

---

## 7 DEPENDENCIA TEMPORAL DE $Q_c$

---

### 7.1 Introducción

Diversos trabajos han puesto de manifiesto la variación temporal de la atenuación y, consecuentemente, la migración espacio-temporal de zonas con valores de  $Q$  bajos, que están relacionadas con la sismicidad y la peligrosidad sísmica. Jin y Aki (1988) pudieron establecer este hecho para la región norte de China. En esta región era bien conocido por los sismólogos que el área de grandes sismos migró desde el norte hacia el este de China en algunos cientos de años.

Aki (1984) describe 5 casos de evidencias de cambios temporales del factor  $Q$  encontrados en la literatura u obtenidos a través de comunicaciones personales de otros investigadores.

- Cambio de  $Q$  asociado a sismos locales en un emplazamiento geotermal en Los Alamos (*Hot Dry Rock*) antes y después de presurizar el sistema de fracturas. El factor  $Q$  decreció por causa de la presurización, probablemente porque ésta causó un aumento en el número de fracturas abiertas debido al incremento de presión (Fehler, 1979).
- Cambio de  $Q$  de coda de sismos locales registrados en el cráter del Monte St. Helen antes y después de una erupción menor.  $Q$  era más bajo antes que después de la erupción. Este hecho también puede ser explicado por el aumento de la presión poco antes de la erupción.
- La  $Q_c$  de sismos locales de pequeña entidad presentaba valores bajos 2 años antes del sismo de Tangshan de 1976 (Norte de China). Una anomalía similar también fue observada antes de ciertos precursores de gran tamaño, sugiriendo que  $Q_c$  puede ser un precursor útil para una predicción.

- Cambios anómalos en la envolvente de pequeños terremotos locales antes de 3 grandes terremotos en la región de Kuril-Kamchatka.  $Q_c$  disminuyó un 20% alrededor de un año antes del terremoto.
- Otros cambios anómalos antes de grandes terremotos han sido asociados con períodos de aumento del parámetro  $b$  de la ley tectónica  $\log N = a - b \cdot M$ .

En general, se asocian valores bajos de  $Q$  con períodos de baja sismicidad y, por lo tanto, valores grandes de  $b$ .

Aki (1984), interpreta la relación positiva entre  $Q$  y  $b$  en los siguientes términos. Supongamos que en una región sismogénica se tienen pequeñas y grandes fracturas que son los núcleos, respectivamente, de potenciales terremotos pequeños y grandes. Supongamos que las fracturas grandes tienen mayores relaciones de aspecto y tienen mayor facilidad para progresar o cerrarse que las pequeñas, dependiendo de las características de los esfuerzos tectónicos. Entonces,  $b$  correlaciona positivamente con  $Q$  ya que si las fracturas grandes se cierran,  $b$  crece y  $Q$  crece.

Sin embargo, en el caso del Monte St. Helen, se halló una correlación negativa entre  $Q_c$  y  $b$ . El valor de  $b$  fue de 0.9 antes de la erupción y decreció a 0.6 tras la erupción. La misma tendencia ha sido observada en otras erupciones volcánicas. Este fenómeno se explica debido a que en el caso de los volcanes, la frecuencia de sismos relativamente grandes no varía mientras que el número de sismos pequeños se reduce tras la erupción ya que esta provoca una caída de la presión.

Por tanto,  $b$  puede crecer o decrecer cuando las fracturas se cierran dependiendo de si lo hacen las grandes o las pequeñas respectivamente.

