

Coello Bravo, J.J. (2006). 5. Cuando las Islas se derrumban. Telesforo Bravo y la teoría de los deslizamientos gravitacionales. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Actas de la Semana homenaje a Telesforo Bravo*. pp. 131-147. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. ISBN: 84-611-0482-X.

5. Cuando las Islas se derrumban. Telesforo Bravo y la teoría de los deslizamientos gravitacionales

Juan Jesús Coello Bravo

Licenciado en Ciencias Geológicas.

El origen y la morfología de las grandes depresiones de Tenerife (Las Cañadas, y los valles de La Orotava y Güímar) han interesado a los científicos desde los inicios de los estudios geológicos de las Islas Canarias. Los procesos que originaron estos accidentes geográficos son materia que ha estado sometida a un largo debate, aclarado en los últimos años. En la resolución de este controvertido tema hay que destacar el protagonismo del geólogo tinerfeño Telesforo Bravo, que aportó al debate, en las décadas de los cincuenta y sesenta del pasado siglo, observaciones fundamentales, resultado de sus investigaciones en las galerías de agua del norte de la isla de Tenerife.

Introducción

En Tenerife existen tres grandes depresiones, la Caldera de Las Cañadas y los valles de La Orotava y Güímar, cuya génesis y morfología han atraído la atención de los científicos desde los comienzos de la investigación geológica de la isla en el siglo XIX. Los procesos que dieron lugar a estos accidentes geográficos constituyen una materia que ha estado sujeta a un intenso y prolongado debate, sólo resuelto en los últimos veinte años.

La historia de la controversia no ha sido ajena a varios sucesos importantes en el progreso de la volcanología, sucesos que han promovido nuevas maneras de interpretar los fenómenos y morfologías volcánicas en todo el mundo. Entre sus protagonistas destaca el geólogo tinerfeño Telesforo Bravo (1913-2002). En los años cincuenta y sesenta del siglo XX, Bravo aportó al debate observaciones fundamentales, obtenidas a través de la investigación de las galerías de agua del norte de la isla. Sus datos le permitieron elaborar una teoría sobre el origen de las grandes depresiones de

Tenerife que, si no completamente inédita, nunca antes había sido formulada a esa escala.

La confirmación, a partir de trabajos cada vez más numerosos, de las ideas de T. Bravo, tuvo que esperar hasta la última década del pasado siglo. Los nuevos datos supusieron el fin de la discusión, y de paso demostraron el valor que tiene el estudio de las galerías, del que Bravo fue pionero, en la reconstrucción de la historia geológica de Tenerife.

Los valles de la dorsal

Entre el Macizo de Anaga, en el extremo noreste de Tenerife, y la zona central de la isla, formada por una gran cúpula volcánica denominada Escudo Cañadas, se extiende un edificio volcánico lineal, denominado la Dorsal Noreste o simplemente la Cordillera Dorsal. El edificio es alargado en dirección noreste-suroeste, y tiene forma de tejado a dos aguas. Alcanza su máxima altura en el vértice Izaña (2.395 metros sobre el nivel del mar).

Este edificio volcánico se formó por el apilamiento de lavas y piroclastos, cuya composición es principalmente basáltica, procedentes de multitud de erupciones fisurales, cuyos centros de emisión (conos volcánicos) se concentran a lo largo de su franja central o línea de cumbres, denominada eje estructural. El eje estructural está definido además por la presencia de una densa malla de diques. Los diques no son otra cosa que cuerpos tabulares de lava, solidificada dentro de las fracturas que sirvieron como fuente de alimentación de las erupciones de la dorsal.

Las coladas de lava procedentes de los conos, al fluir lateralmente hacia el mar, formaron dos flancos cuya elevada pendiente media (16°) refleja el crecimiento rápido del edificio. Al parecer, su porción emergida se construyó en un lapso de tiempo geológicamente muy corto, comprendido aproximadamente entre 0,9 millones de años y la actualidad, con un periodo inicial de mayor intensidad volcánica, de alrededor de 100.000 años. Al culminar dicha fase inicial, el edificio habría alcanzado ya su máximo volumen y altura.

En ambas vertientes de la dorsal aparecen dos grandes depresiones: el Valle de La Orotava o de Taoro en el flanco norte, y el Valle de Güímar en el sur. Constituyen anchas fosas abiertas al mar, de fondo más o menos plano e inclinado hacia la costa. Están limitadas lateralmente por paredes perpendiculares al litoral, muy escarpadas, de gran desnivel y acusadamente rectilíneas. Su cabecera muestra también elevado relieve, y es de tendencia rectilínea o algo curvada, aunque de forma más irregular.

Las dimensiones de ambas fosas son realmente grandes. El Valle de La Orotava, por ejemplo, tiene unos 9 km de anchura media, y sus paredes laterales, denominadas Pared de La Resbala-Aguamansa (al este) y Pared de Tigaiga (al oeste), miden unos 12 kilómetros de longitud, y alcanzan alturas

de hasta 500 metros. El fondo del valle desciende desde los ya apuntados 2.400 metros de Izaña hasta la costa, con una pendiente media del 10°.

Aunque a la mayoría de los tinerfeños –y a muchos de nuestros visitantes– no les llame la atención, lo cierto es que esas estructuras presentan una morfología muy peculiar. En efecto, aunque reciben el nombre de “valles”, su forma es bastante diferente a la que muestran los valles aluviales y los excavados por el hielo (valles glaciares). Por eso, desde el mismo comienzo de las investigaciones geológicas en Tenerife, se han sucedido multitud de ideas acerca de su formación.

Las hipótesis sobre el origen de los valles de la dorsal

Un inicio apropiado para la historia de las ideas científicas sobre el Valle de La Orotava podría ser la excursión de Alexander von Humboldt a La Orotava y El Teide, realizada durante su estancia en Tenerife en junio de 1799, en la primera de las etapas de su viaje de seis años a las regiones equinociales de América. En realidad, Humboldt no propuso ninguna hipótesis explicativa del origen del Valle de La Orotava; sin embargo, sus trabajos supusieron una gran promoción de Canarias y su paisaje entre los naturalistas europeos.

