



Santa Cruz de Tenerife, 9 de julio de 2019

## Informe sobre la actividad sísmica de baja magnitud, registrada el día 14 de junio, y localizada al noreste de Guía de Isora-suroeste de Pico Viejo (Tenerife)

### 1. Introducción

A las 14:28 (UTC) del 14 de junio de 2019, se produjo un terremoto de magnitud 1,9 (mbLg), localizado en el interior del Parque Nacional del Teide, al noreste de la población de Guía de Isora y al suroeste de Pico Viejo, que a partir de las 16:20 (UTC) fue seguido de una serie formada por unos 500 sismos registrados en apenas 2 horas (figura 1). El contenido espectral de las señales registradas señalaba que los eventos tenían un alto contenido energético en baja frecuencia (figura 2). La serie termina con un terremoto de las mismas características a las 17:58 (UTC) de magnitud 1,6 (mbLg).

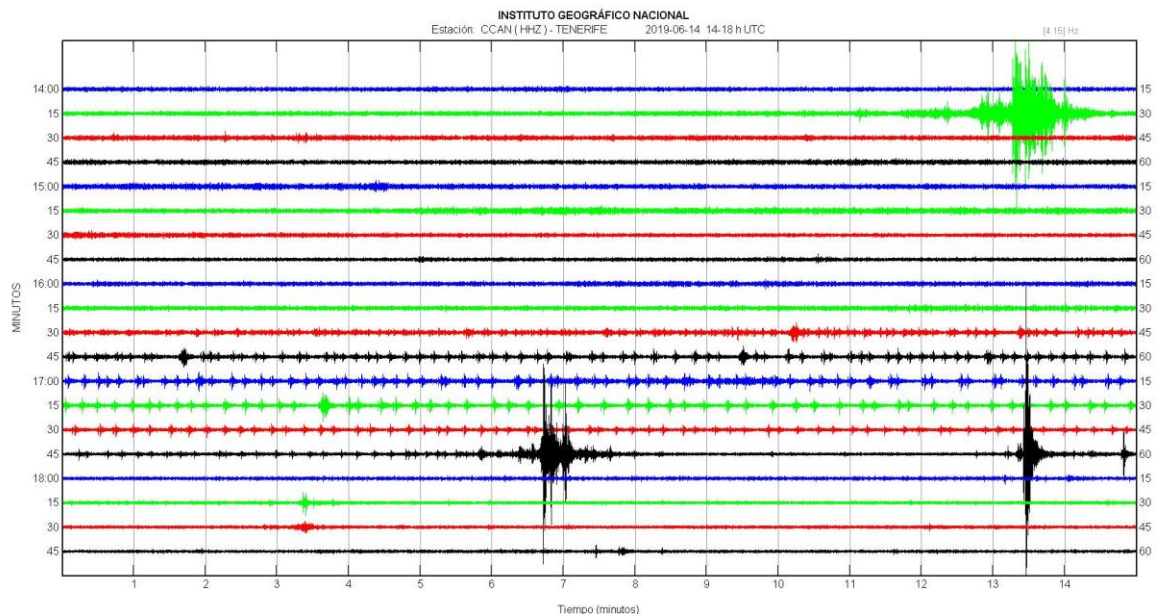
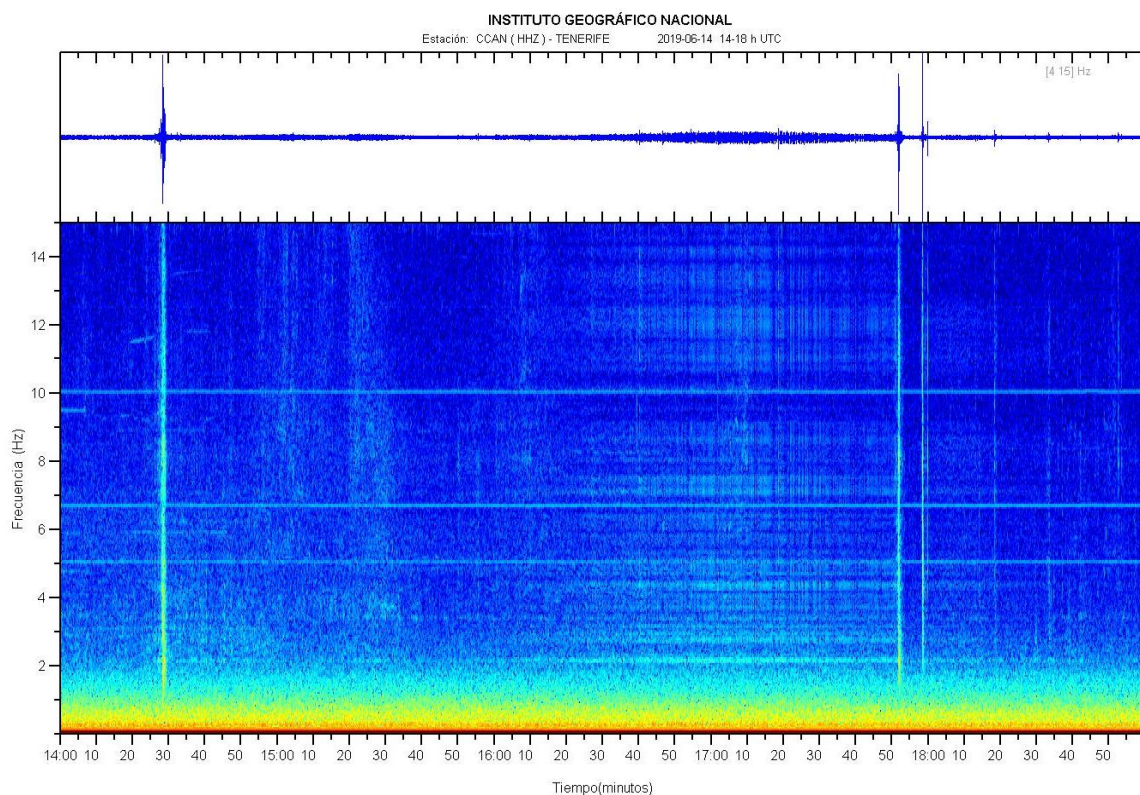


Figura 1. Registro sísmico en la componente vertical de la estación de banda ancha CCAN, con filtro pasa-banda 4-15 Hz, desde las 14:00 hasta las 19:00 (UTC) del día 14 de junio de 2019.

Los terremotos más energéticos de la serie mostraban, en las estaciones más próximas, fases emergentes P y S, que han permitido su localización con los algoritmos tradicionales, hasta un total de 340 terremotos entre magnitudes -0,2 y 0,5 (mbLg). Los eventos en los que además de las ondas internas P y S se añade una señal de baja frecuencia se clasifican como *eventos híbridos* y resultan tener características tanto de terremotos volcano-tectónicos como de largo periodo, como más adelante explicaremos. Si uno analiza exclusivamente las estaciones más ruidosas, esa característica

volcano-tectónica no se detecta, apareciendo solamente la componente de largo periodo y por lo tanto se puede producir una errónea clasificación.



*Figura 2. Espectrograma de la componente vertical de la estación de banda ancha CCAN, desde las 14:00 hasta las 19:00 (UTC) del día 14 de junio de 2019.*

En los últimos años, el número de series sísmicas detectadas en la isla de Tenerife ha aumentado significativamente. Durante los años 2004 y 2005 se produjo una crisis sísmica en Tenerife con más de 200 terremotos localizados entre Icod de los Vinos y el Norte de Vilaflor, de los que 4 fueron sentidos por la población (figura 3). Los terremotos tenían magnitudes entre 0.7 y 2.6 (mblg) y profundidades entre 0 y 15 km. En estudios posteriores, Domínguez Cerdeña et al. 2011 identificaron dos zonas sismogénicas, una al noroeste del Teide y otra al suroeste de Las Cañadas, con sismicidad claramente diferenciada. Además, durante 2004 se detectaron cerca de 3000 terremotos en la isla de Tenerife y alrededores, de los cuales más de 1000 estaban directamente relacionados con esta actividad.

El 2 de octubre de 2016 se produjo un enjambre de más de 800 terremotos, entre 0,2 y 0,9 (mblg), detectados con las mismas características de los actuales, de los cuales fueron localizados unos 100, todos ellos ocurridos en un intervalo de apenas 5 horas. La localización inicial mostraba una dispersión en dirección NE-SW, entre Guía de Isora y Pico Viejo (figura 3). Por último, cabe destacar la serie sísmica de Vilaflor, formada por más de 500 terremotos, con magnitudes entre 0,0 y 2,3 (mblg) y profundidades entre 5 y 9 km, puramente volcano-tectónicos, que comienza en octubre de 2017 y continúa en la actualidad (figura 3).

El aumento muy significativo del número de estaciones sísmicas desplegadas en Tenerife ha hecho que la capacidad de detección haya aumentado considerablemente en los últimos años y que como consecuencia, la actividad de fondo sea en estos momentos localizada con un nivel muy bajo de

magnitud. Esto último permite en la actualidad poder interpretar todas estas series sísmicas relacionadas sin duda con el volcanismo activo del complejo Teide-Pico Viejo.

