

# Uso de la Inteligencia Artificial en el Análisis de Datos Sísmicos en la República Mexicana

Eduardo Hernández Hernández, Miguel Patiño Ortiz, Julián Patiño Ortiz

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica I.P.N. México.  
ed.hernandez.hz@gmail.com, mpatino2002@ipn.mx, jpatino@ipn.mx

**Resumen**— Uno de los fenómenos naturales que más preocupa a la población en México son los sismos ya que ocasionan enormes daños y ocurren de manera imprevista. Aunque existen organismos y una comunidad científica que se encargan de estudiar y monitorear estos eventos no ha sido posible predecir la ocurrencia de un gran terremoto y se debe a varios factores, uno de ellos es contar con herramientas tecnológicas adecuadas para desarrollar sus investigaciones.

Por otra parte, la ciencia de la computación se enfoca en la implementación tecnologías como sistemas de información y algoritmos para resolver problemas de la vida cotidiana, una de las áreas de estudio es la Inteligencia Artificial (IA).

Considerando lo dos temas anteriores, este trabajo propone hacer uso de la IA en el campo de la Sismología, para ello se implementó un modelo predictivo con Vertex, una herramienta de Google, utilizando los registros sísmicos para intentar pronosticar la magnitud de un Sismo en un lugar y tiempo determinado.

**Palabras Clave** — Inteligencia Artificial, Metodología Jenkins, Modelos Predictivos, Sismos, Vertex IA.

**Abstract** — Earthquakes are one of the natural phenomena that most concern the population because they cause enormous damage and occur unexpectedly. There are organizations and scientists that study and monitor these events; however, it has not been possible to predict the occurrence of a major earthquake due to several factors, one of them is having adequate technological tools to develop their investigations.

From the field of computer science, a huge number of machines and computers have been implemented to solve problems in our life, one of them is Artificial Intelligence (AI).

Considering the two previous topics, this research proposes to make use of AI in the field of Seismology, so a predictive model was implemented with Vertex, a Google tool, using seismic records to predict the magnitude of an earthquake in a certain place and time.

**Keywords** — Artificial Intelligence, Jenkins Methodology, Predictive Models, Earthquakes, Vertex AI.

## I. INTRODUCCIÓN

La tierra puede definirse como un sistema ya que es un cuerpo dinámico con numerosas partes interactuantes y cada una de estas relaciones tiene un profundo impacto en el medio ambiente [1], dado este escenario implica romper viejos

paradigmas y proponer nuevos enfoques como el pensamiento sistémico que provee los elementos necesarios para comprender y representar la complejidad de los comportamientos e interrelaciones de los fenómenos [2].

Desde la perspectiva sistémica y de la Ingeniería de Sistemas que tiene como objetivo planificar, diseñar, construir y evaluar sistemas hombre-máquina [3], se desarrolla esta investigación.

Dicho lo anterior, esta exploración se enfoca en uno de los fenómenos naturales más impactantes que ocurren en la Tierra que son los sismos, a los que mayormente está expuesto el territorio nacional y ha ocasionado enormes daños a lo largo de la historia. Dadas las causas anteriores instituciones del gobierno y la comunidad científica han llevado acciones como: estudios para el entendimiento de los sismos, regulaciones para evitar que la población se asiente en sitios expuestos y una red sísmológica operada por el Servicio Sísmológico Nacional (SSN) [4].

Esta investigación tiene como objetivo contribuir al estudio de los sismos, y se plantea hacer uso de la Inteligencia Artificial en los registros sísmicos que tiene el SSN para poder monitorear el comportamiento a futuro de estos eventos.

Adentrarse en esta nueva disciplina implica grandes retos como: analizar el medio ambiente, identificar lo que está sucediendo, por qué está ocurriendo, visualizar el problema y ofrecer una solución [5], para lograr confrontar e integrar estas situaciones se tomará como base la metodología Jenkins, la figura 1 describe cada una de las etapas.