Uno de tales naturalistas fue Leopold von Buch, ingeniero de minas alemán, que renunció en 1797 a su trabajo en el Servicio Minero de Silesia, para dedicarse por entero a sus viajes y estudios de campo. Gracias a ellos fue considerado el geólogo más importante de su generación.

Von Buch visitó La Palma y Tenerife en 1815, y seis años después publicó sus observaciones e ideas sobre la geología de Canarias en el libro “*Descripción física de las Islas Canarias*” (1825), en el que se propone por primera vez una hipótesis para la formación del Valle de La Orotava.

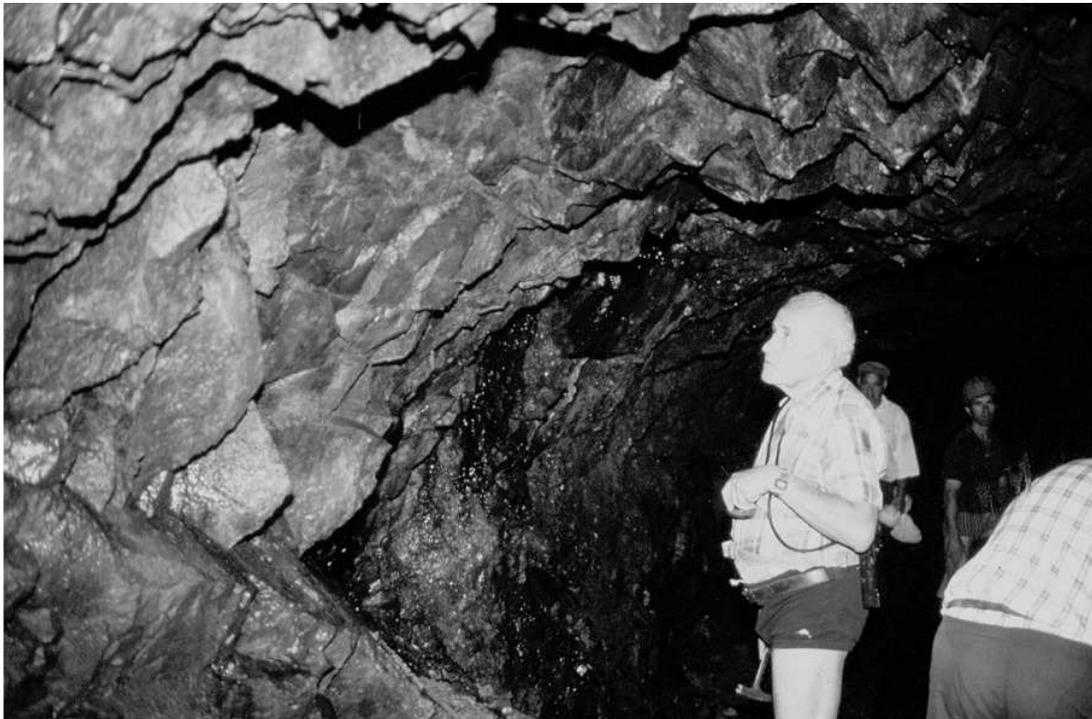
En su obra, que tuvo una gran difusión, describe someramente el Valle de La Orotava como un simple “declive entre dos montañas”, la de Tigaiga y la de Santa Úrsula, y afirma que la única actividad eruptiva registrada en el valle es la que corresponde a los volcanes recientes de la Montaña de Las Arenas, La Montañeta y Las Gañanías. Sin embargo, en un párrafo sorprendente y poco conocido, enunciado como de pasada, Von Buch se permite sugerir una explicación alternativa, que él mismo parece rechazar. Así, escribe: “*Cuando se contempla este valle encerrado entre esas dos murallas desde un punto alto, involuntariamente uno piensa que es el resultado del corrimiento de una parte de la isla, por cuyo motivo habrían quedado al descubierto las dos montañas que formaban las laderas de la parte arrastrada. La proximidad de un volcán tan activo y violento como el de Tenerife hace que esta suposición no sea inverosímil*”.

Mucho más explícitos fueron dos geólogos alemanes, Karl Von Fristch y Wolfgang Reiss, que en 1868 publicaron una excelente monografía sobre la geología de Tenerife, sorprendente aún hoy por su amplitud, su

claridad y la exactitud de las observaciones que contiene. Estos autores retomaron la idea original de Von Buch, y denominaron a los valles de la Cordillera Dorsal “espacios entre colinas”. Explican que son simples áreas deprimidas, situadas entre dos macizos (en el caso de La Orotava, los de Tugaiga y Santa Úrsula) donde se concentró la actividad volcánica, mientras que en los valles la actividad no fue tan intensa. Así, esos edificios laterales fueron creciendo en altura, dejando entre ellos una zona más baja.

Von Frisch y Reiss sugieren que el Valle de La Orotava fue originalmente una bahía (algunos autores posteriores, como Simón Benítez Padilla, apuntaron que las escarpadas paredes laterales del valle fueron acantilados marinos y se formaron, por tanto, por la erosión del oleaje), rellenada posteriormente en parte por los productos volcánicos emitidos por los edificios volcánicos laterales. En tiempos recientes se produjeron algunas erupciones en la cabecera y el interior del valle, pero el material emitido en ellas no fue suficiente para colmar completamente la depresión. La forma rectilínea de las paredes laterales habría sido causada por la erosión de los barrancos que se encajaron finalmente en su fondo.

La teoría de los “espacios entre colinas”, traducida más tarde por diversos autores como valles intercolinares, y apenas algo refinada en sus detalles, tuvo una larga vida y un amplio predicamento entre la comunidad científica hasta el comienzo de la década de los 90 del siglo XX.



