

CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD ABSOLUTA DE UNA NUEVA ERUPCIÓN EN LA ISLA DE ISCHIA (ITALIA)

Mattera M.¹

RESUMEN

Ischia es la isla mayor y más poblada del archipiélago napolitano. Forma parte del complejo volcánico de la costa centro-occidental italiana y su actividad está relacionada con la presencia de fracturas profundas, asociadas a la apertura del mar Tirreno la cual comenzaba hace diez millones de años. El registro de varias erupciones históricas pone de manifiesto la posibilidad de que en un futuro no lejano se pueda producir un nuevo evento volcánico.

El cálculo de dicha probabilidad representa una estimación esencial para evaluar adecuadamente el impacto que puede ocasionar el que se reanude la actividad volcánica en la isla; de hecho, en un posterior artículo, los resultados alcanzados en el presente estudio se emplearán para evaluar el riesgo volcánico en Ischia.

Una de las pautas de análisis ha previsto la reconstrucción de un registro de las erupciones que se han verificado en los últimos 55.000 años; esta fecha coincide con la emisión del Tufo Verde, una de las unidades estratigráficas más importantes que conforman la isla de Ischia. Tomando como referencia al esquema de clasificación propuesto por Newhall y Self (1982), a cada erupción se le ha asignado un índice de intensidad, VEI, de manera que se divida todo el registro en clases. A continuación, mediante la aplicación de la estadística de Poisson, se ha determinado la probabilidad absoluta con la cual se puede producir un evento volcánico de cada clase de VEI en un intervalo de tiempo de 10 años.

Si bien los resultados ponen de manifiesto que el valor de la probabilidad de erupción no es alto, éste no se debería subestimar, sobre todo en relación a dos características peculiares de este territorio que influyen directamente sobre el grado de riesgo volcánico: el elevado flujo turístico que recibe y el carácter insular.

Palabras clave: Ischia, probabilidad relativa, probabilidad absoluta, riesgo volcánico.

ABSTRACT

The isle of Ischia is the largest and the more populous of the Neapolitan Archipelago. It forms part of the volcanic complex of the middle-western Italian coast and its activity is related to the presence of deep fractures, associated to the aperture of the Tirreno sea, which began ten million years ago. The record of several historical eruptions reflects the possibility that in the future not so far could be produced a new volcanic event.

The calculation of this possibility represents an essential estimation to evaluate adequately the impact that can be occasioned when the volcanic activity starts again in the isle; in fact, in a next paper, the results reached in the present study will be used to evaluate the volcanic risk in Ischia.

One of the aspects of analyses has taken into account the reconstruction of a recorder of eruptions that have been verified in the last 55.000 years, this date coincides with the emission of the Tufo Verde, one of the classification scheme proposed by Newhall and Self (1982), to each eruption has been assigned a intensity index, VEI, in order to divide all the record of classes. As follows, by applying the Poisson's statistics, it has determined the absolute probability with which it can be produced a volcanic event of each class of VEI in a lapse of time of ten years.

The results reflect that the value of probability of eruption is not high; however, is should no be underestimated, specially with respect to two peculiar characteristics of this territory that influxes directly on the grade of volcanic risk: its high touristy flux and its insular character.

Key words: Ischia, natural hazard, natural risk, volcanic risk.

¹Dpto. de Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, Universidad Complutense, C/ José Antonio Novais s/n, 28040 Madrid

INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta un método estadístico, basado fundamentalmente en la distribución de Poisson, el cual ha sido empleado para determinar la probabilidad con la que se puede producir una erupción perteneciente a una determinada clase de intensidad en la isla de Ischia (Italia). Se ha podido calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico porque, en el caso de esta isla, se dispone de un amplio registro de erupciones, el cual constituye una población estadística de datos.

En este estudio se ha realizado el cálculo de la probabilidad absoluta con la cual se puede verificar una erupción perteneciente a una determinada clase de VEI (índice propuesto por Newhall y Self en 1982 según el cual las erupciones se clasifican en función de su grado de intensidad destructiva).

En caso de recurrir a este acercamiento metodológico, la estimación de la probabilidad de erupción constituye una actividad imprescindible para poder construir un mapa de riesgo de un área expuesta al peligro de desarrollo de actividad volcánica. De hecho, los resultados alcanzados en este artículo servirán de base, en uno posterior, para la elaboración de un mapa de riesgo para esta misma área de estudio.

Contexto geológico y volcanológico de la isla de Ischia

Localizada a unos 33 km en dirección oeste-suroeste de la ciudad de Nápoles, Ischia es la mayor (a pesar de su reducida extensión, 46,3 km²) y más poblada de las islas del archipiélago napolitano. Administrativamente está dividida en seis ayuntamientos; esta división servirá, en un próximo artículo, de referencia para el cálculo del riesgo.

El volcanismo de esta zona está asociado a la evolución geológica reciente de la región tirrénica: hace diez millones de años, el área que hoy representan la península italiana y las islas de Córcega, Cerdeña y Sicilia estaba unida; desde entonces la creación de corteza oceánica ha dado lugar a la formación de la cuenca del Mar Tirreno y dicha

apertura oceánica ha provocado una lenta rotación de la península italiana hacia el Este, hasta dejarla en su posición actual.

