



# Aplicación de las Herramientas de Física General (TEF) sobre el Vulcanismo

## (Actividad del Complejo Puyehue-Cordón Caulle)

Eje 1: Innovación y exploración en cambios de modalidad en cursadas

*Mauricio Sebastian Cardozo(1), Martín Mercado Foos(1), Martín Talone(1), Nazarena Gomez(1),  
Martín Dobarro(1), Mauricio Aparicio(1), Pablo Pesco(2), Guillermo Villate(1)*

Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP

Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

mausebcar@gmail.com

Palabras claves: VULCANISMO, PUYEHUE, EVALUACIÓN ALTERNATIVA, FÍSICA GENERAL, PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

### RESUMEN

En el marco del Taller de Enseñanza de la Física (Física General modalidad taller - Facultad de Ciencias Naturales y Museo - UNLP), en el año 2016 se implementó una forma alternativa de evaluación. La misma consistió en la implementación de los contenidos curriculares de la materia en trabajos de investigación llevados a cabo por los estudiantes desde sus propias motivaciones. En este trabajo se expone uno de los proyectos de investigación realizados. Se propuso trabajar sobre la erupción del volcán Puyehue ubicado en la República de Chile ( $40^{\circ}35'25''S - 72^{\circ}7'2''W$ ), durante el intervalo de tiempo dado entre el 4 y 11 de junio del 2011. El trabajo fue utilizado como instancia de evaluación por el plantel docente del Taller de Física y se realizó una exposición del mismo frente al resto de los estudiantes de la materia.

### INTRODUCCIÓN

Durante el inicio de cursada 2016 del Taller de física general (TEF), como es habitual, se separaron a los estudiantes en grupos para optimizar el desarrollo del trabajo a lo largo de las clases, nuestro grupo en particular estaba conformado por 6 estudiantes de tres carreras

distintas (Ecología, Geología y Paleontología) pertenecientes a la FCNyM. Todos habíamos sido recursantes de la materia, este hecho fue uno de los principales factores que determinaron nuestra decisión de unirnos para transitar con mayor firmeza esta segunda oportunidad. Una vez establecidos los grupos, los docentes plantearon la idea de realizar en ese año una evaluación alternativa. Esta nueva instancia de evaluación consistió en aplicar las herramientas expuestas en el curso sobre una temática a elección que se encontrara por fuera del contexto de la materia y que aborde fenómenos dentro de las ciencias naturales. La nueva forma de evaluación fue inmediatamente vista por nosotros como una oportunidad para poder demostrar nuestro verdadero potencial y al mismo tiempo poder superar esta instancia de nuestras carreras en grupo. Motivados por la idea planteamos un tema que integrase los conocimientos adquiridos previamente por cada uno de los integrantes en sus respectivas carreras: el estudio de los procesos asociados al vulcanismo. Para abordar el tema se eligió trabajar con la erupción del volcán Puyehue ocurrida en junio del 2011, un evento bastante particular debido a la generación continua de una pluma eruptiva de ceniza que logró recorrer el globo terrestre en menos de dos semanas. El desarrollo de la evaluación alternativa fue gradual, dado que cada parte se construyó con los elementos que se presentaban a medida que pasaban las clases, por esta razón el trabajo es en gran parte un reflejo la currícula de la cursada.

## DESARROLLO

**Análisis Cinemático de la Pluma Eruptiva:** En primer lugar, planteamos como objetivo el análisis del movimiento de la pluma eruptiva a través de distintas proyecciones de mapas geográficos, entendidos como distintas modelizaciones del espacio. Para establecer las mediciones tomamos como marco de referencia inercial fijo a la Tierra, modelizamos el frente de la pluma eruptiva como una partícula sin masa y utilizamos dos sistemas de coordenadas diferentes para cada proyección. Una de las proyecciones fue la Mercator, sobre la cual se estableció un sistema de coordenadas cartesiano con ejes coincidentes con el Ecuador y con el meridiano de Greenwich y el origen ubicado en la intersección entre ambos. La trayectoria de la pluma se dibujó utilizando fotografías satelitales obtenidas cada 24hs. La