Telesforo Bravo en la galería “La Puente” de La Orotava.

Desde muy pronto, sin embargo, la morfología de las dos depresiones, la disposición de las capas de lava y piroclastos en sus paredes laterales, y la propia estructura del edificio volcánico donde se desarrollan, hizo dudar a algunos investigadores de esa explicación, aparentemente tan sencilla y satisfactoria. Es imposible, argumentaban, que las lavas de los flancos laterales de dos edificios volcánicos contiguos que crecen a la vez se dispongan, como se observa en las paredes de los valles, en paralelo, en vez de converger hacia la zona deprimida entre ellos. Es imposible, añadían, que la erosión de las aguas de escorrentía pueda modelar entre dos edificios volcánicos tales formas. Además, la línea de cumbres de la Dorsal tiene una altura similar tanto en la cabecera de las depresiones, como en sus márgenes. Este hecho supone que el volumen de actividad volcánica ha sido el mismo a lo largo de todo el eje estructural, así que ¿por qué sus flancos habrían de crecer menos en la zona de los valles?

Para responder a estas preguntas, nacieron teorías de tipo tectónico, que consideraban a los valles de la Dorsal como grandes bloques que se habrían desplazado en la vertical, es decir, se habrían hundido, a favor de las fallas que formarían sus paredes laterales y de cabecera. Algunos investigadores, como W.I. Ridley (1971), explicaron que el hundimiento se produjo por una migración lateral del magma acumulado bajo el eje estructural o línea de cumbres de la Cordillera Dorsal. Otros, como el geólogo alemán A. Rothpletz, el primero que dedicó un trabajo en exclusiva al Valle de La Orotava (1889), combinó violentos hundimientos del terreno con grandes explosiones volcánicas.

El origen de la caldera de Las Cañadas

La cumbre central de la isla de Tenerife está configurada por dos elementos geográficos con rasgos morfológicos muy definidos. El primero es una gran depresión, o caldera, con forma de anfiteatro y delimitada por una pared acusadamente vertical (la pared del Circo o Caldera de Las Cañadas), que se prolonga en una semicircunferencia de unos 25 kilómetros de longitud, y alcanza en algunos puntos alturas de hasta 600 metros. Esta caldera ocupa la zona apical de una gran estructura volcánica, denominada Edificio Cañadas, que forma el sector central de Tenerife. Este edificio, de enorme complejidad estructural, creció por el apilamiento sucesivo de gran cantidad de coladas de lava y capas de piroclastos, originados en múltiples erupciones que se han sucedido desde hace al menos 3,5 millones de años. Los materiales emitidos en estas erupciones son de composición muy variada (basaltos, basanitas, traquibasaltos, tefritas, fonolitas y traquitas). La mayor parte de ellos procede de centros de emisión situados en la zona central del edificio, aunque también se han producido numerosas erupciones en todos sus flancos. La formación de la depresión, que se data en unos 180.000-145.000 años, hizo desaparecer la porción más elevada del Edificio Cañadas, cuya estructura interna quedó expuesta en la pared del Circo.

El segundo elemento geográfico de la cumbre central tinerfeña, el más prominente, es el denominado Complejo Teide-Pico Viejo, un estratovolcán con flancos de elevada pendiente, cuya cima es el punto más alto de la isla (3.718 metros sobre el nivel del mar). Este volcán creció en el interior de la depresión de Las Cañadas, y sus productos la rellenan parcialmente.

Pues bien, de manera análoga a la formación de los valles de la Dorsal, la cuestión del origen de la Caldera de Las Cañadas ha sido objeto de una larga, enconada e intrincada controversia científica, casi tan antigua como los inicios de la geología como ciencia moderna; de hecho, sus protagonistas más tempranos son algunos de los considerados fundadores de la disciplina. Tal es así, que se ha convertido con el paso del tiempo en uno de los temas más recurrentes y debatidos de la geología de Canarias.

El debate lo inaugura también Von Buch, con su teoría de los “cráteres de levantamiento”. Von Buch, como Humboldt, era discípulo de A. G. Werner y de su escuela neptunista, de gran influencia en el siglo XVIII y comienzos del XIX, que proclamaba el origen del basalto a partir de un precipitado químico en un antiguo océano universal. Los neptunistas explicaban los volcanes, cuya actividad restringían a tiempos muy recientes, por la combustión de carbón y betún natural. Sin embargo, las observaciones y estudios de Von Buch en el Vesubio, y posteriormente en los volcanes de la Auvernia francesa, fueron convenciéndole gradualmente de la naturaleza volcánica del basalto, y de su relación con el calor interno de la Tierra.

A pesar de ello, nunca renunció completamente a la doctrina werneriana, como reflejan sus ideas sobre la formación de las Islas Canarias y de sus grandes depresiones centrales, que denominó en sus trabajos “calderas”, usando la terminología local. La publicación de estos trabajos popularizó el término, y hoy se usa universalmente para designar depresiones volcánicas más o menos circulares. Influido por todas las observaciones que realizó en viajes anteriores, incluyendo las que hizo sobre el levantamiento de la corteza en algunas zonas de Escandinavia, interpretó las islas y sus calderas como grandes “cráteres de elevación o levantamiento”. El autor lo expresó así: “...se debe considerar a las Canarias como un grupo de islas que fueron levantadas aisladamente del fondo del mar por una fuerza que (...) quebró las capas de basalto y conglomerado que se encontraban en el fondo del mar, (...) y las levantó por encima de la superficie de las aguas en forma de inmensos cráteres. Después del levantamiento de una masa tan enorme, al menos una parte vuelve a caer sobre ella misma y cierra muy pronto la abertura por la que se abre paso la actividad volcánica. De este levantamiento no resulta, pues, un volcán propiamente dicho. Pero en medio de estos cráteres de levantamiento se construye una cúpula inmensa de traquita que forma un pico volcánico... el Pico del Teide”.