Este movimiento, todavía vigente, ha generado el estiramiento de la corteza y la formación de fracturas profundas, favoreciendo la subida de magmas hasta la superficie. La actividad volcánica que ha acompañado al proceso de estiramiento cortical ha sufrido una migración hacia el sureste, dando lugar a la formación de una cadena de volcanes progresivamente más jóvenes: desde los aparatos sumergidos en el fondo del mar Tirreno hasta los volcanes todavía activos del área napolitana (Campi Flegrei, Ischia, Vesuvio) pasando por los volcanes de la costa occidental de las regiones de Toscana y Lacio. Desde un punto de vista 'macromorfológico', Ischia es un 'campo volcánico' (Scandone y Giacomelli, 1998). Esto quiere decir que no presenta vías preferenciales para el ascenso del magma; como se comentará más detenidamente en el próximo artículo, este aspecto es esencial para el cálculo del riesgo volcánico puesto que implica que se establezcan las áreas donde hay una mayor probabilidad de que pueda formarse un centro eruptivo.

Tal y como ocurre en otros campos volcánicos, en este tipo de estructura falta un cráter volcánico único, lo que conlleva que la actividad volcánica se manifieste según procesos y estilos eruptivos que son siempre muy diferentes y variados. De hecho, todo el territorio de la isla se encuentra cubierto por múltiples centros volcánicos que se han formado en el transcurso de los últimos 150.000 años. Las numerosas coladas de lava, la gran variedad de depósitos de cenizas, tobas y otros depósitos piroclásticos producidos por *lahares*, *surges* y *fall*, y los diferentes tipos de conos, son testigos de la notable heterogeneidad con la cual se han manifestado los numerosos y diversos eventos volcánicos en esta isla, dando esto lugar a una morfología muy variada.

En base a estudios estratigráficos, Vezzoli (1988) y otros autores han individualizado cinco fases diferentes de actividad volcánica en Ischia. Las primeras dos fases (ciclo antiguo) debieron preceder a la erupción del Tufo Verde, cuyos depósitos forman gran parte del Monte Epomeo. Estas fases son:

- *Fase 1 (anterior hace 150.000 años)*. Tiene un carácter predominantemente explosivo, con erupciones de tipo pliniano e incluso ultrapliniano, que determinaron la aparición de grandes acumulaciones de material piroclástico. La mayor parte de estos productos han sido erosionados posteriormente por la acción del mar y sepultados o demolidos por erupciones sucesivas. Tras esta fase, se formó un gran aparato volcánico que debió cubrir un área más extensa que la actual isla. Posteriormente, el hundimiento de una gran extensión coincidente con la actual zona central de la isla, dio lugar a una estructura en forma de caldera. A la formación de la caldera se vinculan una serie de fracturas con desarrollo anular, a lo largo de las cuales se establece la sucesiva actividad volcánica.

- *Fase 2 (hace entre 150.000 y 75.000 años)*. Se trata de una fase predominantemente efusiva, con erupciones de tipo vulcaniano y estromboliano, que se caracteriza por la formación de numerosos conos de escoria y domos. A ésta, le sigue una fase prolongada de calma, que finalizó en torno a hace 55.000 años.

- *Fase 3 (hace entre 55.000 y 33.000 años)*. Hace 55.000 tuvo lugar la inyección de nuevo material magmático en la cámara, lo que determinó la elevación de un enorme bloque y la reanudación de la actividad volcánica, con numerosas erupciones explosivas (de tipo pliniano y ultrapliniano) cuyos centros eruptivos no se reconocen actualmente. Parte de los productos de esta erupción rellenaron la caldera que se había formado tras la fase 1. Estos materiales, que probablemente permanecieron bajo el agua hasta cerca de hace 28.000 años, constituyen hoy en día el denominado *Tufo Verde*, la unidad estratigráfica más importante de la isla.

- *Fase 4 (hace entre 28.500 y 18.000 años)*. Fase de carácter efusivo, con erupciones de tipo estromboliano y vulcaniano, con la formación de domos de lava y la emisión de espesas coladas de lava y lechos de escoria, vinculados a la actividad de los centros volcánicos. A esta fase le sigue la emisión de piedra pómez y escoria, que recubren en discordancia tanto las lavas emitidas con anterioridad como los productos de las fases 2 y 3. La presencia de un paleosuelo, que cierra la secuencia de estos productos, indica un periodo de reposo tras la cuarta fase de actividad.

- *Fase 5 (hace entre 10.000 años y el 1.302 a.C.)*. Numerosas erupciones fechadas en torno a hace 10.000 años señalan el fin del periodo de calma y el inicio de una fase de actividad que se ha prolongado hasta la erupción histórica de Arso (1.302 a.C.). La mayor parte de los centros eruptivos activos de esta fase se encuentran a lo largo del borde oriental del Monte Epomeo; además, hacia la zona más llana del graben de Ischia se reconocen varios domos de lava y algunos estratovolcanes. El origen de estos centros se vincula a las fracturas presentes en la base del Monte Epomeo, formadas por el movimiento del bloque de Tufo Verde hacia arriba.

