

ESCENARIO CATASTRÓFICO PARA LIMA Y EL CALLAO ANTE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD ($> M8.0$)



XXXIV SIMPOSIO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

“ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIPOCENTRALES CON BASE EN REDES NEURONALES GRÁFICAS”

Angel Oliver Matos Chuquiuri



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERÍA



INTRODUCCIÓN

- Perú es un país altamente sísmico.

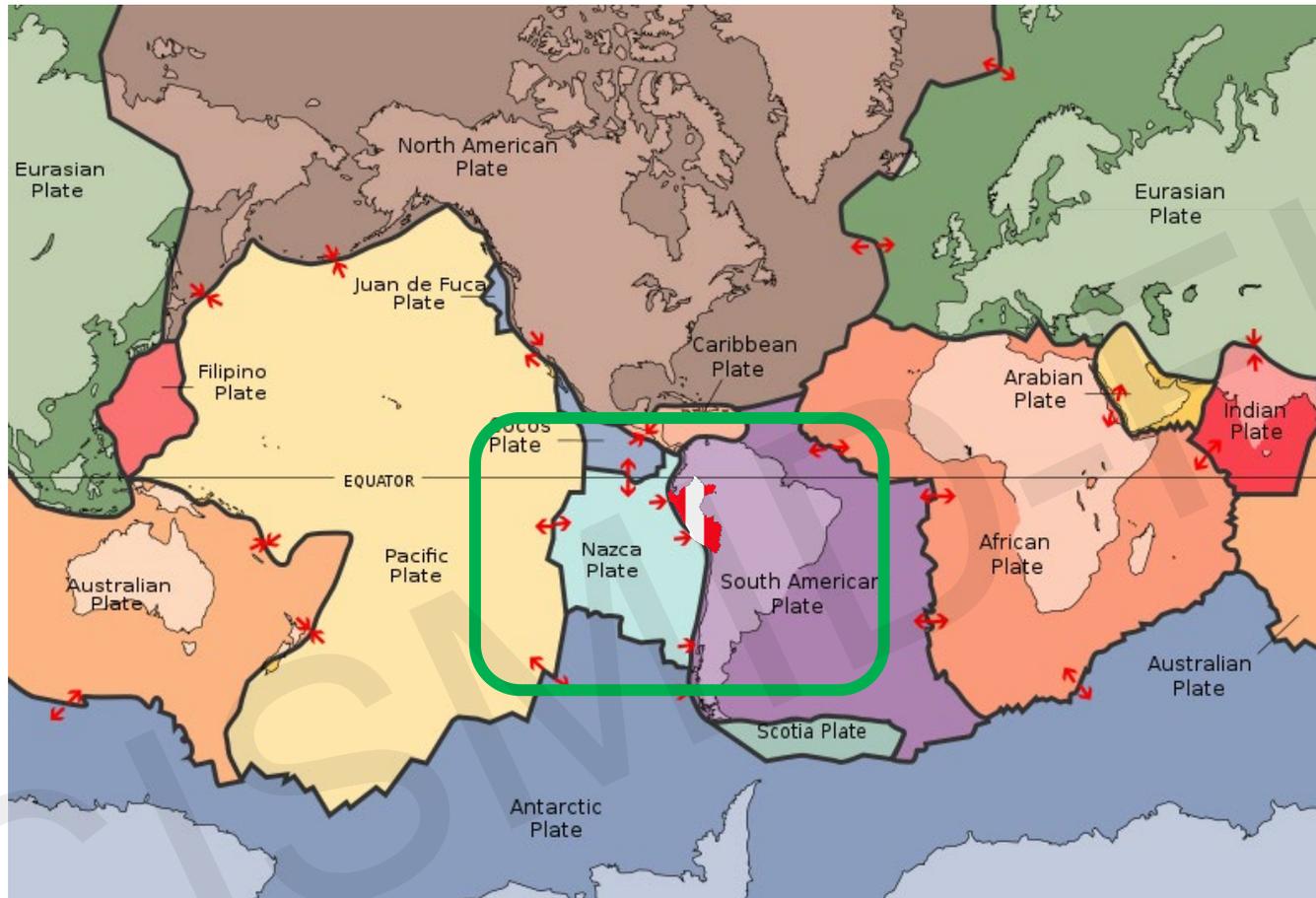


Fig. 1 Placas tectónicas.

Source: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>

- Placa de Nazca subduce debajo de la placa Sudamericana

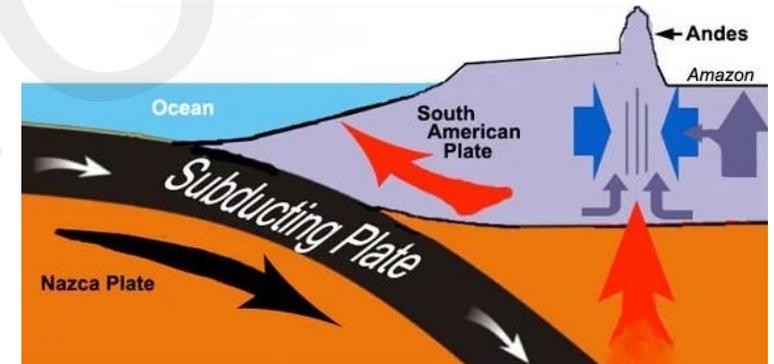


Fig. 2 Zona de subducción.

Fuente: <https://learnodo-newtonic.com>

INTRODUCCIÓN

- En Lima se espera un sismo de 8.8 Mw

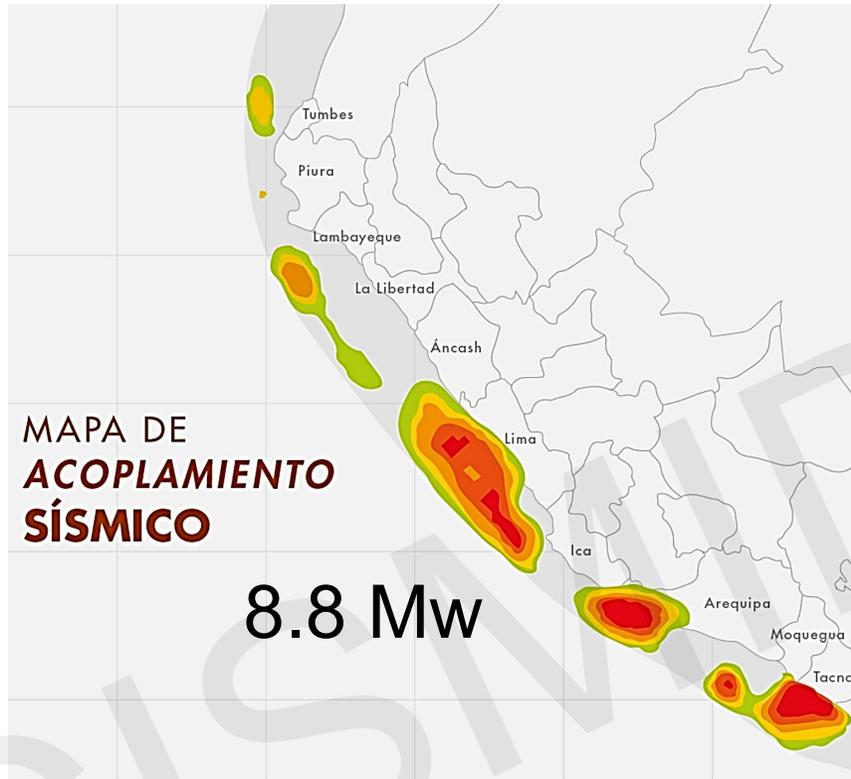


Fig. 3 Mapa de Acoplamiento Sísmico

Fuente: IGP

- Preparación ante un sismo de gran magnitud.

