

**ÁREA  
CIENCIAS  
EXACTAS Y  
DE LA  
TIERRA**

**1. Brotes estelares maximales en galaxias en formación.**

Autores: Itziar Aretxaga

**2. Estudios de magnetismo y superconductividad por medio de espectroscopia Mössbauer en monocristales de BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> dopados.**

Autores: JulianMunevar, HansMicklitz, JorgeAgüero, Chenglin Zhang, Pengcheng Dai, ElisaBaggio-Saitovitch

**3. Nanocavidades ópticas.**

Autores: Ángela Camacho

**4. Estudio de dos condritas por técnicas físicas.**

Autores: María L. Cerón Loayza, Jorge A Bravo Cabrejos

**5. Género y matemáticas.**

Autores: Rosa María Farfán

**6. Morfogénesis química de materiales férricos.**

Autores: María Eugenia Mendoza Álvarez

**7. El cambio climático desde una perspectiva geocientífica.**

Autores: Ligia Pérez Cruz

**8. Monitorio volcánico usando cenizas volcánicas: El caso del Popocatépetl, México.**

Autores: Julie Roberge, Ariadna Hernández Oscoy, Cecilia Izcapa Treviño

## **Brotos estelares maximales en galaxias en formación**

Itziar Aretxaga

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla, México. itziar@inaoep.mx

Se describen los censos del cielo extragaláctico trazados en ondas milimétricas con la instrumentación del Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM), que nos han permitido encontrar galaxias lejanas con brotes de formación estelar que exceden las 1000 masas solares al año en áreas de alrededor de 3 mil años-luz de diámetro. Estos extraordinarios sistemas probablemente forman estrellas en un régimen ligado por gravedad, en el que el material que eyectan las estrellas no puede formar un viento galáctico que frene la formación estelar, sino que se recicla para formar nuevas generaciones de estrellas. Se presenta la evidencia para sostener que estas galaxias son probablemente los progenitores de la población de galaxias elípticas masivas del universo local.

## Estudios de magnetismo y superconductividad por medio de espectroscopia Mössbauer en monocristales de BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> dopados

<sup>a</sup>Julian Munevar, <sup>a</sup>Hans Micklitz, <sup>a</sup>Jorge Agüero, <sup>b</sup>Chenglin Zhang, <sup>b</sup>Pengcheng Dai, <sup>\*a</sup>Elisa Baggio-Saitovitch.

<sup>a</sup>Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rua Dr. Xavier Sigaud 150, Urca 22290-180, Rio de Janeiro, Brazil.

<sup>b</sup>Department of Physics, Rice University, Houston TX, USA.

\*[elisa@cbpf.br](mailto:elisa@cbpf.br)

### Introducción.

El estudio de magnetismo y superconductividad en la más nueva familia de compuestos, los pnicturos de hierro, ha sido muy intensa durante los últimos cinco años. El compuesto padre de estos materiales es antiferromagnético, exhibiendo un orden con momentos del Hierro que yacen en el plano *ab* de la estructura. La superconductividad para la mayoría de estos compuestos ha sido lograda ya sea por presión interna o externa, siendo 56 K la  $T_C$  más alta encontrada para GdFeAsO dopado con Th. Para los pnicturos de hierro, la cuestión acerca de la coexistencia de superconductividad y magnetismo en materiales superconductores poco dopados ha sido objeto de estudios extensos y profundos, con el fin de establecer si hay coexistencia de estos dos órdenes. La espectroscopia Mössbauer, como técnica de prueba local, tiene la capacidad de distinguir entre un cambio de las fracciones del volumen magnético o un cambio en los parámetros hiperfinos y, por lo tanto, de la coexistencia de los dos estados.

### Métodos.

Monocristales de BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> dopados con Ni y K han sido crecidos por la técnica de autoflujo. Estos cristales son clivados para construir un absorbente Mössbauer, con aproximadamente 2 cm<sup>2</sup> de área y 15 μm de ancho. Mediciones de espectroscopia <sup>57</sup>Fe Mössbauer se realizaron en un criostato de <sup>4</sup>He desde 1.5 hasta 300 K, en campos magnéticos de hasta 8 T. Mediciones magnéticas complementarias fueron hechas en un magnetómetro SQUID para determinar  $T_C$ .

