



Análisis multidisciplinar del fenómeno sismo-volcánico de El Hierro (Julio 2011)



Memoria del Proyecto de Fin de Carrera
Licenciatura de Ciencias Ambientales
Septiembre, 2012.

Realizado por:

Laura Acosta Armas

Dirigido por:

Ramón Casillas Ruiz (ULL)

Albert Folch i Sancho (UAB)

Agradecimientos

En primer lugar quiero dar las gracias a mis dos tutores, el Dr. Ramón Casillas, del Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de la Laguna y el Dr. Albert Folch del Grupo de Hidrogeología del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Gracias Ramón por haber estimulado en mí durante el transcurso del Máster Universitario de Formación del Profesorado de ESO, Bachillerato, FP y Enseñanza de Idiomas el interés por una ciencia tan apasionante y prácticamente desconocida para mí, la Geología, y por haber accedido a dirigirme el proyecto de forma totalmente desinteresada. Gracias por tus aportaciones, propuestas y correcciones, que le han dado una mayor coherencia al proyecto, pero gracias sobre todo por tu paciencia y colaboración.

Albert, muchas gracias por haber accedido a tutelarme el proyecto, por confiar en la iniciativa y por todas tus aportaciones y correcciones, así como por la gran paciencia que has mostrado a lo largo de los momentos más críticos en el transcurso del proyecto.

Por otro lado, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han suministrado información y que han accedido a entrevistarse conmigo. Al personal del Cabildo de El Hierro, Verónica Montero Herrera y María del Pilar González Acosta, por haber accedido a reunirse conmigo y aportarme la información disponible. A Carmen López, Directora del Observatorio Geofísico Central del IGN, por la información proporcionada en las conferencias y por la cesión de numerosas imágenes. A Alberto Brito Hernández, catedrático de Biología Marina de la Universidad de La Laguna, por la información cedida sobre el impacto del volcán submarino de El Hierro en la biodiversidad y los recursos pesqueros. Por último, a Iñaki Cayón, presidente de la asociación de centros de buceo "Fondos de El Hierro, y a Fernando Gutiérrez, presidente de la cofradía de pescadores de La Restinga, por acceder a entrevistarse conmigo y por la información proporcionada.

Por último, quisiera mostrar aquí mi agradecimiento a la gente de mi alrededor, a mi familia y amigos, por los consejos y ánimos que me han dado, y como no, a Ramón Hernández por su capacidad para relativizar los problemas y por aguantarme en los momentos de máxima tensión.

A todos vosotros, y a quién haya podido olvidar nombrar, muchas gracias.

Laura Acosta Armas

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	3
3.	METODOLOGÍA	5
4.	ZONA DE ESTUDIO	9
4.1.	El Archipiélago Canario.....	9
4.2.	La isla de El Hierro.....	10
4.2.1.	Geología.....	10
4.2.2.	Volcanismo histórico.....	14
4.2.3.	Contexto socioambiental	15
5.	LA CRISIS SISMO-VOLCÁNICA.....	19
5.1.	Elementos precursores de la crisis	19
5.2.	Desarrollo del proceso eruptivo	26
5.3.	Finalización del proceso eruptivo.....	32
5.4.	Las “restingolitas” y otros materiales volcánicos flotantes	33
6.	ACTUACIÓN DE LOS ORGANISMOS PÚBLICOS	41
6.1.	Plan PEVOLCA	41
6.2.	Gestión de la crisis: Análisis y valoración.....	46
7.	CONSECUENCIAS	53
7.1.	Consecuencias a nivel social.....	53
7.2.	Consecuencias a nivel económico	58
7.3.	Consecuencias a nivel ambiental	64
8.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
9.	RECOMENDACIONES	75
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	77
11.	ANEXOS	81

1. INTRODUCCIÓN

Las Islas Canarias, de origen volcánico, son parte de la región natural de la Macaronesia, junto con los archipiélagos atlánticos de Azores, Madeira, Salvajes y Cabo Verde, y constituyen una de las regiones volcánicas activas más interesantes del Planeta. La principal singularidad del volcanismo canario es su prolongada actividad (más de 50 millones de años) y volumen (unos 150.000 km³), que no concuerda con los rasgos vulcano-tectónicos que corresponderían a su ubicación en un margen continental pasivo. Su estudio está ligado a los primeros pasos de la Volcanología actual, reflejados en los trabajos de grandes naturalistas del siglo XIX como Humboldt, Von Buch, Lyell, Hartung, Fritsch, etc. El desarrollo de la Volcanología a lo largo del siglo XX ha permitido continuar con la investigación en el Archipiélago Canario pero, sin embargo, hay muchos aspectos sobre su origen y volcanismo que resultan aún inciertos. Además de su interés científico, el volcanismo canario supone un riesgo potencial para los más de dos millones de personas que residen en el Archipiélago y para los turistas que la visitan. Este hecho exige mantener una vigilancia continua de la actividad volcánica, así como desarrollar medidas de prevención ante una posible crisis eruptiva.

Según la Directriz básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico aprobada por el Consejo de Ministros en Enero de 1996, “en España la única zona volcánicamente activa, a la luz de los actuales conocimientos, es el Archipiélago Canario, habiendo sufrido en los últimos cincuenta años dos crisis volcánicas”. Esta Directriz tiene por objeto el establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, que serán elaborados por las Comunidades Autónomas que lo requieran. Sin embargo, en 2004, cuando la zona del suroeste de Tenerife comenzó a registrar seísmos e, incluso, se barajó la posibilidad de una erupción en la Isla, el gobierno regional reconoció que, ocho años después de la recomendación, aún no había redactado su propio plan de emergencias. Afortunadamente la actividad sísmica anómala de 2004 remitió sin que se produjese ningún evento volcánico pero, sin embargo, sirvió para que ese plan canario de emergencias se pusiera en marcha. El Plan PEVOLCA (Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias) fue finalmente aprobado en julio de 2010, catorce años después de que se realizara la recomendación oficial desde Madrid. Un año después de la aprobación de dicho Plan surgieron los primeros indicios de una posible erupción volcánica en El Hierro, lo que supuso la activación por primera vez de dicho Plan.

El fenómeno sismo-volcánico que ha tenido lugar en la isla de El Hierro entre 2011 y 2012 ha supuesto la primera oportunidad en Canarias y en el Estado Español de realizar un seguimiento sísmico, geofísico, geológico, petrológico, geodésico y geoquímico de una crisis sismo-volcánica, gracias al avance en las últimas décadas en instrumentación y metodologías.

Tal como se indica en el Real Decreto 1476/2004 de 18 de junio, se encomienda a la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) la función de: “observación, vigilancia y comunicación de la actividad volcánica en el territorio nacional y determinación de los riesgos asociados”. Por lo tanto, el IGN ha sido el encargado de adquirir y analizar la información sísmica, geofísica, geoquímica y geodésica durante todo el proceso, y ha participado en la gestión de la crisis junto al comité de emergencia del gobierno regional. Los avances en instrumentación y la aplicación del Plan PEVOLCA han permitido también por primera vez realizar una gestión íntegra de una crisis sismo-volcánica gracias al análisis e interpretación de la información obtenida. Además, al tratarse de la primera erupción volcánica submarina que se detecta y observa en Canarias, el fenómeno ha sido de un gran interés, tanto para científicos del campo de la geología como de la biología.

La erupción submarina acontecida frente a las costas de La Restinga la ha convertido en la segunda erupción histórica más longeva y la segunda que mayor volumen ha emitido, después de la erupción del Timanfaya en Lanzarote (1730-1736). Si bien la mayoría de las erupciones volcánicas en Canarias se asocian principalmente a un volcanismo basáltico efusivo, caracterizado por su baja peligrosidad, el proceso sismo-volcánico que ha tenido lugar en el Hierro ha tenido una gran repercusión a nivel socioeconómico, pues dos de los pilares que sustentan la economía de la Isla se han visto afectados. Por un lado, las medidas de protección civil adoptadas por el Plan PEVOLCA y la desconfianza que reflejó el fenómeno sismo-volcánico en el exterior de la Isla, han afectado de lleno a la actividad turística y, por otro, la actividad pesquera se ha visto paralizada desde el inicio de la erupción hasta la actualidad. Asimismo, dada la localización del foco eruptivo, son destacables las consecuencias ambientales que se han originado en la Reserva Marina de Punta La Restinga-Mar de Las Calmas, uno de los litorales mejor conservados del Archipiélago Canario. Actualmente toda la información recabada está siendo ampliamente analizada y permitirá profundizar en el conocimiento de la volcanología de Canarias y mejorar la gestión de las futuras crisis volcánicas que se sucedan.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La escasa vulcanidad en el siglo XX, el largo periodo de inactividad y los pocos daños producidos por las últimas erupciones en el Archipiélago Canario, han frenado las demandas científicas y sociales para implantar una adecuada vigilancia del volcanismo canario. Estos hechos han propiciado que hasta el 2010 no se crease el Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) ni se aprobase el Plan PEVOLCA, ambos elementos necesarios e imprescindibles para realizar una correcta vigilancia de la actividad volcánica, así como para desarrollar las medidas de prevención adecuadas ante una posible crisis eruptiva.

La última erupción registrada en el Archipiélago Canario tuvo lugar en 1971, en la isla de La Palma. Dado que en esos momentos no se contaba con los suficientes instrumentos y avances con los que se cuenta hoy en día, el episodio que ha tenido lugar en la Isla de El Hierro ha permitido realizar por primera vez un seguimiento íntegro de la actividad precursora, así como del registro de la señal del tremor armónico, que ha dado por primera vez en Canarias información registrada del inicio, evolución y final de una erupción. La gestión de la crisis sismo-volcánica ha puesto de manifiesto que actualmente se dispone de una infraestructura técnica y humana adecuada para detectar y prevenir erupciones futuras en Canarias pero, sin embargo, también ha quedado patente la falta de coordinación y previsión en la gestión de una crisis de estas características. Aunque las erupciones en Canarias varían significativamente unas entre otras, un análisis metódico y detallado de la información recogida de este episodio resultará útil para la reelaboración del Plan PEVOLCA y, asimismo, sería conveniente alcanzar una mayor integración de los recursos humanos y técnicos destinados a la gestión científica del riesgo volcánico en España por parte de la Administración General del Estado, de la Comunidad Autónoma de Canarias y de los Cabildos Insulares.

❖ **Objetivo general**

Con este proyecto se pretende sintetizar todo el proceso sismo-volcánico que se ha desarrollado en la Isla de El Hierro, para destacar aquellos aspectos que permitirán contribuir en el conocimiento de la volcanología de Canarias y en la mejora de las futuras crisis similares que tengan lugar en el Archipiélago. Con este objetivo, se realizará un análisis multidisciplinar de los principales elementos que han estado involucrados en el fenómeno sismo-volcánico de El Hierro de 2011-2012 y sus repercusiones.

❖ **Objetivos específicos**

- Describir la crisis sismo-volcánica y el contexto ambiental y socioeconómico en el que se produce.
- Analizar la gestión de la crisis sismo-volcánica.
- Analizar las repercusiones sociales, económicas y ambientales como consecuencia de la crisis sismo-volcánica.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se ha seguido para la realización del presente proyecto se muestra en la figura 1.

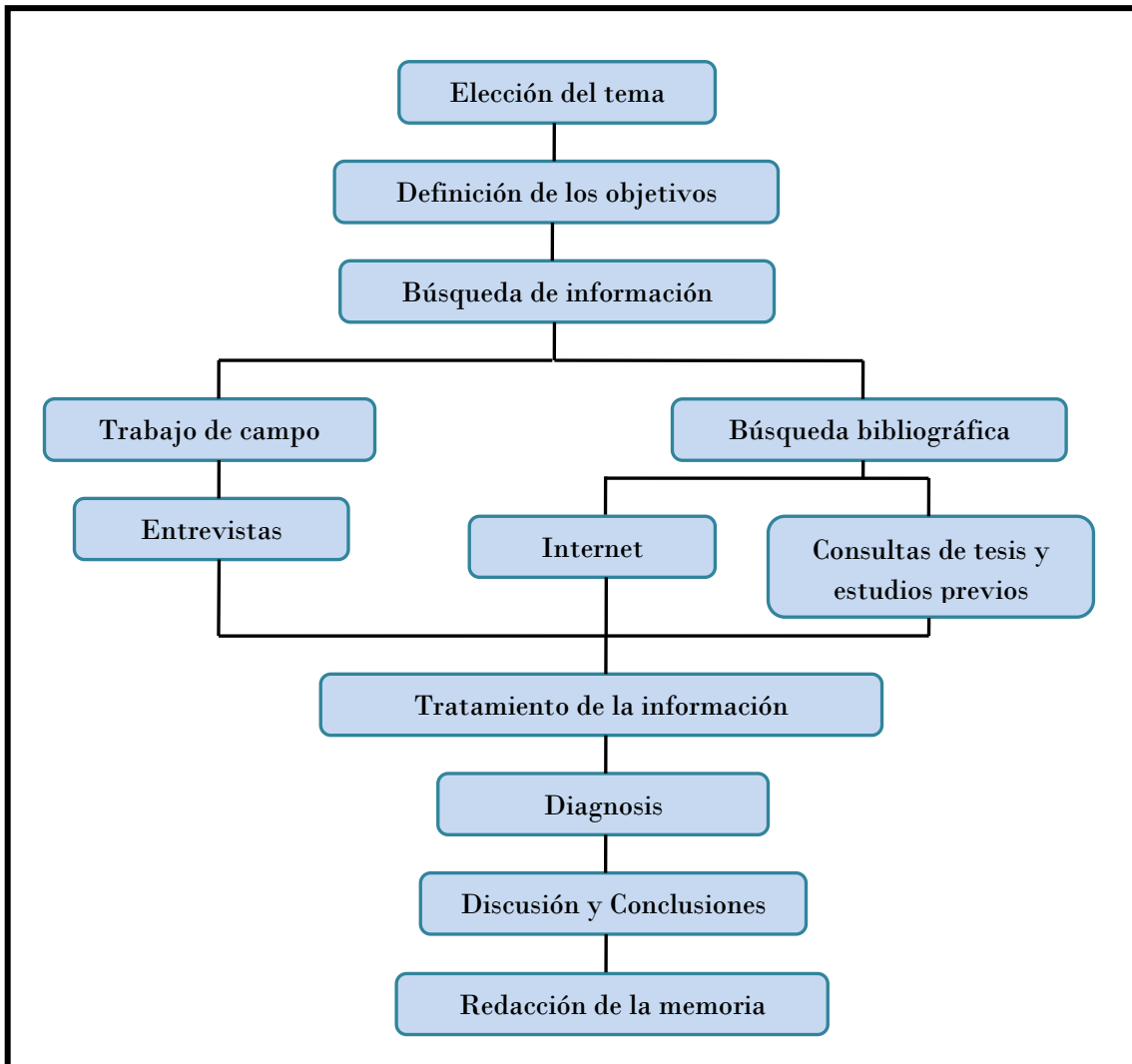


Figura 1: Organigrama de la metodología seguida en este estudio. (Elaboración propia)

La realización de este proyecto se ha basado prácticamente en el tratamiento de la información obtenida a través de diferentes fuentes. Tras haber definido los objetivos del mismo se ha procedido a la búsqueda de información, etapa que se ha visto dificultada por la gran cantidad de información disponible, muchas veces contradictoria, y por la escasez de informes socioeconómicos que se han elaborado al respecto por parte de los Organismos públicos de la isla de El Hierro. Ante estas dificultades, la búsqueda de información se ha concretado en dos aspectos:

1. Búsqueda bibliográfica

- 1.1. Internet: Consulta de páginas web elaboradas por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), por el Gobierno de Canarias y por el ISTAC (Instituto Canario de Estadística). También se han consultado recursos de instituciones volcanológicas de Canarias y diversas páginas web de prensa.
- 1.2. Tesis y estudios previos: Consulta de documentos imprescindibles para elaborar los antecedentes y valorar así el conocimiento sobre la geología de las Islas Canarias, y concretamente de la Isla de El Hierro. También se ha consultado la Legislación vigente sobre el riesgo volcánico y estudios sobre el mismo en el Archipiélago Canario.

2. Trabajo de campo

Se han realizado entrevistas a diversos especialistas de las disciplinas de Geología y de Biología, y al personal que ha estado directamente afectado por este fenómeno:

- Verónica Montero Herrera, Consejera de Turismo, Transportes y Comunicaciones del Cabildo de El Hierro.
- Fernando Gutiérrez, presidente de la cofradía de pescadores de La Restinga.
- Iñaki Cayón, presidente de la asociación de centros de buceo “Fondos de El Hierro”.
- Alberto Brito Hernández, catedrático de Biología Marina de la Universidad de La Laguna.
- Ramón Casillas Ruiz, profesor titular de Petrología y Geoquímica del Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna

También se ha acudido a diversas charlas y cursos que se han realizado a lo largo de 2011-2012 sobre la temática relacionada:

- “La crisis sismo-volcánica de El Hierro: Presente, Pasado y Futuro”. Puerto de la Cruz, Tenerife. Fecha: 30 de septiembre de 2011.
- “Aprende todo sobre nuestros volcanes”. Centro Cultural el Mocanal, El Hierro. Fecha: 16,17 y 18 de Marzo, 24 y 25 de Marzo, 31 y 1 de Abril de 2012. (http://www.cobcan.es/index.php?option=com_content&view=article&id=485%3Aaprende-todo-sobre-nuestros-volcanes&catid=1%3Alatest-news&Itemid=58&lang=es)
- “Erupción volcánica de El Hierro: vigilancia y análisis del Instituto Geográfico Nacional. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Fecha: 23 de Mayo de 2012. (<http://acceda.ulpgc.es/handle/10553/7461>)
- “Canarias. Tierra de volcanes”. ExConvento de Santo Domingo, La Laguna. Fecha: 21 a 25 de Mayo de 2012. (http://www.aaaauill.es/images/stories/programa_volcanes.pdf)

Una vez obtenida toda la información se ha procedido al tratamiento de ésta para organizarla en los diferentes apartados de los que consta el proyecto.

- Zona de estudio: Descripción de los aspectos geológicos y socioeconómicos de la Isla de El Hierro.
- La crisis sismo-volcánica: Descripción de los aspectos geológicos involucrados en la crisis sismo-volcánica. Primero se describen los elementos precursores de la crisis que hacían prever una erupción para a continuación describir y analizar el fenómeno eruptivo que tuvo lugar en el entorno submarino de la isla. Posteriormente se describe la finalización de la erupción submarina y se dedica un subapartado a las “restingolitas” y los diferentes materiales volcánicos arrojados por el volcán, debido a la gran polémica que se ha generado en torno a éstos.
- Actuaciones de los organismos públicos: Inicialmente se detalla la legislación vigente en torno al riesgo volcánico en el Archipiélago. A continuación se analiza la gestión de la crisis, principalmente por el Comité del PLAN PEVOLCA.
- Consecuencias: Descripción y valoración de las consecuencias sociales, económicas y ambientales que, como resultado del fenómeno sismo-volcánico, han tenido lugar en la Isla.

Tras analizar todos los aspectos involucrados en la crisis sismo-volcánica de la isla de El Hierro se procede a analizar sus repercusiones a nivel ambiental y social para posteriormente obtener unas conclusiones y proponer una serie de recomendaciones.

4. ZONA DE ESTUDIO

4.1. El Archipiélago Canario

El Archipiélago Canario, situado entre 100-500 km de la costa africana, está formado por siete islas alineadas en dirección OSO a ENE, frente al cabo Juby africano. Se asienta sobre Corteza oceánica de edad jurásica, formada en las etapas iniciales de apertura del Atlántico, una de las más antiguas existentes en las cuencas oceánicas del Planeta (150-180 millones de años), por lo que se trata de una corteza gruesa, rígida y fría. El origen de las islas es volcánico y la mayoría de los autores aceptan que comenzaron a formarse hace al menos 70 millones de años. Existe una progresión general de edades de emersión de las Islas en dirección E-O, tal como se puede observar en la figura 2, por lo que las islas occidentales emergieron más recientemente.

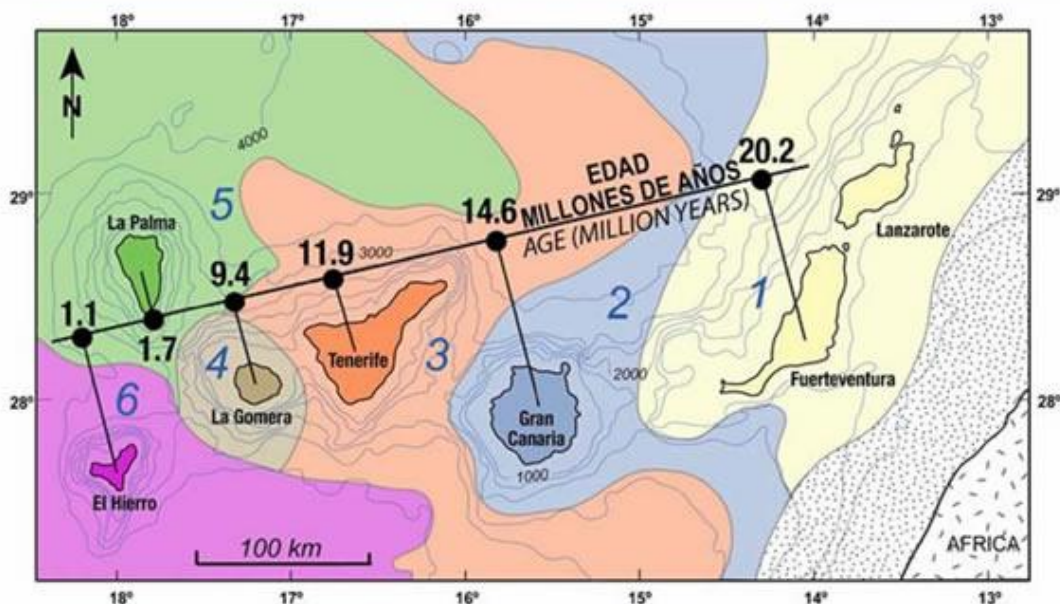


Figura 2: Edades del vulcanismo subaéreo (Guillou et al., 2004, tomado de Carracedo, 2008).

El origen de las Islas Canarias es todavía un tema de controversia en la actualidad. Desde las primeras teorías, que postulaban el desgajamiento de un trozo de continente (Wegener, 1915), hasta las teorías actuales: Teoría del punto caliente (Morgan, 1971), Teoría de la fractura propagante (Anguita y Hernán, 1975), Teoría de los bloques levantados (Araña y Ortiz, 1991) y Teoría sintética (Anguita y Hernán, 2000), todavía no hay una teoría, aceptada por toda la Comunidad científica, que explique correctamente todos los datos y observaciones que actualmente existen sobre el Archipiélago Canario. Un modelo recientemente propuesto por King (2007), "convección de borde inducida", puede ser aplicado para explicar el origen de las

Islas Canarias. Según este modelo, las corrientes de convección inducidas en los bordes continentales por la diferente temperatura de la Litosfera bajo zonas cratónicas (frías) y la Astenosfera bajo los océanos (caliente), explicarían la persistencia del volcanismo a lo largo de todo el Archipiélago Canario. Este modelo soluciona algunos de los inconvenientes de la Teoría del punto caliente para la formación de las Islas Canarias (figura 3) pero, no obstante, existen otros muchos obstáculos, por lo que la explicación del origen del Archipiélago Canario sigue siendo una incógnita.

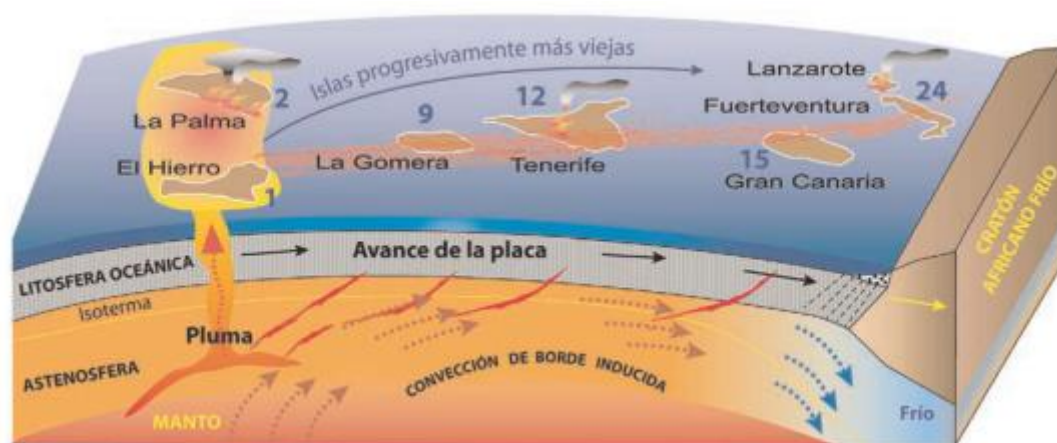


Figura 3: Modelo de convección de borde inducida y punto caliente (King, 2007).
(Fuente: Carracedo, 2010, modificada de King 2007).

4.2. La isla de El Hierro

4.2.1. Geología

La isla de El Hierro es la más distante de África y la más occidental del Archipiélago Canario. Es la isla más joven y más pequeña, con unos 287 km² de superficie y cuyas rocas subaéreas más antiguas se fechan hace 1,12 millones de años (Guillou et al., 1996).

El edificio insular de El Hierro se asienta sobre un fondo oceánico de 3500-4000 m de profundidad y crece hasta los 1500 metros sobre el nivel del mar. La base de la isla tiene un contorno aproximadamente circular, de unos 90 km de diámetro, aunque los flancos submarinos de la isla, entre 0 y 2500 m de profundidad, presentan una planta claramente triangular, en forma de tetraedro, debido a la existencia de tres rift (NO, NE y S), que forman las aristas del tetraedro, y a deslizamientos gigantes, que han socavado sus lados (figura 4). Los tres rifts se prolongan en el mar, abriéndose en abanico a causa de un menor control en la concentración de los diques y centros eruptivos en las zonas distales de estas estructuras. El rift sur se prolonga aún más y se curva hacia el oeste (Carracedo, 2011).

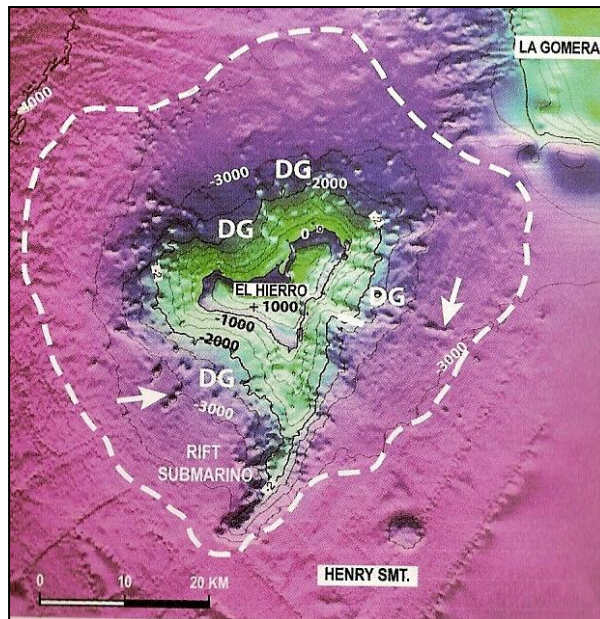


Figura 4: Imagen 3-D de la batimetría y topografía de El Hierro (Fuente: Masson et al., 2002). Las fechas muestran volcanes submarinos. DG: deslizamientos gravitacionales.

El edificio subaéreo de la isla comenzó a construirse aproximadamente hace 1,12 Ma, y representa solamente un 10% del total del edificio insular. Su elevación máxima es de 1500 metros sobre el nivel del mar, por lo que la altura total del edificio insular es de 5000 metros. Los rifts y los deslizamientos gravitacionales han actuado de forma conjunta para levantar una isla en forma de pirámide triangular, con las aristas (dorsales) formadas por los rifts, y depresiones calderiformes originadas por deslizamientos gravitacionales masivos (Figura 5).