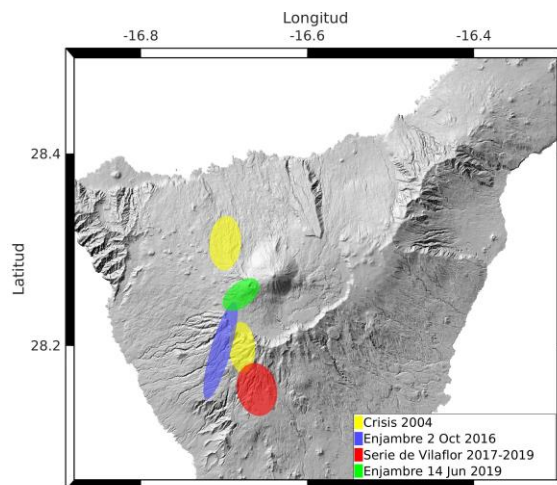


Figura 3. Zonas principales de actividad sísmica de los últimos años en la isla de Tenerife: crisis sismo-volcánica 2004-05 (amarillo), enjambre del 2 de octubre de 2016 (azul), serie sísmica de Vilaflor 2017-19 (rojo) y enjambre de 14 de junio de 2019 (verde), objeto principal de este informe.

En estos momentos, la Red Sísmica de Canarias, del Instituto Geográfico Nacional, está formada por 52 estaciones que transmiten los datos en tiempo real a un sistema de análisis y localización automática. Además, se cuenta con las señales de 2 antenas sísmicas (Arrays), llegándose a un total de 71 sensores sísmicos distribuidos por todo el territorio canario. Los datos en tiempo real que resultan de los sistemas automáticos son revisados por analistas 24 horas/365 días, constituyendo así la base del sistema de vigilancia volcánica.

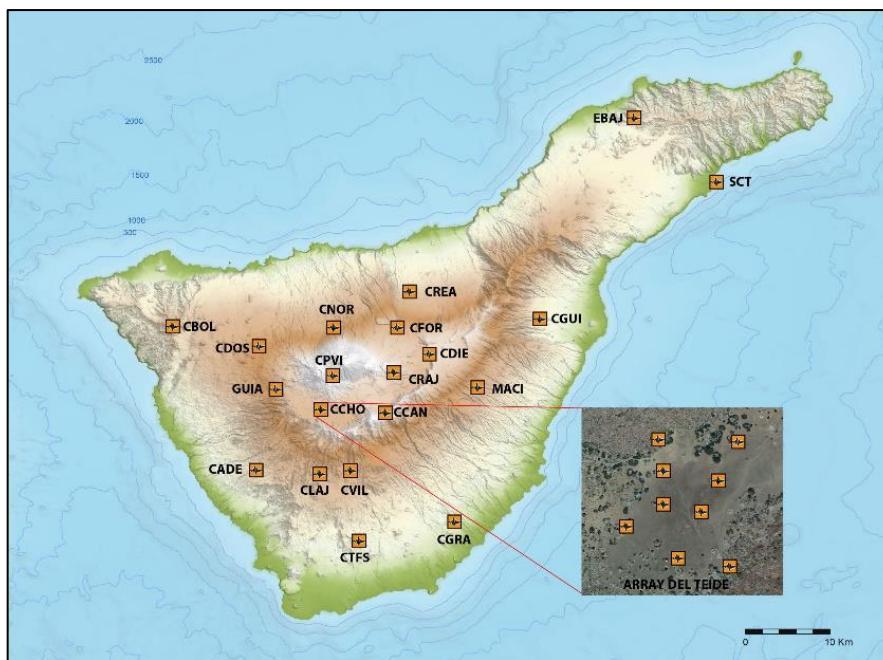


Figura 4. Estaciones de la Red Sísmica de Canarias del Instituto Geográfico Nacional instaladas a fecha 30 de junio de 2019 en la isla de Tenerife.

En la isla de Tenerife, el sistema cuenta con 20 estaciones, de las cuales 13 son de banda ancha, además de una antena sísmica de 9 estaciones de corto periodo localizada en el interior de Las Cañadas del Teide. En total el sistema cuenta con 29 sensores instalados en la isla de Tenerife (figura 4), los últimos se han instalado a una profundidad de unos 30 m, en el fondo de sondeos, con el fin de obtener unas condiciones sísmicas óptimas, con muy bajos niveles de ruido antrópico. En los próximos meses, esta red se va ver incrementada en 8 nuevas estaciones instaladas en profundidad.

En el interior de Las Cañadas, la estación sísmica CCAN (Montaña Guajara, Las Cañadas del Teide) fue instalada en el año 1990 y desde entonces ha funcionado sin interrupciones, salvo las lógicas debidas al mantenimiento de la instrumentación. Con anterioridad, este mismo emplazamiento fue utilizado en los años 1980, 1981, 1982 y 1983 como estación temporal en los estudios de microsismicidad que el IGN realizó en Las Cañadas del Teide. La estación CCAN constituye una referencia para el análisis de la evolución de la sismicidad en la isla de Tenerife. Se trata de una de las estaciones de la Red Sísmica de Canarias que tiene un alto nivel de detección, ya que el ruido propio de la estación tiene unos niveles muy bajos. En la figura 5 se muestra el análisis del ruido en esta estación en los últimos 3 años, en la que se puede apreciar que para frecuencias en el rango 2-15 Hz se encuentra en un término medio de -145 dB, lo que quiere decir que esta estación es capaz de detectar los eventos que superen en el registro de velocidad una amplitud mayor de  $5,6 \times 10^{-5}$  mm/s, que se corresponde aproximadamente con un terremoto de magnitud -0.5 (mbLg) a 20 km de distancia epicentral.

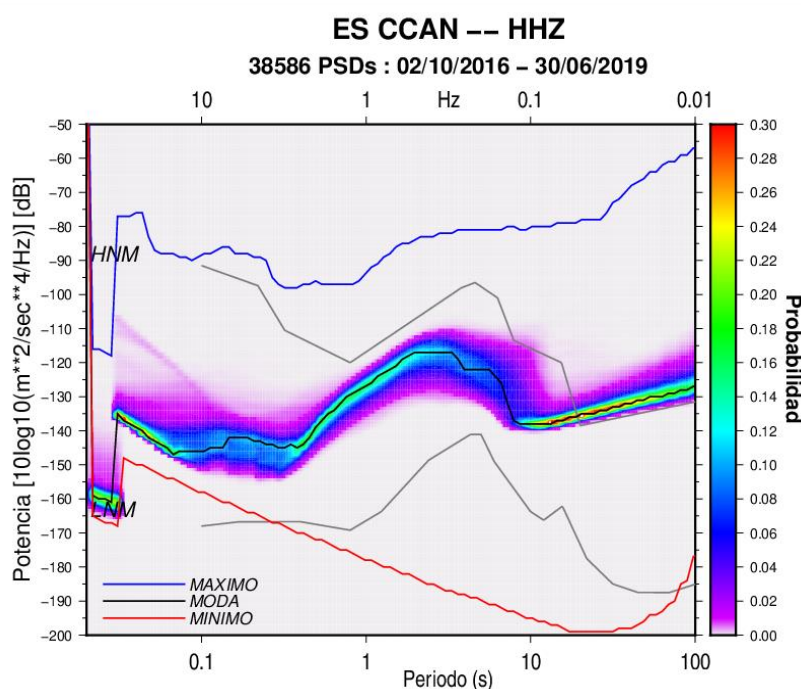
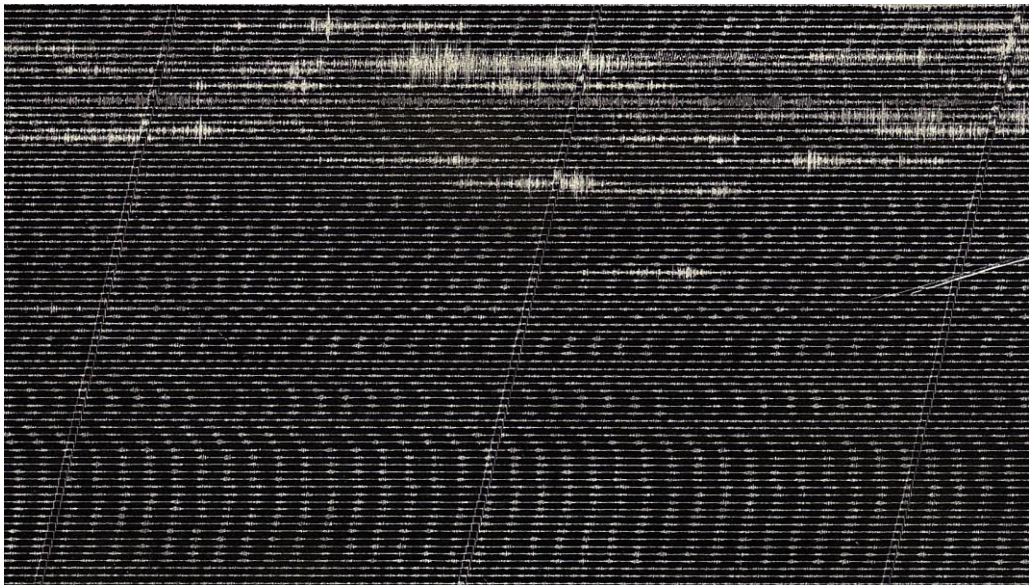


Figura 5. Análisis del ruido sísmico registrado en la componente vertical de la estación CCAN en el periodo 2016-2019.