### Resultados y discusión.

Las mediciones magnéticas para estos monocristales mostraron un comportamiento superconductor con 33 K como la  $T_C$  más alta observada para monocristales de Ba<sub>0.75</sub>K<sub>0.25</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>.

Los resultados Mössbauer mostraron orden magnético del tipo SDW para todas las muestras estudiadas, con un progresivo decremento de la fracción paramagnética observada arriba de  $T_N$ . Nuestros resultados sugieren una transición de primer orden y no una de segundo orden como se ha propuesto a partir de mediciones de dispersión de neutrones en los mismos cristales. La diferencia en resultados radica en la naturaleza de las dos técnicas, lo que muestra la ventaja de usar una prueba local como la espectroscopia Mössbauer.

Los parámetros extraídos de las mediciones Mössbauer muestran una disminución en el campo magnético hiperfino, lo que es una huella del orden magnético en general. Esta disminución a  $T_C$  es interpretada como una coexistencia de magnetismo y superconductividad para estos materiales, probablemente causada por el hecho de que electrones 3*d* están involucrados en ambos órdenes superconductor y magnético, reduciendo por lo tanto la densidad de electrones que contribuye al orden magnético después de que se han formado los pares de Cooper.

### Conclusiones.

Nuestros resultados claramente indican la coexistencia y competencia de magnetismo y superconductividad, causadas porque ambos órdenes están formados por electrones 3*d*.

### Reconocimientos.

Este trabajo fue apoyado por las agencias CAPES, FAPERJ, CNPq y NSF.

### Referencias.

1. J. Munevar *et. al.*, Phys. Rev. B 88, 184514 (2013)
2. arXiv:1111.5853

## Nanocavidades ópticas

Ángela Camacho

Universidad de los Andes, Bogotá Colombia. acamacho@uniandes.edu.co

### Introducción

La interacción de un láser con nanopartículas metálicas permite diseñar cavidades ópticas de tamaños nanométricos con aplicaciones en Biociencia y Óptica Cuántica. La habilidad de las nanoestructuras metálicas para controlar luz en la escala por debajo de su longitud de onda se puede explotar para diseñar estas nano-trampas ópticas con las cuales se pueden medir las fuerzas que intervienen y controlar la posición de nano-objetos. En sistemas de tamaño micrométrico se usan las llamadas pinzas ópticas convencionales que se forman en el foco del límite de difracción de un haz láser. Extender el atrapamiento óptico a la escala nanométrica abre una oportunidad sin precedentes en muchos campos de la ciencia en donde estas nanocavidades ópticas permiten el posicionamiento cuidadoso de un objeto nanométrico.

### Discusión

En este trabajo se discuten las dificultades que se presentan cuando se reduce el tamaño de los sistemas a estudiar debido a las limitaciones de los principios físicos tales como la dramática disminución de las fuerzas a medir y la poca viscosidad sumada a los límites de la luz usada para observarlos. Luego se muestra cómo los plasmones de nanopartículas metálicas son una respuesta a estos obstáculos. Para hacer plausible este objetivo se definen los conceptos y los principios físicos básicos aplicables en escalas de tamaño muy pequeño, primero del orden de micrómetros y cómo se han logrado aplicaciones para ellos. Luego con esta información se abordan los sistemas de nanopartículas metálicas y su comportamiento cuando interactúan con luz. Se presentan resultados de experimentos publicados en los últimos años y se discuten propuestas de

diseño de nanocavidades que respondan eficientemente como trampas de nanopartículas y a la vez permitan controlar la posición de estos nano objetos. Finalmente se muestran algunas aplicaciones muy interesantes en Biociencia.

### Conclusiones

La manipulación no invasiva de objetos extremadamente pequeños es una realidad usando las propiedades de las nanoestructuras metálicas y ofrece una herramienta extremadamente pequeña, rápida y eficiente para ser usada en Medicina y en Biología para comprender mejor los mecanismos que preceden enfermedades y también en Ingeniería para ensamblar futuros dispositivos en miniatura.

### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Organización de Estados Americanos y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

### Referencias

1. Berthelot, S. S. Acimovic, M. L. Juan, M. P. Kreuzer, J. Rengerand R. Quidant, "THREE-DIMENSIONAL MANIPULATION WITH SCANNING NEAR-FIELD OPTICAL NANOTWEEZER". *Nature Nanotechnology*, 2 de marzo de 2014. DOI: 10.1038/NNANO.2014.24.
2. Mario Zapata, Ángela S. Camacho Beltrán, Andrei G. Borisov, and Javier Aizpurua, QUANTUM EFFECTS IN THE OPTICAL RESPONSE OF EXTENDED PLASMONIC GAPS: VALIDATION OF THE QUANTUM CORRECTED MODEL IN CORE-SHELL NANOMATRYUSHKAS, *Optics Express*, Vol. 23, Issue 6, pp. 8134-8149 (2015)

## Estudio de dos Condritas por técnicas físicas

María L. Cerón Loayza\*, Jorge A Bravo Cabrejos  
Soils Analysis Laboratory, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ap. Postal 14-0149, Lima 14, Perú. [malucelo@hotmail.com](mailto:malucelo@hotmail.com)

### Introducción.

Presentamos los resultados del estudio de dos meteoritos: uno de ellos impactó en una zona habitada, el 15 de septiembre de 2007 en el barrio de la localidad de Carancas, Puno Región, unos 1.300 km al sur de Lima [1], clasificado como tipo condrita IV, y el otro afectado el 16 de octubre de 1975, clasificado como condrita ordinaria, LL5 [2], denominada Tuxtuac.

### Métodos.

Se realizó el análisis de la composición elemental utilizando un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X en energía dispersiva (FRXED), fabricado por Amptek. Este instrumento utiliza un tubo de rayos X con un ánodo de Ag que opera a 30 kV y aproximadamente 30  $\mu$ A. Este instrumento permite la identificación de los elementos con  $Z > 12$  (más pesado que el magnesio). Esto se hizo mediante el ajuste del espectro experimental FRXED con un espectro FRX simulado basado en el modelo de parámetros fundamentales. La simulación de los espectros se hace con un programa escrito en FORTRAN. Se utiliza la base de datos de alrededor de 750 característicos de rayos X relacionados con 63 elementos.

Se utilizó la espectroscopia Mössbauer transmisión (EMT) para obtener información más detallada acerca de los minerales que contienen hierro. Se empleó un espectrómetro convencional, con una señal de modulación de la velocidad sinusoidal y 1024 canales. El espectro Mössbauer a temperatura ambiente (RT) de la muestra se recogió en el Laboratorio de Arqueometría, Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM. Una fuente de  $^{57}\text{Co}$  en una matriz de Rh se utilizó para recopilar los espectros, los cuales fueron analizados utilizando el programa Normos en su versión sitios cristalinas (Normos Sitio) [3].

### Resultados y discusión.

Los resultados del análisis por FRXED de la condrita de Carancas y Tuxtuac (ver Figura 1) muestran la presencia de los siguientes elementos en común: Si, S, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni y Zn. Además de estos elementos, Carancas exhibe la presencia de Cl y K. Por otra parte, la concentración de S es mayor en este último. Por TMS para Carancas, registrado a TA, nos permite identificar dos sextetos magnéticos, asignados a troilite ( $\text{FeS}$ ) y la fase Fe-Ni (taenite), y dos dobletes paramagnéticas de  $\text{Fe}^{2+}$ , uno asociado al olivino y el otro al piroxeno.

El espectro Tuxtuac fue ajustado por dos sextetos magnéticos, uno asignado a la troilite ( $\text{FeS}$ ) y el otro a un sitio magnético con un campo magnético  $B_{\text{hf}} = 30,0 \text{ T}$ , y dos dobletes paramagnéticos de  $\text{Fe}^{2+}$ , uno asociado a olivino y el otro al ortopiroxeno, y un doblete paramagnético de  $\text{Fe}^{3+}$  aun por asignar.

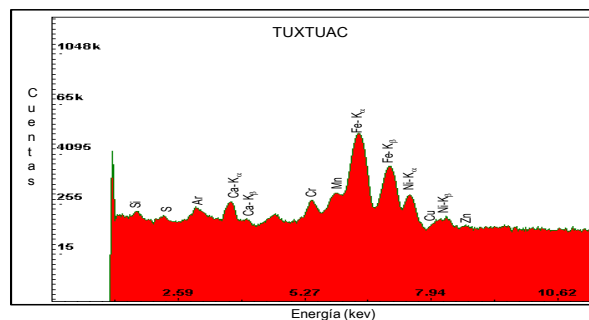


Figura 1. Espectro experimental de FRXED del meteorito de Tuxtuac, se observa en escala semilogarítmica.