Obsérvese que Von Buch atribuye un origen submarino u oceánico a los basaltos de Canarias, y limita el volcanismo a las traquitas de la zona central de Tenerife, que él creía procedían todas de El Teide. De hecho considera a este volcán, al que denomina “central”, el único existente en Canarias, responsable de todas las erupciones ocurridas en el archipiélago en tiempos recientes e históricos, a través de conductos laterales subterráneos que lo conectan con el resto de las islas; idea ésta que de alguna forma ha quedado fijada en el imaginario popular.

El primero que discutió las conclusiones de Von Buch fue el escocés Charles Lyell, considerado universalmente el fundador de la moderna geología. Lyell formuló sus teorías sobre las calderas canarias en su influyente obra “*Principles of Geology*” (1832), de difusión universal y numerosas reediciones. Él es el gran introductor y defensor del gradualismo, la doctrina que defiende que los grandes cambios producidos en la corteza terrestre, a lo largo de la historia de la Tierra, son resultado de la acción lenta y gradual de los procesos geológicos (que son siempre iguales en naturaleza e intensidad), operando durante periodos de tiempo inmensamente largos. En consecuencia, rechaza las ideas catastrofistas del alemán y alega por un proceso continuado de erosión por aguas de escorrentía (pluviales) como responsable de la formación de la Caldera de Las Cañadas.

Más tarde, Von Frisch y W. Reiss (1868) plantearon dos posibles mecanismos de formación de la caldera:

1. La acción erosiva de las aguas de escorrentía sobre la cúpula del Edificio Cañadas habría excavado uno o varios grandes valles “calderiformes” o de cabecera ensanchada, similares a la Caldera de Taburiente o algunos presentes en Madeira, que verterían al norte de la isla.
2. La erosión por escorrentía habría ampliado varios cráteres de explosión situados en la cima del edificio. Al respecto, apuntaron correctamente que las depresiones volcánicas de origen exclusivamente explosivo son casi siempre pequeñas, y no alcanzan nunca dimensiones como las de la caldera de Tenerife.

Tras la publicación en 1941 de la célebre obra de Howell Williams sobre la Caldera del Crater Lake en Oregón, y sus sucesivas reediciones, algunos autores como Macau (1959) y Blumenthal (1961), comenzaron a explicar la formación de la Caldera de Las Cañadas mediante un mecanismo de hundimiento o colapso. Este proceso consiste en el hundimiento vertical del techo de una cámara magmática, tras su vaciado en una erupción volcánica paroxísmica, es decir, de gran explosividad y magnitud. José María Fúster y colaboradores plantearon definitivamente los argumentos a favor de la teoría del colapso en su monografía sobre la geología de Tenerife

(1968), editada a raíz de la celebración en la isla de un Simposio Internacional de Volcanología de la IAVCEI (Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra). Esos argumentos pueden resumirse básicamente en los siguientes:

1. El gran volumen de los productos emitidos por el Edificio Cañadas supuso la creación de un vacío en la cámara magmática que estaba situada bajo la cúpula volcánica, lo que favoreció el colapso de su techo.
2. En la pared del circo afloran conjuntos de diques circulares concéntricos y dique cónicos, estructuras que se consideran favorables al mecanismo de colapso del techo de una cámara magmática.
3. La morfología de la parte visible de la pared coincide con la que originaría una inversión de relieve por colapso, y es muy similar a la de otras calderas del mismo tipo. La parte norte de la pared no es visible porque está cubierta por el estratovolcán Teide-Pico Viejo, que creció posteriormente sobre la misma, después de haberse formado la caldera.

Estos argumentos fueron desarrollados y ampliados por uno de los discípulos de Fúster, Vicente Araña, en su tesis doctoral de 1971. Como los autores anteriores, Araña admitió que los datos aportados a favor del mecanismo de colapso no eran concluyentes, a pesar de lo cual, y de forma análoga a la teoría de los “valles intercolinares” para las depresiones de Güímar y La Orotava, la teoría del colapso ganó una aceptación casi total para explicar el origen de Las Cañadas, y apenas fue discutida durante casi veinte años (era la única, por ejemplo, que aparecía en los libros de texto). Es posible que esta hegemonía se debiera, en parte, a los trabajos de R.L. Smith y otros sobre las grandes calderas de colapso en el oeste de los Estados Unidos de América, que popularizaron este tipo de estructuras entre la comunidad volcanológica.

La aportación de T. Bravo

El más serio disidente de las teorías imperantes fue Telesforo Bravo. En un artículo seminal, titulado “El Circo de Las Cañadas y sus dependencias” (1962) aportó datos inéditos sobre las formaciones volcánicas presentes en los subsuelos del norte de Tenerife, obtenidos a partir del estudio geológico sistemático de las galerías perforadas en ese sector de la isla. En este artículo, Bravo relaciona por primera vez la formación de la caldera central de Tenerife (Las Cañadas) con la de los valles de Güímar y La Orotava. Sus descubrimientos pueden resumirse así:

1. La inexistencia en el subsuelo, bajo los materiales del Complejo Teide-Pico Viejo, del hasta entonces supuesto tramo septentrional de la pared de la Caldera de Las Cañadas. La “caldera” de Las Cañadas es en realidad una semicaldera abierta hacia el norte.
2. La existencia de un antiguo valle (Valle de la Guancha-Icod), similar a los de La Orotava y Güímar, que conectaba la semicaldera de las Cañadas con la costa norte de la isla. Este valle quedó colmatado por un apilamiento de varios cientos de metros de coladas basálticas recientes, no observables en superficie, sobre la que se dispone una cobertera de materiales fonolíticos del Complejo Teide-Pico Viejo, de apenas cien metros de espesor.
3. La presencia en los subsuelos de los tres valles (Güímar, La Orotava y La Guancha-Icod), bajo las lavas y piroclastos recientes de relleno, de una potente capa de material fragmentario, conocido por “mortalón” en la jerga de los trabajadores de las galerías. Este material es una brecha masiva y caótica, formada por clastos o fragmentos de roca de todos los tamaños y litologías, englobados en una matriz arcillosa-limosa, por lo que Bravo lo denominó “fanglomerado” (de fango y aglomerado). La matriz, que suele aparecer endurecida, se comporta en numerosas zonas, sobre todo si está saturada en agua, de forma plástica, es decir, se deforma progresiva y permanentemente bajo presión o carga. Es capaz de vencer completamente los elementos de fortificación de las galerías y cerrar completamente su sección, de unos 2 metros de diámetro, en cuestión de pocas semanas o meses.
4. Las paredes laterales y la cabecera de los valles son fallas, es decir, planos de movimiento.

