

Procesos y peligros volcánicos en Ecuador

Relator científico
Pablo Samaniego, IRD

Asesora
Ghislaine Thirion, IRD



COLLECTION **Chemins d'impacts**

www.editions.ird.fr

Procesos y peligros volcánicos en Ecuador

Procesos y peligros volcánicos en Ecuador



Erupción del volcán Tungurahua en 1999. Puede observarse una fuerte emisión de ceniza desde el cráter.

© IRD/M. Monzier

Grupo de trabajo

Relator científico:

Pablo Samaniego, IRD, Laboratoire Magmas et Volcans (LMV)

Asesora:

Ghislaine Thirion, IRD, Misión de evaluación y programación de la investigación (MEPR)

Asesores metodológicos:

Florence Sylvestre, IRD, Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Cerege)

Laurent Vidal, IRD, UMR « Sciences économiques et sociales de la santé et traitement de l'information médicale » (SESSTIM), representante del IRD en Mali

Estudio realizado entre 2018 y 2019

IRD

Instituto francés de Investigación para el Desarrollo

Chemins d'impacts

Marseille, 2023

Nota introductoria

Coordinación editorial

IRD/Ghislaine Thirion

Coordinación de producción

IRD Éditions

Revisión editorial

Stéphanie Quillon (34)

Diseño editorial

Aline Lugand (30)

Diagramación

Desk (www.desk53.com.fr)

Esta publicación de acceso libre puede ser utilizada por el público según las condiciones de la licencia Commons CC BY-NC-ND 4.0, que puede consultarse en la siguiente dirección: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>. Se permite la difusión de la obra original, siempre que se mencione a los autores y editores y se incluya un enlace a la licencia CC BY-NC-ND 4.0. No se permite ninguna modificación y la obra debe difundirse en su totalidad. No se permite su utilización con fines comerciales.



© IRD, 2023

ISBN PDF : 978-2-7099-3015-4

En 2017, el IRD puso en marcha un proyecto piloto con el fin de identificar y analizar el impacto de sus investigaciones en las sociedades de los países en desarrollo. El enfoque adoptado se basa en el estudio de casos *ex post*, es decir, «después de los hechos».

Los estudios seleccionados para este proyecto son representativos de los principales campos científicos del IRD, los cuales tienen el desarrollo sostenible como problemática de fondo y se basan en la investigación colaborativa. Estos análisis de impacto se basan además en los enfoques metodológicos desarrollados por el Inrae (Asirpa) y el Cirad (Impress) en el ámbito de la investigación agrícola. Estos estudios han sido seleccionados por sus efectos probados, en relación con la labor de investigación llevada a cabo por el IRD y sus contrapartes, y de los que se ha hecho eco la comunidad científica.

En este marco general, el presente trabajo de evaluación ha consistido en identificar los diferentes actores y elementos implicados y poner de manifiesto las interacciones que han contribuido a traducir la investigación en impacto social («camino de impacto»). Así pues, se abordarán el contexto, las contribuciones de los actores a la realización de la investigación, los productos de la investigación, los actores que crearon las condiciones necesarias para la apropiación y transformación de los resultados de la investigación, y los impactos generados.

El «camino de impacto» resultante, junto con su «cronología», son instrumentos fundamentales para caracterizar las redes de actores, sus interrelaciones y los procesos que generan impactos. Estos se han dividido en varios ámbitos: político, institucional, ambiental, económico, social, sanitario, educativo, cultural, fortalecimiento de capacidades y académico.

Cada impacto identificado y descrito se ha documentado mediante entrevistas con los actores del «camino de impacto».

Para más información sobre el método adoptado para llevar a cabo estos estudios, puede consultar la guía metodológica sobre el Análisis multidimensional del impacto de la investigación y sus innovaciones en el desarrollo de las sociedades del Sur (Miriades) publicado en la colección *Caminos de impactos*.

Nuestro agradecimiento a todos los que han contribuido a estrechar los vínculos entre la investigación y la sociedad y a poner de relieve las diversas aportaciones mutuas.

Misión de Evaluación y Programación de la Investigación

Índice

Nota introductoria	5
Resumen	8
Contexto	10
El contexto de la cooperación científica	11
Contribuciones de los actores	15
Los actores científicos: el IG-EPN y el IRD	15
Génesis de la colaboración en vulcanología entre el IG-EPN y el IRD	15
Temas de investigación	16
Competencias y recursos movilizados por el IG-EPN y el IRD	16
La red de vigías del Tungurahua	19
Las autoridades ecuatorianas	20
Productos de la investigación	21
Publicaciones académicas	21
Evaluación de los peligros volcánicos	22
Escenarios eruptivos y mapas de peligros	22
Mapas de distribución de los productos volcánicos	24

Estructuración de los equipos y actividades de investigación a largo plazo	24
JEA « Evaluación del riesgo volcánico en Ecuador mediante el método probabilístico » (2003-2007)	24
LMI « Sismos y volcanes en los Andes del Norte » (SVAN)	25
Formación mediante la investigación y la enseñanza	26
Circulación de conocimientos intermediarios	31
IG-EPN	31
El IRD	32
Las autoridades	33
Las organizaciones no gubernamentales	34
La red de vigías del Tungurahua	35
Impactos de primer alcance	37
Fortalecimiento de las capacidades de investigación en vulcanología	37
Fortalecimiento del sistema nacional de prevención y gestión de riesgos volcánicos	40
Impacto social	42
Impactos de amplio alcance	45
Fortalecimiento de las capacidades	45
Anexos	49
Entrevistas realizadas	49
Documentos citados	50
Lista de siglas	53

Resumen

En 1994, el Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (IG-EPN) pusieron en marcha un programa de investigación conjunto destinado a reconstruir la historia eruptiva de varios volcanes ecuatorianos. Este proyecto supuso el inicio de una dilatada y rica colaboración científica que se ha ido consolidando a lo largo de dos décadas y se basa, desde sus orígenes, en una marcada proximidad a los estudios de campo.

Desde 1999, Ecuador ha tenido que enfrentarse a sucesivas crisis volcánicas, algunas de ellas en zonas densamente pobladas del valle interandino. Esta reactivación de los volcanes ha llevado a los vulcanólogos del IRD y del IG-EPN a adaptar sus prioridades científicas iniciales para integrar las cuestiones planteadas por estas erupciones y su observación en tiempo real. Estas investigaciones se desarrollaron y estructuraron en torno a un equipo joven asociado (JEA), que constituyó a su vez el núcleo de un laboratorio mixto internacional (LMI). Esta dinámica de estudio también se nutre de una importante inversión en formación para la investigación. En esta línea, varios investigadores jóvenes ecuatorianos han recibido formación en universidades francesas, especialmente en la unidad mixta de investigación (UMR) Laboratorio Magmas y Volcanes, en Clermont-Ferrand. Algunos de ellos desempeñan en estos momentos labores de coordinación o dirección de la investigación en el IG-EPN.

El volcán Tungurahua ha tenido un especial protagonismo en estos trabajos. Su larga fase eruptiva, que duró un poco más de 15 años (1999-2016), ha servido en cierto modo de laboratorio para los vulcanólogos del IG-EPN y el IRD. Su prolongada duración también ha favorecido el acercamiento entre los científicos, las

comunidades (especialmente a través de la red de vigías del Tungurahua) que viven en los alrededores del volcán y las autoridades. Este acercamiento se ha concretado, además, en un proyecto de formación impulsado por organizaciones no gubernamentales, el IG-EPN y el IRD, financiado con fondos europeos y dirigido a las comunidades del Tungurahua que viven cerca de un volcán en erupción.

Además de generar conocimientos sobre el volcanismo ecuatoriano, los investigadores del IG-EPN y el IRD han desarrollado una rama de investigación aplicada (elaboración de escenarios eruptivos, actualización y creación de nuevos mapas de riesgos) para responder a las necesidades de las instituciones ecuatorianas encargadas de la prevención de riesgos volcánicos. Otra de sus labores ha sido la de informar a los ciudadanos y las autoridades sobre los fenómenos volcánicos y concienciar para fomentar un enfoque preventivo de los riesgos.

Estas actividades de investigación generaron impactos en tres ámbitos:

- el refuerzo de la capacidad de investigación ecuatoriana en vulcanología y el auge de una dinámica de investigación de alto nivel en el IG-EPN, que goza de una sólida reputación, tanto en Ecuador como a escala internacional;
- el desarrollo de un enfoque preventivo a largo plazo en las medidas y dispositivos utilizados por las autoridades encargadas de la prevención y la gestión de las crisis volcánicas;
- la familiarización de las poblaciones que viven cerca del Tungurahua con las medidas de prevención y gestión de las crisis volcánicas, que probablemente contribuyó a limitar el número de víctimas durante la violenta erupción del volcán en 2006.

Tras contextualizar el marco en el que se han desarrollado las actividades de investigación, este informe presenta los actores implicados en el proceso de investigación y describe sus respectivas contribuciones, los resultados de sus investigaciones, los actores intermediarios que han participado en la transferencia de estos conocimientos a la sociedad y las repercusiones constatadas.

Este estudio se ha documentado mediante entrevistas con los distintos actores (científicos, autoridades y vigías del Tungurahua) involucrados en este « camino de impacto ».

Contexto

Ecuador cuenta con al menos 80 volcanes de edad cuaternaria (menos de 2 millones de años) distribuidos a lo largo de la cordillera de los Andes. Estos dominan y delimitan una depresión con orientación norte-sur: el valle interandino, que presenta un elevado índice de urbanización. Una veintena de ellos están considerados como activos o potencialmente activos¹ y ocho han experimentado al menos un periodo eruptivo desde la conquista española en el siglo XVI (HALL *et al.*, 2008).

Desde 1999, Ecuador se ha enfrentado a la reactivación sucesiva de varios de estos volcanes, tres de ellos próximos a zonas urbanas: el Guagua Pichincha (en

fase eruptiva desde 1999 a 2001) situado a una docena de kilómetros de Quito, el Tungurahua (en fase eruptiva desde 1999 a 2016) cerca de la ciudad de Baños, el Reventador (en fase eruptiva desde 2002) y, más recientemente, el Cotopaxi (en fase eruptiva de agosto a diciembre de 2015), cuyo área de impacto engloba amplias zonas densamente pobladas del valle interandino, como Quito y sus suburbios al norte y la ciudad de Latacunga al sur.



Erupción del volcán Tungurahua el 28 de mayo de 2010.

Activo entre 1999 y 2016, alternando fases de actividad intensa con fases de reposo.

© IRD/B. Bernard

1. Se considera que un volcán es potencialmente activo si ha experimentado como mínimo un periodo eruptivo durante el Holoceno (durante los 12 000 últimos años, aproximadamente).

Otros volcanes como el Cayambe y Chiles-Cerro Negro han mostrado recientemente (2014-2016) signos de reactivación.

