuvo un periodo de gran auge en los años 70, ante el fracaso de los estudios realizados, hoy en día los esfuerzos de la comunidad científica se centran en la prevención y mitigación de los daños ocasionados por los terremotos. El planteamiento que se hace es que los terremotos son fenómenos naturales que no se pueden predecir ni evitar y, por tanto, el reto es conseguir que la sociedad esté preparada para afrontarlos y mitigar y minimizar en lo posible sus daños.

Los Sistemas de Alerta Sísmica Temprana (SAST) son una de las herramien-

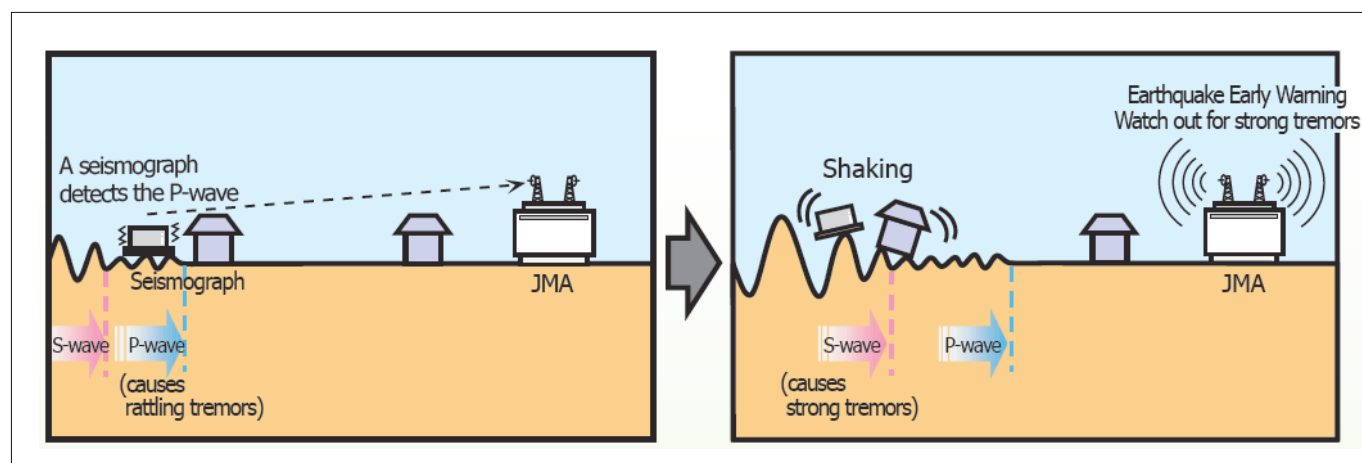
tas más novedosas, desarrolladas en la última década, para conseguir este fin y que más expectación han despertado. La eficacia de estos sistemas se ha podido comprobar con la ocurrencia del gran terremoto de Japón de marzo de 2011 que ha incrementado a nivel mundial el interés por estos sistemas.

Los Sistemas de Alerta Sísmica Temprana (SAST, en inglés: "Earthquake Early Warning Systems", EEWs) son sistemas de alarma ante la ocurrencia de un terremoto destructor. Se basan en el estudio de los primeros segundos de registro de la señal sísmica producida por un terremoto (sismograma) y se aprovecha para dar una alerta utilizando el intervalo de tiempo que existe entre la detección de los primeros segundos de primera llegada de las ondas sísmicas a una estación cercana al foco y la llegada de las ondas más destructoras a un emplazamiento más lejano (Fig. 1).

La hipótesis básica que utiliza un SAST es que en esos primeros segundos de la primera onda generada por el terremoto (onda P) ya hay información sobre

su tamaño y, por lo tanto, de su capacidad destructora (Wu y Kanamori, 2005). 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, vía satélite, telefónica, etc, la información viaja a la velocidad de la luz (300.000 km/s) y, por tanto, más rápida que las ondas sísmicas. Las ondas P se propagan a una velocidad de 6 km/s y las de cizalla y superficiales, las más destructoras, a unos 4 km/s. Estos primeros segundos de señal se procesan en el centro de datos y el SAST es capaz de estimar el tamaño del terremoto y, por tanto, su capacidad destructora. Una vez estimado el tamaño del terremoto es posible disponer de un tiempo, que puede variar entre algunas decenas de segundos a algunos minutos, para dar una alerta a las ciudades o emplazamientos que se verán afectadas, lo que permi-

Fig. 1. Esquema de un Sistema de Alerta Sísmica Temprana (SAST) (<http://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/earthquake.html>)



te poder tomar ciertas decisiones (por ejemplo disminuir la velocidad en trenes de alta velocidad, cortar el suministro de gas, alertar hospitales, etc.) que aminoran los daños (Fig. 2).

