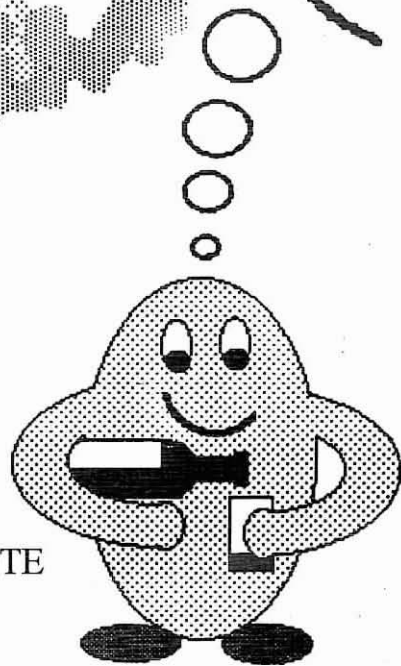
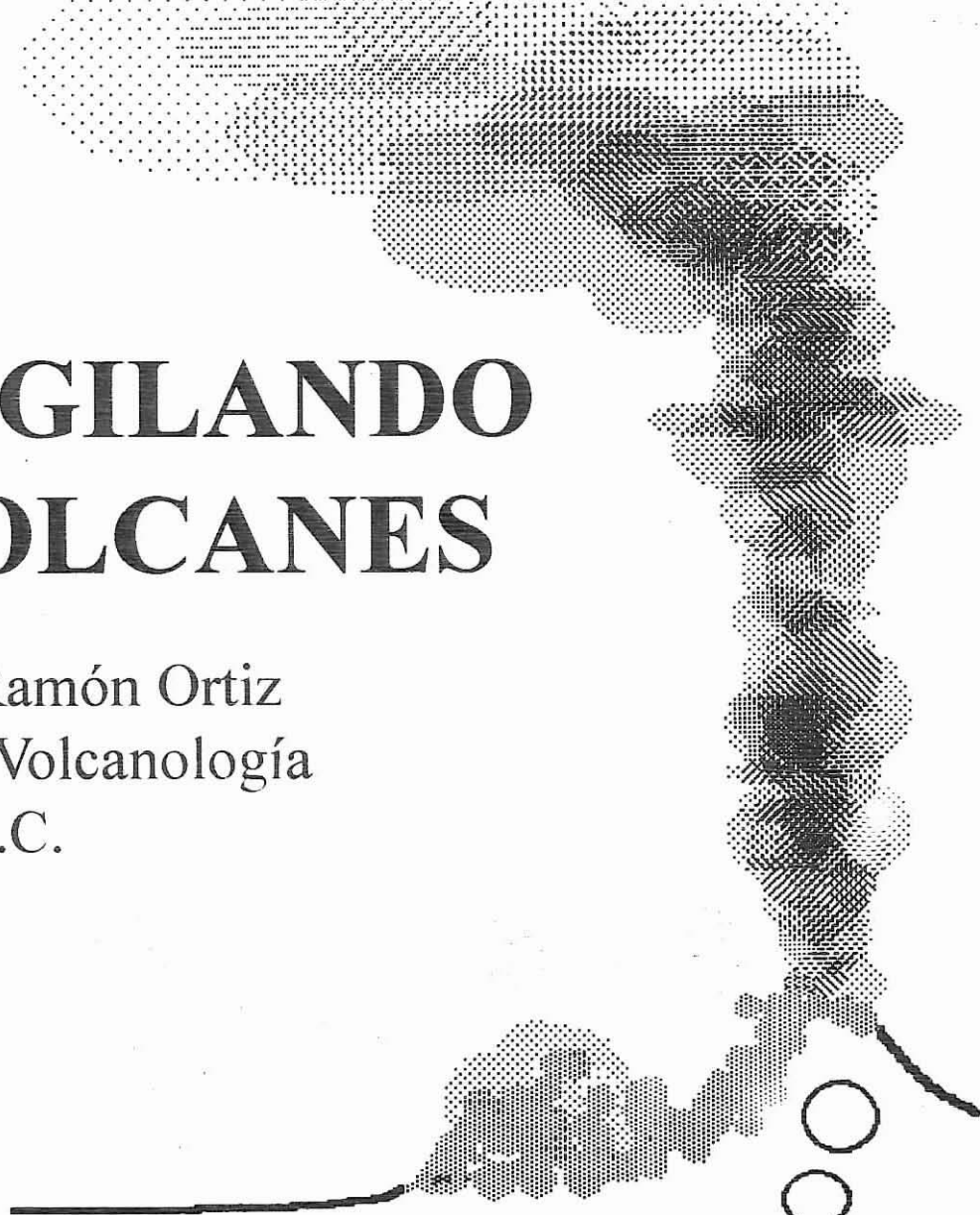


# VIGILANDO VOLCANES

por Ramón Ortiz  
Dto. Volcanología  
C.S.I.C.