Como resultado de esta historia evolutiva, la orografía actual de la isla de Ischia es relativamente compleja, caracterizada por una serie de unidades de relieve bien diferenciadas.

Como muestra la FIGURA 1, en la mitad oriental aparece una depresión de dirección noreste-suroeste que divide la isla en dos sectores:

- a) El nor-occidental, más elevado y culminado por el Monte Epomeo (787 m); se trata de un horst volcano-tectónico, cuyo origen está relacionado con la formación del *Tufo Verde* (fase 3). Alrededor de éste, y asociados a las fracturas que lo delimitan, se sitúan numerosos centros eruptivos, conos piroclásticos, domos de lava, conos de ceniza y coladas lávicas. En su sector meridional esta unidad se encuentra disectada por barrancos profundos.
- b) Al sureste de la depresión aparece otra alineación orográfica destacada; se trata de una serie de edificios volcánicos alineados a lo largo de una fractura regional, que sirven de límite de la isla en este sector. Es una unidad menos extensa que la anterior y su elevación más significativa es el Monte Vezzi (393 m).

METODOLOGÍA

Los volcanes son sistemas extremadamente complejos cuya actividad está condicionada por un elevado número de variables que interactúan según modalidades e intensidades difícilmente evaluables.

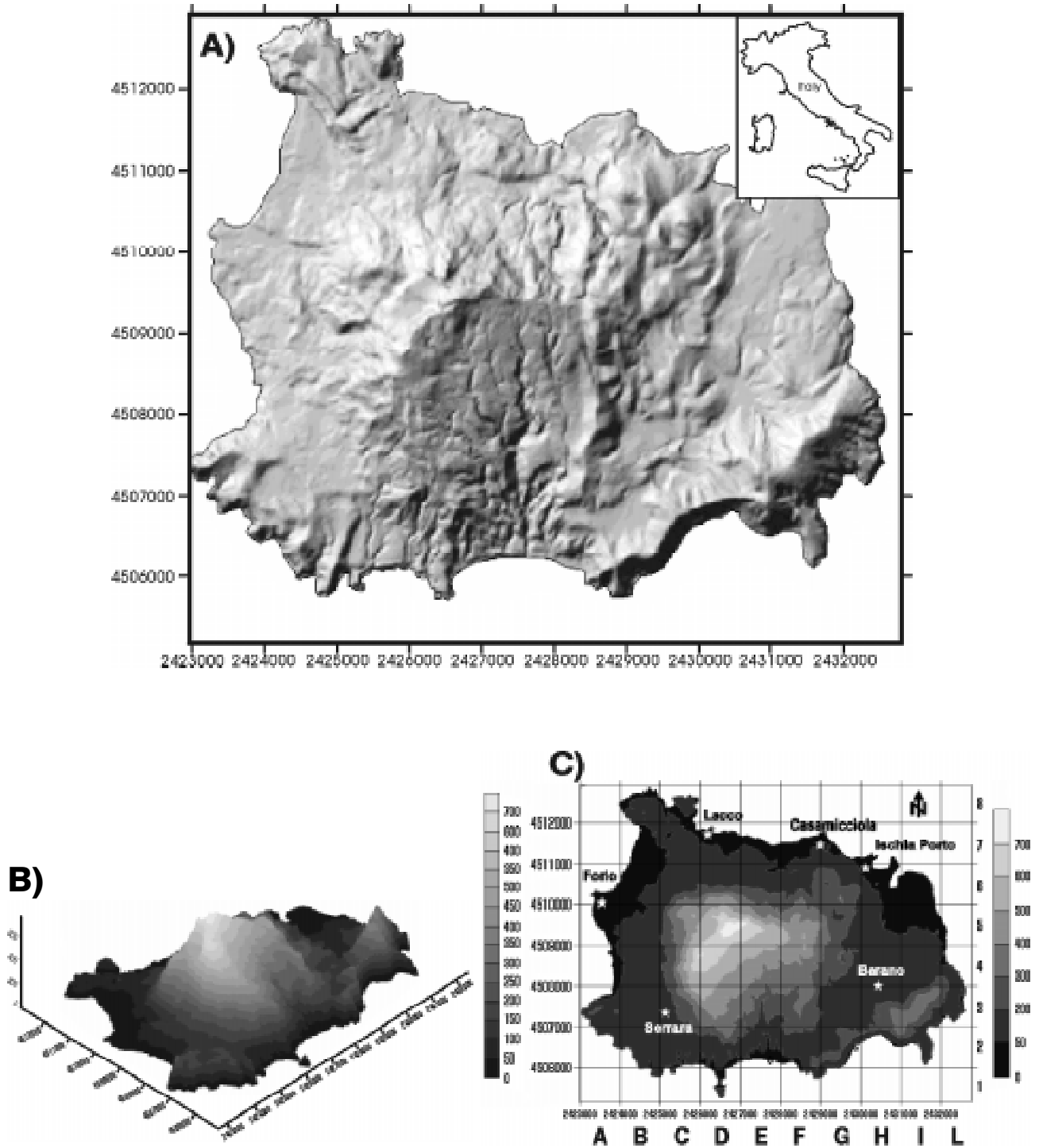


FIGURA 1. Modelo Digital de Elevaciones de la isla de Ischia, obtenido a partir de un grid de 25 m. A, modelo de relieve sombreado; B, representación tridimensional; C, sistema de cuadrículas de referencia (UTM) considerado en los cálculos.

