



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú

# Memoria Institucional 2010



Ciencia para protegernos,  
ciencia para avanzar



**Fotografía carátula:**

Volcán Ubinas en erupción (2006-2009). Los pobladores de las inmediaciones del volcán se protegen de los efectos nocivos de la ceniza volcánica presente en el aire. Vista tomada desde el poblado de Querapi, a 4.4 km al SE del cráter.

**Fotografías página derecha**

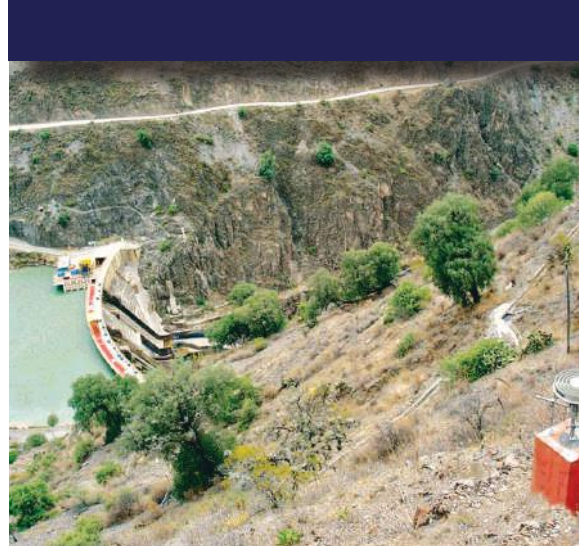
<sup>1</sup> Solitaria antena GPS ubicada en el flanco norte del volcán Ubinas.

<sup>2</sup> Estación climatológica de Huayao en el Observatorio de Huancayo, que cuenta con datos desde 1921.

<sup>3</sup> Control GPS que está vigilando posibles deslizamientos en la represa de Tablachaca, Central Hidroeléctrica de Mantaro.

# IGP

Ciencia  
para  
protegernos,  
ciencia  
para avanzar





# INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

**H**acer ciencia es la tarea fundamental del **Instituto Geofísico del Perú (IGP)**, y su campo de acción son los fenómenos y procesos naturales que determinan las características del espacio en que vivimos: el planeta Tierra, su atmósfera y las capas superiores de la misma. Para hacer investigación, el IGP cuenta con profesionales de alto nivel e instrumentos de avanzada, con los cuales analiza, investiga y obtiene datos confiables, que se convertirán luego en insumos para hacer ciencia.

Aún no es posible predecir los desastres, pero sí conocer sus orígenes y tratar de comprender sus procesos. Con los conocimientos que genera, el instituto está en capacidad de prevenir y alertar sobre la inminencia de desastres naturales y avisar a las autoridades, para tratar de mitigar en lo posible las consecuencias. Las fuerzas de la naturaleza son enormes y la capacidad del hombre es limitada cuando estas se desatan. Sin embargo, la ciencia puede ayudar a prevenir estos fenómenos y a reducir el impacto de sus efectos.

Analizar y comprender el lenguaje de la naturaleza es hacer ciencia que nos protege. Utilizar esa información en beneficio de los peruanos es hacer ciencia que avanza.

Las bases en las que se sostiene la actividad del IGP descansan en sólidos principios, entre ellos la búsqueda de la excelencia en la investigación y el servicio a la sociedad. En torno a estos principios se define el Plan Estratégico Institucional, que se está actualizando para responder a los nuevos retos de la ciencia. La misión y visión del IGP son:

## Visión

El Instituto Geofísico del Perú es reconocido como la institución de excelencia que lidera la investigación científica en Geofísica en el país. A través de la investigación científica contribuye con la adquisición, generación, preservación y difusión del conocimiento sobre el ambiente geofísico para atender las necesidades de la sociedad y en apoyo del desarrollo nacional.

## Misión

Adquirir, generar, preservar y difundir el conocimiento sobre el ambiente geofísico a través de la investigación científica en los diferentes campos de la Geofísica, para atender las necesidades de la sociedad y en apoyo al desarrollo nacional, con énfasis en la prevención de desastres naturales.

Adicionalmente brindar capacitaciones de alto nivel y prestar servicios científicos y tecnológicos en las diversas áreas de la Geofísica pura y aplicada.



# CONTENIDO

Prólogo .....	9
Nuestro Consejo Directivo.....	10
Investigadores .....	12
Sismología.....	14
Geodesia y peligro geológico .....	20
Vulcanología.....	26
Variabilidad y cambio climático.....	32
Geomagnetismo .....	38
Aeronomía .....	44
Astronomía y Astrofísica.....	50
Trasladando nuestro conocimiento .....	56
Nuestros servicios en acción Cantera de nuevos científicos	
Recursos de alta categoría.....	64
Expertos a carta cabal El sistema nervioso central Generando ciencia	
Trabajo en equipo.....	74
Convenios para el desarrollo	
Una gestión transparente.....	78
Estados financieros	



# PRÓLOGO

## 2010: Un año de avances y aportes

Los recientes desastres naturales ocurridos a uno y otro lado del mundo, Chile en el 2010 y Japón en el 2011, nos recuerdan lo inexorable. La corteza terrestre está en constante movimiento y el Perú es un país altamente expuesto a eventos de carácter sísmico: terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos; aunque también a los efectos del cambio climático y a fenómenos que, como El Niño, recurren en tiempo y daños.

La labor fundamental del Instituto Geofísico del Perú (IGP) es constituirse en el órgano de vigilancia de los procesos geofísicos. No es posible predecir con exactitud los desastres, pero la ciencia sí posee armas para analizar tales eventos, entender sus orígenes y, en la medida de lo posible, utilizar esa información para prevenir a los sistemas de defensa civil y, con ello, crear conciencia en nuestra población.

Para ello, el IGP observa, estudia y trata de comprender la dinámica de la Tierra. Se nutre de información de diversas fuentes, como la generada por las redes locales y mundiales de registro de datos sísmicos, publicaciones y discusiones científicas. Con estas herramientas investiga y genera nueva ciencia. Luego transmite esos conocimientos a la sociedad. Es decir, educa.

En el 2010, el IGP cumplió sus labores a cabalidad, pese a las limitaciones del presupuesto. Investigó los fenómenos sísmicos gracias a la red nacional de monitoreo, que se nutrió este año del aporte de un sistema satelital de alerta de tsunamis (cuya instalación se concluirá en el 2011), y con la que estamos ganando en confiabilidad y velocidad en el envío de datos. Cerró proyectos de varios años, que aportarán en la comprensión de los procesos volcánicos y en la variabilidad climática en la sierra central. Mantuvo los ojos atentos ante los fenómenos de la alta atmósfera, que generan efectos decisivos en tecnología que utiliza la sociedad. Demostró el talento científico peruano con la instalación del Radio Observatorio Astronómico de Sicaya (ROAS) y aportó a la comunidad científica con trabajos indexados en prestigiosas publicaciones.