segunda proyección fue una Polar, sobre la cual se estableció un sistema coordinado polar con su origen coordinado coincidente con el polo sur. La trayectoria se dibujó mediante los datos de fotografías satelitales obtenidas cada 6 hs. La proyección Mercator fue la más práctica para aplicar las herramientas metodológicas (posición, desplazamiento, etc.) por presentar un sistema de líneas ortogonales, pero en contraparte este modelo deforma significativamente la información de las dimensiones de la Tierra, por esta razón cuando se trabaja con ésta proyección los resultados discrepan bastante con lo que se obtienen mediante otras mediciones. La proyección Polar da una representación de la Tierra más aproximada cerca del polo; al trazar la trayectoria del objeto de estudio y posteriormente analizar su estado cinemático obtenemos datos verosímiles (por ejemplo, las velocidades estimadas coinciden con los valores reales conocidos de los vientos a escala global). En resumen en este tramo se enfrentaron diferentes tipos de modelizaciones del espacio, dejando en claro que por tratarse de abstracciones nunca se llegara totalmente a un esquema exacto, pero siempre habrá modelos más realistas que otros y que su utilidad va a depender del tipo de estudio que se lleve a cabo. Por otro lado, calculamos posiciones y velocidades medias de la pluma eríptica.

**Análisis dinámico de los proyectiles piroclásticos:** En este análisis se propuso comprender las interacciones de los proyectiles expulsados por el volcán con el entorno. Para estudiar las interacciones se establecieron casos hipotéticos utilizando un proyectil piroclástico (como objeto de estudio) recolectado de una isopleta (depósito de clastos del mismo tamaño) en la localidad de Villa la Angostura, ubicada a 50 km del epicentro volcánico. El proyectil piroclástico (pómez) es modelizado como partícula con masa. El marco de referencia inercial escogido fue la Tierra. Las trayectorias se dibujaron en un sistema coordinado con origen entre el epicentro eruptivo a 800 metros sobre el nivel del mar y una posición final a 50 km del origen, en la localidad de Villa la Angostura donde fueron hallados los proyectiles. Se propusieron dos escenarios donde se tuvieron en cuenta distintos elementos que pudieran interactuar con nuestro objeto de estudio. En el primer modelo el objeto de estudio interactúa únicamente con la Tierra, en este caso la sumatoria de las componentes horizontales de las fuerzas se neutralizan (por segunda ley de Newton se afirma que el objeto va con rapidez

constante) y la sumatoria de las componentes verticales dan valores negativos (el objeto esta en caída y acelerado). Como resultado observamos una trayectoria parabólica cóncava hacia abajo. En el segundo modelo propuesto el objeto de estudio interactúa con el viento proveniente del océano pacífico y con la Tierra. Para este caso el trayecto se dividió el trayecto en dos intervalos de tiempo, el primer intervalo se supone instantáneo y corresponde a la elevación vertical del proyectil (donde la sumatoria de fuerzas es distinta de cero), y el segundo intervalo cuando el proyectil cae, de duración aproximada de 20 minutos, donde las fuerzas se contrarrestan y la sumatoria es igual a cero. Esta suposición se basa en que la rapidez del objeto es limitada por el rozamiento con el aire. En el plano horizontal, inicialmente el viento del Pacífico ejerce una fuerza hacia el objeto de estudio, esta fuerza tiende a cero a medida que el objeto alcanza la rapidez del viento, ya que este no puede desplazarse más rápido que el fluido que lo transporta. Por otra parte, durante la caída, el roce con el aire evita la aceleración hacia abajo (el límite se obtuvo utilizando la Ley de Stokes aplicada en un objeto esférico en caída dentro de un fluido). Como resultado en el segundo modelo se lograron trayectorias lineales y un valor realista del tiempo de caída.