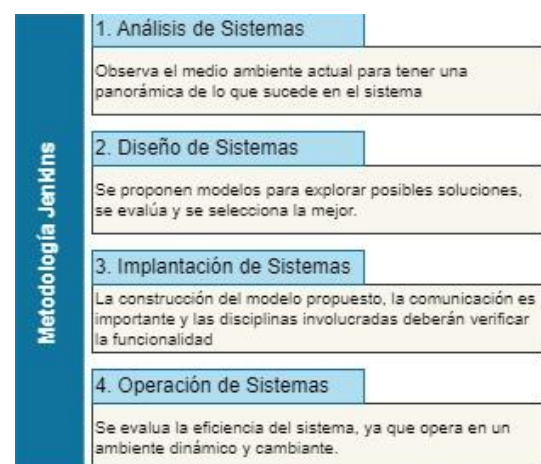


Figura 1. Descripción general de la metodología Jenkins

Fuente. María Paz Gpe, Metodología de Jenkins [5].

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

A. Análisis y Diseño de Sistemas

La primera fase consiste en definir nuestro universo, y para ello tomaremos en cuenta los datos sísmicos que tiene el SSN. Esta organización se encarga de registrar y proveer de información a las autoridades y la población en general sobre la actividad sísmica que ocurre en el país [6].

El SSN contiene datos que van del 1° de enero de 1900 hasta la actualidad, estos catálogos deben ser filtrados para nuestro análisis ya que no existe una consistencia debido a que en diferentes períodos de tiempo surgieron diversos problemas sociales o políticos que impidieron el registro de estos eventos. También es necesario considerar la incorporación de nueva tecnología, la tabla 1 muestra la cantidad de sismos registrados por el SSN dando un total de 313,819 datos en un período comprendido entre enero de 1900 y agosto de 2024, se puede observar en la gráfica de la figura 2 que entre el periodo de 2008 al 2024 el registro sísmico incrementó considerablemente.

Tabla 1. Sismos registrados por el SSN.

Año	Sismos	Año	Sismos	Año	Sismos	Año	Sismos
1900	2	1932	7	1964	2	1996	789
1901	2	1933	2	1965	2	1997	1019
1902	4	1934	3	1966	0	1998	1024
1903	1	1935	2	1967	0	1999	1099
1904	0	1936	0	1968	3	2000	1052
1905	2	1937	4	1969	3	2001	1344
1906	1	1938	0	1970	3	2002	1688
1907	2	1939	2	1971	1	2003	1323
1908	3	1940	2	1972	2	2004	1346
1909	4	1941	1	1973	2	2005	1210
1910	2	1942	3	1974	282	2006	1356
1911	4	1943	3	1975	411	2007	1528
1912	2	1944	2	1976	899	2008	1958
1913	0	1945	4	1977	869	2009	2301
1914	1	1946	2	1978	1079	2010	3462
1915	2	1947	0	1979	1390	2011	4272
1916	2	1948	4	1980	1878	2012	5244
1917	1	1949	0	1981	1919	2013	5361
1918	2	1950	5	1982	2151	2014	7608
1919	1	1951	2	1983	1944	2015	10946
1920	2	1952	0	1984	2489	2016	15547
1921	2	1953	2	1985	2171	2017	26564
1922	1	1954	1	1986	1493	2018	30407
1923	0	1955	3	1987	1184	2019	26442
1924	0	1956	1	1988	1184	2020	30130
1925	3	1957	2	1989	1037	2021	29030
1926	0	1958	0	1990	796	2022	29872
1927	0	1959	2	1991	728	2023	24117
1928	7	1960	1	1992	614	2024	18909
1929	0	1961	1	1993	916	<b>Total</b>	<b>313,819</b>
1930	0	1962	2	1994	622		
1931	2	1963	1	1995	678		

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SSN.