Además, el IGP no abandonó su labor educativa. Por el contrario, la amplió con una mayor oferta para los jóvenes interesados en hacer carrera en la ciencia, en un país donde tal ambición es una labor titánica.

El Perú casi no invierte en ciencia. La primera década del siglo XXI ha pasado y continuamos en la lista de los países que menos interés demuestra en la generación de conocimiento científico como política oficial. El IGP quiere cambiar esa realidad, y, por eso, en febrero de 2011, se unió a un grupo de instituciones para promover un manifiesto a favor de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI). No es un pedido utópico. Otros países de América Latina ya caminan en esa dirección, luego de décadas de espaldas a la ciencia. Nos tocaba despertar.

En ese escenario persiste la labor del IGP, como promotor de la investigación y difusor de la ciencia. Hoy, cuando vivimos en la economía del conocimiento, la meta debería ser la promoción de políticas que acerquen a las personas al desarrollo científico y tecnológico. Lo hicieron otros países del mundo y generaron verdaderas revoluciones. El próximo tiene que ser nuestro turno.

# NUESTRO CONSEJO DIRECTIVO

Presidente Ejecutivo

**Dr. Ronald Woodman Pollit**



Actual presidente del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Es ingeniero mecánico electricista por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Máster por la Universidad de Harvard. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Ph.D. en Física Aplicada por la Universidad de Harvard. Presidente de la Sociedad Peruana de Física. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. y de la American Geophysical Society. Premio Edward Appleton 1999. Premio Nacional a la Innovación 1993. Premio Nacional de Cultura 1976. Doctor Honoris Causa de las universidades: UNI, Universidad Ricardo Palma de Lima y Universidad de Piura. Es reconocido como uno de los principales investigadores científicos del mundo y ha publicado por lo menos más de un centenar de artículos, indexados en prestigiosas publicaciones científicas.

Vice Presidente

**Ing. Alberto Giesecke Matto**



Ingeniero electricista por el Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) de Troy, Nueva York. Campo de actividad: Geofísica, capacitación fomento y aplicación de la Ciencia, para la mitigación de desastres naturales. Ex Director del Centro Regional de Sismología para América del Sur - Ceresis. Fue Presidente Fundador del Consejo Nacional de Investigación, hoy CONCYTEC, y de la Comisión de Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Premio Cosapi a la Innovación. Palmas Magisteriales en el Grado de Amauta. Gran Cruz al Servicio Distinguido del Gobierno del Perú. Premio Nacional Daniel A. Carrión del INC. Doctor Honoris Causa de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Reconocido como uno de los más destacados investigadores en geofísica del Perú y América Latina, por su enorme contribución al control de los efectos de los fenómenos naturales.

Miembros

**Dr. Antonio Mabres Torrelló**



Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Barcelona. Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza. Desde 1974 profesor de la Universidad de Piura, de la que ha sido Rector y actualmente es Pro Rector. Representante nacional del Perú ante la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas. Presidente de la Comisión de Ética de Indecopi. Miembro del Jurado del Premio de Buenas Prácticas de Gestión Pública, que organiza Ciudadanos Al Día (CAD). Miembro de la Sociedad Peruana de Física. Orden Isabel La Católica, en el grado de Encomienda, concedida en 1994 por el Rey Juan Carlos de España. Destacado investigador especializado en el análisis del cambio climático y en el estudio de los efectos del Fenómeno El Niño. Ha publicado artículos sobre el Fenómeno El Niño, Educación, Ecología y Gestión cultural.



### **Dr. Jorge Alva Hurtado**

Ingeniero civil y magíster en Ciencias, con mención en Estructuras, por la UNI. Máster en Ciencias e Ingeniería Civil por el Instituto Tecnológico de Massachussets. Ph.D. por la Universidad de Massachussets. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Ex decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. Presidente del Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú. Miembro del Comité Técnico Permanente de la Norma Técnica de Edificación, Diseño Sismorresistente de Sencico. Investigador y hombre de empresa con una admirable trayectoria como promotor del tema de seguridad en la construcción. Es uno de los oradores más reputados del país en el tema de infraestructura.



### **Dr. Juan Tarazona Barboza**

Biólogo por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Dr. rer. Nat. por la Universidad de Bremen, Alemania. Profesor principal de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Académico Principal de la Academia Nacional de Ciencia y Tecnología. Comparte el Premio Nobel de la Paz 2007 otorgado a los autores del IV Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Asesor de la Presidencia del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Director del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica. Presidente del Consejo Consultivo de la Facultad de Biología Marina y Econegocios de la Universidad Científica del Sur. Investigador del Instituto de Ciencias Biológicas Antonio Raimondi en temas de impacto biológico de los eventos El Niño y el cambio climático, con más de 80 publicaciones en revistas especializadas internacionales. Distinción como el investigador más destacado del período 1995-99 del área de Ciencias Básicas en la UNMSM.

Secretario del Consejo Directivo

### **Dr. Jorge Chau Chong Shing**



Ingeniero industrial por la Universidad de Piura. Máster en Ingeniería Eléctrica y Computación por la Universidad de Colorado. Ph.D. en Ingeniería Eléctrica y Computación por la Universidad de Colorado, Boulder. Director general del Radio Observatorio de Jicamarca. Profesor de la maestría de Física Aplicada en la PUCP. Premio Átomo de Oro del Instituto Peruano de Ingeniería Nuclear 2006. Premio Joven Científico por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Brasilia, 2005. Académico de Número de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Miembro de la Sociedad Peruana de Física. Uno de los investigadores más importantes del Perú en aeronomía y técnicas de radar, con más de 90 artículos indexados en publicaciones científicas de talla mundial y más de 200 ponencias en conferencias nacionales e internacionales.

# INVESTIGADORES

## ÁREAS DE INVESTIGACIÓN

Estos profesionales desarrollan sus actividades en las siguientes áreas:

- Aeronomía
- Astronomía y Astrofísica
- Geodesia y peligro geológico
- Geomagnetismo
- Sismología
- Variabilidad y cambio climático
- Vulcanología

## INVESTIGADORES

El IGP es un Organismo Público Descentralizado, adscrito al Ministerio del Ambiente y que se rige por su propia Ley Orgánica establecida en el Decreto Legislativo No 136 del año 1981. En ella se enumeran sus principales funciones:

- a) Ejecutar proyectos de investigación científica para comprender la naturaleza del medio ambiente geofísico de nuestro país y aportar información vital para los planes de prevención de desastres naturales.
- b) Ser el centro de perfeccionamiento académico de alto nivel científico y técnico para estudiantes universitarios, incorporándolos en las actividades de investigación y desarrollo.
- c) Ofrecer asistencia en tecnología e investigación científica en estudios de peligro sísmico, sismicidad inducida, métodos de prospección geofísica, propagación de ondas electromagnéticas, recepción y procesamiento de imágenes de satélite, entre otras.

Para cumplir con estos fines, el IGP cuenta con un grupo de profesionales altamente capacitados que han merecido el reconocimiento de la comunidad científica internacional.