Con estas evidencias, Bravo explicó la formación de las tres depresiones por el deslizamiento gravitacional de grandes masas del flanco norte de Tenerife. Estas masas de terreno se movieron lateralmente hacia el mar sobre la superficie plástica e inclinada del “mortalón”, formación a la que atribuyó un origen volcánico explosivo. En el caso de la Caldera de Las Cañadas, esos movimientos fueron acompañados por una intensa erosión por las aguas de escorrentía. La erosión del mortalón, más fácilmente disgregable, permitió un gran ensanchamiento de la cabecera del antiguo Valle de La Guancha-Icod.

Sin embargo, las ideas de Bravo sobre grandes deslizamientos en Tenerife, al igual que los primeros trabajos de J.G. Moore (1964) sobre los gigantescos deslizamientos submarinos del archipiélago volcánico de Hawaii, no fueron aceptadas por la comunidad científica. Los geógrafos Eduardo Martínez de Pisón y Francisco Quirantes lo expresaron así en su estudio geomorfológico del Teide (1981): “*Tampoco parecen comprobables*

otros mecanismos morfogenéticos rápidos, como deslizamientos masivos, que no se insertan (en tales dimensiones) en los procesos propios de la evolución morfoclimática del Cuaternario en Canarias y que constituirían un insólito modelo de erosión”. Es decir, el rechazo fue motivado por lo que puede denominarse el factor de escala, o dicho de una manera más simple, el tamaño. Sencillamente, el fenómeno era demasiado grande para que pudiera admitirse fácilmente. En palabras de Fúster y colaboradores (1968) “no se puede extrapolar hasta estos límites el fenómeno erosivo de los deslizamientos”.

Contra la aceptación de las ideas de Bravo pesaron también las dificultades que implica el trabajo geológico en las galerías, en las que se suman, a las limitaciones de observación en espacios cerrados y reducidos, penosas condiciones ambientales: presencia de gases volcánicos, ausencia de oxígeno, y temperaturas y humedades relativas muy elevadas. Además, claro está, de otros factores ajenos a la discusión científica –siempre presentes en este tipo de controversias– que no tiene sentido tratar aquí.

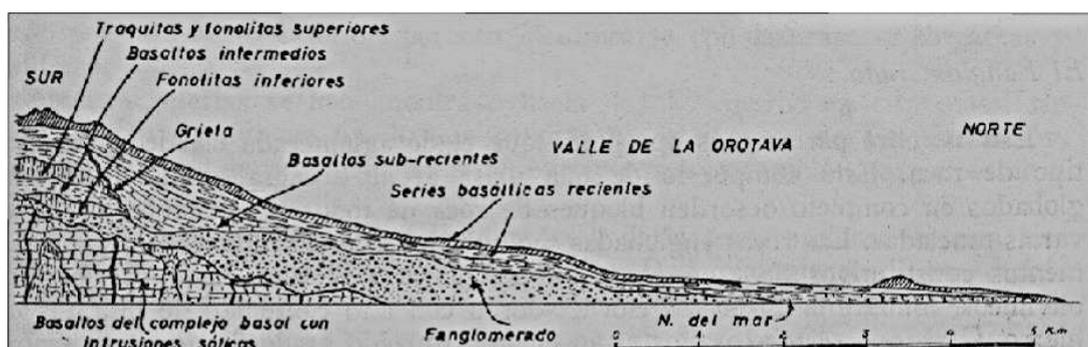


Fig. 11.—Sección vertical de la fosa-valle de La Orotava.

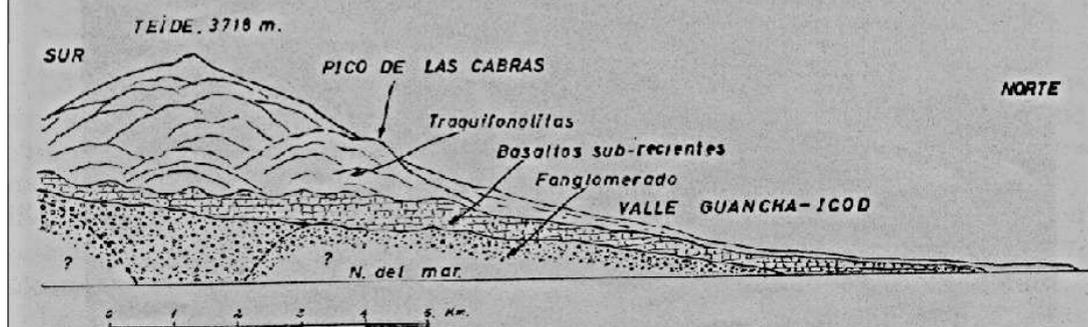


Fig. 10. Sección vertical del valle Guancha-Icod, entre el Teide y el mar.

Cortes originales del artículo de T. Bravo “El Circo de Las Cañadas y sus dependencias”, publicado en 1962 en la revista “Estudios Geológicos”.