Entre 1980 y 1983, el IGN llevó a cabo campañas anuales para el estudio de la microsismicidad en Las Cañadas del Teide. La toma de datos se realizaba con estaciones sísmicas portátiles Sprengether MEQ-800, con registro analógico sobre papel ahumado "in situ" y sensores de corto periodo, con una muy alta amplificación, pero con la señal filtrada entre 5-10 Hz. Las campañas duraban aproximadamente un mes al año y se realizaban aleatoriamente, sin tener en cuenta los niveles de microsismicidad en cada momento, que por otra parte la red sísmica permanente no permitía conocer. Los resultados de

las campañas (Mezcua et al. 1990) demostraron que la actividad microsísmica ya entonces era recurrente en la zona. Siempre que se desplegaba la red se registraba actividad sísmica y esta obedecía principalmente a dos tipos de mecanismo focal, un grupo de terremotos tenían un mecanismo conjunto en falla de desgarre, con alta componente de falla inversa y el resto su mecanismo complementario, también desgarre pero con componente de falla normal.

Del resultado de estas campañas, y en relación con la actividad observada en los últimos años, cabe decir que en noviembre de 1980, se instaló una de estas estaciones en la zona norte de Vilaflor, cuyo registro puede verse en la figura 6. En este registro se aprecia una actividad microsísmica que inició de forma espontánea, que duró solamente 5 días, registrada en una única estación, y que ahora conocemos como un fenómeno del tipo de repique de tambor (Drumbeat).



*Figura 6. Registro sísmico 5-10 Hz en la estación temporal instalada en Vilaflor en noviembre de 1980. Puede observarse una importante actividad microsísmica tipo repique de tambor (Drumbeat). Dos marcas de tiempo sucesivas acotan un minuto de registro.*

A la vista del antecedente expuesto, vemos que la actividad microsísmica en la isla, del tipo de los terremotos objeto de este informe, ha sido y es recurrente en el tiempo, como por otra parte corresponde a un sistema volcánico activo como es Teide-Pico Viejo.

## **2. Tipos de señales sísmicas en ambientes volcánicos**

En sismología volcánica, las señales que se registran en un equipo instalado en las proximidades del volcán, obedecen a las manifestaciones de los distintos procesos físicos que tienen lugar en cada momento de su actividad. Además, no en todos los volcanes los mismos procesos tienen la misma manifestación, ya que el medio en el que las ondas se transmiten, en la mayoría de las ocasiones, puede producir un cambio sustancial en la forma de registrarse.

Las clasificaciones de las distintas señales sísmicas en vigilancia volcánica han ido evolucionando a lo largo del tiempo. En un principio, las clasificaciones hacían notar principalmente la diferencia en

aparición y contenido frecuencial de la señal sísmica, si bien modernamente, se completan con una interpretación sobre el distinto tipo de fuente generadora. Los primeros trabajos para la clasificación son los de Shimozuru (1972) y Minakami (1974) a los que siguieron ya en tiempos más recientes los de Lahr et al. (1994), Chouet (1996) y McNutt (1996, 2000). En la figura 7, tomada de Lahr et al. (1994), se muestran los registros en el dominio del tiempo, espectrogramas y espectros de ejemplos de terremotos volcano-tectónicos (VT), de largo periodo (LP) e híbridos.

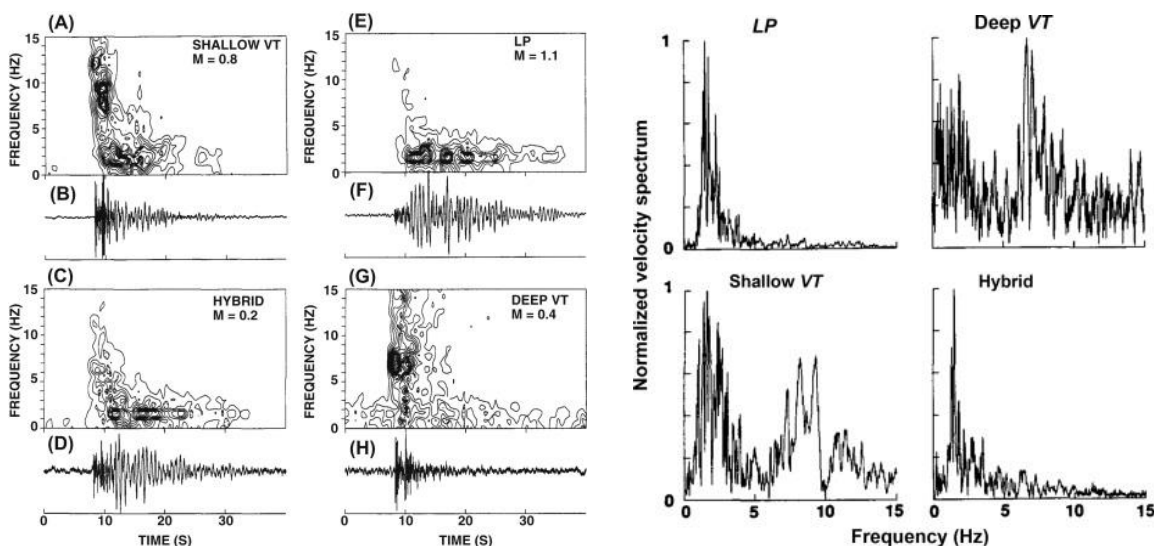


Figura 7. Espectrogramas, señales y espectros de eventos tipo volcano-tectónicos VT (profundos VT-A y superficiales VT-B), de largo periodo LP e híbridos. Tomada de Lahr et al. (1994).

De esta forma, y de acuerdo con Wassermann (2012), podemos clasificar las distintas señales sísmicas:

## 2.1 Terremotos volcano-tectónicos (VT)

Son eventos producidos por roturas en la corteza debidas a la acumulación de esfuerzos sobre esta, procedentes de los distintos procesos físicos que se desencadenan en un volcán. En general, por su forma de onda, son difícilmente distinguibles de los terremotos puramente tectónicos, excepto por su distribución de magnitudes en el tiempo y su localización. Cuando se produce una intrusión magmática suelen aparecer enjambres con numerosos terremotos VT de relativamente baja magnitud, independientemente de que si esta intrusión genera o no alguna erupción. También por acumulación de gases o por la activación del sistema hidrotermal pueden aparecer terremotos de este tipo. La mayor parte del contenido de la fuente sísmica en un terremoto VT se corresponde con un mecanismo de doble par de fuerzas, sin momento resultante, lo que implica una baja componente isotrópica que pudiera asociarse con un cambio de volumen en la región fuente.

Los terremotos volcánico-tectónicos más profundos (por debajo de los 2 km), también llamados VT-A (DEEP VT) o de alta frecuencia HF, se caracterizan por presentar fases sísmicas P y S impulsivas, muy claras, y con un gran contenido en alta frecuencia (> 5 Hz), figura 7, lo que permite localizarlos fácilmente mediante la técnica tradicional. Aquellos más superficiales (por encima de los 2 km) llamados VT-B (SHALLOW VT) presentan una fase P más emergente y la mayoría de las ocasiones no es posible detectar la onda S. La dispersión anómala (scattering) en las capas más superficiales es la responsable de la atenuación de la señal de alta frecuencia. El mayor contenido de energía se encuentra principalmente en frecuencias entre 1-5 Hz



## 2.2 Eventos de largo período (LP)

Son sismos caracterizados por producir vibraciones de mayor longitud de onda y por tanto, de menor frecuencia que los terremotos VT. Generalmente no muestran la llegada de la onda S y la llegada de la onda P es muy emergente o en la mayoría de las ocasiones no aparece en el sismograma, esto dificulta su localización. Las amplitudes máximas suelen estar contenidas en frecuencias entre 0,2-5 Hz. Existen técnicas desarrolladas específicamente para localizar estos eventos, algunas basadas en el análisis de polarización en estaciones de tres componentes, pero quizás las más efectivas son las que utilizan las señales recogidas en dispositivos sísmicos tipo antena (Arrays).

