

# INVESTIGANDO FALLAS: ¿DÓNDE SITÚO EL GPS?

OBJETIVOS	CONTEXTO EDUCATIVO
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender cómo funciona una falla y cómo se originan los terremotos.</li> <li>2. Relacionar conceptos geológicos a distintas escalas: tectónica de placas y fallas.</li> <li>3. Entender el ciclo sísmico de una falla.</li> <li>4. Utilizar modelos para explicar fenómenos geológicos.</li> <li>5. Comprender cómo los avances tecnológicos permiten profundizar en el conocimiento del planeta.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La actividad que proponemos está destinada al alumnado que cursa la materia de Biología y Geología de 4º de ESO, 1º de Bachillerato y Geología de 2º Bachillerato.</li> </ul>
	DURACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 minutos para la actividad y 40 minutos adicionales para debatir los contenidos asociados a la misma.</li> </ul>
	MATERIALES
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos diademas con antenas (de disfraz) que simulan dos receptores GPS.</li> </ul>

## Planteamiento del problema

### Teoría del rebote elástico y ciclo sísmico

A partir de las observaciones del terremoto de San Francisco de 1906, Reid (1910) propuso la Teoría del Rebote Elástico. En las proximidades de las fallas (zona de falla) se acumula la deformación elástica que, cuando alcanza un nivel crítico que depende de las propiedades reológicas de las rocas y la superficie de falla (fricción), produce una ruptura brusca que libera la energía (terremoto) (Fig. 1). Después de un terremoto, la deformación elástica sigue acumulándose porque las placas tectónicas continúan desplazándose. Este proceso se repite en numerosos ciclos de acumulación y liberación de energía, a lo largo de la vida de una falla, que se conoce como el ciclo sísmico.

### ¿Qué es una zona de falla? Información básica

- Una placa tectónica está dividida en varios bloques tectónicos separados por fallas.
- Los esfuerzos tectónicos regionales desplazan de forma relativa estos bloques de falla.
- Las superficies de falla tienen rugosidades ("asperezas") que dificultan el desplazamiento de los bloques en la falla.
- Los bloques se desplazan de forma continua pero el movimiento está bloqueado en la superficie falla.
- Esto provoca la acumulación de deformación elástica en una banda próxima a la falla, cuyas dimensiones varían entre unas pocas decenas de metros y unos pocos kilómetros.
- Cuando los esfuerzos acumulados superan las fuerzas de fricción de la superficie de falla, se produce un desplazamiento brusco de los bloques que libera energía (terremoto).

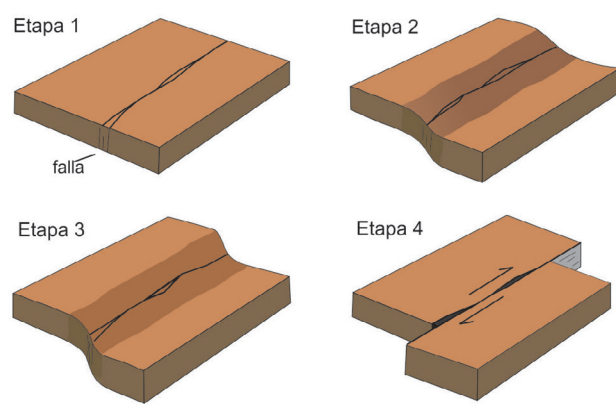


Figura 1. Esquema sobre la Teoría del Rebote Elástico que muestra cómo se acumula la deformación elástica en una zona de falla (modificado de Tarbuck y Lutgens, Ciencias de la Tierra: una introducción a la Geología Física, Prentice Hall).

### Tasas de desplazamiento de una falla

Los sistemas de posicionamiento GPS permiten medir el desplazamiento de los bloques a un lado y otro de las fallas activas y calcular sus tasas de desplazamiento expresadas en milímetros por año.

## Actividad “Investigando fallas: ¿dónde sitúo el GPS?”

Para ayudar a la comprensión del ciclo del terremoto proponemos un sencillo juego en el que el alumnado participa activamente. Este ejercicio, si se modera adecuadamente, ayuda de forma notable a la inmersión de los alumnos-as en la temática de las

fallas y los terremotos. Nuestra propuesta se realiza en cuatro etapas y con 8 estudiantes (Fig. 2), pero la actividad es muy flexible y se puede desarrollar a diferentes ritmos. Aclaramos que las distancias que se citan en el texto son sólo orientativas.

