

ESTIRANDO MONTAÑAS

Pliegues, fallas y aplicaciones de la geología estructural

Pablo J. Torres Carbonell
torrescarbonell@cadic-conicet.gob.ar



Dentro del amplio campo de aplicación de la geología existe una disciplina llamada geología estructural que se dedica al estudio de la deformación de las rocas. Este tipo de investigación, llevada a cabo en el CADIC por el Laboratorio de Geología Andina, permite entre otras cosas entender la manera en que se formó la cadena montañosa que en Tierra del Fuego conocemos como Andes Fueguinos y tiene implicancias en el campo de la exploración de recursos naturales, además

de servir de base y complementarse con otro tipo de estudios geológicos.

DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS

¿Cómo es posible que los sedimentos depositados en el fondo del mar hace más de 100 millones de años hoy formen montañas que superan los mil metros de altura en una de las más bellas porciones de la Cordillera de los Andes? Cuando se estudia la deformación de

las rocas se busca, entre otras cosas, respuestas a este tipo de preguntas.

Una roca deformada es aquella que, al haber sido sometida a un esfuerzo compresivo (que comprime al material), ha sufrido un cambio de forma o de tamaño. Cuando la magnitud del esfuerzo excede la resistencia del material, se produce la deformación.

El cambio de forma es el proceso más fácil de apreciar en las rocas deformadas. Se puede entender comparando las fotos de la **figura 1**, que

muestran rocas de distintas partes de los Andes Fuegoños. La columna de la izquierda muestra rocas sedimentarias que no han sufrido cambios de forma y, por lo tanto, se observa aproximadamente la geometría que tenían esas rocas cuando eran sedimentos en el fondo marino, incluyendo la horizontalidad original de los estratos (o capas) y su espesor aproximadamente constante. En la segunda columna, por el contrario, se muestran rocas sedimentarias que evidentemente han cambiado de forma:

no son horizontales ni tienen un espesor constante, y la geometría es claramente distinta de las del ejemplo anterior. Entendiendo de esta manera los cambios de forma, se puede afirmar ciertamente que parte de las rocas sedimentarias de los Andes Fuegoños están notablemente deformadas.

Los esfuerzos responsables de la deformación de estas rocas durante la generación de los Andes Fuegoños actuaron desde hace aproximadamente cien millones de años hasta hace poco más de 15 millones