Por lo tanto, para el cálculo de la probabilidad de erupción es necesario recurrir a la estadística, que considera una erupción como un evento casual en el tiempo y una secuencia de erupciones como un proceso estocástico (Wickmann, 1966). El acercamiento estadístico presupone el conocimiento de la historia eruptiva de un volcán en un intervalo de tiempo bastante largo. Por esto, se ha llevado a cabo, en primer lugar, la reconstrucción de la actividad volcánico-tectónica de la isla y, posteriormente, el cálculo de la probabilidad.

Reconstrucción del registro volcánico

El procedimiento generalmente empleado para reconstruir el registro volcánico prevé, por un lado, la consulta de los documentos de carácter histórico relativos a las erupciones que se han producido a lo largo de la historia, y por otro, el estudio de los depósitos volcánicos, a partir de los cuales, como es bien sabido, se puede datar la erupción y establecer la naturaleza del magma y, consecuentemente, evaluar la violencia y la energía que se liberaron en el transcurso de la erupción.

Teniendo en cuenta la finalidad del presente trabajo, se ha considerado oportuno reconstruir el registro volcánico de la isla de Ischia correspondiente a los últimos 55.000 años (TABLA 1), para esto se ha tomado como base la amplia bibliografía referente a este tema. La fecha a la que se acaba de hacer referencia puede considerarse extremadamente significativa para la historia volcánico-tectónica de la isla puesto que coincide no sólo con el inicio de la tercera fase de actividad, sino también con la emisión del *Tufo Verde* (Toba Verde), es decir, de la unidad estratigráfica más importante presente en la isla. Como se puede observar en la TABLA 1, además de asignarle la edad a cada erupción, se le ha asociado un índice que expresa su intensidad: se trata del Índice de Explosividad Volcánica (*Volcanic Explosivity Index, VEI*).

El VEI (TABLA 2), propuesto por Newhall y Self (1982), representa un esquema de clasificación semicuantitativo que permite atribuir a un evento volcánico un índice comprendido entre 0 y 8; todo

ello tomando como base evaluaciones tanto de tipo cualitativo (descripción del estilo de la erupción) como cuantitativo (determinación del volumen del material emitido o altura de la columna pliniana). En este tipo de clasificación, uno de los criterios esenciales al cual se hace referencia es aquél que permite diferenciar las erupciones, en base a la violencia del evento volcánico, en 'efusivas' y 'eruptivas'.

Para asociar a cada erupción un valor del índice del VEI, además de las características de su depósito, se han tenido en cuenta informaciones de carácter adicional como, por ejemplo, datos de sondeos marinos realizados en el Mar Tirreno (Paterne et al., 1986); además el empleo del software Idrisi, en su versión 3.2, ha permitido calcular el valor del área correspondiente a cada unidad incluida en la tabla 1, una información muy importante para la asignación de los valores de VEI a las erupciones.

Probabilidad absoluta de erupción.

Conceptos generales

Una vez reconstruido el registro volcánico y asignado a cada erupción un índice de VEI, se puede proceder al cálculo de la probabilidad absoluta de una erupción en la isla de Ischia.

Desde un punto de vista estadístico, una erupción constituye un evento casual en el tiempo y una secuencia de erupciones una población de datos. El parámetro que se debe emplear para la evaluación de la probabilidad de erupción de un volcán está representado por el tiempo que ha transcurrido entre una erupción y la siguiente. Para ello debe distinguirse entre lo que se denominan volcanes 'con memoria' y volcanes 'sin memoria' (Scandone y Giacomelli, 1998).

- *Volcanes 'sin memoria'*. En algunos volcanes, el número de erupciones en un determinado intervalo de tiempo se 'aproxima' a la ley de distribución de Poisson: la probabilidad de que se produzca un cierto número de erupciones en un determinado intervalo de tiempo es la misma en cada momento. Esta clase de volcanes, entre los cuales se encuentran, por ejemplo, el Etna o el Kilauea, se definen como

Cálculo de la probabilidad absoluta de una nueva erupción en la isla de Ischia (Italia)

TABLA 1. Fechas de distintas erupciones de la isla de Ischia y valor de VEI asociado. La edad está expresada en millares de años. C.E., centro de emisión; Fm, formación.

