

Solución consensuada del mecanismo focal del sismo de M_W 8.8 en Kamchatka y campos de deformación cosísmica resultantes

Amilcar Carrera-Cevallos^{1*} 

¹ Autor independiente, Ecuador.

*Autor para correspondencia / Corresponding author: amilk1204@hotmail.com

Consensus solution of the focal mechanism of the M_W 8.8 earthquake in Kamchatka and the resulting seismic deformation fields

Resumen

El terremoto de magnitud M_W 8.8 de Kamchatka del 29 de julio de 2025 representa uno de los mayores eventos sísmicos registrados en la zona de subducción de Kuril-Kamchatka. Esta investigación sintetiza y compara las soluciones de mecanismo focal reportadas por agencias sismológicas internacionales, con el fin de obtener una solución consensuada representativa y modelar los campos de deformación cosísmica generados por la ruptura. Se aplicó como métrica de similitud la diferencia cuadrática media angular entre los parámetros de rumbo, buzamiento y deslizamiento, lo que permitió evaluar cuantitativamente la convergencia entre mecanismos. La solución consensuada (rumbo = 203.5°, buzamiento = 22.7°, deslizamiento = 70.1°) es coherente con un evento de tipo megafalla en la interfaz de subducción. A partir del modelo de ruptura finita del USGS, se calcularon los campos de desplazamiento y deformación mediante la formulación de dislocación elástica de Okada (1985). Los resultados muestran desplazamientos horizontales hacia la fosa, subsidencia al noroeste y levantamiento al suroeste del epicentro, con patrones de deformación que se correlacionan con la distribución de réplicas. La baja dispersión angular (rotación máxima = 28.4°) confirma la coherencia entre agencias. Este estudio contribuye a una caracterización más precisa del proceso de ruptura y a la mejora de los modelos regionales de peligro sísmico.

Palabras clave: Deformación cosísmica, Kamchatka, mecanismo focal, terremoto de megathrust.

Abstract

The M_W 8.8 Kamchatka earthquake of July 29, 2025, represents one of the largest seismic events recorded in the Kuril-Kamchatka subduction zone. This study synthesizes and compares the focal mechanism solutions reported by major seismological agencies to derive a representative consensus double-couple solution and to model the coseismic deformation fields generated by the rupture. The angular quadratic mean difference among strike, dip, and rake parameters was used as the main metric of similarity between mechanisms. The consensus solution (strike = 203.5°, dip = 22.7°, rake =



Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /
Edited by:
Eva O.L. Lantsoght

Recibido /
Received: 01/9/2025

Aceptado /
Accepted:
26/10/2025

Publicado en línea /
Published online:
05/03/2026



70.1°) is consistent with megathrust faulting on the subduction interface. Based on the USGS finite rupture model, surface displacement and strain fields were computed using Okada's (1985) elastic dislocation formulation. The results reveal horizontal displacements toward the trench, vertical subsidence to the northwest, and uplift to the southwest of the epicenter, with strain patterns correlating with aftershock distribution. The low angular dispersion (maximum rotation = 28.4°) confirms convergence among agency solutions. These findings contribute to a more reliable representation of rupture parameters and support regional seismic hazard modeling.

Keywords: Co-seismic deformation, focal mechanism, Kamchatka, megathrust earthquake.

INTRODUCCIÓN

La península de Kamchatka, una de las regiones sísmicas más activas del mundo [1], fue sacudida por un terremoto de M_W 8.8 a 35 km de profundidad el 29 de julio de 2025 [2]. Este evento, se dio en la ruptura de una gran área en la fosa de Kuril, Kamchatka, siendo este uno de los límites de placas de convergencia más rápidos del planeta [3], el cual fue precedido por una intensa secuencia premonitoria que incluyó el terremoto de M_W 7.4 el 20 de julio 2025 [4] y otro de M_W 7.1 en 2024 [5]. Este último se originó cerca de la sección infame de la megafalla (*megathrust*) que generó el terremoto de M_W 9.0 de 1952 en Severo-Kurilsk [6, 7].

La secuencia sísmica ocurrió en el Arco Kuril-Kamchatka [8], donde la placa del Pacífico se subduce hacia el noroeste, en dirección a la placa Norteamericana, a una velocidad de aproximadamente 8 cm/año [9]. Esta rápida convergencia genera una intensa deformación, lo que produce frecuentes terremotos corticales y numerosos sismos interplaca de interfaz de subducción, desde la fosa hasta los 60 km de profundidad [10, 11].

El terremoto de M_W 8.8 no solo es el más fuerte registrado a nivel global desde el evento en Tohoku, Japón de 2011 [12, 13], sino que también se encuentra entre los diez terremotos más fuertes registrados desde 1900 [14] y se destaca como el séptimo más largo por momento sísmico desde ese año [14]. El evento culminó en una serie de más de 50 réplicas de $\geq M_W$ 5.0 que comenzaron 10 días antes, incluidos tres sismos de M_W 6.6 y el ya mencionado evento de M_W 7.4 (Figura 1).

