

# Terremotos

Don W. Steeples, McGee Profesor de Geofísica, Universidad de Kansas, y Liz Brosius

## Introducción

Aunque rara vez los sentimos, los terremotos no son inusuales. Cada 24 horas ocurren más de 1,000 terremotos en todo el mundo. Los terremotos se producen cuando las rocas que se encuentran debajo de la superficie terrestre se mueven repentinamente a lo largo de las **fallas**, que son fracturas que ocurren en los puntos débiles de la tierra. Este movimiento libera la tensión: energía que han acumulado las fuerzas del interior de la tierra. La fuerza del terremoto depende de la cantidad de tensión liberada.

## Terremotos y placas tectónicas

A fin de entender los terremotos, necesitamos saber sobre la teoría de las placas tectónicas. Según esta teoría, la **litósfera** de la tierra, una envoltura de 120 millas (200 km) de espesor, está dividida en varias losas rígidas, o **placas**, que se deslizan sobre la capa superior del manto (fig. 1). Siete grandes placas oceánicas y continentales han sido identificadas, junto con una serie de placas más pequeñas. Al moverse a velocidades de 10 a 130 milímetros (0.4 a 5 pulgadas) al año, estas placas interactúan entre sí de diversas maneras, produciendo cadenas montañosas, volcanes y terremotos.

Los geólogos han identificado varios tipos de movimientos de las placas asociados con los terremotos. Un ejemplo bien conocido es el movimiento de las placas a lo largo de la falla de San Andrés en California.

Aquí, la Placa Norteamericana y la Placa del Pacífico se rozan una sobre la otra, donde la Placa del Pacífico se mueve hacia el noroeste y la Placa Norteamericana se mueve en la dirección opuesta. Dado que la fricción impide que las placas se deslicen fácilmente una sobre la otra, se acumulan enormes tensiones que se liberan periódicamente con grandes terremotos. Los terremotos de San Francisco de 1906 y de la «Serie Mundial» de 1989 (Loma Prieta) se produjeron a partir de movimientos repentinos a lo largo de este sistema de fallas.

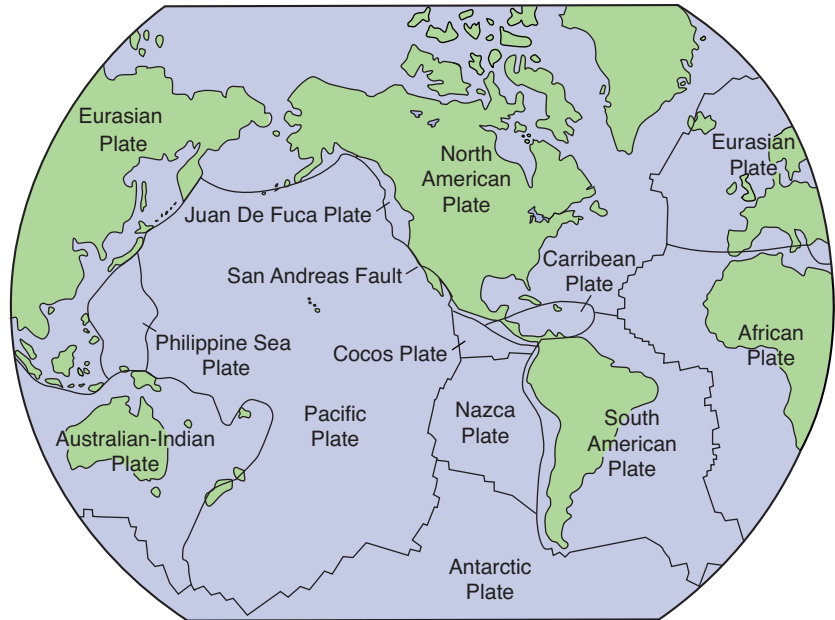


Figura 1. Mapa simplificado de las placas de la corteza terrestre (Servicio Geológico de los EE.UU., 1990, Documento profesional 1515).