- Ronald Woodman, Ph.D.  
Harvard University, USA
- Ken Takahashi, Ph.D.  
Washington University, USA
- Pablo Lagos, Ph.D.  
Massachusetts Institute of Technology , USA

- Hernando Tavera, Ph.D.  
Universidad Complutense de Madrid, España
- Yamina Silva, Ph.D.  
Instituto Estatal de Hidrometeorología, Rusia
- Edmundo Norabuena, Ph.D.  
University of Miami, USA
- Marco Milla, Ph.D.  
University of Illinois at Urbana-Champaign, USA
- Orlando Macedo, Ph.D.  
Pierre et Marie Curie, Francia
- José Ishitsuka, Ph.D.  
Universidad de Tokio, Japón
- Jorge Chau, Ph.D.  
University of Colorado, USA
- Hugo Trigoso, M.Sc.  
INPE, Brasil
- Alejandra Martínez, M.Sc.  
Universidad Ricardo Palma, Perú
- Grace Trasmonte, M.Sc.  
Universidad Ricardo Palma, Perú
- Isabel Bernal, M.Sc.  
Universidad Nacional Autónoma, México
- Kobi Mosquera, M.Sc.  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

## INVESTIGADORES EMÉRITOS

- Mutsumi Ishitsuka, Ph.D.  
Universidad de Kyoto, Japón

# SISMOLOGÍA



## *Diagnóstico de la Tierra*



Daños producidos por el terremoto de Pisco (7.9 Mw) ocurrido el 15 de agosto del 2007. Se observa la mala calidad del material utilizado en la construcción del edificio.

*La ocurrencia de terremotos aún no se puede predecir con exactitud, pero sí es posible aproximarse al lugar y a su posible tamaño a través del estudio científico sobre su génesis de ocurrencia, utilizando datos instrumentales y la distribución espacial de las grandes áreas de ruptura asociada a terremotos históricos. El Perú cuenta con un importante número de estaciones sísmicas de monitoreo, la Red Sismológica Nacional, que actualmente provee de información para vigilar el pulso de la Tierra. Con los datos obtenidos, se genera información valiosa y útil para los estudios de investigación y prevención orientados a salvar miles de vidas. Mantener informado al país sobre la forma como ocurren los sismos y la inminencia de los que vendrán es la labor fundamental del área de Sismología.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

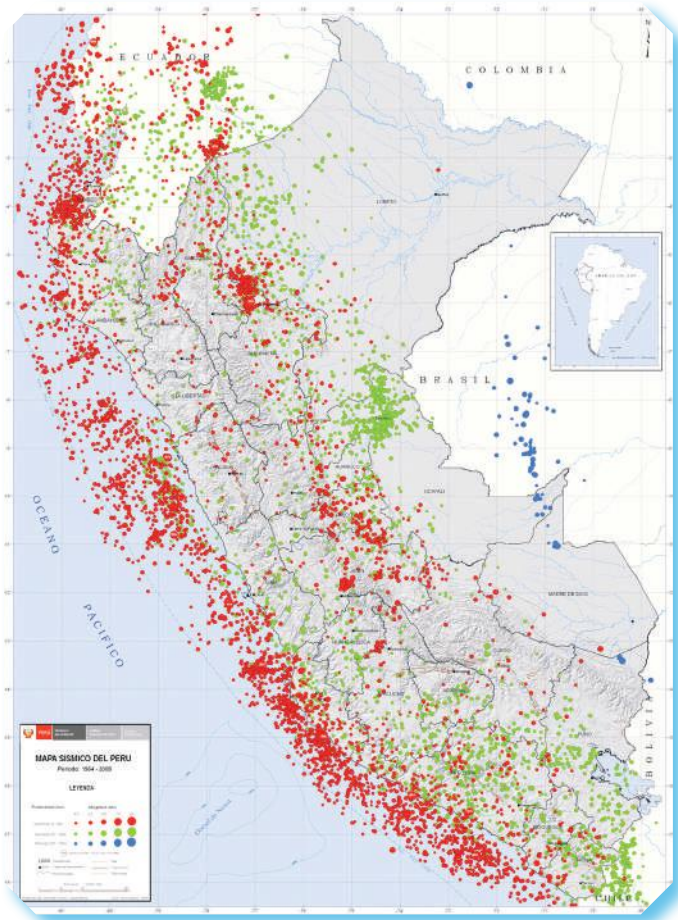
Un gran aporte para el área encargada de las investigaciones sísmicas fue la adquisición e implementación (en 70%) de la Red Satelital de Alerta de Tsunamis en el 2010. Se trata de un sistema de transmisión de datos sísmicos moderno y eficiente que adquiere la información que generan los terremotos a través de siete estaciones remotas distribuidas en el país y la envía consolidada a la estación central de monitoreo, en tiempo real y por vía satélite, lo que permitirá al IGP ganar valiosos instantes para dar las alertas necesarias a las autoridades en caso de que se detecte un peligro inminente de tsunami.

Es más confiable que el sistema operativo hasta entonces vigente, ya que con el satélite se evita el riesgo de colapso de las comunicaciones tradicionales de banda ancha y telefonía. Algo sobre lo cual el país ya tuvo una mala experiencia cuando los sistemas públicos de telecomunicaciones, de los que dependía la Red Sísmica Nacional, colapsaron después del terremoto de Pisco en el 2007 ante la altísima demanda de la población y debido también a que el terremoto dañó los cables de fibra óptica. La red satelital no solo es más confiable, sino que mejora además el tiempo de cálculo de los parámetros sísmicos, de forma automática y los deja listos para la revisión del sismólogo. Gracias a las capacidades del personal del IGP, desde el 2010, se empezó una labor de adaptación de las unidades de monitoreo al sistema de satélite, con lo cual se tendrá acceso a la información en tiempo real.

En el caso del área de Sismología, además, las facilidades otorgadas por la red satelital permitirán que se conozcan en un período de menor tiempo los parámetros que caracterizan un sismo. Con esta información, las alertas fluirán rápidamente hacia los organismos encargados de la prevención, con Defensa Civil a la cabeza. Disponer de mayor tiempo para las alertas permitirá una mejor preparación en labores de evacuación y una mayor posibilidad de que un sismo o tsunami tengan un menor impacto social y económico en el país.

Complementariamente esta área ha llevado a cabo durante el 2010 un total de 12 investigaciones relacionadas con la actividad de las principales zonas sísmicas del Perú. Una de ellas, en convenio con el Institute de Recherche pour le Développement (IRD) de Francia, fue la implementación e instalación de una red geodésica, con un servidor de datos GPS, para el monitoreo de la actividad de las placas tectónicas en el norte del país.

Mapa sísmico del Perú (1964 - 2008). La profundidad de las fases sísmicas está en función del color de los círculos: rojos: superficial; verde: intermedio; y azul: profundo.