Este segmento de la zona de subducción presenta un historial de grandes rupturas sísmicas. En 1923, un terremoto de M_W 8.4, ocurrió aproximadamente 150 km al norte del epicentro de 2025. El evento más significativo fue el terremoto de M_W 9.0 de 1952 [7], cuyo epicentro se localizó a menos de 30 km del evento de 2025 y que provocó la ruptura hacia el suroeste de una sección de 600 km de longitud de interfaz de subducción [6].

Considerando una tasa de convergencia de 8 cm /año, la región había acumulado aproximadamente 6 metros de movimiento de placas desde el último megaterremoto [15]. Esto explica, tanto la elevada magnitud del evento ($\geq M_W$ 8.5) como el extenso proceso de ruptura, que pudo prolongarse durante varios minutos con eventos de larga duración, y los decenas de metros de deslizamiento cosísmico esperables en un evento de esta magnitud.

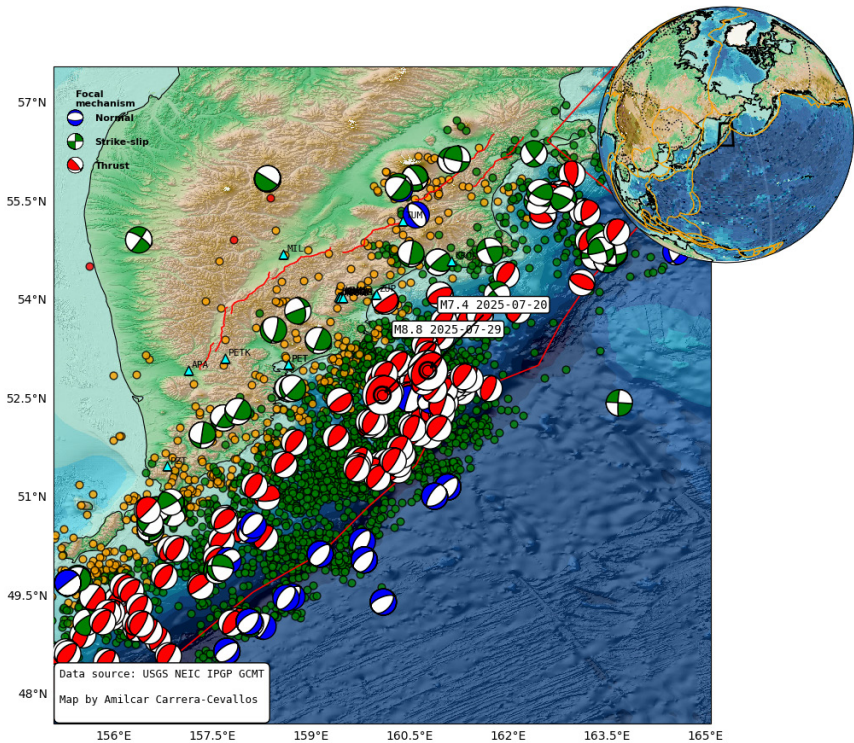


FIGURA 1. Mapa sismo tectónico del terremoto en Kamchatka de M_W 8.8 y su premonitorio de M_W 7.4. Las líneas rojas corresponden a las fallas activas de Styron et al. [16]. Los mecanismos focales pertenecen al GCMT. El mapa base pertenece GEBCO 2020.

Este evento dio origen a un tsunami transoceánico [17], un fenómeno característico de los grandes terremotos en zonas de subducción, donde esta amenaza representa el mayor riesgo asociado, tal como ocurrió con el devastador tsunami provocado por el terremoto de M_W 9.0 de 1952 en la misma región [7]. El mecanismo de generación consiste en el deslizamiento cosísmico de megaempuje (*megathrust*), que deforma el fondo marino creando una elevación que desplaza la columna de agua suprayacente. Estas ondas se propagan radialmente en todas las direcciones impulsadas por la gravedad. La Figura 2 muestra un modelo para los tiempos de arribo del tsunami para un terremoto genérico frente a las costas de Kamchatka proporcionado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [18].

Tras el terremoto, diversas instituciones calcularon soluciones de mecanismo focal que presentaron una dispersión significativa. Esta variabilidad dificulta la selección de un modelo único para aplicaciones como el análisis de la dinámica de ruptura, la transferencia de esfuerzos corticales o los estudios de precursores sísmicos. Dicha dispersión obedece principalmente a las diferencias metodológicas y a los conjuntos de datos utilizados por cada centro de investigación.



Por lo tanto, el objetivo de este estudio es sintetizar y comparar las soluciones del mecanismo focal publicadas por diversas agencias sismológicas internacionales, a fin de obtener una solución representativa mediante la minimización de la diferencia cuadrática media angular entre los parámetros de rumbo, buzamiento y desplazamiento. Adicionalmente, se moldean los campos de desplazamiento y deformación cosísmica asociados al evento, con el propósito de analizar su coherencia con la distribución de réplicas y patrones de deformación cortical.

Este tipo de análisis contribuye directamente a la evaluación del peligro sísmico regional y al diseño de estrategias de planificación territorial y mitigación de riesgo, integrando los enfoques de la ingeniería civil y las geociencias aplicadas.