**D3**  
**33**

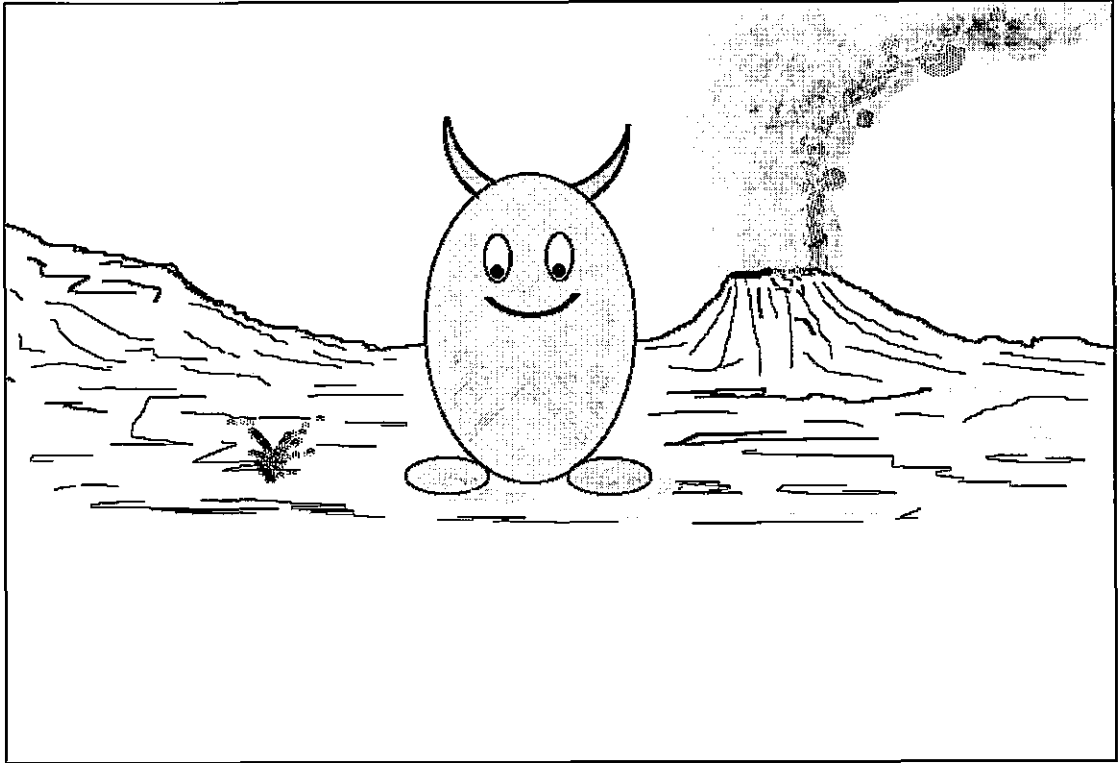
EXCMO. CABILDO INSULAR DE LANZAROTE

CASA DE LOS VOLCANES

## VIGILANDO VOLCANES

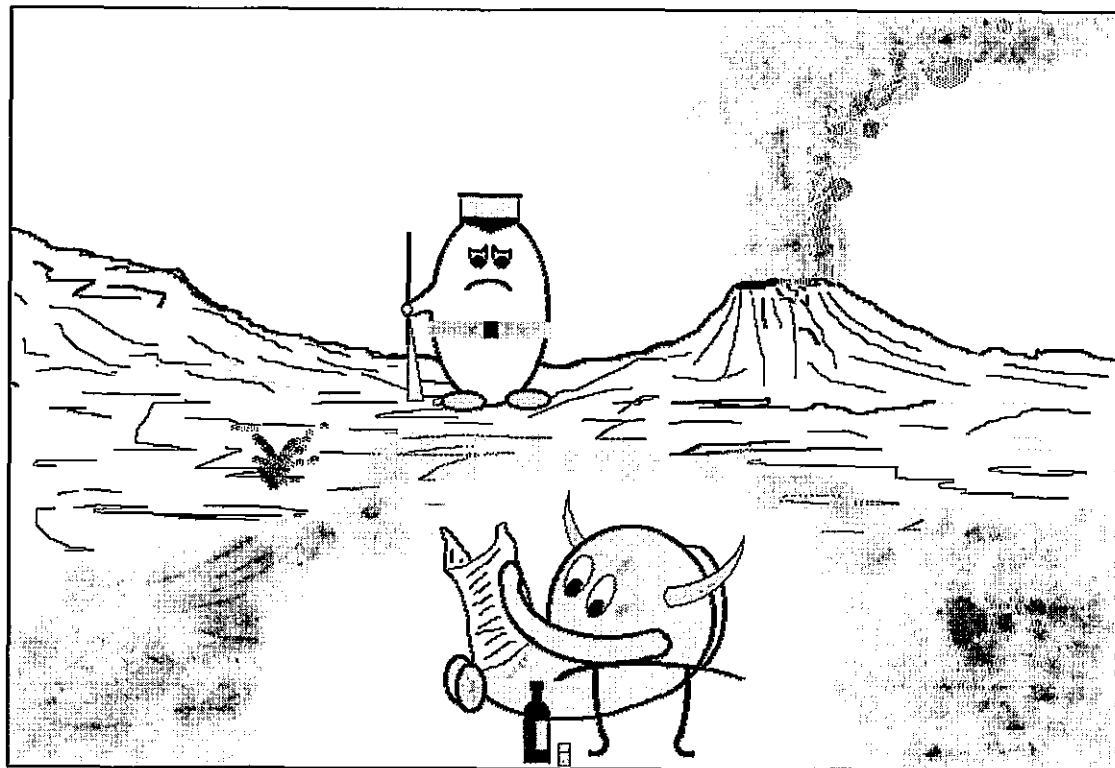
R. Ortiz

Depto. de Volcanología, M.N.C.N. - C.S.I.C.



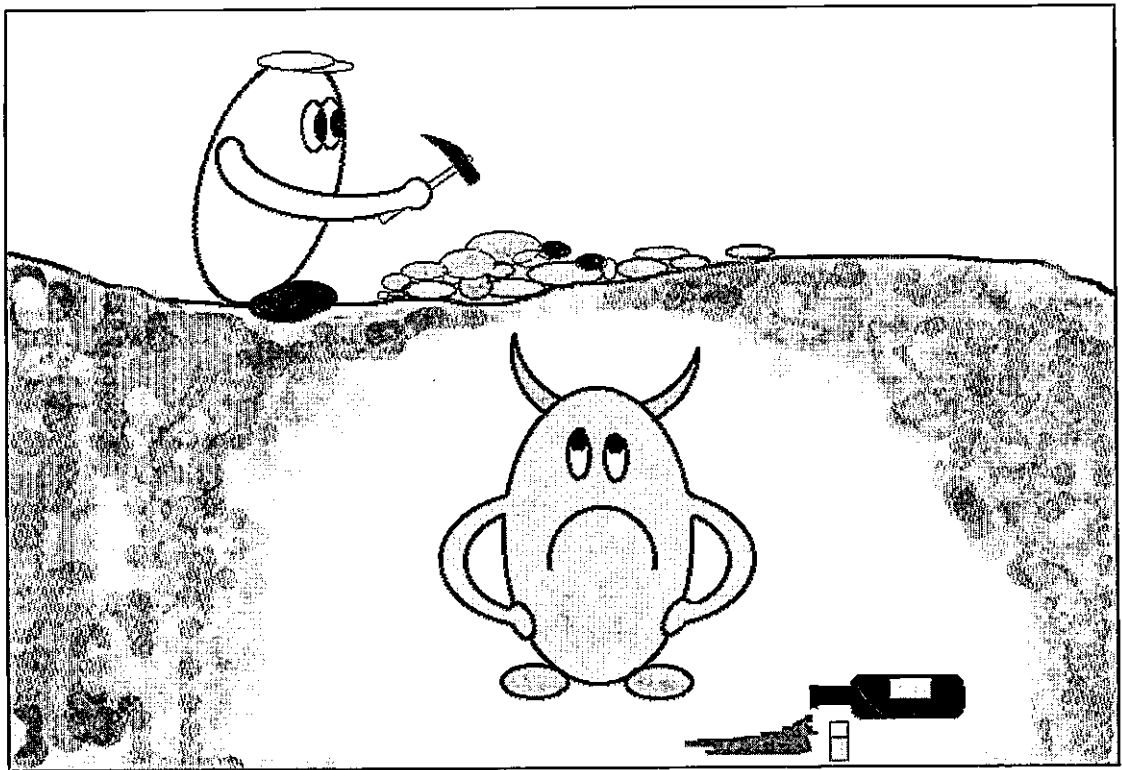
El volcán, desde antiguo, ha sido considerado por el hombre como un ente que era capaz de traernos destrucción y muerte, como un enemigo. Por ello, siempre han existido hombres que han dedicado su tiempo a vigilar el volcán, a tratar de adivinar cuáles serán sus intenciones para las próximas horas.

En el estudio de los volcanes siempre hay que distinguir dos facetas: el conocimiento científico de la actividad volcánica y la mitigación del riesgo volcánico. Es sólo a partir del último tercio del siglo XX cuando la Volcanología alcanza un nivel suficiente de desarrollo tecnológico para poder resultar efectiva en cuanto a la protección de las personas y bienes afectados por la actividad volcánica.