Este intenso resurgir de la actividad eruptiva a finales de la década de 1990 y en las dos últimas décadas ha supuesto una amenaza permanente para las zonas urbanizadas y las comunidades rurales que viven en los alrededores de estos volcanes. Al respecto, el volcán Tungurahua es un caso paradigmático: fue la primera experiencia de la población y de las autoridades ecuatorianas con una erupción volcánica de larga duración (unos 15 años) para la que estaban poco o nada preparados; supuso dinámicas eruptivas diversas y variadas caracterizadas por la alternancia de fases de reposo y erupciones, algunas de las cuales requirieron evacuaciones; estas erupciones tuvieron repercusiones recurrentes sobre la vida de la población, su salud, sus medios de subsistencia (agricultura y ganadería) y sobre las infraestructuras y el equipamiento público.

Frente a estas crisis volcánicas reiteradas, las instituciones encargadas de la prevención y la gestión de riesgos y las autoridades demandaban información y herramientas para la gestión de las crisis. Se dirigieron a la comunidad científica y, en particular, a los vulcanólogos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (IG-EPN), con el que el IRD colaboraba desde la década de 1990.

El contexto de la cooperación científica

El IG-EPN, creado en 1983, es la principal entidad pública ecuatoriana de investigación para la evaluación y la vigilancia de los peligros sísmicos y volcánicos. El Estado también le ha encomendado una misión nacional de evaluación y vigilancia de fenómenos telúricos (Figura 1). Esta decisión, adoptada en 2003, reconoció oficialmente el trabajo continuo realizado desde la década de 1980, que se convirtió en permanente tras la aparición de las primeras señales precursoras de la reactivación de los volcanes en 1998 y la alerta que el IG-EPN transmitió a las autoridades.

Los primeros proyectos de cooperación del IRD en Ecuador datan de 1974. Inicialmente se centraron en el ámbito agrario. Después se produjo una progresiva diversificación de los campos temáticos (estudios urbanos con el ayuntamiento de Quito, ciencias de la tierra, hidrología, oceanografía, virología o arqueología)². También se realizaron estudios de ciencias humanas y sociales sobre el riesgo vinculado a las catástrofes naturales.

2. *30 años en Ecuador. Actas de los seminarios y los talleres científicos*, p. 22. Quito 11-16/10/2004. Editor: Pierre Gondard.

El IG-EPN es una contraparte con la cual el IRD mantiene una estrecha relación permanente desde hace mucho tiempo en el campo de las geociencias. Las primeras colaboraciones científicas entre el IRD (Orstom hasta 1999) y el Instituto Geofísico, se remontan a comienzos de la década de 1990, y versaron sobre sismología y neotectónica. En aquella época, el Instituto Geofísico era la única institución ecuatoriana que llevaba a cabo investigaciones sistemáticas sobre vulcanología y sismología.

En 1994, un equipo de vulcanólogos del IRD creó un programa científico conjuntamente con el IG-EPN como continuación de esta colaboración.

Fueron varios los motivos que llevaron a los vulcanólogos del IRD a interesarse por los volcanes ecuatorianos:

- el número y la diversidad (estructural y geoquímica) de los volcanes ecuatorianos;
- la densidad de población en torno a los volcanes, sobre todo en el valle interandino;
- el limitado número de estudios científicos existentes en aquel momento sobre los volcanes ecuatorianos;
- la existencia del IG-EPN, que reunía a un equipo de geólogos y geofísicos con interés por colaborar con los investigadores del IRD.

La reactivación de los volcanes obligó a los investigadores del IG-EPN y del IRD a modificar significativamente las prioridades y los temas iniciales de este programa. En paralelo, se estrecharon las relaciones entre los vulcanólogos, las autoridades locales y los representantes de las comunidades, sobre todo en la región del volcán Tungurahua, donde se creó una red de vigilancia de la actividad volcánica formada por voluntarios de estas comunidades (red de vigías del Tungurahua).

IRD 2007.

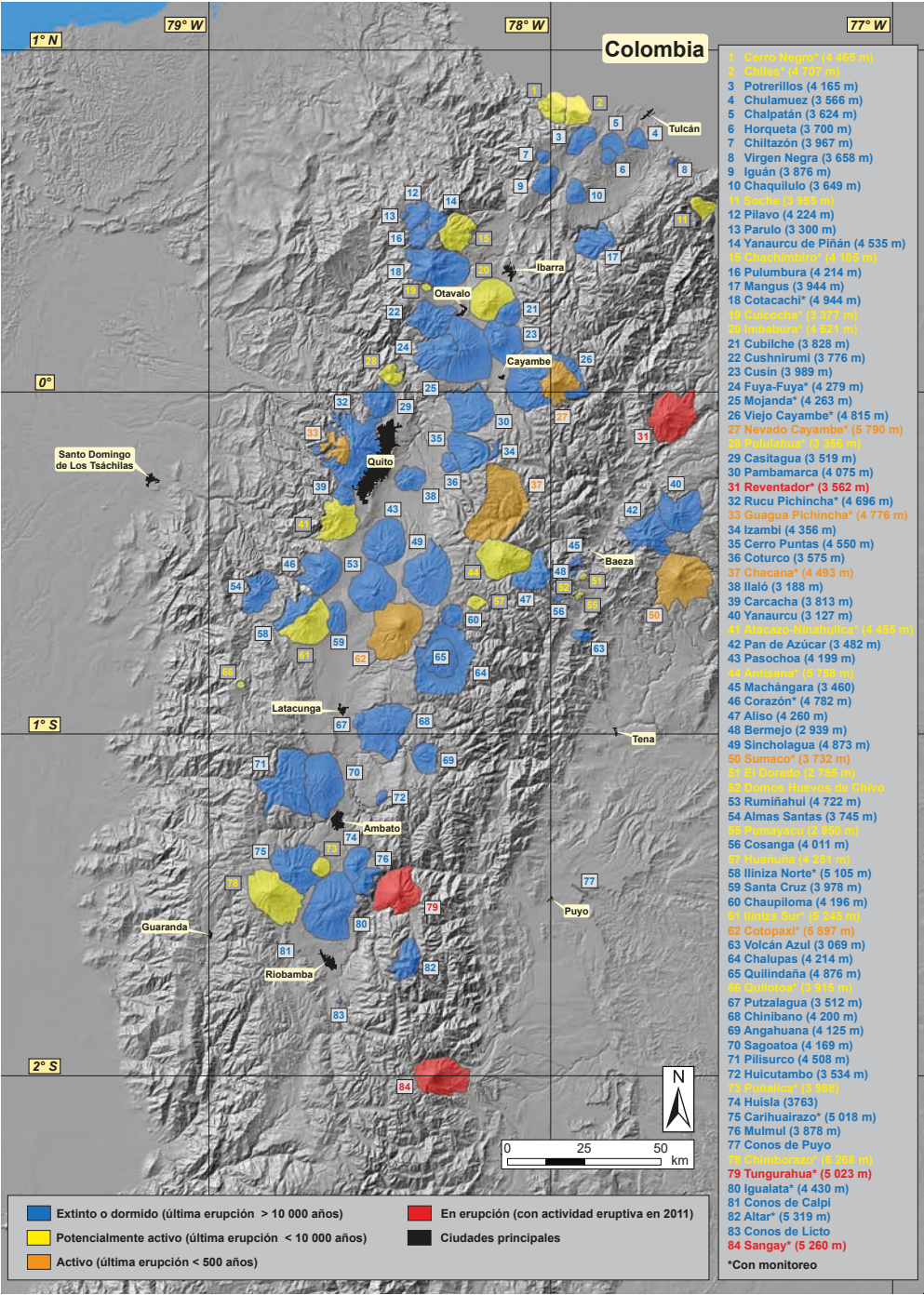


Figura 1
Mapa del arco volcánico ecuatoriano (según Bernard y Andrade, 2011).
Datos vulcanológicos : IG-EPN. Fondo : Modelo Numérico del Tereno, cortesía de Marc Souris (IRD).

Contribuciones de los actores

Este capítulo presenta a los cuatro actores principales implicados en el proceso de investigación, su función y sus respectivas contribuciones a esta colaboración: el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el IRD en el plano científico, a los que se suman la red de vigías del volcán Tungurahua y las autoridades.

Los actores científicos: el IG-EPN y el IRD

Génesis de la colaboración en vulcanología entre el IG-EPN y el IRD

En 1994, un equipo de vulcanólogos de la unidad de investigación « Geodinámica activa, riesgos naturales » (UR 06) interesada por el vulcanismo andino se puso en contacto con el IG-EPN para explorar la posibilidad de una colaboración científica. Las primeras conversaciones se concretaron en la creación de un programa científico conjunto organizado originalmente en torno a dos ejes: i) el estudio de la frecuencia, la magnitud y la dinámica de la actividad eruptiva; ii) la génesis de los magmas en el marco de la subducción. En este contexto, la función de los investigadores del IRD era trabajar en los volcanes seleccionados con el fin de ampliar los conocimientos básicos sobre el vulcanismo ecuatoriano, además de formar a jóvenes vulcanólogos. Este programa se formalizó mediante un convenio que el IRD y el IG-EPN firmaron en 1994. Ese mismo año, se produjo la primera asignación de un vulcanólogo del IRD al IG-EPN de Quito.

La reactivación de los volcanes Tungurahua y Guagua Pichincha, en 1999, llevó a los equipos de investigación del IG-EPN y IRD a adaptar el programa científico a este nuevo contexto: se incluyeron en la agenda la observación de la actividad eruptiva y el estudio sistemático de los productos eruptivos, a los que más tarde

se sumó una rama de investigación más aplicada (cartografía de los peligros o amenazas volcánicas) en respuesta a las necesidades del IG-EPN, que debía atender las peticiones de información de las autoridades.



Trabajo de campo en el cráter del volcán Guagua Pichincha, noviembre de 2018.

© P. Samaniego

Temas de investigación

Han sido dos los criterios que han determinado la elección de los volcanes identificados en el marco de este programa: la frecuencia eruptiva y la vulnerabilidad (presencia de poblaciones e infraestructuras cerca de los volcanes). La lista de volcanes seleccionados inicialmente (Mojanda-Fuya Fuya, Sangay y Cayambe) se amplió tras el recrudecimiento de la actividad eruptiva para incluir, entre

otros, al Tungurahua y al Guagua Pichincha. Estos dos volcanes ocuparon un lugar destacado en las investigaciones de los años posteriores.

El estudio del volcanismo ecuatoriano se centra en cuatro ámbitos:

- la cronología eruptiva de los principales volcanes del arco ecuatoriano³;
- la evolución petrológica a escala regional y local⁴;
- la evaluación de los peligros volcánicos⁵;
- la caracterización de los dinamismos eruptivos y el seguimiento de las crisis volcánicas⁶.

Competencias y recursos movilizados por el IG-EPN y el IRD

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN)

En el plano científico, el IG-EPN aportó su extenso conocimiento de la cronología eruptiva de varios volcanes activos del arco ecuatoriano. También definió el nivel de actividad de base de los volcanes potencialmente activos, lo que ha permitido identificar los periodos de agitación (*unrest*) volcánica. Para ello, ha

3. Volcanes estudiados: Mojanda-Fuya Fuya, Cayambe, Sangay, Tungurahua, Guagua Pichincha, Ilinizas, Atacazo-Ninahuilca, Pululahua, Imbabura, Chimborazo, Carihuairazo-Puñalica, etc.

4. Volcanes estudiados: Cayambe, Mojanda-Fuya Fuya, Guagua Pichincha, Atacazo-Ninahuilca, Ilinizas, Sangay, Tungurahua, etc.

