



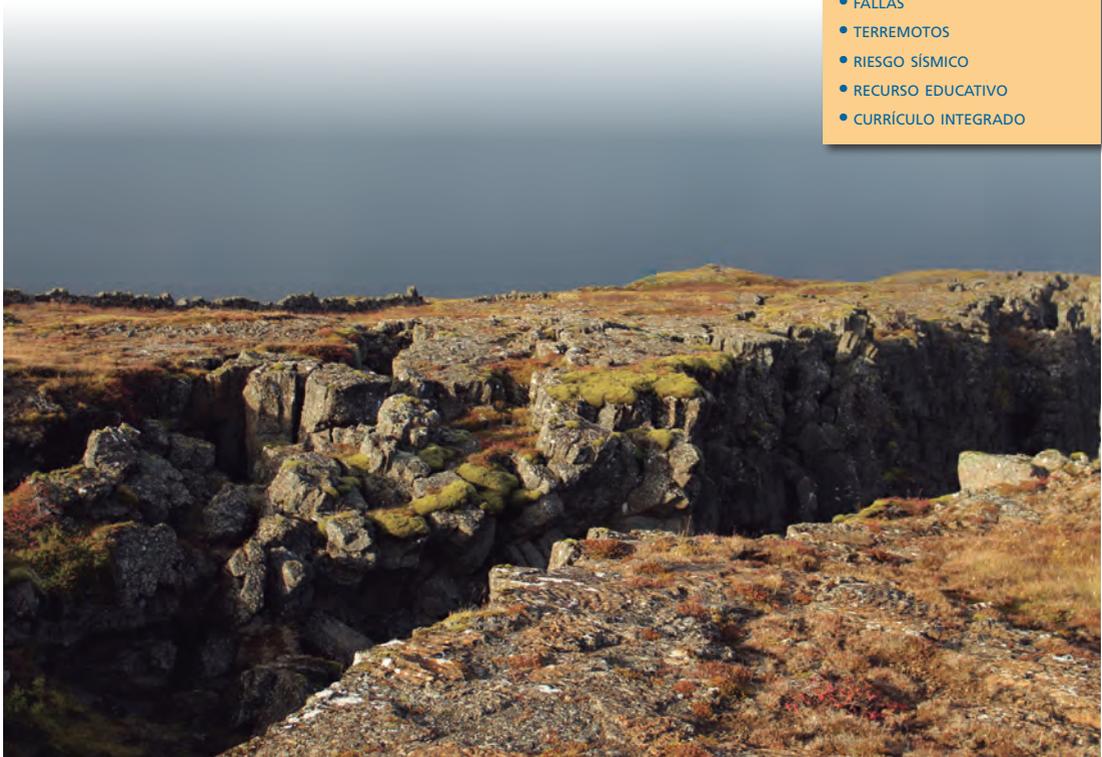
# Tectónica de placas, fallas, terremotos y riesgo sísmico

## Una estrategia integradora

**Pedro Alfaro, Olga Bedmar, Antonio Borrego, Iván Martín Rojas,  
Iván Medina, Eva Santamaría Pérez**  
Grupo de Trabajo EQgeo (Geología de Terremotos)  
de la Universidad de Alicante

### PALABRAS CLAVE

- TECTÓNICA DE PLACAS
- FALLAS
- TERREMOTOS
- RIESGO SÍSMICO
- RECURSO EDUCATIVO
- CURRÍCULO INTEGRADO



**Los terremotos son uno de los recursos educativos más atractivos en ciencias de la Tierra. El tratamiento integrado de aspectos del currículo como la tectónica de placas, las fallas, los terremotos y el riesgo sísmico permite al alumnado desarrollar un pensamiento crítico. Los terremotos de Turquía de 2023 se han utilizado de ejemplo para que los alumnos y alumnas valoren las causas reales de esta catástrofe humanitaria.**