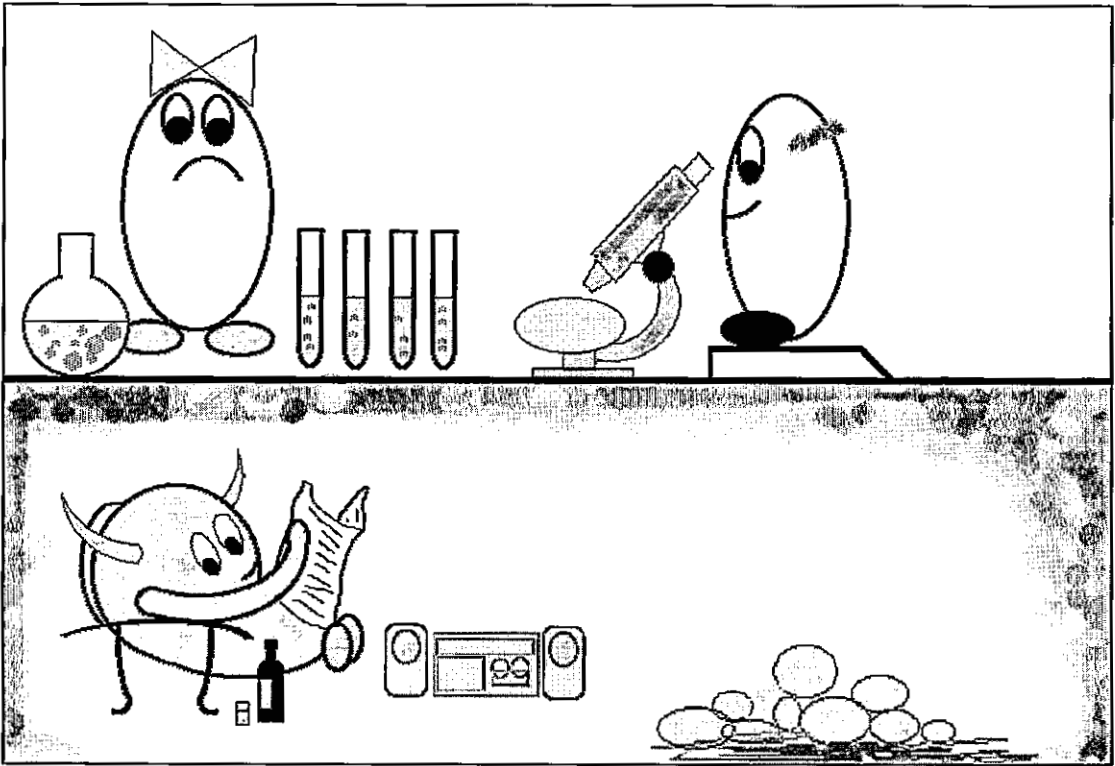
## PONER UN GUARDIA

La primera forma que se nos ocurre de vigilar un volcán es poner un observador que mire continuamente la actividad del volcán, que reseñe el más pequeño cambio que note en el entorno: aumenta la emisión de gases, se producen grietas, se oyen ruidos, se aprecian temblores, se contamina el agua de los pozos, varía el nivel del agua en los pozos, ..etc. Durante muchos miles de años ésta ha sido la única manera de vigilar el volcán y todavía hoy es muy importante la colaboración de los moradores de la zona, conocer sus impresiones sobre la actividad actual y, especialmente, tratar de rescatar aquella información que ha llegado a nuestros días por tradición oral. Esta información, debidamente elaborada con criterios y métodos historicistas e incorporada a la información que la Volcanología actual nos aporta, nos permitirá conocer mucho sobre el modo de actuar de cada volcán concreto.



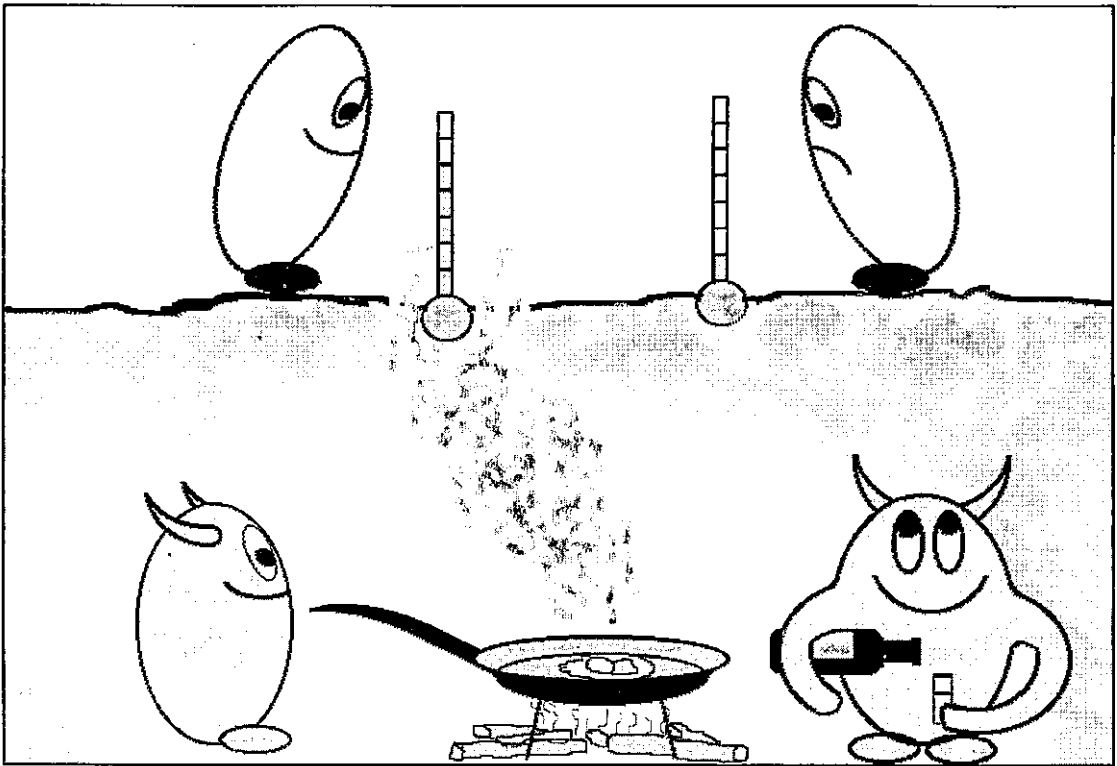
## CONOCER LA GEOLOGIA

El estudio de la actividad de un volcán empieza por conocer cuál ha sido su comportamiento a lo largo de su vida. Para ello hay que acudir a los métodos de la Geología, que nos permitirán identificar y reconstruir cómo han sido las erupciones pasadas, cuánto han durado y cuanto tiempo ha transcurrido entre ellas. Además, sabremos si el volcán presenta ciclos eruptivos, si estos ciclos se inician violentamente o, por el contrario, empiezan moderadamente y finalizan catastróficamente. Debemos saber hasta qué distancia es capaz de provocar destrucción.



## PETROLOGIA DE ROCAS VOLCANICAS

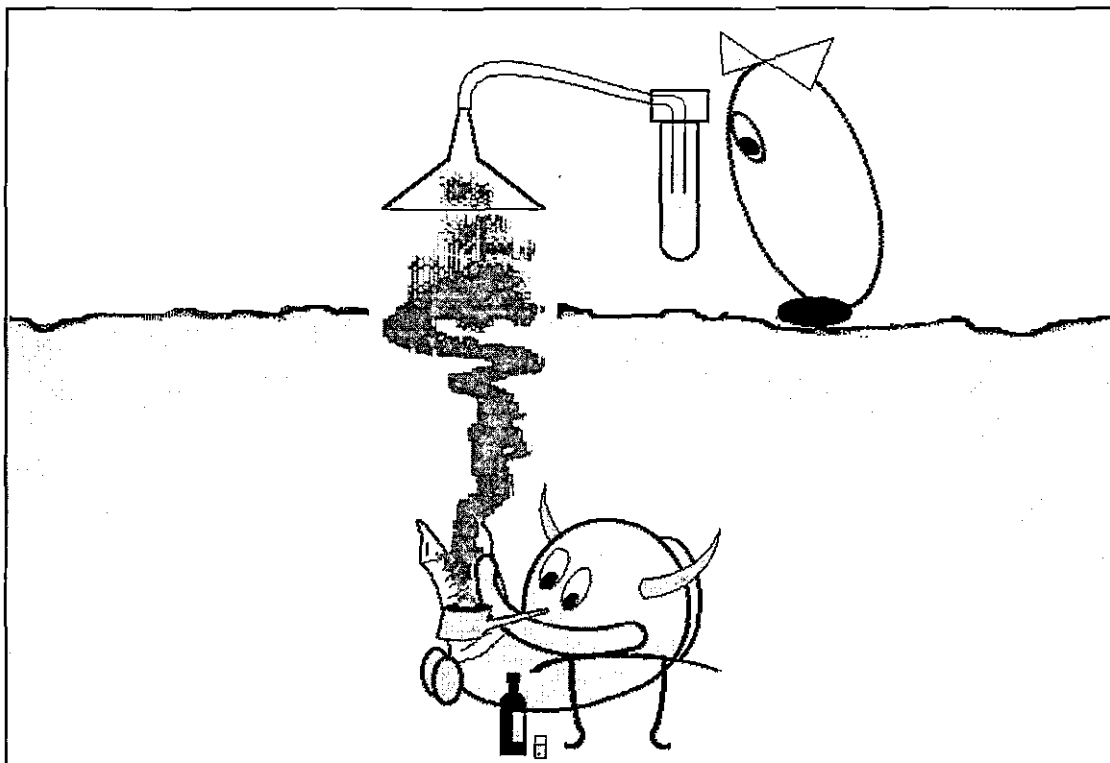
El estudio de la geología de campo debe ir complementado por un cuidadoso análisis de la composición química de los materiales emitidos por el volcán a lo largo de su historia. Estos análisis nos indicarán cuál es el origen de sus magmas y si ha cambiado de fuente magmática en algún momento de su vida. Es importante saber si el magma asciende rápidamente o, por el contrario, se queda retenido en una serie de cámaras magmáticas intermedias durante períodos más o menos largos. Debemos saber cuáles son en cada momento las propiedades del magma disponible y si se encuentra en un reservorio muy profundo o por el contrario está muy próximo a la superficie. Debemos saber también si es capaz de provocar una erupción explosiva o, por el contrario, tranquila.