Para explicar el origen de estas señales hay varios modelos, pero el más aceptado sugiere que se producen debido a resonancias en fracturas cerradas en sus extremos y rellenas de fluidos volcánicos. También estos modelos explican la forma repetitiva de sus señales. La frecuencia y anchura de la señal dependerán del tamaño de la fractura resonante y del tipo de fluido encerrado en ella, si bien la mayor parte de la energía está contenida hasta los 5 Hz de frecuencia, con un máximo alrededor de los 2-3 Hz (figura 7). Son comunes en volcanes que presentan erupciones de magmas evolucionados, con presencia de cámaras magmáticas.

En ocasiones las resonancias producen eventos LP cuyo registro tiene forma de huso que se conocen como eventos tornillo. En otras ocasiones, los eventos similares se suceden por centenares a la hora, en lo que se denomina registro en repique de tambor (Drumbeat).

## 2.3 Terremotos híbridos

Estos eventos presentan características tanto de terremotos VT como de los eventos LP. Tienen un inicio de alta frecuencia con fases bien definidas y un final de baja frecuencias hasta la coda que se alarga. Para explicar su origen se usa una combinación del modelo de origen de ambos tipos de señales, se produce una ruptura en una fractura sometida a la presión de fluidos volcánicos, generando un primer terremoto, después la fractura se rellena del fluido y la subsecuente resonancia del mismo origina la señal de baja frecuencia equivalente a un LP.

En ocasiones, si las estaciones sísmicas tienen un alto nivel de ruido antrópico de alta frecuencia, es posible que las fases P y S procedentes de la rotura se enmascaren con el ruido, quedando únicamente patente en el registro la componente de largo periodo LP.

En la figura 7 puede verse que en el espectro de un terremoto híbrido, la energía dominante es la de baja frecuencia, de forma similar al evento LP, pero a diferencia con el evento LP, también aparece energía en el entorno de los 6-7 Hz, que es la de las ondas internas P y S procedentes de la rotura.

## 2.4 Tremor volcánico

Es una señal sísmica caracterizada por mantener una amplitud relativamente constante durante un período de tiempo que puede ir desde minutos a meses. Hay gran variedad de tremores, pudiendo diferenciarse por su contenido espectral con diferentes rangos de frecuencia: menor de 1 Hz, de 1-6 Hz o mayores de 6 Hz. También se distinguen los monocromáticos (vibrando a una frecuencia única), los armónicos (vibrando en varias bandas estrechas de frecuencia) y los de amplio espectro (vibrando en un amplio rango de frecuencias).

El tremor volcánico puede tener muy distintos orígenes, debido a la variedad de sus manifestaciones. En ocasiones es considerado una suma continua de eventos LP y se explicarían como la resonancia en un determinado conducto con flujo de magma. También se ha asociado a la salida del magma a superficie, siendo su origen la interacción del magma con la roca circundante.

## 2.5 Explosiones

Suelen acompañar a la señal de tremor volcánico y se las identifica como un aumento brusco en la amplitud de la señal y un incremento de la frecuencia de vibración. Suele distinguirse una primera llegada asociada a ondas internas (sísmicas) y otra a la onda de choque por el aire (acústica).

## 3. El enjambre sísmico del 14 de junio de 2019

### 3.1 Descripción general

Durante la tarde del 14 de junio de 2019 se produjo una serie sismovolcánica que comenzó a las 14:28 (UTC) con un terremoto híbrido de magnitud 1,9 (mblg) que se localizó a 13 km bajo la parte oeste de Las Cañadas del Teide. A partir de dicho terremoto, se desencadenó una serie de eventos de muy baja magnitud y con contenido de baja frecuencia que se detectó en las estaciones más próximas a esa zona. En concreto, entre las 16:20 y las 18:00 (UTC) se registraron cerca de 500 terremotos, de los cuales 340 han podido ser localizados entre los 5 y 15 km de profundidad. Los valores de magnitud mblg oscilan entre -0,2 y 0,5. Los errores en localización se encuentran entre 3 y 12 km en el epicentro y entre 4 y 14 km en profundidad. La serie concluye a las 17:58 (UTC) con otro terremoto híbrido de magnitud 1,6 (mblg) a 12 km de profundidad en la misma zona, (figuras 1, 2 y 8).

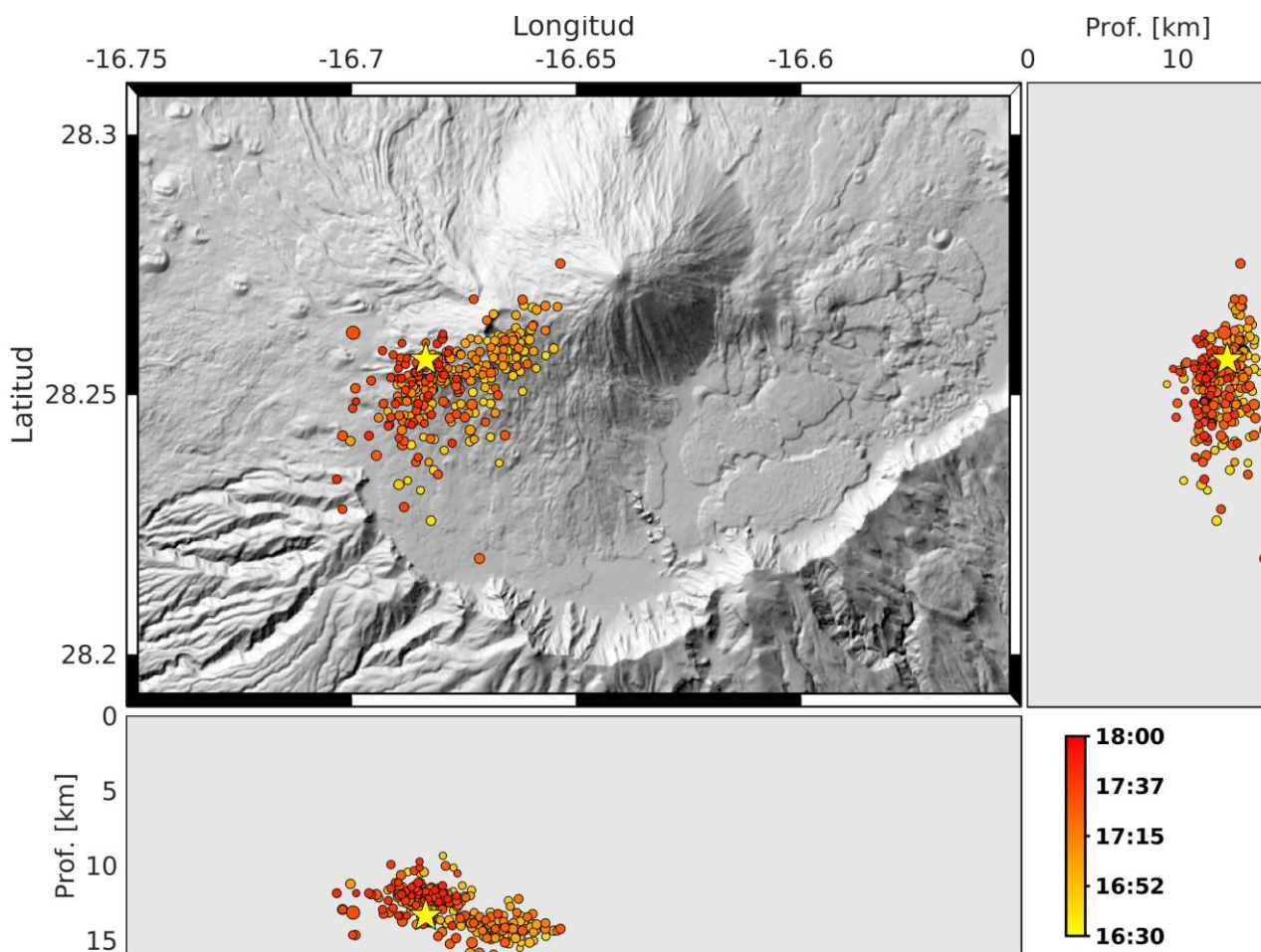


Figura 8. Enjambre sísmico del día 14 de junio. Localizaciones del catálogo sísmico del IGN. La estrella amarilla indica la localización del primer terremoto híbrido a las 14:28 (UTC). Los colores simbolizan la hora del terremoto.



### 3.2 Localización y caracterización del evento promedio

La forma de onda de todos los terremotos de la serie entre las 16:20 y las 18:00 (UTC) es muy similar entre sí, en muchos casos con valores de correlación superiores a 0,9 en todas las estaciones. Este hecho muestra que todos los eventos tienen una fuente común y sus localizaciones son muy próximas, lo que ha permitido utilizar técnicas de apilamiento (Stacking) de los mayores eventos para obtener una forma de onda promedio del evento característico y mejorar la calidad de la señal en las estaciones más ruidosas. De esta manera, aunque en las localizaciones de los eventos individuales del catálogo sísmico sólo se han podido considerar fases claras entre 5 y 7 estaciones, se ha podido localizar un evento promedio con fases de 14 estaciones sísmicas, dando lugar a una solución bastante más precisa y fiable de la fuente sísmica de la serie. El resultado obtenido es una localización en latitud 28,253N, longitud 16,677W y profundidad 9,7 km. La incertidumbre de esta solución es de 200 m en horizontal y 500 m en profundidad.