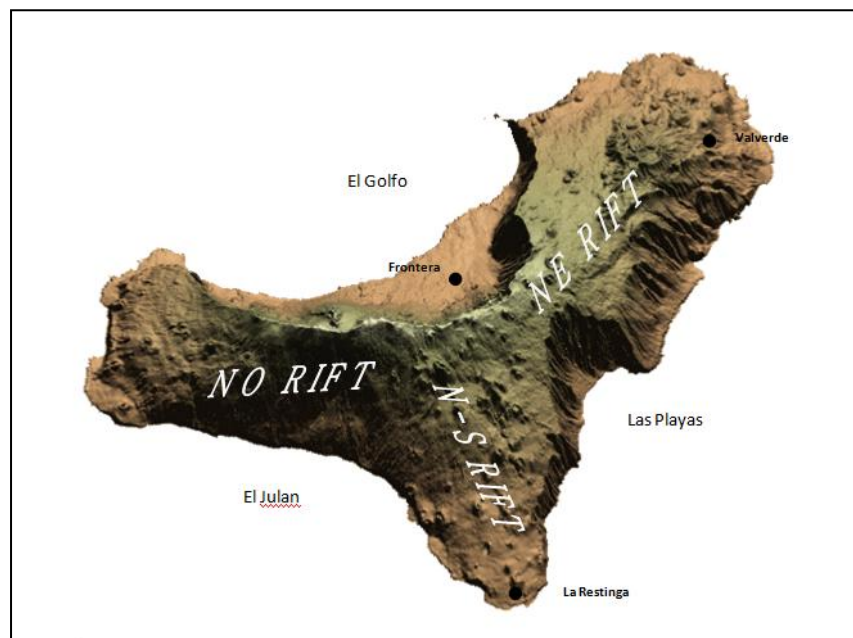


Figura 5: Imagen donde se observan claramente diferenciados las 3 dorsales y las 3 depresiones calderiformes originadas por los deslizamientos gravitacionales: El Julan, Las Playas y El Golfo. Imagen de GRAFCAN.

El edificio aéreo de la isla de El Hierro se construye a partir de 4 episodios o fases de vulcanismo (Carracedo, 2008):

- **Primera fase volcánica:**

El primer edificio volcánico en formarse fue el “Volcán Tiñor”, hace 1,1 Ma. El edificio creció y amplió su base hasta hace 0,8 Ma, culminando con erupciones explosivas que formaron el grupo volcánico del Ventejís. Inmediatamente después, el flanco NO se desplomó, generando una amplia depresión de colapso calderiforme, no visible actualmente debido a que las nuevas fases del vulcanismo la rellenaron posteriormente (Figura 6).

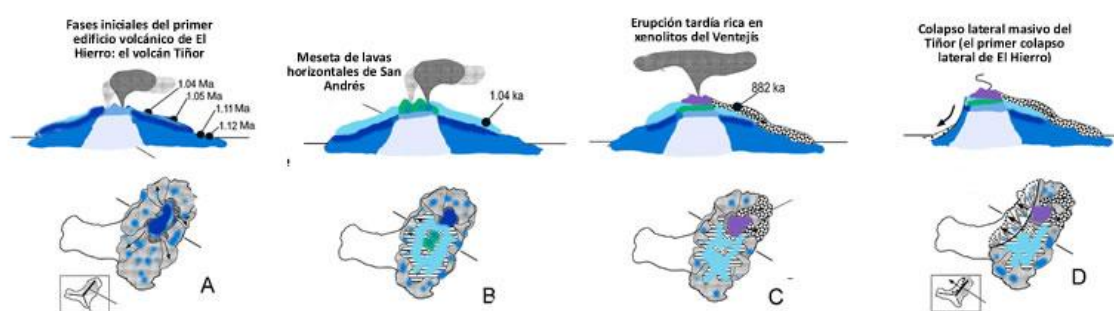


Figura 6: Formación del primer edificio volcánico de El Hierro. (Fuente: Carracedo et al., 2001)

- **Segunda fase volcánica:**

Un nuevo edificio volcánico, el “Volcán El Golfo”, creció anidado a la cuenta de deslizamiento del anterior (Tiñor), recubriendo parte del anterior edificio y rellenando la depresión. Esta fase tuvo lugar hace 600.000 años, hasta hace 176.000 años. Principalmente predominaron coladas basálticas que culminaron con una fase terminal de coladas de traquitas (Figura 7).

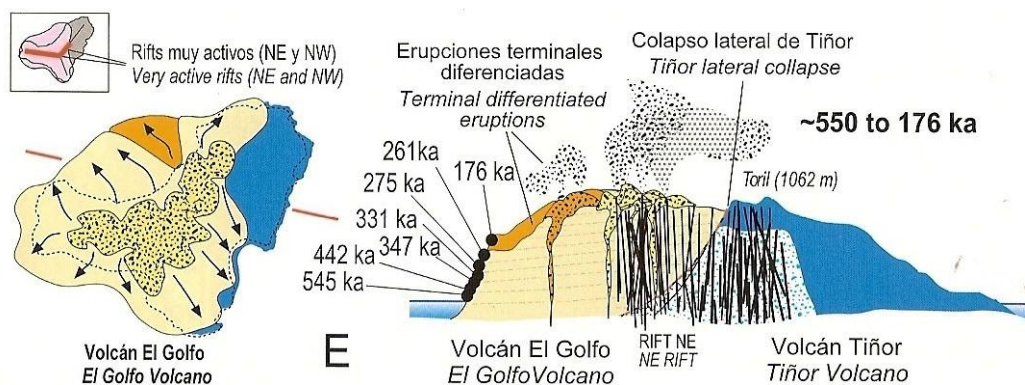


Figura 7: Formación del segundo edificio volcánico: El Golfo (Fuente: Carracedo et al., 2001).

- **Tercera fase volcánica:**

Fase denominada “Erupciones de los Rift”, pues el volcanismo se localiza en los tres rifts, generándose erupciones fisurales de naturaleza basáltica que recubren casi toda la isla entre hace 176 ka y 134 ka. También se producen varios colapsos laterales: El Julan (al suroeste, hace unos 158 ka), el de El Golfo (al norte, entre 130 y 21ka) y el colapso incompleto del sureste (Las Playas/San Andrés) (Figura 8).

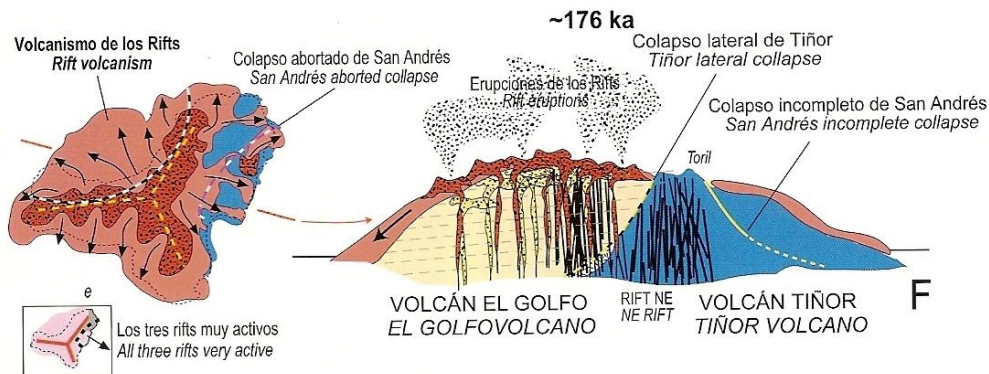


Figura 8: Erupciones de los rifts. (Fuente: Carracedo et al., 2001)

- **Cuarta fase volcánica:**

Erupciones que rellenaron la depresión originada en el último colapso lateral de El Golfo, con los centros volcánicos situados en el interior y el propio escarpe de la depresión (entre 21 y 2,5 ka). Las erupciones más recientes parecen localizarse en el Volcán Tanganasoga (en el Golfo, entre hace 7-12 ka), en la Montaña Chamuscada (norte de San Andrés, hace 2500 años) y en Lomo Negro (sureste de la Isla, en 1793) (Figura 9).

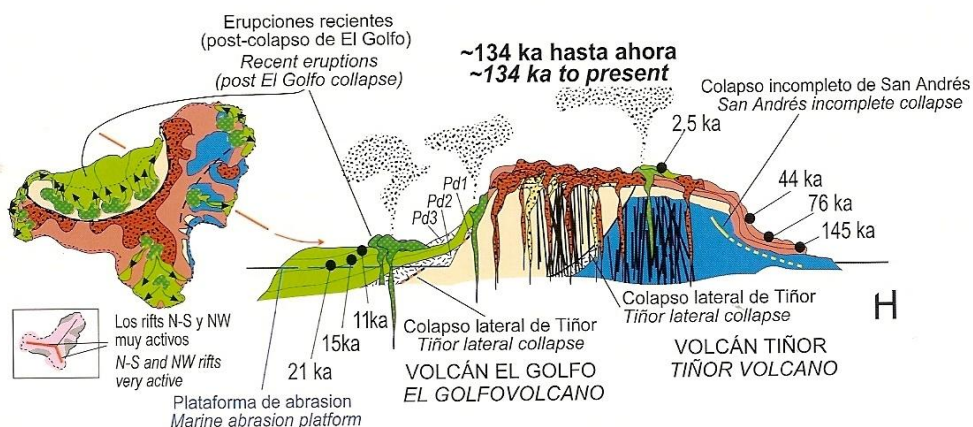


Figura 9: Actividad de los rifts N-S y N-W (Fuente: Carracedo et al., 2001).

Todas estas fases volcánicas han configurado el actual mapa geológico de la isla de El Hierro (ver Anexo 1).

4.2.2. Volcanismo histórico.

En Canarias se habla de erupciones históricas para hacer referencia a aquellas erupciones que tuvieron lugar durante los últimos 500 años, pues la conquista de las islas en el siglo XV por parte de los europeos permitió dejar constancia de éstas con pruebas y descripciones documentales, ya que la población aborigen anterior a la conquista no poseía un lenguaje escrito. Según la Doctora D. Carmen Romero Ruiz¹, existen pruebas de erupciones históricas en la Isla de El Hierro, previas y posteriores a la conquista: una erupción prehispánica recopilada por un escribano de Tenerife y 3 erupciones históricas en los años 1670, 1677 y 1692.

La erupción de Lomo Negro en 1793 no está reconocida por toda la Comunidad Científica. Ese año la isla fue sacudida durante varios meses por terremotos de considerable magnitud y las autoridades llegaron a plantear la evacuación total de la Isla pero, posteriormente, los movimientos cesaron repentinamente, y no se detectaron evidencias de una erupción. Hernández Pacheco estudió la erupción de Lomo Negro (Hernández Pacheco, 1982), llegando a la conclusión de que ésta erupción podría corresponderse a la crisis sísmica de 1793. Las dataciones de ¹⁴C realizadas sobre restos vegetales calcinados, la ausencia de vestigios de actividad aborigen (“concheros”) presentes en el malpaís más antiguo y un escaso desarrollo de la vegetación de líquenes parecen corroborar la edad de la erupción en el periodo hispánico y, por tanto, parecen avalar el hecho de que el campo de lavas negras del Lomo Negro podría haberse formado como consecuencia de una erupción volcánica acaecida en 1793. No obstante, trabajos recientes sobre la evolución morfométrica de erupciones holocenas en El Hierro (Rodríguez-Gonzalez et al., 2011) han puesto de manifiesto que el grado de erosión marina de estas lavas de Lomo Negro es similar al de las lavas de los volcanes adyacentes en ese área, por lo que hay autores (Pérez-Torrado et al., 2012) que consideran que la crisis sísmica de 1793 pudo haber desencadenado en una erupción submarina.

Hay que tener presente que sendos incendios, en julio de 1899 y mediados del siglo XVIII, destruyeron totalmente los libros capitulares del ayuntamiento de Valverde, destruyendo el archivo que se había creado desde 1553, por lo que se perdieron importantes documentos sobre la historia de la isla de El Hierro que podrían haber sacado a la luz nuevas informaciones sobre las erupciones históricas acontecidas en la Isla.

¹ Carmen Romero Ruiz, Geógrafa, Comunicación personal.

4.2.3. Contexto socioambiental

La isla de El Hierro tiene una población de 10.995 habitantes (ISTAC, 2011) y consta de tres municipios, que por orden de mayor a menor población son: Valverde, Frontera y El Pinar.

Desde 1997 el Cabildo de El Hierro inició un ambicioso proyecto de sostenibilidad, de común acuerdo con todos los agentes e instituciones sociales, y cuyos fundamentos básicos se recogen en la Agenda 21 de la Conferencia de Río de Janeiro. Desde ese momento la isla ha creado un modelo de desarrollo para integrar la economía de la isla con la conservación del medio ambiente, impulsando para ello varios proyectos, entre los que destaca: Plan Insular de Residuos, Plan Hidrológico Insular, el Turismo Rural, la Agricultura y Ganadería Ecológica, el proyecto 100% Energías Renovables...etc. A finales de año también aspira a formar parte de la red mundial de Geoparques dependientes de la Unesco, de la que ya forman parte más de 85 territorios.

Posteriormente la isla fue declarada como reserva de la Biosfera el 22 de enero de 2000, por su gran biodiversidad, por el magnífico estado de conservación de sus espacios naturales y por la supervivencia de las labores tradiciones (agricultura, ganadería y pesca) sin perjudicar la preservación de su entorno natural. La riqueza de su espacio natural y cultura hace que el 60 % de su territorio esté protegido por ley. Esta protección territorial no se limita exclusivamente al medio terrestre, pues gracias a la iniciativa de los pescadores de la isla se creó en 1996 la Reserva Marina de Punta La Restinga-Mar de Las Calmas como zona de cría y alivinado, orientada a la conservación de la diversidad de especies de interés pesquero y al mantenimiento de uno de los fondos marinos de mayor valor del Archipiélago.

La biota marina de El Hierro es la de características más tropicales de Canarias, debido a las particularidades oceanográficas de la Isla. Muchas especies migratorias tropicales, como túnidos, mantas, el tiburón ballena o el rorcual tropical entran en aguas canarias desde el suroeste, y es con frecuencia en El Hierro donde primero se localizan. Además, también se pueden observar a menudo tortugas marinas y delfines, y es uno de los pocos lugares del mundo donde se conoce la existencia de poblaciones residentes de zifios (especies de cetáceos de buceo profundo). La propia geomorfología de la isla, todavía poco desgastada por la erosión, permite que las grandes profundidades se encuentren muy cerca de la costa, de forma que existe una gran interacción de las comunidades biológicas oceánicas (de aguas abiertas y profundas) con el ecosistema litoral. En sus fondos existe una gran variedad de hábitats, incluyendo tipos protegidos por la directiva Europea Hábitat, tales como cuevas submarinas y plataformas volcánicas. La variabilidad en el biotopo, y la buena conservación del medio, favorecen la existencia de comunidades ricas y con una presencia destacada de grandes depredadores, normalmente diezmos en otras áreas menos conservadas del Archipiélago. En la Reserva Marina los fondos son rocosos y abruptos, con veriles, cuevas, túneles y bajones. La cobertura vegetal, que puede llegar hasta los 70 metros de profundidad,

es densa, predominando las algas calcáreas y pardas. La abundante fauna de invertebrados se reparte entre el fondo y las oquedades, que albergan a langostas, corales negros y amarillos, camarones, anémonas y esponjas entre otras. La comunidad de especies de fondo costeros es muy rica y variada. Abundan las viejas o pez loro, cabrillas, gallos, meros, abades y diferentes especies de morenas, de importancia pesquera. Otras especies, como el bonito, el rabil, el peto, el paturo y el barrilote, dan lugar a la pesquería más importante de la zona en primavera y verano. Por otro lado, la reserva también alberga especies protegidas como el tamboril espinoso y la langosta herreña.

Hasta la década de los ochenta la economía herreña estuvo vinculada exclusivamente al sector primario. Las actividades agrícolas y ganaderas, en primer lugar, y las pesqueras, en segundo término, han sido sus principales ocupaciones productivas; hasta que a finales del siglo anterior entraron en declive y han sido sustituidas por el sector terciario, en la actualidad dominante en su estructura económica, aunque con una escasa participación del turismo y con un peso destacado de la administración y el comercio.

El sector ganadero está orientado a la producción del queso herreño con denominación de origen, elaborado con la mezcla de leche de cabra, oveja y vaca, y que se exporta al resto del Archipiélago. La agricultura está basada en los cultivos extensivos del plátano y la piña tropical, exportándose éstos a mercados nacionales e internacionales. También se cultiva la uva, el aguacate, la papaya, cítricos, melocotones, albaricoques, higos pasados y almendras. Los agricultores se han unido en una cooperativa, que se encarga de comercializar sus productos fuera de la isla, rentabilizando al máximo sus inversiones y buscando vías de penetración en nuevos mercados. La pesca local, de carácter artesanal, está centralizada en La Restinga. Tradicionalmente, la especie más importante ha sido el bonito listado, pero en la actualidad esta pesca ha disminuido y ha aumentado la de otro túnidos. También es importante la pesca de recursos demersales, como la vieja, la cabrilla o las morenas.

La nula intervención del turismo hasta periodos recientes en la economía herreña se explica por la escasez de comunicaciones, tanto internas como externas, y por la ínfima oferta alojativa, comercial y de equipamiento para el ocio, junto a las escasas condiciones morfológicas de su litoral para ofertar el producto (sol y playa) dominante en el sector. Actualmente el sector turístico aumenta lentamente, pero fomentándose siempre el turismo de calidad, que huye de la masificación para buscar un contacto con la esencia de la isla. Como parte de la oferta turística de la isla destaca el senderismo, el parapente y el submarinismo.

El pueblo de La Restinga, principal afectado por la erupción submarina, nació como un pueblo pesquero a partir de 1940. Además de dedicarse a la pesca, sus habitantes también se dedicaban a otras actividades, como la agricultura y la apicultura. Posteriormente, habitantes del resto de la Isla invirtieron en pisos y apartamentos para alquilarlos a los veraneantes, inicialmente residentes de la propia isla. Desde la creación de la Reserva Marina, justificada en

el interés que para los pescadores tenía la adopción de medidas para garantizar los recursos, el pueblo de La Restinga se ha convertido en uno de los destinos turísticos más importante de la isla. Al igual que cualquier otro espacio protegido, las reservas marinas tienen un potencial turístico importante, pues son percibidas por los turistas como una garantía de calidad. Desde el momento de su creación, la Administración Insular, a través de su Patronato de Turismo, ha dirigido esfuerzos hacia la promoción del área como un entorno prístino y auténtico en el que se puede disfrutar de la actividad del buceo, contando con un “plus” de calidad y exclusividad por tratarse de una Reserva Marina. Para ello han organizado numerosos campeonatos de fotografía submarina y han incorporado la figura de la reserva a la imagen ecológica que la isla ofrece desde que se declaró Reserva de la Biosfera, por la que intenta atraer a nuevos turistas e impulsar nuevas formas de turismo ligadas a la realización de actividades en entornos no urbanos. Por lo tanto, la creación de la Reserva Marina y el desarrollo de la práctica del submarinismo han permitido crear una economía de escala en el pueblo de la Restinga, favoreciendo su desarrollo y evolución a partir del uso sostenible de sus recursos marinos.

5. LA CRISIS SISMO-VOLCÁNICA

5.1. Elementos precursores de la crisis

Como ya se ha comentado, el Archipiélago Canario está situado sobre la placa tectónica africana, por lo que se trata de un archipiélago volcánico intra-placa, cercano al borde continental pasivo africano. Esto implica que haya una sismicidad media-baja, con una casi ausencia de terremotos de magnitud superior a 5. Debido al bajo nivel de actividad sísmica en Canarias, la caracterización de las fallas que provocan parte de la sismicidad es muy difícil de realizar, pero hay diversos estudios que señalan la presencia de pequeñas fallas y fracturas en la corteza oceánica del Archipiélago (Carbó et al., 2003; Mezcua, 1990). Los estudios gravimétricos realizados por Bosshard y MacFarlane (1970) y Carbó et al., (2003) indican la presencia de zonas con un alto gradiente en las anomalías gravimétricas regionales que parecen mostrar contactos bruscos a lo largo de planos que limitan zonas de muy diferente densidad en la Corteza oceánica y en el Manto superior bajo Canarias, que pueden interpretarse como grandes fallas. En la figura 10 se muestran las anomalías de Bouguer obtenidas por Carbó et al., (2003).

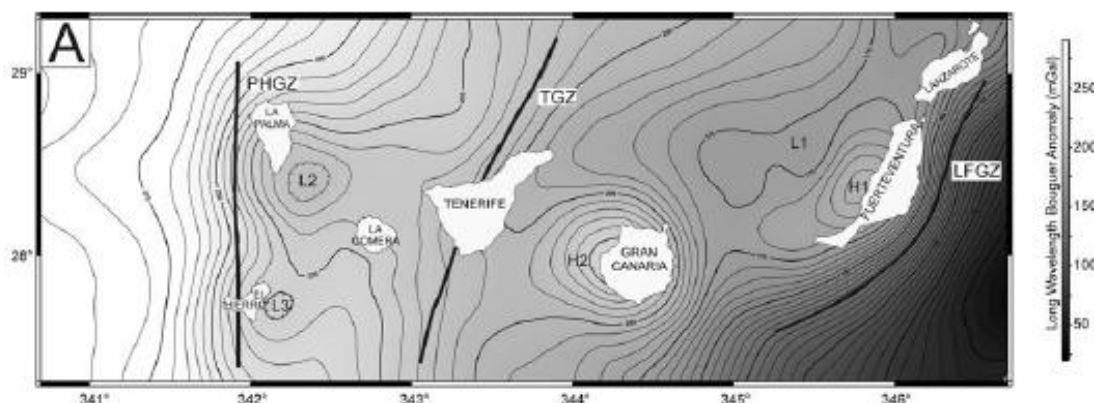


Figura 10: Mapa de anomalías gravimétricas. Las líneas negras indican zonas con un alto gradiente en las anomalías gravimétricas. Estas anomalías gravimétricas revelan que hay un fuerte cambio de densidad, lo que indica que hay un contacto brusco entre tipos de rocas muy diferentes, es decir, existe un cambio de composición de los materiales presentes en la corteza oceánica y en el manto inferior bajo Canarias. En Geología, el contacto de bloques de diferentes densidades indica que hay un accidente tectónico, es decir, una falla o fractura. El desplazamiento de estos bloques provoca que se pongan en contacto rocas que antes no estaban juntas. (LFGZ: Lanzarote-Fuerteventura Gradient zone, TGZ: Tenerife-Gran Canaria Gradient zone y PHGZ: La Palma-El Hierro Gradient Zone). Los máximos de gravedad se representan con H y los mínimos de gravedad con L. Fuente: Carbó et al., 2003.

El registro sísmico de Canarias (realizado por el IGN desde la década de los 80) indica que la mayoría de los terremotos acontecidos en el Archipiélago Canario tienen magnitudes inferiores a 3, siendo el terremoto del 9 de mayo de 1989, cuyo epicentro se localizó a 13,5 kilómetros del litoral de Güimar, el que mayor magnitud ha alcanzado en la escala de Richter (con un valor de

5,2). El estudio detallado de este terremoto y de la serie de réplicas registradas ha sido interpretado por Mezcua et al., (1992) como resultante del movimiento brusco a lo largo de una gran falla cortical de dirección NE-SO. Los terremotos en el área de Canarias parecen no seguir una pauta de distribución clara, salvo los que ocurren en la zona entre Tenerife y Gran Canaria, donde son muy frecuentes, y son achacables, como hemos indicado, a una gran falla de dirección NE-SO (Mezcua,1992). Por otra parte, fuera de esta zona, los terremotos pueden tener un origen sismo-tectónico o sismo volcánico, de tal forma que las variaciones en la frecuencia e intensidad de los terremotos registrados por el IGN pueden ser un indicio precursor de una erupción.

En El Hierro se puede fijar como inicio de la crisis sísmica el 19 de julio de 2011 (Pérez-Torrado et al., 2012), pues durante los meses anteriores de dicho año solo tienen lugar 3 sismos: el 22 de marzo, el 14 de abril y el 8 de julio, con magnitudes de 3.0, 2.2 y 2.4 respectivamente (Fuente: IGN). Durante el 16 de julio se detectaron también unas docenas de eventos locales, cuando normalmente el valor medio anterior era menor que un evento por día, pero este valor disminuyó considerablemente durante los dos días siguientes. Es a partir del 19 de julio cuando comienzan a detectarse varios sismos diarios, llegando a detectarse centenares de ellos en algunas jornadas. A este fenómeno se le conoce como un “enjambre de sismos” y era la primera vez que se registraba en la isla de El Hierro. Durante las primeras semanas, a pesar de que los seísmos eran bastantes frecuentes, no llegaban a sobrepasar magnitudes de 2,5. A medida que se prolongaba la duración en el tiempo del enjambre de sismos, éstos comenzaron a aumentar paulatinamente de intensidad, magnitud y frecuencia, por lo que se empezó a temer que fuesen precursores de una erupción volcánica. Los epicentros se localizaron en su mayoría entre 10 y 15 km de profundidad, cerca de la base de la Corteza oceánica, debido a la trampa que para los magmas profundos resulta ser el contraste de densidades que supone la interfase Corteza-Manto (discontinuidad de Mohorovic). En el siguiente cuadro (figura 11) se muestra la magnitud y frecuencia de los terremotos en las fases previas al proceso eruptivo.

MES				
Magnitud	Julio (19-31)	Agosto	Septiembre	Octubre(1-10)
<2	1020	4061	3100	664
2-2.4	41	76	341	223
2.5-2.9	2	1	163	126
3-3.4	0	0	33	33
3.5-3.9	0	0	10	8
≥4	0	0	0	1
Total	1063	4138	3647	1055

Figura 11. Magnitud y frecuencia de los movimientos sísmicos en El Hierro desde el 19 de Julio hasta el 10 de Octubre (Fuente: IGN, Catálogo y boletines sísmicos para la zona de Islas Canarias. Elaboración propia).

La localización de estos sismos, considerados como precursores de la erupción volcánica, fue muy variada a lo largo de estos meses, pero se describe un patrón de migración desde el NO hacia el SE, siguiendo prácticamente una de las discontinuidades que afectan a la Corteza y al Manto superior (falla) de dirección N-S, identificada en los estudios de gravedad de Carbó et al., (2003). La existencia de esta discontinuidad en el Manto Superior podría explicar que el magma ascendiera desde su profundidad de generación hasta la base de la Corteza oceánica siguiendo dicha discontinuidad.

En el proceso sismo-volcánico se pueden establecer 5 fases pre-eruptivas en función de los cambios significativos que observó el IGN en la evolución de los parámetros geofísicos y geoquímicos (López et al., 2012) (Figura 12 y 13):

Fase I (7-18 de julio de 2011): La primera señal de reactivación fue el inicio de un desplazamiento noreste de la estación GPS FRON, localizada en El Golfo. El 16 de julio se detectaron una decena de eventos locales, pero este valor disminuyó considerablemente en los siguientes dos días.

Fase II (19 de julio-3 septiembre de 2011): El 19 de julio se produce un importante incremento de la sismicidad, localizada en el norte de la isla. Esta actividad sísmica se alternó entre periodos de relativa calma y periodos de alta energía, con un número máximo de 450 eventos por día. La magnitud máxima local fue de 2,7 y sólo un terremoto fue sentido ligeramente por la población. La deformación fue detectada por tres estaciones, que mostraron un desplazamiento hacia el noreste, y por otra estación que mostró un desplazamiento inicial hacia el norte durante unos días y posteriormente hacia el noreste. Las mediciones de flujo de CO₂ realizadas entre el 22 de julio y el 14 de agosto de 2011 en varias zonas de la isla revelaron la existencia de una anomalía espacial en una zona particular al sur de El Golfo, cerca de Sabinosa. Aunque el flujo anormal se limitó a una zona relativamente pequeña (aprox. 0,36 km²), el valor máximo obtenido alcanzó 620 g·m⁻²·d⁻¹, un valor sustancialmente más alto que los flujos medidos en estudios anteriores a lo largo de la isla por Barrancos et al. (2008), que muestran un máximo de flujo difuso de CO₂ de 393,6 g·m⁻²·d⁻¹ entre 1998 y 2006. Durante este periodo se liberó el 9,8% de la energía sísmica acumulada.

Fase III (4-26 de septiembre de 2011): Se observa una migración de la sismicidad hacia el sur de la isla y un aumento de la profundidad de los hipocentros (12-17 km). La máxima magnitud registrada fue de 3,3, correspondiendo al máximo valor de intensidad de este periodo, IV (EMS-98). Los datos de todas las estaciones GPS mostraron también un desplazamiento hacia el norte, observándose un aumento significativo de las tasas de deformación en comparación a las semanas anteriores. Un aumento considerable de las concentraciones de ²²²Rn en el aire también se detectó en una estación geoquímica localizada en el norte de la isla, aunque no se detectó ningún comportamiento anómalo de otros parámetros geoquímicos de las galerías. A finales de septiembre se realizaron mediciones de

flujo de CO₂ en la misma zona que en los meses anteriores. Los datos obtenidos mostraron una disminución significativa en el área anómala, siendo valores comparables a los medidos en el resto de la isla. Durante este periodo se liberó el 6% de la energía sísmica acumulada.