## MEDIDA DE TEMPERATURAS

La información que nos dan los métodos geológicos está referida a la escala temporal del *tiempo geológico* demasiado grande para ser útil al hombre que en este momento vive al lado del volcán. Para conocer cuál es la actividad de un volcán ahora, en este mismo momento, es necesario acudir a otras técnicas: la primera de ellas, por su sencillez, es la medida de temperaturas en el volcán.

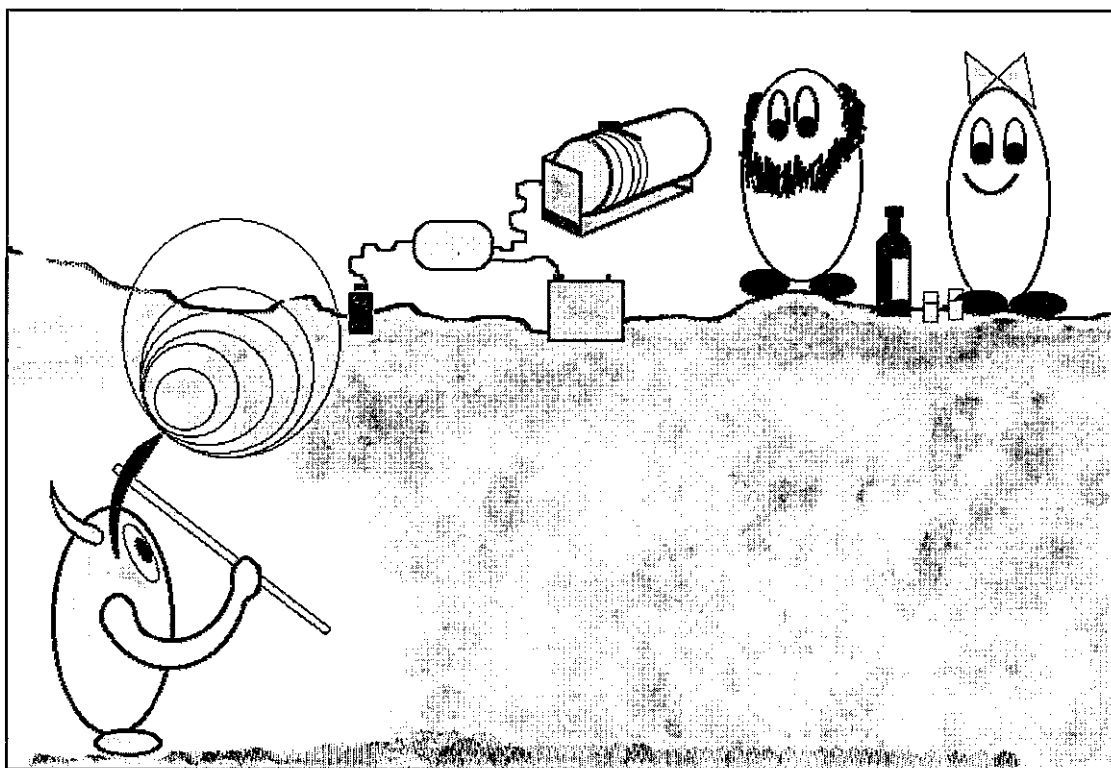
Cuando la temperatura aumenta nos indica que el magma se acerca o bien que los conductos por los que circulan los gases magmáticos calientes se han ensanchado. También puede significar que ha aumentado la cantidad de gases que circulan por los conductos.



## ANALISIS DE GASES

Los gases son otra importante fuente de información, su composición nos informa de cuál es el tipo de magma que tenemos debajo o si, por el contrario, se trata sólo de rocas que todavía están calientes a consecuencia de la última erupción. Cualquier cambio en el quimismo de los gases nos indica que algo está cambiando en profundidad. Es importante comprobar si la composición química de los gases está en equilibrio con la temperatura de salida de los mismos. Un desequilibrio en la composición de los gases es señal de que algo está cambiando rápidamente y debe considerarse un indicador de que el volcán ha entrado en una fase peligrosa. Los gases hay que recolectarlos de forma que su composición química no varíe en el tiempo que se tarda en llegar al laboratorio y realizar el análisis.

El problema mayor con que nos encontramos en el estudio de los gases volcánicos es que nosotros recogemos la muestra en superficie, y la fuente de los gases está generalmente a varios kilómetros de profundidad. Por el camino, estos gases han estado en contacto con multitud de materiales, con los que reaccionan en mayor o menor medida, cambiando su composición. En su ascenso habrán tenido que atravesar varios acuíferos, donde unos componentes se disuelven y quedan retenidos más que otros y, finalmente, cerca ya de la superficie, se mezclan con aire y además pueden ser objeto de actividad biológica, pues existen bacterias, incluso de alta temperatura, especializadas en ambientes volcánicos que presentan una química en la que interviene el azufre, por lo que también nos modifican la composición del gas.