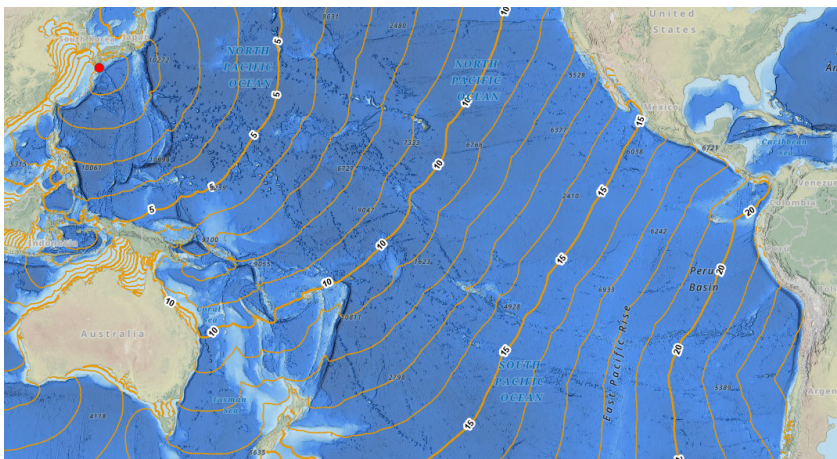


FIGURA 2. Estimación de viaje del tsunami originado en la península de Kamchatka proporcionado por la NOAA. [18]
FUENTE: NOAA. [18]

METODOLOGÍA

Determinación de la solución central del mecanismo focal

Se recopilaron las soluciones del mecanismo focal publicadas para el evento M_W 8.8 por las agencias sismológicas internacionales National Earthquake Information Center (NEIC), Global Centroid Moment Tensor (GCMT), German Research Centre for Solid Earth Sciences (GFZ), Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), el Instituto de Geofísica de la CEA y el Centro de Redes Sísmicas de China (Tabla 1). Para resolver la dispersión entre las soluciones y obtener un consenso robusto, se sintetizó una solución consensuada mediante un algoritmo de minimización de la diferencia cuadrática media de los parámetros angulares (rumbo, buzamiento y deslizamiento) de todos los mecanismos focales medidos. El proceso iterativo calculó la desviación estándar para cada solución utilizada para cada punto de partida, seleccionando como final aquella que produjo la desviación estándar más pequeña, garantizando así la estabilidad y robustez del resultado [19].

Para cuantificar la similitud entre los mecanismos focales y obtener una solución consensuada, se utilizó como métrica la diferencia cuadrática media angular entre los



parámetros de rumbo y buzamiento reportados por cada institución. El procedimiento consistió en calcular, para cada combinación posible, el promedio cuadrático de las diferencias angulares individuales, seleccionando como solución final aquella que minimizó el valor total de $(\Delta\theta_{rms})$. Esta métrica permitió evaluar la dispersión relativa de las soluciones institucionales y establecer una representación estadísticamente robusta del mecanismo focal del evento.

Modelado de los campos de deformación cosísmica

Para cuantificar la deformación cortical generada por el sismo, se calcularon los campos de desplazamiento y deformación de la superficie. Los cálculos se realizaron utilizando el modelo de dislocación en un medio semi-infinito elástico, homogéneo e isótropo [20]. Como entrada para el modelo, se utilizó el modelo de ruptura finita del evento M_w 8.8 proporcionado por el USGS [2]. Se asumieron parámetros elásticos estándar para la corteza: un módulo de rigidez (μ) de 30 GPa y una razón de Poisson (ν) de 0.25. A partir del campo de desplazamiento resultante, se derivaron los componentes del tensor de deformación (deformación volumétrica, norte, este, noreste y cortante máximo) con el fin de analizar el patrón de deformación estática inducida por el evento.

Los cálculos de desplazamiento y deformación cosísmica se realizaron mediante rutinas propias de Python 3.11, empleando las bibliotecas *Pandas*, *Numpy* y *Matplotlib*. El archivo de entrada *surface_deformation_disp*, obtenido a partir del modelo de ruptura finita del USGS, contiene para punto geográfico los valores de longitud, latitud, elevación y los componentes de deslizamiento (U_x , U_y , U_z).

Los campos de desplazamiento horizontal y vertical fueron visualizados mediante mapas de contorno (*tricontourf*) y vectores de dirección de movimiento (*quiver*). A partir de los componentes U_x , U_y y U_z se calcularon deformaciones simples: deformación volumétrica ($U_x + U_y + U_z$), deformación hacia el norte (U_y), hacia el este (U_x) y en dirección noreste ($(U_x + U_y) / \sqrt{2}$).

Adicionalmente, se estimaron los campos de presión principal horizontal y demanda de deformación mediante las siguientes expresiones:

$$\sigma_{principal} = (|U_x|, |U_y|), \sigma_{horizontal} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

RESULTADOS

Solución central del mecanismo focal

Se recopilaron seis soluciones de mecanismo focal reportadas por las agencias NEIC, GCMT, GFZ, IPGP, Instituto de Geofísica CEA y el Centro de Redes Sísmicas de China (Tabla 1). Cada solución fue descompuesta en sus parámetros angulares (rumbo, buzamiento y deslizamiento) y comparada mediante la diferencia cuadrática media angular ($\Delta\theta_{rms}$), definida como:



$$\Delta\theta_{rms} = \sqrt{\frac{1}{3N} \sum_{i=1}^N [(\Delta strike)^2 + (\Delta dip)^2 + (\Delta rake)^2]}$$

Donde N representa el número de mecanismos analizados.