Fase IV (27 septiembre-7 octubre): A partir del 27 de septiembre se produjo una drástica aceleración de la actividad sísmica y 135 sismos fueron sentidos por la población. El máximo valor de intensidad, V (EMS-98), se obtuvo para un sismo de magnitud 3.8, el 7 de octubre. Se produjo un incremento en la magnitud de los terremotos al mismo tiempo que su ubicación migró hacia el sur. La mayoría de los hipocentros en este periodo se concentraron en alta mar, al suroeste de la isla, entre 12-14 km de profundidad. La deformación mostró una aceleración hacia el norte durante los primeros días, pero el 1 de octubre y los últimos 5 días de ésta fase se observó un proceso de hundimiento súbito y levantamiento en todas las estaciones. Coincidiendo con la aceleración de la deformidad, también se detectó un incremento en la tasa de variación del campo magnético local. Al mismo tiempo que empezaba la aceleración sísmica, un pico de ²²²Rn se observó en la estación geoquímica de Frontera, con una amplitud dos veces el tamaño de fondo, y que duró dos horas. Un nuevo pico de ²²²Rn se observó poco después del proceso de hundimiento-levantamiento en la deformación. Durante esta fase se produjo la liberación del 69,7% de la energía acumulada.

Fase V (8-10 de octubre de 2011): El 8 de octubre a las 20:34h se produjo un terremoto de magnitud 4,3 (la más alta hasta ese momento) a 1,5 km de la costa suroeste de la isla y a una profundidad de 12 km. Desde ese momento un cambio en la tendencia de la deformación superficial sugirió el inicio de la estabilización del sistema. Durante la noche del 8 de octubre y durante todo el día siguiente, un enjambre de 30 eventos sísmicos de poca profundidad se produjo en alta mar en el sur de la isla, a unos 5 km de la costa. Sus profundidades variaban entre 1 y 6 km y sus magnitudes no excedieron del valor de 1,8. Esta actividad continuó de forma simultánea con los acontecimientos más profundos registrados los días anteriores en el Mar de las Calmas. La energía liberada durante estos días fue de 14,5% del total de energía liberada y 4 de los sismos fueron sentidos por la población. A las 05:15h del 10 de octubre de 2011 la señal de tremor fue registrada por todas las estaciones sísmicas de la isla, con las más altas amplitudes registradas en la estación del sur.

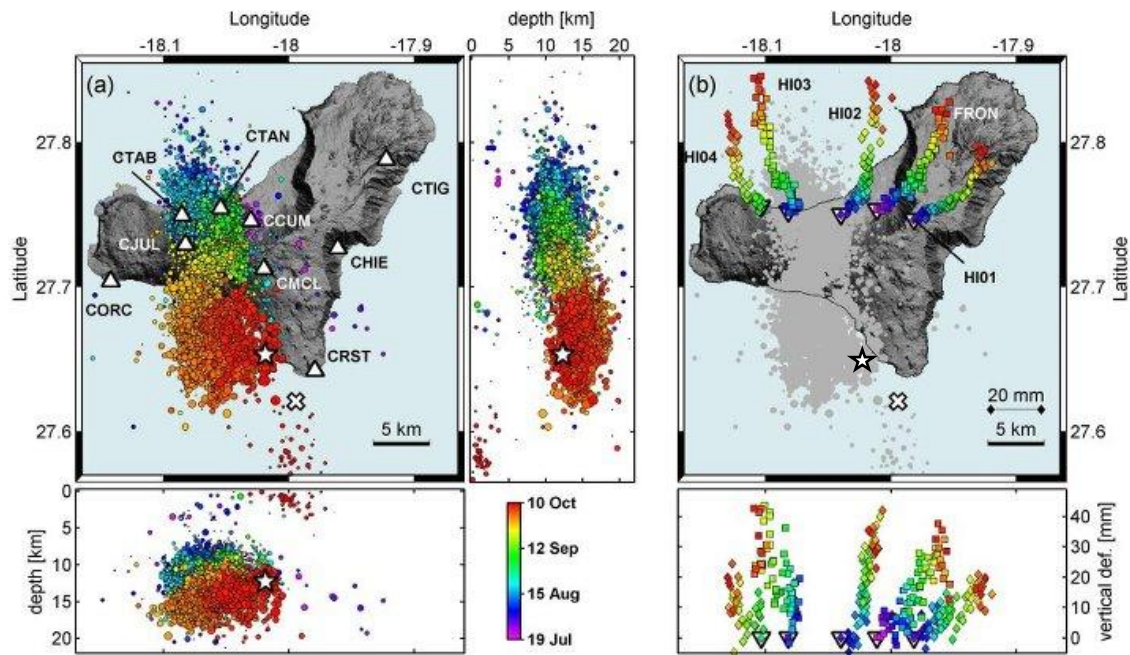


Figura 12: a) Sismicidad localizada en El Hierro durante las fases pre-eruptivas. En el panel inferior y lateral derecho se muestra la profundidad de los sismos, observándose el aumento mencionado durante las fases 3 y 4, y la sismicidad superficial registrada entre el 8 y 10 de octubre de 2011. Los triángulos indican la posición de las estaciones sísmicas. b) Deformación horizontal y vertical registrada respecto a la localización de las estaciones GPS. Los triángulos inversos indican la localización de las estaciones GPS, la estrella la posición del epicentro de magnitud 4,3, y la cruz la localización de la erupción. (Fuente: López et al., 2012)

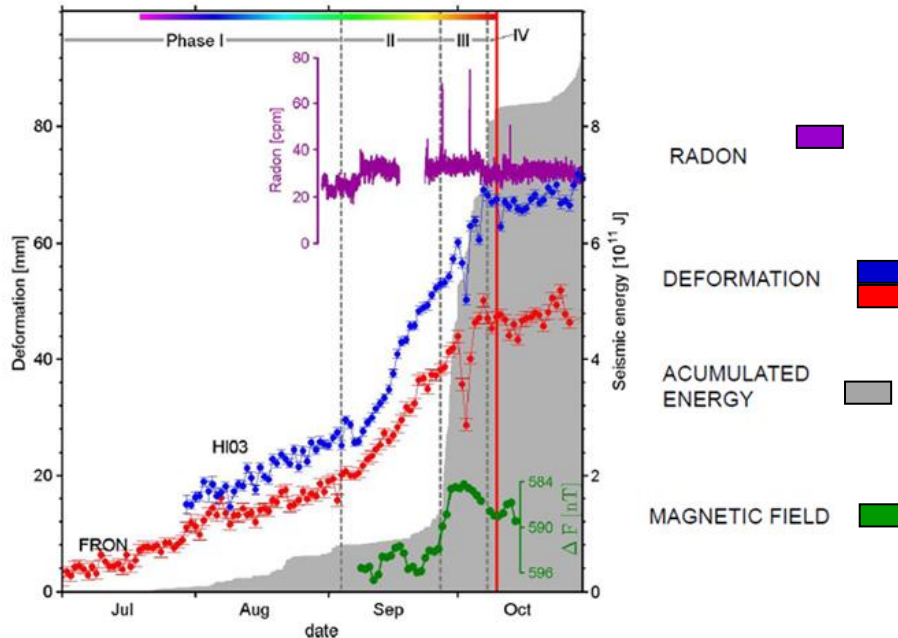


Figura 13: Evolución temporal de los diferentes parámetros medidos en El Hierro durante las fases pre-eruptivas. El sombreado gris muestra la energía sísmica acumulada, observándose claramente el aumento significativo de la liberación de energía que se produce durante la cuarta fase. Los puntos rojos y azules muestran el desplazamiento de la deformación de dos estaciones GPS. En verde se muestran las variaciones del campo magnético local y en violeta la variación temporal de ^{222}Rn . La línea de colores superior se corresponde con el código de color de la figura 12.

(Fuente: López et al., 2012).

Durante las fases pre-eruptivas (hasta que comenzó la señal de temblor) se localizaron casi 10.000 terremotos y se alcanzó una deformación máxima de más de 5 cm. En la figura 14 se detalla el recorrido de los sismos durante estas fases. Como se puede observar, durante la fase II los terremotos permanecían remanentes durante bastante tiempo, sin conseguir pasar la frontera de la línea este-oeste, probablemente por tratarse de un rift que está cerrado por esfuerzos regionales (comunicación oral de María José Blanco, "Erupción volcánica de El Hierro: vigilancia y análisis del IGN"). Una vez se pasó este límite se produjo una aceleración del proceso que culminó con el inicio de la señal del temblor que confirma la llegada del magma a zonas superficiales del edificio insular de El Hierro, y, por tanto, del inicio de una erupción submarina. La localización de los epicentros y la magnitud de los sismos los dos días previos a los que se produjo la erupción, nos dan una pauta de cómo el magma ascendió desde la base de la Corteza oceánica, y posibilitan la previsión de fenómenos volcánicos futuros en la isla y en el resto del Archipiélago. La profundidad del terremoto de magnitud 4.3 (12 km), compatible con la ubicación de anteriores acumulaciones de magma bajo El Hierro en erupciones submarinas recientes (Stroncik et al., 2009), y su localización en zonas fuertemente magnetizadas (Blanco-Montenegro et al., 2008), parecen indicar que podría tratarse del desencadenante que permitió el ascenso del magma hacia la superficie (López et al., 2012). En cuanto a la deformación del terreno, los valores máximos se observaron en el área de la Isla donde se acumularon los hipocentros sísmicos (Figura 15).

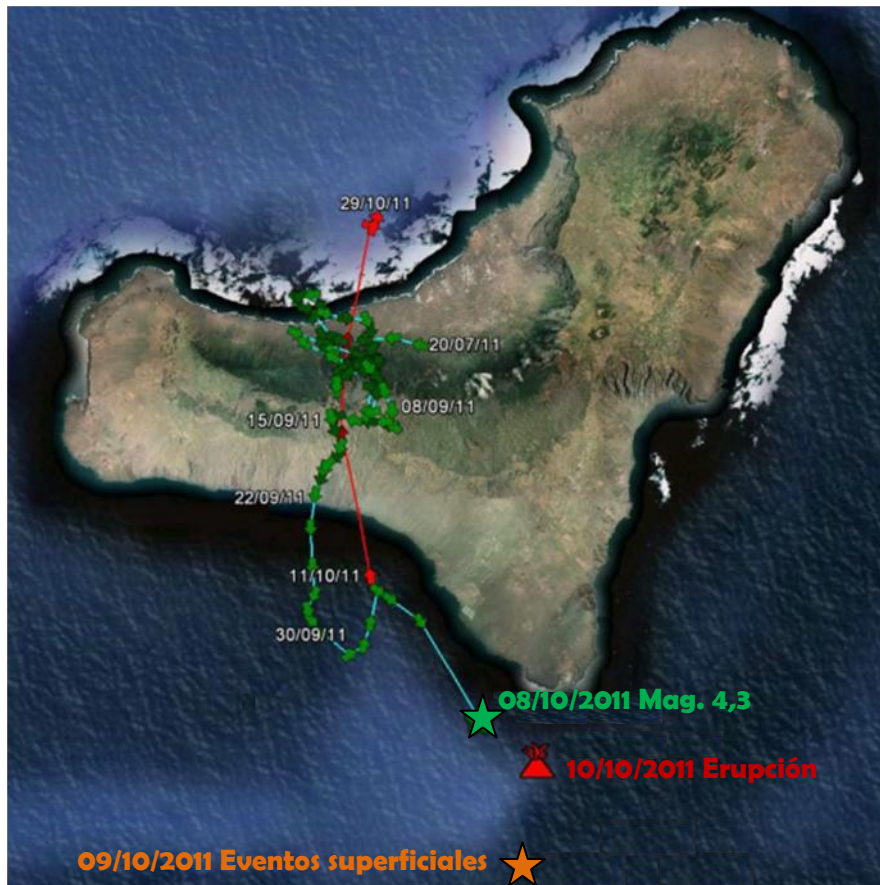


Figura 14: Recorrido de los sismos en las fases pre-eruptivas.
(Fuente: Carmen López, IGN, comunicación personal).

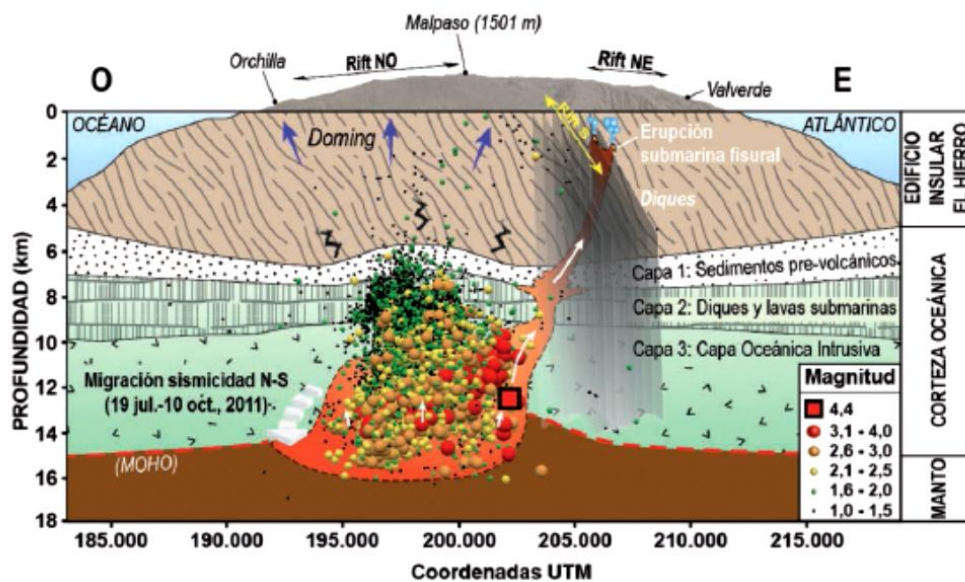


Figura 15: Sección E-O de El Hierro mostrando la sismicidad precursora asociada a la erupción de 2011-2012, desde el 19 de julio de 2011 hasta el comienzo de la erupción el 10 de octubre. La localización de los hipocentros provocó un abombamiento del terreno. (Fuente: Pérez-Torrado et al., 2012)

5.2. Desarrollo del proceso eruptivo

Como hemos indicado anteriormente, en la madrugada del 10 de octubre los aparatos sísmógrafos del IGN revelaron el inicio de una señal de tremor (figura 16), que indica el movimiento de un fluido, en este caso, el magma, en un conducto cercano a la superficie. Durante el primer vuelo de reconocimiento también se detectó la aparición de peces muertos, asociado a una liberación de fluidos y gases de posible origen volcánico. Al final del día el PEVOLCA confirma el inicio del proceso eruptivo en la dorsal sur de la isla, y los científicos enumeran varias circunstancias que prueban la erupción: la detección del tremor volcánico, la desaceleración de los movimientos sísmicos, la reducción del abombamiento de la isla, lo que indicaría la disminución de la presión magmática, y la emisión de gases que afectaron a la fauna marina. Todo parece indicar que el seísmo de magnitud 4,3 que tuvo al suroeste de la Restinga el 8 de octubre permitió al magma atravesar la corteza oceánica, alcanzar el edificio insular y ascender rápidamente (en menos de 2 días) a la superficie. Tal y como hemos señalado anteriormente, los sismos superficiales que se registraron el día 9 de octubre revelaban el movimiento del magma dentro del edificio insular, cerca ya de la superficie.

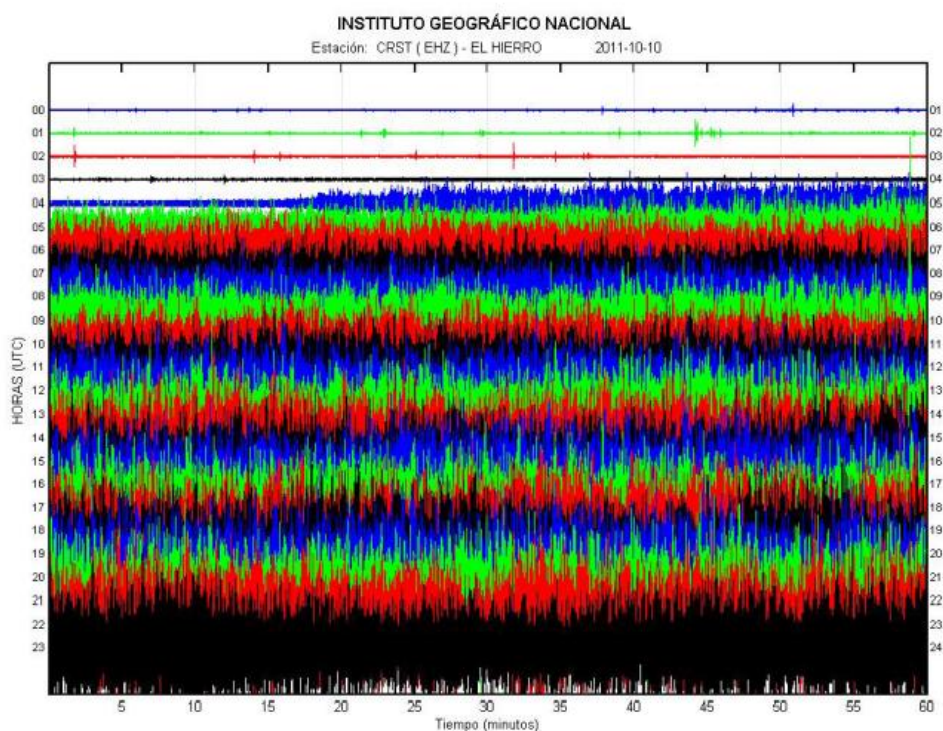


Figura 16: Tremor armónico marcando el inicio de la erupción submarina a las 4:20 del 10 de octubre. (Fuente: IGN).

La localización y profundidad exacta del foco eruptivo no se pudo determinar hasta la llegada de los buques oceanográficos que se encargarían del seguimiento de la erupción submarina: el buque *Ramón Margalef* (IEO) y el buque *Sarmiento de Gamboa* (CSIC). Previamente, el 14 de octubre, llegó a la isla el buque *Profesor Ignacio Lozano*, del ICCM (Instituto Canario de

Ciencias Marinas), pero éste solo realizó diversos perfiles verticales de parámetros físico-químicos y geoquímicos y de gases disueltos en las aguas marinas.

Durante 4 meses el IEO llevó a cabo doce campañas oceanográficas (nombradas como Bimbache 1011) a bordo del buque *Ramón Margalef*, 7 de las cuales fueron campañas batimétricas. El buque oceanográfico utilizó técnicas de ecosonda multihaz y ecosonda multifrecuencias que han permitido la obtención de numerosas batimetrías de alta resolución a lo largo de las diferentes campañas batimétricas.

Los datos de la primera campaña del buque *Ramón Margalef* (22 al 26 de Octubre) confirmaron que se trataba de una erupción fisural, localizada a 2,5 kilómetros de la costa y a una profundidad de 220 metros. Gracias a los estudios del fondo marino de Canarias llevados a cabo por el IOE en 1998 (programa de la ZEEE, zona de exclusión económica europea) se pudo comparar la topografía submarina obtenida en ambas campañas. En la figura 17 (b), se puede apreciar la localización del nuevo volcán que surgió en la cabecera de un valle submarino, y cuyos materiales fueron rellenando poco a poco el valle preexistente.

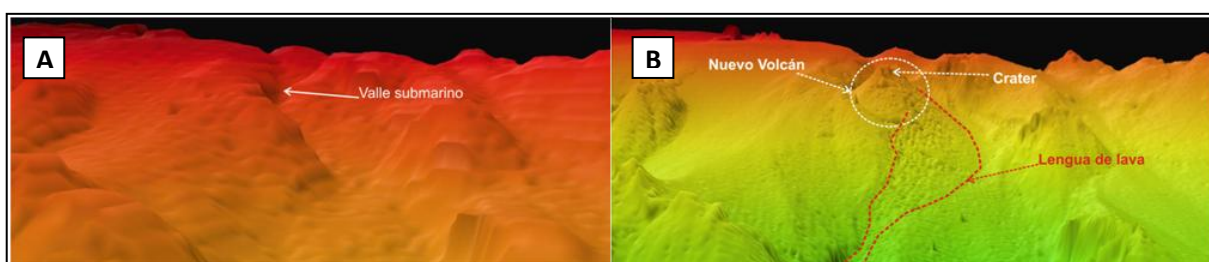


Figura 17: a) Modelo digital del terreno elaborado en 1998 en el marco del Programa ZEE (IEO-IHM). B/O Hespérides. Ecosonda Multihaz Simrad EM-12. B) Modelo digital del terreno elaborado el 24 de octubre de 2011. Campaña Bimbache 1011-1. B/O Ramón Margalef. Ecosonda Multihaz Simrad EM-710. (Fuente:IEO)

En la tercera campaña batimétrica (Bimbache 1011-4), realizada entre el 10 y 14 de noviembre, se observa un cambio considerable en la morfología de la zona eruptiva. Como se aprecia en la figura 18 (b), se detecta el desprendimiento de un bloque del escarpe adyacente al cono volcánico, con unas dimensiones aproximadas de 500x 300 m. También se apreció una removilización importante de los materiales volcánicos, producto de la erupción (posiblemente piroclastos y lavas almohadilladas), depositados en días anteriores hacia aguas más profundas, siguiendo el cauce del cañón.

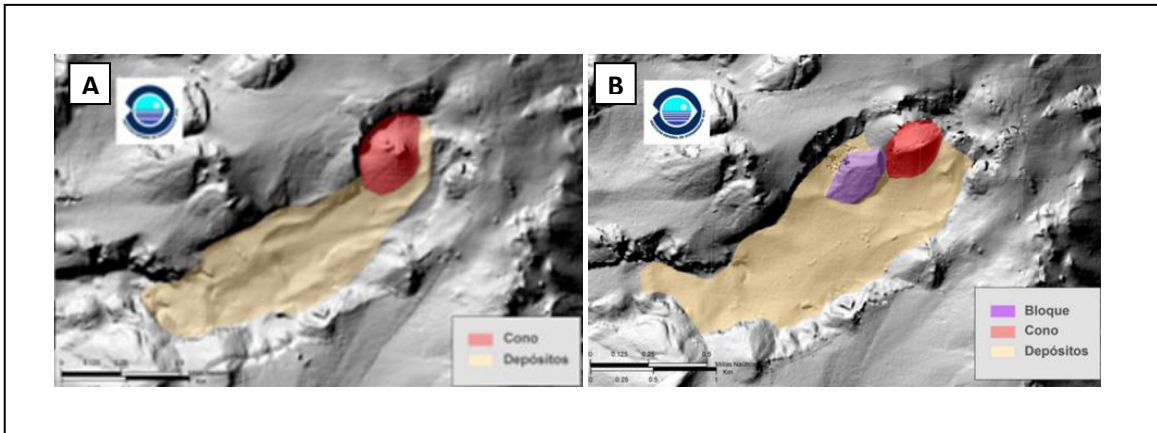


Figura 18: a) Levantamiento batimétrico del 24 de octubre (Campaña Bimbache 1011-1, del 22 de octubre al 26 de octubre). b) Levantamiento batimétrico del 12-13 de noviembre (Campaña Bimbache 1011-4, del 10 de noviembre al 14 de noviembre). (Fuente: IEO.)

En la cuarta campaña batimétrica (Bimbache 1011-6) se detectó un desdoble del cono volcánico y la aparición de 3 conos adosados unos a otros y muy próximos entre sí, siguiendo la dirección del escarpe bajo el cual se situó el primer cono. Este conjunto alcanzaba una profundidad de 160-180 metros. La quinta campaña batimétrica (Bimbache 1011-7) detectó un considerable aumento del material emitido, alcanzando la cima del cono volcánico una profundidad de 130 metros. También se confirmó la inexistencia del desdoblamiento observado en la última campaña batimétrica, así como un considerable aumento de la pendiente del flanco sureste del cono volcánico

En la primera quincena de febrero la sexta campaña batimétrica (Bimbache 1011-9) muestra la aparición de un cono secundario adosado a la ladera del cono principal y se determinó el aumento de la cota del cono principal a una profundidad de 120 metros. La última campaña batimétrica (Bimbache 1011-11), realizada en la segunda quincena de febrero, muestra una sucesión de conos entre el cono principal y secundario (figura 19) que conforman una cresta de dirección NNO-SSE, dirección coincidente con la del eje Rift meridional de la isla. También se constata el aumento de la cota del cono principal hasta los 88 metros de profundidad.

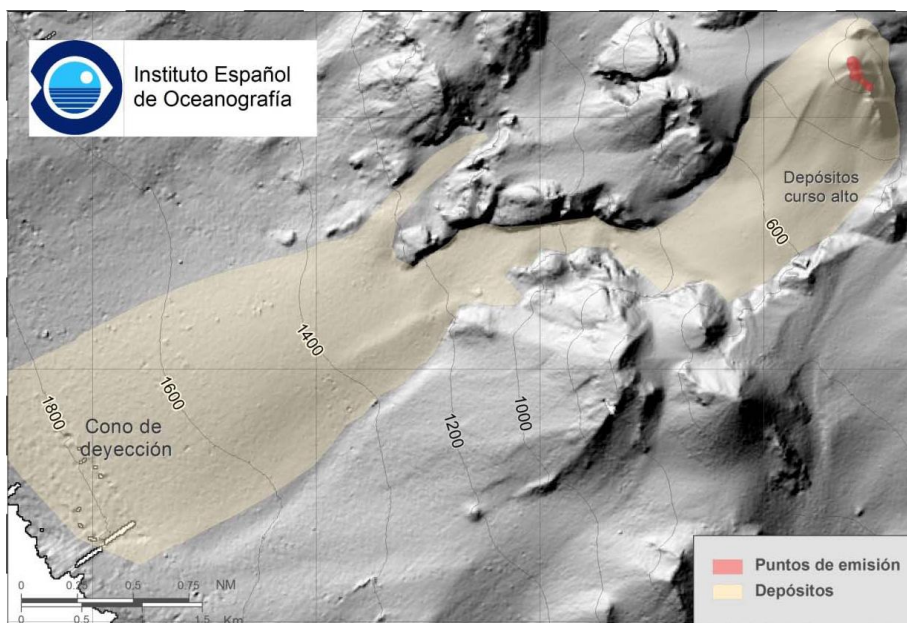


Figura 19: Levantamiento batimétrico realizado los días 23 y 24 de febrero de 2012 (Campaña Bimbache 1011-11, del 21 de febrero al 24 de febrero). (Fuente:IEO)

A partir de estas campañas se ha podido estimar la cantidad de magma que ha sido emitida, unos $57 \times 10^6 \text{ m}^3$ para lo que el IEO denominó curso alto y unos $88 \times 10^6 \text{ m}^3$ para el cono de deyección más profundo. La suma de estos volúmenes (unos $145 \times 10^6 \text{ m}^3$) sitúa la erupción del sur de La Restinga como la segunda erupción histórica que mayor cantidad de volumen ha emitido (tras la erupción del Timanfaya en Lanzarote en el siglo XVIII).

Durante la erupción se siguen aconteciendo numerosos movimientos sísmicos en toda la isla. En las primeras semanas hubo una interrupción de la sismicidad, pero luego ésta se desplazó hacia una zona del Norte en la que no se habían registrado movimientos sísmicos. Varios seísmos alcanzan magnitudes superiores a 4, siendo el del 11 de noviembre con una magnitud de 4,6 y cuyo epicentro se localizó a 2 km de la costa de Frontera, el de mayor magnitud que se registra durante todo el proceso sismo-volcánico. A diferencia de los sismos que tuvieron lugar entre julio y septiembre, durante esta etapa los hipocentros se localizan a una profundidad de 20 km. Estos acontecimientos hacen temer una nueva erupción en el norte de la Isla, pero la mayoría de los científicos coincidían en que se trataba de un fenómeno asociado a la erupción del sur de la isla, tratándose posiblemente de una recarga de la cámara magmática o de un reajuste tectónico. Las campañas batimétricas que se realizaron en el norte tampoco llegaron a detectar actividad eruptiva, aunque detectaron emisiones de gases en los márgenes de la prolongación submarina del anfiteatro gravitacional de El Golfo. En la tabla de la figura 20 se detalla el número y magnitud de los movimientos sísmicos que tuvieron lugar durante el periodo eruptivo. El total de sismos registrados por el IGN durante esta etapa fueron aproximadamente unos 2.500, cantidad muy inferior a los casi 10.000 que se registraron durante la etapa pre-eruptiva.