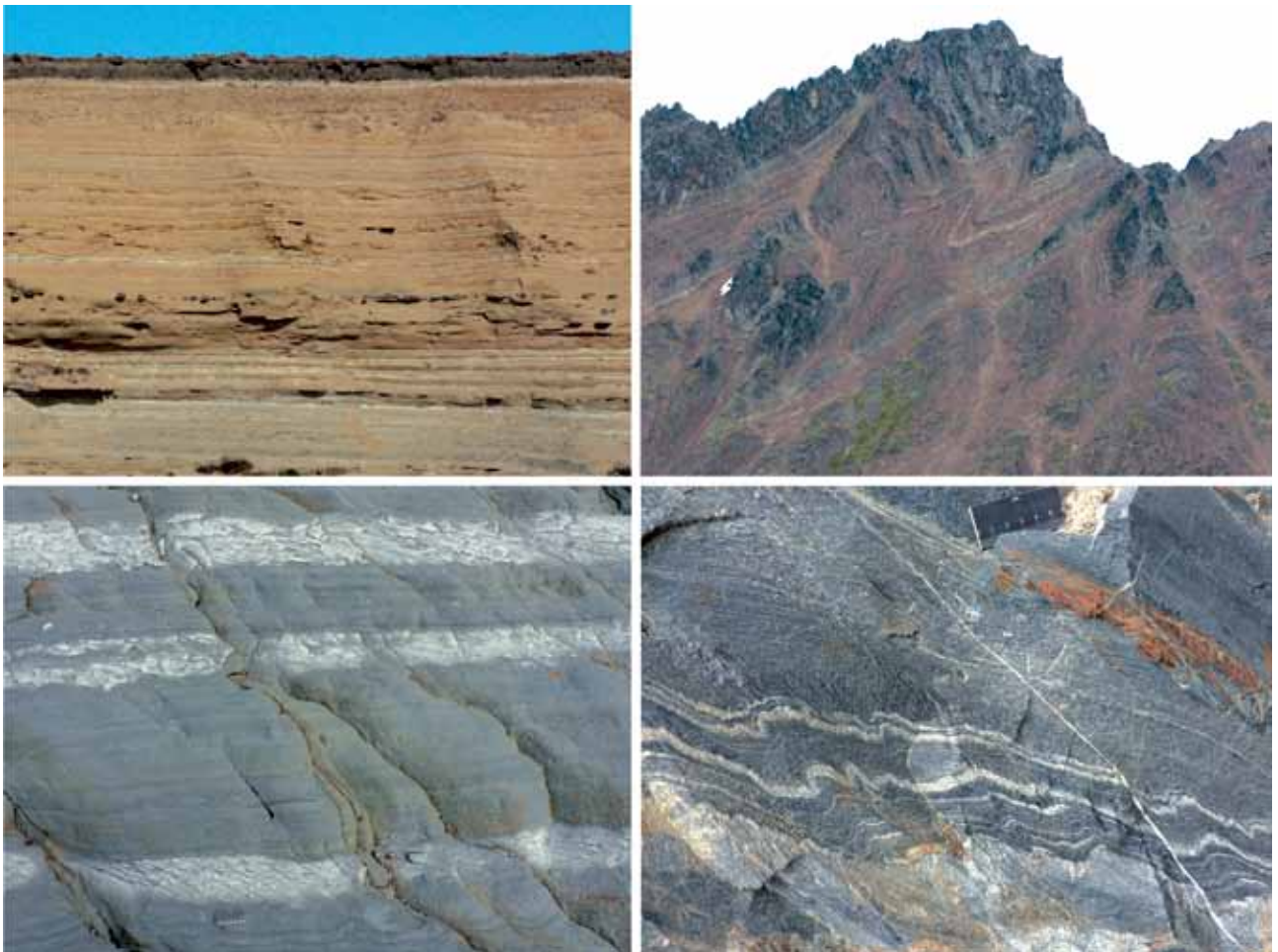


Figura 1: Ejemplos de rocas sedimentarias sin cambio de forma (columna izquierda) y con cambio de forma (columna derecha).

de años, comprimiendo intensamente a las rocas sedimentarias formadas en una cuenca marina (**figura 2**). La deformación de esas rocas se manifiesta principalmente mediante dos procesos: el plegamiento y el fallamiento. El primero, como su nombre lo indica, comprende la formación de ondulaciones en una superficie originalmente horizontal (**figura 3a - pág. sig.**), mientras que la formación de fallas (fallamiento) involucra la rotura y el movimiento de la roca a ambos lados de esa rotura (**figura 3b pág. sig.**). En general, esos dos procesos son los principales responsables de la deformación de las rocas en la mayoría de las cadenas montañosas.