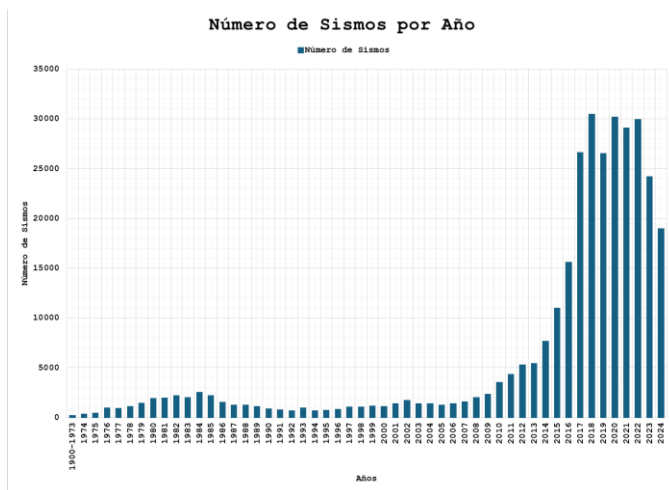


Figura 2. Número de sismos registrados por año en el SSN.

Para delimitar nuestro conjunto de datos, se considera el siguiente punto de partida “Sismo del 7 de septiembre de 2021 que ocurrió a las 20:47 hrs, tuvo epicentro 14 km al suroeste de Acapulco, Guerrero, con magnitud 7.1 y una profundidad de 15 km” [7]. La figura 3 muestra los datos generales del sismo.

Dato del Registro Sísmico
Fecha: 9/7/2021
Hora: 20:47:46
Magnitud: 7.1
Latitud: 16.7553
Longitud: -99.9533
Profundidad: 15 km
Localización: 14 km al SUROESTE de ACAPULCO, GRO

Figura 3. Registro sísmico del 7 de septiembre.

Considerando los datos de la figura 3, el período de tiempo se estableció en un periodo de 2022 a 2024 y las delimitaciones de las coordenadas geográficas quedaron establecidas con una latitud mínima de 15°, latitud máxima de 17 y longitud mínima y máxima de 102° y 98° respectivamente, se muestra en la figura 4. La zona demarcada en la figura 5 muestra la zona donde se realizará el análisis.

Selección del Universo para el análisis.
Latitud Mínima: 15
Latitud Máxima: 17
Logitud Mínima: 102
Logitud Máxima: 98
Magnitud Minima: 3.0
Periodo de Tiempo: 2012 a 2024

Figura 4. Selección del Universo para el análisis.

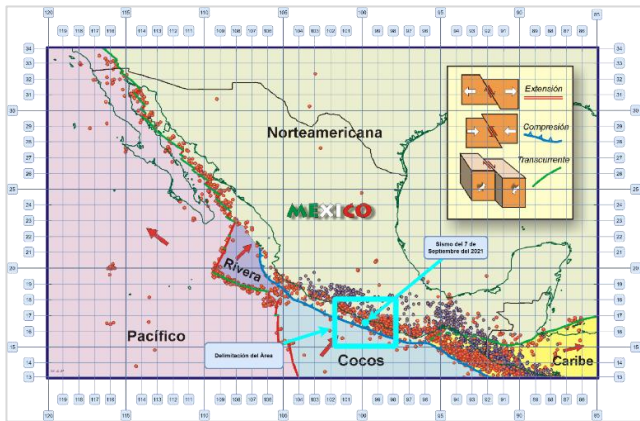


Figura 5. Delimitación del área para el análisis.

Considerando los criterios de selección, figura 4, la cantidad de registros para realizar el análisis da un resultado de 50,300 datos. La tabla 2 muestra la distribución de los sismos y la figura 6 la gráfica representativa.

Tabla 1. Distribución de Sismos de Enero de 2012 a Agosto 2024.