5. Volcanes estudiados: Cayambe, Tungurahua, Guagua Pichincha, Cotopaxi, etc.

6. Volcanes estudiados: Tungurahua, Guagua Pichincha, Cotopaxi y el Reventador.

contado con el apoyo de una importante base de datos geofísicos (sísmicos, geodésicos, etc.) alimentada gracias a las redes de vigilancia.

El IG-EPN dispone de una red de observatorios vulcanológicos (Rovig) en la que se basan los trabajos de investigación. Esta red, que el Instituto Geofísico empezó a formar a finales de la década de 1970, experimentó una notable evolución en los años 2000 con la ayuda financiera del Gobierno ecuatoriano y algunas agencias internacionales⁷. Se encarga de la vigilancia permanente y en tiempo real de los volcanes, sobre todo de los más activos y peligrosos como el Cotopaxi, el Tungurahua, el Guagua Pichincha o el Reventador.

Por otra parte, en el plano institucional y operativo, el IG-EPN conoce muy bien el sistema ecuatoriano de prevención y gestión del riesgo volcánico y a sus actores locales y nacionales.

El equipo de investigación del IG-EPN, que era muy pequeño en 1995, ha crecido notablemente durante estas dos últimas décadas. El equipo de vulcanología cuenta en la actualidad con una veintena de miembros, un tercio de los cuales son investigadores senior. Cuatro investigadores del IG-EPN han obtenido su doctorado en el marco de las investigaciones sobre vulcanología realizadas con el IRD. A estos investigadores hay que sumar el personal encargado de las redes de vigilancia, así como los jóvenes investigadores y estudiantes que han trabajado en el IG-EPN.

Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD)

El equipo de vulcanólogos del IRD ha formado parte de dos unidades de investigación del IRD: la UR 06 « Geodinámica activa, riesgos naturales », citada arriba, y, más tarde, la UR 31 « Procesos y peligros volcánicos ». Esta última se integró en 2004 en la UMR « Laboratoire Magmas et Volcans », con la que colaboraba estrechamente. La UMR LMV asocia a la Universidad Clermont-Auvergne (UCA), el Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) y el IRD.

Conocimientos científicos y experiencia

Los vulcanólogos del IRD han aportado sus conocimientos en los ámbitos de la reconstrucción de la historia eruptiva de los edificios volcánicos y la evolución petrológica y geoquímica de los magmas del arco. También contaban con una experiencia importante en el trabajo de campo y en la recolección de datos cuantitativos necesarios para la interpretación de los fenómenos volcánicos

7. En especial, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la Agencia de Cooperación Internacional Japón (Jica).

durante una crisis. Este proceso incluye: i) la interpretación de la fenomenología de la actividad volcánica; ii) la recolección sistemática de datos de los espesores de ceniza y el cálculo de los volúmenes de material emitido; iii) la toma de muestras de los distintos productos eruptivos (ceniza, bloques en los flujos piroclásticos, bloques de lava) y iv) el análisis de las características geoquímicas y petrológicas de los productos eruptivos.

A lo largo de los años, cinco investigadores del IRD han trabajado directamente en los volcanes ecuatorianos, a los que hay que añadir al menos una decena de investigadores del LMV. Durante 15 años (1995-2010), el equipo mantuvo una presencia casi continua en Ecuador a través de expatriaciones (dos científicos asignados al IG-EPN durante prácticamente todo este periodo, uno de ellos en calidad de profesor-investigador invitado). Tras una interrupción de algunos años, en 2014, volvió a haber un investigador asignado al IG-EPN. El IG-EPN también contó con cinco voluntarios civiles internacionales (VCI) entre 1997 y 2015. A la presencia de investigadores asignados se suman numerosas misiones de corta y larga duración.

Acceso a los equipos y laboratorios franceses y europeos

Gracias a las redes de investigadores del IRD, el IG-EPN ha tenido acceso preferente a laboratorios de alto nivel que le han permitido obtener datos físicos y químicos indispensables para el estudio de las rocas volcánicas recogidas en el campo. Entre estos laboratorios, cabe citar:

- el LMV de Clermont-Ferrand: análisis químicos e isotópicos de rocas y minerales, análisis granulométricos y petrofísicos;
- el Laboratoire géosciences océan (LGO): análisis químicos de las rocas;
- el laboratorio de geocronología del Laboratoire géosciences Paris-Sud de Orsay: dataciones radiométricas de las rocas; con anterioridad, estas dataciones se efectuaron en el laboratorio de geocronología de la Universidad de Niza;
- el laboratorio de radiometría (^{14}C) de la Universidad de Groningen (Países Bajos): datación con radiocarbono de las muestras orgánicas. Este tipo de dataciones también se hacen en el laboratorio de medición de carbono-14 (LMC14) de Gif-sur-Yvette.

Financiación para la investigación

El IRD ha aportado un presupuesto para el funcionamiento de la unidad, además de financiación específica dedicada al equipo joven asociado al IRD (2003-2007) y al laboratorio mixto internacional (desde 2012) formados con el IG-EPN. También

se han movilizado fondos del LMV (Labex ClerVolc⁸, I-SITE Clermont Cap20-25⁹) para los proyectos de investigación. En materia de formación para la investigación, el IRD ha concedido ayudas para la obtención de doctorados¹⁰. Además, el IRD ha contribuido a financiar la publicación conjunta de mapas de riesgos y folletos explicativos sobre los volcanes destinados a la divulgación.

La red de vigías del Tungurahua

La red de vigías del Tungurahua agrupa en la actualidad a una treintena de miembros, representantes de las comunidades que viven en las laderas o cerca del volcán (ciudad de Baños en la vertiente norte y otras localidades en la vertiente occidental y la meridional). Esta red, cuyo núcleo vio la luz en 2000, constituye un importante elemento de apoyo del dispositivo de vigilancia vulcanológica del Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), que forma parte del Rovig del IG-EPN¹¹. Los vigías, en contacto permanente con el OVT a través de un sistema de radio, participan en la observación directa de la actividad del volcán, sobre todo en los flancos occidental y meridional, que no se ven desde el OVT. Algunos de ellos han contribuido activamente a la recolección de muestras, especialmente de ceniza, además de las actividades de mantenimiento de la red de vigilancia geofísica.



Observatorio del volcán Tungurahua (OVT) situado a una docena de kilómetros de la cima del volcán, 2005.
© IRD/J.-P. Eissen

Los miembros voluntarios de protección civil, a menudo líderes de su comunidad, también desempeñan un papel fundamental en la difusión de la información entre la población, los científicos y las autoridades, así como en la organización de las medidas de prevención y gestión de crisis.

8. Labex ClerVolc: Laboratorio de excelencia « Centre clermontois de recherche sur le volcanisme ».

9. I-SITE Clermont Cap2025: Iniciativas Ciencia-Innovación-Territorios-Economía, Programa de Inversiones de Futuro (PIA).

10. « Ayudas a la investigación para una tesis en el Sur » (ARTS), anteriormente « Becas doctorales del IRD » (BSTD).

11. El IG-EPN cerró la delegación local del OVT en junio de 2019. Desde entonces, el seguimiento del Tungurahua se efectúa desde la sede del IG-EPN en Quito, con la que los vigías se comunican por radio. Sigue siendo uno de los volcanes mejor vigilados de Ecuador.

Las autoridades ecuatorianas

Ante la reactivación de los volcanes, las autoridades y los servicios públicos (especialmente, los ayuntamientos de las localidades afectadas y los servicios de protección civil local, provincial y regional) necesitaban la experiencia de los científicos para evaluar los peligros volcánicos y vigilar la actividad de los volcanes con el fin de organizar la prevención de las crisis y garantizar su gestión. En este contexto, el Gobierno ecuatoriano asignó en 2003 al IG-EPN un presupuesto permanente de funcionamiento. Más tarde, en 2010, la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) le concedió un importante apoyo financiero en el marco de un proyecto de investigación para el equipamiento de sus redes de observación vulcanológica y sísmica.

Productos de la investigación

Además de las publicaciones académicas, las investigaciones realizadas conjuntamente por el IG-EPN y el IRD se han materializado en la producción de herramientas de evaluación de los peligros volcánicos (escenarios y mapas de peligros volcánicos, mapas de distribución de los productos volcánicos). Asimismo, se ha potenciado la estructuración de la investigación gracias a la creación de un equipo joven asociado al IRD y, posteriormente, de un laboratorio mixto internacional, contribuyendo a la formación de jóvenes investigadores.

Publicaciones académicas

Desde el inicio de su colaboración en el campo de la vulcanología en 1994, el IG-EPN y el IRD han publicado conjuntamente más de 60 artículos en revistas internacionales con revisión por pares, lo que representa el 50 % de todas las publicaciones del IG-EPN en este ámbito. Esta cifra solo incluye los artículos firmados por al menos un investigador del IG-EPN y un investigador del IRD.

La publicación, en 2008, de un volumen especial sobre el vulcanismo ecuatoriano en una de las revistas de referencia en el campo de la vulcanología (HALL *et al.*, 2008) supuso un hito importante para la producción científica nacida de esta colaboración, ya que aportó una amplia proyección internacional. Este volumen recogió 19 artículos, 10 de ellos surgidos directamente del programa de investigación conjunta.

Los trabajos relativos a la cronología eruptiva y la evolución petrológica de los principales volcanes estudiados han dado lugar a artículos que constituyen,

en la mayoría de los casos, los primeros estudios científicos sobre los edificios volcánicos estudiados. Esta labor de largo plazo ha permitido crear una base de datos geoquímicos única tanto por el número de análisis como por la cobertura espacial y temporal de las muestras analizadas. Gracias a esta base de datos ha sido posible publicar varios artículos de síntesis de carácter regional (HIDALGO *et al.*, 2012; ANCELLIN *et al.*, 2017) convertidos en referencias imprescindibles para entender la diversidad de las fuentes magmáticas del arco volcánico.

El equipo estudió en detalle la intensa actividad eruptiva de 2006 del Tungurahua, lo que le permitió al IG-EPN/IRD publicar una serie de artículos de gran impacto a escala internacional (por ejemplo, SAMANIEGO *et al.*, 2011; LE PENNEC *et al.* 2012; EYCHENNE *et al.*, 2013; BERNARD *et al.*, 2016-b). Finalmente, cabe destacar el artículo de MERLHIOY *et al.* (2018), que supuso un paso importante en el desarrollo de los temas cercanos a las ciencias humanas y sociales.

Evaluación de los peligros volcánicos

Escenarios eruptivos y mapas de peligros

El mapa de peligros o amenazas de un volcán es una representación cartográfica de las zonas que pueden resultar afectadas por fenómenos volcánicos (flujos piroclásticos, flujos de escombros —lahares—, flujos de lava, avalanchas de escombros, caídas de ceniza). Es el resultado de un estudio detallado de la historia eruptiva de un volcán que permite prever, a partir de las características de las erupciones anteriores, el tipo de fenómenos que pueden producirse, su magnitud y la probabilidad de que se produzcan en el futuro.