A lo largo de la costa occidental de Sudamérica se encuentra un ejemplo de otro tipo de movimiento de placas asociado con la colisión de placas oceánicas y continentales. Aquí, en lo que se denomina como una **zona de subducción**, la Placa del Pacífico es empujada, o subducida, debajo de la Placa Sudamericana, formando una profunda fosa oceánica. Los terremotos a lo largo de este límite son superficiales o profundos, dependiendo de dónde ocurran en la placa descendente. La placa oceánica desciende finalmente hasta una profundidad en la que la temperatura del manto es lo suficientemente alta como para fundir parte de ella en roca fundida, o **magma**. Este magma luego vuelve a la superficie durante

la actividad volcánica, como la que ocurre alrededor del borde del Océano Pacífico, incluida la erupción del Monte Santa Helena en Washington en 1980.

## ¿Dónde ocurren los terremotos?

Alrededor del 98% de todos los terremotos ocurren en zonas bien definidas de todo el mundo, que corresponden a los límites de las placas tectónicas (fig. 2).

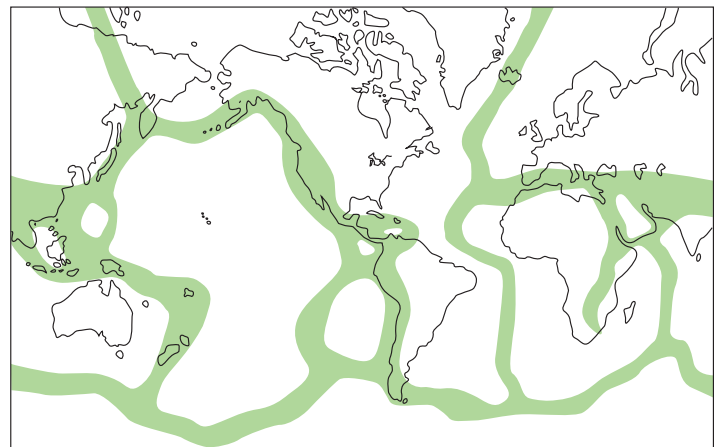


Figura 2. Zonas sísmicas principales de la Tierra (sombreadas en verde). Más del 98% de todos los terremotos ocurren dentro de estas zonas.

El 75% de los terremotos ocurren en la zona que rodea el Océano Pacífico. El 23% ocurren en una zona que va desde el Mar Mediterráneo, pasando por el sur de Asia, hasta China.

El 2% restante de los terremotos, que ocurren en el interior de las grandes placas, no puede explicarse por las placas tectónicas. Ejemplos notables de este tipo de terremotos son los tres terremotos de gran magnitud de Nuevo Madrid, Missouri que sacudieron la mitad del este de los Estados Unidos en el invierno de 1811-1812. En términos de la cantidad de tierra sacudida, estos terremotos fueron los más grandes registrados en la historia de los Estados Unidos.

Los sismólogos clasifican las zonas de los Estados Unidos de acuerdo con la cantidad de daños sísmicos que podrían esperar recibir a lo largo de varias décadas o más (fig. 3). Grandes áreas de California, Nevada, Utah, Idaho y el Parque Nacional de Yellowstone se encuentran en la zona de los principales daños, al igual que otras áreas más pequeñas de Misuri, Carolina del Sur y Nueva Inglaterra. Kansas, en su mayor parte, está clasificada como zona de daños menores, aunque una zona de daños moderados atraviesa el estado desde Nebraska hasta Oklahoma. Los resultados de las investigaciones que proporcionan información sobre el riesgo sísmico de una zona determinada se incorporan a los códigos de construcción locales que usan los arquitectos e ingenieros.

La cantidad de daños que ocurre durante un terremoto está estrechamente relacionada con la geología de un área. Esta relación se observó científicamente por primera vez en el patrón de daños del terremoto de San Francisco de 1906. Los daños más severos ocurrieron en «tierra hecha», donde la gente utilizó relleno para elevar la tierra en zonas que antes estaban por debajo del nivel del mar. Del mismo modo, los mayores daños en San Francisco a causa del terremoto de Loma Prieta de 1989 se produjeron en «tierra hecha», lo que demuestra la desafortunada tendencia de la gente a ignorar las lecciones de la historia.