Nº	Edad	Denominación	Área	VEI	Nº	Edad	Denominación	Área	VEI
1	55,0	Tufo Verde	6.54	6	22	6,0	C.E. de Zaro	1.60	3
2	46,0	Pietre Rosse	0.77	5	23	5,5	Piano Liguori	3.92	5
3	43,0	Agnone	0.05	3	24	5,0	Cantariello	1.32	4
4	38,4	Fm. de S.Costanzo	0.04	3	25	4,5	Punta Cannuccia	0.01	1
5	34,0	S. Montano	0.05	3	26	4,0	C.E. de Costa Sparaina	0.26	3
6	33,0	Tufi del Giglio	0.77	5	27	3,5	C.E. de Monte Tabor	0.01	1
7	29,0	Grotta del Mavone	0.01	2	28	3,1	No se conoce el C.E.	0.51	2
8	28,0	Fm. Monte Cotto	0.07	3	29	2,8	Castiglione	0.02	2
9	27,0	Fm. Monte Vezzi	0.02	3	30	2,7	Costa de Lenzuolo	0.38	3
10	25,0	C.E. Pilaro	0.01	2	31	2,5	Bosco dei Conti	0.03	3
11	24,0	Scarrupi di Panza	0.24	4	32	2,4	Regione Bocca	0.42	2
12	24,0	Cava Pelara Inf.	0.05	3	33	2,3	Port d'Ischia	0.07	2
13	24,0	Schiappa	0.05	2	34	2,1	Rotaro I	0.61	3
14	23,0	Ciglio	0.04	2	35	1,9	C.E. del Montagnone	0.69	2
15	22,6	C.E. S.Anna	0.10	2	36	1,8	Rotaro II	0.15	2
16	20,0	Cava Pelara Sup	0.49	4	37	1,8	C.E. Monte Trippodi	0.90	3
17	19,5	C.E. de Grotta di Terra	0.16	2	38	1,7	Molara, Cava Nocelle e Vatoliero	0.42	3
18	19,0	Fm. de Punta Imperatore	0.19	3	39	1,7	Rotaro III	0.12	2
19	17,0	Campotese	0.70	4	40	1,61	Rotaro IV	0.03	1
20	15,0	C.E. de Cafiero	0.03	1	41	0,7	Arso	1.51	3
21	10,0	Selva del Napolitano	0.83	4	42				

TABLA 2. Criterios para la evaluación del índice de explosividad (VEI) de un volcán

Criterio *	VEI=0	VEI=1	VEI=2	VEI=3	VEI=4	VEI=5	VEI=6	VEI=7	VEI=8
Descripción	no explosiva	leve	moderada	moderada	grande	muy grande	muy grande	muy grande	muy grande
Volumen emitido (m³)	< 10 ⁴	10 ⁴ - 10 ⁶	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹	10 ¹⁰ - 10 ¹¹	10 ¹¹ - 10 ¹²	10 ¹¹ - 10 ¹²	>10 ¹²
Clasificación Tsuya**	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	-
Altura columna (km)	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	3 - 5	10 - 25	>25	>25	>25	>25
Descripción cualitativa	efusiva, dulce		Explosiva		cataclísmica, paroxismal, colosal				
Duración de la explosión (horas)	<1		<1	1 - 6	1 - 12	1 - >12	6 - >12	>12	>12
Fenómenos observados	coladas de lava o de barro		coladas de barro, erupciones freáticas, explosiones o nubes ardientes						
Inyección estratosférica	nada		menor	moderada	sustancial				
Inyección troposférica	nada		nada	Nada	posible	segura	significativa		
* Los criterios están clasificados en orden descendente de fiabilidad									
** Si todos los productos de la erupción fueran material piroclástico									

volcanes 'sin memoria', precisamente porque en cada intervalo de tiempo considerado existe siempre la misma probabilidad de erupción. Según una distribución de Poisson, la probabilidad de observar n erupciones en cualquier intervalo de tiempo t está definida por:

$$P(n,t) = \frac{(t/a)^n}{n!} e^{-t/a} \quad (1)$$

donde a es el 'tiempo de reposo' medio, $t > 0$ y n el número de erupciones o eventos, y varía entre $0, 1, 2, \dots, n$. Según Wickmann (1966) la probabilidad de observar 0 eventos en un tiempo t está definida por:

$$P(0,t) = e^{-t/a} \quad (2)$$

y se denomina *Survivor Function* $F(t)$. La *Survivor Function* multiplicada por el número de 'reposos' (N_0) da el número de reposos $N(t)$ que han llegado a su fin en un tiempo t :

$$N(t) = N_0 F(t) \quad (3)$$

donde $N(t)$ se define como *Survivor Number*. La derivada respecto a t del logaritmo natural del *Survivor Number* ha sido definida por Wickmann (1966) como *Age-Specific Eruption Rate* (F):

$$\phi = -\frac{d}{dt} [\ln N(t)] = -\frac{d}{dt} [\ln F(t)] = \frac{1}{a} \quad (4)$$

Si en la (2) se sustituye el *Age-Specific Eruption Rate* (F) por $-1/a$, se consigue que la probabilidad de observar n eventos en el intervalo t esté definida por:

$$P(n,t) = \frac{(\phi t)^n}{n!} e^{-(\phi t)} \quad (5)$$

Para el cálculo del *Age-Specific Eruption Rate* se recurre a una regresión semilogarítmica entre $N(t)$ y t . De esta forma se consigue un gráfico en el cual cada punto tiene por ordenada el número total de reposos cuya longitud sea mayor que el valor que le corresponde en abscisas. La pendiente de la recta de regresión corresponde al *Age-Specific Eruption Rate*.