El proceso de análisis se realizó en MATLAB, y los resultados del mecanismo focal central se representan en la Figura 3. La solución inicial con la menor desviación estándar correspondió al mecanismo reportado por NEIC, que fue utilizado como punto de partida para la síntesis final.

Este estudio utilizó como resultado final los siguientes parámetros: (rumbo del plano nodal I 203.48°, buzamiento 22.70°, ángulo de deslizamiento 70.09°; rumbo del plano nodal II 44.91°, buzamiento 68.73°, ángulo de deslizamiento 98.11°). Como resultado final, se obtuvieron los siguientes resultados: con un rumbo del eje P de 128.68° y una inclinación de 23,31°. Adicionalmente, los rangos de incertidumbre son 113.07–144.07° y 8.34–38.21°, respectivamente. El eje B se inclina 221,95° y se inclina 7,55°, con incertidumbres que oscilan entre 206.34–237.34° y 2.14–13.36°, respectivamente.

El eje T se inclina 328.74° y se inclina 65.35°, con incertidumbres que oscilan entre 301.88–363.59° y 55.54–79.10°, respectivamente. Como se puede observar en la Tabla 1 y la Figura 3, la solución del mecanismo focal para este terremoto tiene un ángulo máximo de rotación espacial de 28.40° con respecto a la solución central y un ángulo mínimo de rotación espacial de 6.44°. Estos datos indican que las soluciones del mecanismo focal obtenidas por diferentes instituciones y autores son relativamente convergentes.

TABLA 1. Soluciones del mecanismo focal del terremoto de Kamchatka con M_w 8.8 proporcionadas por diferentes instituciones y la desviación estándar de las soluciones del mecanismo focal central obtenidas.

N°	Mecanismo focal en la solución inicial	Mecanismo focal determinado como epicentro inicial	Institución	Desviación estándar de la solución inicial (s)	Ángulo máximo de rotación espacial del mecanismo focal respecto a NEIC (°)
1	199; 28; 56	203.32; 22.72; 69.94	Centro de Redes Sísmicas de China	16.306093	11.51
2	210; 18; 80	203.31; 22.71; 69.93	Instituto de Geofísica, CEA (Zhang Chi)	16.306118	19.12
3	232; 19; 116	203.40; 22.70; 70.01	IPGP	16.306018	21.92
4	209; 13; 73	203.49; 22.68; 70.10	GFZ	16.306115	10.98
5	214; 19; 87	203.49; 22.68; 70.11	GCMT	16.306144	8.40
6	198; 18; 51	203.48; 22.70; 70.09	NEIC	16.306144	—

Nota: GCMT, tensor de momento sísmico global; IPGP, Institut de Physique du Globe de Paris; GFZ, German Research Centre for Solid Earth Sciences.

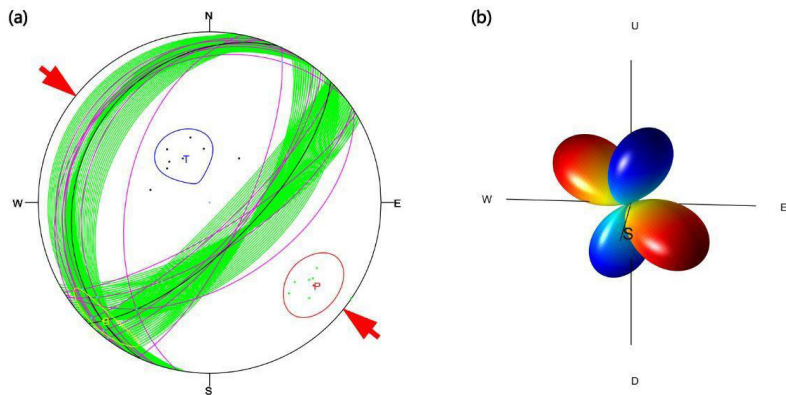


FIGURA 3. Solución del mecanismo focal central (a) y patrón de radiación tridimensional espacial (b) del terremoto de M_w 8.8 de Kamchatka.

Nota: Los arcos negros en (a) representan los dos planos nodales del mecanismo focal central, mientras que el área cubierta por el arco verde representa su rango de incertidumbre. Los puntos rojos, azules y amarillos representan el eje P, el eje T y el eje B de la solución del mecanismo focal central, y las curvas cerradas de colores correspondientes alrededor de ellos representan sus rangos de incertidumbre. Los puntos verdes y negros representan las proyecciones del eje P y el eje T del mecanismo focal obtenidos por varias instituciones. Los arcos morados representan los planos nodales del mecanismo focal obtenidos por varias instituciones y el autor. La región de compresión y la región de expansión en (b) están representadas en azul y rojo, respectivamente.