**Conclusiones.** La presencia de S y Cl en la composición del meteorito de Carancas encontrado por FRXED fue probablemente la causa de la irritación sobre el sistema respiratorio que afectó a la población local.

El análisis por EMT a TA permitió la observación de fases magnéticas y paramagnéticas superpuestas. La presencia de las fases magnéticas de troilite son evidentes. Las fases Fe-Ni pueden estar relacionados con taenite (cristalino y desordenado). Se está planificando un análisis adicional por difracción de rayos X en Tuxtuac. Con el fin de complementar los estudios analíticos sobre estos meteoritos TIPO condritas.

### Agradecimientos

A los Laboratorios de Suelos Análisis y Arqueometría de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### Referencias

1. María L. Cerón Loayza et al. 2011. [Hyperfine Interactions Volume 203, Numbers 1-3](#), 17-23, DOI: 10.1007/s10751-011-0365-x
2. A. L. Graham et al, 1998. Meteoritics 23, 321-323.
3. Brand, R.A., NORMOS: Mössbauer Fitting Program.

## **Género y matemáticas**

Rosa María Farfán

Departamento de Matemática Educativa, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, México, DF, México.  
rfarfan@cinvestav.mx

En la plática se abordará el estudio de cómo el discurso matemático escolar es excluyente, sobre todo con las mujeres pues ellas tienden a tener un pensamiento matemático funcional que no se toma en cuenta en este discurso.

## Morfogénesis química de materiales ferroicos

María Eugenia Mendoza Álvarez

Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 110B, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. 72570, México.

[emendoza@ifuap.buap.mx](mailto:emendoza@ifuap.buap.mx)

### Introducción

Los ferroicos son materiales cristalinos que presentan alguna de las propiedades ferroicas primarias o secundarias, entre las primeras están la ferroelectricidad, el ferromagnetismo, la ferroelasticidad y el ferrotoroidismo; entre las segundas, encontramos la ferrobielectricidad, la ferromagnetoelasticidad, etc. (1,2). Los cristales ferroicos poseen dos o más estados de orientación (dominios) que pueden ser reorientados de un estado al otro, al aplicar la fuerza directriz adecuada: tensión mecánica, campo eléctrico, campo magnético o alguna combinación de ellas.

En este trabajo se presenta el enfoque metodológico para la elección de los reactantes, con el fin de obtener cristales ferroicos con el hábito cristalino óptimo para una aplicación determinada (3,4).

### Metodología

1. Estudio termodinámico de las reacciones químicas para la síntesis de microcristales ferromagnéticos.
2. Desarrollo de métodos de Química suave.
3. Estudio estructural, morfológico y térmico de los microcristales.
4. Estudio de las propiedades magnéticas.

### Resultados y discusión

Se obtuvieron microcristales de magnetita prismáticos a partir de la descomposición térmica de oxalatos de Hierro; se obtuvieron microcristales tubulares del magneto molecular oxalato de Cobalto, en ambos casos fueron sintetizados mediante reacciones de coprecipitación en solución acuosa.

La fase cristalina cúbica tipo espinela, característica de la magnetita, fue identificada por difracción de rayos X en polvos y midiendo la temperatura de Curie de la transición de fase paramagnética-ferromagnética.

Se identificó la fase cristalina ortorrómbica del oxalato de Cobalto dihidratado; estudios de susceptibilidad magnética vs. temperatura revelaron la existencia de un orden antiferromagnético. Las mediciones de magnetización vs. campo magnético muestran la presencia de ferromagnetismo débil.

### Conclusiones

Es posible controlar el hábito cristalino de materiales ferroicos empleando métodos de Química suave y seleccionando los reactantes en función tanto de la factibilidad termodinámica de la reacción como de su simetría molecular.

### Agradecimientos.

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el programa PROFOCIE-SEP y la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP.