La importancia de esta red consiste en que, con el análisis de los datos obtenidos tras un período de observación consistente, se podrá determinar qué áreas de la zona norte del Perú tienen mayor probabilidad de ocurrencia de un terremoto, conocimiento vital para tareas de prevención. También será fundamental para labores de Ingeniería civil, ya que se contará con un registro del movimiento de suelos, que se unirá a la información de los acelerómetros digitales y permitirá mejorar el diseño sismorresistente de las construcciones.

Es fundamental destacar que, al contar este proyecto con un componente de investigación en Geodesia espacial y otro en Sismología, los resultados de ambos campos permitirán tener una idea más amplia de la situación de las placas en esta zona del Perú.

Paralelamente se ejecutaron proyectos de investigación usando métodos probabilísticos para conocer la ubicación y el tamaño de futuros terremotos que pudieran ocurrir en el Perú. Para esto se analizó la variación espacial del parámetro “b” y algoritmos como el M8, de amplia aplicación por el Instituto Internacional de Predicción de Terremotos y Geofísica Matemática de la Academia de Ciencias de Rusia. Los resultados sugieren áreas comprometidas con terremotos ubicadas en la región sur y centro del Perú que podrían alcanzar magnitudes de hasta 8.5 MW.

Estudios cuantitativos utilizando datos sísmicos y GPS han permitido definir las ubicaciones de las áreas de mayor acoplamiento sísmico, que se ubican en la región norte de Chile y el sur y el centro del Perú, las que al relajarse producirían sismos de magnitudes entre 8.0 y 8.5 Mw. La recopilación de datos más confiables nos permite ir definiendo con mayor resolución la ubicación y posible tamaño de estos terremotos. Dentro de este contexto, el único parámetro imposible de determinar es la fecha de ocurrencia del mismo, quizás ocurra cuando el lector termine de leer este informe o dentro de los próximos 100 años, pero de todas maneras el sismo ocurrirá.

## CONVENIOS CON ARIZONA Y CALTECH

Durante el 2010, el IGP firmó otros dos importantes convenios con centros de investigación de talla mundial. El primero de ellos, con el Departamento de Geodinámica de la Universidad de Arizona, que permitió instalar 20 estaciones sísmicas de banda ancha entre Cusco, Arequipa, Moquegua y Tacna.

Con esta red se realizarán estudios de la anisotropía del manto (no homogeneidad de las propiedades magnéticas), en la capa ubicada por debajo de la corteza terrestre, con el objetivo de analizar su comportamiento dinámico y su influencia en la formación de la Cordillera de los Andes, el más importante accidente geológico de Sudamérica.

El segundo de estos convenios se firmó con Caltech (California Institute of Technology) y la UCLA (University of California, Los Angeles) y permitió instalar 100 estaciones sísmicas en líneas de transecta geográfica de Ilo a Juliaca, Juliaca a Cusco y Cusco a Ica. La ubicación de estas estaciones forman una especie de U invertida en la zona de investigación.

Este proyecto tiene una alta relevancia, ya que permitirá investigar la geometría de la placa de Nazca en su viaje hacia el interior del manto, así como su contorsión en la región sur del Perú. Al respecto se sabe que el proceso de subducción (o hundimiento) de la placa de Nazca bajo la Sudamericana originó la Cordillera de los Andes, y es también el punto de partida para los movimientos sísmicos que se producen en el lado occidental del continente.

Con la disponibilidad de toda esta información, se podrá realizar investigaciones que conlleven a disponer de una idea tridimensional sobre los movimientos geodinámicos que se producen bajo la corteza terrestre. Tendrá enorme influencia en las investigaciones sobre el origen de los terremotos y sus características.

## PROYECTOS EN CURSO

Se viene participando en las investigaciones de un modelo de velocidad 3D para el departamento de Ica, es decir, conocer las propiedades físicas del suelo en las provincias de Ica, Chincha, Tambo de Mora y Pisco. La idea es determinar cómo las ondas causadas por los movimientos sísmicos u otras fuentes pueden ser amplificadas por un suelo blando o duro, según fuera el caso. Con este trabajo, cuya conclusión está prevista para el 2011, se podrá tener información sobre cuáles son las zonas vulnerables en el departamento sureño en base a las propiedades físicas del suelo.

Un estudio similar se realizó en Lima. En este caso se trató de un análisis de microzonificación de siete distritos para determinar el tipo de suelos que poseen y saber lo vulnerables que son estas zonas en caso de sismos. Aunque a diferencia del anterior, la investigación en Lima se completó en el 2010.

Asimismo, se inició un proyecto para desarrollar un catálogo sísmico general para el período 2005-2010. Esta labor permitirá, una vez terminada, tener una base de datos homogénea sobre la actividad sísmica del país. Se eligió ese período porque a partir de la fecha de inicio el IGP cuenta con una red de vigilancia sísmica más completa; es decir, un mayor número de estaciones y equipos modernos, que dan más confiabilidad a los resultados.

Reuniones y discusiones sobre el avance de proyectos de investigación durante el año 2010.



Para los encargados de las grandes obras de ingeniería, como carreteras, puentes, puertos, entre otras, es importante conocer con qué frecuencia y con qué magnitud se producen sismos en la zona en que van a construir. De esta información, que salen de los catálogos sísmicos, dependen los parámetros que exigen las normas de construcción referidas a la resistencia de las edificaciones a los movimientos de la tierra.

## LABOR EDUCATIVA

La labor formativa también fue parte de las actividades de Sismología en el 2010, con la puesta en operación de una sala de exhibición llamada “Donde tiembla la Tierra y se levanta el mar”, en colaboración con Cooperazione Internazionale, de Italia. La muestra estuvo abierta durante dos meses en el Instituto Italiano de Cultura, de Lima, y permitió mostrar al público la historia de los terremotos, sus causas y efectos en las ciudades y la vida de las personas.

También fue una oportunidad para mostrar a los ciudadanos parte del instrumental sísmico con el que operó el IGP en los últimos 40 años, como parte de la Red Sísmica Mundial.

Además, en la ciudad de Arequipa, se instaló una sala temporal de Sensibilización ante Desastres Naturales, que contó con una exhibición llamada “Los sismos y el Perú”, con el apoyo del Instituto Nacional de Defensa Civil y el Gobierno Regional de Arequipa. La ciudad sureña es especialmente sensible a los sismos. Como se recuerda, sufrió un devastador terremoto en el 2001 y, por otro lado, está construida en las faldas de un volcán, el Misti, que aunque ahora no está activo es siempre un factor de riesgo.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

Además continuó la tarea de divulgar los trabajos realizados por el área de Sismología para la comunidad de investigadores y también para el público en general, a través de los Boletines Sísmicos y de una importante cantidad de informes, en los que se analizaron en detalle los movimientos sísmicos más importantes del período anual.

