

## I. Nombre del Proyecto de Investigación

Identificación de peligros volcánicos a través de un Sistema de Monitoreo Visual en tiempo real para los volcanes activos Popocatepetl y Fuego de Colima utilizando video de alta resolución e imágenes en infrarrojo.

### Requisitos de elegibilidad técnicos y administrativos

#### a) Elegibilidad técnica, evaluación e incorporación experiencias.

En el volcán Popocatepetl se ha ido construyendo un sistema de vigilancia y monitoreo a partir de 1994, en un esfuerzo conjunto entre el CENAPRED y los institutos de Geofísica y de Ingeniería de la UNAM, con la colaboración del Cascades Volcano Observatory, del United States Geological Survey (USGS). El sistema transmite en tiempo real, las 24 horas, más de 70 señales (CENAPRED 2003).

Con este sistema, a lo largo de estos 23 años, se han generado más de 40 mil sismogramas, 12 TB de información de parámetros volcánicos y 5 TB de acervo fotográfico. Las variables del monitoreo del volcán Popocatepetl 1994-2017 han permitido identificar más de 3,183 sismos volcanotectónicos (VT) de magnitud promedio 2.18, que son el resultado de fracturamientos de roca relacionados con el incremento de esfuerzos dentro del volcán; 229,268 sismos de periodo largo (LP) y 7,119 horas de tremor, ambas señales asociadas con el movimiento de fluidos (gases y/o magma) y 764 eventos explosivos con columnas de ceniza de más de 1 km de altura. El volumen acumulativo de los más de 70 domos de lava que se han emplazado en el interior del cráter es de 20 millones de metros cúbicos.

La información antes mencionada ha aportado y ayudado a la generación de más de 100 artículos de divulgación científica, publicados en al menos 15 revistas internacionales; más de 100 tesis de licenciatura, maestría o doctorado; y varios cientos de resúmenes presentados en diversos congresos, tanto nacionales como internacionales.

### Identificación y estimación de peligros, vulnerabilidades y riesgo.

Con el objeto de cubrir las necesidades mínimas de monitoreo continuo en tiempo real, recomendadas por el CENAPRED para los volcanes considerados de riesgo muy alto, como lo son el Popocatepetl y el Fuego de Colima, que permita seguir los cambios detallados de la actividad en tiempo real, así como desarrollar, probar y aplicar modelos a la actividad presente y futura, se propone instalar cuatro cámaras

para monitoreo visual, con capacidad de visión infrarroja, para monitoreo nocturno (2 en Popocatépetl y 2 para Fuego de Colima),.



Fig 1. Volcán Popocatépetl, evento eruptivo del 8 de marzo de 2008, observado simultáneamente por tres cámaras dedicadas a la observación visual.

Adicionalmente, como parte de las acciones preventivas de Protección Civil, se pretende reforzar la vigilancia visual de los volcanes con la implementación de infraestructura y equipamiento para operar un sistema capaz de transmitir video en tiempo real, de acceso público, y almacenamiento para su posterior análisis.

Los eventos volcánicos, tanto del Popocatépetl como del Fuego de Colima, han sido diversos en sus manifestaciones: flujos de lodo (lahares), caída de cenizas y flujos piroclásticos, entre otros. Precisamente, para poder pronosticar el estado en que se encuentran estos volcanes, en un momento dado, se requiere de la mayor cantidad de datos posible y si es en tiempo real, mejor.

### Mitigación y Prevención

La información generada por el sistema de monitoreo es la base para la emisión de recomendaciones por los miembros del Comité Técnico Científico Asesor del volcán Popocatépetl, para la toma de decisiones

por parte de las autoridades de Protección Civil, para mitigar el riesgo volcánico en la población y la infraestructura en el área de influencia del volcán Popocatepetl.