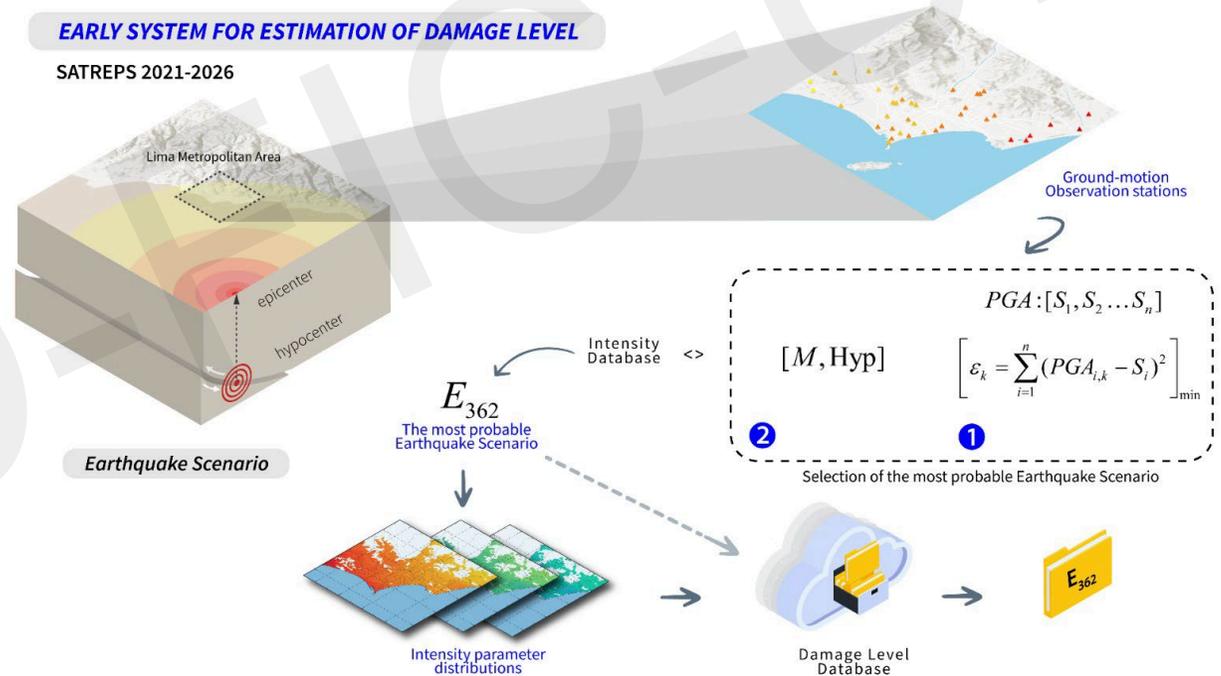


Fig. 4 Estimación temprana del nivel de daño.

Fuente: CISMID

INTRODUCCIÓN

- El primer input

PARÁMETROS
HIPOCENTRALES

Rápida

Automática

Precisa

APRENDIZAJE
AUTOMÁTICO

- El incremento de la instrumentación sísmica y bases de datos libres promueve más investigación.

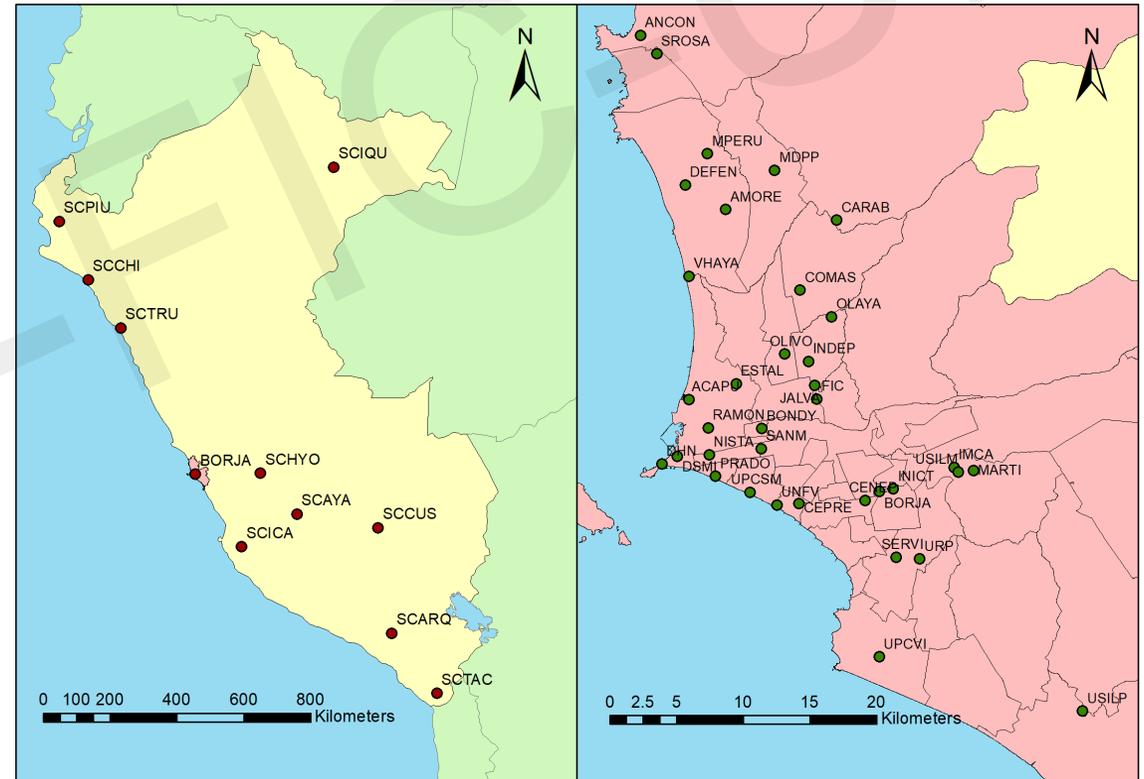


Fig. 5 Red acelerográfica del CISMID y SENCICO.