Magnitud	MES					
	Octubre (10-31)	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo (1-5)
<2	642	540	45	150	341	25
2-2.4	168	329	12	6	16	3
2.5-2.9	50	130	3	4	5	0
3-3.4	15	30	0	0	0	0
3.5-3.9	4	11	0	0	0	0
≥4	0	4	0	0	0	0
Total	879	1044	60	160	362	28

Figura 20: Magnitud y frecuencia de los movimientos sísmicos en El Hierro durante la fase eruptiva. (Fuente: IGN, Catálogo y boletines sísmicos para la zona de Islas Canarias. Elaboración propia).

En la figura 21 se muestra la sismicidad durante la fase eruptiva. Como se puede observar, los movimientos sísmicos entre octubre y diciembre se concentraron en la cuenca de El Golfo, en una zona donde no se habían registrado movimientos sísmicos durante la fase pre-eruptiva. Posteriormente la sismicidad volvió a trazar un camino migratorio similar al descrito en los meses previos a la erupción.

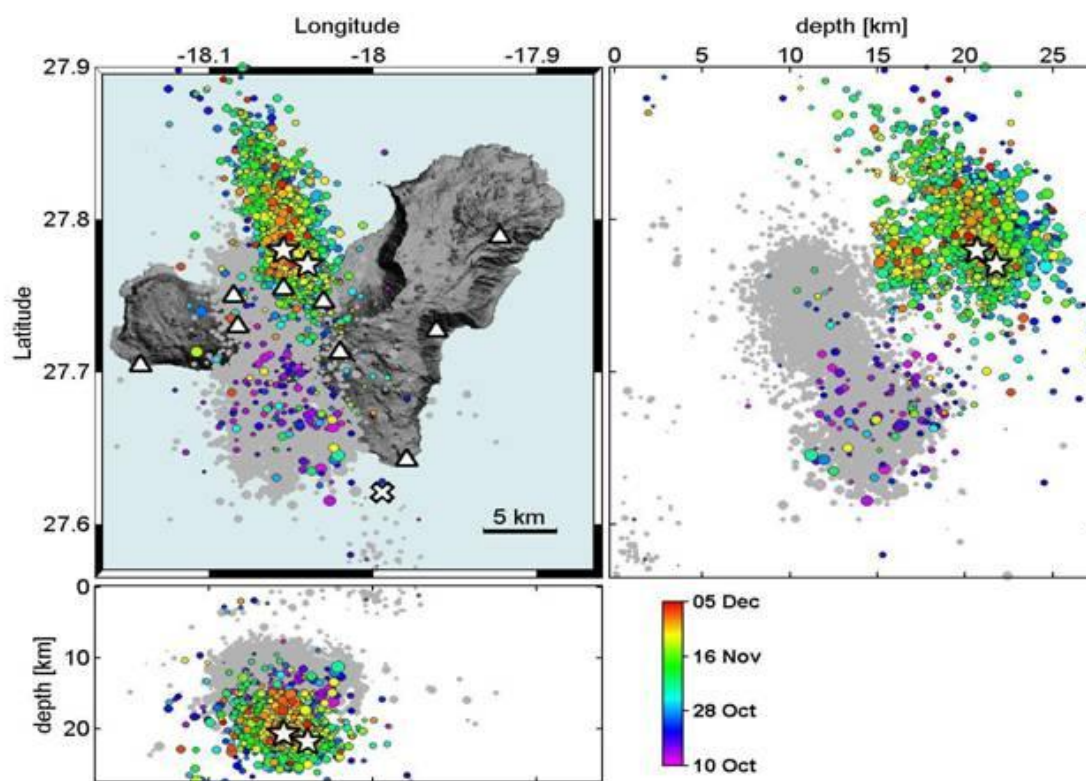


Figura 21: Sismicidad localizada en El Hierro durante la fase eruptiva. En el panel inferior y lateral derecho se muestra la profundidad de los sismos. El sombreado gris muestra la localización de los sismos durante las fases pre-eruptivas, los triángulos la posición de las estaciones sísmicas y las estrellas los seísmos de magnitud superior a 4. (Fuente: Carmen López, comunicación personal).

El análisis petrológico de los materiales volcánicos ha revelado que en las muestras se identifican cristales de clinopiroxeno formados a diferentes presiones, lo que indica que se han formado a distintas profundidades. Según estos estudios, se diferencian dos tipos de materiales volcánicos: uno formado a una profundidad de entre 10 y 15 km (que coincide con la profundidad de los epicentros de los sismos previos a la erupción) y otro formado a una profundidad de entre 20 y 25 km (coincidiendo con la profundidad de los epicentros que tuvieron durante la erupción en el norte de la Isla). Estos datos hacen posible el establecer la hipótesis de 2 reservorios: uno sería el causante de la sismicidad en la interfase corteza-manto durante julio y octubre, alimentando a la erupción submarina hasta comienzos de diciembre; y otro más profundo que, seguramente, se habría estado llenando durante años y que realimentó a partir de noviembre al reservorio más superficial y a la propia erupción volcánica (Casillas, comunicación personal, López et al., 2012). La sismicidad localizada en el norte de la isla durante la fase eruptiva (figura 21) concuerda con esta hipótesis: la sismicidad estaría relacionada con una continua realimentación magmática desde la cámara inferior hacia el foco eruptivo en el sur de la isla, coincidiendo el relleno del reservorio superior con fenómenos visibles en superficie, como el cambio de ritmo en el burbujeo observable en la superficie del mar.

El proceso eruptivo no fue regular y continuo, pues hubo muchas fluctuaciones. Al tratarse de una erupción submarina no se pudo realizar un seguimiento minucioso de la evolución del fenómeno, por lo que la señal de tremor, el burbujeo, la aparición en la superficie del mar de piroclastos, y la evolución de las manchas de diferentes colores que aparecían en la superficie fueron los principales indicadores que se utilizaron para determinar el progreso de la erupción.

La mancha generada por la erupción volcánica fue el primer signo del inicio de la erupción. Las manchas indicaban la salida de gases y fluido de tipo volcánico, pero debido a la profundidad a la que se encontraba el foco eruptivo y al movimiento de las mareas y las corrientes marinas, su localización no servía para determinar la situación exacta del cono eruptivo. La mancha, compuesta por piroclastos de grano fino en suspensión y por ácido carbónico y sulfúrico (formado por la disolución del anhídrido carbónico y el anhídrido sulfuroso), generalmente tenía un tono verde azulado, pero en los momentos en los que se detectaba mayor salida de material volcánico adquiría un color marrón.

La amplitud de la señal de tremor varió durante los casi 5 meses que perduró la erupción. A finales de octubre el tremor disminuyó de intensidad poco a poco, pero se reactivó en la primera quincena de noviembre, coincidiendo con los movimientos sísmicos de gran magnitud que se estaban produciendo en el norte de la isla. Durante este tiempo el burbujeo fue más intenso y en ocasiones se llegaron a levantar columnas de agua de varios metros. En la segunda quincena de noviembre el proceso se estabilizó e incluso se detectaron disminuciones bruscas de la señal de tremor. En el resto de meses la intensidad se mantuvo principalmente constante, con variaciones poco significativas de la magnitud. Seguramente los cambios de

amplitud de la señal del tremor estuvieron asociados a fenómenos eruptivos submarinos que no se pudieron observar por la falta de un seguimiento sistemático y más continuo por parte de los buques oceanográficos.

5.3. Finalización del proceso eruptivo

El Comité Científico del PEVOLCA confirma el 5 de marzo que la erupción iniciada en octubre se da por finalizada, puesto que no hay evidencias instrumentales ni visuales de que continúe, hecho que la convierte en la segunda erupción histórica más longeva de Canarias (148 días), después de la de Timanfaya, en Lanzarote, que duró 2055 días. Sin embargo, el proceso sismo-volcánico no se da por finalizado, pues se siguen registrando anomalías en los parámetros de sismicidad y deformación, por lo que se mantiene el sistema de vigilancia científico hasta que se vuelva a los parámetros anteriores al mes de julio del año pasado. Desde ese día se han seguido detectando movimientos sísmicos, la mayoría de baja magnitud, y no se ha detectado la presencia de manchas ni de materiales volcánicos. Aún así, a principios de junio de 2012, la 4 campaña oceanográfica realizada por investigadores de la ULPGC (GUAYOTA 4-ULPGC) detectó la presencia de cenizas en suspensión a profundidades de 50-60 metros y la presencia de burbujas de diferentes tamaños que ascendían desde las profundidades de la zona del volcán. Como se ha señalado, las últimas batimetrías realizadas por el IEO indicaron que la cima del cono alcanzó una profundidad de 88 metros bajo el nivel del mar.

Desde el 5 de marzo hasta el 24 de junio de 2012 únicamente se registraron 140 movimientos sísmicos (fuente: IGN), pero desde el 24 de junio hasta mediados de julio, contra todo pronóstico, comenzó a detectarse un incremento en la magnitud y frecuencia de los movimientos sísmicos al suroeste de la Isla. Los sismos se localizaron inicialmente en el norte de la Isla (El Golfo) y migraron hacia el sur, hasta situarse debajo de la dorsal occidental. Posteriormente migraron nuevamente hacia el oeste, localizándose principalmente en el oeste del Mar de las Calmas y en las laderas de El Julan. Varios de los movimientos sísmicos superaron una magnitud de 4, y se llegaron a registrar 240 eventos en un día. La profundidad de los sismos localizados se mantiene en torno a los 20 km, pudiendo interpretarse como una inyección subhorizontal del magma a 20 kilómetros de profundidad a modo de un gran sill o dique-capa. Estos movimientos han ido acompañados de una deformación, que en julio alcanzó unos 8,5 centímetros en la componente horizontal y unos 10 centímetros en la componente vertical. Durante este periodo también se registraron sismos generados a escasa profundidad (<6 kilómetros), localizados bajo la parte superior de El Julan, cuyos hipocentros aparecen orientados en la dirección NE-SO, que pueden ser interpretados como producto de reajustes en estructuras tectónicas preexistentes bajo el edificio insular como consecuencia de la intensa deformación, que, como hemos indicado anteriormente, sufrió la Isla desde finales de

junio hasta mediados de julio de 2012. La reactivación sísmica se interpretó inicialmente como el origen de un proceso magmático activo a una profundidad de 20 kilómetros, por lo que el 27 de junio el Comité Director del PEVOLCA decidió elevar el semáforo a amarillo en la zona de El Julan y La Dehesa. No obstante, desde el 16 de julio se ha registrado una disminución de la frecuencia y magnitud de la actividad sísmica, así como una estabilidad en las deformaciones, por lo que el 6 de agosto la dirección del PEVOLCA declaró la fase de normalidad en situación de prealerta (semáforo verde). En la figura 22 se muestra la localización de los sismos registrados desde el 5 de marzo hasta el 22 de Julio.

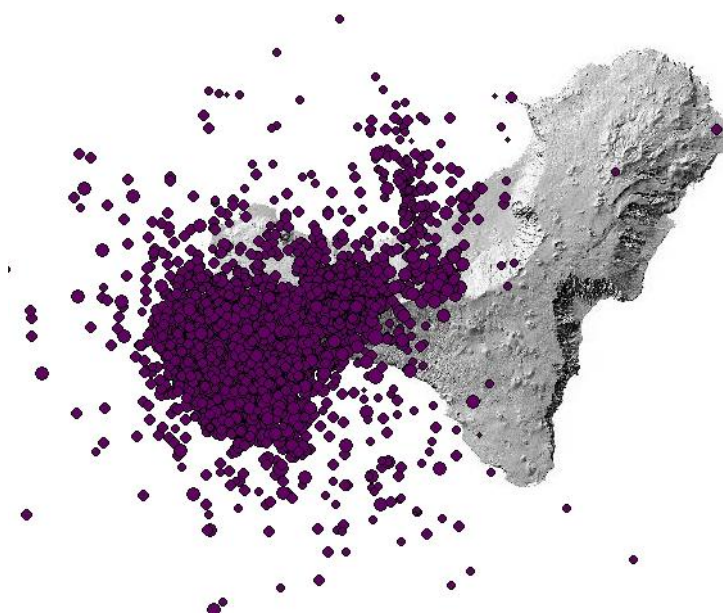


Figura 22: Localización de los eventos sísmicos tras haberse dado por finalizada la erupción submarina de La Restinga. (Fuente: AVCAN, <http://www.avcan.org/?m=Mapas>)

5.4. Las “restingolitas” y otros materiales volcánicos flotantes

Las primeras muestras de materiales volcánicos aparecieron flotando en el mar el día 15 de octubre. Se trataba en su mayoría de “globos”, “balones” o “bombas” y escorias volcánicas de hasta unos 30 cm de tamaño, todavía humeantes y algunas de ellas fragmentadas. Tenían un aspecto y formas similares a los fragmentos del mismo tipo generados en erupciones estrombolianas subaéreas de magmas basálticos (como en la erupción del Teneguía en La Palma, 1971), pero algunas de ellas presentaban en su interior un material blanco de aspecto altamente poroso. Estas “bombas” flotantes se bautizaron como “restingolitas” (figura 23) y fueron sustituidas en el transcurso de la erupción por otras “bombas” huecas de mayor tamaño, muy parecidas a las que aparecieron en el mar durante la erupción submarina de 1999 en Serretia, en las Islas Azores (Forjaz et al., 2001).



Figura 23: “Restingolitas” (bombas volcánicas) recogidas durante los primeros días de la erupción submarina de La Restinga.

En las “restingolitas” se distinguen dos partes diferenciadas: una externa, a modo de corteza, que tiene un color negro brillante, con superficies lisas o escoriáceas, y un núcleo interno, de color blanco y crema, muy esponjoso, vacuolar y ligero, y a menudo con bandas de diferentes colores que forman arrugas o pliegues. El origen de esta parte interna de las “restingolitas” ha generado un gran debate en el entorno científico, debido a que nunca había sido observada en erupciones anteriores. El análisis de su naturaleza y origen ha sido objeto de numerosas interpretaciones, y dado que las primeras interpretaciones supusieron un incremento del riesgo eruptivo, merece prestar atención a las diferentes explicaciones que se han dado sobre su posible origen.

Los primeros datos geoquímicos de ambos materiales fueron aportados por Gimeno (2011), profesor de la Universidad de Barcelona, en un informe realizado para el Ayuntamiento de El Pinar. En su informe concluye que el borde externo negro estaría formado a partir de un magma basanítico, mientras que el interior blanco sería una riolita alcalina, con evidencias texturales de mezcla de magmas entre ambos materiales. Sus declaraciones crearon una gran alarma social al afirmar que el material analizado “no presenta las características propias de una erupción de tipo surtseyano, que es el escenario reiteradamente propuesto por la comisión de seguimiento científica” y que estos piroclastos aportan “claros indicios de un potencial explosivo mayor, hasta ahora no mencionado públicamente por nadie”. Posteriormente, los representantes del CSIC que formaban parte del comité científico del PLAN PEVOLCA concluyeron que “los fragmentos están formados por una mezcla de dos materiales magmáticos, uno negro (basalto), y otro blanco (traquita), que se produjo en el momento de la erupción, por lo que se trata de una mezcla física entre ambos materiales sin que entre los dos haya habido reacción química” (Gobierno de Canarias, 2011. Comunicado de prensa del 2 de noviembre). Estas interpretaciones incrementaron la alarma social puesto que suponían un importante incremento del riesgo eruptivo, dado que indicaban la existencia de un magma más

diferenciado y ácido, y por tanto, más viscoso, lo que elevaba extraordinariamente la posibilidad de la ocurrencia de pulsos eruptivos de elevada explosividad.

Posteriormente se han publicado análisis e interpretaciones diferentes. Actualmente existe un claro consenso en la comunidad científica en el sentido de considerar que las dos partes que forman las “restingolitas” proceden de la solidificación rápida de fundidos silicatados ricos en gases. En relación al origen de la parte externa, también hay un consenso generalizado. La parte oscura de composición basáltica procede de la lava emitida por el edificio volcánico submarino, procedente del magma diferenciado de una cámara magmática situada debajo de la corteza oceánica bajo la isla de El Hierro, que alimentaría la erupción. Este magma, en proceso de desgasificación, al salir expulsado al océano y en contacto con el agua del mar, sufre un enfriamiento muy rápido que genera el vidrio volcánico y las superficies lisas y escoriáceas que muestra su superficie.

El origen del núcleo blanco interno de las “restingolitas” es el que ha generado más controversias, y aparte de las interpretaciones anteriores se han planteado varias hipótesis para explicar su formación:

Hipótesis 1 (Coello, 2011): Deduce que el vidrio blanco microvesiculado podría tratarse de una perlita expandida, producto de la expansión natural producida por la liberación, en forma de vapor, de agua molecular presente en materiales hidratados producto de la alteración de vidrios volcánicos originados en erupciones anteriores y presentes en el fondo marino, cerca del actual punto de emisión. Dicha expansión habría sido provocada por el calentamiento brusco sufrido al acumularse sobre ellos fragmentos fluidales de lava basáltica juvenil. Los materiales de alteración expandidos podrían tener un carácter inicial vítreo (perlititas) o cristalino (zeolitas), y haber experimentado durante el proceso de expansión un ablandamiento térmico o una fusión total. En la figura 24 se muestra una ilustración de la hipotética formación descrita por Coello, 2011 de las “restingolitas”.

1. La hidratación *in situ* (representada en la ilustración por el color amarillo más intenso) de una hialoclastita traquítica formada en erupciones anteriores, produce una capa de vidrio perlítico que yace en el fondo marino como un material volcano-sedimentario, no consolidado y saturado en agua
2. Fragmentos de lava basáltica fluidal a muy elevada temperatura (material rojo en la ilustración), provenientes de una fuente submarina de lava, muy vigorosa, de la actual erupción, caen sobre la capa de hialoclastitas perlíticas y se acumulan rápidamente sobre ellas. En la caída los fragmentos fluidales de lava basáltica se aplastan y se aglutinan entre sí. La elevación de temperatura convierte en vapor la capa de agua marina situada directamente sobre el aglutinado basáltico. Se produce un cierto grado de mezcla entre los piroclastos basálticos fluidales y el sedimento formado por los fragmentos de vidrio perlítico.

3. Debido a la brusca elevación de temperatura, se produce la expansión perlítica de los fragmentos de vidrio de la hialoclastita traquítica hidratada. Este proceso ocurre cuando la capa superior de aglutinados basálticos se mantiene aún caliente y fluidal (deformable). En la expansión, la capa de aglutinados es abombada y estirada. El vapor de agua producido en el proceso queda atrapado dentro de la perlita expandida (material gris con punteado grueso en la figura), bajo la capa de aglutinados.
4. Por su baja densidad, la perlita expandida tiende a ascender por flotación. Masas globulares de perlita expandida se separan de la capa de hialoclastitas hidratadas, rompiendo la capa de aglutinados fluidales y plásticos que las recubre y formando quillas.
5. Durante el ascenso a través del agua marina hasta la superficie, el aglutinado basáltico estirado que forma la corteza de estas masas globulares se enfría muy rápidamente para dar lugar a sideromelana (s en la ilustración), mientras que las porciones de aglutinado basáltico que se hallan en su interior enfrían algo más despacio y dan lugar a taquilita (t). La perlita expandida (pe) también se enfría y el vapor de agua atrapado en su interior es liberado al fracturarse la corteza de sideromelana. La desgasificación es facilitada por la disminución de la presión confinante a la que está sometida el clasto que asciende.

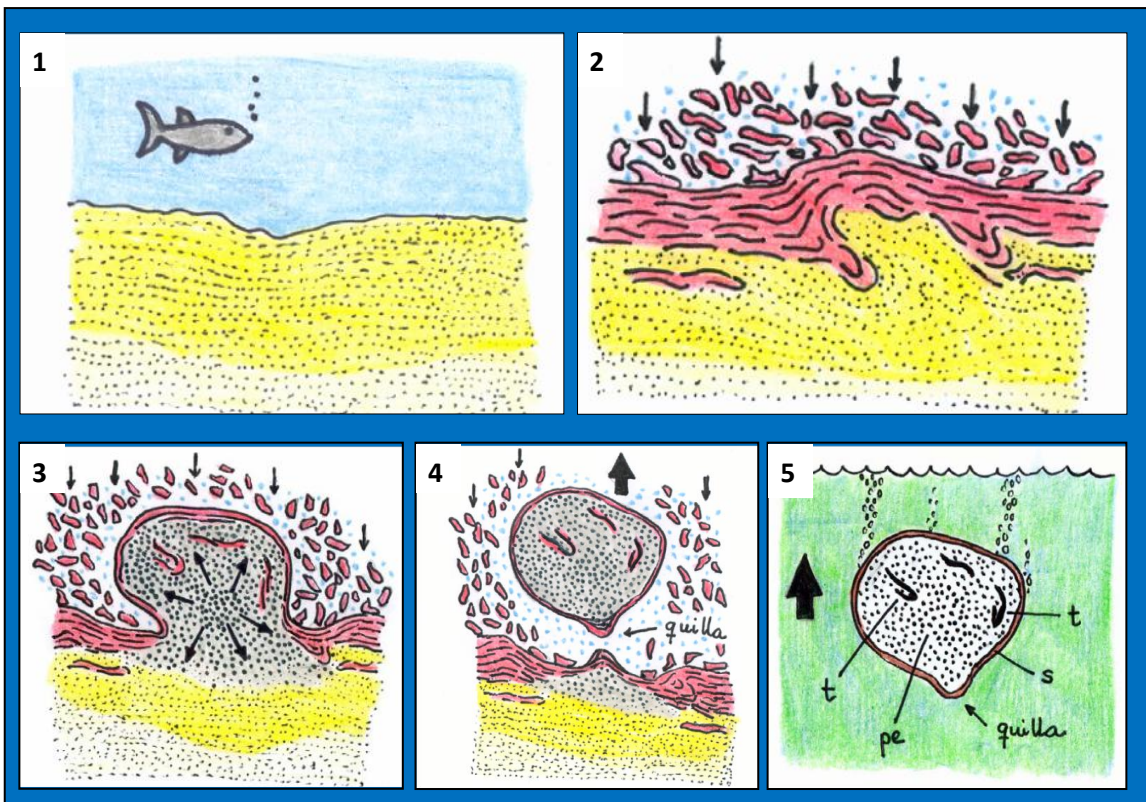


Figura 24: Formación de "restingolitas", según modelo de Juan Coello (Fuente: Coello, 2011).

Hipótesis 2 (Troll et al., 2011 y 2012): Establecen que el interior de color blanco procede de la fusión parcial de sedimentos oceánicos ricos en cuarzo (una arenisca fina, con vetas más oscuras de lodos pelágicos). El magma mantélico en su ascenso a través de la corteza oceánica funde parcialmente depósitos ricos en sílice que forman parte de la capa 1 de la corteza oceánica. Estos depósitos sólo se mezclarían físicamente (“mingling”) con el magma basanítico proveniente del Manto. El cuarzo de estos sedimentos es de origen detrítico, proveniente del continente africano, bien en forma de polvo en suspensión, o bien en corrientes de turbidez. En el punto de emisión, ambos fundidos serían arrojados al agua del mar. El fundido basanítico envolvería al fundido félsico, más viscoso y ligero, y ambos ascenderían a través de la columna de agua hasta su superficie a modo de grandes gotas o globos. En la siguiente imagen (figura 25) se ilustra el posible origen de las “restingolitas” descrito por estos autores.

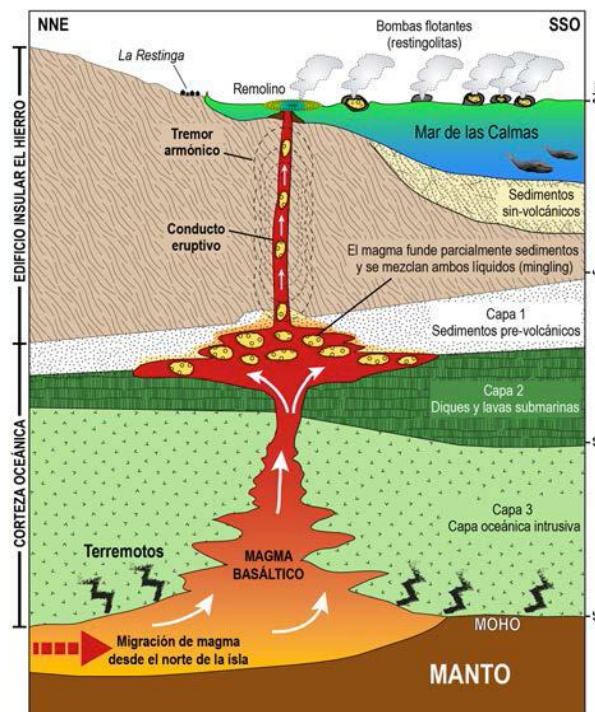


Figura 25: Formación de “restingolitas”, según modelo de Troll (Imagen tomada de Pérez-Torrado et al., 2012, modificado de Troll et al., 2012).

Hipótesis 3 (Castro et al., 2011): Establecen que el magma basanítico a más de 1100°C de temperatura puede inducir la formación de fundidos ricos en sílice y agua. Según los autores, los líquidos basálticos se acumulan temporalmente en la base de la corteza oceánica, a menos de 14 kilómetros de profundidad. En esta zona de acumulación se produce el fraccionamiento del basalto a un líquido basanítico que es el que alcanza la superficie. Cuando el magma basanítico atraviesa la corteza se pueden formar fundidos ricos en sílice y agua, que tienen a ascender a través del líquido basanítico. Durante el ascenso, la pérdida de presión induce la separación de una fase gaseosa en forma de vacuolas. Cuando los dos magmas

ascienden conjuntamente a través de canales compuestos, los cuerpos de líquido silíceo incrementan su volumen, llegando a adquirir hasta un 90% de vesículas. Estos cuerpos silíceos se consolidan en forma de vidrio y son expelidos a la superficie arrastrando una delgada capa de magma basanítico y dando lugar a los piroclastos compuestos, las “restingolitas” (ver figura 26).

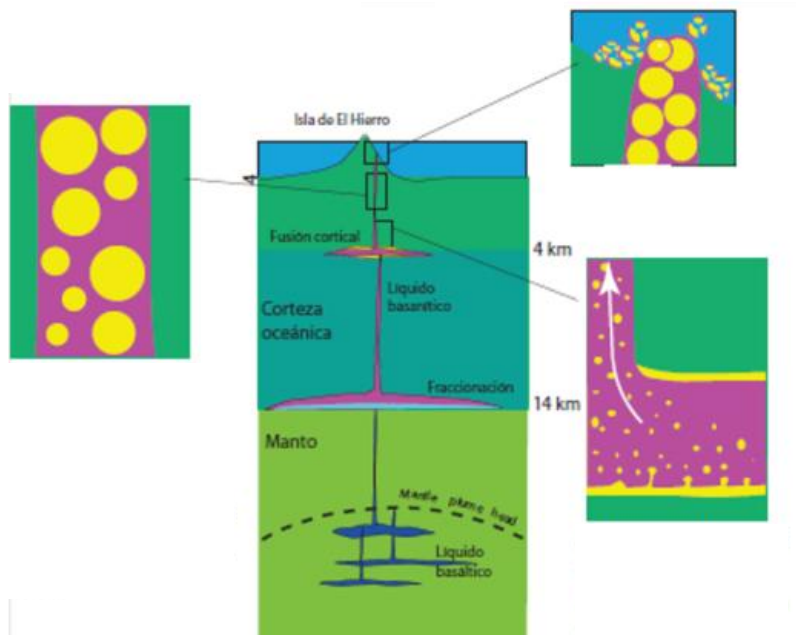


Figura 26: Formación de “restingolitas”, según modelo de Castro et al., 2011 (Fuente: Castro et al., 2011).

Con el transcurso de la erupción, las “restingolitas” desaparecieron y fueron sustituidas por otras “bombas” huecas, con una delgada corteza vítrea negra y con tamaños entre 30 y 200 cm. Cuando estos materiales alcanzaban la superficie del mar se fragmentaban rápidamente, liberando los gases que contenían y que las habían hecho ascender a través de la columna de agua, perdiendo, por tanto, su capacidad de flotar en la superficie, por lo que se hundían en poco tiempo, dificultando en muchas veces su recogida. Estas “bombas” han sido documentadas en varias erupciones, como la de La Serreta, en Terceira, Azores. En esta erupción se formuló un modelo para este tipo de material volcánico y se propuso el término de *lava balloons* (Forjaz, 2001). Según este modelo (figura 27), las *lava balloons* serían una especie de pillow-lavas expulsadas hacia la superficie cerca de la boca de salida en los típicos pulsos estrombolianos de la fuente de lava. La formación peculiar de estos productos volcánicos y todo el proceso eruptivo submarino de Azores condicionó el establecimiento de un estilo eruptivo propio que se denominó como “serretyan eruption”, un tipo de erupción submarina más profunda y menos explosiva que la surtseyana.