La actividad en conferencias ha sido intensa, con un total de 84 presentaciones sobre las posibles consecuencias de un sismo y tsunami en nuestro país. De estas, sobresale la presentación realizada en el local del Congreso de la República y en la Asociación de Bancos del Perú (Asbanc) en el local del IGP. Las experiencias en el estudio de terremotos y la puesta en operatividad de la Red Sísmica Satelital en el Perú se divulgaron en presentaciones internacionales, realizadas en Brasil y Bolivia.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fueron reconocidas como aportes importantes a la comunidad científica nacional e internacional, en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección “Generando ciencia” (p. 70).

# GEODESIA ESPACIAL Y PELIGRO GEOLÓGICO



# *Interpretar los pulsos de la Tierra*



Monitoreando el próximo terremoto.  
Falla de la Cordillera Blanca.

*El terremoto es el resultado final de una liberación súbita de energía acumulada lentamente en periodos que varían desde decenas a centenas de años. Estos periodos constituyen un ciclo sísmico y son característicos de cada región o zona sismogénica del país. Hasta hace pocos años atrás, los terremotos eran detectados solo segundos después de iniciado el sacudimiento del suelo. Hoy en día, sin embargo, gracias a la tecnología satelital, los científicos cuentan con dos herramientas muy valiosas: El Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) y la interferometría de imágenes de radar satelital (INSAR). Gracias a estos, es posible detectar en la corteza terrestre trazos de un lenguaje propio que puede ayudar, a través de un trabajo de registro paciente y de varios años, a pronosticar la inminencia del fin de uno de estos ciclos sísmicos: el terremoto. El Perú cuenta con esa tecnología de punta y el área de Geodesia Espacial y Peligro Geológico se encarga de medir e interpretar las pulsaciones de la Tierra a lo largo del ciclo sísmico.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

En el 2010, gracias a un convenio con el Instituto Tecnológico de California (CALTECH), el IGP completó la instalación de una red de diez estaciones GPS de registro permanente con la finalidad de medir el ciclo sísmico en el eje Moquegua-Tacna-Arica (Chile). Esta zona es de especial interés científico para la gestión del riesgo en el sur del Perú debido a que se trata de una “laguna o brecha” sísmica de amplia data y dado que el último gran terremoto se produjo allí en 1868 (con una magnitud probable de 9 Mw o superior). Esto determina la existencia de una muy alta acumulación de energía durante los 143 años transcurridos y la probable ocurrencia de un evento de esta naturaleza.

Las cinco estaciones instaladas durante el segundo semestre del 2010 corresponden a: Pampa Galeras (GLRV), Nazca (NZCA), Atico (ATIC), Marcona (SJUA) y Chira (CHRA). Cada una de ellas está compuesta por un receptor GPS de última generación modelo Trimble-NETR8 y de un monumento conformado por cuatro barras de acero ancladas a un metro de profundidad que unidas en su extremo superior soportan la antena GPS. Estos receptores tienen la capacidad para registrar datos en tiempo real de alta velocidad; siendo su objetivo principal vigilar la deformación de la corteza terrestre en el área que se extiende desde Arequipa hasta Tacna-Arica. El centro de cada antena constituye el punto de referencia que se mide cada 15 segundos. Aunque a simple vista podría decirse que la antena permanece en el mismo lugar, el análisis de los datos demuestra que esta se desplaza en dirección noreste, a un ritmo de 14 milímetros por año.

Este desplazamiento concuerda con el movimiento de empuje que ejerce la placa de Nazca sobre la placa Sudamericana, y que es la principal causa de la sismicidad a lo largo de la costa peruana. El análisis de estos desplazamientos permite cuantificar el grado de deformación que constituye un indicador a tomar para inferir el momento de liberación de energía acumulada: el terremoto.

Vista de estación GPS en Atico-Arequipa. Pertenece a la red IGP-Caltech y su registro de datos es continuo a velocidades de 15 y 0,2 segundos



Esta vigilancia tiene una gran importancia para el IGP pues facilita la gestión del riesgo asociado a terremotos en el sur del Perú y el flujo de información permanente desde las estaciones es un insumo valioso para establecer una referencia para el posible pronóstico de eventos similares. La meta final es ser una herramienta decisiva de prevención y, por ende, reductor del impacto destructor de los terremotos.

Las mediciones GPS en el Perú dieron sus primeros resultados en el terremoto de Arequipa 2001 (magnitud 8.4 Mw) que causó un desplazamiento de la ciudad capital de 0.5 m (dirección sur-oeste) y de 1.0 m en la zona de Ocoña-Camaná. Asimismo, el terremoto de Pisco 2007 (magnitud 7.9 Mw) y sus réplicas desplazaron la península de Paracas 1.60 m (dirección sur-oeste). Como comparación podemos mencionar que en febrero 2010, un terremoto de magnitud 8.8 (escala Mw) sacudió la zona de Concepción-Chile y fue seguido por un tsunami que causó severos daños en pueblos costeros. Como consecuencia del terremoto, las mediciones GPS antes y después del evento indicaron que la ciudad de Concepción se desplazó 3 m hacia el oeste en contraste con la ciudad de Santiago situada a 520 km al norte que solo se desplazó 27 centímetros.

Resumiendo, los terremotos son el instante final de un período de acumulación de energía que se produce en la corteza terrestre y que, luego de un tiempo recurrente, se libera súbitamente y hace que el área afectada se desplace en sentido contrario a la que venía desplazándose antes del mismo, tal como se evidencia en los casos citados.

Para una institución como el IGP, que investiga los procesos sísmicos, contar con información sobre el movimiento de la corteza es vital para su labor de comprender los ciclos sísmicos. Los estudios dinámicos de la corteza, aunados al registro de otras anomalías que detectan las estaciones GPS en las zonas de análisis (movimientos asísmicos, sismos lentos, entre otros), serán fundamentales para formar más adelante bases de datos de referencia que conduzcan sino bien a una predicción, a un pronóstico cercano de los terremotos.

Esas bases de datos mencionadas se convertirán luego en insumos confiables que el IGP aportará a los sistemas nacionales de alerta y prevención de desastres naturales, para que estos puedan tomar decisiones con mejores herramientas y salvar la mayor cantidad de vidas posible.

## EL PELIGRO DE UN TERREMOTO EN LIMA

Lima, región donde se concentra la mayor actividad financiera y económica del país y donde habitan casi 10 millones de personas, es la otra gran laguna sísmica del Perú. El último gran terremoto en esta región ocurrió en octubre de 1974, con severas consecuencias humanas y materiales, por lo que el trabajo de documentar el ciclo sísmico en esta región es fundamental para el IGP.

Durante el 2010 se efectuó una campaña de mediciones GPS sobre una red de 12 puntos distribuidos a lo largo de la región Lima, incluyendo un monumento de control en la isla Hormigas de Afuera, situada a 80 km al nor-oeste de la Punta-Callao. Con estas mediciones se actualizó el campo de desplazamientos superficiales que sufre la corteza terrestre en esta región. Estas mediciones se realizan cada dos años, debido a limitaciones presupuestales; lo aconsejable sería hacerlo con una periodicidad al menos anual. En año de 2010, se efectuó una visita a la Isla San Lorenzo con la finalidad de instalar una estación GPS y sísmica adicional para mejorar la resolución de información en la región.