En las décadas de 1980 y 1990, el IG-EPN había publicado una primera serie de mapas de peligros para los volcanes más peligrosos del arco ecuatoriano. Gracias al trabajo conjunto del IRD y el IG-EPN, fue posible publicar dos nuevas versiones del mapa de peligros del Tungurahua (2002 y 2008) (Figura 2) y una segunda edición del mapa de peligros de los volcanes Cotopaxi (2004) e Imbabura (2005). También fueron publicados los primeros mapas de peligros de los volcanes Cayambe (2002) y El Reventador (2008).

La producción de estos mapas, destinados a las autoridades y a la población, constituye un ejercicio delicado debido a que la extensión de las zonas amenazadas, su delimitación precisa y la gradación del peligro pueden entrañar cierta incertidumbre. Los vulcanólogos del IRD participan junto a sus contrapartes en la elaboración de este tipo de herramientas desde el inicio de la colaboración.

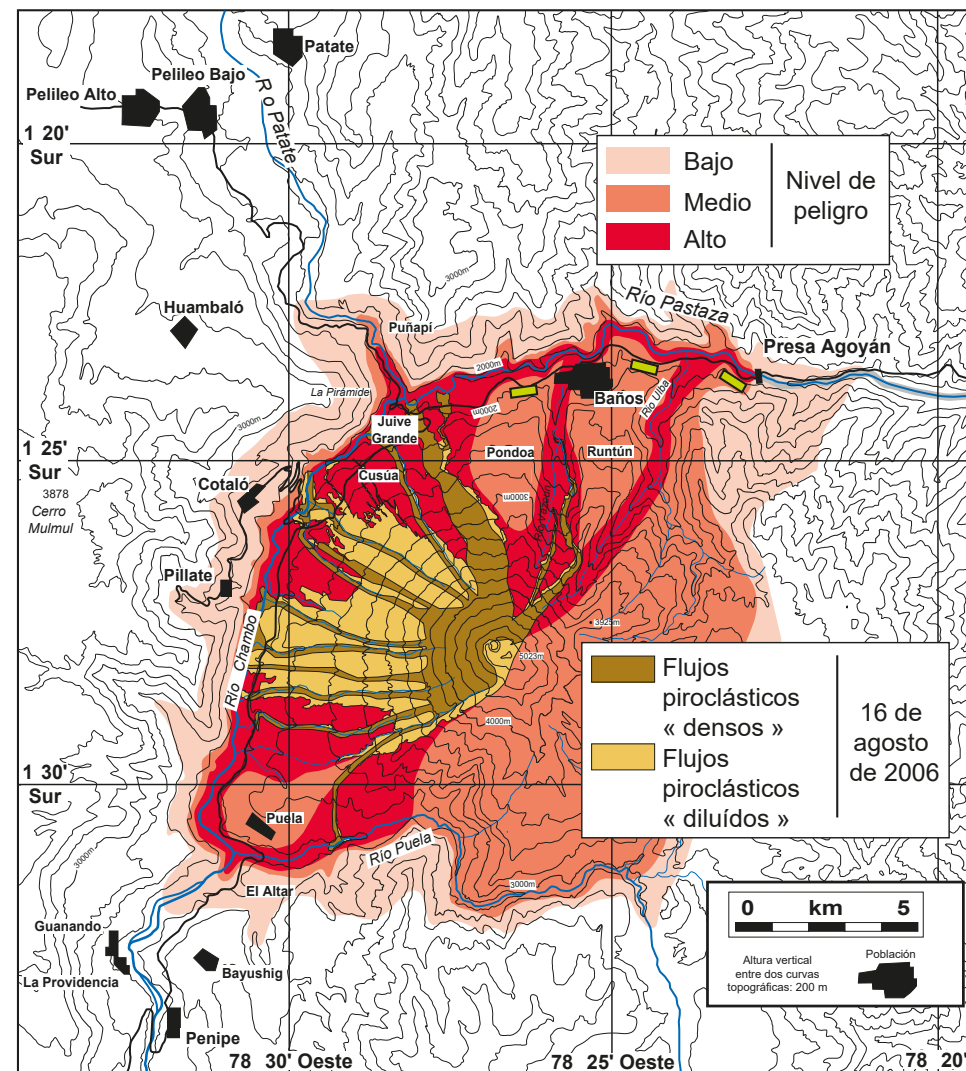


Figura 2
Mapa de peligros volcánicos del Tungurahua.
Representación simplificada del mapa de peligros del volcán Tungurahua (versión 2002) en la que se indican las zonas afectadas por los flujos piroclásticos de 2006 (SAMANIEGO *et al.*, 2008). Las diferentes tonalidades de rojo (claro, intermedio e intenso) corresponden con los niveles de peligro (bajo, medio, alto), mientras las tonalidades de marrón (claro o intenso) representan los depósitos de la erupción de 2006 (oleadas y flujos piroclásticos). Esta versión del mapa de peligros del Tungurahua fue la versión oficial durante la erupción de 2006.

Mapas de distribución de los productos volcánicos

Durante los primeros años de actividad del Tungurahua, el fenómeno volcánico más frecuente fue la expulsión de ceniza volcánica y su depósito, sobre todo en la parte occidental del volcán.

A pesar de su importancia, el volumen de ceniza emitida durante las fases explosivas de una erupción era uno de los parámetros menos conocidos. Durante los años 2000-2001, los investigadores del IRD y el IG-EPN adoptaron métodos conocidos en vulcanología para cuantificar el volumen de las erupciones de baja magnitud (1-5 millones de m³). A partir de estos trabajos, el IG-EPN diseñó un dispositivo muy económico, que ahora se usa de forma rutinaria (la red cenizómetros), que permite crear mapas de distribución de la ceniza expulsada por los volcanes (BERNARD *et al.*, 2016-a). El IG-EPN usa estos mapas, que solo son válidos durante la fase eruptiva en cuestión, para hacer un seguimiento y entender el desarrollo de las fases explosivas del volcán. Se transmiten en versión simplificada a los responsables públicos que los solicitan.

Estructuración de los equipos y actividades de investigación a largo plazo

El equipo de vulcanología del IRD y del IG-EPN ha recurrido a lo largo del tiempo a diferentes instrumentos de colaboración propuestos por el IRD para estructurar sus actividades científicas, así como para potenciar y relanzar la dinámica de investigación. En 2003, el IRD y el IG-EPN crearon un equipo joven asociado al IRD (JEA). Este JEA fue el germen de la rama vulcanológica del laboratorio mixto internacional (LMI) IRD/IG-EPN puesto en marcha en 2012. Varios de los miembros del JEA asumieron después la labor de responsables o coordinadores de distintos ejes de este laboratorio.

JEA « Evaluación del riesgo volcánico en Ecuador mediante el método probabilístico » (2003-2007)

En el contexto de la reactivación de los volcanes, la creación de este JEA respondía a la necesidad de contar con una evaluación más minuciosa y cuantitativa de las amenazas volcánicas asociadas. Abrió la puerta a una faceta de

investigación más aplicada centrada en la modelización digital de los flujos volcánicos (corrientes de densidad piroclásticas y lahares). El Tungurahua fue uno de los objetivos prioritarios: el estudio de su actividad explosiva a lo largo de los tres últimos milenios permitió entender y prever las erupciones del 14 de julio y del 16 de agosto de 2006, durante las cuales grandes flujos piroclásticos devastaron las vertientes norte y occidental del volcán.

Además de generar diversos resultados científicos, el JEA ha contribuido a i) reforzar el equipo de vulcanología del IG-EPN (formado en aquel momento por nueve miembros permanentes y temporales); ii) mejorar la autonomía financiera (gracias a la financiación del JEA); iii) reforzar las capacidades, con la obtención de un doctorado y un máster, además de tres trabajos de titulación de la Escuela Politécnica Nacional y iv) aumentar la visibilidad internacional mediante publicaciones y la organización de un congreso internacional (« Cities on Volcanoes 4 », Quito, 2006).

LMI « Sismos y volcanes en los Andes del Norte » (SVAN)

En 2012, el IRD y el IG-EPN pusieron en marcha el LMI SVAN para un primer mandato de cinco años (2012-2016), que se renovó en 2017. Este laboratorio, que cubre el conjunto de la actividad del IG-EPN, se centra en las amenazas sísmicas y volcánicas en la zona norte de los Andes, extendiéndose a otros segmentos de la cordillera, sobre todo en Perú. Es el resultado de las colaboraciones iniciadas y desarrolladas por el IG-EPN y el IRD desde la década de 1990 en los campos de la vulcanología y la sismología y constituye un buen ejemplo de la madurez de esta colaboración. Además de la UMR LMV en el ámbito de la vulcanología, este LMI asocia otras dos UMR co-tuteladas por el IRD para aspectos sismológicos en un sentido amplio: el Laboratorio Géoazur¹² de Niza y el Institut des sciences de la Terre (Isterre)¹³ de Grenoble.

12. La UMR GEOAZUR reúne a la Universidad Côte d'Azur, el Observatorio de la Côte d'Azur, el CNRS y el IRD.

13. La UMR Isterre asocia a la Universidad Grenoble-Alpes, la Universidad Savoie-Mont Blanc, el CNRS, el IRD y el Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

El LMI SVAN ha contribuido a estructurar la investigación y potenciar la multi-disciplinariedad. Este hecho se ha traducido en colaboraciones entre vulcanólogos y sismólogos y en la apertura a colaboraciones con investigadores de ciencias humanas y sociales en el contexto del Labex ClerVolc.¹⁴

Además, el LMI ha ayudado al IG-EPN en la gestión de las graves crisis telúricas que se han producido en Ecuador durante los últimos años: el gran terremoto de Pedernales (7,8 MW, 16 de abril 2016), la reactivación del volcán Cotopaxi (2015-2016) y las frecuentes erupciones de los volcanes Tungurahua y El Reventador.

Formación mediante la investigación y la enseñanza

La prolongada colaboración científica del IRD y el IG-EPN ha posibilitado el desarrollo de una notable faceta de formación mediante la investigación integrada en los proyectos. Esta actividad de formación comenzó con la dirección de tesis de ingenieros geólogos de la EPN y continuó con estudios de máster y doctorado. La cofinanciación de becas por parte del IRD y la Senescyt constituye una garantía de retorno a Ecuador para los investigadores jóvenes. La mayoría de los vulcanólogos del IG-EPN se ha formado en Francia, en especial en la Universidad Clermont-Auvergne (Universidad Blaise Pascal hasta 2016). Hay que señalar que, al día de hoy, no existe ninguna escuela doctoral de ciencias de la tierra en Ecuador.

Se cuentan:

- nueve tesis doctorales defendidas entre 2001 y 2019, cuatro de ellas tesis de doctorandos ecuatorianos que han disfrutado de una beca del IRD y/o de la Senescyt; actualmente se está realizando una décima tesis;
- nueve maestrías, cinco de las cuales fueron obtenidas por estudiantes ecuatorianos;
- diez trabajos de titulación de la EPN.

Estas maestrías y doctorados se enmarcan en las distintas especialidades de la vulcanología: vulcanología física, modelización digital o petrología de magmas del arco.