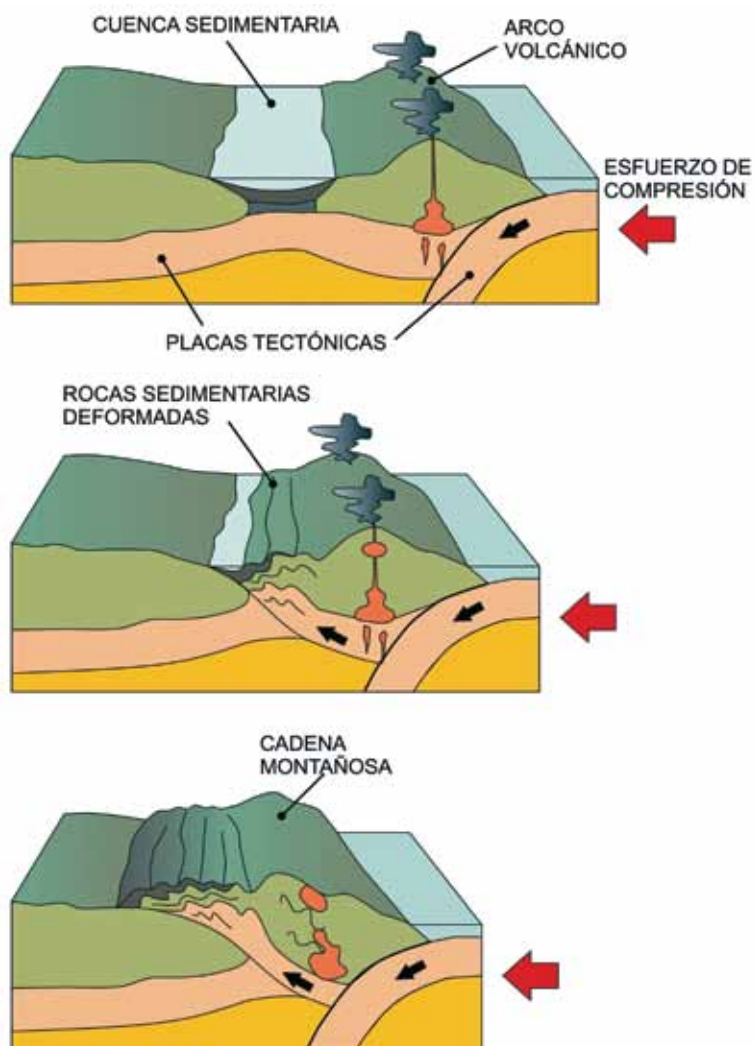


Figura 2: Ejemplo de deformación de una cuenca sedimentaria y la consiguiente formación de una cadena montañosa.

MIDIENDO LA DEFORMACIÓN

¿Qué información se puede extraer del estudio de la deformación de las rocas? Además de afirmar que las rocas de los Andes Fueguinos efectivamente están deformadas, sería posible, profundizando un poco el análisis, cuantificar esa deformación. Esto quiere decir que se puede medir, o al menos estimar, cuánto cambiaron de

forma y mediante qué procesos geológicos.

Un par de ejemplos concretos permitirán estimar la cantidad de deformación de rocas de la cordillera Fueguina. En el primer caso (**figura 4**), se observa una serie de pliegues en rocas sedimentarias del cerro Portillo, que puede verse desde la Ruta 3 frente al monte Olivia. Claramente, las rocas han perdido por completo su horizontalidad original, formando una

serie de pliegues de los cuales es posible trazar la geometría aproximada (líneas rojas en la figura). Asumiendo que los estratos eran originalmente horizontales y planos, se puede calcular la cantidad de acortamiento (la pérdida de longitud) que produjo la formación de estos pliegues, que entre los puntos A y B tienen actualmente una separación de 276 metros. Si se mide la longitud real a lo largo de las líneas dibujadas y se "estiran" imaginariamente

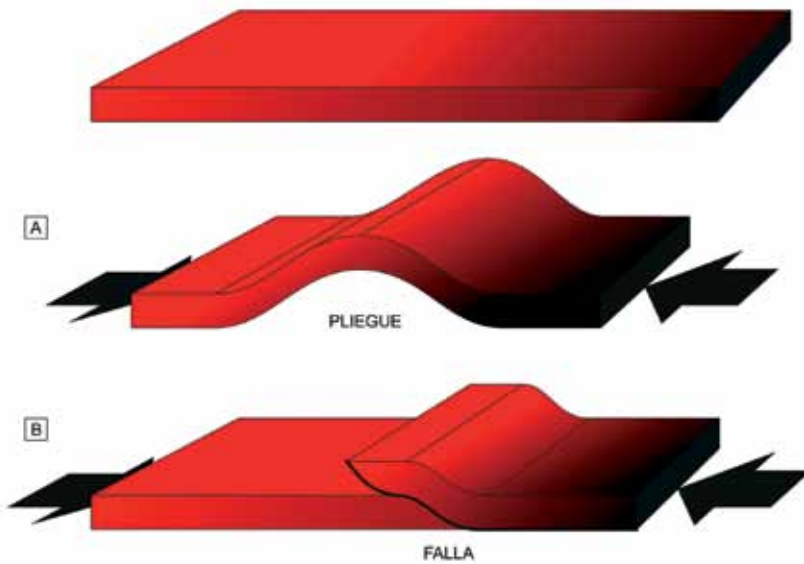


Figura 3: Procesos de deformación de rocas.

hasta adquirir esa longitud, la distancia entre los puntos A y B alcanza 379 metros. Se asume que esa era la forma de los estratos antes de la deformación y, por lo tanto, esa era su longitud original, obteniendo entonces que el acortamiento al que fueron sometidos fue de 103 metros.