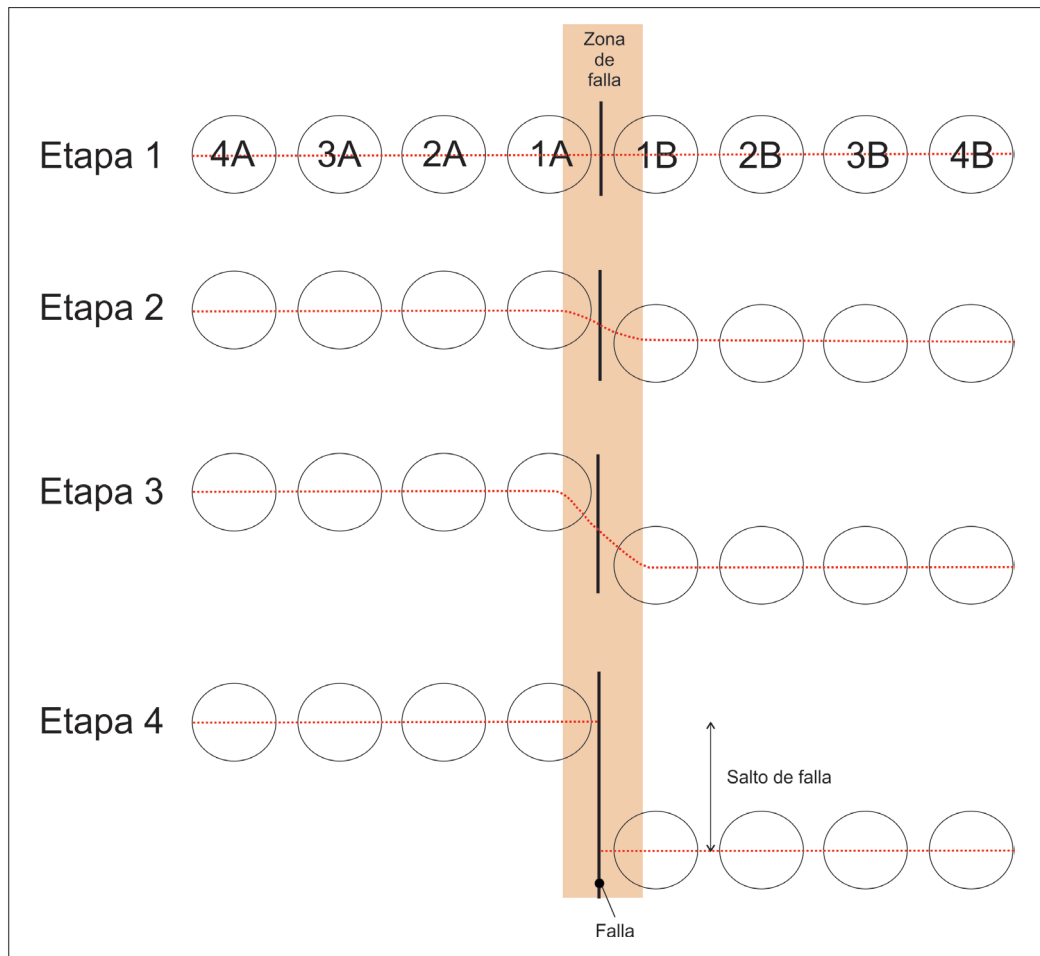


Fig. 2. Esquema simplificado que muestra las cuatro etapas de la actividad. Se indica la numeración utilizada a continuación para denominar a los estudiantes.

## Desarrollo de la actividad

### Etapa 1 (inicial): se construye la fila de estudiantes

Los 8 alumnos-as se dividen en dos grupos de 4; cada uno de los grupos representa un bloque de falla. Todos se colocan en una fila de forma que un grupo mira en un sentido y el otro en sentido contrario (Fig. 3A). Deben estar con los brazos caídos, cogidos de la mano, lo más pegados posible por los hombros y con las puntas de los zapatos alineadas. La clave de la actividad son los dos estudiantes que están en el centro, cogidos de la mano, mirando en sentidos opuestos (los denominamos 1A y 1B). Sus manos unidas representan la superficie de falla.

## Etapa 2: se mueven los bloques de falla

Los dos grupos de estudiantes que forman la fila se irán moviendo sucesivamente en sentido contrario, con pequeños avances, simulando el movimiento de una falla de salto en dirección, como la famosa falla de San Andrés.