**Análisis Fluido-Estático del proceso de flotabilidad de la pómez:** El objetivo de este análisis fue aplicar el principio de la fluidoestática. En este caso se hizo enfoque en la pómez (pumita) expulsada y depositada en el lago Nahuel Huapi. El fenómeno resulta interesante por tratarse de una roca que conformó un manto flotante sobre la superficie del agua. Modelizamos al objeto de estudio como un volumen con masa y establecimos un sistema coordinado que presenta su origen en el centro equidistante de la roca, con el eje vertical (Y) paralelo la fuerza tierra-objeto y el sentido positivo opuesto a la fuerza Tierra-Objeto. Comenzamos calculando la densidad aparente de la piedra pómez (la densidad de la roca más la del aire en su interior) la cual estimamos por medio de una experiencia con muestras del sitio aportadas por la cátedra de Petrología de la FCNyM. La densidad obtenida fue de unos  $310.6 \text{ kg/m}^3$ , despreciamos la presencia del aire en los cálculos. Por su parte la densidad del fluido (el agua del lago) presentó una densidad similar a la del agua pura. Con estos datos y aplicando en el principio de Arquímedes, se concluyó que la pómez flota porque la fuerza de empuje es mayor que la del peso (la fuerza opuesta al peso del volumen de agua

desplazado es mayor al peso de la pómez), se calculó la fuerza resultante y el porcentaje del volumen sobre el nivel del agua.

**Aplicación de las herramientas de la Dinámica de Fluidos:** En este caso se estudió la pluma eruptiva modelizándola como un fluido ideal con herramientas de fluidodinámica. Se tuvo en cuenta a la pluma eruptiva transportada desde el complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle hasta la costa atlántica Argentina durante el intervalo de tiempo limitado entre las 9 hs del 5/6/11 hasta las 6 hs del 6/6/11. La pluma eruptiva se considera como las cenizas volcánicas más el aire que las transporta (aunque sea un sistema heterogéneo se puede apreciar cierta homogeneidad a grandes escalas). No se consideró el trayecto de subida de la pluma que se da a comienzo del evento eruptivo ya que se compone netamente de flujos turbulentos. En cambio se estudió la pluma durante un intervalo de tiempo en el cual se puede apreciar un flujo laminar y estacionario, donde la pluma mantiene una rapidez y dirección relativamente constante. Se construyó un sistema coordinado con tres ejes: el latitudinal, el altitudinal y el longitudinal y se ubicó el origen en el inicio de la misma pluma. El flujo de material que se emitió durante la erupción, a gran escala fue relativamente constante.

Lo primero que se estimó fueron sus propiedades (dimensiones, velocidades, caudal, etc.) mediante imágenes satelitales y diagramas de retrodispersión atenuada que se adquirieron a través de las páginas web de la NASA y del instituto Smithsonian. Se observó que la pluma mantuvo un espesor vertical de 2 km (una altitud entre los 10 y 20 km), un espesor latitudinal de 40 km y un desplazamiento neto de 640 km. Como se observó en secuencias satelitales tomadas con una regularidad de una cada 30 minutos, la pluma tuvo una rapidez de 124 km/h durante el intervalo de tiempo establecido.

Para conocer el caudal del fluido, supusimos la continuidad a lo largo del tramo estudiado, esto se debe a que tanto el área en corte transversal y como la velocidad no varían a lo largo del recorrido (Principio de Continuidad).

