

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS

### ANEXO 2 – DETALLES DE LA PROPUESTA

Investigación Básica <input checked="" type="checkbox"/>	Investigación Aplicada <input type="checkbox"/>
<b>DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTO(S):</b>	
1. Departamento de Física	
2. Instituto Geofísico	
<b>LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:</b>	
1. Fundamentos de Física	
2.	

<b>DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)</b>	
Ciencias Naturales y Exactas;	X
Ingeniería y Tecnologías;	
Ciencias Médicas;	
Ciencias Agrícolas;	
Ciencias Sociales;	
Humanidades	

<b>OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)</b>	
Exploración y explotación del medio terrestre; Ambiente;	X
Exploración y Explotación del espacio;	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras;	
Energía;	
Producción y tecnología industrial;	
Salud;	
Agricultura;	
Educación;	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación;	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos;	
Defensa;	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU);	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes.	



**1 Proyecto de Investigación**

**Título:**

**Propiedades estadísticas de los sismos en Ecuador**

**Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)**

El objetivo de este proyecto es estudiar las propiedades estadísticas de las series temporales de los sismos tectónicos en el Ecuador y su comparación con modelos teóricos.

En particular, se desea modelar tres características principales de las series temporales: (1) la distribución de tiempos de espera intra-evento, según la ley de Omori, y una ley adaptada para describir con la misma función analítica tanto las réplicas cuanto los eventos principales; (2) las propiedades estadísticas de magnitud, tiempos de espera, y otras, y la comparación con los resultados de un modelo simple de generación de terremotos que será desarrollado en el proyecto; (3) las propiedades fractales y multifractales de las series temporales y de los epicentros de los eventos, que llevan informaciones sobre el nivel de *clustering* de los eventos y sobre las características de las regiones sismogénicas.

La base de datos medida por la Red Nacional de Sismógrafos, operada por el Instituto Geofísico, será previamente analizada para seleccionar una ventana de tiempo adecuada para desarrollar el presente proyecto.

Los resultados de este proyecto podrán mejorar la comprensión del fenómeno sísmico en general, y en particular producir una descripción de las propiedades específicas de los terremotos en el territorio ecuatoriano.

**Palabras clave (4-6):**

Terremotos, series temporales, ley de Omori, fractales



## 2 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 Objetivo General

- Obtener una descripción adecuada de las propiedades empíricas de los sismos en Ecuador y compararlas con las propiedades que se deducen de los modelos teóricos.

#### 2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Obtención y tratamiento de las series temporales de sismos en el Ecuador, y formación de un catálogo completo en función del nivel de magnitud límite en una ventana temporal oportuna. Obtención de un mapa de los epicentros de eventos sísmicos.
- b. Finalización de un modelo simple de ocurrencia de eventos sísmicos tectónicos (tipo *stick-slip*) en tres dimensiones.
- c. Estudio de las propiedades estadísticas de magnitud y tiempos de espera intra-evento de las series temporales medidas por la Red Nacional de Sismógrafos del Ecuador.
- d. Estudio de las mismas propiedades de las series temporales obtenidas por el modelo.
- e. Modelización de la ley de escala de los tiempos intra-evento mediante una relación de distribución generalizada (Omori Modificado), utilizando tanto datos reales como datos teóricos extraídos del modelo.
- f. Determinar las características multifractales de las secuencias temporales de las dos bases de datos previas y compararlas.
- g. Determinar las propiedades topológicas de las regiones sismogénicas mediante el cálculo de la dimensión fractal de las localizaciones de los eventos.