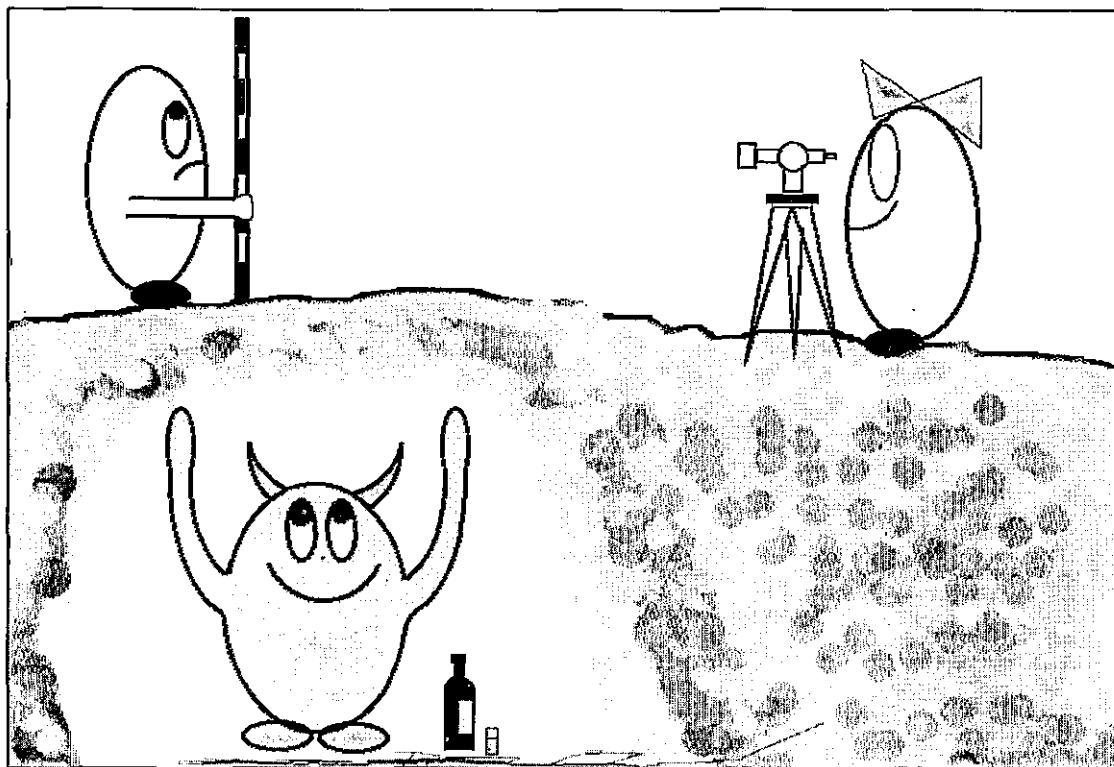
## ACTIVIDAD SISMICA

La actividad sísmica es, desde antiguo, uno de los métodos preferidos para la vigilancia de los volcanes: es fácil imaginar que el magma, para salir, tenga necesidad de hacer un camino hasta la superficie. La fracturación de las rocas necesaria para abrir el camino es una fuente de actividad sísmica. Puestas así las cosas, un sismógrafo en el volcán nos indicará puntualmente cómo van los trabajos que realiza el magma para llegar a la superficie.

Si embargo, la situación real es mucho más complicada ya que, si bien es cierto que al establecerse el conducto se generan multitud de pequeños sismos, ésta no es la única causa de la sismicidad presente en un volcán: circulación de gases por fracturas, fracturas que se cierran, rocas que se enfrían, asentamiento del edificio volcánico, etc. El problema es, en estos casos, distinguir claramente el origen de cada uno de estos eventos.

Además, el magma puede ascender por zonas muy calientes o utilizar conductos ya abiertos y entonces no dará origen a terremotos. Así, tenemos erupciones precedidas por una intensa actividad sísmica, crisis sísmicas sin erupción y erupciones sin precursores sísmicos. A esto debemos añadir el caso de actividad sísmica continua, que tampoco nos informa de nada nuevo.



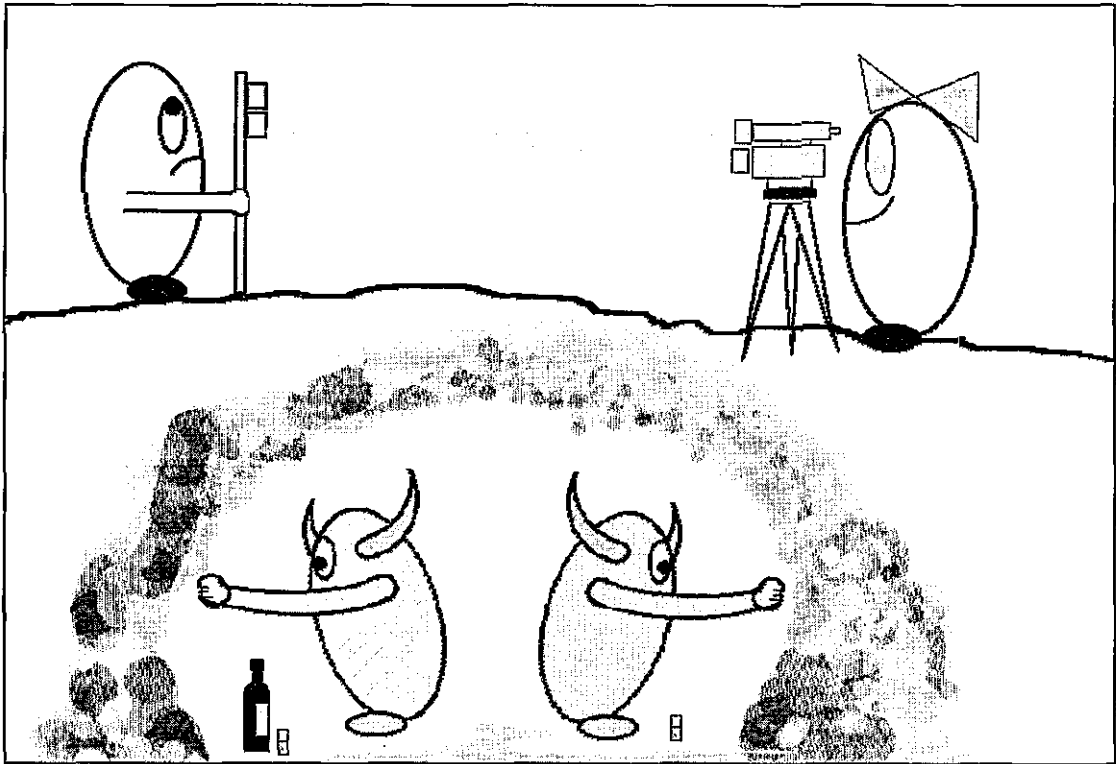


## MEDIDA DE LA DEFORMACION: NIVELACION

La inyección de magma cerca de la superficie provoca una deformación del terreno, tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de magma, y tanto más acusada cuanto más próxima a la superficie se encuentre. Una técnica muy precisa y de bajo costo es la nivelación de precisión: periódicamente se realizan itinerarios de nivelación que cruzan las supuestas zonas activas. Si se está produciendo una inyección magmática ésta provoca una deformación que es detectada al comparar dos nivelaciones sucesivas.

Otro método consiste en instalar niveles de alta precisión en las proximidades del volcán. Cualquier variación en su interior se reflejará en un cambio en los niveles.

El problema radica en que para magmas basálticos la velocidad de ascenso es muy rápida, el conducto no tiene que abrirse mucho y la deformación es muy pequeña, por lo que se necesita una tremenda resolución, tan grande que otros muchos fenómenos naturales tienen la misma amplitud (variaciones de temperatura en las rocas, variaciones de presión atmosférica, mareas terrestres y oceánicas, etc) y que debemos distinguir.