Para que un SAST sea eficaz es necesario disponer del máximo de tiempo entre el posible aviso, a partir de la llegada de las primeras ondas a estaciones sísmicas cercanas, y la llegada de las ondas destructoras, a ciudades y emplazamientos más distantes. Esto dependerá de la distancia existente entre el foco sísmico y las estaciones y la zona a proteger, y de que el aviso se realice en la mayor brevedad posible. Otro factor a tener en cuenta en un SAST es el tamaño de la **zona ciega** ("blind zone" en inglés), que es la zona alrededor del epicentro en la que no se puede dar la alerta. Interesa por tanto, que esta zona ciega sea lo más pequeña posible o no incluya los emplazamientos a proteger.

Japón es el ejemplo más conocido de aplicación del SAST, ya que desde los años 80 ha desarrollado un sistema que permite aminorar o incluso parar los trenes de alta velocidad ante la ocurrencia de un sismo potencialmente destructor y tomar otras medidas. En México existe desde 1991 un Sistema de Alerta Sísmica (SAST) y en Taiwan desde el 2002. Turquía, Rumanía, California, Suiza e Italia son otras zonas en las que estos sistemas están en fase de prueba o en fase de implementación (Allen y Kanamori, 2003).

En el caso de España, la sismicidad asociada al contacto entre las placas de

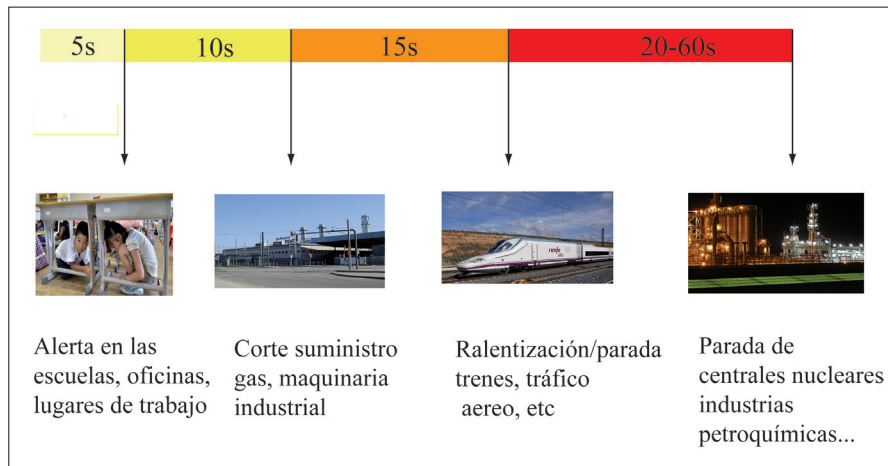


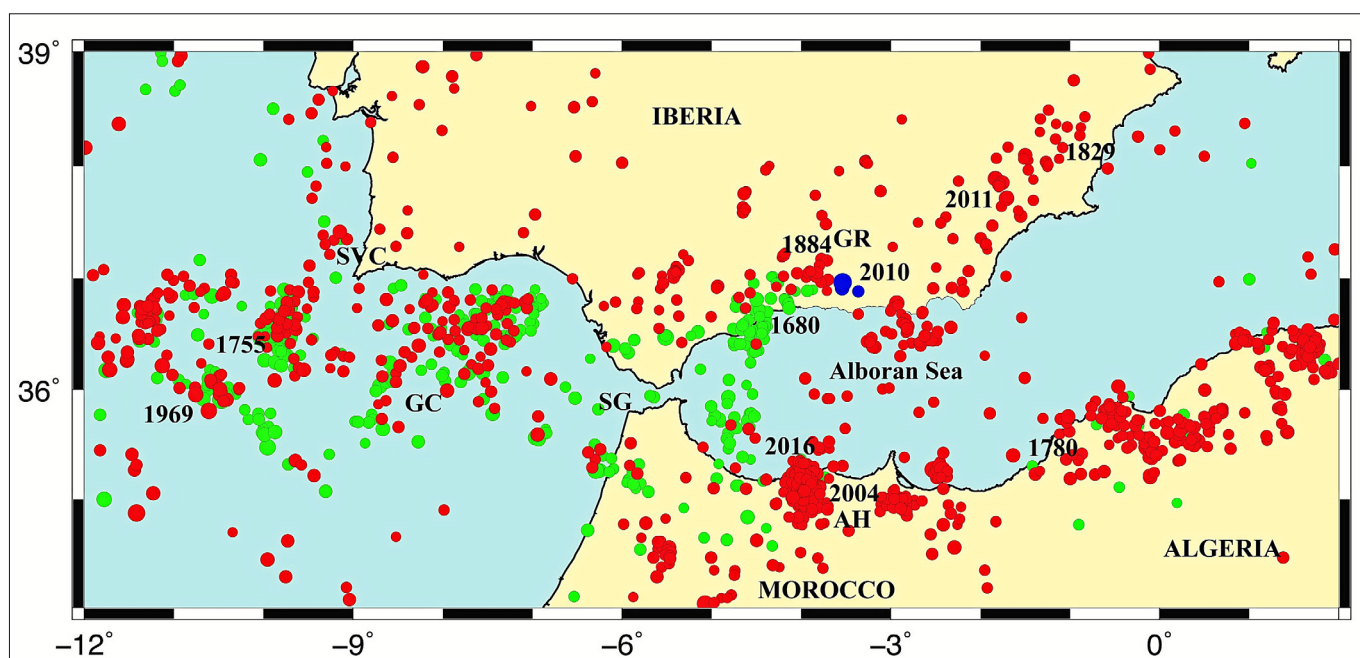
Fig. 2. Rango de tiempos de alerta de un SAST (modificado de Conte, 2013)