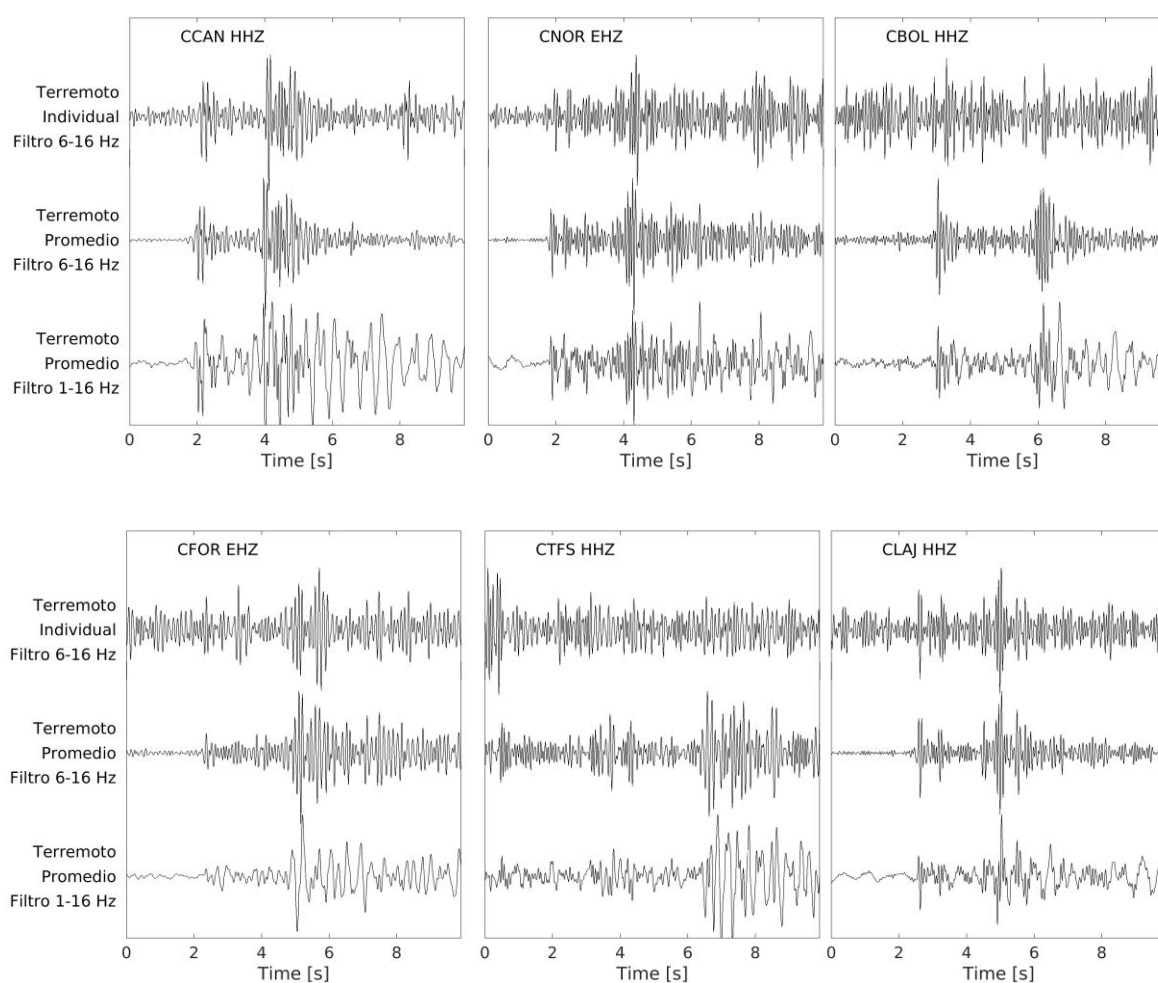


Figura 9. Forma de onda de un terremoto individual y un terremoto promedio, a las que se les ha aplicado dos filtros: 6-16 Hz y 1-16 Hz, en 6 estaciones sísmicas de Tenerife.

Por otro lado, la técnica de apilamiento también ha permitido corroborar la naturaleza híbrida de la serie, según la clasificación expuesta en el apartado 2.3, puesto que en las formas de onda del

terremoto promedio en las distintas estaciones se observa tanto la componente de baja frecuencia como las altas frecuencias correspondientes a las fases de ondas internas P y S, que en algunas estaciones son claramente impulsivas: CCAN, CNOR, CBOL y CLAJ (figura 9).

El análisis de la amplitud espectral del terremoto promedio en la estación de CCAN muestra un pico en la energía de baja frecuencia ( $\sim 2$  Hz) y mantiene la amplitud considerable entre los 5-10 Hz (figura 10). Este espectro es muy similar al ejemplo de "terremoto híbrido" según la clasificación de Lahr et al. (1994), figura 7, y claramente diferente al espectro de un terremoto puramente volcánico-tectónico de profundidad mayor de 2 km (VT-A) de la serie de Vilaflor en la misma estación, cuyo contenido energético en alta frecuencia es mucho mayor (figura 10). Un buen ejercicio de clasificación de terremotos en áreas volcánicas activas se realiza si se comparan estos espectros con los definidos en la clasificación de Lahr et al. (1994) mostrados en la figura 7.

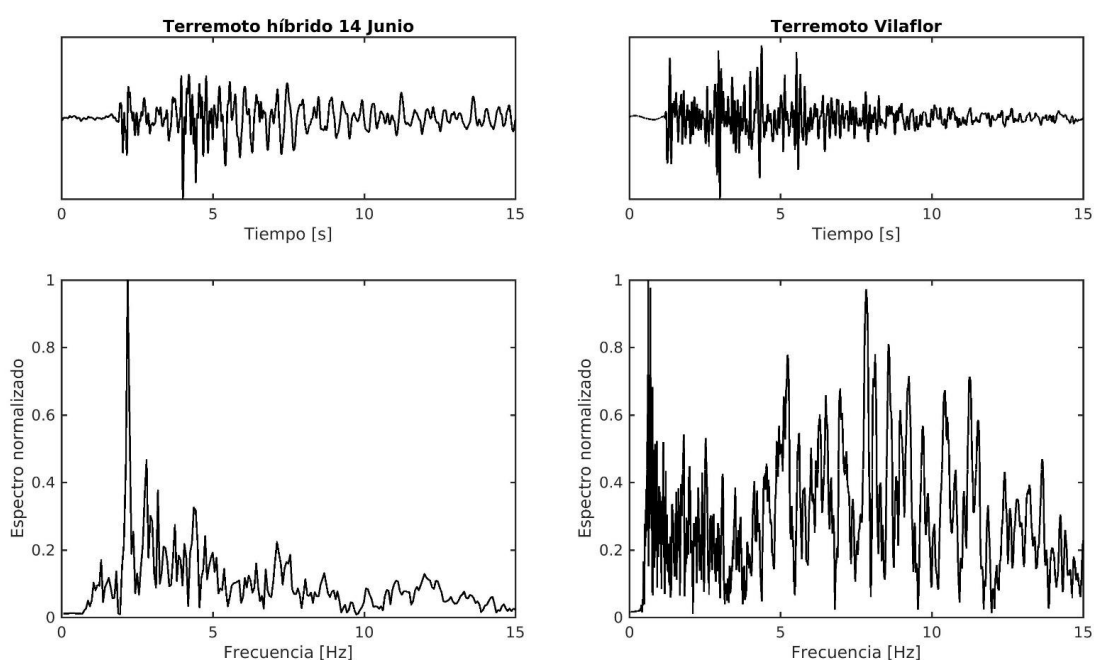


Figura 10. Formas de onda y amplitud espectral del terremoto híbrido promedio del 14 de junio de 2019 y un terremoto volcánico-tectónico VT-A de la serie de Vilaflor. Estación CCAN, componente vertical.

### 3.3 Relocalización de la serie completa

Se ha utilizado la metodología de las dobles diferencias y correlación de las formas de onda para relocalizar los eventos individuales respecto al evento promedio. Para ello se ha usado el algoritmo hypoDD (Waldhauser y Ellsworth, 2000). De esta manera es posible extraer información de la localización relativa de los terremotos y su evolución temporal. El resultado (figura 11) muestra el agrupamiento de los eventos en un volumen inferior al  $1 \text{ km}^3$ , algo esperable debido a la gran similitud de sus formas de onda y apenas se observa evolución temporal en la localización, excepto un desplazamiento de los hipocentros hacia profundidades más someras.