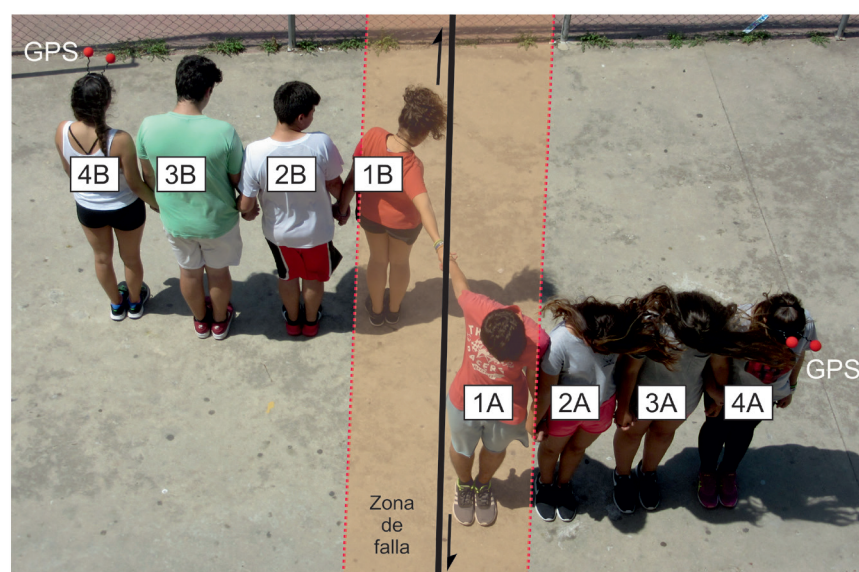
Al oír una palmada (estudiante encargado) las dos filas se desplazarán en el sentido correspondiente aproximadamente medio pie. Los alumnos-as deben permanecer lo más juntos posible. Se escoge una distancia pequeña (15 cm) para simular el movimiento continuo y lento de los bloques de falla. Después de 2 avances (dos palmadas) (Fig. 3B), el profesor-a plantea las siguientes cuestiones:



Fig. 3. A. Alumnado situado en la posición inicial representando los dos bloques de falla. B. Alumnado en la etapa 2. Aunque en estas fotografías los estudiantes de los extremos aparecen ya con las diademas (GPS) recomendamos que se pongan más tarde, en la etapa 3 (después de la pregunta 6). Nosotros entregamos las dos diademas a dos voluntarios que deben colocarlas donde crean conveniente (es un momento para el debate).

- (1) ¿Se han movido de forma relativa los bloques de falla? *Si*
- (2) ¿Ha habido movimiento en la superficie de falla? *No, las manos de los dos estudiantes que están mirando en sentidos opuestos siguen unidas, no hay desplazamiento relativo entre ellas en la misma superficie de falla.*
- (3) Cada fila de estudiantes (cada bloque de falla) ha realizado dos avances (unos 30 cm en total) ¿Cuál ha sido el desplazamiento total de los bloques de falla? *60 cm. Permite introducir al alumnado el concepto de velocidad relativa, y de que todos los bloques de falla del planeta se están moviendo (ninguno está fijo).*

Nota: la actividad se puede repetir con las dos filas de alumnos-as mirando en el mismo sentido, de forma que una fila avance 15 cm cada palmada y la otra 45 cm. El resultado sería el mismo.



## Etapa 3: continúa el desplazamiento de los bloques de falla

Damos dos palmadas más (en cada palmada las dos filas se desplazan unos 15 cm). En este momento cada fila ha realizado cuatro avances que suponen un total de 60 cm cada una y un desplazamiento total aproximado entre las dos filas de 120 cm (Fig. 4).

Fig. 4. Alumnado en la etapa 3, con los brazos muy estirados de los estudiantes 1A y 1B. Se ha sombreado la zona de deformación (zona de falla).



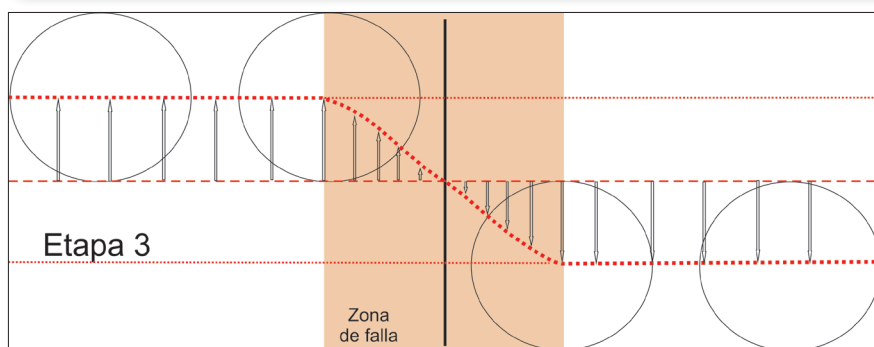


Fig. 5. A. Detalle de la figura 4 en el que se indica la posición de muñecas, codos y hombros de los estudiantes 1A y 1B. Compárese con la posición del resto de estudiantes de ambas filas. B. Esquema que muestra cómo el desplazamiento está bloqueado en la falla y va incrementándose conforme nos alejamos a un lado y otro de la falla. A partir de una cierta distancia, el desplazamiento es constante (máximo).