Una manera alternativa para suponer la velocidad constante de la pluma durante su movilización fue considerar a las partículas de ceniza volcánica que componen la pluma. Aplicamos nuevamente la ley de Stokes, que es útil para objetos esféricos en caída dentro de fluidos. Tomamos el radio promedio de estas de las muestras de ceniza que se tenía. La

densidad de la ceniza fue hallada por medio de la bibliografía. Como la pluma se ubicó en la troposfera, el aire que consideramos como el fluido toma condiciones de viscosidad y densidad que se dan a muy bajas temperaturas (entre los  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $-60^{\circ}\text{C}$ ). Se estableció que las interacciones de la ceniza son sólo con la Tierra y el aire que la rodea. El resultado nos permitió suponer que la rapidez de caída del conjunto de partículas fue insignificante en relación con la rapidez de la pluma en el eje horizontal lo que verifica que el flujo tuvo una trayectoria relativamente recta y además que mantuvo en gran parte la forma y volumen.

**Análisis Termodinámico del material lávico:** El objetivo de este análisis fue aplicar las herramientas de la termodinámica a nuestro objeto de estudio (principios de la termodinámica y definiciones de proceso calor, calor específico y entropía). El objeto de estudio fue el flujo lávico expulsado durante la erupción, este presenta una morfología de lava en bloque con bloques mayores a un metro, que al enfriarse se conformó como una roca ígnea volcánica conocida como dacita (caracterizada por la presencia de cuarzo y plagioclasas sódica inmersa en una pasta vítrea). Aquí el interés se limitó al sistema de vidrio volcánico (pasta vítrea), no se consideró el flujo lávico porque no existe un modelo para poder analizar el comportamiento de la lava a medida que se enfría, ya que pasa por distintas fases de cristalización y recristalización (serie de Bowen) y en consecuencia los calores específicos varían. La ventaja de utilizar solo el vidrio es que no presenta cambios de fase en el rango de temperaturas considerado, por lo que no se utilizan valores de calores latentes y se puede considerar un único valor para el calor específico. El entorno considerado se conforma con el aire en contacto con la superficie superior del sistema y el suelo que lo contiene (el suelo está compuesto por rocas volcánicas originadas en erupciones anteriores y al igual que el sistema solo se consideró a la pasta vítrea). Las fronteras se consideraron diatérmicas, impermeables y deformables. Los procesos se consideraron reversibles, aunque sabemos que esta es una condición ideal alejada de la realidad, pero será de gran utilidad para aplicar las definiciones de calor y entropía aprendidas en clase y aporta una primera aproximación al análisis del fenómeno. Se dedujo la temperatura inicial dada la observación de cristales de cuarzo dentro de la pasta vítrea (usamos el cuarzo como indicador térmico, ya que este



cristaliza a una temperatura determinada) y el estadio final se estableció suponiendo una temperatura ambiente. La densidad y calores específicos del material de estudio fueron hallados en diversas fuentes bibliográficas. El volumen del material lávico se infirió en base a fotografías (satelitales y en primera persona). Para conocer la litología se consultó a muestras de corte de roca bajo microscopio petrográfico (también aportadas por la cátedra de Petrología de la FCNyM). Para analizar los efectos del entorno sobre el sistema a priori creamos un modelo en el cual dividimos al mismo sistema en subsistemas independientes. Suponiendo un corte transversal de la colada de lava, se propuso que la porción inferior, consistente en las  $\frac{2}{3}$  partes de esa colada, interactuó sólo con el suelo y la porción superior, representada por el  $\frac{1}{3}$  restante del volumen total del cuerpo de lava, interactuó solo con el aire. Consideramos que ambos subsistemas no interactuaron entre sí. Una vez establecidas las condiciones y características, se estimó el proceso de calor que le hizo cada parte del entorno al sistema utilizando la definición termodinámica de calor para cuando el cambio no es infinitesimal, considerando el calor específico ( $c_p$ ) del sistema.

$$Q = \sum \text{Calores infinitesimales} = \text{masa} \cdot \int_{t_i}^{t_f} c_p \cdot dt$$

Conociendo ya las interacciones subsistemas-entorno, se calculó la cantidad de material procedente del entorno implicado en el proceso. Se llegó a estos valores por medio de una herramienta conocida que se da en el caso donde hay dos sistemas (A y B) en contacto. Si el sistema A está a menor temperatura que el sistema B, A recibirá un calor positivo de B y B recibirá un calor negativo de A.

$$-m_B \int_{t_i}^{t_f} c_{pB} dt = m_A \int_{t_i}^{t_f} c_{pA} dt$$

Finalmente, para verificar si los cálculos obtenidos son una buena aproximación de los datos se utilizó la segunda ley de la termodinámica, la cual dice que un evento será espontáneo (sucede en la realidad) cuando se cumpla que la diferencia de entropía del universo sea mayor o igual a cero.