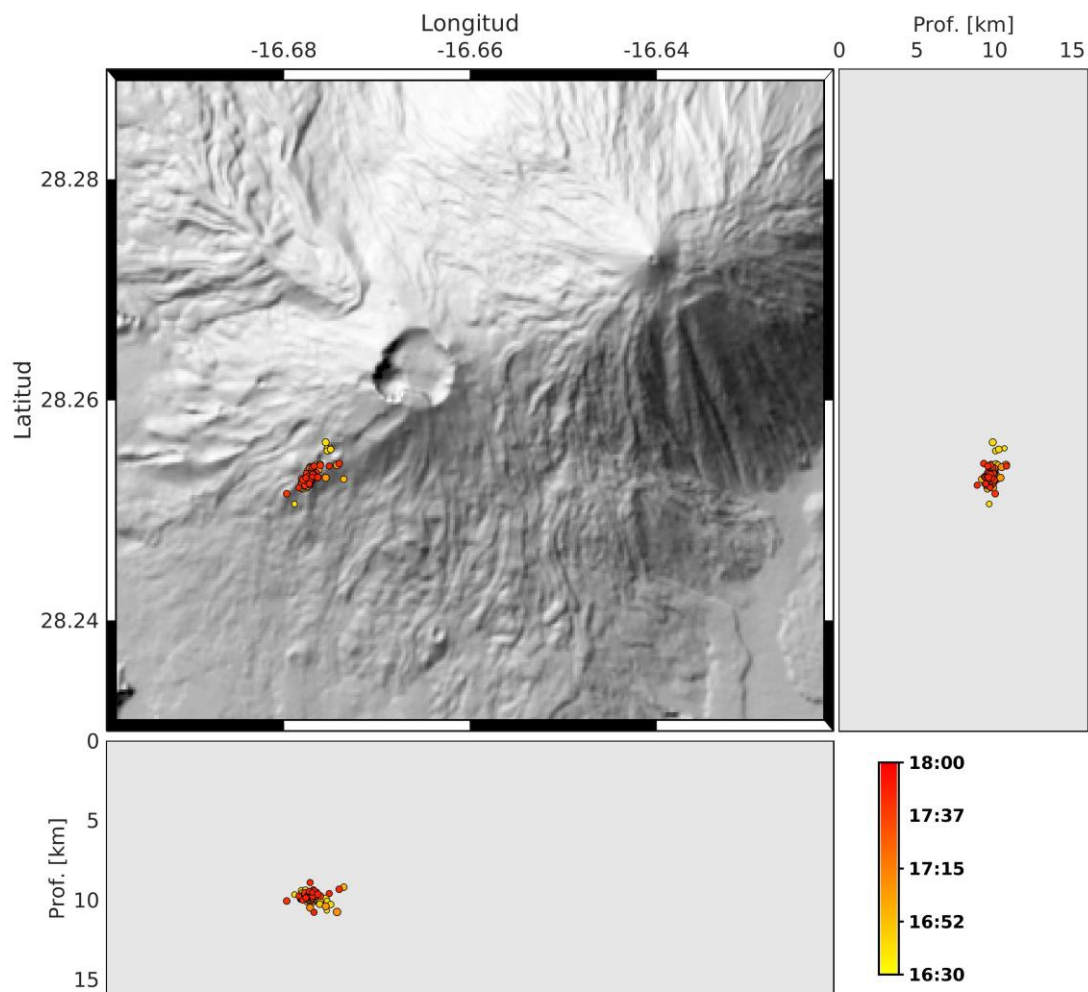


Figura 11. Relocalización relativa de la serie sísmica del 14 de junio respecto al evento promedio.

#### 4. La serie sísmica del 14 de junio en relación con la actividad sísmica de la zona en los últimos años

Para comprender el enjambre actual dentro del contexto de la sismicidad registrada durante los últimos años en la isla de Tenerife, se ha analizado la evolución del número de terremotos detectados en la estación sísmica CCAN (situada en Las Cañadas del Teide) cuya distancia epicentral es menor de 60 km y el número de eventos incluidos en el catálogo sísmico del IGN.

Según se puede ver en la figura 12a, el valor medio anual desde 2015 ronda entre los 1500 y los 2000 eventos en la zona, si bien, en el primer semestre de 2019 ya se han registrado prácticamente 1500, lo que muestra un aumento de la actividad detectada en el último año. También se puede observar un aumento en el número de eventos incluidos en el catálogo sísmico. Esta mayor completitud es consecuencia de las importantes mejoras introducidas en la Red Sísmica de Canarias desde 2016. En la actualidad, el 80% de los terremotos detectados en la estación CCAN pueden ser localizados y por lo tanto forman parte del catálogo sísmico.

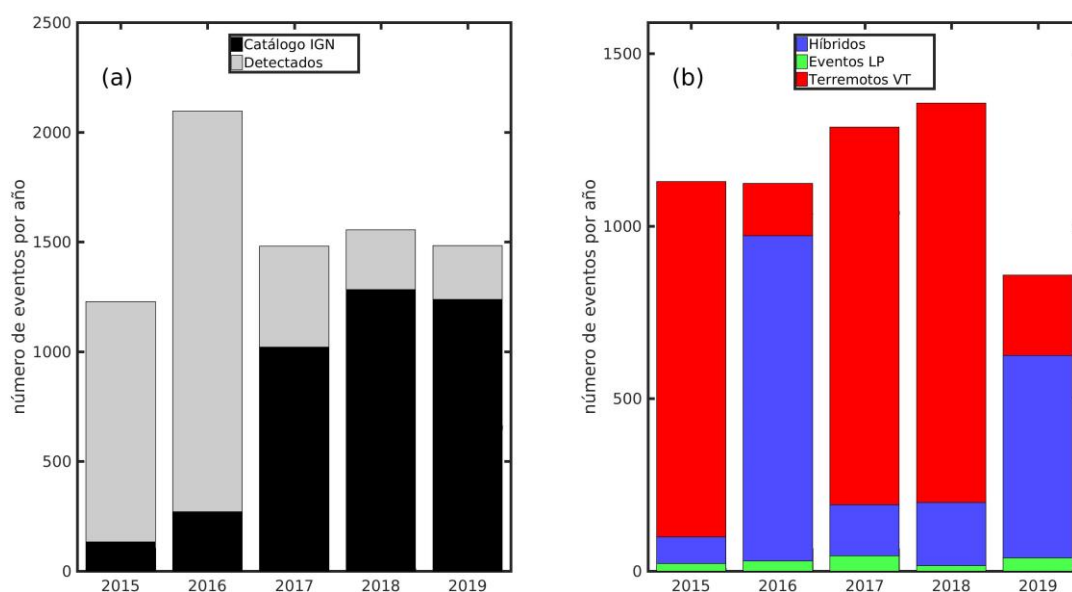


Figura 12. (a) Histograma del número de eventos anuales detectados en la estación de CCAN (gris) y número de eventos anuales localizados por el IGN (negro). (b) Histograma según el tipo de señal detectada: sismos volcano-tectónicos (VT, rojo) híbridos (azul) y de largo periodo (LP, verde). Datos desde el 1 de enero de 2015 hasta el 15 de junio de 2019.

Asimismo, se han clasificado los terremotos detectados en esa misma estación según el tipo de evento, diferenciándolos en terremotos volcano-tectónicos VT, híbridos y eventos de baja frecuencia LP (figura 12b). Como se puede observar, desde 2016 se han detectado más de 200 eventos híbridos anuales, siendo años especialmente intensos en este sentido 2016 y lo que ha transcurrido de 2019 debido a los enjambres del 2 de octubre de 2016 y 14 de junio de 2019 respectivamente. El número medio anual de eventos LP se mantiene entre 20 y 45 en los últimos cinco años.

Atendiendo únicamente al número de sismos volcano-tectónicos (VT) se ha mantenido un nivel entre 1000 y 1200 de estos terremotos anuales desde 2016, aunque, al igual que ocurre con el número total de eventos, el año 2019 tiene una proyección mayor de la media, en el caso de mantenerse el nivel de actividad actual.