Fuente: CEOIS (CISMID).

ANTECEDENTES

Caracterización de la fuente sísmica usando métodos con base en *Deep Learning*:

Enfoque con 1 estación

- Perol et. al., 2018
- Lomax et. al., 2019
- Mousavi & Beroza, 2020

Enfoque multi-estación

- Kriegerowski et. al., 2019
- **van den Ende & Ampuero, 2020**
- Zhang et. al., 2021
- Kuang et. al., 2021
- Shen & Shen, 2021

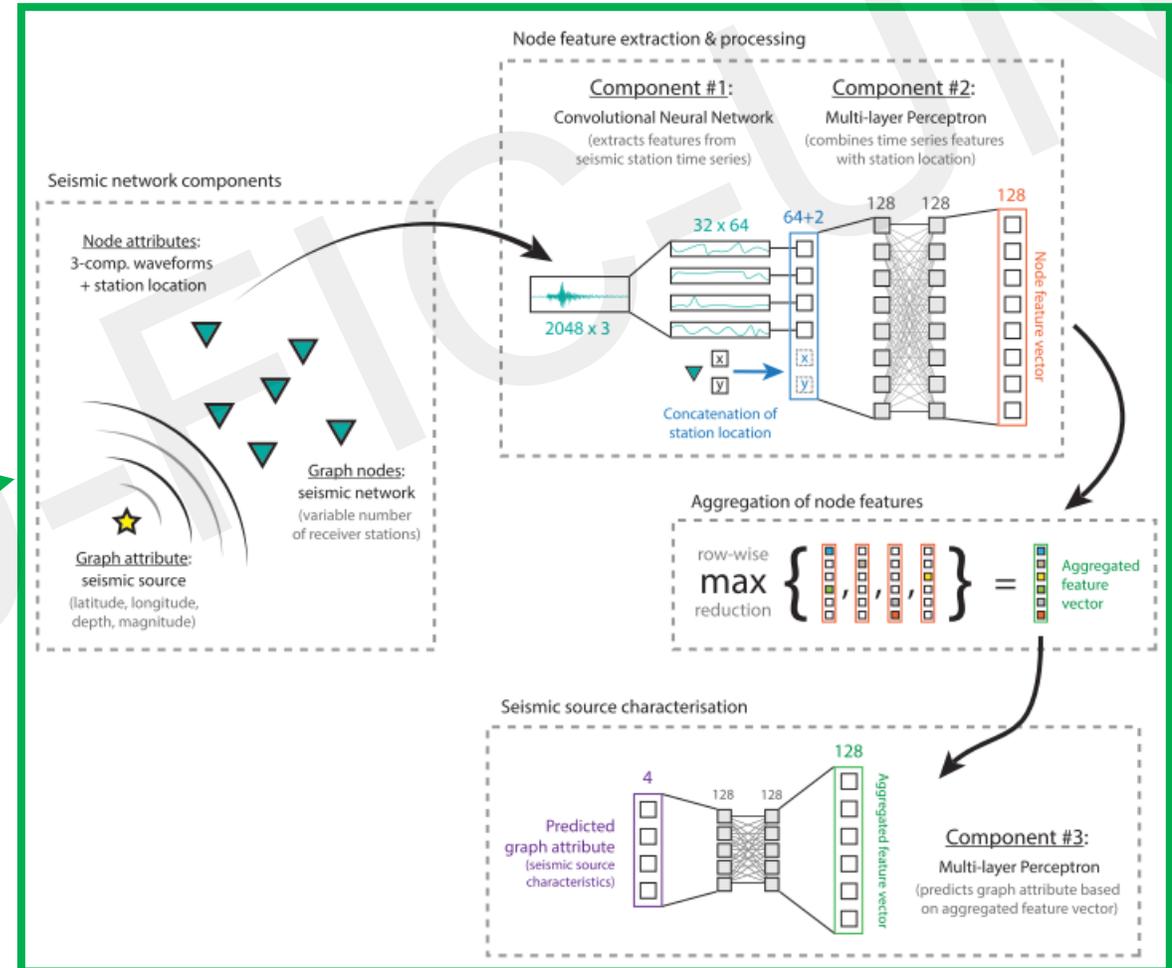
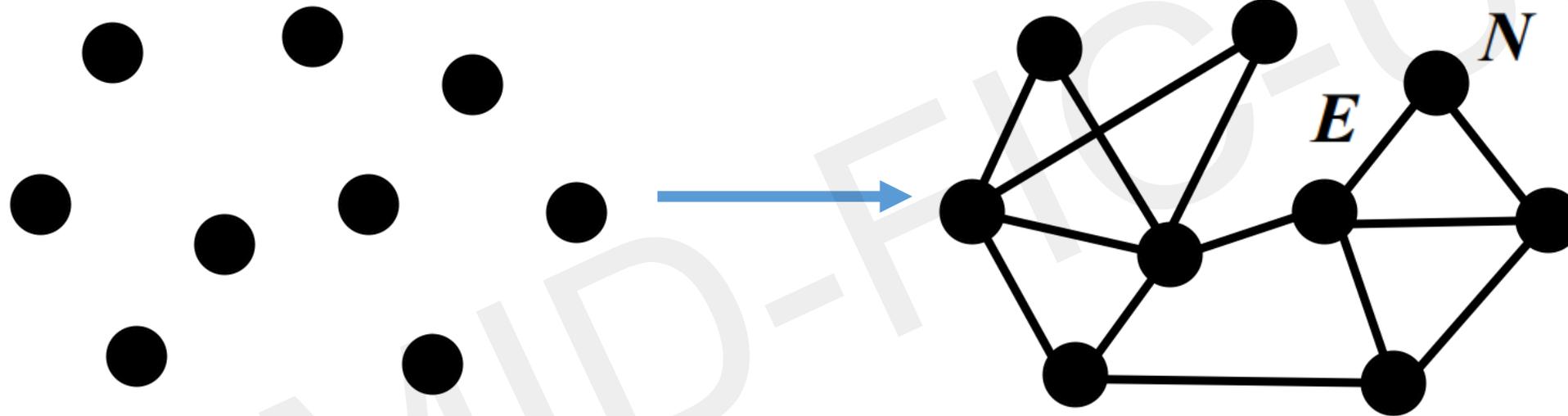


Fig. 6 Arquitectura en van den Ende & Ampuero (2020)

MARCO TEÓRICO

GRAFO



COMPONENTES:

- **Objects:** nodes, vertices
- **Interactions:** links, edges
- **System:** network, graph

N
 E
 $G(N,E)$

MARCO TEÓRICO

APLICACIONES DE LOS GRAFOS

- Recomendación de la ruta más corta.