### 2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Catálogo de sismos en la zona de subducción en el Ecuador en la ventana temporal 2012-2018. Identificación de series de réplicas (*aftershock*) y de sismos principales (*main shocks*).
- b. Desarrollo de un código computacional para la modelización de eventos sísmicos, y generación de varias series temporales de datos sintéticos.
- c. Cálculo de las funciones de distribución de probabilidad de las magnitudes y de los tiempos intra-evento para cada catálogo obtenido en los puntos (a) y (b), con diferente magnitud límite.
- d. Ajuste (fit) no lineal de las funciones de distribución de probabilidad mediante diferentes leyes: ley de Omori para la descripción de réplicas (*aftershocks*), ley de Gutenberg-Richter para la descripción de sismos principales (*main shocks*), y ley de Omori Modificada para la descripción de catálogos completos.
- e. Cálculo del espectro multifractal de los catálogos, y comparación entre datos reales y sintéticos.
- f. Cálculo de la dimensión fractal de varias regiones sismogénicas para determinar las propiedades topológicas del territorio Ecuatoriano.

## 3 Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación

El estudio de los procesos físicos y geológicos responsables de los terremotos tiene relevancia a nivel mundial debido al enorme impacto de tales fenómenos sobre la humanidad. En particular, Ecuador es objeto de eventos sísmicos muy fuertes y a veces catastróficos, que resultan en un costo muy alto, tanto de vidas humanas como de infraestructuras y recursos.

Este proyecto tiene dos objetivos principales: primero, intentar construir un modelo simple que describa el fenómeno físico causante de los movimientos sísmicos, y verificar su validez mediante la comparación de las propiedades estadísticas de las series temporales producidas y las series temporales empíricas de los sismos en el Ecuador; y segundo, obtener una descripción de las características topológicas de las regiones sismogénicas del país.



Este estudio encaja perfectamente dentro de las líneas de investigación del Departamento de Física y del Instituto Geofísico, por ser un tema directamente relacionado con la física de los sistemas complejos (física teórica) y por ser un estudio de las propiedades estadísticas de los sismos ecuatorianos (interés principal del Instituto Geofísico).

**4 Productos esperados (marcar con una "X" al menos uno de los productos no señalados)**

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	X
g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	X

**5 Descripción y metodología y diseño del proyecto**

**5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)**

Los eventos sísmicos son un fenómeno espacio-temporal complejo [1-3]. Los eventos más fuertes suelen ser precedidos por una serie de eventos previos y seguidos por una serie de eventos posteriores, todos localizados espacio-temporalmente cerca del evento principal. Se conocen por lo menos tres leyes estadísticas principales: la ley de Gutenberg-Richter (GR), que describe la distribución del número de eventos de cierta magnitud [4]; la ley de Omori, que describe la disminución en el tiempo de la frecuencia de los eventos posteriores y tiene forma de ley de potencias [5]; y la distribución fractal de los epicentros en una región sismogénica dada [1]. En este proyecto se busca estudiar algunas de estas propiedades estadísticas a partir de las bases de datos sísmicos presentes en el Ecuador.

El proyecto consta de tres partes que se desarrollarán en paralelo:

(1) Por un lado, se identificará las bases de datos necesarias para llevar a cabo el análisis. Los datos, medidos por la Red Nacional de Sismógrafos operada por el IG, necesitarán ser seleccionados y controlados para asegurar que tanto los catálogos como las series de eventos posteriores sean correctas y estén bien calibradas [6]. Los datos necesarios serán la magnitud, el momento sísmico, la localización del epicentro, y el tiempo de cada evento. Además de los catálogos generales de eventos, se seleccionarán unas series de réplicas (*aftershocks*) posiblemente 5-10 casos, y un catálogo que no incluya las réplicas. Este análisis será realizado por Jorge Aguilar y Mario Ruiz (IG). Se analizarán los sismos tectónicos registrados en el país con una magnitud mayor a 3.5 desde 2013 y también la secuencia de réplicas del sismo del 14 de agosto del 2014, del 16 de abril del 2016 y del 22 de febrero del 2019.