Se hace una nueva parada y volvemos a plantear cuestiones. Repetimos las dos primeras de la parada anterior y planteamos otras nuevas:

- (1) ¿Se han movido de forma relativa los bloques de falla? **Si**
- (2) ¿Ha habido movimiento en la falla? **No, las manos de los dos estudiantes que están mirando en sentidos opuestos siguen unidas, no hay desplazamiento relativo entre ellas**
- (4) ¿Qué ocurre entre los estudiantes 1A y 1B? Compara la posición de sus:
  - a) Manos, b) Muñecas,
  - c) Codos, y d) Hombros (Fig. 5)

**Explicación del profesor-a:** el movimiento sigue bloqueado en la falla, es cero (las manos de los dos estudiantes enfrentados siguen unidas). Sin embargo, existe una zona a lo largo del brazo (zona de deformación o zona de falla) en la que el desplazamiento se incrementa paulatinamente. Las muñecas de los dos estudiantes enfrentados se han desplazado unos pocos centímetros, los codos algo más y los hombros de ese mismo brazo aún más.

Sin embargo, a partir de los hombros más alejados a la mano, observamos que el desplazamiento es máximo e igual para el resto de los estudiantes presentes en las filas. El bloqueo de la superficie de falla por su superficie irregular (asperezas) está representado por las manos unidas de los estudiantes 1A y 1B. En esta etapa la tensión se va acumulando en los brazos de estos dos estudiantes enfrentados. Se acumula deformación (elástica) en una banda que recibe el nombre de zona de falla (Figs. 2, 4 y 5).

- (5) ¿Qué ocurre entre los estudiantes 2, 3 y 4 de cada fila? *Se desplazan sin tener ninguna resistencia al movimiento. No existe desplazamiento relativo entre ellos. Representan los bloques rígidos de falla donde no se acumula deformación.*
- (6) Si formases parte de un equipo científico y tuvieses que ubicar dos GPS para saber cuánto se mueven los bloques de falla cada año, ¿dónde colocarías los GPS? ¿Qué pasaría si los colocases en las manos de los dos estudiantes enfrentados (1A y 1B)? ¿Y en los estudiantes más alejados?

**Los GPS (diademas) se deben colocar en posiciones suficientemente alejadas (a partir del segundo estudiante de cada fila), fuera de la zona de deformación elástica. Esto nos permite obtener el máximo valor de desplazamiento anual. Si queremos conocer la deformación interna de la zona de falla tendríamos que colocar una densa red de GPS entre los hombros de los dos estudiantes enfrentados.**

*Nota:* la utilización de las diademas proporciona un momento divertido a la actividad que permite, de forma visual, conocer qué representan las tasas de desplazamiento de las fallas.

#### Etapa 4: separación de las dos filas (terremoto)

Damos una palmada más, y conseguiremos que las filas de estudiantes (bloques de falla) se hayan desplazado 150 cm. Ésta es, aproximadamente, la distancia máxima que los estudiantes enfrentados 1A y 1B, con sus brazos totalmente estirados, podrán llegar a alcanzar sin soltarse (lógicamente varía dependiendo de los estudiantes elegidos). En la siguiente palmada las manos se soltarán y se liberará la tensión acumulada (Fig. 6). Una posibilidad divertida es que en ese momento el resto del alumnado de clase mueva mesas y sillas simulando que esa liberación de energía ha originado un terremoto.



Fig. 6. Alumnado en la etapa 4, soltando sus brazos y recuperando la posición del resto de compañeros de su fila.

El profesor-a hace una puesta en común: este momento representa el nivel crítico en el que se produce la ruptura y la liberación de energía elástica acumulada (terremoto). La separación entre las dos filas equivale al salto de falla (Fig. 2). Se recuerda al alumnado que la magnitud de un terremoto depende del tamaño de la superficie de ruptura y, también, del salto de falla.

El profesor-a, dependiendo del nivel educativo y del tiempo disponible puede plantear alguna cuestión adicional.

(7) ¿De dónde proviene la energía liberada?