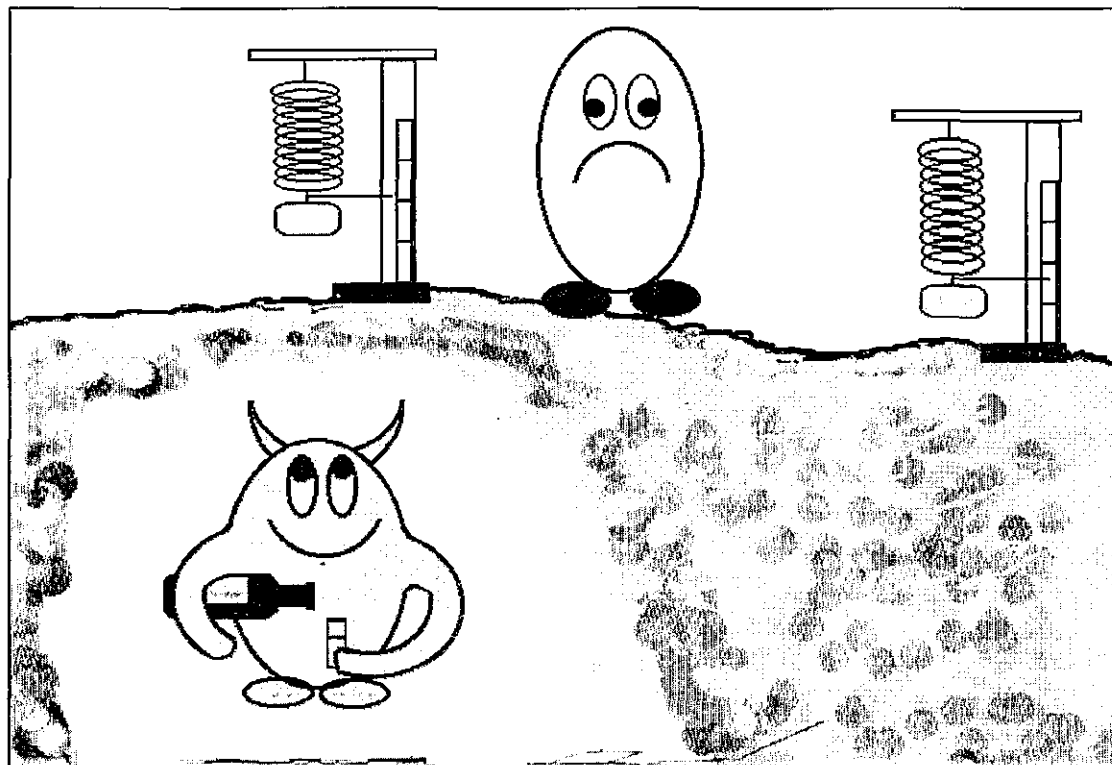


## MEDIDA DE LA DEFORMACION: DISTANCIAS

La medida de distancias es otra técnica geodésica que se aplica en la vigilancia de volcanes. Su razón de ser y sus problemas de aplicación e interpretación son los mismos que para la nivelación de precisión. Cuando es posible cruzar la zona de inyección magmática sin grandes problemas es mejor la nivelación de precisión. Sin embargo, cuando no podemos acercarnos al volcán o bien los desniveles son tan grandes que se pierde precisión en la nivelación, entonces es mejor utilizar la medida de distancia. Los nuevos distanciómetros electrónicos y los avances en geodesia espacial hacen que esta técnica se esté aplicando más cada día.

Es importante destacar que estas técnicas geodésicas, cuando se han aplicado desde antes de que se produzca la intrusión magmática cerca de la superficie, permiten estimar cuál es el volumen de magma que se ha inyectado en los conductos y reservorios poco profundos y tratar de aproximar cual será la magnitud de la futura erupción.

Extensómetros y clinómetros electrónicos de larga base, como los instalados en la *Estación Geodinámica de La Cueva de Los Verdes* son capaces de detectar la inyección de un magma basáltico a varios kilómetros de distancia. El desarrollo de este tipo de instrumentos a costos moderados permitirá en los próximos años una mejora importante en las técnicas de vigilancia de volcanes.

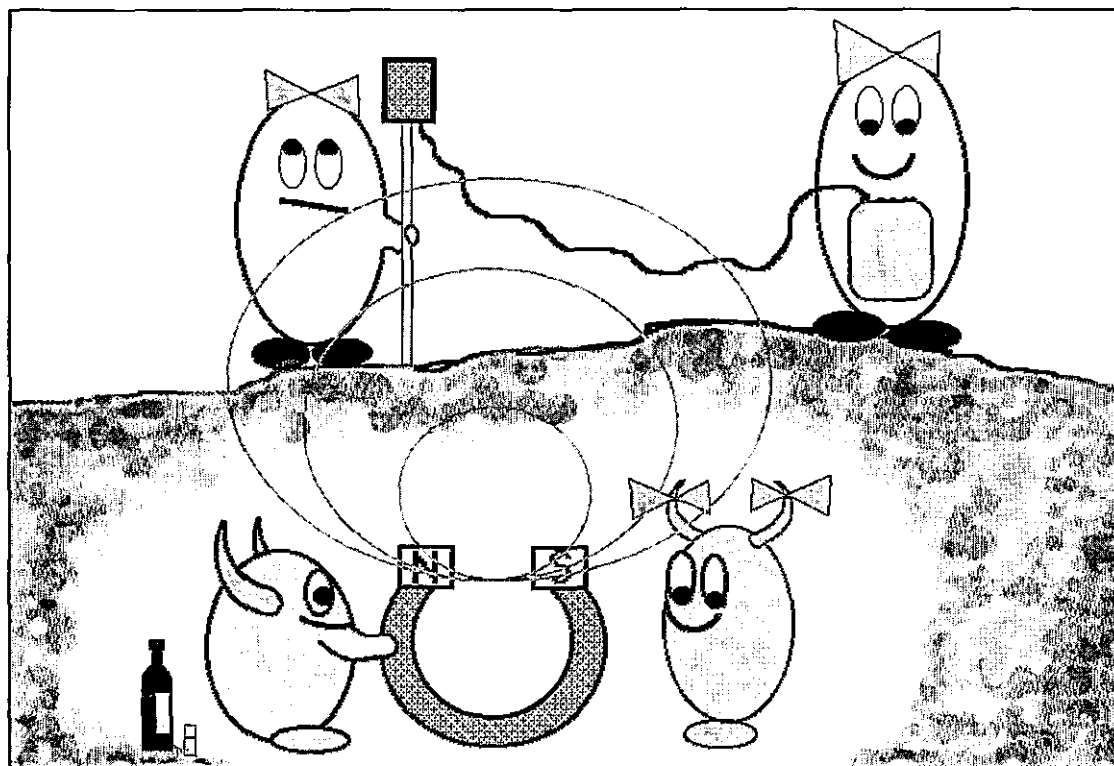


## CAMBIOS DE DENSIDAD: GRAVIMETRIA

La medida de la gravedad, que permite conocer la distribución de densidades en el interior del edificio volcánico, es otra técnica que se utiliza en la vigilancia de volcanes. Esta técnica se emplea de dos formas distintas: para conocer la estructura interna del volcán, de modo similar a como se utiliza en prospección, y para detectar cambios en la distribución de masa en el interior.

Para conocer la estructura del volcán se realiza la medida de la gravedad en el mayor número de puntos posibles en el entorno del volcán y a partir de estos datos se construye el modelo estructural.

Para vigilancia la técnica consiste en elegir unos pocos puntos bien determinados donde periódicamente se repiten las medidas con la mayor precisión posible. En alguno de esos puntos se mantiene un gravímetro en registro continuo. Según parece, la vigilancia gravimétrica fue el único precursor de la trágica explosión del volcán Galeras (1992): el gravímetro empezó a indicar una importante disminución de gravedad que erróneamente fue interpretada como un mal funcionamiento del instrumento, al repetir las medidas se produjo el desastre que costó la vida a seis volcanólogos.