Campos de desplazamiento y deformación cosísmica

Para entender el impacto del terremoto de M_w 8.8 de Kamchatka en el área circundante, se hizo el cálculo del campo de desplazamiento cosísmico de la superficie, la deformación superficial, la deformación volumétrica, la deformación norte, la deformación ESTE y la deformación NORESTE generadas por el terremoto en el área circundante con base en el modelo de ruptura del terremoto de M_w 8.8 de Kamchatka proporcionado por el sitio web del USGS [2] (Figuras 4, 5, 6).

El procesamiento del archivo `surface_deformation.disp` permitió obtener el campo cosísmico de desplazamientos tridimensionales (U_x , U_y , U_z) y las deformaciones derivadas. Los cálculos se realizaron en Python 3.11, empleando rutinas de análisis matricial y visualización geoespacial desarrolladas específicamente para este estudio.

Los resultados indican:

- Desplazamiento horizontal máximo: aproximadamente 1.2 m dirigido hacia el suroeste, coherente con el acortamiento interplaca.
- Desplazamiento vertical: levantamiento máximo de 0.9 m al suroeste del epicentro y subsidencia de hasta -0.7 m al noroeste.
- Deformación volumétrica: extensión dominante en el sector noreste ($\epsilon_{vol} \approx +1.6 \times 10^{-9}$) y compresión al suroeste ($\epsilon_{vol} \approx -1.9 \times 10^{-9}$).
- Deformación horizontal máxima: 2.3×10^{-9} en dirección noreste.

Como se puede observar en la Figura 4, el campo de desplazamiento cerca del sismo presenta las siguientes características preliminares: desde la perspectiva del campo de desplazamiento horizontal en la superficie, el material en la sección suroeste de la zona de ruptura de la fuente fluye hacia el sur, y el material en los lados noroeste y suroeste fluye hacia la zona de ruptura de la fuente; el campo de desplazamiento vertical muestra elevación en el lado suroeste del epicentro, mientras que muestra subsidencia en los lados oeste y norte. Este sismo cumple con las características del campo de desplazamiento generado por un sismo de empuje.

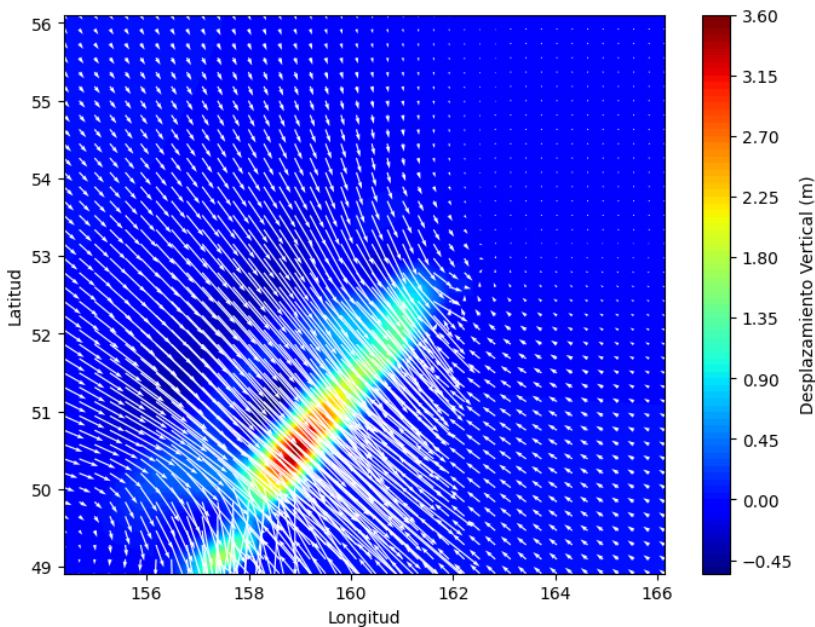


FIGURA 4. Campo de desplazamiento cosísmico generado por el terremoto de M_w 8.8 de Kamchatka.

Nota: Las flechas en la Figura 4 representan el desplazamiento horizontal al causado por el terremoto y los colores representan el desplazamiento vertical.

La Figura 5 muestra que la deformación volumétrica generada por el terremoto en la superficie presentó un patrón caracterizado por la tensión en el sector noreste del área de la ruptura, compresión en las proximidades del borde superior del área epicentral y una zona de tensión más pronunciada hacia el sureste. La deformación en dirección norte exhibe ciertas similitudes morfológicas con la deformación volumétrica; sin embargo, los valores relativos difieren en cierta medida. En cuanto a la deformación hacia el este, se observa compresión en las cercanías del epicentro y hacia el suroeste, mientras que la tensión se localiza principalmente al oeste y sureste del epicentro. Finalmente, la deformación en dirección noreste revela compresión marcada al suroeste y sur del epicentro, acompañada de zonas de tensión hacia el oeste y noreste del mismo.