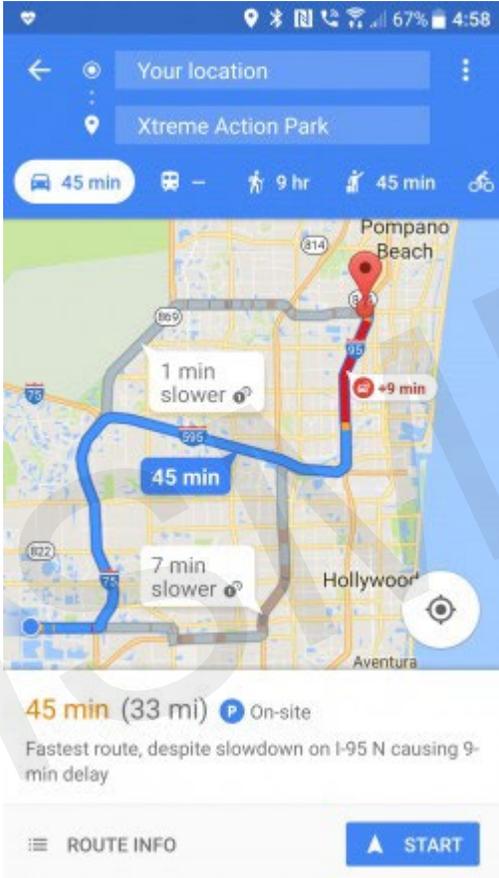


Fig. 7 Google Maps.

- Recomendación de contenido.

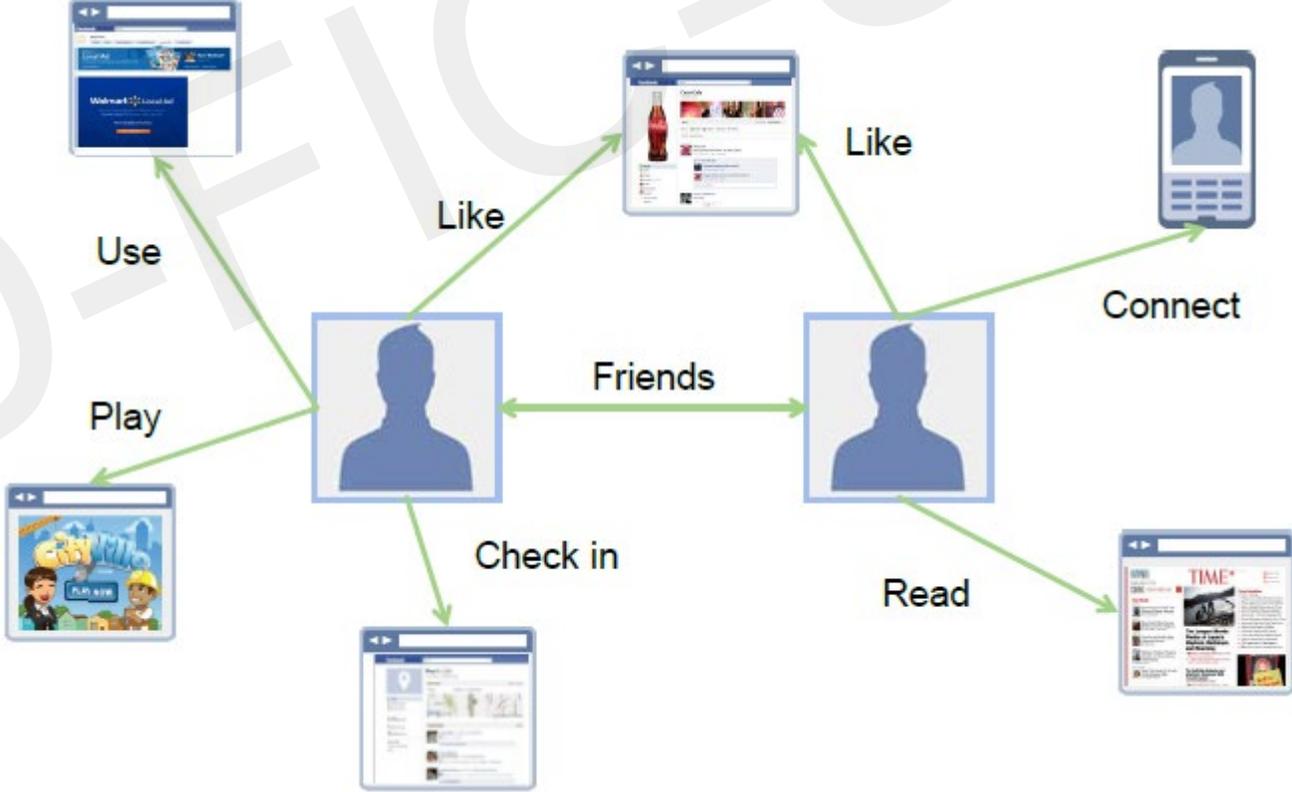


Fig. 8 Facebook.

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN DISPONIBLE:

- Red sísmica.
- Las 3 componentes de registros sísmicos de cada estación.
- Ubicación de cada estación.