Existe un margen de error, ya que la longitud real a lo largo de los estratos puede haber variado por distintos procesos geológicos durante la deformación. Por lo tanto, el acortamiento calculado en este caso es un valor mínimo, es decir, se puede hablar de por lo menos 103 metros de acortamiento.

El ejemplo de la figura 4 indica la cantidad de deformación a nivel local, en el sector específico donde fue medida. A simple vista, pareciera que no se puede extraer mucha más información, y que ésta no re-

sulta significativa a la escala de la cadena montañosa. Sin embargo, la tarea de los geólogos estructuralistas implica realizar este ejercicio en numerosos ejemplos locales, realizando observaciones cuidadosas que permitan conectar cada caso entre sí para lograr una cuantificación regional de la deformación.

En la figura 5 se muestra un ejemplo del resultado de estos estudios, realizados por el autor y colegas en el sector norte de los Andes Fueguinos, lindante con la costa del Atlántico. Allí se identifican con

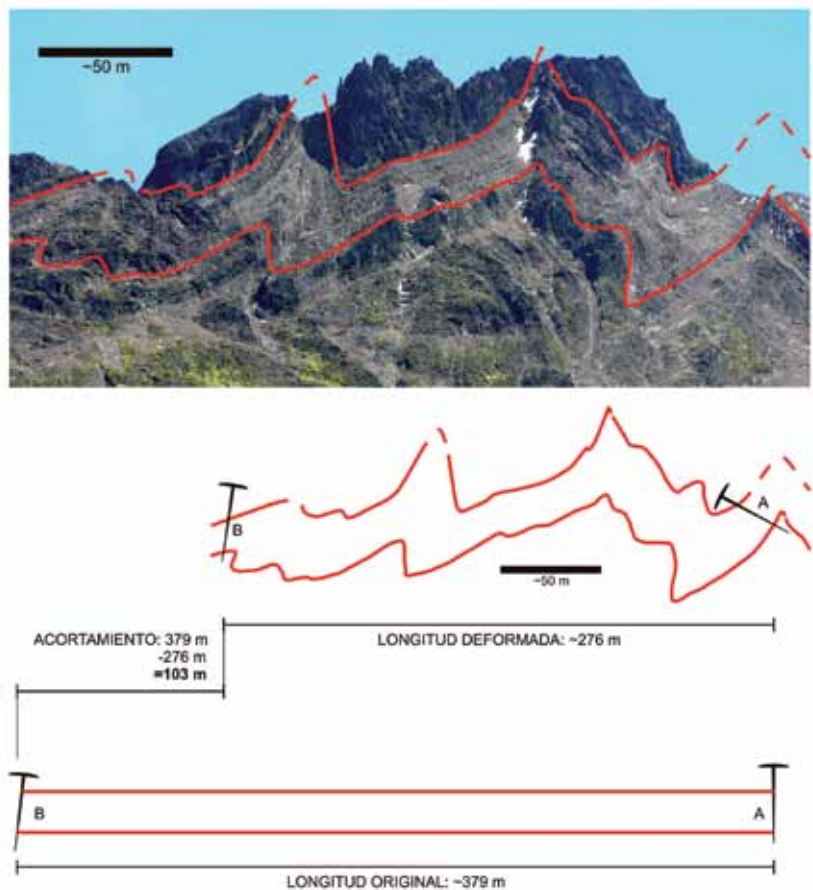


Figura 4: Medición de la deformación de las rocas del cerro Portillo, cerca de Ushuaia. Asumiendo que los estratos mantienen su longitud original, pueden ser "estirados" hasta recuperar su forma antes de la deformación, y el acortamiento se obtiene sencillamente como la diferencia entre la longitud original y la longitud deformada.