### Registro y medición de terremotos

Los terremotos generan vibraciones llamadas **ondas sísmicas** que viajan por la tierra en todas direcciones desde el **foco**, el punto bajo la superficie terrestre donde comienza el sismo. El punto de la superficie terrestre situado directamente sobre el foco, donde ocurre la sacudida más fuerte, se denomina **epicentro**. Las

sacudidas disminuyen con la distancia desde el epicentro.

Los sismólogos utilizan instrumentos sensibles llamados **sismómetros** para registrar las ondas. Los sismómetros pueden amplificar electrónicamente las ondas sísmicas más de 10,000 veces y son lo suficientemente sensibles como para detectar fuertes terremotos originados en cualquier parte del mundo.

La hora, la ubicación y la magnitud de un terremoto pueden determinarse a partir de un gráfico de los datos denominado **sismograma**.

A fin de medir la fuerza de un terremoto, los sismólogos utilizan dos tipos de escalas diferentes: escalas de intensidad y escalas de magnitud. La **Escala de intensidad de Mercalli Modificada** mide los terremotos por su efecto sobre las personas y las estructuras. Se desarrolló originalmente en 1902 en Italia y se basa en reportes de periódicos y testigos presenciales. Esta escala también se utiliza para estimar el tamaño, o la magnitud, de los terremotos que se produjeron antes de que existieran instrumentos sensibles para medirlos. Tiene 12 niveles designados por números romanos, que van desde una sacudida imperceptible (I) hasta la destrucción catastrófica (XII) (fig. 4).

La escala de magnitud más fácilmente reconocida es la **escala de magnitud Richter**. Fue desarrollada en 1935 por Charles F. Richter del Instituto de Tecnología de California como un dispositivo matemático para comparar el tamaño de los terremotos. Desde entonces, se han desarrollado otras escalas de magnitud basadas en diferentes fórmulas matemáticas que superan algunas de las limitaciones de la escala de Richter. En los Estados Unidos, la escala más utilizada en la actualidad es la **escala de magnitud de momento**, que se basa en una fórmula que mide con mayor precisión que la de Richter los terremotos medianos y grandes. Dado que los números de la escala de Richter se han hecho tan universalmente familiares, todas las mediciones calculadas con las diferentes fórmulas se convierten en números comparables a los de la escala de Richter.

Al usar registros de ondas sísmicas trazadas en un sismograma, los sismólogos determinan la magnitud matemáticamente con base en el tamaño de las ondas registradas y la distancia calculada entre el foco del terremoto y el sismómetro. Las escalas de magnitud expresan la magnitud en números enteros y fracciones decimales. Cada aumento de la magnitud en un número

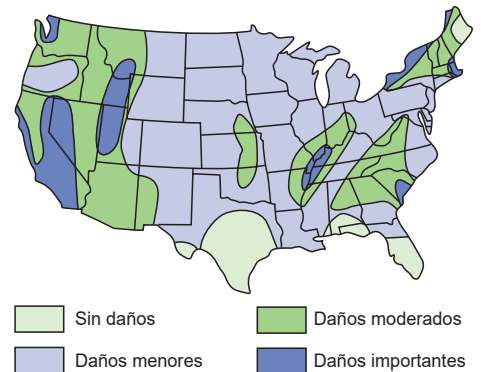


Figura 3. Mapa de riesgo sísmico.