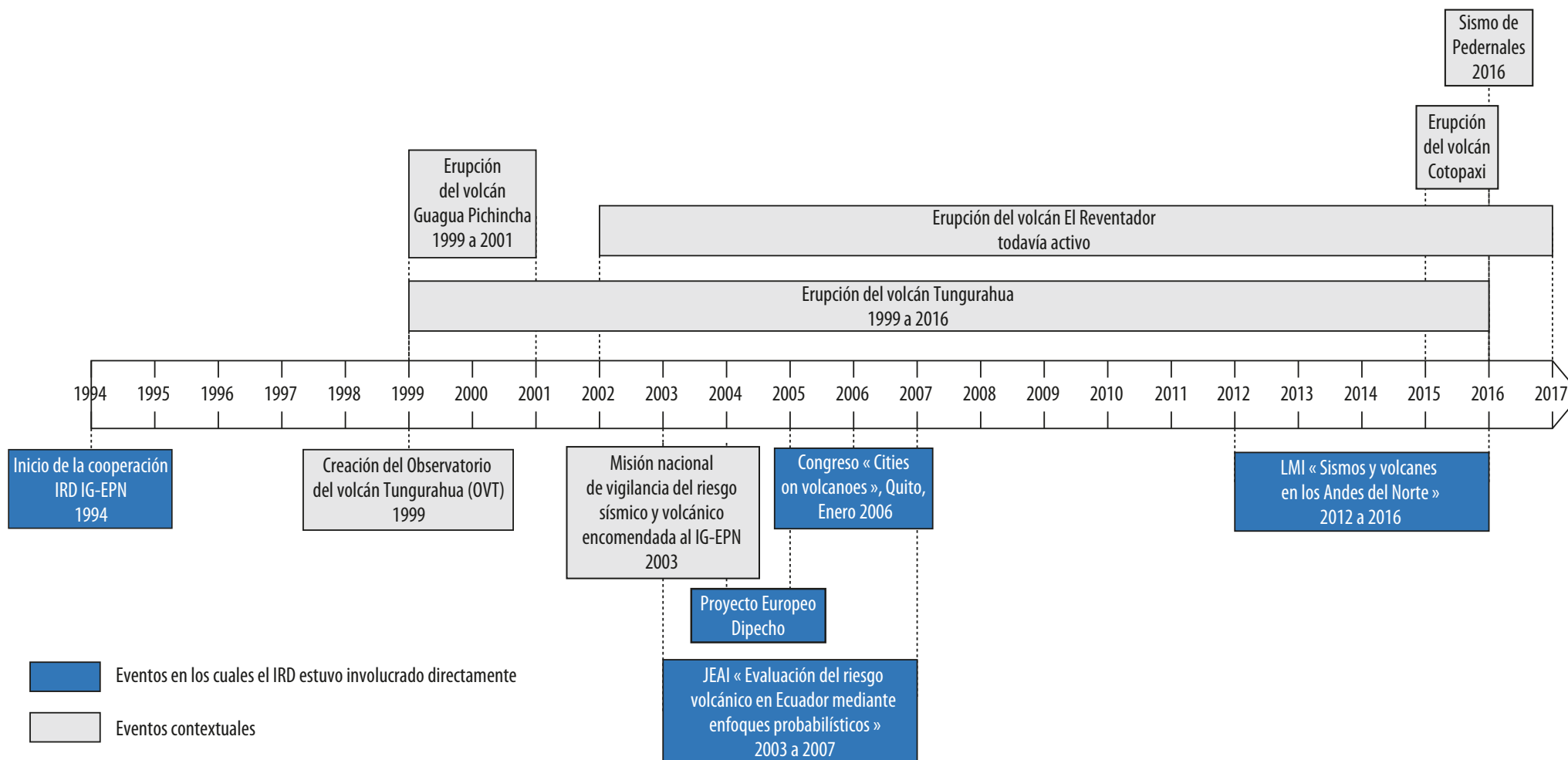
¹⁴. Uno de los vulcanólogos del IRD del LMV ha codirigido dos tesis: una sobre la percepción de los riesgos, la incertidumbre y la toma de decisiones por parte de personas en situación de catástrofe natural relacionada con el vulcanismo (2016) y otra sobre la repercusión económica de las catástrofes naturales (2018).

Los investigadores del Instituto Geofísico y del IRD también han participado en el Máster Internacional Prefalc¹⁵, un proyecto que reúne a varias universidades francesas (Niza, Grenoble, Clermont-Ferrand), la EPN y la Universidad San Marcos (Lima). Este proyecto fue el precursor de un máster en geociencias (riesgos naturales) de la EPN. Por otra parte, los profesores-investigadores del IG-EPN (y, en ocasiones, también del IRD) han contribuido a la enseñanza en la EPN, sobre todo en la rama de ingeniería geológica.

¹⁵. Prefalc: Programa Regional Francia-Latinoamérica-Caribe.

Cronología

Procesos y peligros volcánicos en Ecuador



Circulación de conocimientos e intermediarios

Este capítulo se refiere a los actores « intermediarios » que han contribuido a trasladar los resultados de la investigación a la sociedad, así como a los medios utilizados para favorecer esta circulación de conocimientos y crear las condiciones necesarias para su uso.

Se constata que todos los actores que han formado parte del proceso de investigación (IG-EPN, IRD, autoridades, red de vigías del Tungurahua) también han desempeñado la función de intermediarios en esta circulación de conocimientos entre la esfera de la investigación y la sociedad. Estos actores han aprovechado sus puntos complementarios y han asociado sus actuaciones para favorecer la concienciación de las autoridades y la ciudadanía frente a los peligros volcánicos y sobre el desarrollo de un enfoque preventivo. Un buen ejemplo fue el proyecto Dipecho para la formación de las poblaciones que viven cerca del volcán Tungurahua en materia de prevención y gestión del riesgo volcánico, en el que participaron tanto el IG-EPN como el IRD.

IG-EPN

El IG-EPN ha contribuido en gran medida a la difusión de los conocimientos científicos y a que las autoridades y la sociedad civil se familiaricen con ellos. Para ello, ha usado distintas estrategias: ha puesto su experiencia a disposición de los responsables públicos y ha puesto en marcha acciones de formación, concienciación e información adaptadas al público destinatario.

Así, en el marco de su misión nacional de vigilancia y evaluación de los peligros sísmicos y volcánicos, el IG-EPN:

- aporta su experiencia al Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias¹⁶, del que es interlocutor de referencia en materia vulcanológica y sísmica, y participa en instancias relacionadas con la prevención y la gestión de los riesgos volcánicos y sísmicos;
- elabora y pone a disposición de las autoridades boletines de información diarios, semanales, mensuales y anuales sobre la actividad de los volcanes en erupción y sobre otros volcanes activos del territorio ecuatoriano. Estos boletines tienen una amplia difusión (autoridades públicas, medios de comunicación, etc.) y se pueden consultar en su sitio web (www.igepn.edu.ec), al igual que los mapas de peligros;
- participa activamente en la formación de los vigías del Tungurahua y de otros volcanes ecuatorianos (Cotopaxi y Chiles-Cerro Negro);
- como actor del sistema de alerta temprana, contribuye al diseño de los protocolos de comunicación y de toma de decisiones entre el observatorio del IG-EPN y las autoridades en caso de crisis eruptiva. Responde a las peticiones de las autoridades, los medios de comunicación y las poblaciones afectadas. Durante una crisis volcánica (o sísmica), ésta labor resulta delicada y requiere un perfecto dominio del tema, en especial, en materia de comunicación de las incertidumbres intrínsecas a los fenómenos sísmicos y volcánicos.

En paralelo a estas actividades, el IG-EPN se dedica a informar a la ciudadanía sobre los fenómenos volcánicos y a concienciar en el ámbito de la prevención. Ha elaborado numerosos documentos informativos sobre los volcanes ecuatorianos destinados a la divulgación. Utiliza diversos soportes: folletos, trípticos, videos, su sitio web y, más recientemente, las redes sociales (como Twitter, Facebook, Pinterest o YouTube). Estos documentos se pueden consultar gratuitamente en su sitio web.

El IRD

Los investigadores del IRD han trabajado, junto al IG-EPN, en acciones de información y concienciación de la sociedad civil frente a los peligros volcánicos (conferencias divulgativas, cafés científicos, participación en reuniones informativas para la población, etc.).

16. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, véase apartado « Los poderes públicos » en este capítulo.

Una parte importante de este trabajo se ha centrado en la publicación de una serie de cinco folletos explicativos sobre los peligros volcánicos, realizada y publicada conjuntamente por el IRD y el IG-EPN, en relación con los volcanes Tungurahua (2003, reeditada en 2005), Cayambe (2004), Cotopaxi (2005), Antisana (2007), Atacazo, Ninahuilca y Pululahua (2008) (véase el anexo Documentos citados). El IG-EPN se encargó de darles una amplia difusión entre las autoridades y organismos potencialmente interesados (como ministerios, institutos públicos, gobiernos locales o ayuntamientos).

Además, los investigadores del IRD participaron regularmente (entre 1999 y 2007) en los turnos de guardia del observatorio del volcán Tungurahua (OVT), una participación que continuó hasta 2010, aunque de forma un poco más espaciada a medida que aumentaba el número de vulcanólogos del IG. Durante estos turnos de guardia, los investigadores del IRD realizaban las mismas actividades científicas y de comunicación que los investigadores del IG-EPN. En este contexto, participaban en el programa de radio semanal dedicado al volcán, en reuniones con las autoridades (representantes de los ministerios, de los municipios, cargos políticos, etc.) para informar sobre la actividad del volcán, así como en reuniones con los habitantes de la zona y con la protección civil y respondían a las frecuentes solicitudes de los medios de comunicación locales y nacionales. Los investigadores del IRD acordaban previamente con el IG el tipo de lenguaje que iban a utilizar, asegurando que su discurso permanezca siempre dentro del campo científico.

Las autoridades

Las autoridades, que deben garantizar la protección de la ciudadanía y de los bienes y reducir su vulnerabilidad, actúan a la vez como demandantes de conocimientos y productos de investigación y como partes interesadas en su difusión y adaptación.

En el plano institucional, el Estado ecuatoriano reorganizó su sistema de prevención y gestión de riesgos e incluyó los principios de esta reforma en la constitución ecuatoriana de 2008. Este sistema, que antes era responsabilidad del Ministerio de Interior, está ahora descentralizado y regulado por un principio de subsidiaridad entre los distintos niveles de la organización regional. De la coordinación nacional se encarga el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.

En el plano operativo, las autoridades y los servicios públicos —nacionales, regionales o municipales— deciden, organizan y coordinan los dispositivos y las medidas de prevención y gestión de riesgos volcánicos: información preventiva y educación de la población, consideración de los riesgos en la ordenación del territorio y la planificación urbanística, reducción de la vulnerabilidad, anticipación y gestión de las crisis volcánicas, etc.

Las organizaciones no gubernamentales



Granja avícola con el techo colapsado bajo el peso de las cenizas y escoria del volcán Tungurahua, 2006.

© IRD/Y. Repett

En la región del Tungurahua, el IRD y el IG-EPN recibieron la petición¹⁷ de dos ONG (la estadounidense CRS y la británica Cafod) y de la diócesis de Ambato para diseñar un proyecto con el objetivo de preparar a la población frente a los peligros asociados a vivir cerca de un volcán en actividad¹⁸: « Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo ». Este proyecto, que se desarrolló entre 2004 y 2005, obtuvo financiamiento de la Dirección General de Protección Civil y

Ayuda Humanitaria (Echo) de la Comisión Europea, a través de su programa de prevención de riesgos y preparación ante desastres (Dipecho). Incluía un componente científico —responsabilidad del IRD y del IG-EPN— y un componente humanitario y social.

