



Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas

Responsable de tutorización: **Guillermo CORTÉS MORENO**
Correo electrónico: guillermo.cortes@ugr.es
Departamento: **Física Teórica y del Cosmos (FTyC)**
Área de conocimiento: **Física de la Tierra**

Responsable de cotutorización:
Correo electrónico:
Departamento:
Área de conocimiento:

(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)
Estudiante que propone el trabajo:

Título: ***Diseño e implementación de un sistema no-supervisado de reconocimiento de eventos sísmicos guiado por datos: aplicación a la monitorización de volcanes activos***

Número de créditos: 6 ECTS 12 ECTS

Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):

1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

Descripción y resumen de contenidos:

Se estima que existen unos 1500 volcanes activos que pueden afectar a unos 800 millones de personas que residen en su área de riesgo. Con una media de **20 erupciones simultáneas**, se impone *la necesidad de monitorizar los volcanes activos*. La sismología volcánica describe las clases de eventos sismo-volcánicos (VS – Volcano Seismic) que representan un peligro inminente para poblaciones cercanas así como aquellos que son precursores de erupciones (McNutt, 2002). *Los sistemas* automáticos de reconocimiento de eventos VS (**VSR – Volcano Seismic Recognition**) *permiten detectar y clasificar en tiempo real dichos eventos*, pero tanto aquellos basados en modelos estadísticos clásicos (Benítez et al., 2007) como los más modernos inspirados en Deep Learning (Titos et al., 2018) sufren de un diseño supervisado estático incapaz de adaptarse a las condiciones cambiantes de los volcanes y pierden su efectividad de detectar nuevas clases VS cuando el volcán cambia de estado en su ciclo eruptivo.

Se propone diseñar y evaluar un sistema de modelado estadístico no-supervisado, guiado por datos, capaz de adaptarse automáticamente a los cambios en la sismicidad (Seydoux et al., 2020; Jenkins et al., 2021). A partir del análisis automático de la formas de onda sísmicas y de su descripción más eficiente en secuencias de vectores de características se detectarán distintos patrones o sub-eventos iniciales. Dichos patrones se agruparán automáticamente en subclases VS y se estudiará la evolución temporal de unas subclases a otras. Las transiciones entre subclases más probables conformarán definirán las ‘metaclases’ VS que se modelarán mediante modelos ocultos de Markov (HMMs) con transiciones entre estados descritas mediante distribuciones temporales. Dicho sistema se comparará con tecnologías semi-supervisadas independientes de volcán (Volcano-Independent VSR – **VI.VSR**, (Cortés et al., 2021)) en un escenario con datos de referencia y en otro escenario más realista con datos obtenidos de volcanes activos con episodios eruptivos

recientes.

Actividades a desarrollar:

- **(A.1) – Revisión bibliográfica** de métodos de clasificación no supervisada (clustering), tanto técnicas clásicas (kMeans, Self-Organizing Maps – SOMs, Gaussian Mixture Models - GMMs) de Machine Learning como algoritmos recientes de Deep Learning basados en auto-encoders y redes neuronales con memoria. Además se estudiarán los sistemas de reconocimiento VSR y U.VSR más relevantes y su papel en la vigilancia (monitoreo) de volcanes activos.
- **(A.2) – Implementación del sistema no supervisado de VSR (U.VSR):** a partir del método de clustering seleccionado, se diseñará y evaluará modelos U.VSR comparándolos con sistemas semi-supervisados (Volcano-Independiente - VI.VSR) en una base de datos de referencia con eventos VS ya etiquetados previamente. El software será desarrollado dentro del ecosistema Python..
- **(A.3) – Aplicación del sistema U.VSR en escenarios reales:** Se evaluará el sistema diseñado aplicándolo a datos en continuo adquiridos mediante servidores remotos de acceso público (FDSN) en volcanes con una importante actividad sísmica actual.

Objetivos planteados

- ✓ **(O.1) Adquisición de competencias teóricas y experimentales en el área de Machine / Deep Learning (ML / DL)** focalizadas al reconocimiento no supervisado de patrones en series temporales.
- ✓ **(O.2) Familiarización con la sismología volcánica, la monitorización en continuo de datos sísmicos y los sistemas de reconocimiento automático de eventos sismo-volcánicos (VSR)** así como de la generación de hipótesis que interrelacionen las señales observadas con los procesos físicos asociados a la fuentes sísmicas que las generan.
- ✓ **(O.3) Desarrollo de capacidades analíticas y críticas, y de su aplicación práctica en escenarios de monitorización remota de volcanes** mediante las actividades a desarrollar.

Bibliografía

- (Benítez et al., 2007)** Benítez, C., Ramírez, J., Segura, J.C., Ibáñez, J.M., Almendros, J., Cortés, G., 2007. “*Continuous HMM-based seismic event classification at Deception Island, Antarctica*”. *IEEE TGRS* 45(1):138–147, doi:10.1109/TGRS.2006.882264.
- (Cortés et al., 2021)** Cortés G., R. Carniel, M. Á. Mendoza, P. Lesage, I. Della Lucia, (2021), “*Practical Volcano-Independent Recognition of Seismic Events: VULCAN.ears project*”, *FEART 2021*, (8):616676. doi:10.3389/feart.2020.616676
- (Jenkins et al., 2021)** Jenkins, W. F., II., Gerstoft, P., Bianco, M. J., & Bromirski, P. D. (2021). “*Unsupervised deep clustering of seismic data: Monitoring the Ross Ice Shelf, Antarctica*”. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2021JB021716. doi:10.1029/2021JB021716
- (McNutt, 2002)** McNutt, S. R. (2002). *Volcano seismology and monitoring for eruptions. International Geophysics Series*, 81(A), 383-406.
- (Seydoux et al., 2020)** Seydoux, L., Balestrieri, R., Poli, P. et al. Clustering earthquake signals and background noises in continuous seismic data with unsupervised deep learning. *Nat Commun* 11, 3972 (2020). doi:10.1038/s41467-020-17841-x
- (Titos et al., 2018)** Titos, M., Bueno, A., García, L., Benítez, M. C., Ibáñez, J., 2018. “*Detection and Classification of Continuous Volcano-Seismic Signals With Recurrent Neural Networks*”. *IEEE TGRS* 57(4):1936–1948, doi:10.1109/TGRS.2018.2870202.

Firma del estudiante
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de tutorización
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de cotutorización (*en su caso*)
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

En Granada, a 22 de Mayo de 2023