Escala de Mercalli Modificada		Escala de magnitud de Richter
I	Detectado solo por instrumentos sensibles	1.5
II	Pocas personas en reposo lo sienten, especialmente en pisos superiores; los objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar	2
III	Se siente notablemente en interiores, pero no siempre se reconoce como terremoto; los automóviles parados se balancean ligeramente, vibración como la del paso de un camión	2.5
IV	Muchas personas lo sienten en interiores, y pocas en exteriores, por la noche algunos pueden despertarse; platos, ventanas, puertas alterados; los automóviles se balancean notablemente	3
V	La mayoría de las personas lo sienten; algunas roturas de platos, ventanas y yeso; perturbación de objetos altos	3.5
VI	Todos lo sienten, muchos se asustan y corren al exterior; caída de yeso y chimeneas, daños pequeños	4
VII	Todos corren al exterior; los daños en los edificios varían dependiendo de la calidad de la construcción; los conductores de automóviles lo perciben	4.5
VIII	Paredes de paneles arrancadas de sus marcos; caída de muros, monumentos, chimeneas; arena y lodo expulsados; conductores de automóviles perturbados	5
IX	Edificios desplazados de sus cimientos, agrietados, desplomados; suelo agrietado; tuberías subterráneas dañadas	5.5
X	La mayoría de las estructuras de mampostería y armazón destruidas; suelo agrietado, rieles doblados, deslizamientos de tierra	6
XI	Quedan pocas estructuras en pie; puentes destruidos, fisuras en el suelo, tuberías rotas, deslizamientos de tierra, rieles doblados	6.5
XII	Daños totales; ondas vistas en la superficie del suelo, líneas de visión y nivel distorsionados, objetos lanzados al aire	7

Figura 4. Comparación aproximada para el Continente medio estadounidense de la escala de Mercalli Modificada y la escala de Richter en lugares muy cercanos al epicentro.

entero representa un aumento de diez veces el tamaño de la onda medida. En términos de energía, cada aumento de un número entero representa 31 veces más energía liberada. Por ejemplo, un terremoto de magnitud 5.3 libera 31 veces más energía que un terremoto de magnitud 4.3.

El promedio mundial es de unos 20 terremotos al año de magnitud 7.0 o superior. El mayor terremoto

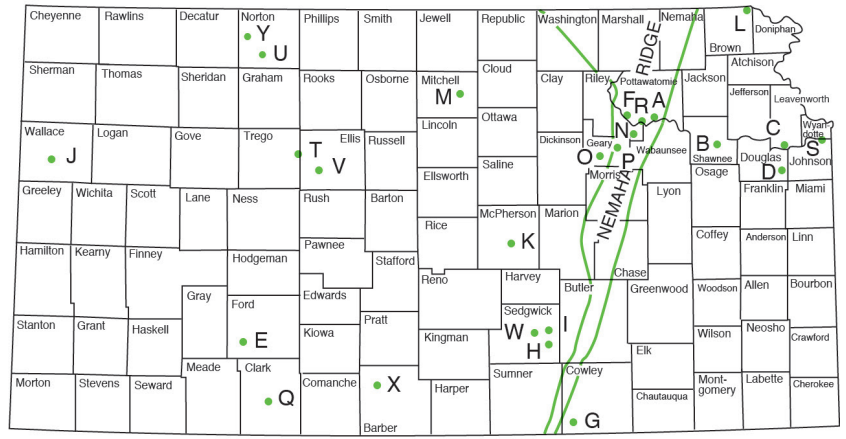
jamás registrado en el mundo fue uno de magnitud 9.5 en Chile en 1960. Los sismómetros sensibles son capaces de registrar terremotos cercanos de magnitudes -1.0 o menores. Una persona con un mazo puede generar el equivalente a un terremoto de magnitud -4.0.

La magnitud de un terremoto no expresa necesariamente los daños que ha causado. En una zona densamente poblada, un terremoto puede causar muchos más daños que uno de mayor magnitud que ocurra en una zona remota. Por ejemplo, el terremoto de magnitud 6.8 que sacudió Kobe, Japón, el 16 de enero de 1995, mató a 6,308 personas e hirió a miles más. Aunque fue el terremoto más mortífero de 1995, su magnitud fue inferior a la de otros 25 terremotos registrados ese año. Aunque las escalas de magnitud y la escala de intensidad de Mercalli Modificada no son estrictamente comparables, pueden correlacionarse a grandes rasgos para los lugares cercanos al epicentro de un terremoto (fig. 4).