Su objetivo era reforzar las capacidades de las comunidades y las instituciones situadas en la zona de impacto del volcán Tungurahua para identificar y proponer mecanismos de acción comunitarios destinados a « aprender a vivir con un volcán activo » y a socializar las respuestas frente a las erupciones volcánicas con el fin de reducir sus efectos a través de la preparación, la mitigación y la prevención. Otra de las metas de este proyecto era acercar a la comunidad

17. Esta petición se efectuó a través del IRD que, en calidad de organismo de investigación francés, permitía cumplir una de las condiciones para la obtención de financiación europea en el marco del programa Dipecho.

18. Catholic Agency for Overseas Development (Cafod, Gran Bretaña), Catholic Relief Services (CRS, Estados Unidos), Ministerio de Asuntos Sociales de la Comisión Episcopal (Caritas) de la Conferencia Episcopal Ecuatoriana (Cepas) y la diócesis de Ambato.

científica y los habitantes de la zona afectada mediante numerosos talleres y reuniones. Llegó a 35 comunidades de la provincia de Tungurahua (unas 18 000 personas). El IRD y el IG-EPN también se beneficiaron de la financiación, lo que le permitió al IG reforzar el dispositivo de vigilancia del observatorio (OVT). Entre los resultados de este proyecto también se contaron un balance de situación y un vídeo¹⁹.

La red de vigías del Tungurahua

Los miembros de la red de vigías del Tungurahua han desempeñado una función de enlace y difusión de la información entre las autoridades, los científicos y las poblaciones que viven cerca del volcán Tungurahua. Este punto se amplía en el apartado dedicado al impacto social.

19. (2005). Sistematización del proyecto « Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo »: articular lo científico y lo social para el desarrollo sostenible es un reto de la gestión del riesgo. Quito: Echo; Cafod; Conferencia Episcopal Ecuatoriana; Diócesis de Ambato; CRS; IG-EPN; IRD, 67 p. (<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010037387>). Enlace al vídeo: (https://www.youtube.com/watch?v=qriJ_ONz1Jg).

Impactos de primer alcance

Los resultados de la colaboración científica entre el IG-EPN y el IRD han contribuido:

- al fortalecimiento de la capacidad de investigación ecuatoriana en vulcanología (impacto en el refuerzo de capacidades);
- al fortalecimiento del sistema nacional de prevención y gestión de riesgos (impacto institucional);
- a la familiarización de las poblaciones que viven cerca del volcán Tungurahua con las medidas de prevención y gestión de las crisis volcánicas (impacto social).

Fortalecimiento de las capacidades de investigación en vulcanología

Durante las últimas décadas, y probablemente debido a las reiteradas crisis volcánicas, el IG-EPN ha desarrollado y mejorado notablemente sus redes de vigilancia volcánica y sísmica. También ha incrementado de forma significativa su plantilla científica y técnica (pasando de 25 a 85 personas entre finales de la década de 1990 y 2016). Este aumento del personal del IG-EPN ha sido posible gracias al apoyo y a los recursos aportados por el Gobierno ecuatoriano.

En paralelo, también se ha producido un incremento notable de la actividad del IG-EPN dedicada a la investigación, así como una mejora de su exigencia científica. La colaboración científica entre el IG-EPN y el IRD, de larga duración y nutrida por la estrecha cercanía con el trabajo de campo, ha contribuido al desarrollo de esta dinámica. Esta aportación se ha concretado a través de

distintas estrategias: por ejemplo, la posibilidad de que jóvenes vulcanólogos ecuatorianos obtengan un doctorado en Francia, el desarrollo de una cultura de la publicación científica o la estructuración conjunta de un laboratorio mixto de investigación.

Gracias a todo ello, el IG-EPN ha podido formar un equipo multidisciplinario de vulcanólogos especializados en campos diversos: vulcanología física, petrológica y geoquímica de los productos volcánicos, modelización analógica y digital de los procesos volcánicos y evaluación de los peligros volcánicos. El número de investigadores senior (titulares de un doctorado) permanentes pasó de uno a cinco entre 1999 y 2016. La mayoría de los nuevos investigadores se formó en el LMV, entre ellos la actual directora del Instituto Geofísico y el responsable del equipo de vulcanología del IG-EPN.

La organización del cuarto congreso internacional «Cities on Volcanoes» en enero de 2006 en Quito fue un hito importante para el IG-EPN. Este congreso, que reunió a unos 400 vulcanólogos de todos los continentes, demostró la capacidad del IG-EPN para organizar un evento de tal magnitud. También fue la ocasión perfecta para presentar sus trabajos de investigación y los avances científicos en el conocimiento de los volcanes ecuatorianos. Seguidamente a este congreso, los investigadores del IG-EPN y el IRD decidieron publicar un número especial del *Journal of Volcanology and Geothermal Research* sobre el volcanismo ecuatoriano, que vio la luz en 2008 (véase capítulo «Publicaciones académicas»).

El estudio de la evolución de las publicaciones del IG-EPN en el ámbito de la vulcanología en revistas con revisión por pares, entre ellas las publicadas en colaboración con el IRD, muestra un aumento progresivo en el número de artículos, con un pico en 2008 debido a la aparición del número especial de la revista *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. El siguiente gráfico ilustra este incremento.

El gráfico de la figura 3 demuestra i) que el número de publicaciones sobre vulcanología aumentó con el inicio del programa conjunto IG-EPN/IRD (a partir de 1996), ii) la importancia de la cultura de la publicación conjunta en estos proyectos, iii) un índice de producción científica constante durante los veinte años de cooperación y iv) que la proporción de publicaciones conjuntas supone actualmente alrededor de un 50 % del total de publicaciones del IG-EPN sobre vulcanología.

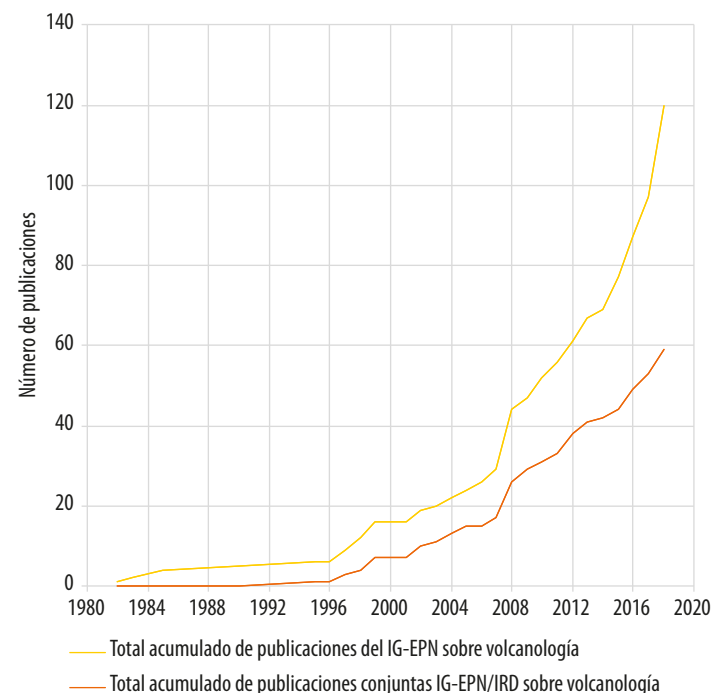


Figura 3
Evolución del número de publicaciones del IG-EPN sobre vulcanología desde su creación.
Fuente de los datos: IG-EPN⁹⁰.

Esta producción académica vinculada a tres décadas de experiencia en la instrumentación de volcanes, la recolección y la transmisión de datos en tiempo real y la vigilancia de volcanes activos han forjado la sólida reputación científica del IG-EPN, en especial en la región andina y en Latinoamérica. Varios indicadores demuestran este reconocimiento: aumento de las solicitudes de prácticas de estudiantes ecuatorianos y extranjeros, capacidad para movilizar capitales a través de donantes de fondos internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el programa europeo Dipecho o los cursos realizados en países vecinos. El IG-EPN recibió igualmente el Premio 2020 de la Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra (Iavcei) por la Vigilancia Volcánica y el Manejo de Crisis.

20. Artículos científicos en revistas con revisión por pares IG-EPN (documento interno del IG-EPN).

Fortalecimiento del sistema nacional de prevención y gestión de riesgos volcánicos

Se observa una progresión a lo largo de los años del enfoque preventivo en la organización del sistema ecuatoriano de gestión del riesgo volcánico. Esta estrategia ha podido basarse en los resultados de los estudios del IG-EPN y del IRD referentes a la caracterización y la evaluación del peligro volcánico. Los vulcanólogos se han impuesto la labor de que las autoridades puedan acceder a estos conocimientos para responder mejor a sus necesidades (véase capítulo anterior).

Los mapas de peligros volcánicos son una herramienta estratégica para el diseño de un enfoque preventivo. Sin embargo, su uso requiere que los usuarios posean ciertas competencias técnicas. También deben entender los límites y el margen de incertidumbre, ya que la definición de las zonas de impacto potencial en caso de erupción volcánica tiene efectos en términos de ordenación territorial y plantea retos socioeconómicos.

A partir de los mapas de peligros volcánicos, las autoridades ecuatorianas han diseñado protocolos para la evacuación de la población, la identificación de las zonas de seguridad, la definición de las medidas sanitarias y la puesta en marcha de sistemas de alerta temprana. En paralelo a este dispositivo de prevención y gestión de crisis volcánicas, las autoridades han emprendido además acciones a largo plazo para tener en cuenta los riesgos volcánicos en la ordenación territorial y la estrategia para asegurar las infraestructuras y los equipamientos colectivos. Estas inversiones se enmarcan en una perspectiva de desarrollo social en Ecuador.

A este respecto, la experiencia del dispositivo de prevención y gestión de riesgos puesto en marcha para el volcán Tungurahua resulta ejemplar. Demuestra que es posible aplicar una política de gestión sostenible a mediano y largo plazo en el contexto ecuatoriano y que este tipo de estrategias dan resultados positivos.

También podemos citar el ejemplo de Quito. La Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio de Quito se basó en el mapa de peligros volcánicos del Cotopaxi (que data de 2004) y en los trabajos de modelización más recientes realizados por el IG-EPN y el IRD (2013) para elaborar en 2015 un plan de evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas en caso de erupción. También se integraron estos datos en la planificación urbana: se ha prohibido la

construcción en las zonas identificadas como « de alto riesgo ». Estas previsiones se respetan en su conjunto, excepto en el caso de los sectores de la vivienda informal. Tras la erupción del Cotopaxi, en 2015, el IG-EPN actualizó el mapa de peligros volcánicos para dar una mejor respuesta a las necesidades de las autoridades. Este nuevo mapa se publicó en 2016.