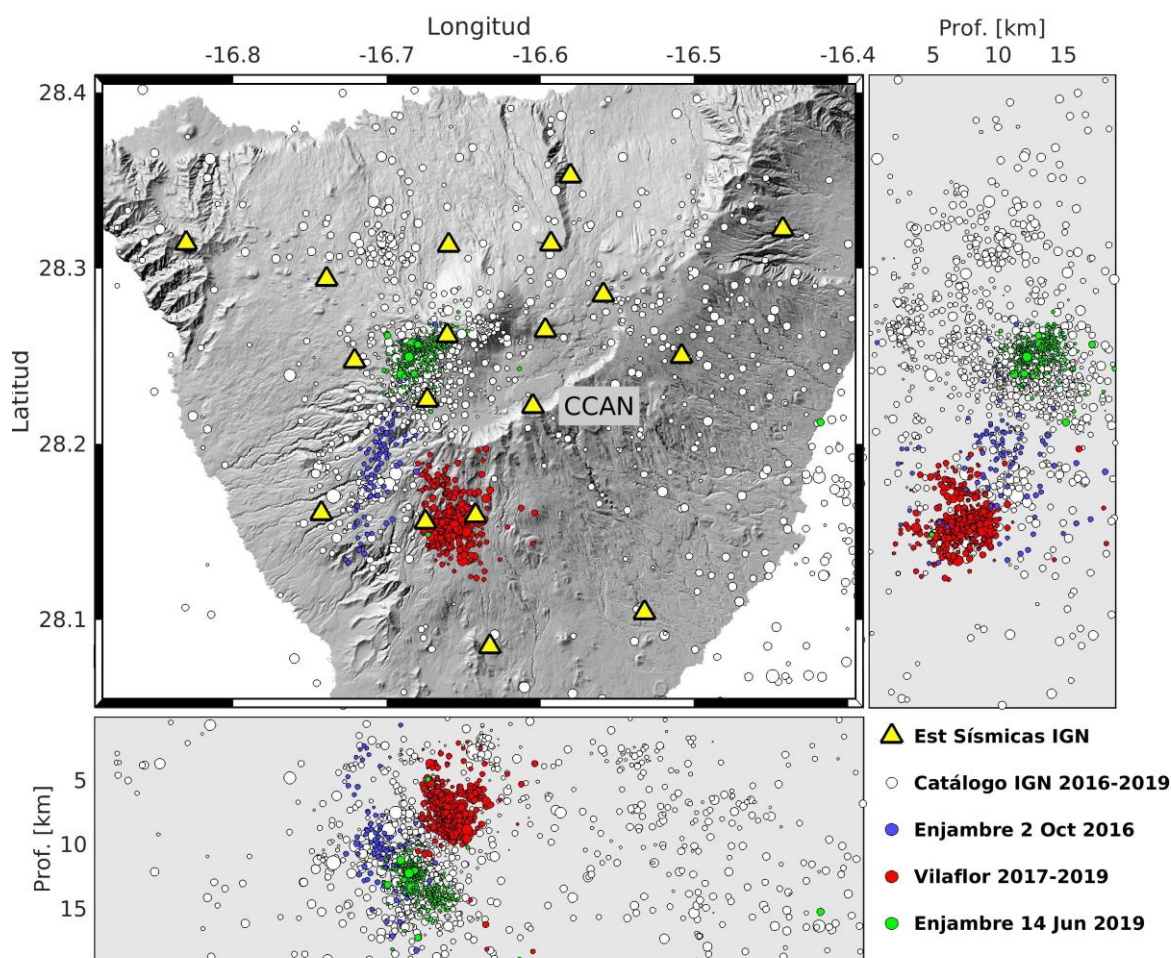
En cuanto a la localización de la sismicidad en los últimos años en el interior de la isla de Tenerife, del catálogo sísmico se deduce que la actividad se concentra principalmente en 2 zonas: la primera está situada al oeste de la caldera de Las Cañadas del Teide, a unos 8-15 km de profundidad (zona en la que ocurrió el enjambre del 14 de junio de 2019) y la segunda está situada en el entorno de la población de Vilaflor, entre 5 y 9 km de profundidad (figura 13). Aparte de estas dos zonas sismogénicas, se observa también algo de sismicidad superficial bajo el Teide y puntualmente alguna otra pequeña serie en la zona de Adeje o Icod.

En los últimos tres años, cabe destacar tres series sísmicas principales (figura 13):

- El enjambre del 2 de octubre de 2016, con más de 800 terremotos híbridos detectados (unos 100 localizados) en unas cinco horas, todos ellos con forma de onda muy similares entre sí. Las

magnitudes oscilan entre 0,2 y 0,9 (mbLg). Debido al menor número de estaciones de la red sísmica en esas fechas y las bajas magnitudes de los sismos, las localizaciones de esta serie en el catálogo tienen grandes incertidumbres y muestran una nube de hipocentros con gran dispersión, por lo que para su análisis detallado es necesario realizar un estudio semejante al que se ha realizado con la serie del 14 de junio de 2019.

- La serie de Vilaflor, formada por más de 500 terremotos puramente volcano-tectónicos que comienza en octubre de 2017 y continúa en la actualidad. Los terremotos están localizados a profundidades entre 5 y 9 km y las magnitudes varían entre 0,0 y 2,3 (mbLg).
- El enjambre de eventos híbridos del pasado 14 de junio de 2019 descrito en este informe, un total de más de 500 eventos en el transcurso de apenas dos horas.



*Figura 13. Terremotos localizados por el IGN entre el 1 de enero de 2016 y el 15 de junio de 2019. Se destaca el enjambre sísmico del 2 de octubre de 2016 (azul), la serie sísmica de Vilaflor (rojo) y el enjambre del 14 de junio de 2019 (verde). Los triángulos amarillos señalan las estaciones sísmicas del IGN en el momento actual.*

Los terremotos del tipo híbrido en la isla no se dan únicamente en forma de enjambres. Aparte de las dos series mencionadas se han localizado otros 400 terremotos de este tipo durante el periodo 2016-2019 (figura 14). La mayoría de sus epicentros se sitúan en la zona oeste de las Cañadas y a una profundidad de entre 9 y 16 km.

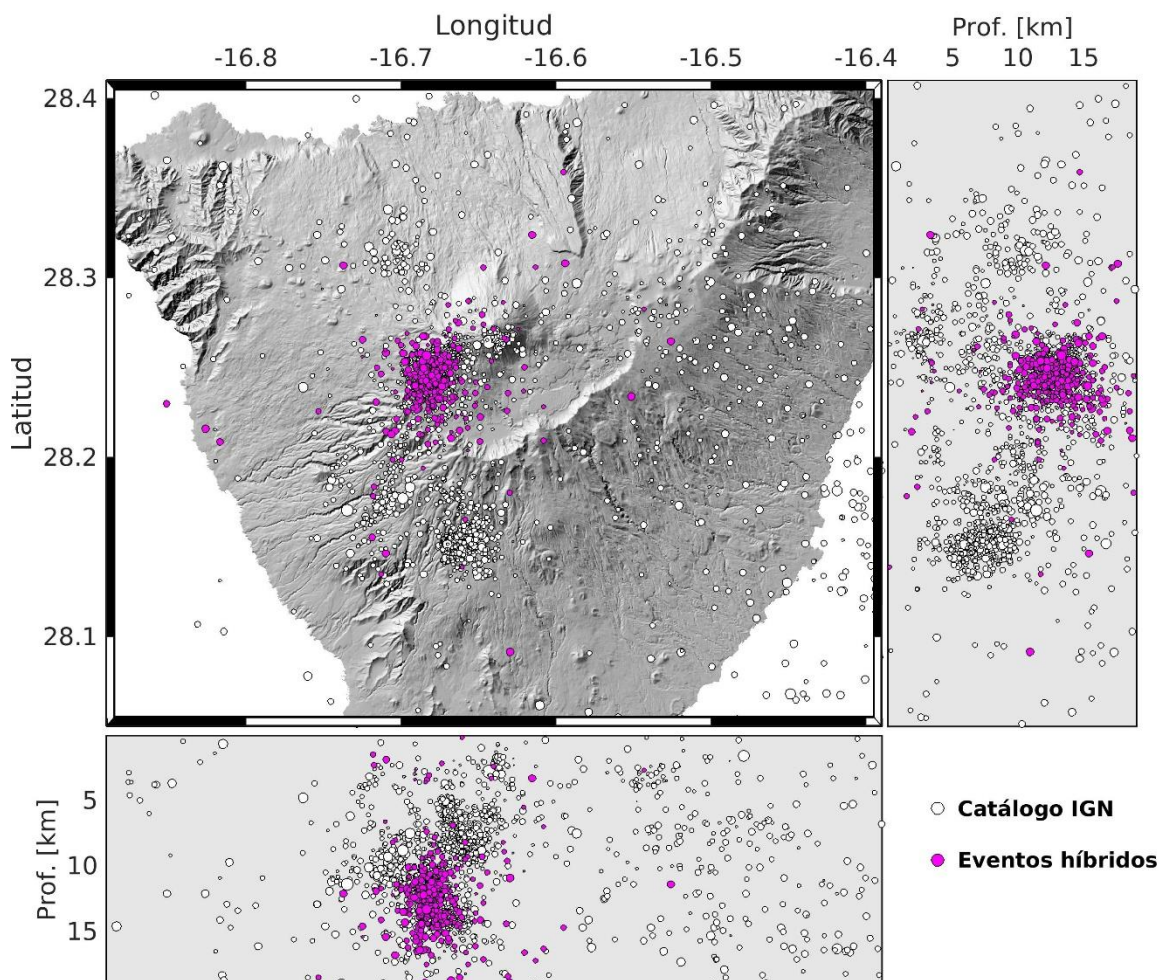


Figura 14. Mapa de la sismicidad localizada entre 2016 y 2019 destacando los eventos híbridos (en magenta) no asociados a los enjambres del 2 de octubre de 2016 y 14 de junio de 2019.