### Referencias

1. H. Schmid. Multiferroic magnetoelectrics. *Ferroelectrics* **162**, 317-338 (1994).
2. R.E. Newnham *Properties of Materials: Anisotropy/Symmetry/Structure*, pp. 162-183, Oxford University Press, 2009.
3. M.E. Mendoza, F. Donado, R. Silva, M.A. Pérez, J.L. Carrillo. Magnetite microcrystals for magneto rheological fluids. *J Phys. Chem. Solids* **66**, 927-931 (2005).
4. E. Romero, M.E. Mendoza and R. Escudero. Weak ferromagnetism in cobalt oxalate crystals. *Phys.Stat.Solids B* **248**, 1514-1525 (2011).



## El cambio climático desde una perspectiva geocientífica

Ligia Pérez-Cruz

Instituto de Geofísica, UNAM. Circuito Exterior de Cd. Universitaria S/N. Delegación Coyoacán México, 04510, D.F.

[perezcruz@geofisica.unam.mx](mailto:perezcruz@geofisica.unam.mx)

La relevancia del estudio de los sedimentos marinos y continentales dentro del contexto de las investigaciones sobre cambio climático, reside en que las características observadas en los diferentes componentes de los sedimentos son una respuesta a la variabilidad climática, la cual a su vez está controlada por mecanismos de forzamiento que pueden ser externos, como la radiación solar y el flujo de rayos cósmicos, o bien, mecanismos internos, como son la circulación oceánica o el vulcanismo, sin dejar a un lado los múltiples procesos de retroalimentación entre los subsistemas que conforman el Sistema Climático.

El sistema climático se caracteriza por cambios en un amplio espectro espacio-temporal, con componentes de corto, intermedio y largo plazo.

En las pasadas décadas el empleo de plataformas de observación satelitales y de redes instrumentales ha ampliado la base de datos observacionales y ha permitido generar y refinar los modelos con una mayor resolución espacial. Las mediciones de las variables meteorológicas cubren un periodo relativamente corto y el estudio de las variaciones de más largo plazo requieren del uso de los registros geológicos. Las investigaciones en estos registros emplean mediciones de propiedades físicas y químicas, fósiles, etc., así como controles cronológicos.

Aunque contamos con una rica interpretación de los núcleos hasta ahora estudiados en diversas investigaciones sobre estos extraordinarios repositorios de información climática. Se necesita de la colaboración interdisciplinaria de oceanógrafos, ecólogos, geoquímicos y geólogos con el objetivo común de entender y cuantificar la diversidad de procesos que conectan el clima con los registros sedimentarios.

Recientemente, uno de los enfoques más importantes de estos estudios es el de poder diferenciar entre la variabilidad natural del Sistema Climático, de la variabilidad introducida por la actividad antropogénica durante los últimos 150 años. Los cambios climático tendrán impacto en la frecuencia e intensidad de las tormentas y ciclones, la estabilidad de las regiones costeras, la agricultura, el agua, la calidad de alimentación, la biodiversidad y el futuro de los recursos biológicos, por lo que el desarrollo de modelos climáticos reduce en algunos casos la incertidumbre en la predicción del clima regional, sin embargo estos modelos.

### Referencias

- Cane, M.A. 1998. A role for the tropical Pacific. *Science* 282, 59-60.
- Pérez-Cruz, L., Herguera, J.C. 2011. Génesis de los sedimentos laminados en el Golfo de California: Implicaciones climáticas y oceanográficas, in: Caballero, M Ortega, B., (comp.). Escenarios de cambio climático : Registros del Cuaternario en América Laitna I. UNAM, 29-46.
- Pérez-Cruz, L., 2013 Hydrological changes and paleoproductivity in the Gulf of California during middle and late Holocene and their relationship with ITCZ and North American Monsoon variability. *Quaternary Research* 79 (2), 138-151.
- Zachos, J.C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate change 65 Ma to present. *Science* 292, 686-693.

## Monitoreo volcánico usando cenizas volcánicas: El caso del Popocatepetl, México.

<sup>1</sup>Julie Roberge, <sup>2</sup>Ariadna Hernández Oscoy, <sup>3</sup>Cecilia Izcapa Treviño

<sup>1</sup>Posgrado, Esia-Ticomán, IPN. <sup>2</sup>Subdirección de Riesgos Volcánicos, Dirección de Investigación, CENAPRED, <sup>3</sup>Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos, CENAPRED

[robergejulie@gmail.com](mailto:robergejulie@gmail.com)

### Introducción

El monitoreo continuo es actualmente una actividad fundamental para la comprensión y la previsión de erupciones volcánicas (Sparks 2003<sup>1</sup>).