- *Volcanes 'con memoria'*. Ischia, al igual que otros complejos volcánicos, tiene un comportamiento según el cual la distribución de los tiempos de erupción es más compleja que la de los volcanes 'sin memoria' y la probabilidad eruptiva no es constante en el tiempo. A estos volcanes, que por convención se denominan 'con memoria', no es posible aplicarles la ley de Poisson de la misma forma que a los volcanes 'sin memoria', porque cuanto más grande es el volumen de material emitido mayor será el tiempo que transcurrirá entre una erupción y la siguiente. Como primera aproximación pueden servir los datos aportados por investigaciones de la *Smithsonian Institution* de Washington (*Smithsonian Institution/SEAN*, 1989), según los cuales las erupciones explosivas que emiten un volumen de material de entre $0,1$ y 1 km^3 tienen tiempos medios de recurrencia que oscilan entre 10 y 100 años, mientras que aquéllas con volumen entre 1 y 10 km^3 varían entre los 100 y los 1000 años; esta proporción se mantiene constante en relación al cambio de volumen.

Por esta razón, si para un mismo volcán se consideran todas las erupciones con clases volumétricas diferentes, se llega a una distribución de los tiempos medios de reposo que no se basa en una estadística de Poisson. Por el contrario, si se subdivide la actividad del volcán en diferentes clases, entonces se puede determinar que para cada clase de erupción los tiempos están distribuidos según una estadística de Poisson. En particular, según Scandone y Giacomelli (1998), para los volcanes explosivos existe una fórmula típica, de tipo exponencial, que correlaciona la frecuencia de las erupciones con cada clase de VEI:

$$F = a * 10^{-(b*VEI)} \quad (6)$$

donde a constituye un índice de la frecuencia eruptiva del volcán, b representa un índice que define el estilo de la actividad del volcán y el VEI constituye un parámetro empleado para definir la intensidad de la posible erupción. Según Scandone y Giacomelli (1998) esta relación puede expresarse de la misma forma que la relación de Gutenberg-Richter, como:

$$\log F = \log(a) - b * VEI \quad (7)$$

En ésta, el coeficiente b representa la pendiente de la recta de regresión establecida a partir de un determinado valor del $VEI = 2$. La elección de no considerar las erupciones que se manifiesten con $VEI < 2$ se debe a que el número de erupciones de poca magnitud probablemente se subestima.

Cálculo de la probabilidad absoluta de erupción en la isla de Ischia

En el caso de Ischia se aplican las formulaciones matemático-estadística propuestas en el apartado anterior. Por lo tanto, para determinar la probabilidad absoluta con la cual se puede verificar una erupción perteneciente a una determinada clase de VEI en Ischia, se han analizado los eventos volcánicos ocurridos en los últimos 55.000 años (TABLA 1). En dicha tabla, a cada evento reconocido se le ha asociado un posible valor VEI , establecido mediante la consideración del volumen y del estilo de erupción correspondiente. El análisis de la tabla permite establecer que el número de eventos de baja intensidad ($VEI < 2$) se reduce progresivamente con el tiempo, confirmando la hipótesis de que el número de erupciones de baja intensidad se subestima.

Por esta razón, en el cálculo de la frecuencia correspondiente a cada categoría del VEI , se ha considerado un intervalo de tiempo, no para todas las erupciones igual a 55.000 años, sino relacionado con cada clase de VEI . Así, para las erupciones con $VEI = 2$, se ha elegido un intervalo de 5.000 años, teniendo en cuenta que en este rango el número de erupciones se reduce drásticamente. Se han llevado a cabo evaluaciones parecidas para las otras clases de VEI ; todos estos valores aparecen detallados en la TABLA 3.

TABLA 3. Frecuencias de erupción para cada clase de VEI (según Mattered, 1995).

VEI	Intervalo de tiempo (expresado en años)	Nº erupciones	Frecuencia (Φ)
1	4.500	3	0,00066666
2	5.000	6	0,00120000
3	20.000	10	0,00050000
4	30.000	5	0,00016666
5	55.000	3	0,00005454
6	55.000	1	0,00001818

Implementando los valores de la TABLA 3 en (7), a través del método de los mínimos cuadrados, se ha podido calcular la recta de regresión correspondiente a las frecuencias en función del VEI , obteniendo que:

$$n = -1.96016983$$

$$m = -0.46014296$$

por medio de los cuales:

$$y = -1.96016983 - 0.46014296 x \tag{8}$$

De esta manera se pueden calcular los parámetros a y b :

$$a = 10n = 10^{-1.96016983}$$

$$b = -m = 0.46014296$$

que sustituidos en la relación (7):

$$F = 10^{-1.96016983} x 10^{-0.46014296*VEI} \tag{9}$$

permiten relacionar la frecuencia con cada clase de VEI :

$$F = 1.096x10^{-2} x 10^{-0.46014296*VEI} \tag{10}$$

Los resultados aparecen representados en la FIGURA 2.

La ecuación (10) permite calcular, con la mayor aproximación posible, los valores del *Age-Specific Eruption Rate* para las clases de VEI consideradas (TABLA 4). Los valores de la TABLA 4 permiten calcular la probabilidad absoluta por medio de la estadística de Poisson:

$$P(n,t) = \frac{(\phi t)^n}{n!} e^{-\phi t} \tag{11}$$

que indica la probabilidad de observar n erupciones en un tiempo t .