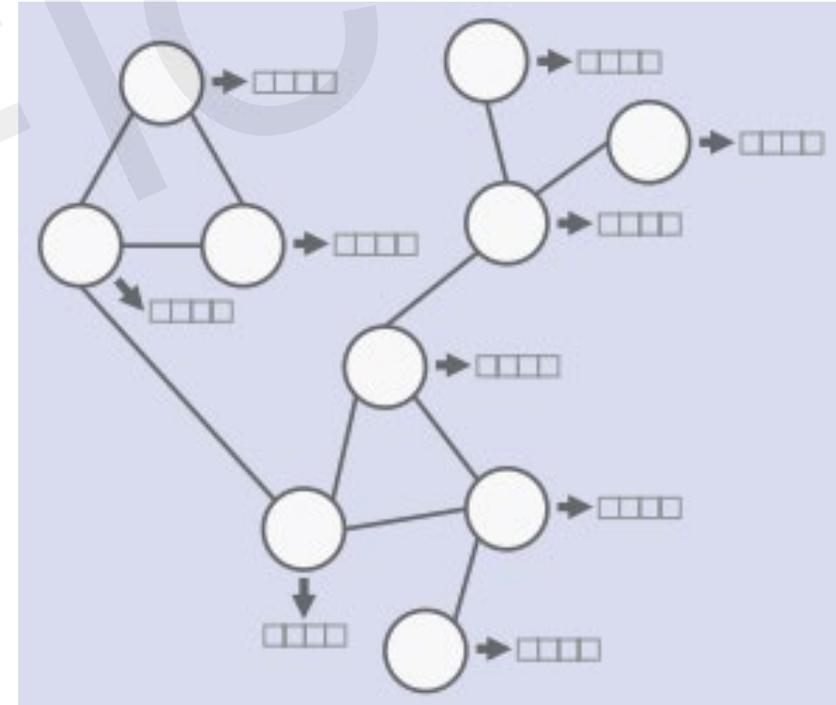
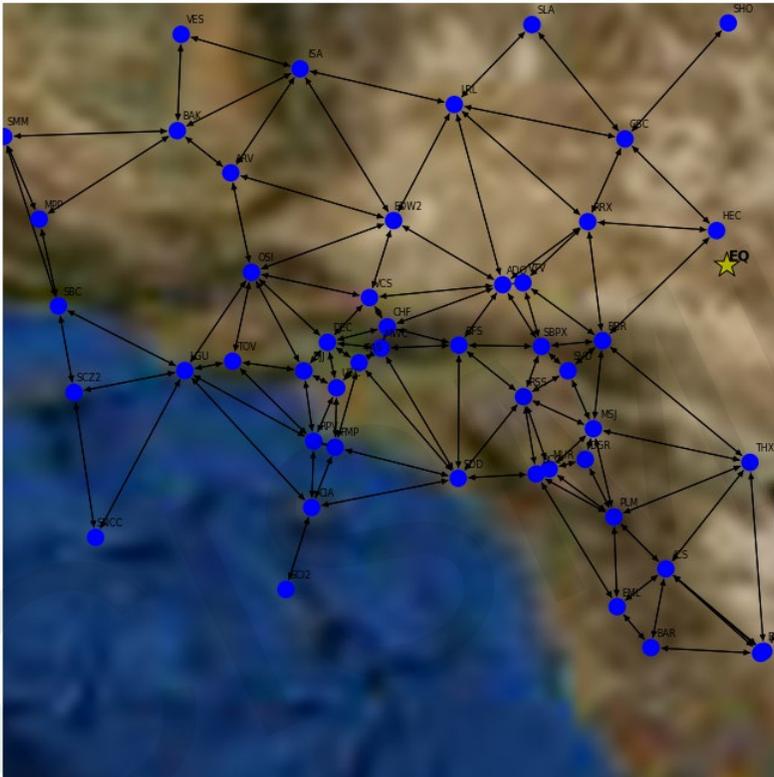


Fig. 9 Modelar una red sísmica como un grafo.

OBJETIVO

Este estudio propuso un método alternativo para estimar los parámetros hipocentrales (latitud, longitud, profundidad y magnitud) de un terremoto usando los registros de varias estaciones y las herramientas de las Redes Neuronales Gráficas (GNN).



PROBLEMA DE REGRESIÓN SUPERVISADO

TAREA NIVEL GRAFO: Estimar localización y magnitud

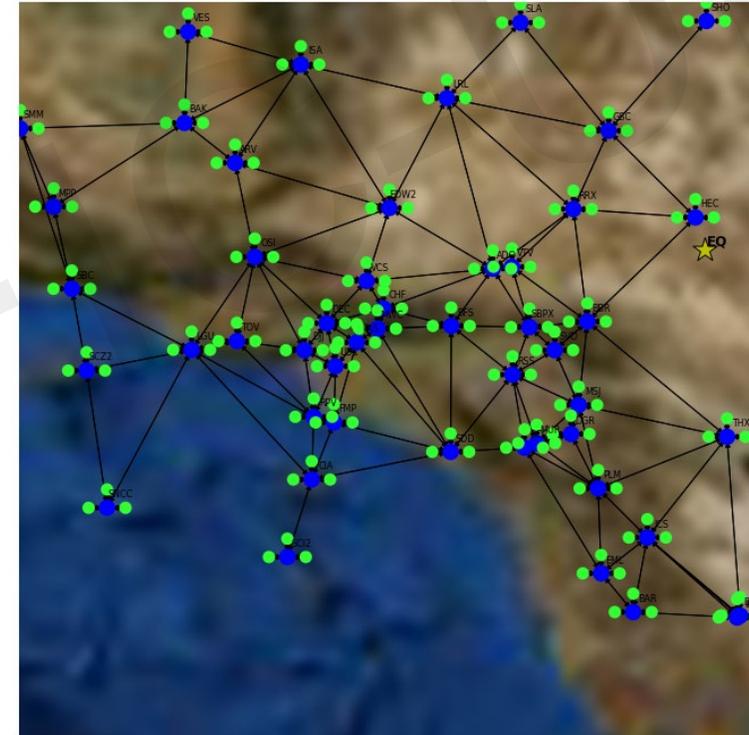
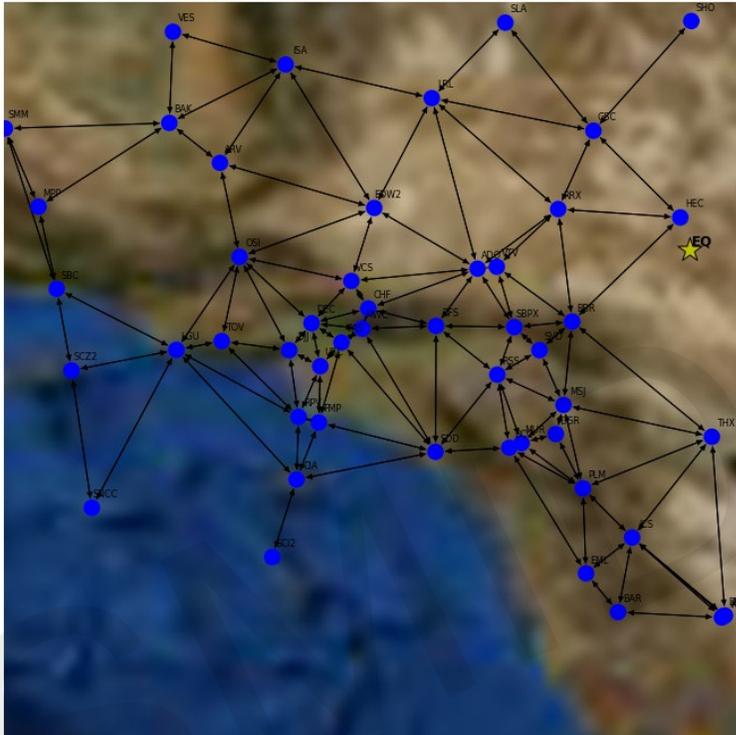
Modelo de GNN

$$M: G(N,E) \rightarrow \mathbb{R}^4$$

Latitud
Longitud
Profundidad
Magnitud

METODOLOGÍA

COMPOSICIÓN DEL GRAFO



Nodos: Estaciones

■ Estaciones (Ubicación)

■ Estaciones virtuales (3-c: N-S, E-W, U-D)