## INTEGRACIÓN DE LA TECTÓNICA DE PLACAS, LAS FALLAS, LOS TERREMOTOS Y EL RIESGO SÍSMICO

La tectónica de placas, las fallas, los terremotos y el riesgo sísmico son temas recogidos en el currículo de enseñanza secundaria y de bachillerato. La tectónica de placas, como el gran paradigma de la geología y de las ciencias de la Tierra, es tratado en secundaria (Fernández, 2019, entre otros). Los diferentes tipos de fallas también tienen su espacio en el currículo; sin embargo, en niveles educativos preuniversitarios se suele transmitir la idea simplista de que todos los límites de placa coinciden con una gran falla. También se aborda el fenómeno sísmico (Alfaro, 2008), pero se obvia, en la mayoría de las ocasiones, la estrecha relación entre las fallas y los terremotos, ya que el alumnado no llega a conocer cómo funciona una falla y por qué produce terremotos. Finalmente, aunque el concepto de riesgo natural (y sísmico) se trata detalladamente, no se realiza la importancia que tiene el



**Aunque el concepto de riesgo natural (y sísmico) se trata detalladamente, no se realiza la importancia que tiene el conocimiento de las fallas activas y de los estudios geológicos y sismológicos**

conocimiento de las fallas activas y de los estudios geológicos y sismológicos para evitar que estos grandes terremotos se conviertan en catástrofes.

En este trabajo proponemos un enfoque integrado de estos aspectos, partiendo de la tectónica de placas, pasando por las fallas y los terremotos y terminando con el riesgo sísmico. Para ello, proponemos utilizar a modo de ejemplo un caso de actualidad y gran repercusión mediática, en concreto los recientes terremotos de Turquía de febrero de 2023.

## Diferencia entre límite de placas y falla

El movimiento de las placas tectónicas produce enormes esfuerzos sobre las rocas de la corteza. En las zonas de contacto entre placas, en su parte más superficial (entre 10 y 15 km de espesor), las rocas de la corteza se deforman frágilmente generando numerosas fracturas o fallas. Esta deformación es mucho más intensa en los límites de placa y se amortigua progresivamente conforme nos separamos de ellos.

En la mayoría de las ocasiones el límite de placas está caracterizado por una amplia banda de deformación con decenas o cientos de kilómetros de anchura, dentro de la cual existen numerosas fallas activas. Solo en algunas ocasiones el límite de placas es muy estrecho y definido, con una falla activa principal; pero incluso en estos casos,

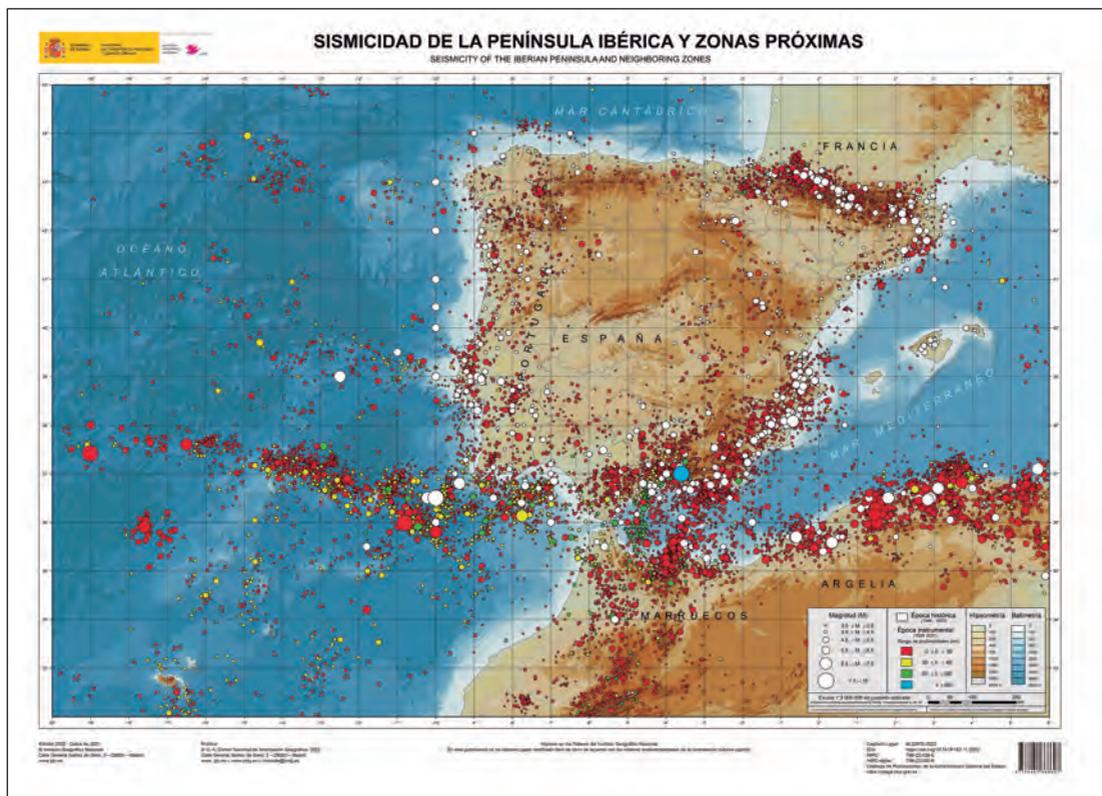
existen otras fallas secundarias. Sin embargo, se suele transmitir una idea simplificada haciendo coincidir los conceptos de límite de placa y de falla. Esta aproximación simplista y errónea no permite explicar un gran número de terremotos.