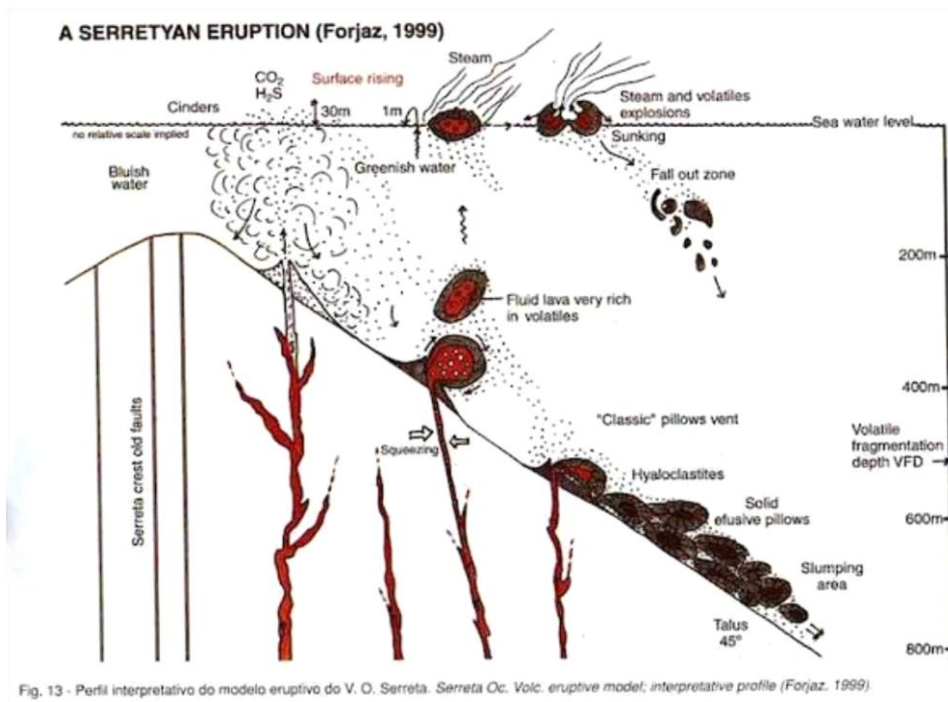


Figura 27: Formación de *lava ballons* descrita en la erupción de La Serreta, en Azores. (Imagen tomada de Forjaz, 2001)

6. ACTUACIÓN DE LOS ORGANISMOS PÚBLICOS

La erupción submarina de El Hierro ha supuesto la primera oportunidad en 40 años en Canarias de gestionar una crisis de estas características. La aprobación en 2010 del Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PLAN PEVOLCA) y el avance de los instrumentos y metodologías para el seguimiento de la actividad precursora y acompañante de una erupción han permitido progresar considerablemente en este campo desde la anterior erupción del Teneguía en 1971 en la isla de La Palma.

En este punto se expondrá principalmente el avance en la legislación que permitió el desarrollo y aprobación del PLAN PEVOLCA y la estructura organizativa establecida en ella. A continuación se analizará y valorará la gestión de la crisis.

6.1. Plan PEVOLCA

La ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil, prevé que una norma básica de Protección Civil determinará las líneas de actuación en las situaciones de emergencia y contendrá las directrices esenciales para la elaboración de los planes territoriales y de los planes especiales por tipos de emergencia, entre otros.

La Norma Básica de Protección Civil, aprobada por el Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, dispone en el artículo 5 que los **Planes Especiales** se elaborarán para hacer frente a los riesgos específicos cuya naturaleza requiera una metodología científico-técnica adecuada para cada uno de ellos. Entre los riesgos objeto de Planes Especiales, que se detallan en el artículo 6, constan los volcánicos. En el supuesto de riesgos volcánicos, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico, fue aprobada por acuerdo del Consejo de Ministros el 19 de enero de 1996 y publicada mediante Resolución de 21 de febrero de 1996, de la Secretaría de Estado de Interior.

De acuerdo con lo dispuesto en los artículos 7 y 8 de la Norma Básica de Protección Civil, los planes especiales cuyo ámbito territorial no exceda del de una Comunidad Autónoma serán aprobados por el Consejo de Gobierno de la Comunidad Autónoma, previo informe de la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma correspondiente y deberán ser homologados por la Comisión Nacional de Protección Civil, homologación consistente en comprobar que los planes se acomodan al contenido y criterio de la norma básica. Dichos planes podrán integrarse en el Plan Director de la Comunidad Autónoma, y establecerán los

mecanismos de coordinación con los planes de ámbito estatal para garantizar su adecuada integración.

En el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias, tiene el carácter de **Plan Director** el Plan Territorial de Emergencias de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Canarias (PLATECA), aprobado por el Decreto 1/2005, de 18 de enero, en el que se establece el marco organizativo general para que puedan integrarse los planes especiales cuyo ámbito sea el de la Comunidad Autónoma, y cuyas directrices sigue el PEVOLCA para establecer las pautas de actuación necesarias para responder ante un posible riesgo volcánico.

La ley 9/2007, de 13 de abril, del Sistema Canario de Seguridad y Emergencias, ordena las competencias de la Comunidad Autónoma de Canarias en materia de seguridad pública mediante la organización del Sistema Canario de Seguridad y Emergencias, y de acuerdo con lo previsto en su artículo 28.c), atribuye al Gobierno la competencia para aprobar los planes especiales.

Finalmente, el Decreto 73/2010, de 1 de julio, por el cual el Gobierno de Canarias aprobaba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA) fue publicado en el Boletín Oficial de Canarias (núm. 140) el lunes 19 de julio de 2010.

En el Plan PEVOLCA se define la estructura orgánica, los procedimientos de actuación e información a la población, los procedimientos de coordinación con el plan estatal, el sistema de integración de planes de emergencia con las entidades locales, así como las fases de actuación según los criterios de clasificación de la emergencia. Tiene como objetivo prioritario establecer la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios públicos y privados para hacer frente a las emergencias por riesgo volcánico.

En la estructura organizativa del Plan PEVOLCA se diferencian órganos que agrupan a todos los participantes contemplados en el Plan dependiendo del carácter de las acciones que llevan a cabo, es decir, si éstas se tratan de labores de dirección, de estudio y asesoramiento, de coordinación o de intervención directa (ver *Anexo 2*).

- Órganos de Dirección: Aquellos con capacidad ejecutiva y organizativa en el desarrollo de las acciones del Plan. El Comité de Dirección lo presidirá el Director del Plan PEVOLCA, que es la persona física responsable de la dirección y coordinación de todas las acciones que se realicen al amparo de este Plan. El Comité de Dirección estará constituido así por el Director, representantes de la Administración General del Estado, el Cabildo Insular y los Alcaldes de los municipios bajo riesgo.
- Órganos de Apoyo: Su función principal es el estudio y análisis de las situaciones de riesgo, sus circunstancias, y la capacidad de respuesta producto de las actuaciones

acordadas.

Está formado por el Comité Asesor, que analiza y valora la situación de emergencia para asesorar adecuadamente al Director, y el Gabinete de Información, encargado de recabar, elaborar, difundir y distribuir la información generada por la emergencia. El Comité Asesor está formado a su vez por el Comité Científico de Evaluación y Seguimiento (C.C.E.S), el Comité Técnico de Gestión de Empresas y el Comité de Administración e Indemnizaciones. En el decreto se estipula que el **C.C.E.S** estará formado por representantes de la Administración General del Instituto Geográfico Nacional (IGN), del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y en quienes designe funciones de apoyo (Estación Volcanológica de Canarias e investigadores del campo de la volcanología en Canarias), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), de la Dirección General de Protección Civil, y por parte de la Comunidad Autónoma los que designe el Director del PEVOLCA como: el departamento de Medio Ambiente del Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER), especialistas de cada una de las Universidades Canarias y representantes de otras instituciones de reconocido prestigio en el estudio y la investigación de la volcanología de Canarias. También se indica en el Decreto que únicamente el Gabinete de Información está autorizado a transmitir los datos relativos a la situación de emergencia.

- Órganos de Coordinación Operativa: Son los centros encargados de la gestión de la operación de emergencias, así como de la información generada. Esta actividad requiere una continua comunicación entre la Dirección de la emergencia y los Grupos de Acción.
- Órganos de Acción Operativa: Su función es intervenir directamente en la atención de la emergencia, tanto desde el punto de vista operativo como logístico. Está compuesto por los grupos de acción que se constituyan, especialmente de Intervención, Seguridad, Sanitario, Servicios esenciales, Vigilancia volcánica e Infraestructura y Logística.

En el marco competencial del Plan PEVOLCA se indican las funciones de las administraciones, de sus organismos e instituciones especializadas para lograr un sistema coordinado que permita una eficaz protección de personas y bienes en los casos de crisis volcánica que puedan hacerlo necesario.

Como responsabilidad del Gobierno del Estado cabe mencionar lo siguiente:

- Tal como se indica en el Real Decreto 1476/2004 de 18 de junio, se encomienda a la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional la función de: “observación,

vigilancia y comunicación de la actividad volcánica en el territorio nacional y determinación de los riesgos asociados”.

- Establecer los mecanismos y procedimientos para coordinar la aportación de medios y recursos de intervención ubicados fuera del ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias, cuando los previsto en el Plan de la misma se manifiesten insuficientes.

Como responsabilidad de las Administraciones Locales (insular y municipal) destaca:

- El Plan PEVOLCA constituye el marco de referencia para la elaboración de los Planes de Actuación Locales Complementarios para el desarrollo cabal del Plan. En el Anexo 2 se indica la estructura y funciones que prioritariamente deberán seguir estos Planes.
- Cada Cabildo Insular elaborará e implementará los Planes de Actuación a nivel insular. Según la evaluación básica de riesgos, las islas que deberán elaborar dichos Planes son: Tenerife, La Palma y Lanzarote. El Comité Científico de Evaluación y Seguimiento (C.C.E.S) valorará la inclusión de El Hierro, Gran Canaria, La Gomera y Fuerteventura en el caso de que se pueda evidenciar un incremento significativo en su actividad.

En el Plan de Actuación del Decreto (Capítulo 4, Operatividad) se establecen diferentes fases (semáforos) y situaciones en función de las previsiones sobre la posible erupción volcánica, tales como: previsiones vulcanológicas, información obtenida del sistema de vigilancia volcánica y evolución del suceso o fenómeno. Las fases se refieren al estado en que se encuentra el fenómeno volcánico que se produce, mientras que las situaciones hacen referencia al estado de alerta o de actuación directa en que se encuentran los diferentes servicios llamados a intervenir (ver Anexo 2).

Semáforo verde- Fase de Normalidad

En esta fase existe una condición de riesgo tan bajo que la población no requiere tomar medidas de protección y los habitantes realizan sus actividades con normalidad. Esta condición puede ir desde periodos de gran calma a situaciones con una aparente reactivación, pero cuyo lapso de tiempo puede durar años.

Situación de Estabilidad: La actividad volcánica se encuentra en estado de reposo, situación que puede durar meses, años o siglos. Las mediciones realizadas por el sistema de vigilancia sobre los datos de seísmos, deformación del terreno y geoquímica indican que no hay variación significativa de la tendencia de los últimos años. En esta situación la población mantiene sus actividades cotidianas sin que éstas se alteren o tenga que recibir información adicional.

Situación de Prealerta: Las mediciones sobre los datos indican que hay variación significativa en las mediciones sobre la tendencia de los últimos años, por lo que se incrementan las mediciones y vigilancia volcánica con la colocación de estaciones móviles para evaluar la condición inicial del fenómeno. En esta situación se prevén dos posibles condiciones: Una inicial con una actividad moderada suficiente como para dar inicio a la fase de prealerta, y luego una moderada creciente que indica una intensificación importante del fenómeno. Esta situación no supone peligro para la población como para dar orientaciones específicas, por lo que las informaciones a la población se circunscriben a informar de la nueva condición volcánica de prealerta sin que existan condiciones para tomar acciones de protección.

Semáforo amarillo- Fase de Preemergencia

Las mediciones de los registros instrumentales se desvían significativamente de los valores normales, por lo que el escenario de anormalidad requiere la activación del Plan en la que es previsible su aplicación a corto plazo.

Situación de Alerta: La alerta es la acción que tiene por objeto inducir a los integrantes del Plan y a la población a tomar medidas de protección ante el riesgo volcánico. Implica una planificación detallada de las actuaciones previstas en el Plan y su ajuste a la realidad de las condiciones presentes en las zonas consideradas de mayor peligro para la población. En esta etapa del proceso de gestión del Plan se enfocarán las operaciones para preparar una evacuación preventiva. En cuanto a la población, el cambio a situación de alerta trae consigo la emisión de avisos y comunicados a las instituciones que correspondan y las orientaciones de autoprotección a través de los medios de comunicación. Del mismo modo, se hace llegar a las poblaciones de riesgo directo el plan de evacuación previsto y las recomendaciones de cómo actuar.

Semáforo rojo- Fase de Emergencia

En esta fase se inicia la evacuación preventiva de las zonas consideradas de riesgo y, según cambien las condiciones ambientales y del comportamiento del volcán, se toman medidas de protección de otras áreas que se requieran incluir.

Situación de Alerta máxima: En esta situación los registros de sismicidad, deformación del terreno y datos geoquímicos advierten de una erupción inminente. Implica el inicio del procedimiento de evacuación preventiva de la población prevista en la situación de alerta y se procede al despliegue de los medios y recursos para asistir a la población.

Situación 1 o 2: En esta fase se hace evidente el proceso eruptivo con fuertes sismos o con la propia salida del material magmático a la superficie. La situación 1 se identifica cuando, aun existiendo la erupción volcánica, ésta discurre sin riesgos importantes

para la población, las infraestructuras o el medio ambiente. La situación 2 refleja un aumento en la gravedad de la situación, con graves afecciones o incremento del riesgo para la población.

Situación de alarma: El establecimiento de esta situación implica que existen condiciones de elevada peligrosidad que pueden cubrir extensas zonas en las que no es posible asegurar la vida de las personas con los recursos previstos en el Plan. Al incrementarse los niveles de riesgo se aumentarán los esfuerzos en transmitir a la población las orientaciones de protección y, en caso necesario, se llevarán a cabo nuevas evacuaciones. En esta situación la Administración General del Estado a través del Ministerio del Interior declarará la situación de alarma y el Interés Nacional activando el Plan Estatal de Protección Civil. En estos momentos la Dirección de la emergencia pasará a la Administración General del Estado.

6.2. Gestión de la crisis: Análisis y valoración

El 22 de Julio, 3 días después de iniciarse el enjambre sísmico, la Consejería de Economía, Hacienda y Seguridad del Gobierno de Canarias convoca por primera vez al C.C.E.S (Comité Científico de Evaluación y Seguimiento), recogido en el Plan Específico de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias. El Comité, tras la valoración de la información sísmica y volcanológica recogida por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Instituto Volcanológico de Canarias estableció que la situación era de total normalidad, correspondiente al semáforo verde para conocimiento de la población, activando los mecanismos de seguimiento y vigilancia necesarios para coordinar las acciones de autoprotección civil e información a la población recogidas en dicho Plan.

Uno de los puntos clave que afectó a la eficacia en la gestión de la crisis fue la composición inicial que se estableció del C.C.E.S, pues únicamente se limitó a personal del IGN, AEMET, el IEO y CSIC, figurando como organismo invitado el ITER. Se excluyó así la participación de científicos de las dos universidades canarias y de la Estación Volcanológica de Canarias, a pesar de que cuentan con una amplia experiencia sobre la geología y volcanología del Archipiélago Canario. Aunque el seguimiento de una crisis sismo-volcánica requiere una amplia y variada instrumentación para la correcta implementación de las redes instrumentales y la adecuada interpretación de sus datos, es necesario un conocimiento geológico detallado del área volcánica a monitorear. La exclusión inicial de estas instituciones pudo haber interferido en el análisis e interpretación de los primeros datos, llevando en muchos casos a una mala gestión del fenómeno.

Es interesante señalar que el 10 de noviembre el Vicepresidente del CISC convocó en Madrid una jornada de trabajo científico sobre el proceso sismo-volcánico de El Hierro, a la que fueron

invitados investigadores con experiencia en el volcanismo Canario de la ULPGC, la ULL y la estación Vulcanológica de Canarias, así como investigadores y técnicos del IGN, IEO, IGME, AEMET, INVOLCAN, el director de la PLOCAN y el Presidente del Colegio de Geólogos. En ella se presentó la situación actual en el seguimiento de la actividad volcánica en El Hierro por parte de los distintos asistentes, incidiendo en la situación actual, el seguimiento de la misma, los posibles escenarios futuros, así como diversos estudios que se estaban realizando en la isla de El Hierro.

El primer objetivo planteado en la reunión fue poner en común los datos de que disponía el Comité de asesoramiento del PEVOLCA sobre la crisis sismo-volcánica, los que estaban recogiendo los OPIs con competencias en riesgo volcánico y aquellos que conocían directa o indirectamente los investigadores invitados. El segundo objetivo fue contrastar entre todos los asistentes la metodología científica que se estaba siguiendo con el objetivo de ayudar a aquellos que debían asesorar a las Instituciones y Gobiernos Central, Autonómico, Cabildo y Local. De este modo, la reunión sirvió para detectar si había deficiencias en dicha metodología y, en tal caso, cómo superarlas. El intercambio de información y opiniones permitió constatar que la gestión científica y técnica de la crisis por parte del IGN estaba siendo muy profesional y correcta, a pesar de que por la propia naturaleza de una crisis de este tipo hubiera podido haber al inicio alguna descoordinación con grupos científicos conocedores del volcanismo de El Hierro.

También se detectaron las deficiencias o necesidades que deberían suplirse de la mejor forma posible para poder continuar con el seguimiento de la actividad eruptiva y para poder pronosticar su posible evolución futura. En concreto se señalaron los siguientes aspectos:

1. La necesidad de una recogida sistemática de muestras de los productos eruptivos mediante dragados y recogida de muestras que pudieran aparecer flotando sobre el agua, para de este modo conocer la evolución petrológica de la erupción. Este aspecto era fundamental para conocer su desarrollo y predecir su evolución futura.
2. El establecimiento de una batimetría comparativa con la mayor frecuencia posible, para poder determinar la profundidad exacta a la que se encontraba el edificio volcánico que se estaba formando y su evolución morfológica. Esto era necesario para establecer la tasa eruptiva y para determinar la posible duración de la erupción. Además, era necesario para poder establecer escenarios eruptivos más precisos en caso de que el centro emisor se acercase a la superficie del mar.
3. El análisis de la señal de tremor recogida mediante array sísmico para poder determinar la existencia de uno o más focos de tremor, lo que podría indicar la existencia de otros focos eruptivos en otros puntos de la zona, como por ejemplo, en la zona norte de la isla.

Por último, también se remarcó la separación entre las necesidades científicas y técnicas en el seguimiento de la crisis eruptiva y los posibles estudios científicos del fenómeno que pudieran realizarse con posterioridad al mismo. Seguramente, como consecuencia de los intercambios que se produjeron en esta reunión, el 14 de noviembre, con la erupción bastante avanzada, el PEVOLCA buscó finalmente asesoramiento científico adicional, incorporando de este modo a expertos de las dos universidades canarias (ULL y ULPGC) y de la Estación Volcanológica de Canarias.

Una vez activado el Plan PEVOLCA se amplió la red instrumental del IGN para poder realizar una correcta vigilancia del fenómeno que se estaba iniciando y obtener datos en tiempo real para ayudar a las autoridades en el manejo de emergencias. La configuración de la red fue cambiando a medida que el fenómeno se iba desarrollando, pues el proceso comenzó en el norte y terminó en el sur. Aunque el despliegue de una red multi-paramétrica ha permitido realizar un seguimiento minucioso de la actividad precursora, el desconocimiento de valores de referencia de muchos parámetros que se midieron (emisión difusa de CO₂ o variabilidad del campo magnético y gravitatorio) ha supuesto un problema en varias ocasiones (comunicación oral de María José Blanco, “Erupción volcánica de El Hierro: vigilancia y análisis del IGN”). A continuación se describe la red de vigilancia que se desplegó en El Hierro (ver en Anexo 3 la Configuración final de la red de vigilancia volcánica desplegada por el IGN):

- **Sismicidad:** Se instalan 7 nuevas estaciones sísmicas, que unidas a las 2 anteriores (CTIG y CHIE), hacen un total de 9. Nada más comenzar el enjambre sísmico a finales de julio se instalaron dos estaciones en el norte de la isla, en la región de El Golfo (CTAB y CTAN). En la segunda semana de agosto, cuando los acontecimientos comenzaron a migrar al sur tierra adentro, se instalaron tres nuevas estaciones (CCUM, CJUL y CMCL). Finalmente, el 1 de octubre la red se completó con otras dos estaciones situadas en el sur y oeste de la isla (CORC, CRST).
- **Geodesia:** Inicialmente se contaba con una estación de GPS, Fron, que pertenece al Gobierno Autónomo de Canarias. Dicha estación fue la que detectó el desplazamiento noreste iniciado el 7 de julio. El IGN colocó 3 estaciones GPS de registro continuo (H101, H102 y H103) la última semana de julio, y otra (H104) en la primera semana de septiembre, todas en la región de El Golfo. Posteriormente se añadieron 6 estaciones más de registro continuo, localizadas a lo largo de toda la isla, y 3 estaciones GPS de campaña.
- **Geomagnetismo y Gravimetría:** Se colocaron 4 estaciones provistas de magnetómetros para medir el comportamiento temporal de la intensidad del campo geomagnético. Dos magnetómetros (MARB y MLLA) se instalaron la primera y segunda semana de septiembre. Una tercera estación (MMEN) se estableció inicialmente en las laderas de El Golfo la tercera semana de septiembre, pero fue desplazada hacia la

zona de El Julan a principios de octubre (MJUL). También se instalaron dos gravímetros, uno en el área de El Golfo a principios de agosto (GH01), que luego se trasladó al centro de la isla a finales de septiembre (GH02).

- **Geoquímica:** Se instalaron 4 estaciones geoquímicas continuas, tres en galerías de agua (HVER, HTIN, HTIG) y una en un pozo (RSIM), donde se midieron la temperatura del aire y del agua, y la concentración de ^{222}Rn en el aire. Las dos primeras galerías también fueron equipadas con un sensor para medir la concentración de CO_2 en el aire. Otros parámetros físicoquímicos de las aguas subterráneas (temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos) se midieron también por lo menos una vez por semana en cuatro pozos de El Golfo desde julio de 2011.

Además de este despliegue, el IGN también dispuso una sección en internet (<http://www.ign.es/ign/resources/volcanologia/HIERRO.html>) para presentar información sobre sismicidad, energía sísmica acumulada, deformaciones y tremor armónico. En las fases finales llegó a disponerse también de dos webcams que proporcionaban una vista continua y en tiempo real del mar en la zona de la erupción submarina.

Durante los primeros meses se realizaron charlas de divulgación de vulcanología entre los ciudadanos por parte de miembros del IGN y a partir de septiembre se diseñó un plan específico de comunicación, en el que participaron los técnicos y científicos del comité bajo la coordinación del Cabildo de El Hierro. A finales de septiembre el Cabildo editó un folleto informativo sobre el fenómeno sísmico en la isla, parte del plan de Comunicación e Información diseñado bajo los criterios específicos que establece el PEVOLCA, y se volvieron a realizar sesiones formativas entre la población.

Ante el incremento de la magnitud de los movimientos sísmicos y la evolución de los parámetros de deformación el Comité del PEVOLCA elevó el color del semáforo a amarillo el 23 de septiembre, pasando así a una fase de preemergencia. Una vez declarada la fase de semáforo amarillo significa que hay que prepararse ante una evolución desfavorable del fenómeno e implica una mayor información a la población y la toma de ciertas medidas de autoprotección en el caso de que se produzca una erupción. Las instituciones competentes en materia de Seguridad y Protección Civil, y en el marco del Comité Técnico, definieron el plan de actuación en el que se establece los procedimientos eficaces para garantizar la integridad y bienestar de la población que pudiera verse afectada por una situación de emergencia en el ámbito de este Plan. La elaboración de este documento es una de las medidas que establece el PEVOLCA cuando la situación se encuentra en Semáforo Amarillo y asigna el personal implicado en la emergencia de los Grupos de Acción, la revisión de planes de contingencia de Servicios Básicos Esenciales, la información continuada a la población, la difusión del Plan de Evacuación y la comprobación del Plan de Comunicaciones. En esta fase, el Cabildo de El Hierro es el responsable de informar a la ciudadanía de los aspectos prácticos del plan de

actuación según la evolución del fenómeno, de los puntos de encuentro, albergues y sistemas de evacuación. Para ello se proporcionó una página web: <http://www.emergenciaselhierro.org>. Asimismo, el Gobierno de Canarias informó semanalmente sobre la evolución del fenómeno, siendo el portavoz único para trasladar la información científica.

Tras confirmar el Comité Científico el inicio de la erupción, el 11 de octubre la Dirección del PEVOLCA elevó a color rojo (fase 1) el semáforo volcánico para la zona de La Restinga. Esto implica la entrada en fase de emergencia, situación de alerta máxima para la zona concreta de La Restinga. La decisión se basó en el informe del IGN sobre vibraciones sentidas en La Restinga, que se atribuyeron a que se estaba produciendo un acercamiento a tierra del fenómeno. Se consideró que si la fisura se acercaba a la costa, la profundidad de las posibles erupciones irían siendo cada vez menores, por lo que se podrían originar pulsos eruptivos surtseyanos debido a la escasa profundidad de liberación de los gases en el mar y la interacción efectiva agua-magma, fenómenos que aumentarían la explosividad, y por tanto, la peligrosidad de la erupción. Entre otras medidas se adoptó la designación de una zona de exclusión marítima donde quedó prohibida la navegación, actividades de pesca, buceo, deportivas o recreativas en el área comprendida en un radio de cuatro millas marinas desde la punta de La Restinga.

Las mayores deficiencias se produjeron en el seguimiento de la erupción submarina, hecho que propició la toma de decisiones de protección civil posiblemente innecesarias. La progresiva migración de los epicentros hacia el océano al sur de la isla durante los primeros meses aumentaba las probabilidades de una erupción submarina, pero en ningún momento se procedió a solicitar la presencia de un buque oceanográfico, imprescindible para la observación de un proceso eruptivo. Una vez iniciada la erupción y dada la incertidumbre que se generó en cuanto a su localización, se procedió a solicitar formalmente este barco. Al no poderse establecer la localización exacta de la erupción submarina, se temió por un acercamiento de la erupción hacia la costa, lo que podía generar explosiones surtseyanas, por lo que se llevó a cabo la primera evacuación de La Restinga. Tras las primeras campañas batimétricas realizadas por el buque oceanográfico *Ramón Margalef* se logró localizar la cima del cono volcánico formado por la erupción, a unos 220 metros de profundidad. Esta profundidad distaba mucho de los 100 metros que marca el límite por debajo del cual una erupción submarina, teniendo en consideración la composición del magma emitido, presenta una baja explosividad, y, por tanto, carece de peligrosidad. La aparición de zonas de burbujeo el 5 de noviembre indujo a las autoridades a realizar una segunda evacuación, nuevamente por temor a explosiones surtseyanas.

A finales de noviembre se redujo el número de movimientos sísmicos y la señal del tremor armónico, además de estabilizarse completamente los parámetros de deformación, por lo que se procedió a levantar las órdenes de evacuación del pueblo de La Restinga y las restricciones viarias. El 7 de diciembre el Comité del PEVOLCA limitó el semáforo por riesgo volcánico a la

zona de exclusión marítima de 4 millas, pasando la Restinga a semáforo amarillo, que se mantenía en el resto de la isla. Desde el 13 de febrero la amplitud de la señal del temblor se hace muy baja y finalmente se determina el 5 de marzo el final de la erupción. Días después se limitó la zona de exclusión marítima a un radio de 0,5 millas del centro emisor del volcán submarino de El Hierro, donde quedan prohibidas todas las actividades de pesca, deportivas y recreativas. El 19 de abril finalmente se establece la fase de normalidad, en semáforo verde en la zona terrestre de la Isla, manteniéndose el semáforo amarillo en la zona de exclusión marítima.