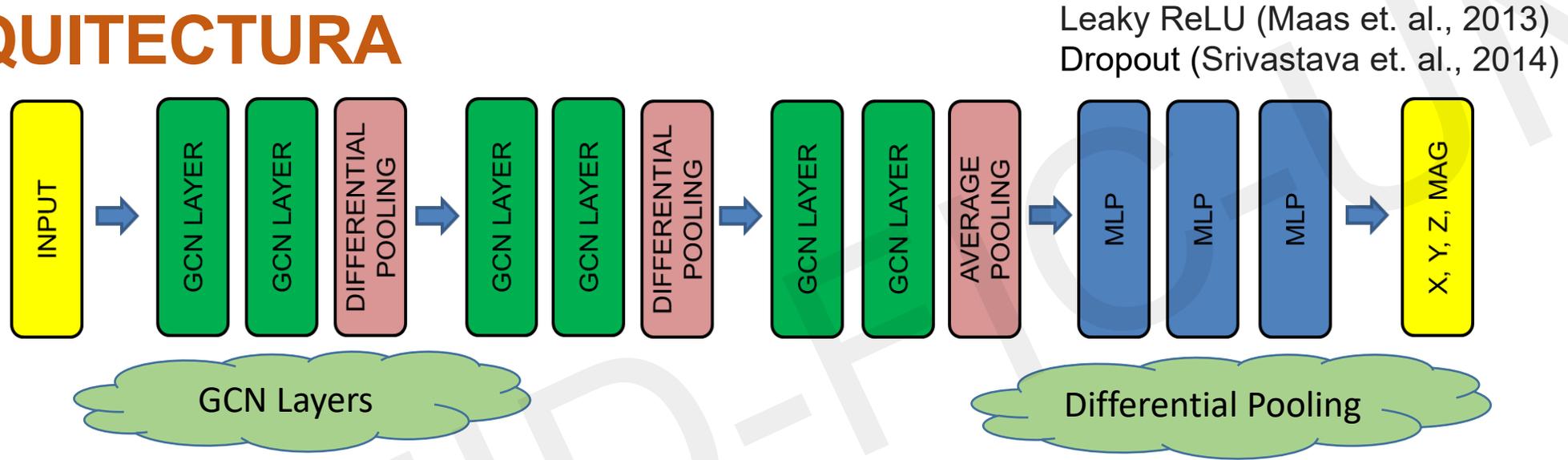
Atributos del nodo: Sismogramas

Enlaces: Cercanía (Mesh o Malla).

Atributos del grafo: Latitud, longitud, profundidad y magnitud.

METODOLOGÍA

ARQUITECTURA



$$Z = \tilde{D}^{-\frac{1}{2}} \tilde{A} \tilde{D}^{-\frac{1}{2}} X \Theta \quad \text{Kipf \& Welling (2017)}$$

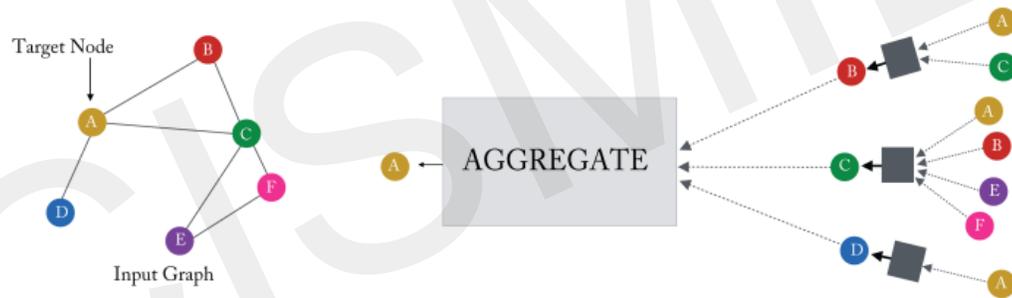


Fig. 10 Message passing (Gilmer et al., 2017) with a special normalization.

Fuente: Hamilton (2020)

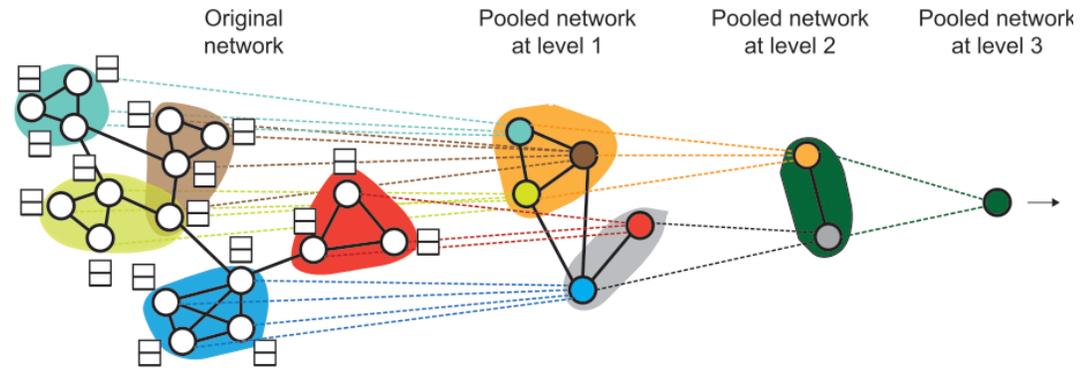


Fig. 11 High-level illustration of DIFFPOOL method.

Fuente: Ying et. al. (2018)

METODOLOGÍA

Base de datos → 1372 eventos (90-5-5 split)

- Obtención de 5 muestras adicionales (negras) a través de desplazar un sismograma (azul) en el dominio del tiempo.