A pesar de todo, Juan Coello publicó en 1973 su tesis doctoral sobre los subsuelos de la zona central de Tenerife, en la que ampliaba considerablemente los datos de Bravo, y defendía un origen por grandes deslizamientos sobre el mortalón para las tres depresiones. Posteriormente Coello, junto con el propio Telesforo Bravo y el hijo de éste, Jesús Bravo, publicaron varios artículos en los que defendían la tesis de los deslizamientos y ampliaban los datos del subsuelo que la apoyaban.

El cambio de paradigma

Durante las últimas dos décadas del siglo XX, sucedieron tres hechos que permitieron a la teoría de T. Bravo dejar de ser considerada una mera fantasía por la comunidad volcanológica.

1. La erupción del St. Helens

El Mount Saint Helens es un estratovolcán que se halla en la Cordillera de las Cascades, al sur del estado de Washington, EEUU. Después de más de un siglo de reposo, entró en erupción en marzo de 1980. El magma comenzó a intruir en el interior del volcán, produciendo sismicidad y explosiones freáticas, e hizo crecer un gran domo bajo la superficie de su flanco norte, ya de por sí de elevada pendiente; el flanco se hinchó y abombó por efecto de la masa de magma, por lo que devino inestable. A las 8:32 (hora local) del 18 de mayo de 1980, un terremoto de magnitud 5,1 sacudió el edificio, y el inestable flanco norte se movilizó en masa. Se originó así un deslizamiento lateral de 2,7 kilómetros cúbicos, que en cuestión de minutos destruyó los 400 metros superiores del volcán y dejó en su lugar una depresión abierta, en forma de herradura, de 2 kilómetros de diámetro, limitada por paredes verticales de 600 metros de profundidad.

La masa deslizada, por efecto de las enormes tensiones originadas durante el movimiento, se fragmentó y mezcló intensamente, y fluyó como una gran avalancha de rocas. La avalancha desarrolló velocidades de hasta 240 kilómetros/hora, sobrepasó en su camino obstáculos de 380 metros de altura, y alcanzó una distancia de 60 kilómetros antes de detenerse. El depósito de brechas masivas y caóticas formado por la avalancha tiene más de 50 metros de potencia en algunos puntos, y presenta unas características inconfundibles (análogas a las del mortalón), que han sido reconocidas posteriormente en muchos otros lugares.

Los volcanólogos que vigilaban el St. Helens sospechaban que la actividad precursora podría desembocar en una violenta erupción. Se conocían incluso algunas anteriores que transcurrieron de forma similar en otros volcanes, pero lo cierto es que la secuencia y la magnitud de los acontecimientos los cogió prácticamente desprevenidos. La evacuación previa de los alrededores, una zona boscosa y montañosa de escasa población, consiguió limitar el número de muertes a 57. Sin embargo, la

erupción, una de las mejor conocidas de la historia, tuvo efectos científicos muy importantes.

En primer lugar, se produjo la revisión del origen de las grandes depresiones abiertas, en forma de anfiteatro o herradura (como las de Tenerife), que aparecen con frecuencia en terrenos volcánicos. El segundo efecto fue la identificación y estudio de numerosos depósitos de avalanchas rocosas en estratovolcanes de todo el mundo, que aparecen asociados a esas semicalderas.

Entonces pudo establecerse la importancia que los grandes deslizamientos gravitacionales tienen en la evolución de los volcanes. A finales de los años 80 del pasado siglo, era ya un hecho generalmente admitido que los deslizamientos masivos son un fenómeno habitual en la historia geológica de los edificios volcánicos.

2. Formulación moderna de la teoría de los deslizamientos

Con nuevos datos obtenidos del estudio continuado de las galerías, José Manuel Navarro y Juan Coello plantearon en 1989 una modificación fundamental en la teoría de Telesforo Bravo. Al comparar las características geológicas del mortalón con las de los depósitos de avalanchas volcánicas



Aspecto del “mortalón” o brecha de avalancha rocosa producida en los deslizamientos de los flancos insulares de Canarias.

antes nombrados, llegan al siguiente resultado: el mortalón no es un material que se originara antes de los deslizamientos y actuara como superficie de despegue, sino los depósitos de avalancha rocosa formados por los propios movimientos masivos. Por primera vez se identifican de forma unívoca los materiales originados en los deslizamientos que dieron lugar a las depresiones de La Orotava, Güímar y Las Cañadas. Para ser más correctos, se identifica la porción de estos materiales que se depositó en tierra.

Para Navarro y Coello, las tres depresiones se formaron por gigantescos deslizamientos laterales de los flancos insulares hacia el mar. Los deslizamientos se produjeron por la desestabilización instantánea, probablemente a causa de terremotos, de enormes porciones de los edificios afectados (Edificio Cañadas y Dorsal Noreste), cuya altura y elevadas pendientes, efecto de un rápido crecimiento, los habían convertido en inestables.

Según estos autores, los deslizamientos tuvieron un importante efecto adicional. La descompresión instantánea del sistema magmático situado bajo el Edificio Cañadas, producida por la eliminación del peso o carga litostática de una columna de materiales de más de 1.000 metros de altura, facilitó la salida de magma y provocó la emisión acelerada de enormes cantidades de lavas basálticas. Estas lavas son las que forman el grueso del relleno del Valle de La Guancha-Icod y de la Caldera de Las Cañadas. En otras palabras, al impedir que los magmas que estaban situados bajo la zona central de la isla evolucionaran lentamente en profundidad, desde magmas básicos a fonolíticos, el deslizamiento cambió momentáneamente el carácter del volcanismo del edificio.

Un año después, Eumenio Ancochea, J.M. Fúster y colaboradores (1990) establecieron la edad aproximada de los deslizamientos que dieron lugar a las tres depresiones: 700.000 años para el de Güímar, 500.000 años para el de La Orotava, y 180.000 años para el de Las Cañadas, el último gran fenómeno de este tipo ocurrido en Tenerife.