De forma complementaria se concluyó el análisis de la actividad microsísmica de la región Lima para el período 2004-2009, a partir de una base de datos recogida con el registro permanente de una red de seis estaciones geofísicas. El estudio permitió obtener data sobre la distribución en espacio y tiempo de los sismos menores ocurridos en el citado período y se determinaron sus magnitudes correspondientes. Junto con las mediciones GPS, este análisis servirá de marco para estimar el ciclo sísmico de Lima y mejorar el pronóstico de posibles eventos de gran magnitud.

En esta área también se inició un proyecto en la cuenca del río Rímac, cuyo objetivo es elaborar un mapa del peligro geológico que se cierne sobre esa zona de la capital. Estos riesgos son propiciados por varios factores: la distribución altitudinal de las zonas ecológicas, las lluvias y las actividades económicas del hombre, que en muchos casos aceleran los procesos y hasta los magnifican. Contar con información de base permitirá conocer qué tipo de riesgos podrían causar los deslizamientos, flujo de detritus, inundaciones y otros fenómenos que amenazan esta importante zona de Lima.

## PROYECTOS EN CURSO

Uno de los proyectos de desarrollo más importantes iniciados en el 2010 es el análisis de ciertas anomalías atmosféricas como señal premonitoria de movimientos sísmicos. El estudio nace gracias a un convenio entre el IGP y la Universidad de Stanford, y consiste en analizar anomalías en la propagación de las ondas electromagnéticas en la banda de frecuencias ELF/VLF, que viajan en el espacio y que se podrían interpretar como señales premonitorias de terremotos.

El equipo donado por Stanford para este proyecto consiste en un sistema de recepción de radio en la banda de frecuencia ELF/VLF y una antena, que han sido instalados en el Observatorio de Huancayo. El lugar fue elegido para cubrir un área de distribución geométrica en la región; antenas similares están instaladas en Ecuador y Brasil.

Antena VLF/ELF instalada en el Observatorio de Huancayo. Es parte del proyecto IGP-Stanford para la búsqueda de anomalías atmosféricas asociadas a terremotos.



## OTROS PROYECTOS Y NUEVOS CONOCIMIENTOS

Entre sus funciones principales, el área contempla el estudio de fenómenos geofísicos y geológicos activos que tienen influencia en la vida de personas y en la infraestructura de los centros poblados y obras de ingeniería. Es el caso de las deformaciones asociadas a erupciones volcánicas y los deslizamientos, nombre que recibe el movimiento de material inestable (roca y tierra desprendida, árboles arrastrados, etc.) a través de una superficie.

En el 2010 se analizaron los deslizamientos ocurridos en tres localidades arequipeñas, Lari, Maca y Madrigal, que sufren de manera recurrente estos eventos. En la última de ellas se ha instalado recientemente un equipo de vigilancia electrónica, con el cual se analizan las características del fenómeno. También se prestó servicios de consultoría sobre las posibles causas de los deslizamientos del Cerro Tamboraque-San Mateo, que pusieron en crisis la posible contaminación de las aguas del Río Rímac.

El IGP también puso en práctica un proyecto para investigar las avalanchas de escombros y flujos de lava del volcán Hualca-Hualca, ubicado en el valle del Colca, en Arequipa. Otras de las investigaciones de importancia es la relacionada con la deformación de la corteza de la Cordillera Blanca, en Áncash y en la Falla del Huaytapallana, Junín.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

Personal de esta área participó activamente en charlas y conferencias de importancia nacional e internacional durante el 2010.

Junto con las demás áreas del IGP, Geodesia Espacial y Peligros Geofísicos tuvo presencia en el Encuentro de las Américas 2010, organizado por la Unión de Geofísica Americana (AGU), en Iguazu-Brasil. Aquí se presentó un modelo de velocidad para la corteza de Lima inferida del análisis de la actividad microsísmica de esta región. Asimismo, se participó en el Encuentro Científico Internacional (ECI) 2010, con la divulgación de investigaciones sobre deslizamientos naturales y antrópicos, aplicación de sistemas GPS al análisis de los peligros geofísicos y la relación entre arqueología y geofísica. En este encuentro se expusieron los resultados de importantes estudios que se produjeron durante el año, entre ellos “Una estructura de velocidad para la región Lima basado en el análisis de data macrosísmica local”, que presentaron W. Quiroz, R. Quintero, E. Norabuena y R. Parillo.

También hubo participación en el XV Congreso Anual de Geología, con la exposición del “Estudio de las avalanchas de escombros en los valles del Colca, Cotahuasi y Chuquibamba”, realizado por J. C. Gómez, et.al.

# VULCANOLOGÍA



## *Prevención antes de la erupción*



Volcán Ubinas en erupción (2006-2009). Los pobladores de las inmediaciones del volcán se protegen de los efectos nocivos de la ceniza volcánica presente en el aire. Vista tomada desde el poblado de Querapi, a 4.4 km al sur-este del cráter.

*El encuentro de la placa de Nazca con la placa de Sudamérica no solo produce la alta actividad sísmica que conocemos en toda la costa peruana, sino que también es responsable de la actividad volcánica. Sin embargo, debido a una especial configuración de las placas en la zona austral, los volcanes activos solo aparecen en el sur peruano. Para la ciencia, la conjunción de ambos fenómenos, el sísmico y el volcánico, representa también una enorme oportunidad de estudio; en efecto, las ondas sísmicas originadas en la costa llegan y atraviesan los volcanes, lo que podrá servir para determinar su estructura, analizar su estado actual, pronosticar sus fases críticas y prevenir sobre posibles desastres. Investigar y vigilar para anticiparnos al fuego. Esa es la función primordial del área de Vulcanología.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