- Historial de errores

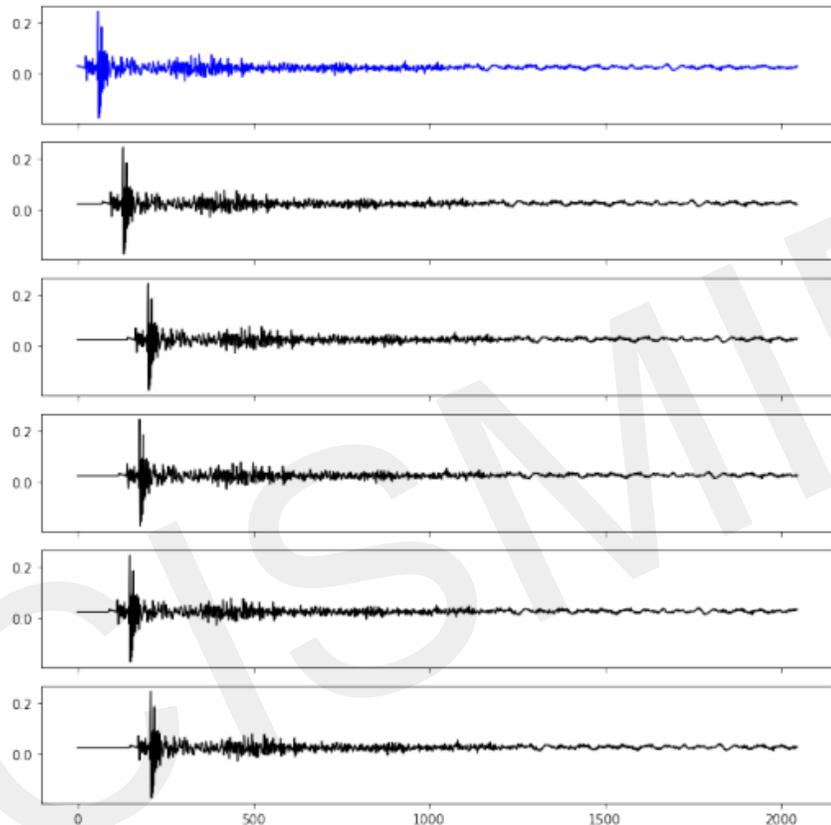


Fig. 12 Data Augmentation

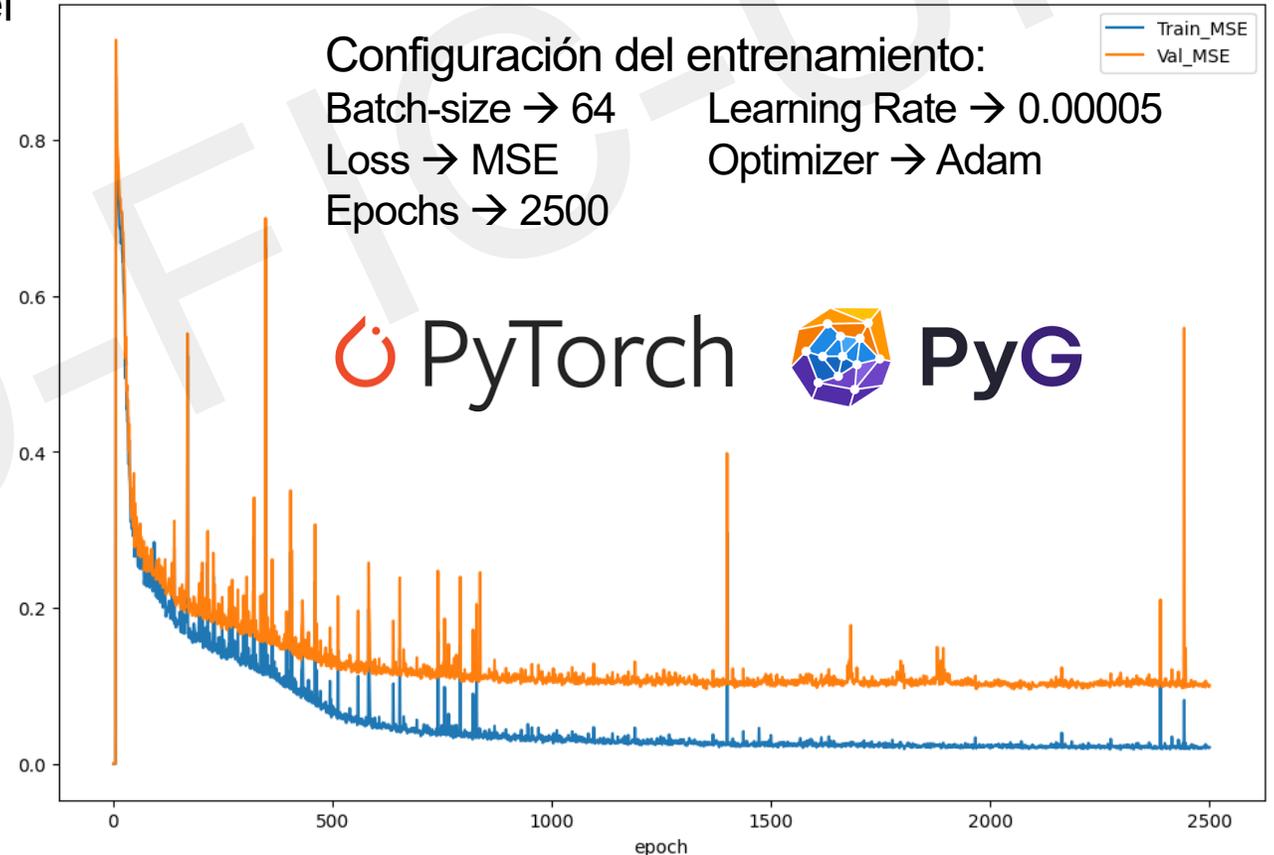


Fig. 13 Error de Entrenamiento / Validación por época

RESULTADOS

- Primero se calcula el Valor Predicho menos el Valor del Catálogo en el set de testeo. Luego se agrupa en una curva de densidad.

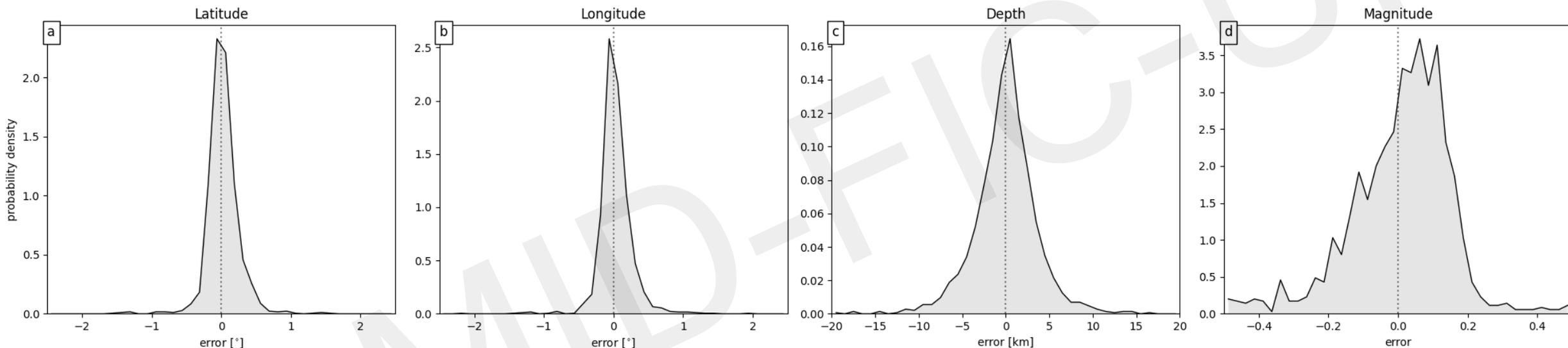


Fig. 14 Curva de densidad (Valor predicho – Valor en el catálogo)

Error Cuadrático Medio (MSE)

LAT MAE	LON MAE	DEPTH MAE	MAG MAE
0.15°	0.15°	2.56 km	0.13
17.18 km	16.60 km		

RESULTADOS

- Valor Predicho vs Valor del Catálogo. El color muestra la densidad de los puntos.