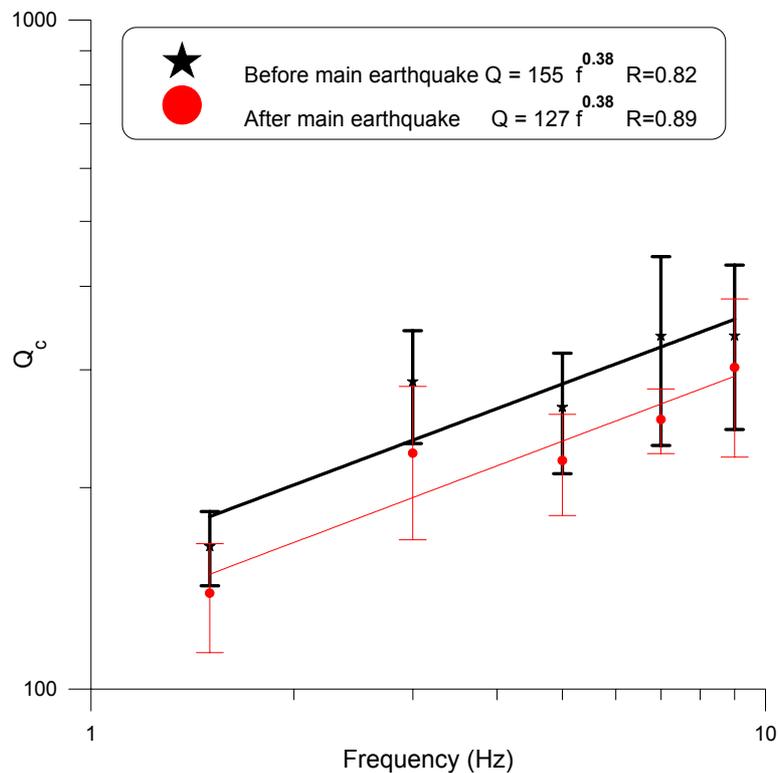
Aki concluye que la  $Q$  de coda es un indicador más fiable de la situación de esfuerzo que  $b$  ya que el aumento en  $Q$  siempre corresponde a un cierre de fracturas.

En este capítulo se analiza la variación temporal de  $Q_c$  antes y después del sismo de Mula,  $M_s=4.8$ , ocurrido el 2 de febrero de 1999, y del sismo de Lugo, de magnitud 5, ocurrido el 22 de mayo de 1997.

## 7.2 Crisis de Mula (Murcia).

Para analizar la dependencia temporal de  $Q_c$  se han separado los eventos anteriores y posteriores al sismo principal y se ha realizado una media de los valores de  $Q_c$  hallados. A continuación se ha ajustado la ley frecuencial para los factores de calidad resultantes antes y después del sismo principal. La figura 7.1 muestra los ajustes obtenidos. Antes del sismo se obtiene  $Q_c = 155 \cdot f^{0.38}$  y después  $Q_c = 127 \cdot f^{0.38}$ , es decir, la atenuación después de la crisis sísmica aumenta.

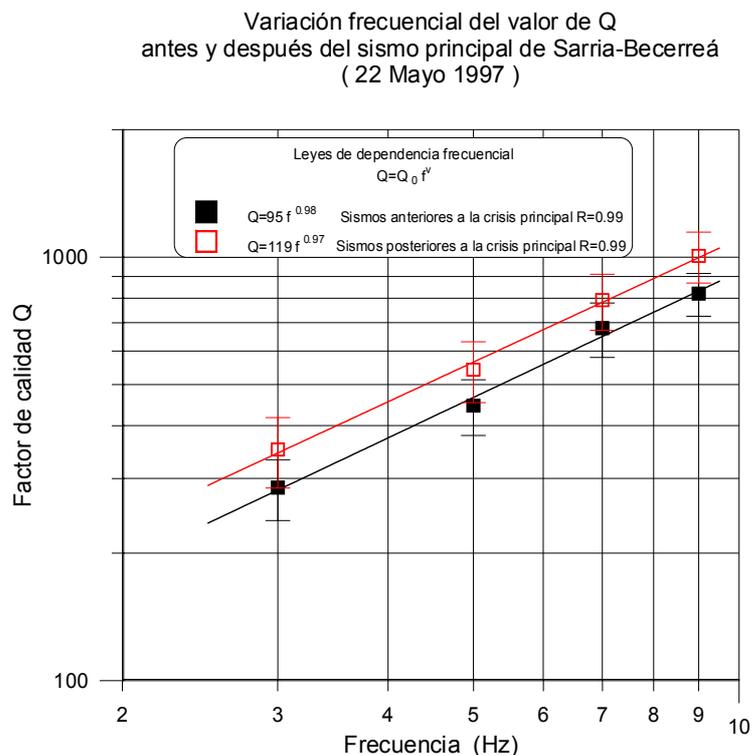
Esta situación sería compatible con un cierre de fracturas antes de la crisis sísmica y una apertura posterior durante la relajación de los esfuerzos.



**Figura 7.1** Dependencia frecuencial de  $Q_c$  en la región de Murcia antes y después de la crisis de Mula (2 de febrero de 1999).