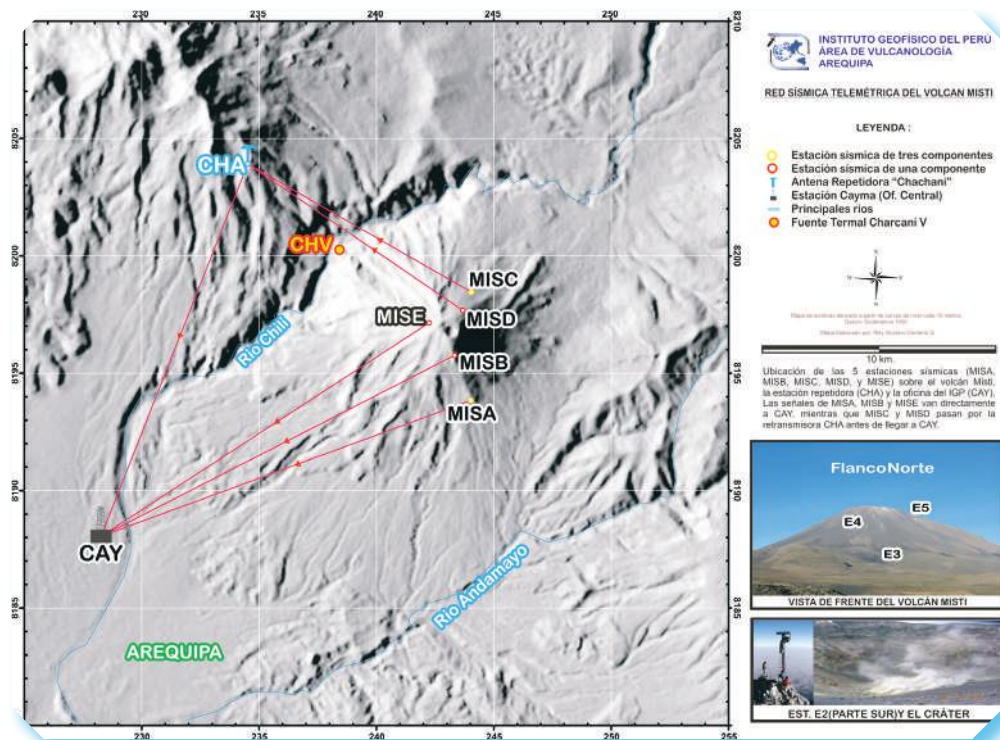
Como se recuerda, en marzo del 2006, el Ubinas, considerado el volcán más activo del Perú en los últimos 500 años, inició un proceso crítico que tuvo su pico meses después, en agosto, cuando las emisiones de gases y cenizas fueron acompañadas por explosiones. Las actividades de vigilancia en tiempo real del Ubinas por parte del IGP empezaron en mayo del 2006 y, un año después, se instalaron equipos digitales de última generación, sismómetros de banda ancha e inclinómetros (sensores de ángulo de inclinación), hasta completar cuatro estaciones telemétricas en los alrededores del volcán.

Desde entonces la vigilancia sobre este volcán es permanente y la evolución de su actividad se informa de manera periódica a Defensa Civil. El IGP se encarga de esta labor de observación constante, como un guardián que detecta posibles avisos de un despertar inminente gracias a la ciencia y da alerta inmediata si hay señales de reactivación.

Ha sido gracias a este análisis paciente y meticuloso que se lograron completar en el 2010 los estudios para elaborar un catálogo sísmico del volcán Ubinas, con la clasificación de los eventos que se registraron luego de su último proceso eruptivo, entre el 2006 y el 2009. La información recogida del catálogo sísmico permite apreciar que, luego de la erupción del 2006, el Ubinas redujo paulatinamente su actividad sísmica hasta niveles que hoy son muy bajos. Y también, gracias a esos datos, ha sido posible determinar importantes características sobre la dinámica que antecede a las explosiones volcánicas.

Con un análisis de las señales y su espectrograma, fue posible detectar una aceleración en la tasa de energía sísmica y la aparición de pequeños eventos de período largo (llamados LP), aproximadamente entre 2 y 3 horas antes de las explosiones volcánicas. Se trata de precursores de corto plazo, asociados con un incremento de la presión en los conductos del magna, y cuyas características definitivas serán interesantes para el análisis del vulcanismo.

Hoy en día, con el uso de sensores de alta resolución, es posible reconocer la actividad sísmica acostumbrada de un volcán. Para ello se necesita contar con un registro permanente de datos por un período mínimo de dos años, como ocurre con los análisis emprendidos en el 2006 para el volcán Ubinas. Las



Mapa de ubicación de las cinco estaciones (MISA, MISB, MISC, MISD y MISE) de la Red Sísmica-Telemétrica del volcán Misti (Arequipa), situadas entre los 4150 y 5700 msnm. Las señales llegan al laboratorio central IGP en Cayma (CAY), siguiendo las trayectorias mostradas por las flechas rojas.

técnicas de geodesia espacial, como el GPS, permiten detectar anomalías en la actividad volcánica, como un aumento paulatino de presión en la cámara magmática, incluso un mes antes del posible ingreso al estado crítico.

Otra de las investigaciones más importantes que realiza el área es el análisis de las correlaciones que existen entre el movimiento de las placas tectónicas (aquellas que se desplazan sobre el manto terrestre) y la actividad volcánica, en especial la que se produce en los volcanes Misti, Ubinas, Huaynaputina y Sabancaya. El potencial sísmico del sur peruano permite recoger datos de buena resolución con los que se estudia la dinámica eruptiva, la disposición y estabilidad de los reservorios de magma, y la estructura que se oculta bajo la cadena volcánica.

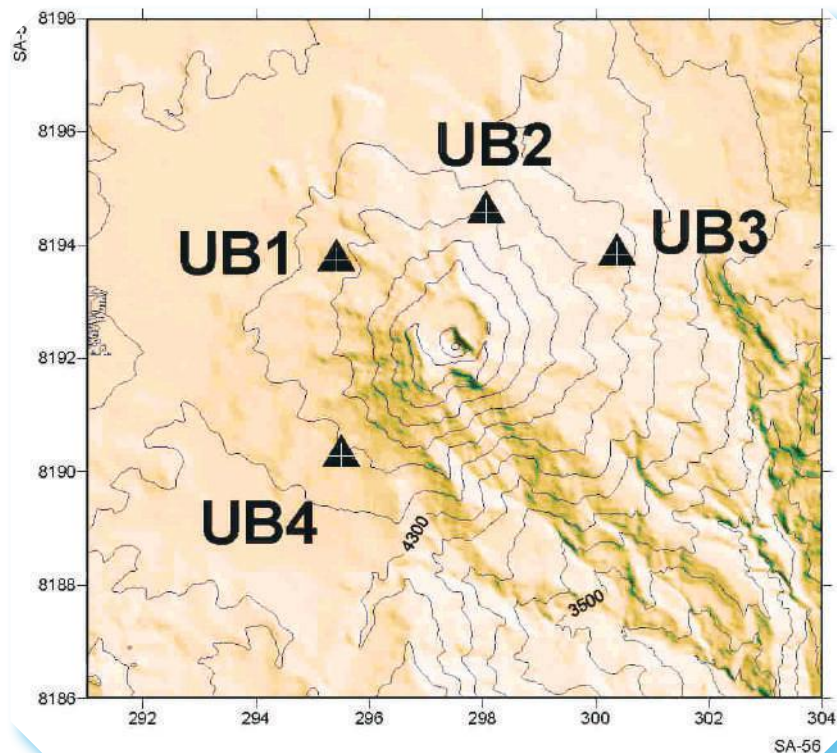
Hasta hoy día, la investigación sismovolcánica ha permitido lograr interesantes hallazgos. A través de las señales generadas por las 10 estaciones operativas en el sur del Perú, ha sido posible obtener las primeras imágenes de tomografía sísmica regional, con las que se pudieron detectar dos anomalías de valores elevados entre las regiones Arequipa, Moquegua y Tacna. Ambas se ubican en los flancos de la cadena volcánica.