### Terremotos en Kansas

Muchos habitantes de Kansas nunca han sentido ni siquiera un temblor, pero al menos 25 terremotos se sintieron en el estado entre 1867 y 1976 (fig. 5). El Servicio Geológico de Kansas (KGS) también midió más de 100 terremotos durante un estudio de actividad sísmica de Kansas entre 1977 y 1989 (fig. 6). La mayoría de los que detectó el KGS fueron **micro sismos**, o sismos demasiado pequeños como para sentirlos. El mayor terremoto registrado en Kansas tuvo su epicentro cerca de Wamego, al este de Manhattan, en 1867. De magnitud VII en la escala de Mercalli Modificada, derribó chimeneas, agrietó cimientos y se sintió tan lejos como en Dubuque, Iowa. Al estimar la magnitud en función de la intensidad cerca del epicentro, probablemente tuvo una magnitud entre 5.0 y 5.5.

Algunos terremotos de Kansas están asociados a la Dorsal de Nemaha, una cadena montañosa enterrada que se extiende aproximadamente desde Omaha, Nebraska, hasta Oklahoma City (fig. 7). La dorsal se formó hace unos 300 millones de años y está delimitada por fallas que siguen ligeramente activas en la actualidad, especialmente la zona de la falla de Humboldt que forma el límite oriental de la Dorsal de Nemaha y pasa cerca de Wamego, al este de Manhattan, y de El Dorado, al este de Wichita. A unas 50 millas (80 km) al oeste de la Dorsal de Nemaha se encuentra la falla del Continente Medio, una zona de la corteza continental de la Tierra que fue desgarrada y rellenada con corteza de tipo oceánico (rocas basálticas) hace unos 1,100 millones de años. Esta zona de dislocación se extendía desde el centro de Kansas, cerca de Salina, hacia el noreste, a través de Nebraska, Iowa y Minnesota, hasta la región del Lago Superior. Por razones desconocidas, la dislocación se detuvo después de extenderse tan solo entre 30 y 50 millas (50 a 80 km); si no se hubiera detenido, el este y el oeste de Kansas estarían hoy probablemente en continentes diferentes.



A. 1867	VII	F. 1906	VII	K. 1927	V	P. 1929	V	U. 1933	V
B. 1875	V	G. 1907	IV	L. 1927	VI	Q. 1929	V	V. 1942	IV
C. 1881	III	H. 1919	IV	M. 1928	IV	R. 1929	V	W. 1948	IV
D. 1902	II	I. 1919	IV	N. 1929	V	S. 1931	VI	X. 1956	VI
E. 1904	IV	J. 1926	?	O. 1929	V	T. 1932	V	Y. 1961	V

Figura 5. Sismos históricos en Kansas, antes de 1977.

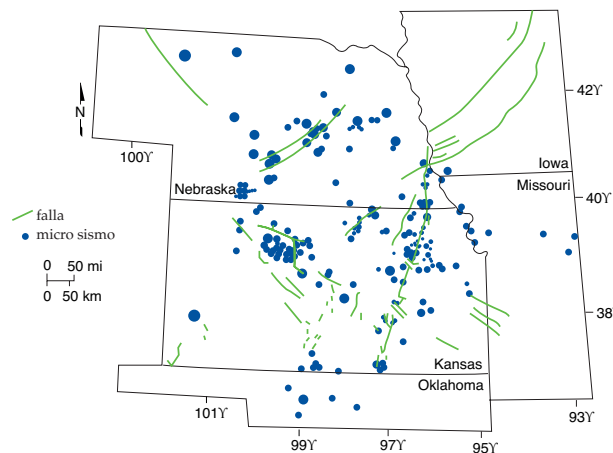


Figura 6. Micro sismos registrados por el Servicio Geológico de Kansas entre Agosto de 1977 y agosto de 1989 son codificados por tamaño por magnitud local. El mayor evento tuvo una magnitud de 4.0 y el más pequeño tuvo una magnitud de 0.8 en la escala de Richter.