Un ejemplo claro es lo que ocurre en el límite de placas entre Eurasia y Nubia (África) en el sur de la península ibérica. Las dos placas, al aproximarse (5 mm/año aproximadamente), producen una amplia banda de deformación con numerosas fallas activas situadas en el norte de África (Marruecos, Túnez y Argelia), el mar Mediterráneo y el sur de la península ibérica

(Andalucía, Murcia y Alicante principalmente). Incluso, parte de los esfuerzos se transmiten en el interior de África (en el Atlas, por ejemplo), y en el interior de la península ibérica.

Esta aproximación más realista permite que el alumnado comprenda la anchura de la banda de sismicidad de la imagen 1 y, además, puede explicar por qué se producen ocasionalmente terremotos en zonas situadas al norte de la cordillera Bética.

En definitiva, los límites de placa del planeta tienen una banda de deformación con una anchura que



**Imagen 1.** Mapa de sismicidad de la península ibérica y de áreas próximas (Instituto Geográfico Nacional: [www.ign.es/web/ign/portallmapas-sismicidad](http://www.ign.es/web/ign/portallmapas-sismicidad))

varía entre decenas y centenares de kilómetros (en algún caso incluso supera el millar de kilómetros).

## Por qué las fallas producen terremotos

La relación entre fallas y terremotos suele pasarse por alto. Aunque el alumnado aprende que los terremotos son producidos por fallas, en la mayoría de las ocasiones no llega a conocer el porqué. Explicar esta relación en detalle queda fuera del alcance de este artículo, pero hay recursos educativos sencillos que se centran en ella. Por ejemplo, recomendamos una actividad en el aula muy asequible en la que los alumnos y alumnas son protagonistas (López Martín, González Herrero y Alfaro, 2017). También se puede realizar el taller de la máquina del terremoto propuesto por la sismóloga Hall Wallace, que ha sido ampliamente reproducido en Internet en páginas web como IRIS ([www.iris.edu/hq/educational\\_resources](http://www.iris.edu/hq/educational_resources)). En el enlace «Animations» hay multitud de vídeos muy sencillos que explican fácilmente cómo una falla produce un terremoto (sugerimos, por ejemplo, las animaciones «Asperity on a Fault», «Asperities on a Strike-slip Fault», o varias animaciones sobre «Earthquake Machine»).

## Los terremotos y el riesgo sísmico

El último de los aspectos que debe ser integrado es el de riesgo. Pensamos que es una magnífica oportunidad para que el alumnado comprenda que el conocimiento científico es clave para reducir drásticamente el riesgo y salvar muchas vidas.

El riesgo sísmico, como cualquier otro riesgo, se calcula a partir de la siguiente expresión, en la que se multiplican tres factores:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$$