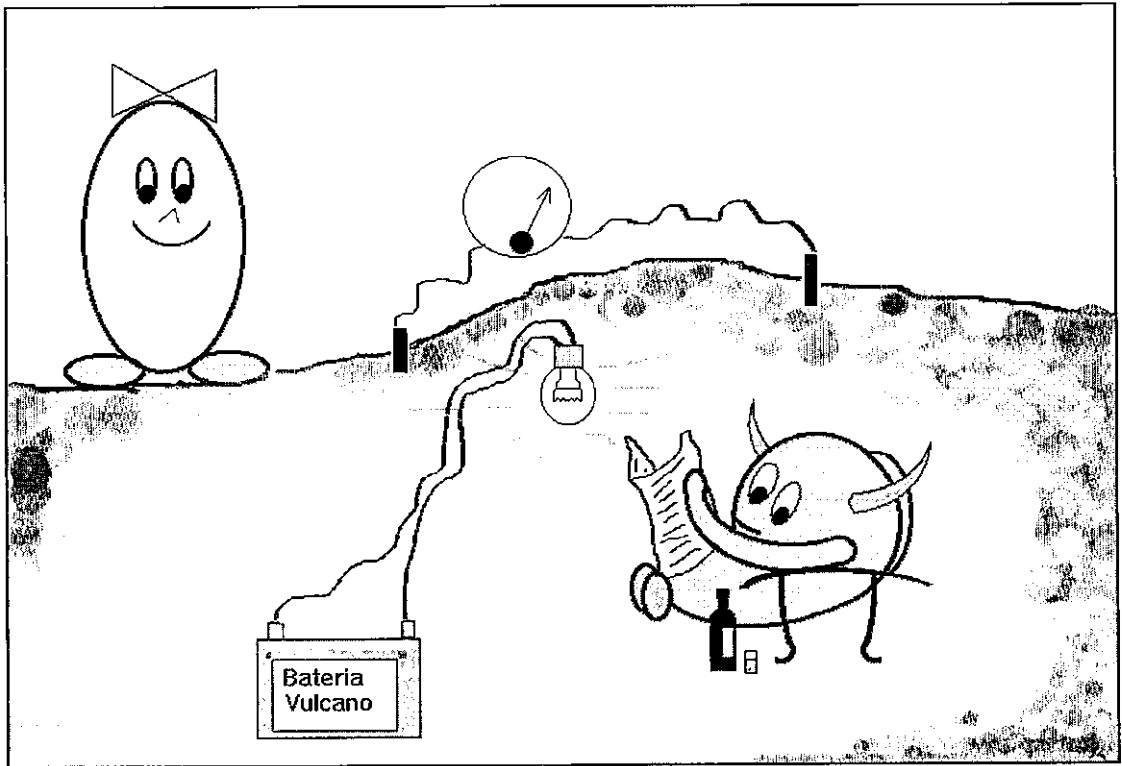


## CAMPO MAGNETICO

La medida del campo magnético en un volcán activo nos aporta una información parecida a la dada por la gravimetría: podemos aplicarla tanto a la determinación de estructuras como a la vigilancia de la actividad volcánica. En la determinación de estructuras la problemática es más compleja que en el caso de la gravimetría, ya que el campo magnético no es un campo potencial y por consiguiente el conjunto de ecuaciones a manejar es mucho más complejo. A efectos estructurales lo mejor es disponer de información del campo magnético obtenida a distintas alturas: en superficie y con vuelos magnéticos realizados a varias cotas.

Uno de los problemas del campo magnético es su variación continua, por ello todo trabajo de magnetismo deberá realizarse al menos con dos estaciones, una en la zona de trabajo y otra alejada que sirva como referencia.

Para vigilancia, por el contrario, el campo magnético es un buen indicador de los procesos que ocurren en el interior del volcán, pues las propiedades magnéticas de los materiales varían con la temperatura y el establecimiento de nuevos conductos magmáticos cambia notablemente el campo magnético en superficie. Actualmente ya son varios los volcanes que incluyen en su sistema de vigilancia la operación continua de varias estaciones magnéticas. La mayor dificultad del método radica en lo pequeña que es la señal de origen volcánico en relación a las demás señales que contribuyen al campo geomagnético. Esto hace imprescindible una gran resolución en los registros y la capacidad de identificar de forma precisa las distintas fuentes de campo magnético para poder aislar la señal cuyo origen es una variación en el estado de actividad del volcán.

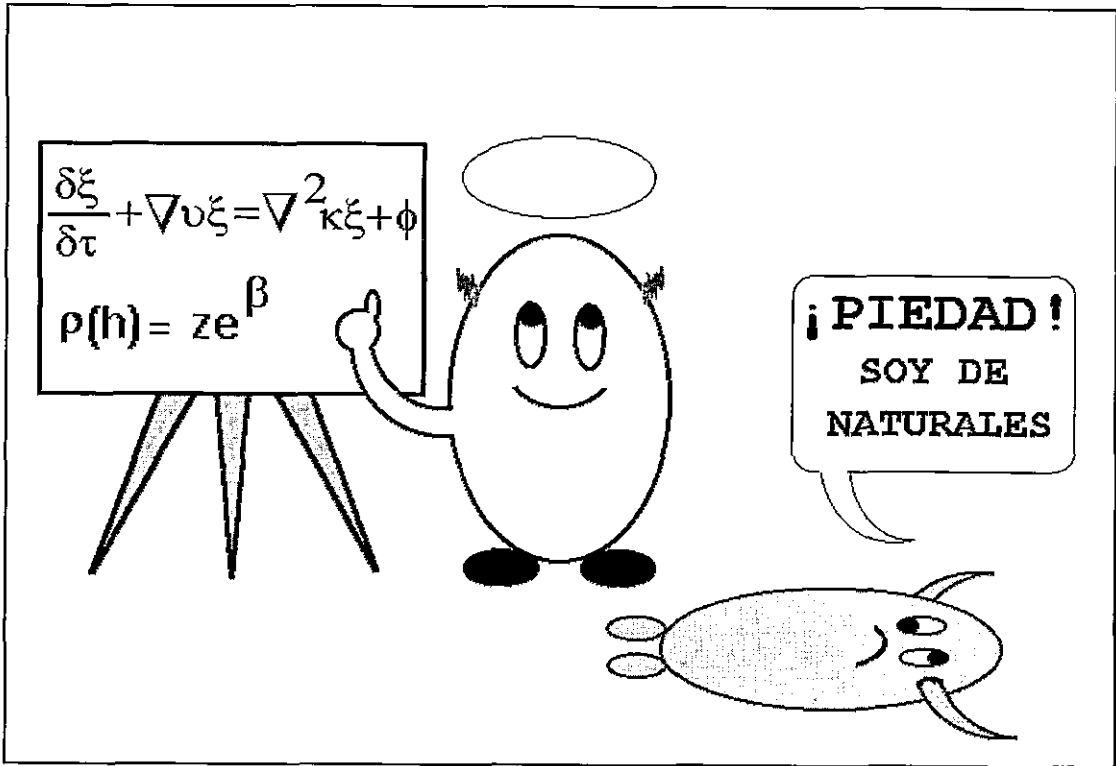


## CAMPO ELECTRICO

En los volcanes activos es frecuente encontrar un campo eléctrico importante, originado por las diferencias de temperatura existentes (efectos termoeléctricos), de la circulación de fluidos (efectos electroquímicos) y por el diferente grado de tensión aplicado a las rocas (efectos piezoeléctricos).

La medida de este campo nos da información sobre el estado del volcán, aunque por el momento la interpretación concreta de cada una de las anomalías observadas es muy difícil.

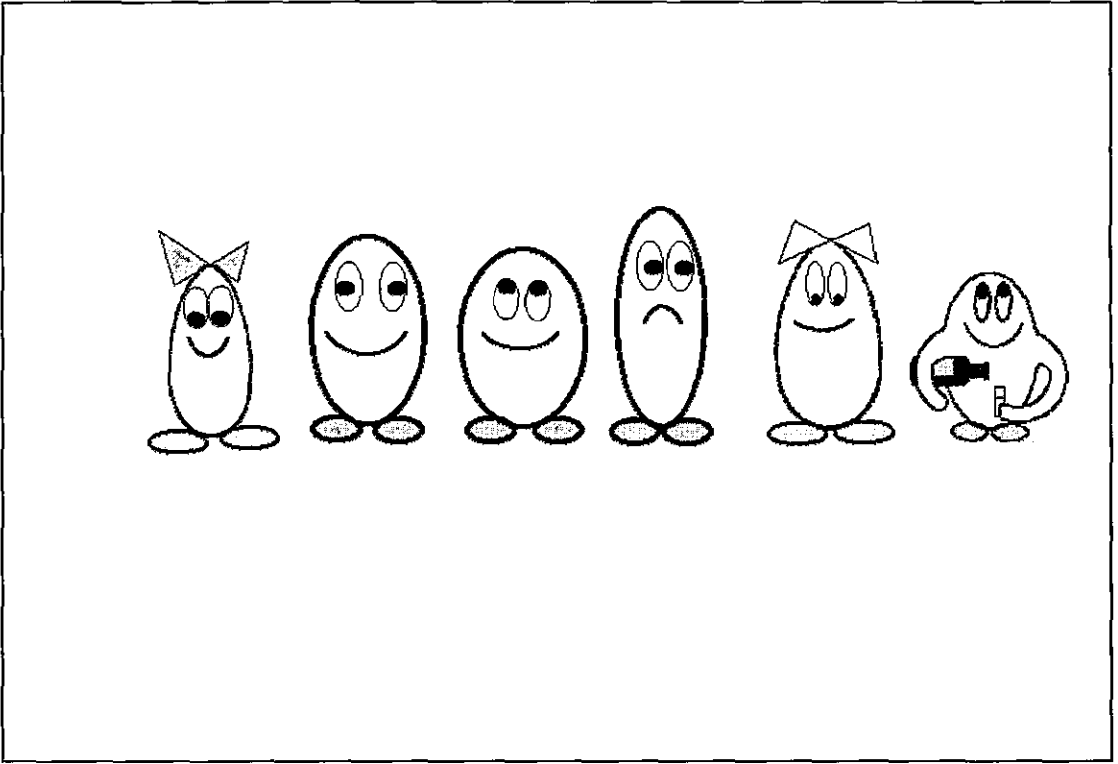
El dispositivo experimental consiste en situar una serie de electrodos sobre el volcán y medir las diferencias de potencial existentes entre ellos.