### Atención de las Emergencias

La presente propuesta pretende fortalecer los procedimientos para la detección de los peligros asociados a la actividad volcánica, como son lluvia de ceniza, caída de balísticos, derrumbes, derrames de lava y flujos piroclásticos. Esta información, correlacionada con los mapas de peligro para cada volcán, proporciona los elementos necesarios para, en su caso, emitir avisos por los medios adecuados, a los tomadores de decisiones en temas de protección civil y/o seguridad pública. En este sentido, el proyecto contempla la obtención de imágenes de alta resolución y capacidad de visión nocturna, que como parte del monitoreo continuo, permite identificar características previamente definidas con relación a un determinado nivel de peligro.

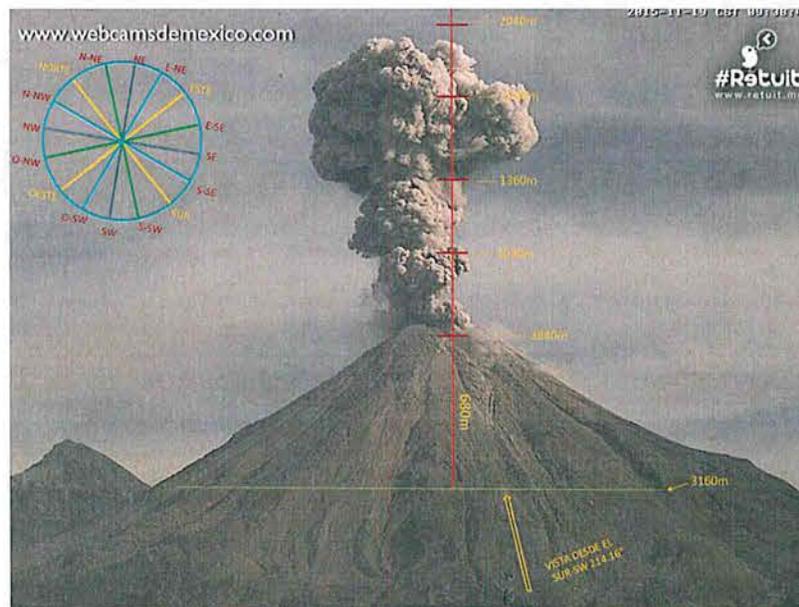


Fig 2. Volcán Fuego de Colima, evento eruptivo del 19 de noviembre de 2015, análisis, seguimiento y estimación de la altura, dirección y concentración de ceniza.

*M*

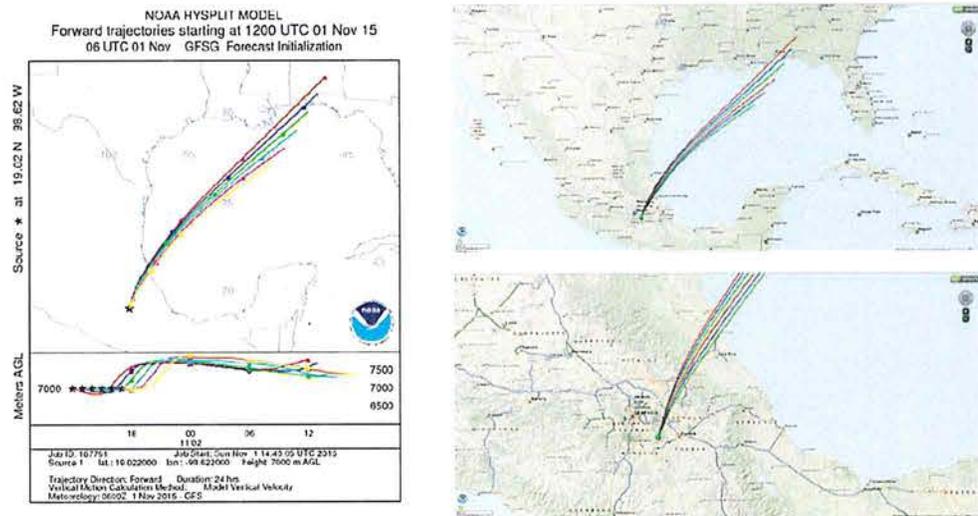


Fig 3. Volcán Popocatepetl, pronostico a corto plazo de las posibles trayectorias de las emisiones, con base en modelos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional y NOAA - EU

#### b) Elegibilidad administrativa

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como instancia técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil, se encuentra plenamente acreditado e identificado ante los órganos decisorios del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), y su Representante Legal cuenta con las atribuciones necesarias a fin de garantizar la adecuada ejecución del mismo.