Siguiendo con el volcán Cotopaxi, podemos citar el estudio sobre los impactos de los flujos de lodo y escombros asociados a una erupción volcánica explosiva de gran magnitud²¹. Los resultados de estos trabajos han contribuido, siguiendo las recomendaciones del IG-EPN y de sus contrapartes, a la decisión de modificar el trazado del acueducto que suministra el agua potable a la ciudad de Quito para evitar su destrucción en caso de erupción. De acuerdo con la misma lógica, el IG-EPN y el IRD desaconsejaron vivamente la construcción de una planta de tratamiento de agua en la salida sur de la ciudad de Latacunga —un proyecto financiado por la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)—, que también estaba situada en una zona que podría resultar afectada por los flujos de lodo y escombros en caso de erupción del Cotopaxi. Estos ejemplos de interacción entre la comunidad científica, los donantes de fondos y las autoridades locales son un buen ejemplo de las repercusiones que tienen en la sociedad los resultados de las investigaciones efectuadas y la experiencia acumulada a lo largo de los años.

Sin embargo, estos avances en la prevención y la consideración del peligro volcánico se manifiestan más en contextos locales que a escala nacional, como demuestra la colaboración permanente entre el IG-EPN y los municipios que se encuentran alrededor del volcán Tungurahua. Hay varios motivos que explican esta situación, entre ellos:

- la formación y la preparación de la población frente al riesgo volcánico y sísmico todavía es insuficiente;
- a veces resulta difícil encontrar el equilibrio entre las obligaciones (sociales, económicas, diversidad de peligros) y los riesgos; nos encontramos ante un problema del « riesgo aceptable »;
- el costo de las inversiones que hay que realizar;
- la falta de medios a escala local; pocas ciudades ecuatorianas disponen de un servicio de gestión de riesgos dotado de las competencias técnicas indispensables para entender y utilizar los resultados científicos (en especial, los mapas de peligros) para fines de gestión y prevención de riesgos.

21. HALL M. L., MOTHES P., SAMANIEGO P., ANDRADE D., YEPES H. 2004 — Mapa Regional de los peligros potenciales del volcán Cotopaxi — Zona Sur. (Esc. 1/50 000). Edit. IG/EPN-IRD-IGM-Embajada de Alemania en Quito.

Impacto social

La larga fase eruptiva del volcán Tungurahua, entre 1999 y 2016, constituyó un laboratorio a gran escala para el IG-EPN y el IRD. Su duración, en un contexto de erupciones recurrentes y prolongadas, también favoreció el desarrollo de una colaboración entre la comunidad científica, las autoridades (locales y nacionales) y las poblaciones afectadas. Es probable que esta asociación haya contribuido al desarrollo de una cultura de la gestión del riesgo (como lo demuestran las entrevistas con los vigías) y a la comprensión y aceptación por parte de la población del sistema de prevención y gestión del riesgo volcánico²².

Este aspecto supuso un auténtico reto. Cuando comenzó la actividad eruptiva en 1999 y debido al temor a que se produjera un episodio paroxismal, se procedió a la evacuación de los habitantes de la ciudad de Baños y de las zonas rurales circundantes, alrededor de 25 000 personas, por decisión del presidente de la República en octubre de 1999. Esta evacuación, que duró tres meses (hasta principios de enero de 2000), fue una experiencia traumática para la población.

Tras esta primera fase de la erupción, el IG-EPN, que necesitaba observadores en torno al volcán para recoger información sobre los fenómenos eruptivos, colaboró en la creación de una red de observadores (vigías). Esta idea tuvo una buena acogida en las comunidades. La población necesitaba información sobre el funcionamiento y la actividad del volcán y su evolución. También existía el deseo de participar en la elaboración y puesta en marcha de las medidas de prevención y gestión del riesgo volcánico. La red de vigías del Tungurahua nació de la combinación de estas dos necesidades.

Progresivamente, fue gestándose una estrecha colaboración entre los vigías y los científicos que garantizó una presencia permanente en el OVT a partir de 1999. Esta cooperación se cimentó en talleres formativos, reuniones, conversaciones informales, el uso de un lenguaje compartido y un dispositivo de comunicación común (radio) que permitía como mínimo una cita diaria del conjunto de la red con el OVT. Esta proximidad favoreció la creación de una relación de confianza y una apreciación común de la amenaza vinculada a la actividad eruptiva.

22. A este respecto, se pueden consultar los resultados de un estudio llevado a cabo por un equipo de investigación del Reino Unido: ARMUJOS M. T., PHILLIPS J., WILKINSON E., BARCLAY J., HICKS A., PALACIOS P., MOTHE P., STONE J., 2017 — Adapting to changes in volcanic behaviour: Formal and informal interactions for enhanced risk management at Tungurahua Volcano, Ecuador. *Global Environmental Change* 45: 217-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.06.002>; FEW R., ARMUJOS M. T., BARCLAY J., 2017 — Living with Volcan Tungurahua: The dynamics of vulnerability during prolonged volcanic activity. *Geoforum* 80: 72-81. (<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.01.006>).

Por su parte, los vigías han desempeñado una función esencial de enlace y divulgación de la información entre las autoridades, la protección civil —un servicio del que forman parte como miembros voluntarios—, los científicos y sus comunidades.

Gracias a todo ello, durante la violenta erupción de 2006 (y las que le sucedieron), las comunidades estaban mejor organizadas y preparadas que en 1999. La mayoría de los habitantes había recibido información sobre los métodos de evacuación de las zonas de alto riesgo, se había puesto en marcha un sistema de alerta temprana en determinadas comunidades y se habían establecido protocolos de evacuación consensuados con la población. No obstante, seis personas fallecieron durante la erupción debido al incumplimiento de las instrucciones de seguridad. En retrospectiva, se puede decir que el éxito de la gestión de la crisis volcánica asociada a la intensa erupción de 2006 fue fruto de la implicación del IG-EPN y el IRD en el estudio y la vigilancia del volcán, pero también de los resultados del proyecto « Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo » citado en el capítulo anterior (véase capítulo « Las organizaciones no gubernamentales »). Durante esta erupción, no hubo que lamentar ninguna víctima en las comunidades que habían participado en este proyecto.

También se observó una menor concienciación entre los habitantes de la ciudad de Baños, a pesar de que parte de ella se encuentra en zona de alto riesgo. Hay varios motivos que pueden explicar este hecho. Por una parte, la percepción del riesgo, ya que la ciudad no había resultado muy afectada por la expulsión de ceniza, a diferencia de las comunidades rurales del flanco occidental. Por otra, las divergencias socioeconómicas entre Baños, una población predominantemente urbana con el turismo como principal actividad económica, y el sector occidental, de carácter rural y dedicado a la agricultura y la ganadería.

Cabe resaltar que, además de la vigilancia de la actividad volcánica y la emisión de alertas, los vigías también utilizan el dispositivo de radio de la red para otro tipo de sucesos como terremotos, deslizamientos de tierra, crecidas o accidentes.

El éxito de la red de vigías del Tungurahua ha recibido una justa valoración (por ejemplo, en artículos periodísticos o a través del reconocimiento de las autoridades). Se ha extrapolado el modelo a otros dos volcanes ecuatorianos: el Cotopaxi y el Chiles-Cerro Negro, situado en la frontera con Colombia. Esta iniciativa también ha suscitado interés en Perú (volcán Sabancaya) y Colombia (volcán Galeras). Los miembros de la red de vigías se han desplazado a otros

puntos de Ecuador, incluso a otros países, para compartir su experiencia y conocimientos con otras comunidades afectadas.

En paralelo a los aspectos vinculados a la prevención y a la gestión de los riesgos volcánicos, durante las entrevistas se planteó otra aportación de la comunidad científica: el acceso directo a datos documentados sobre los procesos eruptivos del Tungurahua resultó muy esclarecedor para algunas personas que decidieron adaptar su forma de vida o sus medios de subsistencia (por ejemplo, venta del ganado ante las primeras señales precursoras de la emisión de ceniza, almacenamiento de forraje de reserva, cambio a cultivos más resistentes a las cenizas, modernización de las prácticas agrícolas o reorientación profesional).

Impactos de amplio alcance

Este tipo de impacto se asocia a la generalización de las repercusiones más allá del espacio geográfico o del objeto inicial.

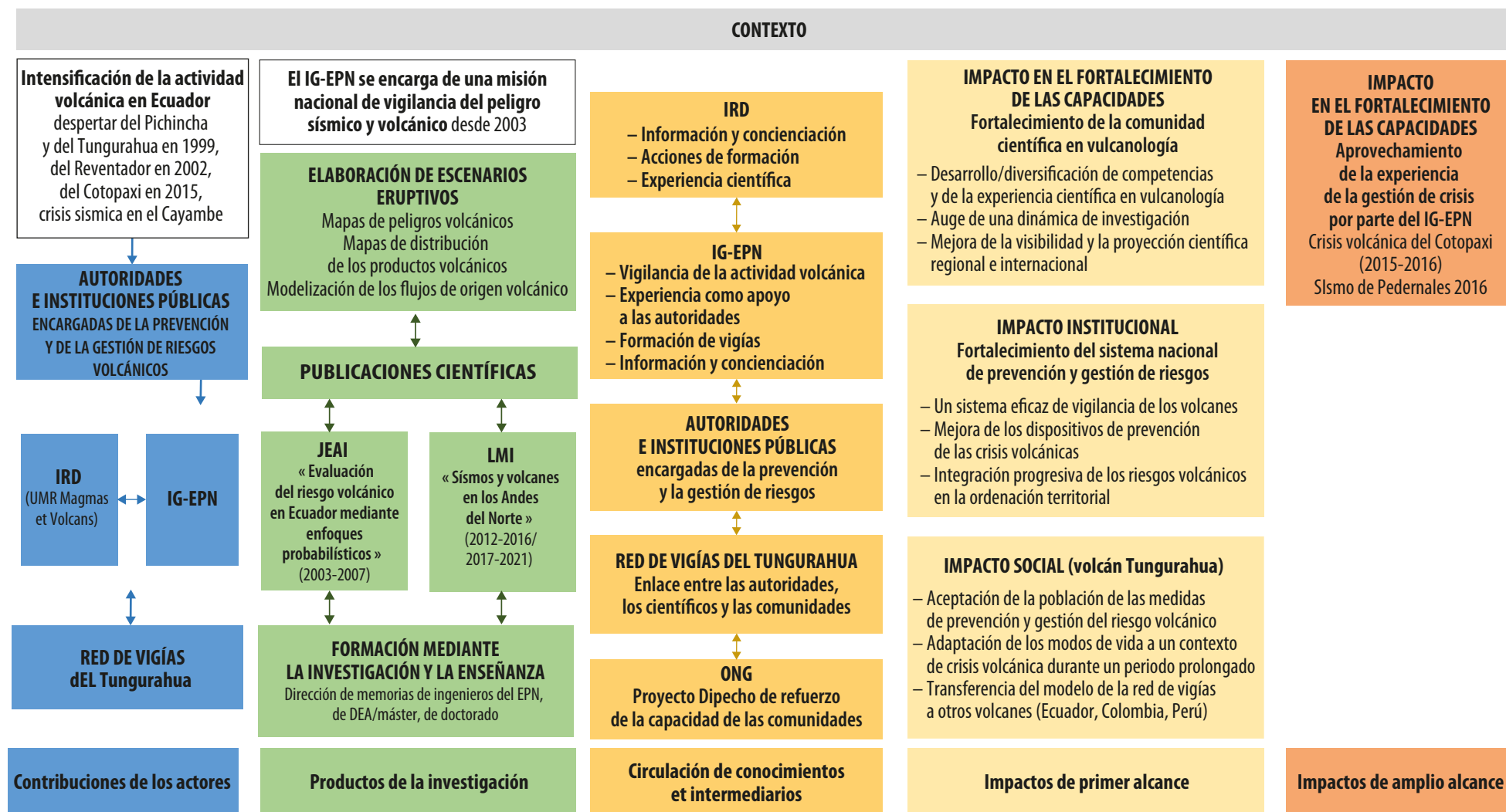
Fortalecimiento de las capacidades

El aprovechamiento de la experiencia del IG-EPN en la gestión de la crisis del volcán Tungurahua (1999-2016) contribuyó a lograr una gestión eficaz de la crisis del volcán Cotopaxi (2015-2016), que, a pesar de ser más breve, resultó muy compleja ya que podía afectar a una cantidad mucho mayor de población del valle interandino (entre la periferia de Quito al norte y la ciudad de Latacunga al sur). Además, en un país como Ecuador, que cuenta con una organización centralizada, una crisis que afecte a la capital, Quito, puede tener importantes repercusiones en gran parte del país.