Año	3 <= M < 4	4 <= M < 5	5 <= M < 6	6 <= M < 7	7 <= M < 8	Total de Sismos
2012	1374	317	11	1	1	1704
2013	1148	137	8	1	0	1294
2014	1294	134	6	1	0	1435
2015	2354	180	1	0	0	2535
2016	3601	176	3	0	0	3780
2017	3312	220	7	0	0	3539
2018	7147	332	8	0	1	7488
2019	5993	317	3	0	0	6313
2020	5218	252	6	0	0	5476
2021	5463	227	5	0	1	5696
2022	4886	211	1	0	0	5098
2023	3289	167	0	0	0	3456
2024	2370	114	2	0	0	2486
<b>Total</b>						<b>50300</b>

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SSN.

La finalidad de implementar la Inteligencia Artificial (IA) en nuestro caso de estudio, es para llevar a cabo una mejor recolección de datos, experimentación, teorización y modelaje de resultados. Además, es útil para cualquier línea de investigación y para llevarse a cabo se debe cambiar en dirección hacia a un pensamiento científico basado en el aprendizaje hombre-máquina y de la evolución computacional [8].

En definición la IA es un conjunto de tecnologías que permiten realizar una gran variedad de funciones como: ver, comprender, traducir, analizar, hacer recomendaciones y muchas otras acciones. En conclusión, es la columna vertebral de la innovación en la computación moderna [9].

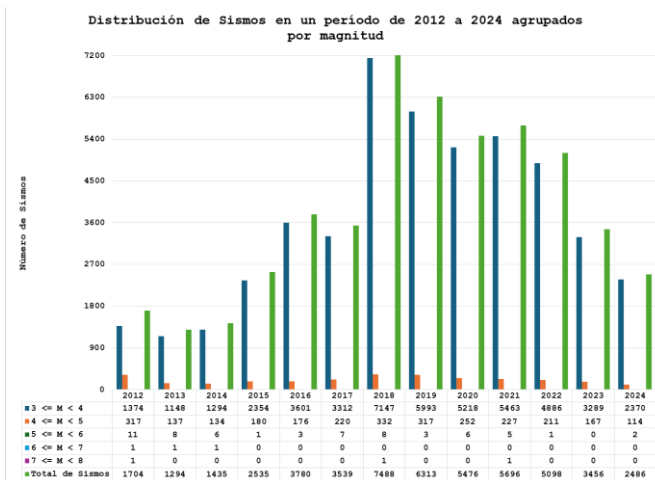


Figura 6. Distribución de Sismos en un período de 2012 a 2024 agrupados por magnitud.

Para llevar a cabo el análisis se propone diseñar un “Modelo predictivo basado en aprendizaje automático”, que hace uso de algoritmos para identificar patrones y generar predicciones a partir de un conjunto de datos. Este modelo está basado en Vertex AI con Gemini 1.5 Pro y Gemini 1.5 Flash, una plataforma de desarrollo de IA unificada y desarrollada por Google, entre sus funciones principales son: 1) IA generativa para implementarla y utilizarla en aplicaciones, 2) Model Garden permite personalizar e implementar Vertex AI con elementos de código abierto y 3) Entrenamiento personalizado brinda control total sobre el proceso de entrenamiento, escritura de propio código y ajuste de los parámetros [10].

### B. Implantación del Sistema

La implementación del modelo para pronosticar la intensidad de los sismos se llevó a cabo en la plataforma de Vertex AI. A continuación, se describen los pasos generales.

Uno de los primeros pasos fue crear una base de datos en BigQuery (una plataforma de análisis de datos creada en Google Cloud [11]) para almacenar los 50,300 registros sísmicos y los datos que se desean predecir para probar el modelo. La figura 7 muestra el entorno de BigQuery.

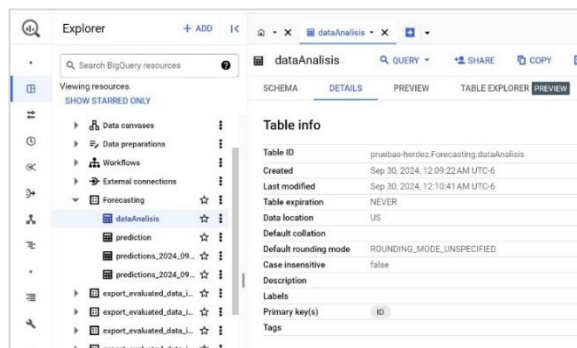


Figura 7. Información de la tabla creada en Big Query.