## 7.2 Crisis sísmica de Lugo

Para esta crisis se ha procedido de forma análoga a la desarrollada en el apartado anterior. La figura 7.2 muestra los resultados obtenidos.



**Figura 7.2** Dependencia frecuencial de  $Q_c$  en la región de Lugo antes y después de la crisis de Sarria, Becerreá y Triacastella (22 de Mayo de 1997).

Antes de la crisis se obtiene  $Q_c = 95 \cdot f^{0.98}$  y después  $Q_c = 119 \cdot f^{0.97}$ , es decir,  $Q_c$  aumenta tras la crisis. Esta situación sería compatible con un cierre de las grandes fracturas después de la crisis.

## 7.4 Discusión

De acuerdo con Aki (1984), los regímenes tensionales anteriores a las crisis sísmicas serían opuestos en los sismos de Murcia y de Lugo ya que el comportamiento de  $Q_c$  antes y después de la crisis es inverso en el caso de Murcia.

En el segundo informe general del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 1999) se presenta una determinación preliminar del mecanismo focal del terremoto principal del 2 de febrero de 1999 de la serie sísmica de Mula. El mismo mecanismo recogen Henares y López Casado (2001). El mecanismo se asocia a una falla normal y por lo tanto se trataría de un episodio, probablemente distensivo, que explicaría la disminución de  $Q$  después del evento.

La crisis sísmica de Lugo ha sido estudiada con detalle por Rueda (2000). El mecanismo focal se asocia a una falla inversa de empuje con dirección NE-SO compatible con un episodio tensional de tipo compresivo, de características opuestas al de Mula. Esto explicaría que la variación observada en  $Q$  también siguiera un patrón inverso con una disminución de  $Q$  antes del sismo principal.

Aunque los datos utilizados no son muchos, el análisis de la variación de  $Q_c$  inmediatamente antes y después de los sismos principales de Lugo y Mula apuntan a la existencia de variaciones significativas de  $Q_c$ . El signo positivo o negativo de esta variación estaría relacionado con la tectónica de la zona. En episodios compresivos,  $Q$  sería menor antes que después del sismo, de acuerdo con el trabajo de Aki (1984). En episodios distensivos, la variación sería la contraria.

A nuestro entender, dos son las causas de esta variación: Por un lado es válida la explicación de Aki (1984). La relajación de un episodio compresivo conlleva un aumento de  $Q$  (cierre de fracturas). Por otro, el episodio se resuelve en una compactación del medio y aumento de la velocidad de las ondas sísmicas.

Contrariamente, la resolución de un episodio distensivo sería compatible con un aumento de la atenuación debido a que los fenómenos físicos inducidos en el medio consisten en la reapertura de fracturas, la desconsolidación del medio y una disminución de la velocidad de las ondas sísmicas.

Sin embargo, en trabajos recientes (Buforn et al., 2001) se asocia el sismo de Mula a un episodio compresivo, lo cual complicaría la explicación de la variación de  $Q_c$  observada en el rango de frecuencias entre 1 y 10Hz.

## 7.5 Conclusión

Debemos concluir, por tanto, que el análisis de dos crisis sísmicas relativamente pequeñas ( $4.8 \leq M \leq 5$ ), ha permitido observar variaciones significativas del parámetro  $Q$  antes y después de un sismo principal.

La variación de la atenuación no tiene siempre el mismo signo. Éste depende del régimen tensional del lugar de ocurrencia. Episodios compresivos llevarían asociado un aumento de  $Q_c$ , mientras que episodios distensivos, una disminución.

No obstante, cabe añadir que se obtiene una baja resolución de los resultados, solapándose, particularmente en el caso de Mula, las barras de error correspondientes a  $Q_c$  antes y después del sismo principal. Por lo que, a pesar de que la tendencia de los cambios sigue los patrones apuntados en el capítulo, no podemos ser contundentes en la afirmación de lo que parece ocurrir antes y después del terremoto en los casos aquí analizados.

Por tanto, el pequeño tamaño de los dos sismos analizados, la escasez de datos disponibles y desacuerdos en las características del mecanismo focal del sismo de Murcia, complican una explicación clara y unívoca de las variaciones observadas, siendo preciso más trabajo, posiblemente con más datos correspondientes a sismos mayores y asociados a mecanismos focales y ambientes tectónicos bien conocidos para establecer las tendencias y causas de las variaciones temporales de  $Q_c$  aquí observadas y discutidas.