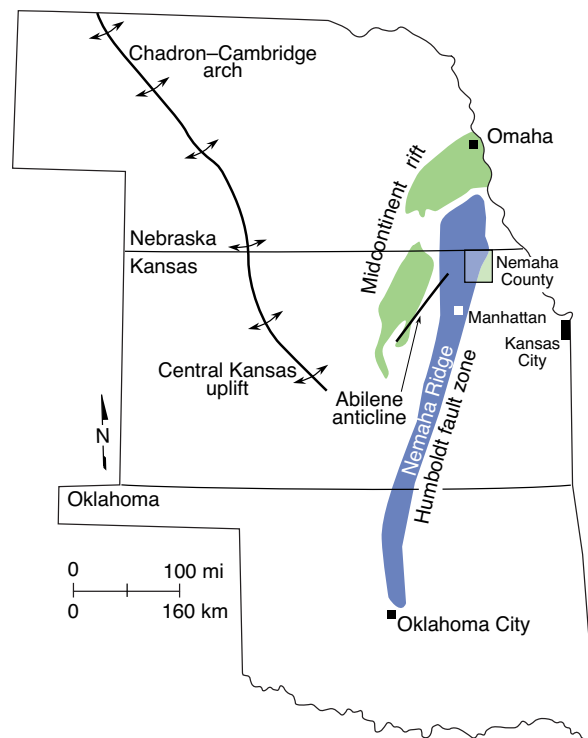


Figura 7. Los principales rasgos tectónicos regionales aparentemente relacionados con la actividad sísmica. El condado de Nemaha es la localidad donde se descubrió la Dorsal de Nemaha mediante perforaciones a principios del siglo XX (Servicio Geológico de Kansas, 1989, Boletín 226).

## Registro de los terremotos de Kansas

Para comprender mejor los terremotos de Kansas, los sismólogos del KGS mantuvieron una red de sismómetros por todo el estado desde diciembre de 1977 hasta junio de 1989 para vigilar la actividad sísmica. La red podía captar movimientos del terreno 1,000 veces más pequeños que el grosor de un cabello humano. Las estaciones de registro podían detectar disparos de artillería en Fort Riley a 30 millas (50 km) de distancia y también registraron grandes terremotos procedentes de lugares tan distantes como Japón y Sudamérica.

Durante 12 años de grabación, se registraron más de 200 pequeños terremotos en Kansas y Nebraska (fig. 6). El mayor midió aproximadamente una magnitud de 4.0 y el más pequeño fue de magnitud 0.8. Los sismogramas de un terremoto ocurrido al sureste de Seneca, Kansas,

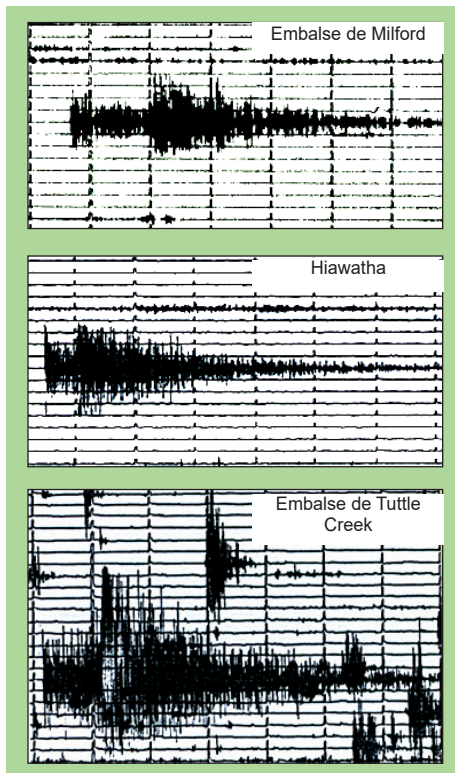


Figura 8. Sismogramas de un terremoto ocurrido el 27 de enero de 1978 al sureste de Seneca, Kansas.

del 27 de enero de 1978 se muestran en la fig. 8. El registro del terremoto aparece como una amplia zona negra. Estos registros proceden de las estaciones del Embalse de Milford, Hiawatha y el Embalse de Tuttle Creek. El registro de Tuttle Creek también muestra algunas zonas ennegrecidas más pequeñas causadas por explosiones de artillería en Fort Riley.