## MODELOS MATEMATICOS

Toda la información obtenida, geología, petrología, temperaturas, gases, actividad sísmica, deformación, magnetismo, ...etc. deberá encajarse en un modelo capaz de describir el estado actual, explicar el pasado y predecir el futuro. Este tipo de modelos constituye la base de lo que hoy conocemos como Ciencias Físicas. Estos modelos se construyen con el lenguaje habitual de la Física que es el lenguaje matemático. Por ello no debe sorprendernos que el resultado final de nuestro trabajo sobre el volcán sea un modelo matemático, el cual no sólo nos dice lo que sabemos del volcán, sino que también es capaz de resaltar aquellos aspectos que nunca seremos capaces de predecir.

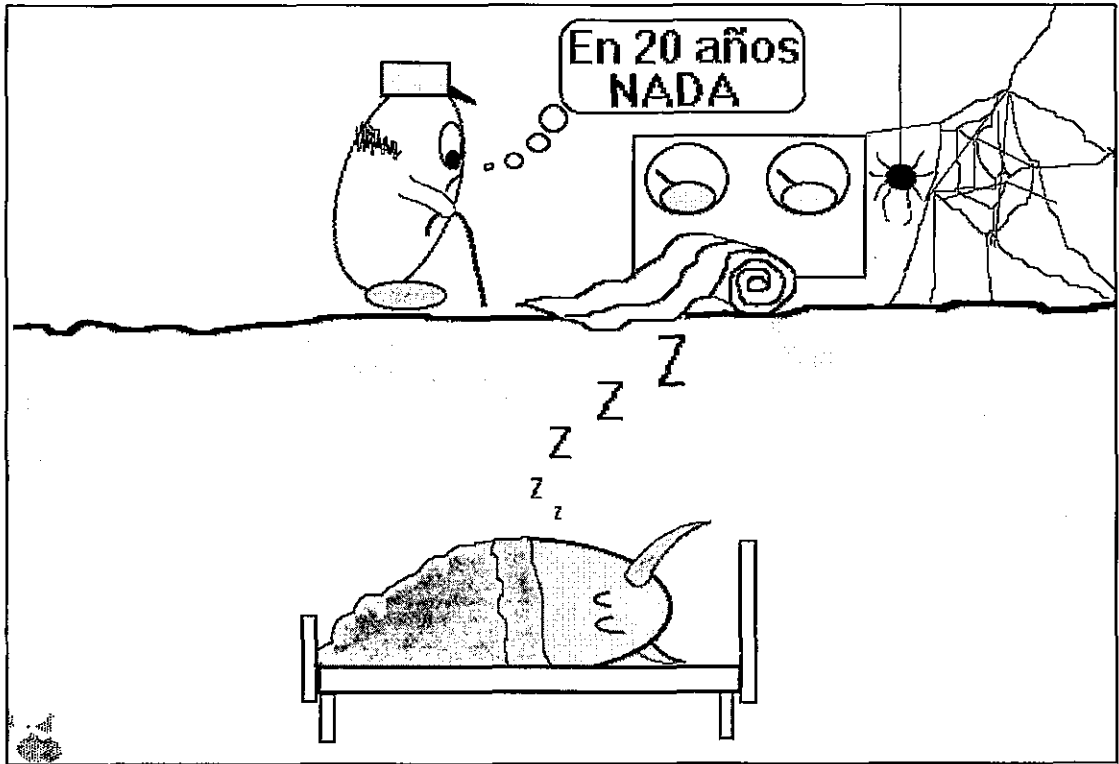
La aplicación de estos modelos a la realidad será lo que nos permitirá establecer el mapa de riesgo y, basándonos en él, diseñar la ordenación del territorio, los programas de educación ambiental y disponer las medidas oportunas para actuar en caso de crisis.



## LA INVESTIGACION VOLCANOLOGICA ACTUAL

La Volcanología en cuanto estudio de los volcanes con la finalidad de mitigar los efectos de la catástrofe volcánica, es hoy una ciencia de carácter multidisciplinar, en la que intervienen geólogos, físicos, matemáticos, químicos, biólogos, ingenieros, técnicos electrónicos, historiadores, sociólogos, ...etc. Hoy no es posible plantear el estudio de un volcán sin disponer de un equipo de trabajo de esta índole. Estos grupos de trabajo, por su propia naturaleza y dimensión, son de carácter internacional y además están coordinados entre sí y actúan simultáneamente o en conjunción con otros equipos similares en otros volcanes. Como ejemplo podemos citar dos grandes programas de Volcanología que se están desarrollando en la década 1990 - 2000:

- El primero es un programa financiado por la Unión Europea para conocer a fondo unos **Volcanes Laboratorio Europeos**, elegidos para desarrollar en ellos un ambicioso programa de investigación científica y tecnológica. Estos volcanes son Etna (Italia), Teide (España), Piton de la Fournaise (Francia), Furnas (Portugal), Santorini (Grecia) y Krafla (Islandia).
- El otro programa es de Naciones Unidas y conocido como **Volcanes de la Década**. Está enmarcado dentro de la proclamada *Década para la mitigación de las catástrofes naturales*. Promueve la investigación intensa de carácter multidisciplinar e internacional en una quincena de volcanes de todo el mundo (Colima, Etna, Galeras, Mauna-Loa, Merapi, Rainier, Nyragongo, Sakurajima, Santa María, Santorini, Taal, TEIDE, Ulawan, Unzen, Vesuvio) con el objetivo de desarrollar técnicas y herramientas que permitan mitigar el riesgo volcánico.

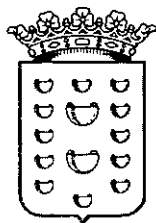


Finalmente debemos recordar que el volcán puede permanecer muchos años dormido, por lo que el instalar muchos equipos en un momento dado no sirve para nada, ya que cuando hagan falta estarán, en el mejor de los casos, obsoletos (y no sólo los instrumentos, sino también aquéllos que los instalaron). Lo importante es conocer el problema, que haya siempre nuevos investigadores sobre nuestros volcanes, que aporten ideas nuevas y, sobre todo, que continuamente estemos actualizando métodos y técnicas que puedan desplegarse y aplicarse en el momento que se requiera. En este sentido es en el que hoy se está trabajando: crear unos equipos internacionales dotados de la mejor instrumentación disponible y que puedan actuar en cualquier parte donde sea necesario. Pero para que su labor sea eficaz es necesario disponer de una estructura científica nacional con buena base de conocimiento de nuestros volcanes, por lo que continuamente deberemos profundizar en el conocimiento de los mismos.

El Departamento de Volcanología del Museo Nacional de Ciencias Naturales del C.S.I.C. y el Instituto de Astronomía y Geodesia del C.S.I.C.-U.C.M. constituyen el equipo de Volcanología más importante de España, trabajando en los dos grandes programas internacionales citados; llevando la coordinación del Proyecto Teide y participando en otros volcanes laboratorio. Además de los trabajos continuados en los volcanes canarios, otros volcanes como el Láscar en los Andes o Decepción en la Antártida son frecuentemente visitados por nuestros volcanólogos.

Hasta la próxima erupción





EXCMO. CABILDO INSULAR DE LANZAROTE



CASA DE LOS VOLCANES  
LANZAROTE