Eurasia y África, se caracteriza por la ocurrencia de terremotos superficiales ( $h < 40\text{km}$ ) de magnitud moderada ( $M < 5.0$ ). También existe una sismicidad a profundidad intermedia ( $40 < h < 150\text{km}$ ) y focos a gran profundidad (sobre  $650\text{km}$ ) al sur de Granada (Fig. 3). En la zona también han ocurrido terremotos ( $I_{\text{max}}=X$ ) que han ocasionado grandes daños, como el de Lisboa de 1755, que fue seguido de un gran tsunami, Torre Vieja 1829 o Arenas del Rey 1884. Pero incluso, terremotos de magnitud moderada, como el de Lorca de 2011 han causado grandes daños materiales y, lo que es más lamentable, la pérdida de 9 vidas humanas. Por tanto existe un riesgo im-

portante de que ocurra un terremoto de gran tamaño y, en consecuencia, la conveniencia de disponer de un SAST para la Península Ibérica (Bufo y Udías, 2016).

En 2011 comenzó el proyecto ALERTES que continuó en 2013 con ALERTES-RIM, para estudiar la viabilidad de un SAST para el sur de la Península Ibérica. Estos proyectos están coordinados por la Universidad Complutense de Madrid y en ellos participan el Real Instituto y Observatorio de la Armada de

Fig. 3. Distribución de epicentros para el periodo 2000-2015,  $M > 3.0$ , para el sur de la Península Ibérica (Catálogo Sísmico del Instituto Geográfico Nacional). En rojo: terremotos superficiales ( $h < 40\text{km}$ ), en verde: profundidad intermedia ( $40 < h < 150\text{km}$ ) y en azul: profundos ( $h \approx 650\text{km}$ ). Las fechas corresponden a los mayores terremotos o los que han causado daños importantes. SVC= Cabo de San Vicente, GC= Golfo de Cádiz, SG= Estrecho de Gibraltar, GR= Granada, AH= Alhucemas.