3. Los datos oceanográficos

Las investigaciones sobre la topografía y geología de los fondos oceánicos, con base en aparatos y técnicas embarcados en buques oceanográficos, han experimentado un considerable progreso desde la Segunda Guerra Mundial. A finales de los 80 y principios de los 90 del pasado siglo, estos estudios comienzan a detectar un gran número de grandes deslizamientos, en parte submarinos y en parte subaéreos, que afectan a los flancos de los más altos y voluminosos volcanes conocidos en nuestro planeta: las islas volcánicas oceánicas (Hawaii, La Reunión, Cabo Verde, Tristan da Cunha, ...).

Ahora bien, si los deslizamientos gravitacionales identificados hasta entonces en los volcanes subaéreos ya eran muy grandes (hasta 100

kilómetros cúbicos de volumen), los que se comienzan a descubrir en las islas volcánicas oceánicas son de tamaño verdaderamente prodigioso. Algunos deslizamientos en el archipiélago hawaiano tienen un volumen de 5.000 kilómetros cúbicos y cubren extensiones superiores a los 20.000 kilómetros cuadrados en el fondo oceánico adyacente a las islas. Constituyen, de hecho, los mayores deslizamientos conocidos en nuestro planeta.

En Canarias, el primer trabajo de esta naturaleza es el de R.T. Holcomb y R.C. Searle (1993), que identifican los restos submarinos de un gigantesco deslizamiento en el flanco suroccidental de la isla de El Hierro, el deslizamiento de El Julan. Posteriormente, dos geólogos británicos, A.B. Watts y D.G. Masson (1995), aportan los datos que confirman definitivamente la existencia de varios grandes deslizamientos gravitacionales en el flanco norte de la isla de Tenerife. Estos autores identifican materiales de avalanchas rocosas en el fondo oceánico situado frente a la costa norte de la isla, que cubren una extensión de 5.000 kilómetros cuadrados (similar al área emergida de Tenerife), y suponen un volumen de 1.000 kilómetros cúbicos. Los límites laterales de algunas de las lenguas submarinas de avalancha que forman los depósitos descritos, coinciden en tierra con los límites laterales de los valles de La Orotava y La Guancha-Icod, lo que indica claramente que proceden de esas depresiones. Otras avalanchas se originaron en deslizamientos más antiguos –hasta 10 grandes deslizamientos pueden haberse sucedido en Tenerife a lo largo de su historia geológica, según las últimas investigaciones–.

El trabajo de los británicos fue confirmado por ulteriores estudios del buque oceanográfico español “Hespérides” (1995), encuadrados en el Proyecto Teide, que fue financiado por la CEE dentro del programa “European Laboratory Volcanoes”. En esta campaña se topografiaron además depósitos similares en el fondo oceánico situado frente al Valle de Güímar. La pregunta retórica que Fúster y colaboradores se hacían en 1968 (¿dónde están los sedimentos de la violenta erosión que propone Bravo?) había quedado definitivamente contestada: en el fondo del mar, precisamente donde el geólogo tinerfeño afirmaba que se encontraban.

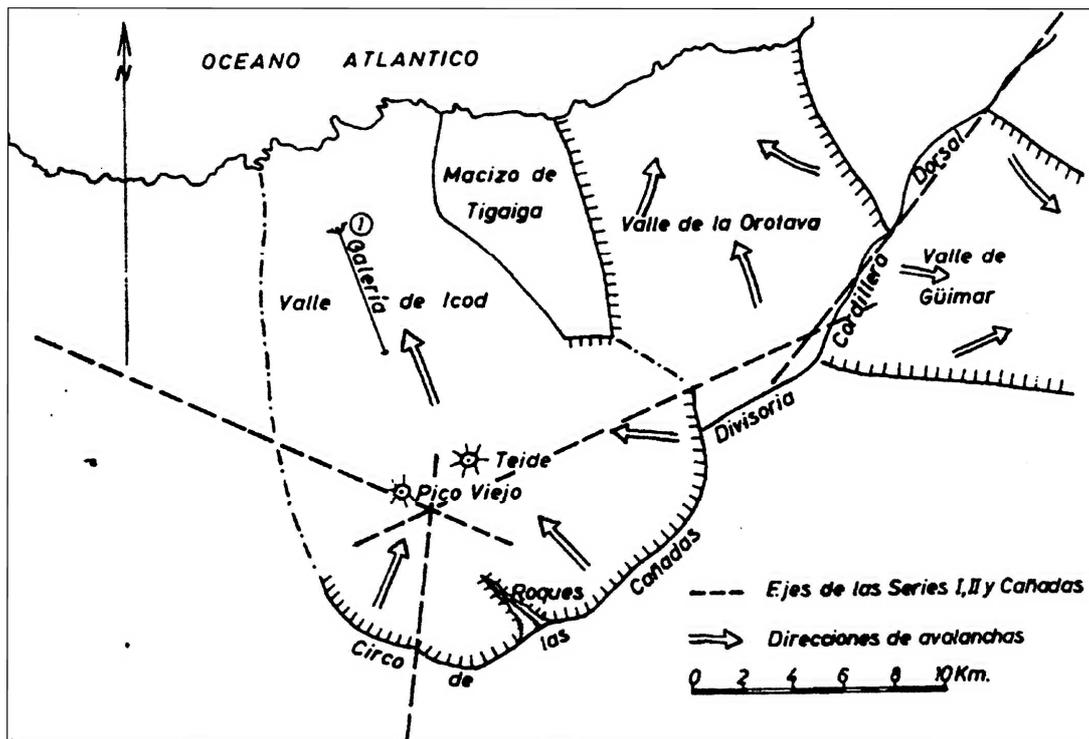
El estado actual de la cuestión

Los descubrimientos considerados en el apartado anterior terminaron con los reparos que los partidarios de las teorías del colapso magmático y de los valles intercolinares ponían a la teoría de los deslizamientos, en concreto el tamaño “excesivo” de estos fenómenos, y sobre la aparente ausencia de los materiales originados en ellos.