La probabilidad de observar al menos una erupción, en un intervalo de tiempo determinado, para cada clase de VEI , está definida por:

$$P(1,t)_{VEI} = 1 - P(0,t)_{VEI} \tag{12}$$

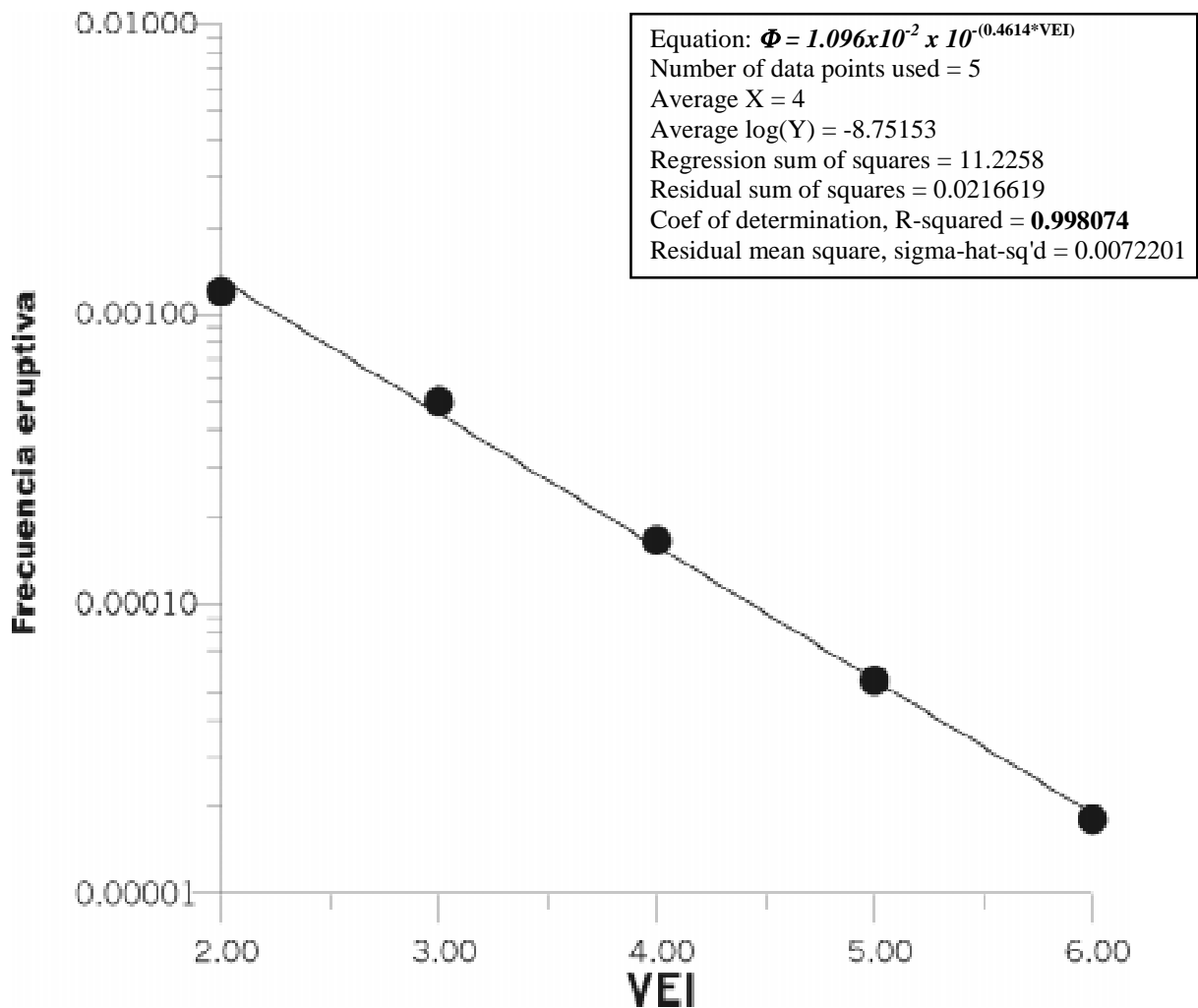


FIGURA 2. Curva de regresión lineal de la probabilidad absoluta de ocurrencia de una erupción para cada clase de VEI.

donde:

$$P(0,t)_{VEI} = \exp(-F * t) \tag{13}$$

El valor de t considerado para la evaluación del riesgo de Ischia es de 10 años. Se ha utilizado este valor tanto porque las variaciones de la población en la isla se registran en base a decenios como por tratarse de un intervalo de tiempo durante el cual las evaluaciones de riesgo no sufren variaciones consistentes tras los cambios urbanísticos.

Cabe destacar que los valores de la probabilidad han sido calculados también para $t = 100$ años, de manera que se puedan comparar los datos y destacar el papel

que juega el tiempo, es decir, que se pueda observar cómo al aumentar el intervalo de tiempo considerado se incrementa el valor de la probabilidad absoluta de erupción en la isla de Ischia.

TABLA 4. Valores del Age Specific Eruption Rate y de la Probabilidad Absoluta de erupción (10 y 100 años) que corresponden a cada clase de VEI (según Mattera, 1995).