A finales de la década de 1980, se registraron varios terremotos pequeños en el oeste de Kansas, al noreste de Hays y cerca de Palco, a unas 30 millas (50 km) al noroeste de Hays. Estos terremotos se produjeron a lo largo de fallas asociadas con el levantamiento del centro de Kansas (fig. 7). Muchos de los temblores tuvieron magnitudes de alrededor de 2.0. El mayor fue un terremoto de magnitud 4.0 en junio de 1989 que registró IV en la escala de intensidad de Mercalli Modificada en Palco y causó daños menores.

La cantidad de actividad sísmica observada en Kansas entre 1977 y 1989 es coherente con el número y la localización de los terremotos experimentados entre 1867 y 1976, y Kansas seguirá teniendo terremotos ocasionales, impredecibles y de magnitud entre pequeña y moderada. Al combinar los datos históricos de terremotos con los obtenidos entre 1977 y 1989, los sismólogos estiman que un terremoto de magnitud 6.0 puede producirse en Kansas aproximadamente cada 2,000 años. Los ingenieros y otras personas utilizan la información recopilada durante el estudio de KGS a la hora de perfeccionar los códigos de construcción, adaptar las presas y construir plantas eléctricas. Los datos también se utilizaron para perfeccionar y actualizar mapas de peligrosidad sísmica. Aunque el riesgo de que se produzca un terremoto de gran magnitud en Kansas es leve, es importante conocer el riesgo y construir estructuras que resistan los terremotos que puedan ocurrir.

## Sismicidad inducida

A partir de 2013, Kansas experimentó un aumento de la actividad sísmica, sobre todo en la zona centro-sur del estado.

## Circulares de información al público de KGS relacionadas

- Sismicidad inducida: El potencial de terremotos provocados en Kansas, por Rex C. Buchanan, K. David Newell, Catherine S. Evans y Richard D. Miller, Circular de información al público 36 de KGS, 2014, 6 p.
- Sismología y sus aplicaciones en Kansas por Shelby L. Peterie, Richard D. Miller y Julian Ivanov, Circular de información al público 37 de KGS, 2014, 6 p

Varios de esos temblores fueron suficientemente fuertes como para sentirse. Los investigadores no están seguros de la causa de la actividad, aunque están estudiando la posibilidad de que fuera desencadenada por acciones humanas, como la inyección de agua salada extraída durante la producción de petróleo y la producción de gas en pozos profundos de eliminación de aguas residuales. Al mismo tiempo, se produjo un aumento significativo de la actividad sísmica en Oklahoma, parte de la cual se ha relacionado con la actividad humana. Esto se conoce comúnmente como sismicidad inducida. Varios de los terremotos de Oklahoma fueron lo suficientemente fuertes como para sentirse en gran parte de Kansas. Situados cerca de pozos de eliminación pero también en zonas históricamente propensas a la actividad sísmica, sus causas siguen siendo objeto de investigación.

## Para obtener más información

Hay información adicional disponible en sitios de Internet. Hemos enumerado solo algunos sitios, pero estos le conectarán con una amplia gama de información actualizada sobre terremotos.

**Información sobre terremotos del USGS**  
<http://earthquake.usgs.gov/>

**Centro Nacional de Información sobre Terremotos**

<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>

**Servicio Geológico de Kansas**

<http://www.kgs.ku.edu>

Circular de información al público 3 de junio de 1996  
• Revisada en julio de 2014

Kansas Geological Survey  
Geology Extension  
The University of Kansas  
1930 Constant Avenue  
Lawrence, KS 66047-3724  
785-864-3965  
<http://www.kgs.ku.edu>

**KU**  
KANSAS  
GEOLOGICAL  
SURVEY  
The University of Kansas

La misión del Servicio Geológico de Kansas, gestionado por la Universidad de Kansas en relación con su programa de investigación y servicios, es realizar estudios e investigaciones geológicas y recopilar, correlacionar, preservar y difundir información que conduzca a una mejor comprensión de la geología de Kansas, con especial énfasis en los recursos naturales de valor económico, la calidad y cantidad del agua, así como los riesgos geológicos.

El programa de Extensión Geológica fomenta la misión del KGS mediante el desarrollo de materiales, proyectos y servicios que comunican información sobre la geología de Kansas, los recursos terrestres del estado y los productos del Servicio Geológico de Kansas.