En la actualidad, la evidencia acumulada a favor de la existencia de gigantesco deslizamientos en los flancos de la isla de Tenerife es concluyente. Más aún, los datos demuestran que estos fenómenos

catastróficos han afectado a todas las islas del archipiélago canario, en todos los estadios de su desarrollo. El último de los grandes deslizamientos gravitacionales ocurridos en Canarias parece ser el que dio origen a la depresión de El Golfo en El Hierro, que podría tener una edad tan reciente como 18.000 años. Sin embargo, algunos autores, como Joan Martí y sus colaboradores (1997) defienden todavía el origen por colapso de la Caldera de Las Cañadas, aunque reconocen que los deslizamientos han tenido un papel importante, aunque según ellos todavía secundario, en su evolución.

A pesar de tener periodos de recurrencia muy grandes (por lo que se sabe, ocurren en Canarias cada 150.000 años o más) lo que disminuye en gran medida el riesgo que suponen para la población, el interés que presentan estos fenómenos aumenta cada día entre los científicos y la sociedad en su conjunto. Como botón de muestra, cabe citar la acalorada discusión suscitada en los últimos años sobre las consecuencias catastróficas (entre ellas, un enorme tsunami) que podría tener un deslizamiento masivo del flanco oeste de la Dorsal de Cumbre Vieja en La Palma, en un futuro más o menos cercano.



Esquema de los deslizamientos de Güimar, La Orotava y las Cañadas debido a T. Bravo, J. Coello y J. Bravo, en el que se muestran las direcciones principales de las avalanchas rocosas en ellos originadas.

A día de hoy numerosos proyectos de investigación se dedican a intentar descifrar el número exacto y edad precisa de los deslizamientos que han afectado a cada una de las islas, a revelar los factores que influyen en su morfología y desarrollo, y a definir los detalles acerca de la dinámica, sedimentología, consecuencias geológicas, factores desencadenantes y precursores de estos grandes fenómenos; catástrofes que ejemplifican toda la inmensa potencia que esconde la naturaleza de las islas; esa que se despliega de vez en cuando ante nosotros.

Una tarea, la de su estudio y conocimiento, en la que Telesforo Bravo, como en tantas otras cosas, fue pionero.

Referencias

- ANCOCHEA, E., J.M. FÚSTER, E. IBARROLA, A. CENDRERO, J. COELLO, F. HERNÁN, J.M. CANTAGREL & C. JAMOND (1990). Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 44: 231-249.
- ARAÑA, V. (1971). Litología y estructura del Edificio Cañadas, Tenerife. *Est. Geol.* 27: 95-135.
- BENÍTEZ PADILLA, S. (1945). Síntesis geológica del archipiélago canario. *Est. Geol.* 3: 3-19.
- BLUMENTHAL, M.M. (1961). Rasgos principales de la geología de las Islas Canarias con datos sobre Madeira. *Bol. Inst. Geol. Min. Esp.* 72: 1-30.
- BRAVO, T. (1962). El Circo de Las Cañadas y sus dependencias. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 60: 93-108.
- COELLO, J. (1973). Las series volcánicas en los subsuelos de Tenerife. *Est. Geol.* 29(6): 489-501.
- FÚSTER, J.M., V. ARAÑA, J.L. BRÄNDLE, J.M. NAVARRO, V. ALONSO & A. APARICIO (1968). *Geología y volcanología de las Islas Canarias: Tenerife*. IAVCEI Simp. Internacional Volcanología, Islas Canarias. Inst. Lucas Mallada, CSIC, Madrid. 218 pp.
- HOLCOMB, R.T. & R.C. SEARLE (1991). Large landslides from oceanic volcanoes. *Marine Geotechnology* 10: 19-32.
- LYELL, C. (1855). *Manual of elementary geology* (5th ed.). Murray, London. 498 pp.
- MACAU, F. (1959). Las calderas de Gran Canaria. *An. Est. Atlánticos* 5: 9-36.
- MARTÍ, J., M. HÜRLIMANN, G.J. ABLAY & A. GUDMUNDSSON (1997). Vertical and lateral collapses on Tenerife (Canary Islands) and other volcanic ocean islands. *Geology* 25(10): 879-882.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. & F. QUIRANTES (1981). *El Teide. Estudio Geográfico*. Ed. Interinsular Canaria, Tenerife. 87 pp.

- NAVARRO, J.M. & J. COELLO (1989). Depressions originated by landslide processes in Tenerife. In: ESF Meeting on Canarian Volcanism, Lanzarote, I. Canarias. ESF-CSIC: 247-253.
- NAVARRO, J.M. & J. COELLO (1989). *Depresiones originadas por deslizamientos gravitacionales en Tenerife*. 28 pp. (inédito)
- RIDLEY, W.I. (1971). The origin of some collapse structures in the Canary Islands. *Geol. Mag.* 108(6): 477-484.
- ROTHPLETZ, A. (1889). Das thal von Orotava auf Tenerife. *Petermans Geograp. Mitteilungen* 35: 237-251.
- VON BUCH, L. (1825). *Physikalische beschreibung der Canarischen Inseln*. G. Bosselmann, Berlin.
- VON FRITSCH, K. & W. REISS (1868). *Geologische Beschreibung der Insel Teneriffa*. Wurster and Co, Winterthur. 496 pp.
- VON HUMBOLDT, A. (1816). *Voyages aux regions équinoxiales du Nouveau Continent, fait in 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804 par Al. de Humbolt et A. Bonpland, rédigé par Alexandre de Humboldt; avec un atlas géographique et physique*. Paris.
- WATTS, A.B. & D.G. MASSON (1995). A giant landslide on the north flank of Tenerife, Canary Island. *J. Geophys. Res.* 100(B12): 24.487-24.498.