Para el monitoreo en tiempo real, se utilizan cámaras de video para una vigilancia permanente. También, el monitoreo de la sismología, geodesia y la emisión de gases son ahora una práctica común en los volcanes más activos que permiten la captura de señales precursoras del inminente ascenso del magma y una erupción latente.

El volcán Popocatepetl ha experimentado actividad explosiva y efusiva que data de ca. 19 kyr (Schaaf et al, 2005<sup>2</sup>). Históricamente el volcán Popocatepetl ha tenido una fase eruptiva importante cada 1000-3000 años (Siebe et al., 1996<sup>3</sup>). Recientemente (a finales de 1994), después de un período de inactividad que duró varias décadas, el Popocatepetl comenzó una nueva fase de actividad volcánica explosiva y efusiva. Durante este período, productos explosivos del Popocatepetl llegaron a las Ciudades de México y Puebla (ubicadas a 60 km NW y 40 km E del cráter, respectivamente). Por lo tanto, el reconocimiento de los cambios en el comportamiento eruptivo es crítico para la evaluación rápida de los riesgos en el Popocatepetl.

Muchos estudios recientes sugieren que los fenómenos eruptivos son fuertemente dependientes de las condiciones y las propiedades físicas del magma (por ejemplo, temperatura, viscosidad, y permeabilidad). Estos parámetros se pueden obtener mediante el estudio de la composición de las cenizas emitidas durante una erupción (Dellino et al., 2012).

### Metodología

1. Preparación de muestras de cenizas de las explosiones recientes del volcán Popocatepetl.
2. Fotografías de las partículas de las muestras con microscopio electrónico.
3. Interpretación cuantitativa de las texturas encontradas (cristales y burbujas).
4. Análisis geoquímicas (EDS) de las partículas encontradas.
5. Comparación de los análisis geoquímicos y de texturas con el fin de presentar un reporte sobre la evolución del magma como monitoreo petrográfico del volcán Popocatepetl.

### Conclusiones Preliminares

La gran variedad de textura y composición observada en las cenizas del volcán Popocatepetl reflejan variaciones en la desgasificación, la velocidad de ascenso y tiempo de residencia del magma en profundidades superficiales bajo el volcán. Basado en el trabajo previo de Roberge et al. (2009)<sup>5</sup>, creemos que la mayoría de la desgasificación del volcán Popocatepetl está sucediendo a una profundidad >15 kilómetros. Una vez en el sistema de conductos de profundidades someras, en su camino hacia la superficie, el magma ha perdido la mayoría de su contenido en volátiles, lo que se refleja por la mayor proporción de vidrio no vesicular observado en las cenizas.

### Agradecimientos.

Este proyecto es un trabajo cooperativo en curso entre la ESIA-Ticomán (Dra. Roberge) y el CENAPRED (Ing. Hernández Oscoy y Dra. Cecilia Izcapa Treviño).

### Referencias

- 1- Sparks RSJ (2003) Forecasting volcanic eruptions. *Earth Planet Sci Lett.*, 210:1–15
- 2- Schaaf, P., Stimac, J. I. M., Siebe, C. & Macias, J. L., 2005. Geochemical evidence for mantle origin and crustal processes in volcanic rocks from Popocatepetl and surrounding monogenetic volcanoes, central Mexico. *Journal of Petrology*, 46, 1243–1282.
- 3- Siebe, C., Abrams, M., Macías, J.L., Obenholzner, J., 1996. Repeated volcanic disaster in prehispanic time at Popocatepetl, Central Mexico: past key to the future? *Geology* 24, 399–402.
- 4- Dellino P, Gudmundsson MT, Larsen G, Mele D, Stevenson JA, Thordarson T, Zimanowski B (2012) Ash from the Eyjafjallajökull eruption (Iceland): fragmentation processes and aerodynamic behavior. *J Geophys Res* 117, B00C04
- 5- Roberge, J., Delgado-Granados, H., & Wallace, P. J. (2009). Mafic magma recharge supplies high CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> gas fluxes from Popocatepetl volcano, Mexico. *Geology*, 37(2), 107-110.