El objetivo del Proyecto de Investigación se apega a lo establecido en la fracción VI del artículo 48 de las ROFOPREDEN, la cual señala que la Subcuenta proporcionará financiamiento para *“Investigaciones aplicadas al desarrollo y mejoramiento de tecnologías para la prevención y mitigación de riesgos”*.

La solución planteada en este proyecto se fundamenta científicamente en un conjunto de tecnologías multidisciplinarias, principalmente en los campos de la geofísica, la geología, la electrónica, las comunicaciones y la computación.

## Monto del financiamiento con cargo a la Subcuenta de Investigación del FOPREDEN

\$ 340, 000.00 (Trescientos cuarenta mil pesos 00/100 m.n.).

## II. Términos de referencia del Proyecto de Investigación:

### a) Objetivo General del Proyecto de Investigación

Contar con un sistema de adquisición y análisis visual, que permita seguir los cambios detallados de la actividad en tiempo real, así como desarrollar, probar y aplicar modelos a la actividad presente y futura

### Objetivos Específicos del Proyecto de Investigación

1. Integrar a los sistemas de monitoreo de los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima cuatro cámaras para monitoreo visual con capacidad de visión infrarroja (2 en Popocatepetl y 2 para Fuego de Colima).
2. Generar una base de datos de imágenes y videos de los eventos considerados importantes, dadas sus características visibles, que puedan ser correlacionadas con otros parámetros de monitoreo, como la sismicidad.

### b) Descripción detallada del escenario de peligro, vulnerabilidad y/o riesgo que se debe estudiar o resolver, a través de la ejecución del Proyecto de Investigación

La mayoría de los volcanes en México se concentra en la zona centro del país, en el denominado Cinturón Volcánico Transmexicano, el cual cruza desde las costas del Pacífico hasta el Golfo de México. A lo largo de esta región se encuentra una gran cantidad de asentamientos humanos, destacando las ciudades de México y Puebla, que están expuestas a los efectos del volcán Popocatepetl y del campo monogenético Sierra Chichinautzin. Dentro de un radio de 100 kilómetros del Popocatepetl se encuentran alrededor de 6.5 millones de viviendas, donde habitan más de 25 millones de personas, conectadas por 17 mil kilómetros de carreteras y 15 aeropuertos; también se encuentran 39 mil centros educativos, más de 4 mil centros de salud y 24 presas, según datos del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2014). Esta infraestructura puede ser potencialmente afectada por la actividad del volcán, principalmente por las

emisiones de ceniza (CENAPRED, 2001). Asimismo en un radio de 30 km hay 270 mil habitantes en 55 mil viviendas, además de 1,265 instituciones de educación básica y 174 centros de salud. Existen en este mismo radio 787 km de carreteras con 97 puentes, 35 estaciones de combustible y dos aeródromos. Toda esta infraestructura podría ser afectada, en caso de una erupción mayor, por flujos piroclásticos y lahares muy destructivos (Nuevo mapa de peligros del volcán Popocatepetl, SEGOB, 2016). Lo anterior se identifica como un problema de impacto nacional, que es ineludible atender.