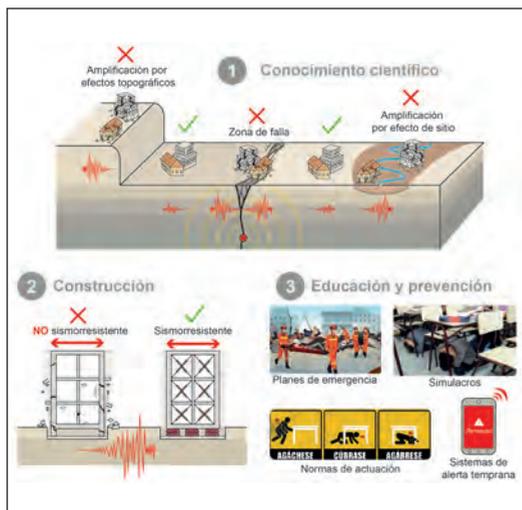
El primer factor, la *peligrosidad*, hace referencia a la probabilidad de que se produzca el fenómeno natural, que depende exclusivamente de cómo funciona el planeta en el que vivimos. En la Tierra, las placas tectónicas se mueven continuamente y deforman la corteza, rompiéndola en grandes fracturas o fallas que producen terremotos (y tsunamis si están bajo el mar). Así ha sido durante miles de millones de años y así continuará en el futuro. Por tanto, los seres humanos no podemos modificar este factor.

El segundo componente, la *exposición*, depende del número de personas que están expuestas al peligro. La población mundial ha experimentado un crecimiento espectacular en las últimas décadas, y también lo ha hecho en zonas con fallas activas. *A priori*, podría parecer que este factor tampoco puede ser reducido por el ser humano, ya que parece poco realista cambiar la ubicación de algunas poblaciones o reducir sus habitantes a corto y medio plazo. Sin embargo, hoy en día disponemos del conocimiento científico suficiente para conocer la mayoría de las trazas de falla en superficie, y de las zonas en las que el terreno, por sus características, va a sufrir un mayor movimiento durante un terremoto. El alumnado debe saber que un buen ordenamiento del territorio puede evitar la construcción de edificios en zonas más sensibles o débiles, donde alternativamente se pueden ubicar zonas verdes o infraestructuras deportivas (no nos referimos a estadios), salvando la vida a muchísimas personas. Una buena planificación territorial reduciría, por tanto, la exposición de la población en las zonas de mayor peligrosidad (imagen 2).

El tercer factor es el de la *vulnerabilidad*, que ha sido clave para explicar cada uno de los grandes desastres que han ocurrido en el siglo XXI

(véase el cuadro 1). Este componente cuantifica nuestra preparación ante un fenómeno natural. Desde hace décadas los avances en el diseño sismorresistente de las edificaciones han sido enormes. Por supuesto, todavía hay muchas preguntas que resolver, pero existe un conocimiento científico suficiente y se dispone de la tecnología necesaria para construir edificios que resistan los movimientos del suelo. Se trata de un factor clave en la reducción del riesgo sísmico, ya que es aquel en el que el ser humano puede actuar de forma más sencilla e inmediata. La vulnerabilidad también puede reducirse en gran medida educando a la población de zonas de riesgo en cómo actuar ante un terremoto, estableciendo planes de emergencia y sistemas de alerta temprana (imagen 2).

En resumen, si queremos reducir el riesgo sísmico y que los terremotos no se conviertan en catástrofes humanitarias, salvando así la vida a centenares de miles de personas, debemos



**Imagen 2.** El conocimiento científico, las buenas prácticas constructivas, las medidas preventivas y la educación ayudan a salvar miles de vidas

trabajar reduciendo los factores de exposición y vulnerabilidad. Tenemos que potenciar la prevención, desarrollando buenas prácticas constructivas, ubicando a la población en los lugares más apropiados y apostando por la investigación, el conocimiento y la educación.

AÑO	LUGAR	MAGNITUD MW	MUERTOS	TSUNAMI
2001	Gujarat (India)	7.7	20.000	
2004	Sumatra	9.1	casi 300.000	Si
2005	Cachemira (Pakistán)	7.6	87.000	
2006	Bam (Irán)	6.6	26.000	
2007	Yogyakarta (Java)	6.4	5.800	
2008	Sichuan (China)	7.9	87.500	
2010	Haití	7.0	casi 200.000	
2011	Japón	9.0	20.000	Si
2015	Nepal	7.8	9.000	
2023	Turquía	7.7 y 7.5	Más de 50.000	

**Cuadro 1.** Terremotos catastróficos durante el siglo XXI

■

**Si queremos reducir el riesgo sísmico y que los terremotos no se conviertan en catástrofes humanitarias, debemos trabajar reduciendo los factores de exposición y vulnerabilidad**

## LOS TERREMOTOS DE TURQUÍA DE 2023 COMO EJEMPLO

Los terremotos catastróficos o mediáticos son una magnífica oportunidad para que el profesorado profundice en varios temas del currículo (González, Alfaro y Brusi, 2011). Son muy útiles para que el alumnado pueda comprender la estrecha relación que existe entre el movimiento de las placas tectónicas, las fallas activas y los terremotos y para que, finalmente, pueda reflexionar sobre el riesgo sísmico de la región.