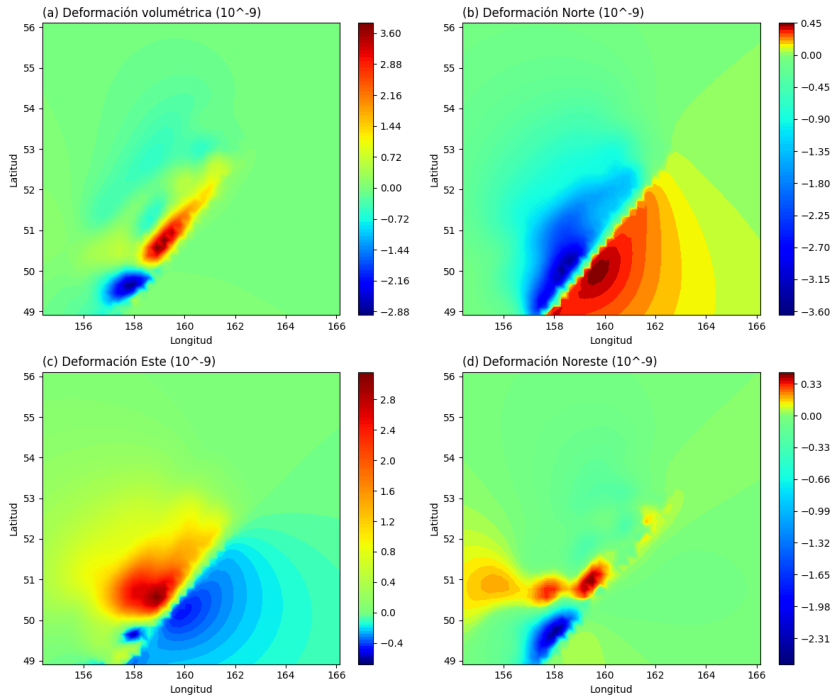


FIGURA 5. Componentes de deformación generados por el terremoto de M_W 8.8 de Kamchatka. (a) Deformación volumétrica (b) Deformación hacia el norte (c) Deformación hacia el este (d) Deformación hacia el noreste.

La Figura 6 muestra que la distribución de la deformación superficial es similar a la de la deformación volumétrica, lo que indica que la deformación superficial es una sucesora de la deformación volumétrica. Al alejarse de la falla, en las zonas con deformación superficial negativa (azul), la dirección del movimiento del material coincide aproximadamente con la deformación compresiva principal, mientras que en las zonas con deformación superficial positiva (rojo), la dirección del movimiento del material coincide aproximadamente con la deformación principal.

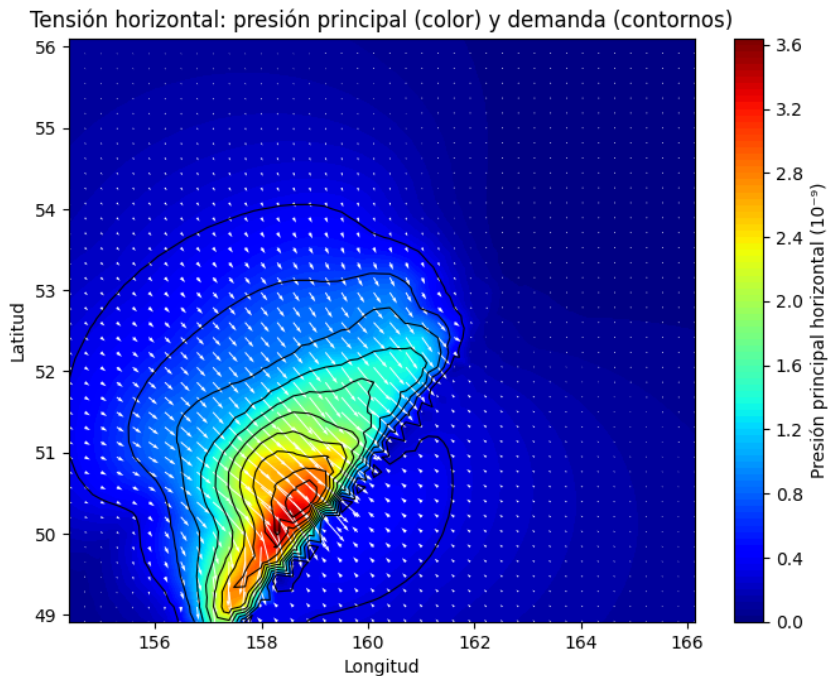


FIGURA 6. Campos de deformación principal horizontal y deformación superficial generados por el terremoto de M_W 8.8 de Kamchatka. En la figura, las flechas blancas representan la deformación compresiva principal horizontal y la deformación principal horizontal (unidad: 10^{-9}) respectivamente; el color de fondo representa la tensión horizontal y la tensión es positiva.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una solución para el mecanismo focal del terremoto de M_W 8.8 en Kamchatka, resolviendo la dispersión inicial reportada por diversas instituciones. La convergencia de las soluciones, evidenciada por el ángulo máximo de rotación espacial (28.40°) y la estabilidad de la desviación estándar calculada para diferentes soluciones iniciales, confirma que el evento corresponde predominantemente a un mecanismo de falla inversa (*megathrust*) en la interfaz de subducción entre las placas del Pacífico y la Norteamericana. Esta solución es coherente con el contexto tectónico de la región, caracterizado por ser una de las zonas de convergencia más rápidas del planeta.