## 5. Relocalización de las tres series principales

Al igual que con el enjambre del 14 de junio se ha realizado la relocalización relativa de las otras dos series sísmicas en la isla en los últimos años, con el fin de analizar en detalle la localización y la evolución de la sismicidad. Hay que tener en cuenta que esta metodología sólo es aplicable en el caso de terremotos cuya forma de onda es muy similar, como ocurre con las tres series mencionadas, sin embargo, no es aplicable al resto de terremotos individuales del catálogo ya que no presentan entre sí una buena correlación de forma de onda.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 15a. Es de destacar que las relocalizaciones de los dos enjambres de terremotos híbridos de 2016 y 2019 se encuentran muy próximas entre sí, en la zona oeste de la caldera de Las Cañadas, a unos 9-10 km de profundidad.

Los resultados de la serie de Vilaflor muestran también un notorio agrupamiento de los epicentros y una clara alineación en profundidad. La evolución temporal (figura 15b) muestra que la serie comenzó en octubre de 2017 a 6 km de profundidad al NW del enjambre y posteriormente migró a 9 km de profundidad en la zona principal del enjambre. Durante el año 2019 la actividad ha migrado verticalmente y en la actualidad vuelve a estar en torno a 6 km.

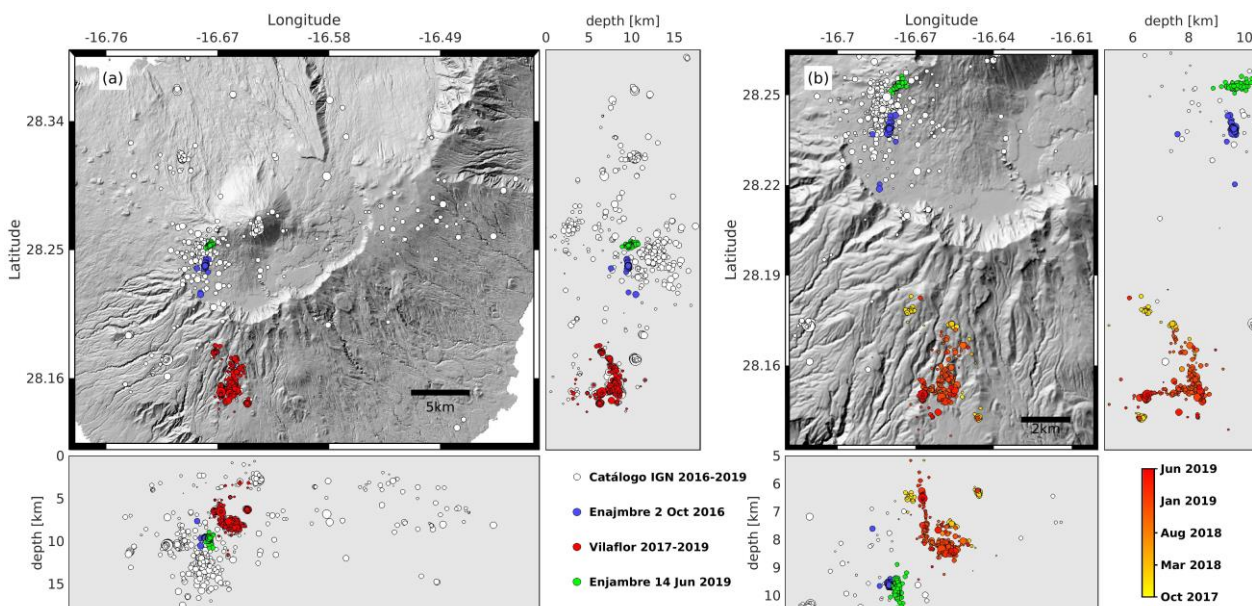


Figura 15. (a) Resultados de la relocalización de las tres series sísmicas: el 2 de octubre de 2016 (azul), Vilaflor 2017-2019 (rojo) y el 14 de junio de 2019 (verde) junto con el resto de sismicidad del catálogo en el periodo 2016-2019. (b) Detalle de la zona epicentral de las series y evolución temporal de la serie de Vilaflor 2017-2019.

## 6. Discusión y conclusiones

El enjambre sísmico del 14 de junio de 2019 está formado por una serie de numerosos terremotos de similar forma de onda y magnitud, típico de zonas con gran heterogeneidad y distribución de esfuerzos no uniformes y muy concentrados. Además, se trata de terremotos híbridos (altas y bajas frecuencias), propios de zonas volcánicas, cuyo origen puede deberse a una sobrepresión en un medio con un fluido (magma y/o gas). Una de las interpretaciones para explicar estos eventos híbridos es la existencia de fracturas unidas a un flujo de fluidos. Las características espectrales de la serie evidencian que su mecanismo focal es diferente al de terremotos volcano-tectónicos como son los de la serie ocurrida en la zona de Vilaflor.

Las relocalizaciones hipocentrales han demostrado que este enjambre es un fenómeno que se encuentra muy localizado, sin apenas evolución espacial. Su localización en términos absolutos se encuentra bajo la zona oeste de Las Cañadas del Teide y entre 9 y 10 km de profundidad, lo cual podría descartar un posible origen hidrotermal. La pequeña magnitud de los terremotos (-0.2 a 0.5 mbLg) indica que se trata de rupturas de unos pocos metros de longitud.

El enjambre del 14 de junio de 2019 tiene gran similitud con el enjambre ocurrido el 2 de octubre de 2016, tanto en localización como en magnitud y tipo de eventos. Además, la sismicidad híbrida entre 2016 y 2019 se encuentra confinada prácticamente en la misma zona de ocurrencia de estos dos enjambres. Durante todo este periodo, y desde el año 2016, la actividad de terremotos volcano-tectónicos en la isla de Tenerife ha experimentado un ligero aumento, posiblemente debido a la aparición de sismicidad de este tipo en la zona de Vilaflor.

Los antecedentes registrados en la isla de Tenerife en las campañas de microsismicidad realizadas en 1980, 1981, 1982 y 1983, ponen de manifiesto que este tipo de enjambres podrían ser recurrentes en



la zona y que la alta detectabilidad de la Red Sísmica de Canarias del IGN permite en estos momentos detectar y localizar esta actividad, relacionada sin duda con procesos en el interior de Tenerife.

La sismicidad volcano-tectónica localizada en Vilaflor durante los 2 últimos años de forma esporádica parece indicar otro fenómeno de sobrepresión recurrente. La relocalización de los eventos muestra una evolución espacial desde los 8-9 a los 6 km de profundidad, aunque la cantidad y magnitud de los eventos sugiere que no se trata de una intrusión magmática en sí, podría estar relacionado con el fenómeno producido bajo Las Cañadas del Teide.

Toda esta actividad analizada, que ya se detectó en 1980, podría indicar la existencia de magma bajo la isla de Tenerife ejerciendo presión en la parte inferior de la corteza. Este tipo de emplazamientos de magma son esperables en islas volcánicas activas y el proceso de acumulación puede durar muchos años. Finalmente, esta acumulación de magma puede quedar a esa profundidad y enfriarse o puede dar lugar a una intrusión a profundidades más someras en el futuro, proceso que podría culminar incluso con una erupción, aunque a día de hoy no hay ningún indicio que apunte que esto vaya a suceder próximamente.

## Referencias

Chouet, B. (1996). Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption Forecasting. *Nature*, **380**, 309-316.

Domínguez Cerdeña, I, del Fresno, C., y Rivera, L. (2011). New insight on the increasing seismicity during Tenerife's 2004 volcanic reactivation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **206**, 15-29.

McNutt, S.R. (1996). Seismic monitoring and eruption forecasting of volcanoes: a review of the state-of-the-art and case history. En: Scarpa, R. y Tilling, R. (1996). *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 99-146.

McNutt, S.R. (2000). Volcanic seismicity. En: Sigurdsson H. (Ed.). *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego London Sydney Tokyo, (2000), 1015-1033.

Mezcua, J, Galán, J., Rueda, J., Martínez, J.M. y Buforn, E. (1990). Sismotectónica de las Islas Canarias, estudio del terremoto del 9 de mayo de 1989 y su serie de réplicas. *Publicación técnica IGN*, **23**, 24 pp.

Minakami, T. (1974). Seismology of volcanoes in Japan. En: Civetta et al. (Eds.). *Physical volcanology. Developments in solid earth geophysics*, **6**, Elsevier Amsterdam, 1 - 27.

Lahr, J.C., Chouet, B.A., Stephens, C.D., Power J.A. y Page, R.A. (1994). Earthquake classification, location, and error analysis in a volcanic environment: implications for the magmatic system of the 1989-1990 eruptions at Redoubt volcano, Alaska. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **62**, 137-152.

Shimozuru, D. (1972). A seismological approach to the prediction of volcanic eruptions. En: *The surveillance and prediction of volcanic activity*. UNESCO Earth Sci. Monograph, **8**, 19-45.

Waldhauser F. y Ellsworth, W.L. (2000). A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 1353-1368, doi:10.1785/0120000006.





Wassermann, J. (2012). *Volcano Seismology*. En: *IASPEI New manual of seismological observatory practice 2 (NMSOP-2)*, Second, edited by Peter Bormann, 1-77, Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, DOI:10.2312/GFZ.NMSOP-2\_ch13.