Posteriormente en la consola de Google ingresamos a Vertex AI y en la sección de Data Sets se creó y entrenó el modelo predictivo. Los pasos generales fueron:

1. *Crear un dataset* y seleccionar la opción Tabular y Forecasting,
2. *Elegir la fuente de información*, en nuestro caso seleccionamos la base de datos creada en bigquery especificando la columna de tiempo e identificador.
3. *Iniciar y elegir el Método de entrenamiento* para el modelo predictivo.
4. *Configurar el modelo*, figura 8, en este paso se especificó: a) la columna que queremos predecir, b) el intervalo de tiempo que existe entre los registros y c) establecer el número de filas que debe considerar el modelo en el pasado y las filas que debe tomar en el futuro para pronosticar el valor objetivo [12].
5. *Seleccionar las columnas* que estarán disponibles en el entrenamiento y que son necesarias para predecir un valor (covariable), también debe indicar los atributos que no son necesarios para la predicción y no cambian con el tiempo [12].
6. El último paso es *establecer el lapso tiempo para entrenar el modelo*.

Figura 8. Configuración del modelo.

Una vez entrenado el modelo, se crea un informe general del impacto que tuvieron las variables relacionadas para predecir el valor (figura 9a) y al mismo tiempo se genera un conjunto de predicciones de prueba, que se puede consultar en la consola de BigQuery este lote de elementos evaluados incluye nuevas columnas que indican el valor pronosticado y la fecha en que se realizaron las predicciones [13], figura 9b.

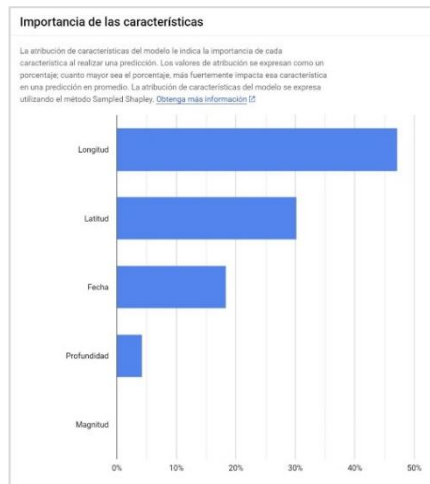


Figura 9a. Importancia de cada covariable para predecir la magnitud.

Row	Fecha	ID	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	predict_value	predicted_on_fecha
1	2023-03-16	45238	16.5465	-98.1497	3.0	38.3	3.33239746...	2023-03-22
2	2023-03-22	45306	16.2407	-98.0953	3.0	9.5	3.36463522...	2023-03-22
3	2023-03-23	45319	16.2618	-98.0362	3.0	9.4	3.36066665...	2023-03-23
4	2023-03-24	45332	16.5992	-99.5757	3.0	16.5	3.47244238...	2023-03-24
5	2023-03-25	45343	16.9635	-100.184	3.0	27.4	3.45057368...	2023-03-25
6	2023-03-30	45376	16.3858	-99.2053	3.0	8.2	3.49907183...	2023-03-30
7	2023-03-31	45387	16.5968	-99.5397	3.0	5.0	3.50013518...	2023-03-31
8	2023-04-07	45440	16.8447	-100.117	3.0	12.7	3.49562835...	2023-04-07
9	2023-04-07	45448	16.9653	-99.8977	3.0	13.9	3.44758915...	2023-04-07
10	2023-04-08	45465	16.9105	-99.5518	3.0	29.5	3.40113306...	2023-04-08

Figura 9b. Conjunto de datos de prueba.