**De la deformación elástica acumulada en la zona de falla. La “tensión” en los cuerpos de los alumnos-as 1A y 1B se libera repentinamente cuando se sueltan las manos y recuperan una nueva posición de reposo, similar a la del resto de estudiantes de su fila.**

(8) ¿Qué ocurriría si los alumnos-as tuvieran unos brazos más largos, de 2 metros? *La anchura de la banda de deformación sería mayor y no sólo afectaría a los dos estudiantes enfrentados (1A y 1B). Los estudiantes situados en la segunda posición de la fila también girarían sus cuerpos forzados por los estudiantes 1A y 1B. Este ejemplo sirve para explicar que las rocas de la corteza terrestre soportan una determinada cantidad de deformación elástica dependiendo de sus propiedades mecánicas. La máxima magnitud de los terremotos tiene un límite que depende de las características reológicas de las rocas de nuestro planeta (no se tiene constancia hasta hoy que ningún terremoto registrado haya superado la magnitud 9.5).*

(9) ¿Pueden producirse más terremotos en esta falla?

*Esta respuesta es de las más difíciles porque necesita una explicación adicional por parte del profesorado. Cuando se produce un terremoto en una falla real, se genera un desplazamiento a lo largo de la superficie de ruptura. La ruptura se va propagando desde un punto central (foco sísmico) hasta que se detiene (vuelve a quedar “enganchada” por nuevas asperezas). De hecho, este proceso de “enganche” tarda un cierto tiempo, que va acompañando de desplazamientos más pequeños a lo largo de toda la superficie de ruptura (réplicas del terremoto principal).*

Nota: si el profesorado lo estima oportuno, puede añadir otras dos filas de 4 estudiantes a cada una de las dos filas que se han desplazado, pero mirando en sentido contrario. Se habrán formado dos filas de ocho estudiantes paralelas entre sí. Se repite de nuevo la experiencia.

(10) ¿De qué dependerá que la falla tarde más o menos tiempo en desplazarse y provocar un terremoto?

*De la tasa de desplazamiento de los bloques y de las características reológicas de las rocas. Si los pasos son de 30 cm cada palmada, el "terremoto" se producirá antes.*

## Sugerencias prácticas

El potencial de esta actividad radica en su sencillez y en la "participación teatral" que realiza el alumnado, que rompe la monotonía de la clase convencional. La experiencia permite que, a posteriori, el profesorado realice actividades complementarias sobre geología y terremotos.

Entre las numerosas posibilidades sugerimos dos:

- (1) "La máquina del terremoto, recurso que destaca por su sencillez y su enorme potencial didáctico. La "máquina" y la actividad fue desarrollada por primera vez por Hall-Wallace (1998). El artículo original, publicado en *Journal of Geoscience Education*, puede consultarse en <http://tremor.nmt.edu/activities/stick-slip/canpredict.htm>. Con un ladrillo, una goma elástica y una superficie rugosa (p.ej. papel de lija) se puede modelizar el comportamiento de una falla y el alumnado, a través de una sencilla actividad, logrará avanzar significativamente en el conocimiento de los terremotos y su relación con las fallas. La propuesta original de Hall-Wallace (1998), ha sido desarrollada por diferentes docentes y divulgadores de las Ciencias de la Tierra. En muchas páginas web aparecen guiones adaptados a diferentes niveles educativos, así como información sobre diversos materiales para su construcción.
- (2) Visitar el mapa de fallas activas de la península Ibérica (alojado en la página web del IGME). <http://info.igme.es/qafi/> para conocer si hay fallas activas en el entorno del centro educativo o investigar qué fallas han podido producir algunos terremotos recientes "mediáticos".

## Referencias y otros recursos de interés

- 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.
- Hall-Wallace, M.K. (1998). Can earthquakes be predicted? *Journal of Geoscience Education*, 46, 439-449.
- IGME (2015). QAFI v.3: Quaternary Active Faults Database of Iberia. Accessed "DATE", from IGME web site: <http://info.igme.es/QAFI>

## Autores



**Juan Antonio López Martín**  
IES Ramón Arcas (Lorca, Murcia)  
[juanantonio@iesramonarcas.es](mailto:juanantonio@iesramonarcas.es)



**Manuel González Herrero**  
IES La Arboleda (El Puerto de Santa María, Cádiz)  
[mfglezh@gmail.com](mailto:mfglezh@gmail.com)



**Pedro Alfaro García**  
Universidad de Alicante  
[pedro.alfaro@ua.es](mailto:pedro.alfaro@ua.es)