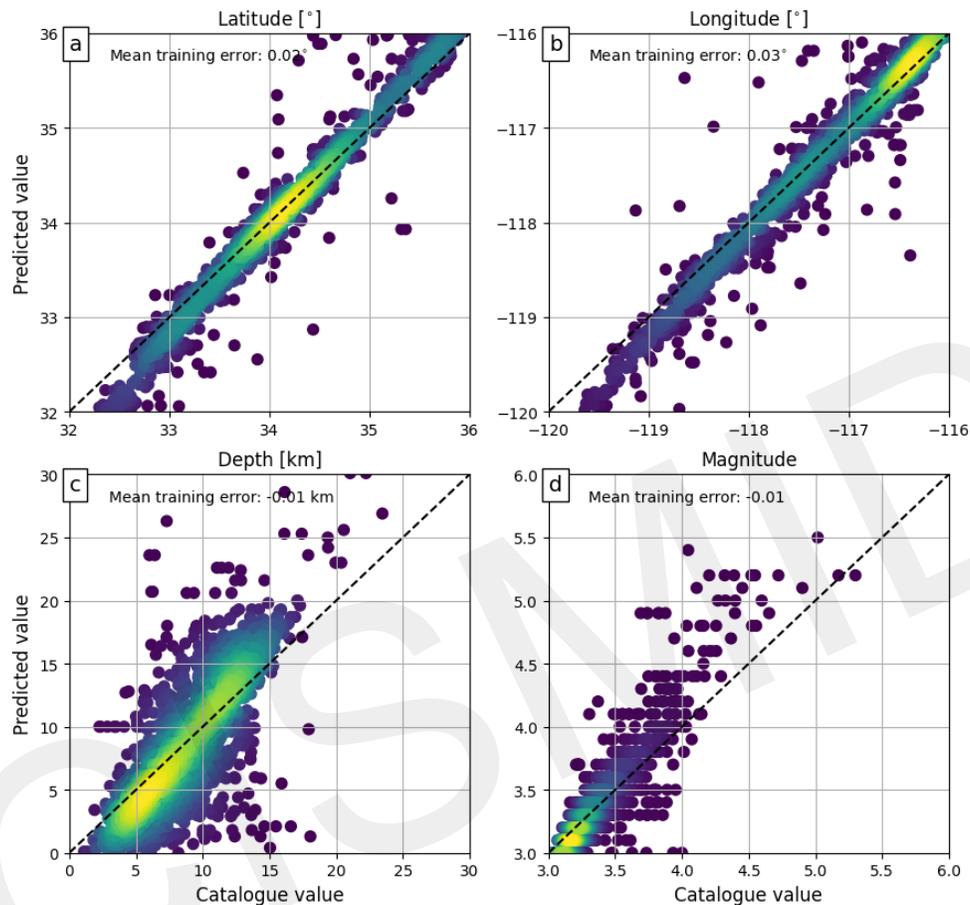


Fig. 15 Valor Predicho vs Valor del Catálogo.

- La flecha va desde el Valor Predicho hasta el Valor del Catálogo. El color representa el nivel de error.

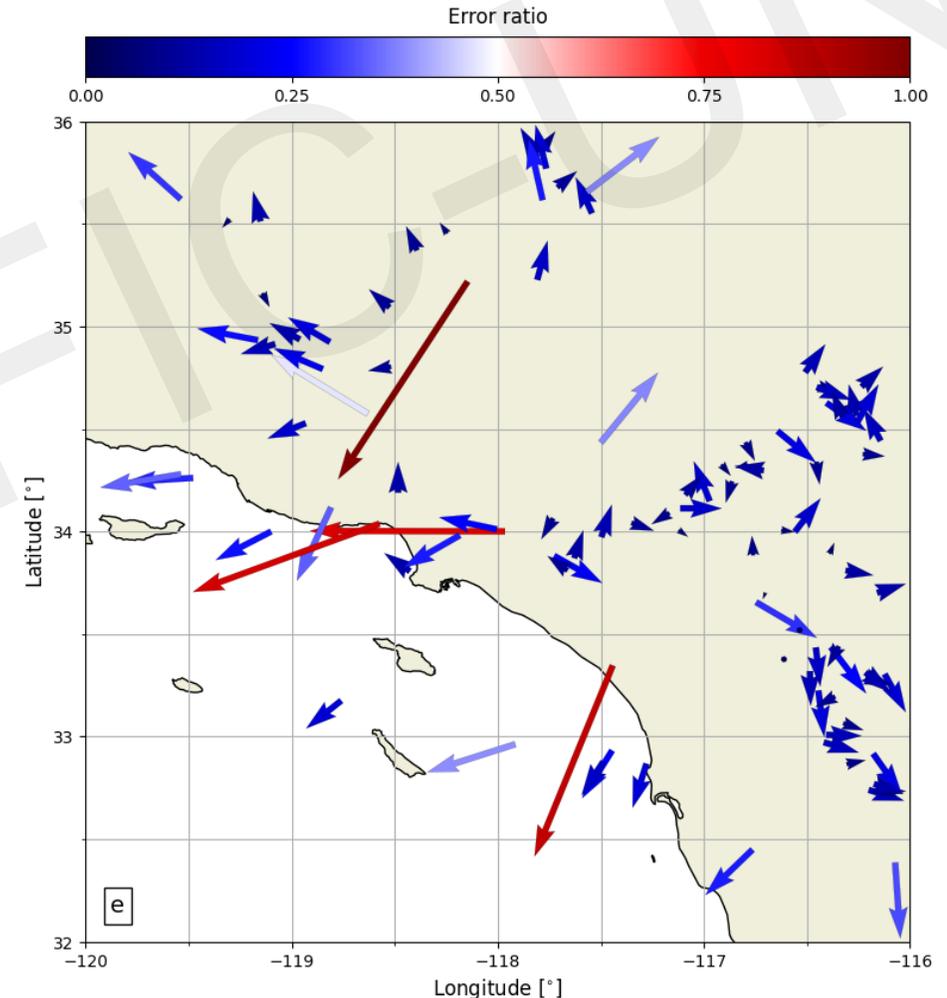


Fig. 16 Residual en la ubicación del epicentro.

CONCLUSIONES

- El modelo de Graph Neural Networks propuesto permite estimar los parámetros hipocentrales a partir de los registros de una red sísmica.
- La data desbalanceada afecta las predicciones en magnitud, provocando sobreestimaciones a eventos de mayor magnitud, esto es debido a la poca cantidad de eventos de gran magnitud.
- Los resultados obtenidos muestran una buena precisión en la ubicación del epicentro (17 km en latitud y 16.5 km en longitud).
- Las predicciones en profundidad muestran una mejoría con respecto a estudios pasados.
- El nivel de precisión obtenido puede ser suficiente para reportes sísmicos preliminares o como input para otros análisis.