A lo largo de la crisis sismo-volcánica se ha producido un evidente distanciamiento entre el presidente del Cabildo de El Hierro (director del plan de actuación insular en emergencia volcánica, tal como viene estipulado en el Plan PEVOLCA) y los miembros del comité del Plan PEVOLCA. El máximo responsable político de la isla ha mostrado públicamente, en varias ocasiones, su descontento con la gestión del Plan PEVOLCA, llegando a acusar, incluso, a D. Juan Manuel Santana (Director General de Seguridad y Emergencias del Gobierno de Canarias, y director del Plan PEVOLCA), afirmando que “las decisiones sobre el aumento o disminución del semáforo por riesgo volcánico, el cierre de carreteras y evacuaciones son exclusivas del Plan PEVOLCA y en su defecto, de su responsable, el director general, y que nunca contaron con él”, en clara alusión a su disconformidad con el cierre del túnel de “Los Roquillos”, principal infraestructura de la isla, en materia de comunicación por carretera. En este sentido, se pueden rescatar unas declaraciones del presidente del Cabildo herreño, durante el mes de noviembre de 2011, apenas un mes después de comenzar la crisis sísmica: “lo que no se entiende es que en circunstancias muy parecidas se decida abrir o cerrar el túnel dependiendo de una voluntad que no se explica, ni nadie lo entiende”, declaró, expresando su malestar por la ambigüedad de las decisiones en torno a la apertura o el cierre del mentado túnel: “son cuestiones que te llevan a pensar que el peligro está por otro lado”, aseguró.

Yendo más allá, una vez concluyó el episodio volcánico, en marzo de 2012, D. Alpidio Armas volvió a criticar con fuerza las decisiones tomadas por el responsable del PEVOLCA, afirmando: "Hemos sido meros invitados de piedra en el Pevolca", explicando que no había existido consenso alguno en la toma de decisiones, ni si quiera un acercamiento en las reuniones celebradas para tal efecto. Pero la respuesta del PEVOLCA al respecto no se hizo esperar, y su responsable, D. Juan Manuel Santana, no tardó en desmentir lo dicho por D. Alpidio Armas, también en el mes de marzo, apuntando que sus decisiones siempre estuvieron “vinculadas con la protección civil de los herreños y siempre atendieron a las recomendaciones del comité científico que lo asesora”.

Así las cosas, y siguiendo en la línea de las diferencias entre ambos dirigentes y organismos, la última declaración del presidente herreño, ante los medios, ha sido para calificar como “irresponsables e improvisadas” las afirmaciones emitidas el 3 de julio por parte del Plan PEVOLCA, en las que se informaba sobre el avistamiento de “burbujeo y mancha blanca sobre

el Mar de Las Calmas”. En opinión del presidente del Cabildo herreño, “se ha roto el acuerdo de consensuar las informaciones antes de emitirlas por parte del Plan Especial” y “el compromiso de unidad informativa adquirido al comienzo del presente fenómeno sísmico de El Hierro”, pues la nota enviada sobre el avistamiento de la mancha blanca en el Mar de las Calmas “no estaba consensuada por todos los actores del Plan PEVOLCA”. Por otra parte, 14 horas después del primer comunicado, el PEVOLCA anunció que el fenómeno se correspondía con el habitual fenómeno costero conocido popularmente como “reboso” o mar en tierra. La Dirección General de Seguridad y Emergencias ha negado siempre estas acusaciones, y ante las declaraciones del día 3 de julio sobre la mancha blanca y el burbujeo visto en el Mar de las Calmas señaló que en ningún momento se relacionó el avistamiento con un proceso eruptivo y que se lanzó la información para dar tranquilidad a los vecinos que habían alertado de esta presencia en el Mar de Las Calmas.

A colación de la confusión generada, también se ha creado una polémica por el papel ejercido por los medios de comunicación a lo largo del proceso, pues en muchas ocasiones lo único que se ha hecho es aumentar la alarma social. La jefa del Centro Geofísico de Canarias, María José Blanco, señaló que los medios de comunicación han provocado un incremento de la alarma social, “agobiando económicamente una isla que vive del turismo”. Asimismo, Blanco espetó que “en la actualidad estos errores se han corregido gracias a un servicio de prensa que organiza y distribuye la información”.

Con todo, resulta evidente que, a pesar del peso específico que tiene el Plan PEVOLCA en éste tipo de sucesos, la ausencia de entendimiento y coordinación entre las diferentes instituciones públicas ha generado una confusión importante entre la población, que sigue sin explicarse el porqué de algunas decisiones tomadas durante el inicio y el desarrollo del proceso sismo-volcánico.

7. CONSECUENCIAS

7.1. Consecuencias a nivel social

Durante los primeros meses de la crisis sísmica la población de El Hierro vivió en una total incertidumbre. Hasta principios de septiembre los movimientos sísmicos tenían magnitudes inferiores a 3 en la escala de Richter, por lo que no eran sentidos por la población. En esos momentos la gente conocía la situación que se vivía en la isla pero no consideraban que fuese un tema preocupante. El 2 de septiembre el Comité Científico del PEVOLCA traslada a la población herreña las conclusiones más importantes de la información sísmica y vulcanológica recogida por el IGN, pero no es hasta mediados de septiembre, momento en el que los seísmos comienzan a sentirse, cuando surge el temor en la población.

Desde esa fecha los acontecimientos se suceden vertiginosamente. Los principales medios de comunicación nacionales se hacen eco de los sucesos que están teniendo lugar en la Isla, creando una alarma social innecesaria. Por un lado la población de la Isla es sometida continuamente a información procedente de diferentes medios, en los que intervienen, en muchos casos, personal no cualificado, llevándolos en muchas ocasiones a la confusión. Esto lleva a muchos ciudadanos a la búsqueda de información en diferentes recursos, sobre todo en internet. Los diferentes portales de asociaciones geológicas de las islas (AVCAN, Volcanes de Canarias...etc) crean directorios específicos para el seguimiento de la crisis sísmica y se crean muchos blogs que comunican diariamente los seísmos que se producen, se discuten los pormenores de la evolución sismo-volcánica del fenómeno, así como las diferentes reuniones del comité del PEVOLCA, los comunicados oficiales, las evacuaciones...etc.

Por otro lado, tras elevarse a semáforo amarillo la situación sismo-volcánica del Hierro el 23 de septiembre, los ciudadanos comienzan a tomar una consciencia real de la situación. La declaración de fase amarilla (preemergencia por riesgo volcánico) significa que hay que prepararse ante una evolución desfavorable del fenómeno e implica una mayor información a la población y la toma de ciertas medidas de autoprotección en el caso de que se produzca una erupción. Las instituciones competentes en materia de Seguridad y Protección Civil, y en el marco del Comité Técnico definieron el plan de actuación en el que se establece los procedimientos eficaces para garantizar la integridad y bienestar de la población que pudiera verse afectada por una situación de emergencia en el ámbito de este Plan. La elaboración de este documento es una de las medidas que establece el PEVOLCA cuando la situación se encuentra en semáforo amarillo y asigna el personal implicado en la emergencia de los grupos de acción, la revisión de planes de contingencia de servicios básicos esenciales, la información continuada a la población, la difusión del plan de evacuación y la comprobación del

plan de comunicaciones. En esta fase, el Cabildo de El Hierro es el responsable de informar a la ciudadanía de los aspectos prácticos del plan de actuación según la evolución del fenómeno, de los puntos de encuentro, albergues y sistemas de evacuación. Desde ese momento comienzan a realizarse charlas informativas a la población de la isla para prepararla ante una eventual evacuación. Las reuniones cuentan con la participación de un representante del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y del Instituto Volcánico de Canarias (INVOLCAN) y, en las mismas, se reiteran las medidas de autoprotección que implica el semáforo en amarillo. En ellas también se comunica la importancia de prestar atención a las noticias que se dan por televisión y radio, y la habilitación de una web elaborado por el Gobierno de Canarias que se actualiza semanalmente con la información sobre la situación en El Hierro. Otros aspectos que se comunican en dichas reuniones es el material que ha de tener cada ciudadano preparado en su casa para que, en caso de necesidad, pueda recogerse de forma rápida, el conocimiento del punto de reunión de su localidad y la ruta a seguir para llegar hasta allí. Paralelamente también se diseñan actividades expresamente para los más pequeños, como el taller que lleva el nombre de “Jugando con los volcanes”.

Además de preparar a la población ante una posible erupción, el Gobierno comienza a desplazar medios humanos y materiales para reforzar el dispositivo de emergencia. Algunos recursos y efectivos que se trasladan para fortalecer el dispositivo preventivo de emergencia ante riesgo sísmico y volcánico son los siguientes:

- Un puesto de mando avanzado (PMA) que pueda actuar como centro de coordinación operativa de las distintas unidades que estén interviniendo en un incidente o preventivo.
- Un primer contingente de efectivos de la unidad de tierra del Grupo de Emergencias y Salvamento (GES) que trabajarán en el establecimiento de comunicaciones, gestión del PMA, filiación de personas, logísticas y rescate.
- El Servicio de Urgencias Canario (SUC) desplaza personal de enfermería encargado de organizar el traslado de una veintena de personas de edad avanzada y con patologías sensibles de sus domicilios. También se desplazará una ambulancia de soporte vital básico y una Unidad Móvil de Catástrofes.
- La Unidad Militar de Emergencias (UME) envía 44 soldados y 14 vehículos y se habla de la posibilidad de poner en marcha un albergue para 2.000 personas.
- La Cruz Roja traslada hasta la isla un hospital de campaña

El traslado de estos efectivos, junto a la visita de la ministra de Defensa, D^a. Carmen Chacón, y la llegada de numerosos periodistas, técnicos de emergencias y científicos, fueron seguidos con gran expectación por los herreños. Muchos consideraron en esos momentos que eran medidas innecesarias y que lo único que estaban era alarmando a la población sin necesidad.

A finales de septiembre y durante el comienzo del fenómeno eruptivo también se tomaron una serie de medidas, muchas veces de forma descoordinada, y varias de las cuales siguen siendo criticadas hoy en día. Una de las medidas que más controversia generó fue el cierre, en dos ocasiones (el 27 de septiembre y el 5 de noviembre), del túnel de Los Roquillos. Este túnel, construido en 2003, conecta los dos municipios más poblados de la isla, Frontera y Valverde, y permite reducir a la mitad el trayecto entre ambos municipios. El 27 de septiembre la caída de piedras y la posibilidad de un incremento de la intensidad y frecuencia sísmica llevaron a que el Cabildo de El Hierro decidiese cerrar el túnel de los Roquillos, siguiendo así las recomendaciones de los científicos del IGN. Ese mismo día también se decidió suspender las clases en los colegios de Frontera por si hubiera desprendimientos en las carreteras de acceso. Aunque al día siguiente se reanudaron las clases, el túnel de los Roquillos permaneció cerrado hasta el 18 de Octubre. Durante esas semanas en varias ocasiones se previó la apertura del túnel, pero la evolución del fenómeno sísmico obligó a suspender estas decisiones. Finalmente, el malestar creado entre la población y la presión de los ayuntamientos y el Cabildo, llevaron a que el PEVOLCA permitiera el 18 de octubre el acceso de forma controlada y no permanente a los vecinos y el tránsito de vehículos pesados y de mercancías peligrosas de forma controlada en horas diurnas. El 5 de noviembre el aumento de la actividad sísmica en Frontera incrementó el riesgo de desprendimientos en algunas zonas de El Golfo, por lo que se volvió a cerrar el túnel durante las 24 horas, salvo para los recursos de Seguridad y Emergencias. El 14 de noviembre se autorizó la apertura del túnel de 7:30 a 18:30 horas y el 23 del mismo mes, a petición de los ayuntamientos y de El Cabildo, se autorizó la apertura selectiva del túnel al inicio y final de la jornada. El cierre del túnel se justificó por el modelo de tectónica de bloques especulativo como fuente potencial de terremotos importantes que utilizó el C.C.E.S. en los inicios del proceso sismo-volcánico (F.J. Perez-Torrado et al., 2012), y por el informe elaborado por técnicos del IGME (informe inédito), que revelaba un “equilibrio comprometido” de los bloques de la ladera que rodea la boca del túnel, por lo que un seísmo cercano en profundidad y distancia a esa ladera, con una magnitud de 4,5 o superior, podría haber desencadenado la caída de esos bloques. Cuando el 14 de noviembre se buscó asesoramiento científico adicional, incorporando de este modo a expertos de la Estación Volcanológica de Canarias y de las dos Universidades Canarias (ULL y ULPGC), se desestimó la idea que postulaba que la isla estaba partida mediante una falla en dos bloques enganchados y con desplazamiento diferencial, capaz de generar sismos de gran magnitud y, en consecuencia, se produjo el 25 de noviembre la apertura total de la vía del túnel de los Roquillos.

Otras medidas que aún son debatidas actualmente están relacionadas con las diferentes evacuaciones que se produjeron en la isla. La primera evacuación tuvo lugar el 27 de septiembre, en el municipio de Frontera. En un principio se preveía la evacuación de 300 personas en zonas propensas a sufrir desprendimientos, pero finalmente sólo se produjo la evacuación de 53 personas. Aunque la evacuación se produjo durante la noche, a media tarde

la mayoría de los medios de comunicación se hicieron eco de la noticia. Al no conocerse con exactitud cómo iban a desarrollarse los acontecimientos, en muchos blogs y recursos de internet se llegó incluso a hablar de la evacuación total de la isla, o del inicio de una erupción. Hasta que no se produjo finalmente las evacuaciones, la población, tanto de la isla como del resto del archipiélago, no conoció con fidelidad los sucesos que estaban aconteciendo en esos momentos. Otra segunda evacuación se produjo en el municipio de Frontera ante los seísmos de magnitud superior a 4 que tuvieron lugar a principios de noviembre. Los constantes temblores de tierra y los desprendimientos obligaron a la evacuación preventiva de 11 familias del barrio de las Puntas el 4 de noviembre y de 51 personas de la zona de los Polvillos el 5 de noviembre. El 14 de noviembre se autorizó la vuelta a casa de los habitantes de la zona de Los Polvillos y el 25 de noviembre la de todos los vecinos que continuaban evacuados en la zona de Las Puntas.

Las otras dos evacuaciones que se produjeron tuvieron lugar en el pueblo de la Restinga. Aunque también son criticadas por algunos sectores, están bastantes justificadas por estar relacionadas directamente con el fenómeno eruptivo que se inició el 10 de octubre frente a las costas del pueblo de La Restinga. El 11 de octubre a las 14:00 horas el Comité del PEVOLCA decidió elevar el semáforo de riesgo volcánico a color rojo para la zona concreta de La Restinga, lo que dio lugar al desalojo de los habitantes de dicho núcleo costero, donde residen 547 personas. La decisión se basó en el informe del IGN sobre vibraciones sentidas en La Restinga, que se atribuyeron a que se producía un acercamiento a tierra del fenómeno eruptivo. De esta forma, si la fisura eruptiva se acercaba a la costa, la profundidad de las posibles erupciones irían siendo cada vez menores, por lo que se podrían originar pulsos eruptivos surtseyanos debido a la escasa profundidad de liberación de los gases en el mar y la interacción efectiva agua-magma, fenómenos que aumentarían la explosividad, y, por tanto, la peligrosidad de la erupción. Por todo ello, se decide como medida preventiva alejar a la población de la costa de La Restinga. Los habitantes se concentraron en el campo de fútbol, que era el punto de encuentro habilitado en el plan de actuación y que fue difundido con anterioridad entre los vecinos. Posteriormente fueron trasladados a otros lugares de la isla, principalmente de El Pinar y Valverde. Otras medidas de seguridad que se adoptaron fue la designación de una zona de exclusión marítima donde quedó prohibida la navegación, actividades de pesca, buceo, deportivas o recreativas en el área comprendida en un radio de cuatro millas marinas desde la punta de la Restinga. Durante los diez días que dura esta evacuación, se permite en varias ocasiones el acceso controlado al pueblo de la Restinga y se llega a plantear la vuelta a casa de los ciudadanos el 16 de octubre, pero finalmente no se autoriza la vuelta a casa hasta el 21 de octubre. El 5 de noviembre la dirección del PEVOLCA ordenó la segunda evacuación de los habitantes de la Restinga por la aparición de columnas de vapor y cenizas. En este caso solo se produjo el traslado de 200 personas, pues muchos ciudadanos no habían vuelto a sus hogares tras la primera evacuación. Al día siguiente se

permite el acceso controlado de los ciudadanos al pueblo, pero no se autoriza la vuelta a casa de los vecinos hasta el 14 de noviembre.

Otro tema que generó gran controversia y que creó en un principio una gran alarma social tiene que ver con la naturaleza de los primeros materiales arrojados por el volcán, las “restingolitas” (Apartado 5.4). Los primeros datos aportados por Gimeno (2011) y por los representantes del CSIC, que relacionaban el material blanco con riolita o traquita respectivamente, implicaban un incremento del riesgo eruptivo dado que indicaban la existencia de un magma más diferenciado y ácido, y, por tanto, más viscoso, lo que elevaba extraordinariamente la posibilidad de la ocurrencia de pulsos eruptivos de elevada explosividad. A pesar de los informes que se han elaborado posteriormente sobre las “restingolitas”, la web del Gobierno de Canarias no ha actualizado la información petrológica y únicamente se incluye el informe elaborado por el CSIC.

El anuncio del inicio del fenómeno eruptivo el 10 de octubre logró acabar con la gran incertidumbre que estaban viviendo los ciudadanos de la isla, pues por fin tenía lugar el acontecimiento tan temido por todos. Al tratarse de una erupción submarina, ésta implicaba un menor riesgo para la población, por lo que no hubo que lamentar daños mayores. En un principio se consideró que el anuncio de una erupción que no entrañaba peligro para los ciudadanos lograría acabar con la crisis turística que estaba viviendo la isla, pero, posiblemente, el inadecuado manejo de esta situación por parte de las autoridades locales y los medios de comunicación, y el desarrollo de los acontecimientos unido a la situación de crisis internacional, no permitieron que se recuperase la economía de la isla. Además, el fenómeno volcánico tuvo una duración mayor de lo previsto en comparación a las últimas erupciones que han tenido lugar en las Islas Canarias (hasta el 5 de marzo no se dio por finalizada la erupción), y tras haber considerado los científicos que el proceso eruptivo había concluido, una nueva crisis sísmica está teniendo lugar en la isla desde finales de junio del presente año.

Las consecuencias económicas (analizadas más adelante) de una isla que vive en la actualidad prácticamente del turismo, llevaron a los tres municipios de la isla (El Pinar, Valverde y La Frontera) al inicio de la crisis sismo-volcánica a declarar un estado de emergencia social y económica. Afortunadamente los acontecimientos solo afectaron al sector turístico y pesquero, por lo que no hubo que lamentar daños personales ni materiales (exceptuando los importantes daños al ecosistema marino), por lo que las ayudas sociales se han limitado a atender a las personas que han sido evacuadas y a las sesiones de normalización e información llevadas a cabo por el personal de la Cruz Roja en el mes de noviembre. Con estas charlas se pretendía conseguir la normalización de las emociones, sensaciones y conductas que se desarrollan en las personas tras vivir un acontecimiento traumático, el dotar a las personas de las herramientas necesarias para poder responder ante

una situación de emergencia o preemergencia, y el facilitar a todo el grupo participante de una serie de recomendaciones para cuidar su salud mental.

Con todo, resulta evidente el importante efecto que ha tenido el fenómeno sismo-volcánico en la vida de los habitantes de la isla durante unos meses, pues los acontecimientos y las diferentes decisiones tomadas en el marco del Plan PEVOLCA han interferido notablemente en su vida cotidiana.

7.2. Consecuencias a nivel económico

La isla de El Hierro es una referencia internacional por su modelo de desarrollo, que integra la economía de la isla con la conservación del medio ambiente. Durante la década de los ochenta el Excmo. Cabildo Insular de El Hierro, coincidiendo con un momento de preocupación y crisis medioambiental, empieza un camino hacia un desarrollo sostenible que cree oportunidades y reparta riqueza entre la población local. Este desafío comienza con el establecimiento de un “Plan de Desarrollo Sostenible” (noviembre de 1997), cuyo contenido inicial contribuyó de forma decisiva a que el Consejo Internacional de Reservas aprobase por unanimidad en 2000 la propuesta de Reserva Mundial de la Biosfera para el Hierro. Desde entonces la isla ha logrado alejarse del modelo turístico que prevalece en el resto de las islas, que dan un mayor peso al turismo de masas, logrando así una gran conservación de los ecosistemas terrestres y marinos. Uno de los proyectos más importantes que se está ejecutando en la actualidad, “El Hierro 100% Energías Renovables”, convertirá este territorio en la primera isla del mundo en autoabastecerse con el uso de energías limpias y ha permitido que se convierta en un referente mundial al atraer a gran cantidad de científicos procedentes de todo el mundo.

La actividad económica de la isla se sustenta por cuatro pilares que son supervisados y promocionados por el gobierno local: ganadería, agricultura, pesca y turismo. En cada uno de estos pilares se ha optado por unir tradición y ecología, con el fin de aprovechar los recursos y siempre respetando el medio ambiente. Dos de estos sectores, la pesca y el turismo, se han visto gravemente perjudicados por la crisis sismo-volcánica que está teniendo lugar desde hace ya más de un año.

En la zona afectada por la erupción que comenzó el 10 de octubre se encuentra situada la Reserva Marina de La Restinga- Mar de Las Calmas. Esta reserva se creó en 1996 a petición del sector pesquero, una vez confirmada la conveniencia de proteger las aguas y fondos de la zona por los informes de la Universidad de la Laguna y del Instituto Español de Oceanografía. Está situada en el extremo occidental de la isla, caracterizada por un permanente buen estado meteorológico, que justifica la denominación de Mar de las Calmas. Este rasgo permite el ejercicio continuado de la pesca, factor que unido a la fuerte pendiente del talud sumergido del

edificio insular (que condiciona una menor productividad), propiciaron la necesidad de la creación de la Reserva Marina con el objeto de prevenir una posible sobrepesca.

La creación de esta Reserva Marina y la existencia de actividades tradicionales en la explotación del medio han permitido que los hábitats marinos presenten un elevado grado de conservación, siendo uno de los litorales mejor conservados del archipiélago. Por este motivo los fondos marinos de la isla son conocidos a nivel mundial, condición que ha favorecido el aumento del número de clubes de buceo y una gran demanda de actividades de submarinismo. De este modo, las condiciones meteorológicas del pueblo de la Restinga, la presencia de algunas playas y la oferta de actividades subacuáticas han condicionado el auge del turismo en este pueblo durante las últimas décadas.

El inicio de la erupción frente a las costas de la Restinga paralizó totalmente ambos sectores, el de la pesca y el del turismo, durante prácticamente 5 meses, pues hasta mediados de marzo no se limitó la zona de exclusión marítima, por lo que durante ese tiempo no estaban permitidas las actividades de pesca y de buceo. Aún así, desde finales de marzo los pescadores están luchando por la implantación de un paro biológico para acelerar la recuperación del ecosistema, de los recursos pesqueros y de la actividad del buceo, por lo que no está previsto a corto plazo que se reanude la actividad pesquera. En cuanto a la actividad de buceo, las previsiones tampoco son muy favorables, pues la mala prensa que se ha desarrollado en torno a este acontecimiento unido a la crisis que actualmente estamos viviendo no hace prever la recuperación de este sector. Además, como ya se ha mencionado anteriormente, a partir de finales de junio del presente año se reinició una crisis sísmica en el oeste de la isla, por lo que se elevó el semáforo de verde a amarillo en la zona del Julan y en el Mar de las Calmas. Aunque el 6 de agosto se volvió a reducir el semáforo a verde, esta situación no ha ayudado a atraer al turismo a la Isla durante el verano de este año.

El mes de septiembre de 2011 supuso el comienzo de la ralentización económica de la Isla debido a la desconfianza que reflejó el fenómeno pre-eruptivo en el exterior. Las primeras cancelaciones de visitas turísticas afectaron de lleno a la estructura alojativa, mermando, además, la confianza y motivación de los empresarios. Por otra parte, la evolución del escenario sismo-volcánico provocó, necesariamente, que debieran aumentarse los recursos personales y técnicos de carácter científico. El Cabildo herreño asumió gran parte de la carga económica, dotación de infraestructuras y disponibilidad de recursos humanos a disposición de las necesidades derivadas de la crisis sismo-volcánica, tal como se recoge en el PEVOLCA. En el Plan de Reactivación Socioeconómica de El Hierro (Octubre, 2011) se estima un gasto de 2.799,282 € para cubrir las necesidades básicas en la gestión de la emergencia y seguridad.

En el sector de actividades subacuáticas, el inicio del proceso eruptivo supuso la cancelación de la XV edición del Open Fotosub isla de El Hierro, que comenzaba su andadura el 15 de octubre de 2011. El Open Fotosub Internacional Isla de El Hierro es una de las competiciones

abiertas de Fotografía Submarina más prestigiosas del mundo. Fue creada en 1996 a iniciativa de la Consejería de Turismo del Cabildo herreño, y a lo largo de estos años ha convocado a muchos de los mejores fotógrafos submarinos del momento. En esos momentos había 12 equipos inscritos en la competición, pero finalmente no se pudo llevar a cabo dicha actividad. Posteriormente se abrió un corredor desde La Restinga hacia el este para comunicar dicho pueblo con el puerto de la Estaca. Algunos propietarios de empresas de submarinismo optaron por trasladar sus locales a otros puntos (La Caleta o El Tamaduste) y otros optaron por trasladar diariamente sus equipos de buceo a otros lugares de la isla. A pesar de ello, dichas actividades acabaron finalizándose totalmente, pues no resultaron rentables.

La mayoría de las empresas de buceo se han creado a partir de la década de los 90, por lo que no son empresas que posean un gran capital y la mayoría tienen hipotecadas sus propiedades. Durante 5 meses las empresas han tenido gastos continuos (publicidad, teléfono, luz, agua, propiedades...etc) y ningún ingreso, y únicamente recibieron una ayuda de 1000 euros y el contrato de la cámara hiperbárica. Estos hechos han propiciado que actualmente sólo queden 5 de los 10 centros de buceo que había al inicio de la crisis sismo-volcánica. Según Iñaki Cayón, presidente de la asociación de centros de buceo "Fondos de El Hierro", cada empresa ha registrado una pérdida mensual de entre 2.500 y 4.000 euros, por lo que las pérdidas totales durante los primeros 5 meses de la crisis sísmica en el sector de actividades subacuáticas alcanzan unos valores de entre 125.000 y 200.000 euros.

La erupción submarina también ha supuesto la práctica paralización de toda la actividad pesquera de la isla. El 90% del sector, localizado en La Restinga, quedó inactivo por la creación de la zona de exclusión marítima, y el resto del sector también tuvo que cesar las actividades por la extensión de la mancha provocada por la erupción a todo el litoral herreño. Si bien muchas embarcaciones de La Restinga fueron desplazadas hasta el Puerto de la Estaca, no pudieron continuar las labores pesqueras con normalidad, no sólo por el hecho, ya enumerado, de que la mancha se extendiese por todo el litoral, sino porque desde octubre hasta abril o mayo los pesqueros faenan casi únicamente en El Mar de Las Calmas, puesto que los vientos alisios reinantes en el norte y noreste hacen imposible desarrollar la pesca en otro lugar. Aunque el sector hubiese continuado sus actividades hay que tener en cuenta que toda la industria pesquera de la Isla (lonja de pescado, túneles de congelación, fábrica de hielo...etc.) estaba situada en la explanada del Muelle de La Restinga, por lo que las evacuaciones realizadas en La Restinga impedían el desarrollo normal de la actividad. Ante esta situación, es innegable que el sector pesquero se ha sumido en la peor crisis de su historia, haciendo que los ingresos económicos percibidos por el sector se vean reducidos a cero euros. Sin embargo, las pérdidas no sólo se limitan a los beneficios perdidos, pues el sector ha tenido que seguir asumiendo unos gastos continuos. Gracias a los datos proporcionados por el Plan de Reactivación Socioeconómica se han estimado los gastos que ha tenido que seguir asumiendo el sector, haciendo distinción entre la flota pesquera y la

industria pesquera. Hay que tener en cuenta que esta estimación está infravalorada, pues hay empresas que se dedican únicamente a la comercialización, y que del mismo modo, también han visto mermados sus beneficios. En la figura 28 se indica la estimación de los gastos que ha tenido que seguir asumiendo el sector. Los gastos anuales son los proporcionados por el Plan de Reactivación, por lo que se ha calculado el gasto medio mensual y se ha extrapolado al periodo en el que el sector ha estado inactivo. En la industria pesquera se hace distinción entre las dos empresas principales (Pesca Restinga y Pescados Ramón) y la Cofradía, que se encarga de todos los asuntos relacionados con los pescadores (varada de embarcaciones, trámite de subvenciones o cualquier gestión administrativa).