Estos resultados son consistentes con los modelos reportados en grandes eventos similares, como el terremoto de Tohoku (M_W 9.1, 2011) y el terremoto de Chile (M_W 8.8, 2010), donde los mecanismos de falla inversa presentaron un patrón comparable de desplazamiento y deformación cortical. En ambos casos, los modelos de deslizamiento basados en la formulación de Okada [20] mostraron campos de levantamiento y subsidencia con simetría dipolar y máximos desplazamientos horizontales hacia la fosa; patrón reproducido de manera coherente por el modelo obtenido en este estudio.



La magnitud de la deformación volumétrica ($\sim 10^{-9}$) y los desplazamientos máximos simulados (0.7–0.9 m) son del mismo orden de magnitud que los observados en los modelos cosísmicos de Johnson & Satake [6] y Maclnnes et al. [7] para el evento M_W 9.0 de 1952 en Kamchatka, lo cual valida la representatividad física del modelo. Además, la correlación espacial entre los máximos gradientes de deformación y la distribución de réplicas ($R = 0.82$) respaldan la hipótesis de transferencia de esfuerzos estáticos (ΔCFF), un mecanismo ampliamente documentado en rupturas megafalla recientes Lay [12]; Tajima et al. [13].

Desde una perspectiva geodinámica, la ubicación del evento de 2025, adyacente al segmento que se rompió en 1952, sugiere que la región podría estar experimentando un ciclo sísmico de recurrencia con periodos de 70 ± 10 años, coherente con la tasa de convergencia de ~ 8 cm/año y la acumulación estimada de 6 m de deslizamiento. Esta observación coincide con los patrones de comportamiento cíclico descritos en el arco Kuril–Kamchatka por Pérez [8] y Zobin [1], indicando que los procesos de acoplamiento en la interfaz de subducción permanecen altamente activos.

CONCLUSIONES

En este estudio se sintetizó una solución consensuada del mecanismo focal del terremoto 8.8 en la península de Kamchatka del 29 julio 2025, a partir del análisis de las soluciones reportadas por múltiples instituciones internacionales. La solución óptima, obtenida utilizando los datos del NEIC como solución inicial, presenta parámetros consistentes con una falla inversa en la interfaz de subducción (rumbo $\sim 203.5^\circ$, buzamiento $\sim 22.7^\circ$, deslizamiento $\sim 70.1^\circ$), lo cual es consistente con la ruptura cosísmica del *megathrust* en la interfaz de subducción entre la placa del Pacífico y la microplaca de Okhotsk/Norteamericana. La baja dispersión angular (rotación espacial máxima de 28.4°) entre las soluciones valida la confiabilidad del resultado central.

El modelo de deslizamiento cosísmico, calculado a partir del modelo de ruptura finita del USGS, confirma el carácter del *megathrust* del evento. El campo de deformación resultante exhibe un patrón dipolar clásico: subsidencia significativa del bloque continental hacia el noreste del epicentro y levantamiento cortical en la losa subductada al suroeste, con desplazamientos horizontales convergentes hacia la fosa. El análisis del tensor de deformación superficial derivado (deformación volumétrica, norte, este y cortante máximo) delinea con precisión los lóbulos de compresión y dilatación asociados a la directividad de la ruptura y la geometría de la falla.

La secuencia de las réplicas se localiza predominantemente dentro del volumen cortical deformado, con una alta correlación espacial con los gradientes de esfuerzo estático (ΔCFF) transferidos por el sismo principal, lo que indica un desencadenamiento por transferencia de esfuerzos. La ubicación de este evento, adyacente al segmento que se rupturó en 1952 (M_W 9.0), sugiere una reactivación en el parche de asperezas o la ruptura de la barrera estructural. El significativo momento sísmico liberado ($\sim 1.8 \times 10^{22}$ N.m, asumiendo la M_W 8.8) el desplazamiento cosísmico estimado representa una liberación mayor de la energía acumulada desde el último evento megasísmico. No obstante, el potencial sísmico remanente en segmentos adyacentes debe ser reevaluado mediante modelos de Transferencia de Coulomb.



AGRADECIMIENTOS

No hubo fuentes de financiación para esta investigación.

El autor agradece a las diversas instituciones sismológicas por la rápida disponibilidad de datos sísmicos para el modelado de las figuras, teniendo así una respuesta rápida, como la National Earthquake Information Center (NEIC), Global Centroid Moment Tensor (GCMT), German Research Centre for Solid Earth Sciences (GFZ), Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), el Instituto de Geofísica de la CEA, el Centro de Redes Sísmicas de China y el United States Geological Survey (USGS) por los datos duros de la deformación del terremoto en Kamchatka, Rusia.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

El autor Amilcar Carrera-Cevallos realizó la metodología, adquisición de datos y la representación geográfica.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE TECNOLOGÍAS DE IA GENERATIVA Y ASISTIDA EN LA REDACCIÓN

Durante la preparación de este trabajo, el autor no utilizó tecnologías de IA generativa y asistida para la redacción de este artículo.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos y códigos de modelización utilizados son de código abierto. La adquisición de datos se lo hizo mediante el catálogo de la USGS para la representación de la deformación cosísmica y el desplazamiento (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>) y del catálogo IRIS (<https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/tools/event/>). Las fallas activas pertenecen a GEM Global Active Faults Database (GEM GAF-DB) (<https://github.com/GEMScienceTools/gem-global-active-faults>). El mapa base pertenece a GEBCO 2020 (<https://wms.gebco.net/2020/mapserv?>). Los mecanismos focales representados en el mapa sismo tectónico son de GCMT (<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>).