VEI	Age Specific Eruption Rate	P(1.10) _{VEI}	P(1.100) _{VEI}
1	0,00379915	0,03657522	0,25983129
2	0,00131687	0,01299642	0,11543884
3	0,00045646	0,00454381	0,04360928
4	0,00015822	0,00157970	0,00155736
5	0,00005440	0,00054810	0,00545400
6	0,00001901	0,00019006	0,00189739

INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

En la TABLA 4 se han incluido los valores de probabilidad que corresponden a cada clase de VEI considerada en el análisis. Obsérvese cómo las erupciones a las que se les ha asociado la clase de VEI igual a 6, las más peligrosas de las consideradas, en un intervalo de 100 años les corresponde una probabilidad de casi el 0.2%; se trata de un valor de probabilidad no elevado, que permite descartar el desarrollo inminente de un acontecimiento de esta magnitud.

Coherentemente con la formulación del Poisson, el valor de la probabilidad aumenta de manera relevante al disminuir el índice de VEI, de esta forma a erupciones con VEI = 1, en un intervalo de 100 años, se les asocia una probabilidad superior al 30%.

Por lo tanto, haciendo referencia a dichos datos, se puede afirmar que la probabilidad de erupción calculada se manifiesta relevante sólo en el caso de actividades clasificadas como de baja intensidad (VEI = 1 y 2).

Al traducir datos salamente numéricos, como dichos valores de probabilidad, en juicios de valores, es decir, calificar el grado de probabilidad como bajo o alto, se realiza una valoración que hace especial hincapié en las características peculiares del contexto que se está analizando. En la vida cotidiana se asumen peligros (accidentes de tráfico, atracos, robos, etc.), a pesar de que sus probabilidades de ocurrencia sean mucho más altas respecto a las que se acaban de calcular en el presente artículo, porque las consecuencias de su impacto en el imaginario colectivo son consideradas mucho menos peligrosas; sin embargo, al evaluar eventos como las calamidades naturales, no se deben subestimar ni siquiera valores de probabilidad muy bajos, considerando las importantes repercusiones que podría tener la reanudación de la actividad volcánico-tectónica en el tejido socio-económico expuesto.

Una medida útil al respecto podría consistir en desarrollar estudios basados en la evaluación del riesgo volcánico. Los mapas de riesgo constituyen una de las herramientas más importantes que los

planificadores y gobernantes, los cuales deben administrar los territorios expuestos al peligro de calamidades naturales, pueden utilizar. Por este motivo, los resultados alcanzados en el presente estudio servirán de base para el cálculo del riesgo volcánico en la isla de Ischia.

REFERENCIAS

Alexander, D.E. (1990). *Calamita naturali*. Pitagora Editore, Bologna, p. 284.

Chiesa, S., Poli, S., Vezzoli L. (1986): *Studio dell'ultima eruzione storica dell'isola d'Ischia: la colata dell'Arso 1302*. Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano, Centro Alpi Centrali, CNR, Milano.

D'Andrea, M. (1993). *Valutazione del Rischio Vulcanico nei Campi Flegrei*. Tesi, Università di Napoli.

Maino, A. y Tribalto, G. (1971). *Rilevamento gravimétrico di dettaglio dell'isola d'Ischia (Napoli)*. Boll. Serv. Geol. d'Ital., Vol. 92, pp. 109-123.

Mattera, M. (1995). *Valutazione del Rischio Vulcanico Nell'isola D'Ischia*, Tesi di Laurea, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università Federico II, Napoli, p. 128.

Newhall, C.G., y Self, S. (1982). *The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism*. J. Volcanol. and Geotherm., Vol 87, pp. 1231-1238.

Paterne, M., Guichard, F., Labeyrie, J., Gillot, P.Y. Duplessy, J.C. (1986). *Tyrrhenian Sea tephrochronology of the oxygen isotope record for the past 60.000 years*. Marine Geology, Vol. 72, pp. 259-285.

Scandone, R., Giacomelli, L. (1998). *Vulcanologia, principi fisici e metodi d'indagine*. Liguori Editore. Napoli, p. 642.

Sheridan, M.F. (1979). *Emplacement of pyroclastic flows: a review*. In: *Ash-flow tuffs* (C.E. Chapin and W.E. Elston, Eds.), Geol. Soc. of Am., Special Paper, Vol. 180, pp. 125-136.

Siebert, L, Glicken, H., Ui, T. (1987). Volcanic hazards from Bezymianny and Banday-tipe eruptions. Bull. Vulcanol, Vol. 49, pp. 435-459.

Smithsonian Institution/SEAN (1989). Global Vulcanism. Smithsonian Institution, Prentice Hall, New Jersey.

Vezzoli, L. (Ed.) (1988). Island of Ischia. CNR Quaderni de La Ricerca Scientifica, n° 114, Vol. 10, p. 133.

Walker, G.P. (1973). Explosive volcanic eruptions, a new classification scheme. Geol. Rund. Vol. 62, pp. 431-446.

Wickmann, F.E. (1966). Repose period patterns of volcanoes. V: General Discussion and a Tentative Stochastic Model, Arkiv fur Mineralogi och Geologi. 4 H 4, pp. 291-366.

Trabajo recibido: noviembre 26 de 2001

Trabajo aceptado: mayo 8 de 2002

Cálculo de la probabilidad absoluta de una nueva erupción en la isla de Ischia (Italia)