GASTOS	ANUAL/EMB.	TOTAL EMB.(32)	GASTO MENSUAL TOTAL	GASTO 10 MESES (Octubre-Julio)
FLOTA PESQUERA				
MANTENIMIENTO	10.168	325.376	27.115	271.147
SEGURIDAD SOCIAL	2.400	76.800	6.400	64.000
SUBTOTAL	12.568	402.176	33.515	335.147
INDUSTRIA PESQUERA				
PESCA RESTINGA	85.000		7.083	70.833
PESCADOS RAMÓN	33.000		2.750	27.500
COFRADÍA	112.886		9.407	94.072
SUBTOTAL	230.886		19.241	192.405
TOTAL	243.454	402.176	52.755	527.552

Figura 28: Estimación de gastos del sector pesquero. (A partir de los datos del Plan de Reactivación Socioeconómica para la Isla de El Hierro).

El sector pesquero es el que más ayudas ha recibido: cada embarcación ha recibido una ayuda mensual de 1200 euros, más una ayuda proporcional al tamaño de la embarcación, durante los primeros 6 meses (entrevista a Fernando Gutiérrez). Desde el mes de marzo no se han recibido más ayudas para el sector pesquero pero, recientemente (el 20 de Junio), el Gobierno de Canarias ha convocado unas nuevas subvenciones para los pescadores de El Hierro, por valor de 600.000 euros, por la paralización de sus actividades durante 6 meses.

En cuanto al sector turístico, la actividad ha decaído prácticamente en la totalidad de la isla. Por un lado, directamente por el fenómeno eruptivo que tuvo lugar en La Restinga, uno de los principales puntos turísticos de la isla. El turismo que acoge La Restinga básicamente demanda actividades subacuáticas pero, según D. Iñaki Cayón, solo el 20 % del gasto medio de un turista es para la actividad de buceo, pues el resto se queda en otros negocios (apartamentos, coches de alquiler, comida...etc). Por otro lado, indirectamente ha afectado a toda la actividad turística de la isla. La desconfianza y mala prensa que se le dio en los medios

de comunicación a la crisis sismo-volcánica provocó una caída del número de visitantes, y los continuos cierres de carreteras principales crearon una mala comunicación entre los principales municipios. A finales de noviembre el Gobierno de Canarias aprobó por Decreto las ayudas y medidas de carácter excepcional para mitigar los daños producidos por los movimientos sísmicos y erupciones en la isla de El Hierro. En un principio los beneficiarios iban a ser únicamente empresarios del pueblo de la Restinga, pero la aprobación de un nuevo Decreto permitió que empresarios de los núcleos de las Puntas y el Pozo de la Salud (en Frontera), se beneficiasen también de esas ayudas. Los ciudadanos que disponían de un establecimiento permanente en la Restinga, relacionada con la restauración, hostelería, comercio de bienes al por menor y actividades turísticas y de transporte recibieron gracias a la aprobación del Decreto una ayuda de 1000 euros por beneficiario (empresa o profesional) y 500 euros por cada empleado a tiempo completo, hasta un máximo de 2000 euros. En la figura 29 se muestra la evolución de la ocupación hotelera desde Julio de 2010 hasta Junio de 2012, para poder realizar una comparación entre el año en el que ha tenido lugar el fenómeno sismo-volcánico y el año anterior. Las *pernoctaciones* indican el número de noches que un viajero se ha alojado en un establecimiento, y *viajeros alojados* hace referencia al número de ciudadanos que se han alojado durante un determinado tiempo. Tal como se puede observar, hay una notable disminución de ambas variables desde septiembre de 2011, coincidiendo con la mayor relevancia que adquirirían los procesos sísmicos y con el tratamiento nacional e internacional que se le comenzó a dar al fenómeno por parte de la prensa.

OCUPACIÓN HOTELERA DE LA ISLA DE EL HIERRO												
Año	2010						2011					
Mes	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Pernoctaciones	3.199	4.976	3.098	3.502	3.349	2.785	2.574	2.859	3.606	2.668	2504	2.077
Viajeros alojados	965	1.411	972	1.216	1.127	911	852	940	1.109	845	905	767
Año	2011						2012					
Mes	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Pernoctaciones	4.025	5.206	2.379	2.816	2.389	1.427	1.372	2.028	1.794	2.379	1.877	1813
Viajeros alojados	1.412	1.461	832	865	873	659	632	768	809	932	454	773

Figura 29: Ocupación hotelera en la isla de El Hierro desde Julio de 2010 hasta Junio de 2012.
(Fuente: ISTAC. Elaboración propia)

Tanto los ciudadanos como los políticos de la isla de El Hierro se han sentido abandonados por el Gobierno Canario y Estatal ante la catástrofe natural que les ha tocado vivir. El Gobierno de Canarias puso en marcha a lo largo de este año un paquete de medidas para intentar ayudar a los diferentes sectores afectados, pero la situación se considera tan grave que las ayudas se revelan insuficientes para una isla declarada en su totalidad en emergencia social. Ha llegado el punto en que son muchos los empresarios que se han visto obligados a cerrar sus negocios e incluso algunos a emigrar a otras islas para poder salir adelante. En la figura 30 se muestra la evolución del número de empresas desde Diciembre de 2010 hasta Junio de 2012. Tal como

se observa, ha habido una notable disminución del número de empresas en la isla, sobre todo en el municipio de Frontera, pero esta disminución no sólo se puede atribuir al proceso sismo-volcánico que ha tenido lugar en el último año, ya que desde el año anterior (2010) se observa una tendencia negativa. Las primeras ayudas estatales se publicaron el 6 de marzo, gracias a la aprobación del ministro de Industria, D. José Manuel Soria, de un Plan de Ayuda Específica para el Hierro de 6 millones de euros, que permitirá el desarrollo de medidas sectoriales de apoyo para la promoción del turismo, la dinamización industrial y empresarial, y el impulso a las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en la isla. De esa cantidad, 4,3 millones de euros se han destinado a la convocatoria de reindustrialización, correspondiendo 300.000 euros a subvenciones y 4 millones de euros a préstamos reembolsables. Posteriormente también se ofrecieron ayudas por parte de la Empresa Nacional de Innovación, Enisa (2 millones), y el ICO Turismo El Hierro por parte del Ministerio (2 millones).

NÚMERO DE EMPRESAS EN LA ISLA DE EL HIERRO							
Municipio	Periodo						
	Dic. 2010	Marzo 2011	Junio 2011	Sept.2011	Dic. 2011	Marzo 2012	Junio 2012
Frontera	122	116	114	113	106	104	100
Valverde	134	133	129	130	131	126	125
El Pinar	7	7	9	7	9	10	11
Total	263	256	252	250	246	240	236

Figura 30: Evolución del número de empresas en la isla de El Hierro desde Diciembre de 2010 hasta Junio de 2011. (Fuente: ISTAC. Elaboración propia)

Por último, mencionar que los problemas de comunicación que tiene la isla con el resto del Archipiélago, mayoritariamente el transporte marítimo, ralentizan la recuperación económica de la isla. Este conflicto tiene un origen anterior a la crisis sismo-volcánica, pero se acentuó cuando una de las empresas marítimas, Naviera Armas, anunció a finales de mayo el cese de sus rutas con la isla de El Hierro, dejando a la Isla comunicada únicamente por dos viajes semanales que realizaba en esos momentos la compañía de Fred Olsen. Tras originarse un gran revuelo entre los ciudadanos y los políticos la empresa anunció, una semana después, el retorno de las comunicaciones marítimas con la isla de El Hierro. Posteriormente el Gobierno de Canarias ha anunciado el diseño de una Obligación de Servicio Público para la isla que atienda adecuadamente todas las necesidades de los herreños y que garantice una frecuencia marítima diaria con la isla de Tenerife. Aunque estas medidas se anunciaron para el 1 de Julio tardaron más de lo previsto en materializarse. Actualmente el conflicto perdura por los horarios de conexiones del fin de semana que no favorecen al sector turístico, así como el conflicto en el transporte aéreo, cuyos horarios se consideran también precarios y por los altos precios de los vuelos.

7.3. Consecuencias a nivel ambiental

El ecosistema marino de El Hierro presenta un elevado grado de conservación, gracias a la escasa población de la isla y al control de las actividades extractivas de los recursos marinos. Las costas mantienen un buen estado de conservación en gran parte, con escasas construcciones o industrias, de modo que los hábitats marinos están en su mayoría intactos y poco afectados por la contaminación. La casi total cobertura algal y la variedad de sus fondos favorece una elevada biodiversidad, destacando el reciente descubrimiento de que El Hierro es uno de los pocos lugares del mundo donde se conoce la existencia de poblaciones residentes de zifios.

Las consecuencias ambientales del volcán submarino tuvieron una mayor incidencia en el Mar de las Calmas y, concretamente, en la Reserva Marina de La Restinga-Mar de Las Calmas (figura 31), pero las corrientes y mareas provocaron que la mancha formada por la erupción se extendiese a toda la costa de la Isla, afectando así, aunque en menor grado, al resto del litoral herreño.



Figura 31: Reserva Marina de La Restinga-Mar de Las Calmas. El sombreado rosa indica la extensión de la Reserva Marina y el círculo rojo indica la localización de la erupción submarina.

Las investigaciones llevadas a cabo por las diferentes campañas oceanográficas del IEO (Instituto Español de Oceanografía) desde Octubre hasta Febrero, con el objetivo de caracterizar las condiciones físico-químicas de las aguas afectadas y evaluar el impacto sobre los organismos marinos, arrojaron los siguientes resultados para la principal zona afectada:

- Expulsión de una gran cantidad de material magmático y gases.
- Incrementos en la temperatura del agua hasta un máximo de 18,8 grados.
- Disminución del pH hasta 3 unidades, lo equivalente a una concentración de ácidos 1.000 veces superior a los valores normales. Los principales motivos de estos bajos

valores de pH son las emisiones de CO₂ y gases derivados del azufre por parte del volcán submarino que generan ácido carbónico y ácido sulfúrico.

- Disminución de la concentración de oxígeno en un 90 o 100%.
- Incrementos en las concentraciones de hierro, llegándose a detectar una concentración cuatro millones de veces más alta que en condiciones normales (se ha pasado de 0,05 a 2300 nano molar).
- Incrementos en las concentraciones de otros metales, como cobre, cadmio, mercurio...etc.
- Aumento del carbono inorgánico total disuelto en un 370%, (pasando de 2098 µmol/kg a 7772 µmol/kg).
- Aumento de la presión parcial de CO₂ disuelto en las inmediaciones del volcán (se ha pasado de 380 microatmósferas a 207.000 micro-atmósferas), lo que supone una emisión de CO₂ a la atmósfera cuantificada en unas 45-55 toneladas diarias.

Estas alteraciones extremas provocaron distintas respuestas en los organismos marinos, desde la selección de especies de fitoplancton adaptadas a vivir en altas temperaturas y altas concentraciones de metales, hasta la mortandad masiva de peces. También supuso la incorporación de una gran cantidad de elementos que ha provocado un enriquecimiento y fertilización de las aguas costeras, por lo general aguas muy oligotróficas.

El estudio del impacto en la biodiversidad durante el desarrollo del evento fue escaso, pues únicamente tuvieron acceso a la zona afectada los barcos oceanográficos, que por sus propias limitaciones únicamente investigaron las aguas profundas. Durante esta etapa el avistamiento de organismos flotando y de otros arribados a las costas permitió registrar más de 80 especies afectadas. Aunque el volumen de peces muertos registrado fue grande, se estima que la biomasa total muerta debió ser muy superior a la observada y registrada, ya que muchos animales se hundieron o nunca salieron a flote (se ha constatado la presencia de numerosos esqueletos posteriormente). Actualmente se sabe que la muerte de los peces se debió a un colapso acidótico, causado por la intensa acidificación del agua que generó una alteración fisiológica generalizada que les llevó rápidamente a la muerte, aunque también la disminución notable de oxígeno en el agua pudo hacer hecho sinergia con la disminución del pH.

Los estudios preliminares sobre el impacto del volcán submarino de El Hierro en la biodiversidad y los recursos litorales costeros llevado a cabo por el equipo de investigación BIOECOMAC (Biodiversidad, Ecología Marina y Conservación) a principios de abril muestran los siguientes resultados:

- **Estado del fondo:** Se observa una fina capa de sedimentos (ceniza y sustancias azufrosas). A medio plazo se prevé que los temporales acaben por arrastrar estos sedimentos hacia los fondos profundos.

- **Algas:** Las comunidades algales intermareales resistieron bien el evento volcánico, no observándose cambios significativos en su composición y biomasa. Sólo las algas calcáreas se vieron afectadas, particularmente en la Reserva Marina, aunque el efecto no es generalizado. En las algas submareales si se ha observado un cambio importante en la composición, pues las especies dominantes se han visto afectadas de forma muy importante, siendo ocupados los espacios libres por algas estacionales y oportunistas. Actualmente la biodiversidad es más alta y la biomasa también es más elevada, por lo que hay más algas palatables para los herbívoros que cuando el sistema estaba maduro, pues el sistema se encuentra en una fase del proceso de sucesión ecológica más productiva.
- **Invertebrados:** Los invertebrados intermareales se encuentran en buen estado, aunque destaca la muerte de pulpos. Las lapas y burgados muestran un ligero desgaste de las conchas y se estima necesario el completar el estudio para evaluar si el reclutamiento ha disminuido y si se está provocando una acumulación de metales pesados (dado que son herbívoros raspadores y al alimentarse pueden incorporar los compuestos de origen volcánico que cubren las rocas). También se observa un incremento anormal de algunos moluscos gasterópodos y algunos otros invertebrados, relacionado con la supervivencia larvaria durante el evento volcánico y la ausencia de la presión depredadora de los peces. Destaca el importante aumento poblacional del erizo *Diadema*, gran causante de los blanquiales presentes en la mayoría de las costas canarias.
- **Peces:** Los peces adultos que se observan son especies de alta movilidad, que deben haber regresado al área atraídos por la presencia de mucha comida pelágica generada por la reproducción invernal y la elevada producción fitoplanctónica debida al aporte de nutrientes por parte del volcán. De los peces más ligados al fondo solo se han observado algunos ejemplares adultos aislados de pocas especies y ejemplares pequeños de otras especies, por lo que se constata una desaparición de muchas especies de fondo. Positivamente cabe destacar que se han observado bastantes ejemplares pequeños (alevines y juveniles) de algunas especies que se reproducen en invierno y cuyos adultos se vieron muy afectados en el Mar de las Calmas. Cabe pensar que las larvas proceden de zonas de la isla no afectadas, transportadas por las corrientes, y que se han visto favorecidas por la mayor producción planctónica y por la escasa presencia de depredadores adultos, lo que ha contribuido a un exitoso asentamiento y reclutamiento.

El equipo de investigación BIOECOMAC establece como escenario previsible una lenta recuperación de los peces de fondo gracias al aporte de larvas desde zonas externas no afectadas, pero es un proceso que tiene una gran dependencia del estado de conservación de

los recursos demersales (de fondo) fuera de la zona afectada. Por lo tanto, se considera necesaria la implantación de un paro biológico para acelerar el proceso de regeneración de estos recursos. Esta estrategia sería muy útil para recuperar las especies claves para la conservación del ecosistema, las comedoras de erizos de tallas medianas y grandes, y de aquellas que por su abundancia y rápida renovación poblacional constituyen el sustrato alimenticio de muchos carnívoros grandes de fondo y además controlan las fases iniciales de desarrollo de los invertebrados. También las especies emblemáticas para el buceo se recuperarán más rápidamente. Con un paro biológico se favorecerá la biodiversidad y los recursos, permitiendo una aceleración en la posibilidad de recuperar un buceo de alta calidad a corto plazo y en la reanudación de la actividad pesquera.

Uno de los principales riesgos para la recuperación del ecosistema son los erizos *Diadema*, que como se ha comentado, han tenido un gran éxito en su asentamiento en el fondo y reclutamiento, debido al incremento de fitoplancton y a la ausencia de depredadores. En la isla de El Hierro la conservación de especies de alto nivel trófico antes de la erupción ha mantenido el control sobre la plaga de este erizo que asola otras Islas, de modo que en El Hierro los blanquiales son raros y abundan los fondos cubiertos de algas. Los blanquiales son comunidades dominadas por el erizo *Diadema*, debido a que su actividad ramoneadora y gran voracidad resultan en fondos rocosos desprovistos de cubierta vegetal, lo que da nombre al blanquial. Esto produce un efecto drástico en las comunidades, reduciendo de forma importante la biomasa animal y vegetal, así como la diversidad. Actualmente se corre el riesgo de que sus poblaciones se conserven altas cuando los reclutas actuales alcancen mayor talla e incrementen su actividad ramoneadora, generando así un empobrecimiento del ecosistema. Para controlar la población de estos erizos es necesario que haya una importante recuperación a corto plazo de especies clave depredadoras, por lo que es necesaria la implementación de un paro biológico. Otras recomendaciones que estiman convenientes el grupo de investigación es el seguimiento científico del proceso de recuperación y la aplicación de actuaciones complementarias para acelerar la recuperación del ecosistema como: traslado de especies de lenta recuperación, control de las capturas de especies clave...etc.

Los pescadores de La Restinga, siempre preocupados por la conservación del ecosistema marino, solicitaron al Gobierno de Canarias ayudas para la implantación de un año de paro biológico. Según declaraciones de Fernando Gutiérrez, presidente de la cofradía de pescadores, es necesario una mayor duración del paro biológico, debido a que hay muchas especies que tienen un lento crecimiento y que tardarán más de un año en alcanzar el peso de captura. Finalmente el Gobierno de Canarias únicamente ha proporcionado ayudas para paralizar la actividad pesquera durante un periodo máximo de 6 meses, aunque no se ha publicado aún la propuesta definitiva, por lo que no se conoce cuándo empezará a aplicarse, ni dónde.

Por último, destacar que las condiciones que ha generado la erupción en el mar están siendo objeto de estudio de diversas instituciones internacionales por las semejanzas con el posible escenario que podría dominar en los océanos debido al aumento creciente de CO₂ en la atmósfera. La revista Scientific Reports, del grupo Nature, publicó un artículo científico sobre los cambios provocados en el mar por la erupción submarina y los cambios drásticos que se produjeron en 3 parámetros: la temperatura, la acidez y la concentración de oxígeno en el agua. Estos tres factores son los mismos sobre los que actúa en el mar el cambio climático provocado por el hombre con sus emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que convierte a la isla de El Hierro en un laboratorio natural único y a escala de lo que puede ocurrir en los océanos en el futuro.

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La magnitud y trascendencia de los bienes que están en juego en las situaciones de riesgo y emergencia, requirieron la necesidad de poner en funcionamiento un Sistema de Protección Civil (Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil) que garantizase la protección física de las personas y de los bienes en cualquier situación de riesgo o catástrofe que se pudiese originar en el Estado Español. A pesar de que en el Archipiélago Canario se registran largas etapas de inactividad volcánica, existen varios aspectos que aumentan considerablemente la vulnerabilidad, y aconsejan prestar especial atención a las medidas de vigilancia, prevención y actuación ante un episodio de actividad volcánica, entre ellos, el aumento de la población, el elevado tránsito de turistas y la fragilidad y grado de dependencia de la red de servicios básicos. En el plano legal, estos factores han propiciado la creación, por parte de la Comunidad Autónoma de Canarias, de un Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico (Plan PEVOLCA), debido a las importantes consecuencias que puede tener un evento volcánico sobre la población, los bienes y el medio ambiente.

La crisis sismo-volcánica que ha tenido lugar en la isla de El Hierro a lo largo de 2011-2012 ha permitido poner en práctica por primera vez el Plan PEVOLCA. Aunque la función del Plan PEVOLCA fue plantear un sistema perfectamente coordinado que garantice la eficaz protección de personas y bienes en los casos de crisis volcánica, así como la integración de las funciones específicas de los responsables de la protección civil, de las administraciones y sus organismos e instituciones especializadas, el resultado global de la gestión de la crisis sismo-volcánica en El Hierro a lo largo de 2011-2012 parece que no ha sido de lo más eficiente. Comparando la gestión de la anterior erupción volcánica que tuvo lugar en el Archipiélago, (Volcán Teneguía en el año 1971, en la isla de la Palma), las consecuencias económicas y sociales que se han generado por el proceso sismo-volcánico desarrollado en la isla de El Hierro han sido mucho mayores. La erupción del Teneguía se localizó en tierra, cerca de la población de Fuencaliente, y como la reciente crisis sismo-volcánica, estuvo precedida durante mucho tiempo de fuertes movimientos sísmicos. El estudio y la gestión de esta erupción lo realizó un equipo de la Universidad Complutense de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que se desplazó desde Madrid al comienzo de la erupción, y que estuvo dirigido por el profesor D. José María Gúster Casas (geólogo, Catedrático de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid). Aunque se produjo la evacuación de algunas poblaciones cercanas al lugar de la erupción, en el desarrollo de ésta se evitó cualquier tipo de alarma e incluso se llegaron a generar importantes beneficios económicos, gracias al anuncio de vuelos y viajes en barco que se organizaron para atraer la atención del turismo a la isla. Con todo, resulta evidente que, a pesar de haber contado actualmente con los instrumentos y medios necesarios para el seguimiento de una actividad

precursora, y de un Plan Especial que establece la organización y procedimientos de actuación ante un riesgo de ésta índole, los resultados de la gestión de la crisis sismo-volcánica han generado unas consecuencias sociales y económicas para la isla muy negativas.

Para explicar la deficiente gestión a la que se hace referencia, se pueden destacar varios puntos: En primer lugar, hay que centrarse en la exclusión inicial de científicos de las Universidades Canarias (ULL y ULPGC) Canarias y de la Estación Volcanológica de Canarias, pues muchos cuentan con un amplio currículum en el estudio de la volcanología de Canarias, y, en un segundo plano, en el papel ejercido por los medios de comunicación. Con la gestión llevada a cabo por el Plan PEVOLCA ha quedado demostrado que, actualmente, se dispone de una infraestructura técnica y humana adecuada para el seguimiento de una crisis eruptiva en la isla pero, no obstante, para realizar una adecuada interpretación de los datos obtenidos, es imprescindible el conocimiento geológico detallado del área volcánica a monitorear, por lo que no se debería haber prescindido en los inicios de la crisis sismo-volcánica de los científicos de las Universidades Canarias y de las diferentes instituciones que se dedican al estudio de la volcanología en Canarias. Como se ha comentado, todavía no hay una teoría, aceptada por toda la Comunidad científica, que explique correctamente todos los datos y observaciones que actualmente existen sobre el Archipiélago Canario. Este hecho ha propiciado que se tomaran inicialmente unas medidas en función del modelo explicativo que utilizaba el C.C.E.S., sin tener en cuenta los otros modelos existentes que tratan de explicar el origen de las Islas Canarias. En el Plan PEVOLCA se indica que, el director del PEVOLCA es el encargado de solicitar la colaboración de otras instituciones, entre ellas, de las Universidades Canarias. ¿Por qué se solicitó su ayuda tan tarde? (el 14 de noviembre). Es una cuestión que todavía no tiene respuesta y, que lógicamente, ha generado un malestar entre la comunidad científica del Archipiélago. La incorporación de expertos de la Estación Volcanológica de Canarias y de las Universidades Canarias promovió que finalmente se desestimase el modelo que manejaba el C.C.E.S. del Plan PEVOLCA. En relación a esto, cabe mencionar la labor desempeñada por el IGN. Aunque no hay dudas de la magnífica red de seguimiento multi-paramétrica que se desplegó, habría que preguntarse si es el organismo adecuado para el seguimiento de una actividad volcánica en Canarias y, en tal caso, por qué no fue solicitado el conocimiento y experiencia, no sólo de los científicos canarios, sino de países europeos expertos en el seguimiento volcánico (como Italia o Islandia), y de otros países como Japón, que han colaborado frecuentemente en proyectos de investigación sobre la actividad volcánica en España.

En otro orden de cosas, cabe destacar el poder que ejercen los medios de comunicación en la sociedad actual, forjando y modelando, en muchos casos, la opinión del individuo, por lo que llegan a ser fundamentales a la hora de crear una alarma social ante determinado suceso o, por el contrario, llamar a la calma, para colaborar con los diferentes cuerpos de seguridad y asistencia civil. Por ende, pueden resultar tan perjudiciales como beneficiosos, dependiendo

del tratamiento que se haga de la información. En el caso de la información sobre el proceso sísmo-volcánico que se ha desarrollado en la isla de El Hierro en el 2011-2012 por parte de los medios de comunicación, muchas veces resultó positiva, pues era uno de los principales medios por el que los herreños obtenían información sobre los procesos que estaban teniendo lugar en su isla. No obstante, el daño que han hecho los medios de comunicación a nivel nacional e incluso internacional sobre la imagen de El Hierro es indiscutible. En algunos periódicos, el tratamiento erróneo de la información llevaba a algunos periodistas a usar titulares como los siguientes, extraídos de varios rotativos:

- “10.000 personas bajo la psicosis del volcán” (La Razón, 1 de octubre)
- “El riesgo de explosión crece” (El País, 12 de octubre)
- “El Hierro sufre un sismo de 4,3 mientras se acelera un refugio para 2.000 personas” (La Vanguardia, 28 de septiembre)

Este tipo de noticias, contribuyeron a aumentar significativamente la alarma y provocar el pánico entre la población, y en consecuencia, agobiar económicamente a una isla que vive del turismo. Por otro lado, en demasiadas ocasiones los medios de comunicación realizaron entrevistas o se hicieron eco de declaraciones de personas con una clara falta de cualificación y preparación profesional en el campo del estudio de los volcanes, pero, que, en muchas ocasiones, aparecían con el rótulo de “vulcanólogo”, titulaciones, por otro lado, inexistentes en el registro oficial de titulaciones universitarias españolas. Del mismo modo, ha quedado patente en los medios de comunicación la falta de cooperación entre las diferentes instituciones, el malestar de los científicos canarios, y el desacuerdo en las medidas adoptadas por parte del Gobierno de El Hierro. Por último, hay que destacar que, tras la finalización del proceso eruptivo, los medios de comunicación dejaron de emitir noticias al respecto, y la mayoría no plasmaron la nueva realidad. Únicamente se volvieron a manifestar al respecto ante los seísmos de gran magnitud que se produjeron a finales de junio de 2012 en el suroeste de la isla, volviendo a hablar de una reactivación volcánica y generando nuevamente el referido pánico entre la población.

Por otro lado, las medidas de protección adoptadas por el Comité del Plan Pevolca han generado grandes trastornos en la población herreña, además de generar numerosas pérdidas económicas. Las decisiones que más han perjudicado a la sociedad y economía herreña han sido el cierre del túnel de Los Roquillos y las diferentes evacuaciones que se llevaron a cabo en toda la isla. Estos hechos han alterado sensiblemente la vida cotidiana de los herreños y han repercutido negativamente en la actividad turística de la isla.

El túnel de Los Roquillos, construido en 2003, conecta los dos municipios más poblados de la isla, Frontera y Valverde, y permite reducir a la mitad el trayecto entre ambos municipios.

Según diversos autores (F.J. Perez-Torrado et al., 2012), el comité del PEVOLCA justificó el cierre del túnel de Los Roquillos por la utilización de un modelo de tectónica de bloques, modelización que predijo terremotos de magnitud mayor a 4,5. Además, según un informe elaborado por técnicos del IGME (Instituto Geológico y Minero de España, informe inédito), en la ladera que rodea la boca del túnel hay demasiados bloques en “equilibrio comprometido”, por lo que un terremoto cercano en profundidad y distancia a esa ladera, con una magnitud de 4,5 o superior, podría haber desencadenado la caída de esos bloques mal asentados (Mercedes Ferrer, noticia de prensa, 13 de noviembre). Aunque en un principio los movimientos sísmicos no superaron magnitudes de 4,3, durante la erupción se produjo un seísmo de magnitud 4,6, superando así el límite establecido por el IGME. Según los datos proporcionados por el IGN y por el IGME, el cierre del túnel de Los Roquillos estaba totalmente justificado, siempre y cuando la modelización llevada a cabo por el IGN fuese la correcta, pero la realidad es que, una vez se incorporaron los expertos de la Estación Volcanológica de Canarias y de las Universidades Canarias al CECES, la primera consecuencia fue la desestimación del modelo explicativo que utilizaba el CECES, por lo que posteriormente se abrió de forma definitiva el túnel de Los Roquillos.