Por otra parte, es probable que la experiencia acumulada por el IG-EPN contribuyera a facilitar la organización del dispositivo de gestión de crisis durante el sismo que afectó la costa norte de Ecuador en 2016, en especial la ciudad de Pedernales, y que provocó cientos de muertos. Aunque sean fenómenos telúricos distintos, los procesos que se aplican en situaciones de crisis presentan ciertas características comunes: organización de la vigilancia y de la recopilación de datos científicos en el campo con carácter urgente para entender y evaluar el fenómeno y su evolución temporal, identificación de las zonas afectadas o que pueden resultar afectadas, divulgación de la información y experiencia aportada a las autoridades públicas, comunicación de las incertidumbres asociadas a los fenómenos telúricos a las autoridades y los medios de comunicación, organización del trabajo del IG-EPN para incluir las tareas de la gestión de la crisis y las tareas habitualmente realizadas por el Instituto.

Camino de impacto

Procesos y peligros volcánicos en Ecuador



Anexos

Entrevistas realizadas

Alexandra	Alvarado	Vicerrectora de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, anteriormente directora del IG-EPN, Ecuador
Silvana	Hidalgo	Directora del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador
Jean-Luc	Le Pennec	Representante del IRD en Ecuador, Director de Investigación adscrito al Laboratorio Magmas y volcanes (LMV), Ecuador
Jorge	Ordóñez	Técnico del Equipo de Gestión de riesgos, Dirección Metropolitana de Riesgos, Secretaría de Seguridad y gobernabilidad, Municipio de Quito, Ecuador
Gustavo	Padilla	miembro de la Red de Vigías del volcán Tungurahua, Ecuador
Jorge	Totoy	miembro de la Red de Vigías del volcán Tungurahua, Ecuador

Documentos citados

Publicaciones académicas

ANCELLIN M.-A., SAMANIEGO P., VLASTÉLIC I., NAURET F., GANNOUN A., HIDALGO S., 2017 – Across-arc versus along-arc Sr-Nd-Pb isotope variations in the Ecuadorian volcanic arc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 18: 1163-1188. doi: 10.1002/2016GC006679.

BERNARD B., BATTAGLIA J., PROAÑO A., HIDALGO S., VÁSCONEZ F., HERNANDEZ S., RUIZ M., 2016-a – Relationship between volcanic ash fallouts and seismic tremor: quantitative assessment of the 2015 eruptive period at Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology* 78:80. doi: 10.1007/s00445-016-1077-5.

BERNARD B., ANDRADE D., 2011. Volcanes cuaternarios del Ecuador Continental. Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. Edición IRD-IG/EPN.

BERNARD J., EYCHENNE J., LE PENNEC J.-L., NARVÁEZ D., 2016-b – Mass budget partitioning during explosive eruptions: insights from the 2006 paroxysm of Tungurahua volcano, Ecuador. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 17: 3224-3240.

EYCHENNE J., LE PENNEC J.-L., RAMÓN P., YEPES H., 2013 – Dynamics of explosive paroxysms at open-vent andesitic systems: High-resolution mass distribution analyses of the 2006 Tungurahua fall deposit (Ecuador). *Earth and Planetary Science Letters* 361:343-355. doi: 10.1016/j.epsl.2012.11.002.

HALL M. L., SAMANIEGO P., LE PENNEC J.-L., JOHNSON J. B., 2008 – Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176: 1-6. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.06.012.

HIDALGO S., GERBE M. C., MARTIN H., SAMANIEGO P., BOURDON E., 2012 – Role of crustal and slab components in the Northern Volcanic Zone of the Andes (Ecuador) constrained by Sr-Nd-O isotopes. *Lithos* 132-133: 180-192. doi: 10.1016/j.lithos.2011.11.019.

MERLHIOT G., MERMILLOD M., LE PENNEC J.-L., HIDALGO S., MONDILLON L., 2018 – Reducing uncertainty to promote appropriate decisions when facing hazardous phenomena at an active volcano. *Journal of Applied Social Psychology* 48:227-234.

LE PENNEC J.-L., RUIZ G. A., RAMÓN P., PALACIOS E., MOTHES P., YEPES H., 2012 – Impact of tephra falls on Andean communities: The influences of eruption size and weather conditions during the 1999-2001 activity of Tungurahua volcano, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 217-218: 91-103.

SAMANIEGO P., LE PENNEC J.-L., ROBIN C., HIDALGO S., 2011 – Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 199: 69-84. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2010.10.010.

SAMANIEGO P., LE PENNEC J.-L., BARBA D., HALL M.-L., ROBIN C., MOTHES P., YEPES H., 2008 – Mapa de los peligros potenciales del volcán Tungurahua. (Esc. 1/50 000), 3ra Edición, Edit. IG/EPN-IRD-IGM.

Otros documentos

30 años en Ecuador. Actas de los Seminarios y talleres científicos. Quito 11-16/10/2004. 2007, IRD, Editor Pierre Gondard.

JEAI « Evaluación del riesgo volcánico en Ecuador mediante el método probabilístico », Propuesta de candidatura, 2003

Proyecto de Laboratorio mixto internacional « Sismos y volcanes en los Andes del Norte », 2011-2014.

Sistematización del proyecto « Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo »: articular lo científico y lo social para el desarrollo sostenible es un reto de la gestión del riesgo. Quito: Echo; Cafod; Conferencia Episcopal Ecuatoriana; Diócesis de Ambato; CRS; IG-EPN; IRD, 67 p. 2005 (<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010037387>).

Y el video realizado sobre el proyecto: (https://www.youtube.com/watch?v=qrij_ONZ1Jg).

Ejemplos de folletos de divulgación sobre los volcanes:

– ANDRADE D., HALL M., MOTHES P., TRONCOSO L., EISSEN J.-P., SAMANIEGO P., EGRED J., RAMÓN P., RIVERO D., YEPES H., 2005 - *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: Corporación Editora Nacional, (3), 147 p. (Los Peligros Volcánicos en el Ecuador; 3). ISBN 9978-84-398-1. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010036189>

– LE PENNEC J.-L., SAMANIEGO P., EISSEN J.-P., HALL M., MOLINA I., ROBIN C., MOTHES P., YEPES H., RAMÓN P., MONZIER M., EGRED J., 2005 - *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua*. Quito: Corporación Editora Nacional, (1), 120 p. (Los Peligros Volcánicos en el Ecuador; 1). ISBN 9978-84-402-3. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-12/010036187.pdf

– SAMANIEGO P., EISSEN J.-P., MONZIER M., ROBIN C., ALVARADO A., YEPES H., 2004 - *Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe*. Quito (ECU); Quito (ECU); Quito: IG-EPN; IRD; Editora Nacional, (2), 94 p. (Los Peligros Volcanicos en Ecuador; 2). ISBN 9978-84-367-1. <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/38-los-peligros-volcanicos-asociados-con-el-cayambe>

ARMIJOS M. T., PHILLIPS J., WILKINSON E., BARCLAY J., HICKS A., PALACIOS P., MOTHES P., STONE J., 2017 – Adapting to changes in volcanic behaviour: Formal and informal interactions for enhanced risk management at Tungurahua Volcano, Ecuador. *Global Environmental Change* 45: 217-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.06.002>

FEW R., ARMIJOS M. T., BARCLAY J., 2017 - Living with Volcan Tungurahua: The dynamics of vulnerability during prolonged volcanic activity. *Geoforum* 80: 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.01.006>

Artículos del periódico ecuatoriano *El Comercio* sobre las erupciones del Tungurahua y del Cotopaxi, la Red de Vigías del Tungurahua y el IG-EPN.

Lista de siglas

AFD: Agencia Francesa de Desarrollo

ARTS: Ayudas a la investigación para una tesis en el Sur

Asirpa: Analyse des impacts de la recherche publique agronomique

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

BSTD: Becas doctorales del IRD

Cafod: Catholic Agency for Overseas Development

Cepas: Conferencia Episcopal Ecuatoriana

Cerege: Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Francia)

Cirad: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Francia)

CNRS: Centre national de recherche scientifique (Francia)

CRS: Catholic Relief Services, Estados Unidos

Dipecho: Programa de prevención de riesgos y preparación ante desastres de la Comisión Europea

Echo: Dirección General de Protección Civil y Ayuda Humanitaria (Echo) de la Comisión Europea

Geops: Laboratoire Géosciences Paris-Sud (Francia)

Iavcei: Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior

Ifsttar: Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Francia)

IG-EPN: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Impress: Impact of research in the South

Inrae: Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Francia)

IRD: Instituto francés de Investigación para el Desarrollo

I-SITE: Iniciativas Ciencia-Innovación-Territorios-Economía, Programa de Inversiones de Futuro

Isterre: Institut des sciences de la Terre (Francia)

JEAI: Equipo joven asociado al IRD

Jica: Agencia de Cooperación Internacional Japón

Labex ClerVolc: Laboratorio de excelencia « Centre clermontois de recherche sur le volcanisme » (Francia)

LGO: Laboratoire Géosciences océan (Francia)

LMC 14: Laboratorio de medición de carbono-14

LMI: Laboratorio mixto internacional

LMV: Laboratoire magmas et volcans (Francia)

MEPR: Misión de evaluación y programación de la investigación, IRD

ONG: Organización no gubernamental

OVT: Observatorio del volcán Tungurahua

Orstom: Instituto francés de Investigación para el Desarrollo en cooperación, ex IRD

Prefalc: Programa Regional Francia-Latinoamérica-Caribe

Rovig: Red de Observatorios Vulcanológicos del IG-EPN

Senescyt: Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación

Sesstim: Sciences économiques et sociales de la santé et traitement de l'information médicale (Francia)

SVAN: Seísmos y volcanes en la región septentrional de los Andes

UCA: Universidad Clermont-Auvergne, Francia

UMR: Unidad mixta de investigación

UR: Unidad de investigación

USGS: United States Geological Survey

VCI: Voluntario civil internacional



COLLECTION **Chemins d'impacts**

www.editions.ird.fr