Desde 2013 la actividad del volcán de Fuego de Colima ha mostrado episodios de actividad intensa, en los cuales ha sido necesario llevar a cabo acciones preventivas como evacuación de habitantes de localidades aledañas, y se han generado flujos piroclásticos que alcanzaron 13 km de distancia, por lo cual fue necesario evacuar a las poblaciones más cercanas al volcán: La Yerbabuena y La Becerrera. En las cañadas que descienden del volcán se acumularon alrededor de 8 millones de m<sup>3</sup> de material (restos de domo, lodo, tefra, árboles y diversos sedimentos arrastrados por los mismos flujos), representando un nuevo riesgo para la población cercana, particularmente durante el paso del Huracán Patricia en octubre de 2015.

Por las razones antes expuestas, dentro del presente proyecto se proponen cuatro sitios estratégicos, que toman en cuenta las características de línea de vista, flancos descubiertos, infraestructura de telecomunicaciones, facilidades de acceso y seguridad, aspectos ponderados para la selección de estos sitios.

**Propuesta de sitios de observación y análisis de la actividad para el volcán Popocatepetl (San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco, estado de Puebla).**



Fig 4. Volcán Popocatepetl. Vista desde San Nicolás de los Ranchos Puebla y ángulo de visión.

*H*

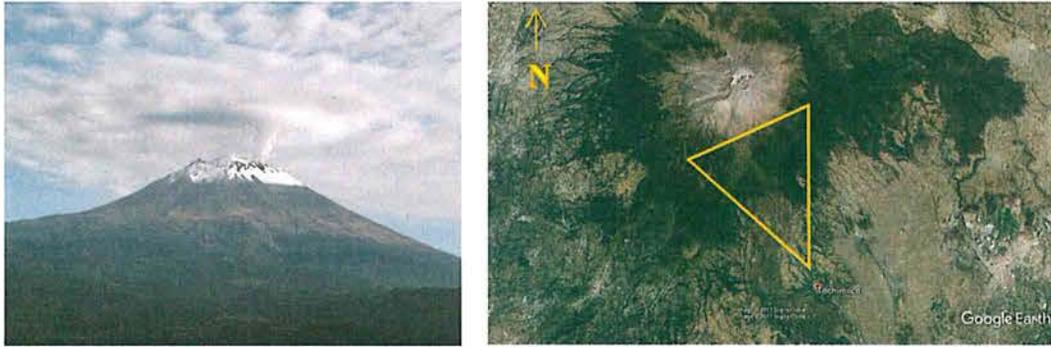


Fig 5. Volcán Popocatepetl. Vista desde Tochimilco Puebla y ángulo de visión.

Propuesta de sitio de observación y análisis de la actividad para el volcán Fuego de Colima  
(Tonila, Estado de Jalisco y Carrizalillo, Estado de Colima)

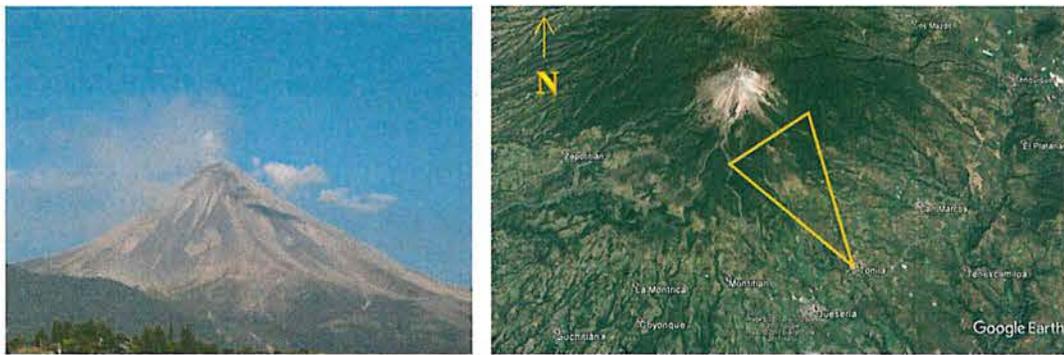


Fig 6. Volcán Fuego de Colima visto desde Tonila Jalisco y ángulo de visión.