(2) Por otro lado, se desarrollará un modelo simple de producción de sismos basado en los modelos clásicos de Burridge-Knopoff [7,8] con *stick-slip* [9]. El modelo será una generalización en 3D de estos modelos, e incluirá constantes elásticas diferentes -extraídas de una distribución Gaussiana- para los resortes que forman parte de este tipo de modelos. Otras posibles variantes podrán ser también consideradas con el objeto de conseguir que el modelo sea lo más realista posible. El modelo final que se obtenga será utilizado para



producir series temporales sintéticas de terremotos, que se compararán con los datos empíricos que tiene el Instituto Geofísico. Esta parte del proyecto será desarrollada principalmente por Ramon Xulvi-Brunet, profesor del Departamento de Física.

(3) Sucesivamente, una vez que las primeras bases de datos estén disponibles, se procederá al análisis de sus propiedades estadísticas. Después de verificar la ley de GR para el catálogo completo de sismos, se aplicará una ley alternativa a la ley de Omori que pueda describir tanto las series de réplicas como los datos de los catálogos generales, dependiendo de un parámetro libre [10] que se obtendrá a partir del *fit* de los datos. Para verificar esta ley se utilizará tanto series temporales de réplicas como datos de diferente magnitud límite, después de obtener la distribución acumulada de los tiempos de espera entre eventos sucesivos. Además de los datos medidos por la red sismográfica ecuatoriana, se utilizará la ley para convalidar los datos sintéticos producidos por el modelo *stick-slip*. Esta parte del proyecto será desarrollada por Luca Sorriso-Valvo, profesor del Departamento de Física.

(4) Finalmente, se calculará la dimensión fractal de las distribuciones espaciales de los epicentros [1] - utilizando técnicas clásicas de *box-counting* - y se comparará con los resultados correspondientes de diferentes series de réplicas, catálogos de diferente magnitud límite y datos sintéticos del modelo *stick-slip*. Al mismo tiempo, se calculará el espectro multifractal de las series temporales completas, con diferente magnitud límite, utilizando técnicas de *coarse-graining*, y la ley de escala de momentos de la medida del momento sísmico [11]. El mismo análisis será realizado utilizando los datos sintéticos para poder comparar los resultados. Esta parte del proyecto será desarrollada principalmente por Luca Sorriso-Valvo, profesor del Departamento de Física.

[1] Turcotte D. L., *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics* (Cambridge University Press), 1993.  
 [2] Sornette D., *Phys. Rep.*, 313, 237 (1999).  
 [3] Bak P., Christensen K., Danon L. and Scanlon T., *Phys. Rev. Lett.*, 88, 178501 (2002).  
 [4] Gutenberg B. and Richter C. F., *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185 (1944).  
 [5] Omori F., *J. Coll. Sci. Imp. Tokyo*, 7, 111 (1895).  
 [6] Beauval C., Yepes H., Palacios P., Segovia M., Alvarado A., Font Y., Aguilar J., Troncoso L., Vaca S., *The Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 773 (2013).  
 [7] R. Burridge and L. Knopoff. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 57, 3411 (1967).  
 [8] P. Bak, C. Tang, and K. Wiesenfeld. *Phys. Rev. Lett.* 59, 381 (1987).  
 [9] W. F. Brace and J. D. Byerlee. *Science* 153, 990-992 (1966).  
 [10] Carbone V., Sorriso-Valvo L., Harabaglia P. and Guerra I., *Europhys. Lett.*, 71, 1036 (2005).  
 [11] Hirabayashi T., Ito K., Yoshii T., *Pure and Applied Geophysics*, 138, 591 (1992).

**6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

**6.1 Infraestructura y equipos**

<b>Infraestructura</b>	<b>Equipos</b>	
Departamento de Física	<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Ubicación del Equipo</b>
	Computadores de escritorio	Departamento de Física
<b>Infraestructura</b>	<b>Equipos</b>	
Instituto Geofísico	<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Ubicación del Equipo</b>
	Computadores de escritorio, servidores de procesamiento y sistema flex de almacenamiento de datos.	Instituto Geofísico

**6.2 Breve justificación del equipo requerido**

N/A

**6.3 Fondos Adicionales**

N/A