## CONCLUSIÓN

La experiencia de la evaluación alternativa resultó una herramienta innovadora con la cual pudimos integrar los elementos de la cátedra para abordar diversos estudios orientados a fenómenos de interés para las ciencias naturales. En este proceso pudimos apropiarnos de las herramientas curriculares, darle un sentido de utilidad a los conocimientos adquiridos y fomentar el interés al aprendizaje.

El hecho de que seamos alumnos de carreras distintas donde cada uno tiene conocimientos y puntos de vista particulares, nos abrió la puerta a la comunicación interdisciplinaria, cosa que será de vital importancia a la hora de desarrollarnos como profesionales en el futuro.

Respecto a las limitantes del trabajo, el tiempo y la organización que se requirieron para su elaboración hace que este tipo de cursada sea más demandante. En cuanto al tiempo, en este tipo de evaluación, se consideró un trabajo extra respecto a las horas de la cursada, por esta razón debe haber un gran compromiso y dedicación por parte de los alumnos y docentes, aunque se puede decir a favor que este esfuerzo extra además de ayudar a la integración de los conocimientos, también colaboró en el fortalecimiento grupal por la razón de que los integrantes estábamos unidos por un fin en común. Respecto a la organización observamos la dificultad que conlleva trabajar con un gran número de personas, un ejemplo típico es la incapacidad de poder llevar a cabo todos los encuentros planeados, ya que no siempre se aseguró la presencia de todos los miembros, surgiendo situaciones en donde el conjunto no podía seguir un mismo ritmo en la creación y entendimiento de conceptos. Sin embargo entendemos que el trabajo grupal es la base de la construcción del conocimiento científico y por lo tanto esta experiencia resultó también una formación imprescindible como futuros profesionales.

Cabe destacar que a medida que se avanzó con el proyecto se utilizaron datos y herramientas que se encontraban por fuera de los conocimientos de la cátedra y que desconocíamos previamente, los cuales tuvieron que ser adquiridos de forma independiente ya sea mediante búsquedas bibliográficas, a través de la discusión y a través de experiencias. Esta última característica fue una de las que le dio mayor riqueza a este programa de formación e investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K. y Tasa, D. (2005). *Earth: An Introduction To Physical Geology (8th Ed)*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Hernandez Rojas, J. (2007). *Reconstrucción de la Dinámica Eruptiva de la Pómez*. Revista mexicana de ciencias geológicas, 26 (2). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742009000200016](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000200016).

Bermúdez, A., y Delpino, D. (2011). *La actividad el volcán Puyehue y su impacto sobre el territorio de la República Argentina*. Primer Informe, Neuquén, 14 de Junio de 2011.

Recuperado de

[http://medicina.uncoma.edu.ar/download/academica/impacto\\_de\\_la\\_actividad\\_del\\_volcan\\_puyehue.pdf](http://medicina.uncoma.edu.ar/download/academica/impacto_de_la_actividad_del_volcan_puyehue.pdf).

Global Volcanism Program. (2013). Puyehue-Cordón Caulle. Volcanoes of the World, v. 4.6.1. Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Recuperado de <http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=357150>.

NASA Earth Observatory. *Ash from Puyehue-cordón Caulle*. Recuperado de

[https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=51057&eoqn=related\\_to&eoci=related\\_image](https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=51057&eoqn=related_to&eoci=related_image).