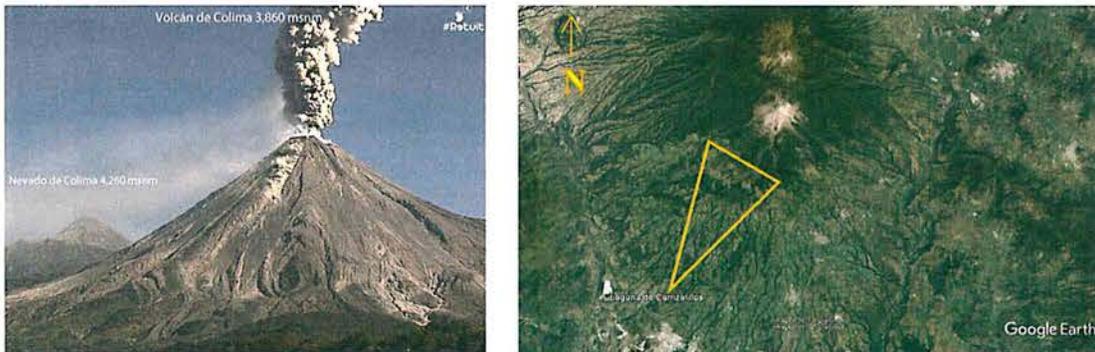


Fig 7. Volcán Fuego de Colima visto desde Carrizalillos Colima y ángulo de visión.

*Handwritten mark*

**c) Características de los entregables que se espera obtener como resultado de la ejecución del proyecto de Investigación.**

1. Instalación y puesta en operación de cuatro cámaras de observación visual, con capacidad de visión nocturna, para el estudio de la actividad de los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima.
2. Desarrollo de un programa informático de visualización y adecuaciones informáticas, para el despliegue de las imágenes en tiempo real en la plataforma de monitoreo de volcanes activos.

**d) Forma y medio en que deberán ser entregados los resultados del Proyecto de Investigación**

1. Instalación y puesta en operación de la cámara para el volcán Popocatepetl en San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco estado de Puebla.
2. Instalación y puesta en operación de la cámara para el volcán Fuego de Colima en Laguna de Carrizalillos Estado de Colima y Tonila Estado de Jalisco.
3. Desarrollo de un programa informático de visualización y adecuaciones informáticas, para el despliegue de las imágenes en tiempo real en la plataforma de monitoreo de volcanes activos

**f) Plazo máximo para el desarrollo del Proyecto de Investigación**

18 meses, a partir de la notificación por parte del fiduciario al Cenapred de la asignación de recursos.

*g*

**g) Programa de la ejecución del gasto del Proyecto de Investigación**

Entregables	Bimestres										Verificativo	Gasto	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1: Trámites administrativos para la formalización de los servicios.													\$0.00
2.- Instalación y puesta en operación de cuatro cámaras de video de alta resolución para el monitoreo de los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima												Imágenes disponibles en tiempo real	\$280,000.00
3.- Desarrollo de un programa informático de visualización simultanea de las cuatro nuevas cámaras por selección de imagen y adecuaciones para su despliegue en la plataforma de monitoreo del Atlas Nacional de Riesgos.												Programa informático transportable	\$60,000.00
											Total	\$340,000.00	

**h) Calendario de entrega de reportes trimestrales**

A más tardar los 15 días hábiles siguientes de los meses 3, 6, 9, 12, 15 y 18 de ejecución, en función de la fecha de inicio del Proyecto de Investigación.

**i) Criterios considerados para la evaluación del Proyecto de Investigación**

1. Usuarios del sistema.
2. Población estimada afectable ante la presencia de peligros asociados a la actividad volcánica.
3. Personal relacionado en cualquiera de las etapas de la Gestión Integral del Riesgo (GIR) y que pueda utilizar el caso de estudio.