### C. Operación de Sistemas.

El último paso de la metodología fue evaluar la eficiencia del modelo para lo cual, se hizo una comparación entre la magnitud obtenida por el modelo predictivo y la magnitud registrada por el SSN. Las pruebas realizadas consideraron los sismos ocurridos durante el mes de septiembre y se tiene un total de 236 eventos ocurridos en la zona del universo de estudio.

Para llevar a cabo la evaluación del modelo, se creó un lote de predicciones, desde la plataforma de Vertex, figura 10. Esta operación únicamente requirió seleccionar la tabla que contiene los registros que se desean predecir. Una vez finalizada la predicción del conjunto de datos, los resultados se envían a una tabla de BigQuery, figura 11.

Figura 10. Vista para crear un nuevo lote de predicciones.

Row	Fecha	ID	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	predict..._value
1	2024-09-01	6	16.43	-98.68	null	27.6	3.40818071...
2	2024-09-01	2	16.94	-98.66	null	3.9	3.39086699...
3	2024-09-01	4	16.59	-98.11	null	26.1	3.35806393...
4	2024-09-01	0	16.82	-99.61	null	18.6	3.44191598...
5	2024-09-01	3	16.89	-100.32	null	12.3	3.49658823...
6	2024-09-01	1	16.66	-99.21	null	31.8	3.42066740...
7	2024-09-01	5	16.35	-98.09	null	5.0	3.38994383...
8	2024-09-02	16	16.93	-100.2	null	28.4	3.46074724...

Figura 11. Resultados del modelo predictivo.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una muestra de los resultados obtenidos se encuentra en la tabla 3 y se compara la magnitud obtenida por el SSN y la magnitud generada por el Modelo. Para conocer qué tan alejados están los datos calculados con los valores reales se calculó el porcentaje de error.

Tabla 3. Resultados del Modelo Predictivo.

Fecha	Magnitud SSN	Magnitud Modelo	Magnitud SSN vs Magnitud Modelo	Porcentaje de Error
09/09/2024	3.9	3.402	0.498	12.76%
09/09/2024	3.8	3.465	0.335	8.82%
14/09/2024	4.2	3.696	0.504	12.00%
14/09/2024	3.8	3.418	0.382	10.04%
17/09/2024	4.1	3.668	0.432	10.55%
17/09/2024	3.8	3.620	0.180	4.74%
18/09/2024	3.9	3.475	0.425	10.89%
20/09/2024	3.9	3.521	0.379	9.71%
21/09/2024	4	3.621	0.379	9.48%
21/09/2024	3.8	3.623	0.177	4.65%
21/09/2024	3.9	3.625	0.275	7.06%
21/09/2024	3.9	3.633	0.267	6.85%
21/09/2024	3.8	3.588	0.212	5.58%
21/09/2024	3.9	3.628	0.272	6.98%
21/09/2024	3.8	3.623	0.177	4.66%
21/09/2024	4.5	3.636	0.864	19.20%
22/09/2024	3.8	3.585	0.215	5.67%
22/09/2024	3.8	3.457	0.343	9.03%
23/09/2024	4.3	3.599	0.701	16.31%
26/09/2024	3.8	3.666	0.134	3.54%

Nota. Los datos seleccionados de color rojo superan el 15% del porcentaje de error, y los registros de color amarillo están en un intervalo de 10% y 15%.

De los 236 registros que analizó el modelo predictivo se tiene la siguiente información:

- 101 datos están por debajo del 5% de error
- 68 datos están entre el 5% y 10% de error
- 38 datos se ubican entre el 10% y 15% de error
- 19 registros están entre el 15% y el 20% de error y
- 10 registros por arriba del 20% de error.

Este resultado indica que deben mejorarse los parámetros de horizonte, de contexto y la granularidad de datos.

Otra consideración es entrenar el modelo una mayor cantidad de horas y añadir la retroalimentación en el modelo predictivo. La cuestión al final de esta investigación es ¿el uso de la IA en los análisis sísmicos ayudará a romper con los limitantes que existen en la actualidad?