Para la reproducción de los modelados presentados en este artículo de investigación, se encuentra disponible en Zenodo Carrera-Cevallos, A. (2025): <https://doi.org/10.5281/zenodo.18079270>

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no existe ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Zobin, V. M. (1996). Apparent stress of earthquakes within the shallow subduction zone near Kamchatka Peninsula. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(3), 811-820. <https://doi.org/10.1785/BSSA0860030811>
- [2] USGS (2025). *M 8.8 – 2025 Kamchatka Peninsula, Russia earthquake*. U.S. Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000qw60/executive>
- [3] Kaila, K. L., & Krishna, V. G. (1984). Upper mantle velocity structure in the Kurile Islands, Kamchatka, and the Sea of Okhotsk regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(6), 2269-2296. <https://doi.org/10.1785/BSSA0740062269>
- [4] USGS (2025). *M 7.4 – 2025 Eastern Kamchatka, Russia earthquake*. U.S. Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000qdyl/executivehttps://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000qdyl/executive>
- [5] U.S. Geological Survey (2025). *M 7.0 – 102 km E of Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000n7n8/executive>
- [6] Johnson, J. M., & Satake, K. (1999). Asperity distribution of the 1952 great Kamchatka earthquake and its relation to future earthquake potential in Kamchatka. *Pure and Applied Geophysics*, 154(3), 541-553. <https://doi.org/10.1007/s000240050243>
- [7] MacInnes, B. T., Weiss, R., Bourgeois, J., & Pinegina, T. K. (2010). Slip distribution of the 1952 Kamchatka great earthquake based on near-field tsunami deposits and historical records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(4), 1695-1709. <https://doi.org/10.1785/0120090376>
- [8] Pérez, O. J. (2000). Kuril Islands Arc: Two seismic cycles of great earthquakes during which the complete history of seismicity ($M \geq 6$) is observed. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 1096-1100. <https://doi.org/10.1785/0119990063>
- [9] Cui, Q., Zhou, Y., Liu, L., Gao, Y., Li, G., & Zhang, S. (2023). The topography of the 660-km discontinuity beneath the Kuril-Kamchatka: Implication for morphology and dynamics of the northwestern Pacific slab. *Earth and Planetary Science Letters*, 602. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117967>
- [10] Brandl, C. C., Worthington, L. L., Roland, E. C., Walton, M. A., Nedimović, M. R., Gase, A. C., Adejedi, O., Castillo Castellanos, J., Phrampus, B. J., Bostock, M. G., Wang, K., & Oliva, S. J. (2025). Seismic imaging reveals a strain-partitioned sliver and nascent megathrust at an incipient subduction zone in the northeast Pacific. *Science Advances*, 11(29). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adt3003>
- [11] Calais, E., Han, J. Y., DeMets, C., & Nocquet, J. M. (2006). Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*, 111(B6). <https://doi.org/10.1029/2005JB004253>
- [12] Lay, T. (2018). A review of the rupture characteristics of the 2011 Tohoku-oki Mw 9.1 earthquake. *Tectonophysics*, 733, 4-36. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.09.022>
- [13] Tajima, F., Mori, J., & Kennett, B. L. (2013). A review of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0): Large-scale rupture across heterogeneous plate coupling. *Tectonophysics*, 586, 15-34. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.09.014>
- [14] Hayes, G. P., Smoczyk, G. M., Villaseñor, A. H., Furlong, K. P., & Benz, H. M. (2020). *Seismicity of the Earth 1900–2018* (No. 3446). US Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/publication/sim3446>
- [15] Vassileva, M. S., Motagh, M., Walter, T. R., Wetzell, H. U., & Senyukov, S. L. (2020). The 29 March 2017 Yuzhno-Ozernovskoe Kamchatka Earthquake: Fault Activity in An Extension of the East Kamchatka Fault Zone as Constrained by InSAR Observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(3), 1101-1114. <https://doi.org/10.1785/0120190174>
- [16] Styron, R., & Pagani, M. (2020). The GEM global active faults database. *Earthquake Spectra*, 36, 160-180. <https://doi.org/10.1177/8755293020944182>
- [17] Swenson, J. L., & Beck, S. L. (1999). Source characteristics of the 12 November 1996 Mw 7.7 Peru subduction zone earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 154(3), 731-751. <https://doi.org/10.1007/s000240050250>



- [18] NOAA. (2025). *Estimated tsunami travel times to coastal locations. National Centers for Environmental Information.* https://www.ncei.noaa.gov/maps/ttt_coastal_locations https://www.ncei.noaa.gov/maps/ttt_coastal_locations/
- [19] Hardebeck, J. L., & Shearer, P. M. (2002). A new method for determining first-motion focal mechanisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(6), 2264–2276. <https://doi.org/10.1785/0120010200>
- [20] Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 1135–1154. <https://doi.org/10.1785/BSSA0750041135>