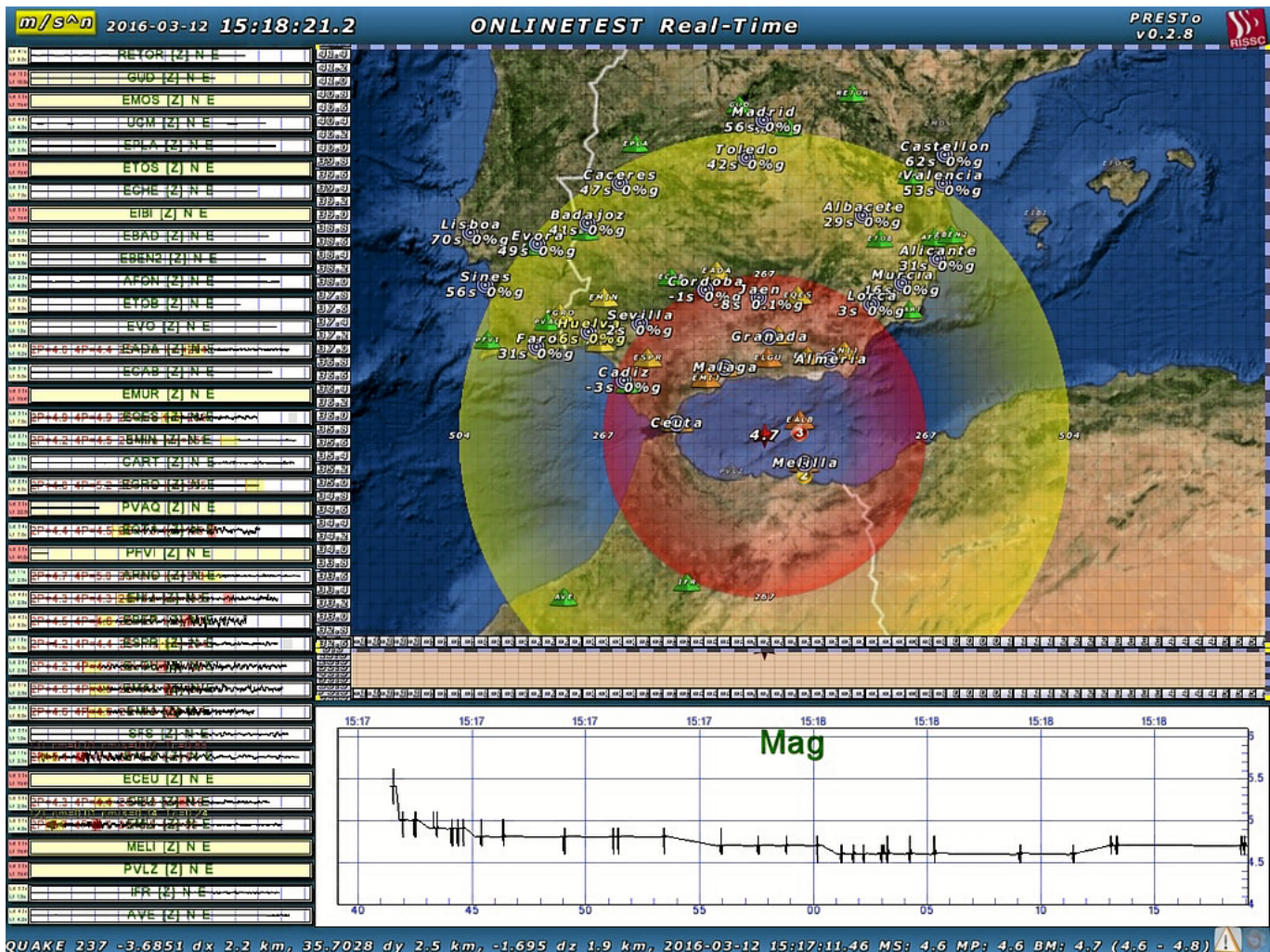


Fig. 4. Ejemplo de la alerta de un SAST para el terremoto del 12 de Marzo de 2016, del sur de Alborán.

San Fernando y el Institut Cartogràfic y Geològic de Catalunya, financiados con fondos del MINECO, CGL2013-. En estos proyectos se han desarrollado relaciones específicas para la determinación rápida de la magnitud, determinando los parámetros de la alerta y desarrollando un prototipo de SAST específico para la zona. Los resultados obtenidos hasta el momento, permiten concluir que un SAST es posible para el sur de la Península Ibérica, la zona sísmicamente más activa. Como ejemplos, se puede citar que ante la ocurrencia de un terremoto como el de Lisboa de 1755, aunque la zona del SW de Portugal, cabo de San Vicente, estaría en la zona ciega, se dispondría de tiempos de entre 5 y 65 segundos para dar la alerta en Faro, Huelva, Lisboa y Sevilla (Carranza et al., 2012; Pazos et al., 2015) o para el terremoto de Alborán sur del 25 de enero de 2016, se dispondría de tiempo de alerta de 8 segundos para Málaga o de 16 segundos para Almería; solo Melilla queda en la zona ciega. En la figura 4 se

muestra un ejemplo del funcionamiento del SAST para un terremoto de la serie de Alborán de 12 de Marzo de 2016,  $M_w=4.7$ .

Por tanto, podemos concluir que un SAST es viable para el sur de la Península Ibérica, permitiendo disponer de un tiempo para dar la alerta y activar diver-

sos protocolos para prevenir daños. Hay que esperar que en los próximos años exista financiación suficiente para que puedan seguir desarrollándose estos estudios y que sus resultados despierten suficiente interés para poder implementarlos. ●

#### Referencias

- Allen, R.M. y H. Kanamori (2003). The potential for earthquake early warning in southern California, *Science* 300, 786–789
- Bufo, E. y A. Udías (2016). *Earthquake Early Warning System. Applications to the Ibero-Maghrebian Region*. Birkhäuser, ISBN 978-3-0348-0941-2
- Carranza, M., E. Bufo, S. Collombelli y A. Zollo (2013). Earthquake early warning for southern Iberia: A P wave threshold-based approach. *Geophys. Res. Lett.* 40, 45-88-4593
- Pazos, A., N. Romeu, L. Lozano, Y. Colom, M. López Mesa, X. Goula, J. A. Jara, J. V. Cantavella, A. Zollo. W. Hanka y F. Carrilho (2015). A regional approach for Earthquake Early Warning in south west Iberia: a feasibility study. *Bull. Seism. Soc. Am.* 105., 560–567, doi: 10.1785/0120140101
- Wu, Y-M. y H. Kanamori (2005a). Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 347-353