### IV. CONCLUSIONES

El uso de la Inteligencia Artificial puede ser incorporado en diversos campos de estudio, en nuestra investigación se intentó predecir la magnitud de un sismo que ocurriría en un lugar y tiempo determinado dando como resultado valores cercanos a los reales. Esto abre la posibilidad de utilizar la IA en el campo de la Sismología por ejemplo implementarlo en análisis estadísticos, en Análisis Fractales o de Distribución Espacial.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y a los profesores de SEPI de la ESIME Zacatenco de Ingeniería de Sistemas por el apoyo y conocimiento brindado.

### REFERENCIAS

- [1] E. J. Turback y F. K. Lutgens, Ciencias de la Tierra, Madrid: Pearson Educación, 2005.
- [2] C. Sheel Mayenberger, Dinámica de Ecosistemas Industriales, Ciudad de México: Trillas, 2011.
- [3] D. Hurtado Carmona, Teoría General de Sistemas: un enfoque hacia la ingeniería de sistemas., Reino Unido: Lulú, 2011.
- [4] Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana [SEGURIDAD], Coordinación Nacional de Protección Civil [CNPC] y Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México: atlas nacional de riesgos de la República Mexicana., Ciudad de México: Secretaría de Gobernación, 2014.
- [5] M. Paz Guadalupe, «Metodología Jenkins,» de *Ingeniería de Sistemas IV*, Sonora, Instituto Tecnológico de Sonora.
- [6] Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, «Servicio Sismológico Nacional.» [En línea]. Available: <http://www.ssn.unam.mx/>. [Último acceso: septiembre 2024].
- [7] CENAPRED, «Los sismos históricos de septiembre,» 19 septiembre 2022. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/cenapred/articulos/los-sismos-historicos-de-septiembre?idiom=es#:~:text=El%20sismo%20del%2019%20de,%2C%20Guerrero%2C%20Oaxaca%20y%20Tlaxcala](https://www.gob.mx/cenapred/articulos/los-sismos-historicos-de-septiembre?idiom=es#:~:text=El%20sismo%20del%2019%20de,%2C%20Guerrero%2C%20Oaxaca%20y%20Tlaxcala.). [Último acceso: septiembre 2024].
- [8] R. E. Valvuenca Castro, Inteligencia Artificial, Investigación Científica Avanzada Centrada en Datos, Cencal Press, 2021.
- [9] «¿Qué es la inteligencia artificial o IA?», Google Cloud, [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/learn/what-is-artificial-intelligence?hl=es-419>. [Último acceso: septiembre 2024].
- [10] «Vertex AI con Gemini 1.5 Pro y Gemini 1.5 Flash,» Google Cloud, [En línea]. Available: [https://cloud.google.com/vertex-ai?hl=es\\_419](https://cloud.google.com/vertex-ai?hl=es_419). [Último acceso: septiembre 2024].
- [11] «BigQuery,» Google Cloud, [En línea]. Available: [https://cloud.google.com/bigquery?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=latam-MX-all-es-dr-BKWS-all-all-trial-b-dr-1707800-LUAC0020576&utm\\_content=text-ad-none-any-DEV\\_c-CRE\\_688140023018-ADGP\\_Hybrid+%7C+BKWS+-+BR0+%7C+Txt\\_Usecases-Big+Query-KWID\\_4](https://cloud.google.com/bigquery?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=latam-MX-all-es-dr-BKWS-all-all-trial-b-dr-1707800-LUAC0020576&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_688140023018-ADGP_Hybrid+%7C+BKWS+-+BR0+%7C+Txt_Usecases-Big+Query-KWID_4). [Último acceso: septiembre 2024].
- [12] «Parámetros de entrenamiento para modelos de previsión,» Google Cloud, [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/vertex-ai/docs/tabular-data/forecasting-parameters?hl=es-419#forecast-window>. [Último acceso: septiembre 2024].
- [13] Google Cloud Tech, «How to build forecasting models with Vertex AI,» 2021.