En este trabajo nos centraremos en los recientes terremotos de Turquía de 2023, pero esta propuesta se puede reproducir fácilmente en futuros

eventos sísmicos, ya que a los pocos días de que se produzcan grandes terremotos, el profesorado dispone de información tectónica rigurosa que puede usar en el aula. Las páginas web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) o la institución EMSC (para los terremotos del Mediterráneo) son un buen ejemplo.

El 6 de febrero de 2023 se produjeron dos grandes terremotos, uno de magnitud 7.7 y otro a las 9 horas de magnitud 7.5. Además de estos dos grandes terremotos, en los primeros tres días se produjo una réplica de magnitud 6.7, dos de magnitud 6, y más de veinte de magnitud superior a 5.

### Contexto de tectónica de placas

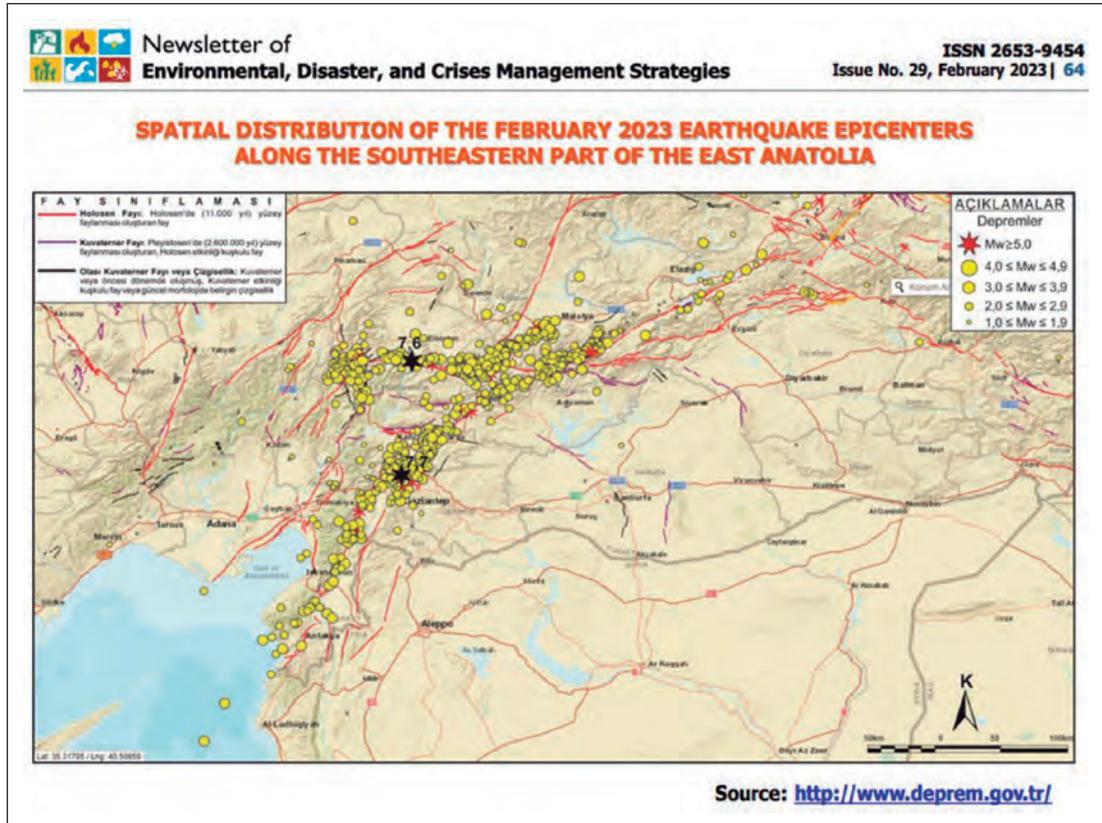
Los terremotos de Turquía se produjeron en el contacto entre la placa Arábica y la placa de Anatolia. Para comprender algunos de los grandes terremotos que se producen en el planeta, no es suficiente con el mapamundi de las grandes placas tectónicas. En algunos casos, como el de Turquía, es necesario recurrir a modelos más realistas que incluyen más de cincuenta placas (Alfaro y Fernández, 2019). Los terremotos de Turquía de 2023 se produjeron en un límite de placas transformante entre las placas de Arabia y Anatolia (imagen 3), con algo más de un centenar de kilómetros de anchura. Además de la falla principal, la del este de Anatolia, hay varias fallas secundarias con una gran actividad (imagen 4).