En cuanto a las evacuaciones, si bien las que tuvieron lugar en el norte de la isla están totalmente justificadas, debido a los continuos desprendimientos que estaban provocando los seísmos de gran magnitud, cabe destacar la polémica suscitada en torno a las dos evacuaciones que tuvieron lugar en la población de La Restinga. En la primera (el 11 de octubre), el comité del PEVOLCA se justifica aludiendo a un posible acercamiento a tierra de la erupción, pues por falta de un buque oceanográfico que lograra delimitar el foco eruptivo, se desconocía la localización exacta. No obstante, los epicentros durante el mes de septiembre estuvieron prácticamente localizados en el Mar de las Calmas, por lo que cabía la posibilidad de que se originase una erupción submarina. A pesar de ello, el comité del PEVOLCA consideraba bajas las probabilidades de una erupción submarina, por lo que jamás se procedió a reclamar la presencia de un buque oceanográfico hasta que ésta tuvo lugar. En este sentido, cabe preguntarse qué hubiese pasado si el comité del Plan PEVOLCA hubiese diseñado un plan de actuación ante la posibilidad de una erupción submarina y, en consecuencia, hubiese solicitado la presencia de un buque oceanográfico.

La segunda evacuación del pueblo de La Restinga (5 de noviembre) se justifica por la presencia de zonas de intenso burbujeo en la superficie, que llegaron a alcanzar una altura aproximada de 20 metros y que se localizaron a menos de 2 km de la costa. La interpretación de una erupción de tipo surtseyano provocó que se llevase a cabo la segunda evacuación por el temor a que se generasen más explosiones cercanas a tierra. Como afirman diversos científicos (F.J.Perez-Torrado et al., 2012), las últimas batimetrías realizadas el 31 de octubre indicaban que la cima del cono se encontraba a una profundidad aproximada de 200 metros, muy distante aún del límite de 100 metros por el cual una erupción submarina presenta

peligrosidad. María José Blanco, directora del IGN en Canarias, justifica la decisión de la evacuación por dos motivos (comunicación oral de María José Blanco, “Erupción volcánica de El Hierro: vigilancia y análisis del IGN”), en la que aludió al desconocimiento sobre cuánto había aumentado la cima del cono, y al hecho de que el burbujeo tuviese lugar a última hora de la tarde, haciendo imposible realizar un seguimiento y control durante la noche.

Durante los primeros meses, en el entorno del PEVOLCA siempre se habló de una erupción de tipo surtseyana pero, dada la profundidad a la que estaba situada la cima del cono, lo más correcto hubiese sido hablar de una erupción de tipo “serretiana”. La erupción de la Serreta, en Terceira, Azores, tuvo lugar en 1998, y guarda mucha similitud con la erupción de El Hierro. Fue una erupción de muy baja explosividad, formada a profundidades de entre 300 y 1000 metros, y los materiales arrojados por el volcán se asemejaban a los materiales que se observaron en la erupción de El Hierro, las ya acuñadas como *lava balloons* (excluyendo a las particulares “restingolitas”). Quizás, el haber tenido más presente este tipo de erupción entre los científicos del comité PEVOLCA hubiese aconsejado desestimar la interpretación del fenómeno eruptivo de El Hierro como una erupción de tipo surtseyana, y, en consecuencia, se habrían tomado otro tipo de medidas, menos drásticas y desconcertantes para la población.

Aparte de de las consecuencias económicas y sociales que han tenido lugar por el proceso sismo-volcánico, es importante mencionar las fuertes consecuencias ambientales del volcán en la Isla, reserva de la Biosfera desde 2000, y cuyos efectos tuvieron una mayor incidencia en el Mar de las Calmas, concretamente en la Reserva Marina de La Restinga-Mar de las Calmas. Las condiciones físico químicas de las aguas afectadas variaron significativamente (aumento de la temperatura, disminución del pH y de la concentración de oxígeno, incremento de la concentración de ciertos metales...etc.), provocando inicialmente una selección de especies de fitoplancton y una mortandad masivas de peces. Los estudios preliminares realizados sobre el impacto del volcán submarino de El Hierro en la biodiversidad y los recursos litorales costeros, llevados a cabo por el equipo de investigación BIOECOMAC a principios de abril, revelan que los efectos más importantes se han dado sobre las especies de algas submareales, algunas especies de invertebrados y sobre los peces más ligados al fondo. Las algas submareales se vieron muy afectadas y se ha observado un cambio en la composición, pues los espacios libres han sido ocupados por algas estacionales y oportunistas. En cuanto a los invertebrados, se ha observado un incremento anormal de ciertas especies, relacionado con la supervivencia larvaria durante el evento volcánico y la ausencia de la presión depredadora de los peces. La explosión poblacional de mayor trascendencia parece ser la del erizo *Diadema*, pues se han asentado en grandes cantidades en el fondo. Respecto a los peces de fondo, se ha constatado una importante desaparición de muchas especies y una disminución del número de ejemplares de otras especies, aunque en el lado positivo cabe destacar que se han observado bastantes ejemplares pequeños que deben proceder de zonas de la isla no afectadas y que han sido llevadas por las corrientes. Ante este escenario, se ha considerado necesario el implantar un

paro biológico para acelerar el proceso de regeneración de los recursos marinos, pues aunque se prevé una recuperación lenta de los peces de fondo, se teme por el gran éxito del erizo Diadema en su asentamiento. Para controlar la población de estos erizos es necesario que haya una recuperación de especies depredadoras, por lo que es preciso disminuir la presión antrópica sobre los recursos pesqueros, para acelerar así el proceso de recuperación del ecosistema. Aunque desde el Gobierno de Canarias se han aprobado ayudas para paralizar la actividad pesquera lo cierto es que, actualmente, se desconoce cuándo empezará a aplicarse, ni dónde. En este sentido hay que señalar que dicha propuesta ha provocado un gran malestar entre diversos empresarios y personas del sector de la pesca recreativa, que han llegado a manifestarse en contra de la propuesta, aludiendo a que no se ha contado con su participación y reivindicando que “el mar es de todos”.

Como conclusión final, a pesar de que el fenómeno sismo-volcánico que ha tenido lugar en El Hierro no ha generado daños personales ni materiales (exceptuando los importantes daños al ecosistema marino), las medidas de protección civil adoptadas durante la gestión del mismo han generado grandes repercusiones sociales y económicas en la Isla. Por otro lado, el proceso sismo-volcánico ha puesto de manifiesto que hoy en día se cuentan con los medios adecuados para poder realizar una detección temprana y seguimiento de procesos similares que tengan lugar en el Archipiélago Canario, aunque es necesario actualizar el presente Plan PEVOLCA en función de las deficiencias que se han detectado, para reducir en el futuro las consecuencias económicas y sociales que se han originado por la gestión del mismo.

9. RECOMENDACIONES

- Finalizada la erupción, las carencias detectadas en el Plan PEVOLCA hacen necesario dirigir las acciones a la modificación y redacción de un nuevo Plan, que incluya, entre otras, las siguientes premisas:
 - Presencia del IEO y del IGME como miembros permanentes del comité científico.
 - Presencia de la Estación Volcanológica de Canarias y las Universidades Canarias en la gestión de cualquier crisis de características similares.
 - Supervisión de la prensa ante los comunicados realizados por personas poco cualificadas, para garantizar así la credibilidad de los que hablan con autoridad.
- Por otro lado, al no haber una teoría, aceptada por toda la Comunidad científica, que explique correctamente todos los datos y observaciones que actualmente existen sobre el Archipiélago Canario, no se puede realizar una correcta interpretación de los diferentes parámetros que pueden implicar un proceso volcánico en este contexto geológico, por lo que la gestión de un proceso de esta índole se ve dificultada. En este sentido, sería necesario realizar más estudios, sobre todo geofísicos, para poder evaluar correctamente el riesgo eruptivo del Archipiélago Canario, y del mismo modo, de cualquier proceso sismo-volcánico que se origine en el futuro.
- Para favorecer la recuperación del ecosistema, de los recursos pesqueros, de la actividad pesquera y del buceo, sería imprescindible que el Cabildo de El Hierro realizase charlas de divulgación sobre la riqueza de los ecosistemas marinos herreños, ofreciendo información directa a la población sobre las principales afecciones de la erupción submarina a la biodiversidad y las consecuencias que se generarían si no se estableciese un control sobre la actividad pesquera.
- Por último, hay que indicar que las largas etapas de inactividad volcánica en el Archipiélago hacen que la percepción y conocimiento del riesgo volcánico entre la población sea muy escasa, por lo que sería necesario que la Consejería de Educación se plantease la inclusión del fenómeno volcánico de forma más extensa en el currículum canario, pues actualmente se encuentra como algo lateral y, realmente, es necesario que la población esté preparada ante estos fenómenos para lograr minimizar el riesgo.

10. BIBLIOGRAFÍA

Artículos:

- ❖ Blanco-Montenegro, I.; Nicolosi, I.; Pignatelli, A. y Chiappini, M. (2008): “Magnetic imaging of the feeding system of oceanic volcanic islands: El Hierro (Canary Islands)”, *Geophys*, 173, p. 339-350.
- ❖ Bosshard, E. y MacFarlane, D.J. (1970). Crustal structure of the western Canary Islands from seismic refraction and gravity data. *Journal of Geophysical Research*, vol.75.
- ❖ Carbó, A.; Muñoz-Martín, A.; Llans, P. y Alvarez, J. (2003): “Gravity analysis offshore the Canary islands from a systematic survey”. *Marine Geophysical Researches*, 24, p. 113-127.
- ❖ Forjaz, V.H., França, Z. y Nunes, J.C. (2001). Serretian: a new type of submarine eruptions. *Cities on Volcanoes 2*. Auckland, New Zealand, p.39.
- ❖ Fraile-Nuez, E.; González-Dávila, M.; Santana-Casiano, J.M.; Arístegui, J.; Alonso-González, I.J.; Hernández-León, S.; Blanco, M.J.; Rodríguez-Santana, A.; Hernández-Guerra, A.; Gelado-Caballero, M.D.; Eugenio, F.; Marcello, J.; de Armas, D.; Domínguez-Yanes, J.F.; Montero, M.F.; Laetsch, D.R.; Vélez-Belchí, P.; Ramos, A.; Ariza, A.V.; Comas-Rodríguez, I. y Benítez-Barrios, V.M.(2012): The submarine volcano eruption at the island of El Hierro: physical-chemical perturbation and biological response. *Scientific Reports*, vol.2, art. 486.
- ❖ Guillou, H.; Carracedo, J.C.; Pérez Torrado, F. y Rodríguez Badiola, E. (1996). K-Ar ages and magnetic stratigraphy of a hotspot-induced, fast grown oceanic island: El Hierro, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73, p.141-155.
- ❖ Hernández-Pacheco, A. (1982). Sobre una posible erupción en 1793 en la isla de El Hierro (Canarias). *Estudios Geológicos*, 38, p.15-25.
- ❖ King, S.D. (2007). Hotspots and edge driven convection. *Geology*, 35, p.223-226.
- ❖ López, C.; Blanco, M.J.; Abella, R.; Brenes, B.; Cabrera Rodríguez, V.M.; Casas, B.; Domínguez Cerdeña, I.; Felpeto, A.; Fernández de Villalta, M.; del Fresno, C.; García, O.; García-Arias, M.J.; García-Cañada, L.; Gomis Moreno, A.; González-Alonso, E.; Guzmán Pérez, J.; Iribarren, I.; López-Díaz, R.; Luengo-Oroz, N.; Meletlidis, S.; Moreno, M.; Moure, D.; Pereda de Pablo, J.; Rodero, C.; Romero, E.; Sainz-Maza, S.;

- Sentre Domingo, M.A.; Torres, P.A.; Trigo, P. y Villasante-Marcosi, V. (2012), Monitoring the volcanic unrest of El Hierro (Canary Islands) before the onset of the 2011-2012 submarine eruption, *Geophysical Research Letters*, vol.39.
- ❖ Masson, D.G.; Watts, A.B.; Gee, M.J.R.; Urgelés, R.; Mitchell, N.C.; Le Bas, T.P. y Canals, M. (2002). Slope failures on the flanks of the western Canary Islands. *Earth-Scx. Reviews*, 57, p.1-35.
 - ❖ Mezcua J., Galán J., Rueda J.J., Martínez J.M, Buforn E. (1990): Sismotectónica de las Islas Canarias, estudio del terremoto del 9 de mayo de 1989 y su serie de réplicas. *Instituto Geográfico Nacional, Madrid*. Pub. Tec. 23, 24 páginas.
 - ❖ Mezcua, J.; Buforn, E.; Udías, A. y Rueda, J. (1992): Seismotectonics of the Canary Islands. *Tectonophysics*, 208, p.447-452.
 - ❖ Pérez-Torrado F.J.; Carracedo, J.C.; Rodríguez-González, A.; Soler, V.; Troll, V.R. y Wiesmaier, S. (2012): La erupción submarina de La Restinga en la isla de El Hierro, Canarias: Octubre 2011- Marzo 2012. *Estudios geológicos*, 68, p. 5-27.
 - ❖ Rodriguez-Gonzalez, A.; Pérez-Torrado, F.J.; Fernández-Turiel, J.L.; Carracedo, J.C.; Gimeno, D.; Guillou, H.; Paris, R.; Hansen, A. y Aulinas, M. (2011). Modelado morfológico y morfométrico de erupciones volcánicas recientes generando plataformas costeras: Caso estudio volcán de Montaña del Tesoro (El Hierro, Islas Canarias). *El Cuaternario en España y Áreas Afines, Avances en 2011*. Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA), Andorra, p.105-108.
 - ❖ Stroncik, N.A.; Klügel, A. y Hansteen T.H. (2009): The magmatic plumbing system beneath El Hierro (Canary Islands): Constraints from phenocrysts and naturally quenched basaltic glasses in submarine rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 157, p. 593-607.
 - ❖ Troll V.R.; Klügel, A.; Longpré, M.A.; Burchardt, S.; Deegan, F.M.; Carracedo, J.C.; Wiesmaier, S.; Kueppers, U.; Dahren, B.; Blythe, L.S.; Hansteen, T.H.; Freda, C.; Budd, D.A.; Jolis, E.M.; Jonsson, E.; Meade, F.C.; Berg, S.E.; Mancini, L. y Polacci, M. (2011). Floating sandstones off El Hierro (Canary Islands, Spain): the peculiar case of the October 2011 eruption. *Solid Earth Discussions*, 3, p.975-999.
 - ❖ Troll, V.R.; Klügel, A.; Longpré, M.A.; Burchardt, S.; Deegan, F.M.; Carracedo, J.C.; Wiesmaier, S.; Kueppers, U.; Dahren, B.; Blythe, L.S.; Hansteen, T.H.; Freda, C.; Budd, D.A.; Jolis, E.M.; Jonsson, E.; Meade, F.C.; Harris, C.; Berg, S.E.; Mancini, L.; Polacci, M. y Pedroza, K. (2012). Floating stones off El Hierro, Canary Islands: xenoliths of pre-island sedimentary origin in the early products of the October 2011 eruption. *Solid Earth*, 3, p.97-110.

Direcciones de internet:

- ❖ Campaña GUAYOTA 4-ULPGC:
http://www.ulpgc.es/index.php?pagina=noticia&ver=hierro_08062012
- ❖ Coello, J.J. (2011). Sobre el origen de la 'restingolita', Actualidad Volcánica de Canarias. Noticias, 10 Oct., 2011. http://www.avcan.org/varios/Informe_restingolitas.pdf
- ❖ Gobierno de Canarias (2011-2012). Fenómeno sismo-volcánico en El Hierro. Comunicados de prensa. http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/sismo_hierro.html
- ❖ Instituto Canario de estadística (ISTAC): <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/>
- ❖ Instituto Español de Oceanografía (IEO): <http://www.ieo.es/hierro.htm>
- ❖ Instituto Geográfico Nacional (IGN):
<http://www.ign.es/ign/resources/volcanologia/HIERRO.html>

Informes:

- ❖ Brito, A. (2012): Informe preliminar sobre el impacto del volcán submarino de El Hierro en la biodiversidad y los recursos litorales. Grupo de investigación BIOECOMAC, ULL.
- ❖ Castro, A.; Rodríguez, C. y Martí, J. (2011). El volcán submarino de La Restinga, Isla de El Hierro (Canarias). Mecanismos y condiciones eruptivas de la fase inicial.
- ❖ Gimeno, D. (2011). Informe realizado para el Ayuntamiento de El Pinar, El Hierro, Islas Canarias, sobre un piroclasto de la erupción en curso, Informe Interno.
- ❖ Informes del Instituto Español de Oceanografía:
 - Bimbache 1011-1 (del 22 de octubre al 26 de octubre). Geología y geofísica: reconocimiento batimétrico mediante ecosonda multihaz. Jefe de campaña: Juan Acosta Yepes.
 - Bimbache 1011-2 (del 27 de octubre al 3 de noviembre). Evaluación del impacto sobre el bentos por métodos directos: ROV Liropus 2000 y trineo fotogramétrico Politolana. Jefe campaña: Francisco Sánchez Delgado.
 - Bimbache 1011-3 (del 4 de noviembre al 9 de noviembre). Caracterización físico-química y biológica. Jefe campaña: Eugenio Fraile Nuez.
 - Bimbache 1011-4 (del 10 de noviembre al 14 de noviembre). Nuevo cartografiado del Golfo (Zona Norte) y La Restinga y el Julán (Zona Sur). Jefe de campaña: Jesús Rivera Martínez.
 - Bimbache 1011-5 (19 de noviembre). Seguimiento del impacto de la erupción en la columna de agua. Jefe campaña: Eugenio Fraile Nuez.

- Bimbache 1011-6 (del 29 de noviembre al 3 de diciembre). Nuevo cartografiado y seguimiento del proceso eruptivo por métodos acústicos. Jefe de campaña: Jesús Rivera Martínez.
 - Bimbache 1011-7 (del 9 de Enero al 11 de enero). Nuevo cartografiado y seguimiento del proceso eruptivo por métodos acústicos. Jefe de campaña: Jesús Rivera Martínez.
 - Bimbache 1011-8 (del 13 de enero al 15 de enero). Seguimiento del impacto de la erupción en la columna de agua. Jefe campaña: Eugenio Fraile Nuez.
 - Bimbache 1011-9 (del 7 de febrero al 8 de febrero). Nuevo cartografiado y seguimiento del proceso eruptivo por métodos acústicos. Jefe de campaña: Jesús Rivera Martínez.
 - Bimbache 1011-10 (del 9 de febrero al 12 de febrero). Seguimiento del impacto de la erupción en la columna de agua. Jefe campaña: Eugenio Fraile Nuez.
 - Bimbache 1011-11 (del 21 de febrero al 24 de febrero). Nuevo cartografiado y seguimiento del proceso eruptivo por métodos acústicos. Jefe de campaña: Jesús Rivera Martínez.
 - Bimbache 1011-12 (del 24 de febrero al 26 de febrero). Seguimiento del impacto de la erupción en la columna de agua. Jefe campaña: Eugenio Fraile Nuez.
- ❖ Plan de Reactivación Socioeconómica para la Isla de El Hierro (Octubre, 2011). Cabildo de El Hierro.

Libros:

- ❖ Carracedo, J.C. (2008). *Los volcanes de las Islas Canarias IV*. Madrid. Ed. Rueda.
- ❖ Carracedo, J.C. (2011). *Geología de Canarias I*. Madrid. Ed. Rueda.

Normativas:

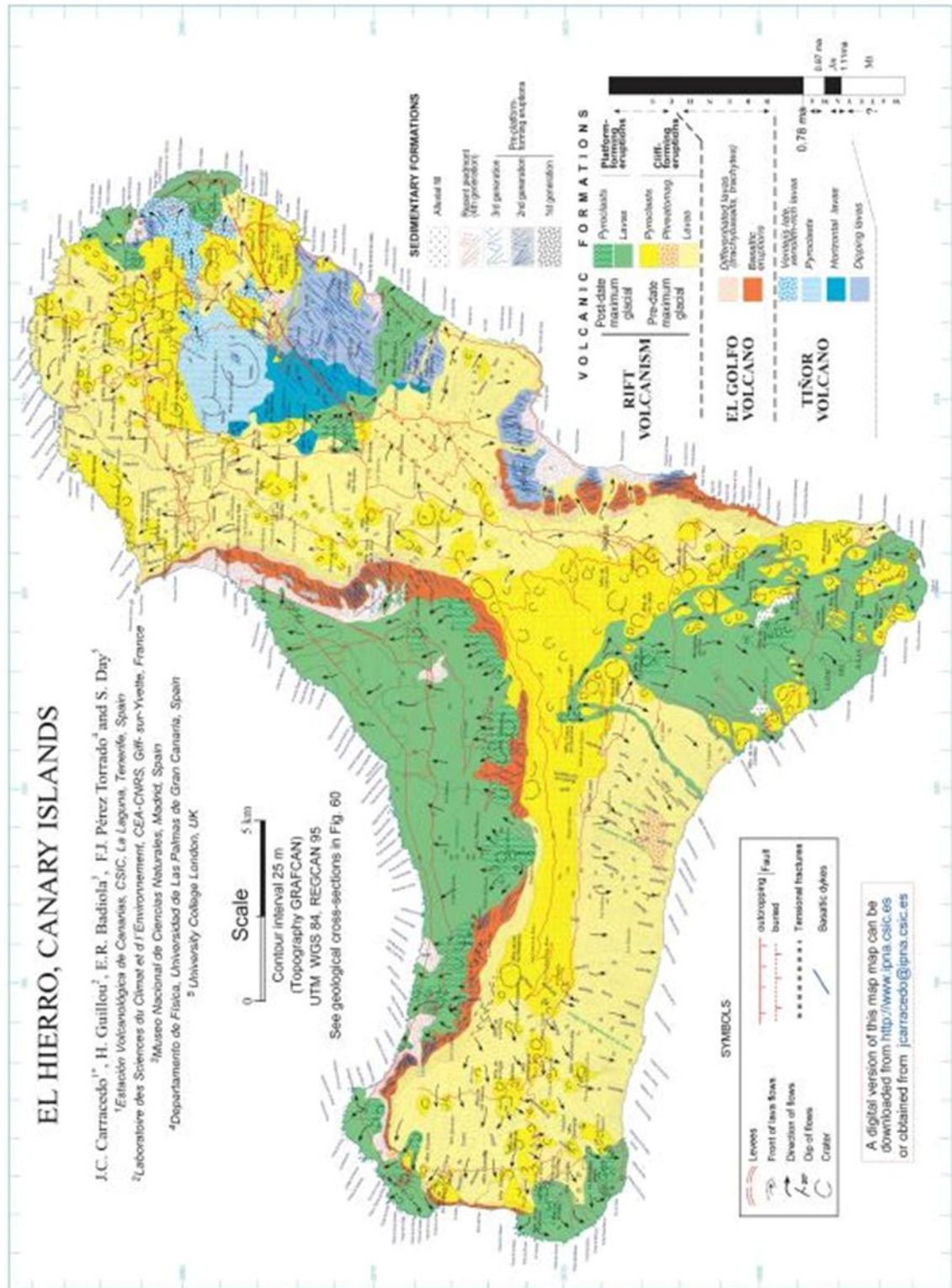
- ❖ Decreto 73/2010, de 1 de julio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA).

Prensa:

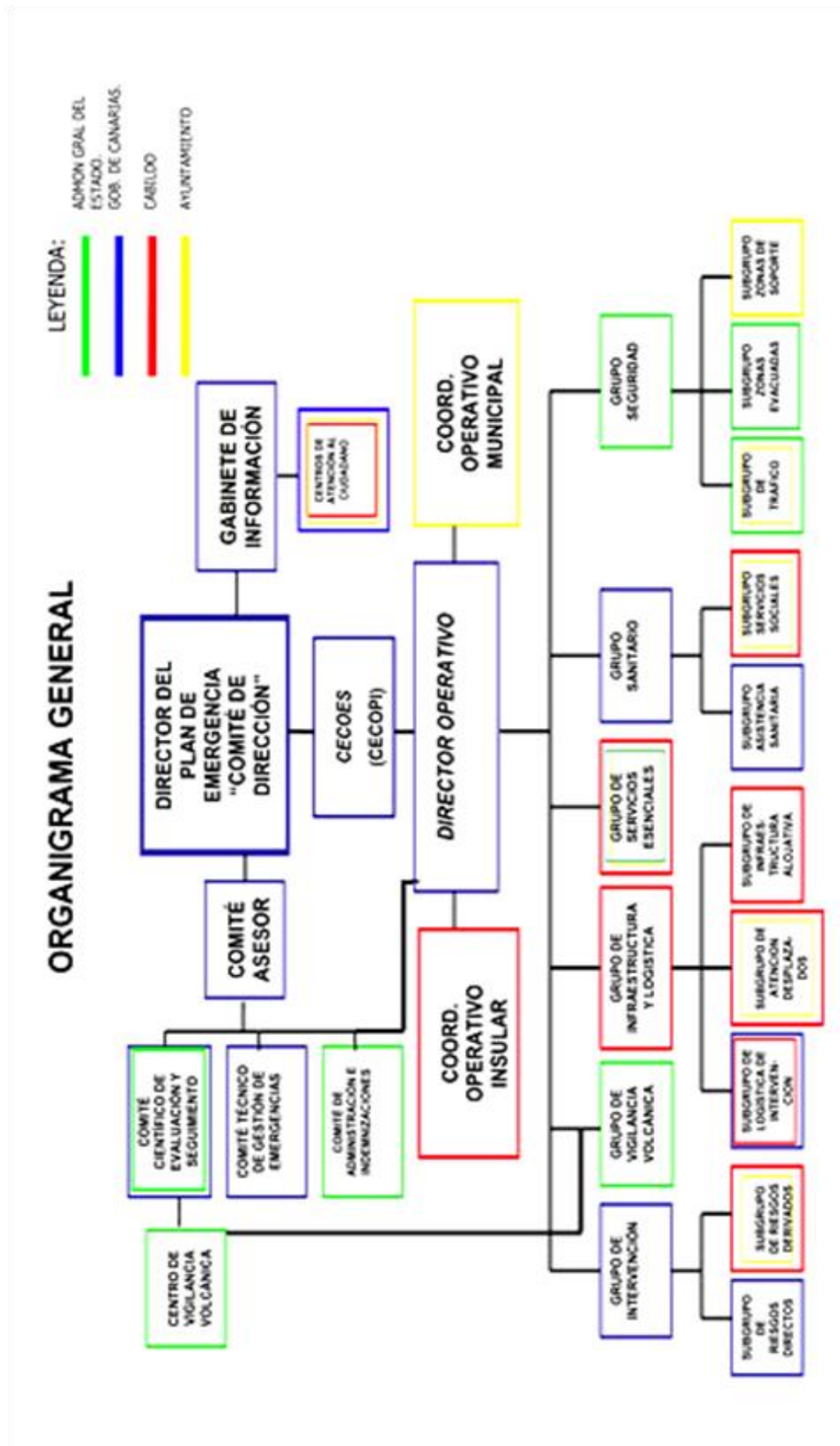
- ❖ Diario público. <http://www.publico.es/>
- ❖ El día. <http://eldia.es/canarias/>
- ❖ El País. <http://elpais.com/>
- ❖ La Razón digital. <http://www.larazon.es/>
- ❖ La Vanguardia. <http://www.lavanguardia.com/>

11. ANEXOS

ANEXO 1: Mapa geológico de la isla de El Hierro.



ANEXO 2: Organigrama operativo del Plan PEVOLCA.



ANEXO 3: Fases y situaciones de activación del Plan PEVOLCA en función del nivel de actividad volcánica.

FASE	SITUACION	SEMAFORO VOLCÁNICO DE INFORMACIÓN A LA POBLACIÓN	NIVEL DE ACTIVIDAD VOLCANICA
NORMALIDAD	ESTABILIDAD	VERDE.- Desarrolle sus actividades normalmente. Conozca su medio físico e infórmese que hacer en caso de actividad volcánica.	Parámetros establecidos en situación de normalidad.
	PREALERTA		Moderada, anomalías en los registros instrumentales. Uno de los parámetros establecidos presenta anomalías significativas respecto a los valores normales.
PRE-EMERGENCIA	ALERTA	AMARILLO.- Esté atento a las comunicaciones de las autoridades de protección civil.	Moderada creciente. Uno de los parámetros establecidos presenta anomalías crecientes con un posible incremento de la dinámica preeruptiva.
			Fuerte Varios parámetros relevantes presentan anomalías respecto a la media con indicación de un posible estado pre-eruptivo.
EMERGENCIA	ALERTA MAXIMA Fase pre-eruptiva	ROJO.- Implica el inicio de la evacuación preventiva. Póngase a disposición de las autoridades.	Intensa Los indicadores son coherentes con un estado pre-eruptivo.
			Fenómenos pre-eruptivos La situación oficialmente volverá a la normalidad
	1		Comienza la erupción
	2		Actividad volcánica extremadamente violenta, desbordados servicios de emergencia y/o superado el pronóstico
	ALARMA		

ANEXO 4: Configuración final de la red de vigilancia volcánica desplegada por el IGN.