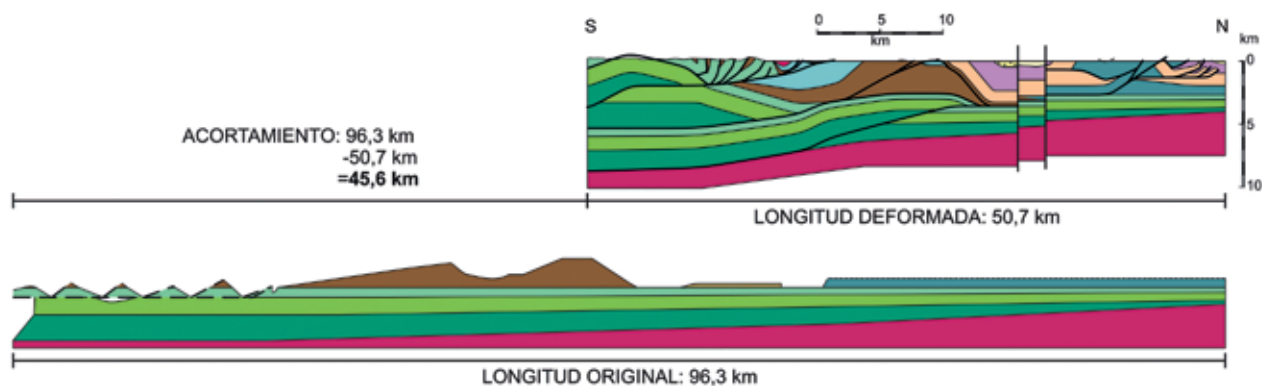


Figura 5: Ejemplo del cálculo del acortamiento regional en el frente de los Andes Fueguinos en la costa Atlántica, a partir de la integración de estudios detallados en distintos sectores de Tierra del Fuego. Tomado de trabajos del autor y colegas.

distintos colores las diferentes rocas sedimentarias reconocidas, que formaban parte del relleno de una cuenca marina. Se detalla esquemáticamente la geometría actual de las rocas deformadas, donde se observan pliegues y fallas (marcadas por líneas gruesas), y debajo una interpretación de su forma y posición original en la cuenca sedimentaria. Es el mismo ejercicio realizado en la **figura 4**, pero a escala regional; y a partir de esa interpretación se puede calcular el acortamiento mínimo asociado a esa porción de los Andes Fueguinos, que es de aproximadamente 45 kilómetros. Esto quiere decir que la formación del frente montañoso en la costa Atlántica involucró el acortamiento de rocas sedimentarias que originalmente tenían una extensión de al menos 96 kilómetros.

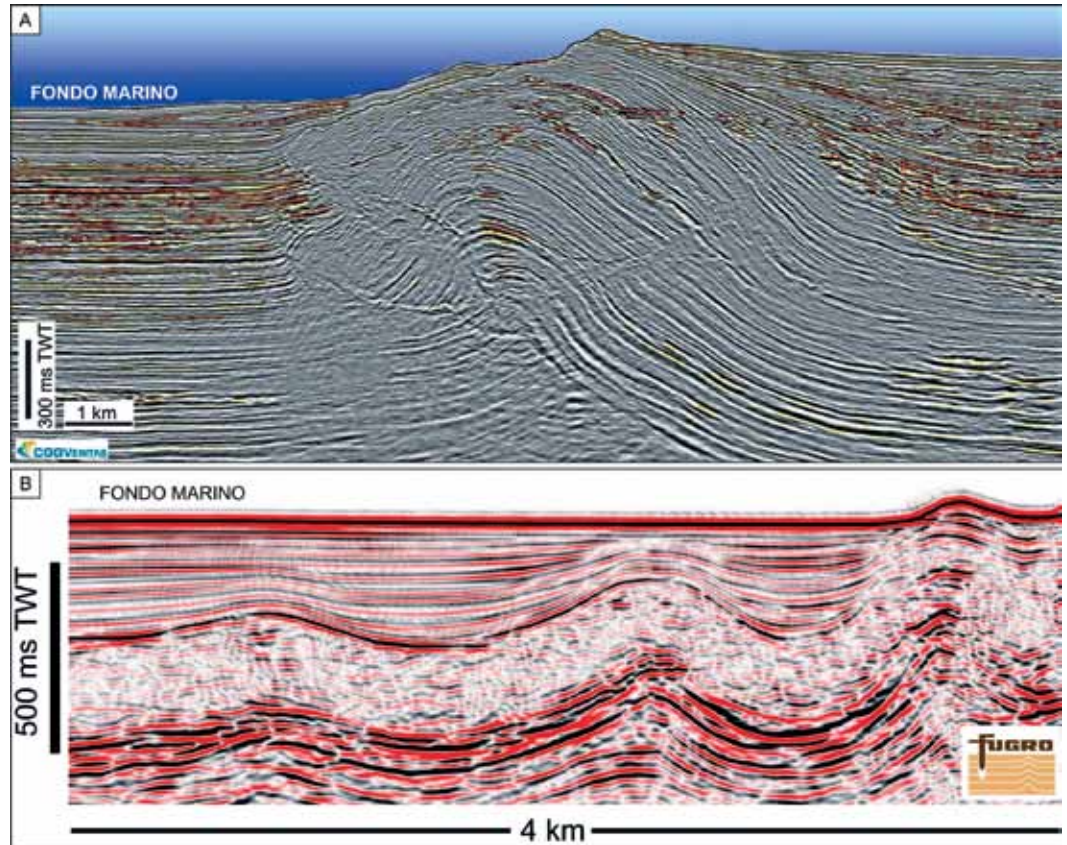
APLICACIONES DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Además del interés científico que tienen los estudios de la deformación de las rocas para entender los procesos formadores de montañas, las aplicaciones incluyen la asistencia técnica en el diseño de construcciones civiles, donde se evalúa el riesgo de desmoronamientos y la resistencia de las rocas; la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un área en cuanto a la actividad de fallas; el diseño de yacimientos mineros; y la solución de problemas exploratorios en cuencas con producción de hidrocarburos, como la cuenca Austral en nuestra Provincia. Por ejemplo, los pliegues en las rocas sedimentarias suelen formar uno de los tipos más comunes de trampas de hidrocarburos, en donde los estratos