### Fallas y límite de placas

El primero de los terremotos, de Mw 7.7, se produjo en la falla del este de Anatolia, que es la falla principal del límite de placas. Se trata de una falla de salto en dirección sinistrorsa que tiene un desplazamiento de unos 10 mm/año.



**Imagen 3.** Mapa tectónico modificado de Reilinger et al. (2006) en el que se observa el límite de placas entre Anatolia y Arabia, donde se produjeron los terremotos de Turquía de 2023



**Imagen 4.** Mapa de sismicidad de los terremotos de Turquía de 2023, en el que se observa la ruptura de dos fallas. Extraído del Newsletter of Environmental, Disaster and Crisis Management Strategies (EMSC)

El segundo de los terremotos, de Mw 7.5, se produjo en una falla situada dentro de la placa de Anatolia, en la falla de Sığür. En la imagen 4 se observa la localización de los dos terremotos principales y la distribución de réplicas, que se distribuyen sobre las trazas de las dos fallas responsables.

Con este ejemplo, el alumnado puede comprender que los límites de placa son algo más complejos y que no coinciden con una única falla activa. La falla principal del límite de placas

(falla del este de Anatolia) rompió en primer lugar, acumulando esfuerzos en las zonas vecinas. En menos de veinticuatro horas, se produjo otro gran terremoto en la vecina falla de Sığür, situada a más de 100 km de distancia del límite de placas principal.

### Riesgo sísmico: la importancia del conocimiento científico

De los tres factores que intervienen en el cálculo del riesgo sísmico, la *peligrosidad* sísmica de la

falla del este de Anatolia era bien conocida por la comunidad científica. En un estudio publicado en el año 2016 en la revista *Journal of Geodynamics*, varios investigadores turcos calcularon con GPS la velocidad de la falla del este de Anatolia. Este dato, junto con el tiempo transcurrido desde los últimos grandes terremotos, les permitió concluir que la falla tenía un potencial sísmico acumulado para producir un terremoto con una magnitud entre 7.4 y 7.7. Por tanto, siete años antes del terremoto la comunidad científica conocía la falla del este de Anatolia y su elevada peligrosidad. Este estudio no se puede confundir con una predicción porque desafortunadamente a día de hoy no es posible conocer cuándo va a producirse un terremoto. Sin embargo, la comunidad científica tiene un buen conocimiento de las principales fallas del planeta y es capaz de calcular la deformación que hay acumulada en cada una de ellas.

En cuanto a la *exposición*, la región ha sufrido un incremento de la población espectacular durante el último siglo. Por ejemplo, Gaziantep contaba con una población de 45.000 habitantes a finales del siglo XIX mientras que ahora supera los dos millones. Por lo tanto, en el cálculo de la exposición este valor aumenta considerablemente el riesgo. Pero no todas las ciudades o barrios tenían la misma exposición frente al peligro sísmico. Un ejemplo reciente ha sido la ciudad de Erzin en Turquía, que apenas ha sufrido daños por el terremoto debido a la naturaleza favorable del suelo donde está edificada y a la aplicación de las prácticas constructivas adecuadas.

Finalmente, la *vulnerabilidad* es también muy elevada en la región, como demuestra el colapso de miles de edificios. Después del terremoto de Turquía de 1999, en la falla del norte de Anatolia próxima a Estambul, que causó la muerte de unas

20.000 personas, el Gobierno turco endureció la norma sismorresistente. Desafortunadamente, por diversos motivos complejos que el alumnado puede investigar con numerosos reportajes abordados por los medios de comunicación, muchos de los edificios no cumplían con la norma sismorresistente. Es decir, en este caso la alta vulnerabilidad está ligada a la falta de aplicación de las medidas constructivas adecuadas, que hubieran evitado el derrumbe de cientos de edificios y salvado la vida de miles de personas.