plegados actúan como bóvedas que alojan al petróleo y el gas, evitando que migren hacia la superficie y permitiendo que sean recuperados mediante perforaciones. Por lo tanto, la correcta descripción geométrica de los pliegues es de vital importancia a la hora de delimitar un yacimiento, calcular reservas, etc. En esos casos, sin embargo, las estructuras se encuentran a gran profundidad, y por lo tanto no se cuenta con afloramientos como los de la figura 4. Es allí donde los modelos desarrollados en zonas mejor expuestas, como el de la figura 5, pueden ser extrapolados para asistir al geólogo en la delimitación de una estructura profunda. Adicionalmente, se utilizan técnicas de prospección geofísica, como la sísmica de reflexión (figura 6), y sondeos mediante pozos o perforaciones.

El estudio de la deformación de las rocas, por lo tanto, es una disciplina fundamental

Figura 6: Ejemplos de sísmica de reflexión (obtenidas de la web Virtual Seismic Atlas www.seismicatlas.org). A: "Complejo de pliegues y fallas en Nigeria", y B: Pliegues en el fondo del mar Jónico (Italia), Autor: R. Butler. La escala vertical (TWT) indica el tiempo en milisegundos que la onda sísmica demora en el viaje ida y vuelta a cada estrato sedimentario.



dentro de la geología, con aplicaciones tanto en la generación de conocimiento científico básico como en la asistencia de obras civiles y el diseño detallado de modelos estructurales con fines exploratorios en la actividad minera y petrolera. Los estudios de este tipo que se llevan a cabo en el Laboratorio de Geología Andina del CADIC se complementan con análisis sedimentológicos y paleontológicos con la finalidad de contribuir al conocimiento de la formación y configuración actual de los Andes Fueguinos, y de los recursos geológicos asociados a esta cadena montañosa.

Glosario

Acortamiento: magnitud que indica la pérdida de longitud de un conjunto de estratos, o cualquier otro tipo de roca, ante la deformación a la que son sometidas.

Afloramientos: partes de una formación rocosa que están expuestas en la superficie terrestre.

Esfuerzo: fuerza aplicada a una superficie dada, medida en unidades de presión.

Estratos: cuerpos de roca de forma aproximadamente tabular, también llamados capas, característicos de rocas sedimentarias.

Fallamiento: fenómeno por el cual se forman fallas, que son rupturas en la roca a lo largo de las cuales se produce desplazamiento.

Geometría: en geología, la geometría de las rocas se refiere a la descripción de su forma y disposición en el espacio.

Plegamiento: fenómeno por el cual se forman pliegues, u ondulaciones, cambiando la forma original de la roca.

Sísmica de reflexión: técnica de prospección mediante la cual se generan ondas sísmicas en la superficie terrestre (usando detonaciones) y se mide el tiempo en que éstas son reflejadas (rebotan) en las capas sedimentarias del subsuelo, y detectadas nuevamente en la superficie. De esta manera se obtiene una "foto" de la geometría de las rocas en profundidad.