## CONSIDERACIONES FINALES

Conocer cómo funciona el planeta y cómo se producen fenómenos naturales como los terremotos de Turquía desarrolla en el alumnado un espíritu crítico. Esto le permite filtrar la enorme cantidad de información que se publica en Internet y en las redes sociales. Un conocimiento científico de estos fenómenos naturales ayuda a los alumnos y alumnas a identificar las *fake news* y a desarrollar un pensamiento crítico que les permita analizar las causas de estas catástrofes humanitarias. Un análisis detallado de estos terremotos posibilita comprender la importancia de las actuaciones del ser humano para mitigar su impacto.

Este tipo de fenómenos mediáticos son una oportunidad para que el alumnado comprenda mejor cómo funciona el planeta en el que vive. Y la estrategia más eficaz es integrando temas del currículo que se suelen impartir por separado como la tectónica de placas, las fallas, los terremotos y el riesgo sísmico. ◀

## Referencias bibliográficas

Alfaro, P. (2008). Recursos para un estudio contextualizado de los terremotos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 55, 20-31.

- Alfaro, P. y Fernández, C. (2019). ¿Cuántas placas hay en el planeta Tierra? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(3), 246-256. [www.researchgate.net/publication/343425906\\_Cuántas\\_placas\\_hay\\_en\\_el\\_planeta\\_Tierra](http://www.researchgate.net/publication/343425906_Cuántas_placas_hay_en_el_planeta_Tierra)
- Fernández, C. (coord.) (2019). Monográfico Tectónica de Placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(3), 234-362. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/556190>
- González, M., Alfaro, P. y Brusi, D. (2011). Los terremotos «mediáticos» como recurso educativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(3), 330-342. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/35318>
- López Martín, J. A., González Herrero, M. y Alfaro, P. (2017). Investigando fallas: ¿dónde situó el GPS? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(2), 237-242. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/328899>
- Reilinger, R. et al. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>

## Direcciones de contacto

**Pedro Alfaro García**

[pedro.alfaro@ua.es](mailto:pedro.alfaro@ua.es)

**Olga Bedmar Álvarez**

[olga.bedmar@gmail.com](mailto:olga.bedmar@gmail.com)

**Antonio Borrego Ríos**

[anbori\\_69@hotmail.com](mailto:anbori_69@hotmail.com)

**Iván Martín Rojas**

[ivan.martin@ua.es](mailto:ivan.martin@ua.es)

**Iván Medina Cascales**

[ivan.medina@ua.es](mailto:ivan.medina@ua.es)

**Eva Santamaría Pérez**

[eva.santamaria@ua.es](mailto:eva.santamaria@ua.es)

Grupo de Trabajo EQgeo (Geología de Terremotos) de la Universidad de Alicante

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en enero de 2023 y aceptado en junio de 2023 para su publicación

## Mueve la lengua, que el cerebro te seguirá

### 75 acciones lingüísticas para enseñar a pensar ciencias

**Jordi Domènech Casal**

**GASTOS DE ENVÍO GRATIS**  
Península (mínimo 10€)

**5% descuento en todos nuestros libros**

El libro presenta una gran variedad de experiencias que se analizan desde distintos marcos de la filosofía del lenguaje y la didáctica de las ciencias, y se proponen 41 apoyos didácticos lingüísticos listos para enriquecer el diseño de actividades de aula. Además, en cada capítulo, se expone una situación y se propone al lector «mirar» esa situación desde la simetría entre ciencia y lenguaje.

Se mantiene una doble mirada hacia la ciencia y el lenguaje, ofreciendo actividades para secundaria de trabajo integrado de las dos áreas que fomentan la reflexión, la argumentación y el desarrollo del espíritu crítico.



 Hurtado, 29. 08022 Barcelona

 [amacias@grao.com](mailto:amacias@grao.com)

 [www.grao.com](http://www.grao.com)

 934 080 464