Tales anomalías indican zonas de características más fluidas que las del entorno, lo que señala que se trata de amplios bolsones de roca fundida. Estos datos concuerdan con la ubicación de zonas geotermales, de gran tamaño en el caso particular de la ubicada en el lado oriental de Moquegua y Tacna.

## VIGILANCIA DEL VOLCÁN MISTI

El volcán Misti se ubica en el corazón de la ciudad de Arequipa, lugar de residencia de más de un millón de personas. Durante los últimos años, para tranquilidad de los moradores, el registro sísmico de su actividad muestra niveles muy bajos, asociados con movilizaciones ligeras de vapor de agua, y gases cerca de la chimenea, pero sin ofrecer un riesgo real para esta importante urbe del sur peruano.

Mapa de ubicación de las cuatro estaciones (UB1, UB2, UB3 y UB4) de la Red Sísmica-Telemétrica del volcán Ubinas (Moquegua). Las señales sísmicas que registran estas estaciones son enviadas hasta el laboratorio central del IGP en la ciudad de Arequipa.



El último año en que el Misti entró en actividad con expulsión de fumarolas fue 1990. Desde entonces se realiza un monitoreo constante y diario de su sismicidad. Cinco estaciones sísmicas telemétricas, instaladas en el 2005 gracias al trabajo conjunto del IGP y del IRD, registran y analizan cada movimiento de este gigante dormido. Y los resultados se dan a conocer de forma permanente a las autoridades de Defensa Civil y al público en general, para actividades de prevención, a través de la página web del IGP.

Además, el instituto cuenta con un análisis del peligro volcánico, que indica hacia qué zonas se desplazarían los materiales volcánicos durante una posible erupción, información de enorme importancia tanto para tareas de prevención como para la planificación de la expansión urbana de Arequipa.

Vigilar el movimiento de los volcanes, aun en sus épocas de menor actividad, es una labor fundamental del IGP, ya que el trabajo paciente de documentar las manifestaciones físicas, químicas y geológicas de la actividad volcánica permite conocer sus características y proyectar una evolución a futuro. Sin embargo, es también una labor sacrificada.

Limitaciones presupuestales en el 2010 no permitieron poner a funcionar el total de 18 estaciones equipadas con sismómetros de período corto y banda ancha en el sur peruano; solo se logró aprovechar 10. Aun con estas dificultades, el instituto sigue entregando información de calidad, con la misma energía, para cumplir la mejor posible labor que el Estado le ha encomendado.



Personal del IGP instala instrumentos geofísicos en la caldera del volcán Ubinas (5672 msnm), que permitieron monitorear la actividad volcánica desde el inicio de la erupción 2006-2009. En segundo plano se observa emisión de cenizas volcánicas desde el cráter activo.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

La red de vigilancia desplegada por el IGP en los volcanes del sur permite entregar a las autoridades y a la comunidad información diaria sobre su actividad. Estos reportes son procesados y presentados en consolidados mensuales y de libre acceso en el portal institucional.

Por otra parte, durante la realización del V Foro Internacional Peligro Volcánico y Sísmico en el Sur del Perú, se presentó una charla sobre la respuesta del IGP ante la crisis del volcán Ubinas en el 2006. Asimismo, durante el XV Congreso Peruano de Geología, se expuso el análisis de la actividad sísmica del volcán Misti, entre el 2007 y el 2008.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fueron reconocidas como aportes a la comunidad científica nacional e internacional, al ser incluidas en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección “Generando ciencia” (p. 70).

# VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO



## *Luchando contra el clima*



Evento extremo ocurrido en el río Achamayo, Junín. No respeta ni las mejores construcciones.

*Dos procesos de alto impacto determinan el núcleo principal de estudio del área de Variabilidad y Cambio Climático. El primero es el fenómeno El Niño, evento que ha golpeado al Perú dos veces durante los últimos 30 años, con enormes consecuencias sociales y económicas, y el segundo el cambio climático, asociado al calentamiento progresivo del planeta. Evaluar sus aspectos sociales y económicos y ayudar a reducir sus impactos negativos son la tarea fundamental de la institución. Además esos conocimientos pueden ser fundamentales en el desarrollo socioeconómico de las comunidades.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

Durante los últimos años, el IGP realizó una intensa labor en el análisis de las condiciones del clima en la cuenca del río Mantaro, en la zona central del país, para determinar la relación de la variabilidad y el cambio climático con eventos meteorológicos extremos, como las heladas, y para realizar un análisis de pronóstico de clima útil para la agricultura. Dos proyectos de investigación ejecutó el instituto, con el aporte de entidades públicas y cooperación internacional.

Uno de ellos se inició en febrero del 2009 y recibió el importante aporte del International Development Research Centre (IDRC), organismo canadiense de cooperación que financia proyectos de investigación con un fuerte componente de aplicabilidad. El objetivo del proyecto Maremex Mantaro es fortalecer la capacidad de manejo del riesgo en eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas), a fin de disminuir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación de la población urbana y rural en el valle del Mantaro frente a cambios del clima.

En este contexto se implementó una red meteorológica en 40 centros poblados ubicados en las subcuencas de los ríos Shullcas, Cunas y Achamayo. A través de esta red, las comunidades campesinas han podido empezar a monitorear el impacto de las lluvias, tanto para evaluar los riesgos como para decidir qué usos podrían dar a esta información en sus actividades económicas. Por ejemplo, gracias a esa información, es posible evaluar cuándo la chacra está suficientemente húmeda para cultivar o qué cultivos necesitan una mayor cantidad de agua.

La tecnología instalada por el IGP es de bajo presupuesto, pero de alto impacto. Consiste en pluviómetros elaborados en recipientes plásticos con gradación, con los cuales los campesinos miden cada mañana la cantidad de lluvia que cae durante la jornada y lo anotan en un registro. Una vez al mes, expertos del IGP llegan a las estaciones para consolidar los datos y discutir con la población los resultados, de tal forma que no solo ayudan al proyecto, sino que también aprenden sobre el uso de estas tecnologías en su favor.

De esta manera, el proyecto Maremex-Mantaro obtuvo un doble resultado. Por un lado fue importante para la investigación, ya que con los trabajos de campo se han podido complementar análisis sobre el impacto de los eventos extremos en la agricultura, la relación de la temperatura con enfermedades cróni-

En la comunidad de Accac Bellavista, Junín, capacitando en las mediciones de lluvia a los observadores de la mini red MAREMEX Mantaro.



cas, la vulnerabilidad física de los centros poblados, e incluso estudios sobre cuál es la percepción de las poblaciones sobre el clima y cómo se propagan las noticias.

Por otro lado, el proyecto ha iniciado un proceso de sensibilización entre la población de las tres subcuencas mencionadas, que viene permitiendo que los moradores comprendan mejor y en una forma cuantitativa la manera como se comporta la lluvia en sus respectivas zonas, y que además puede tener un uso práctico para sus actividades cotidianas.

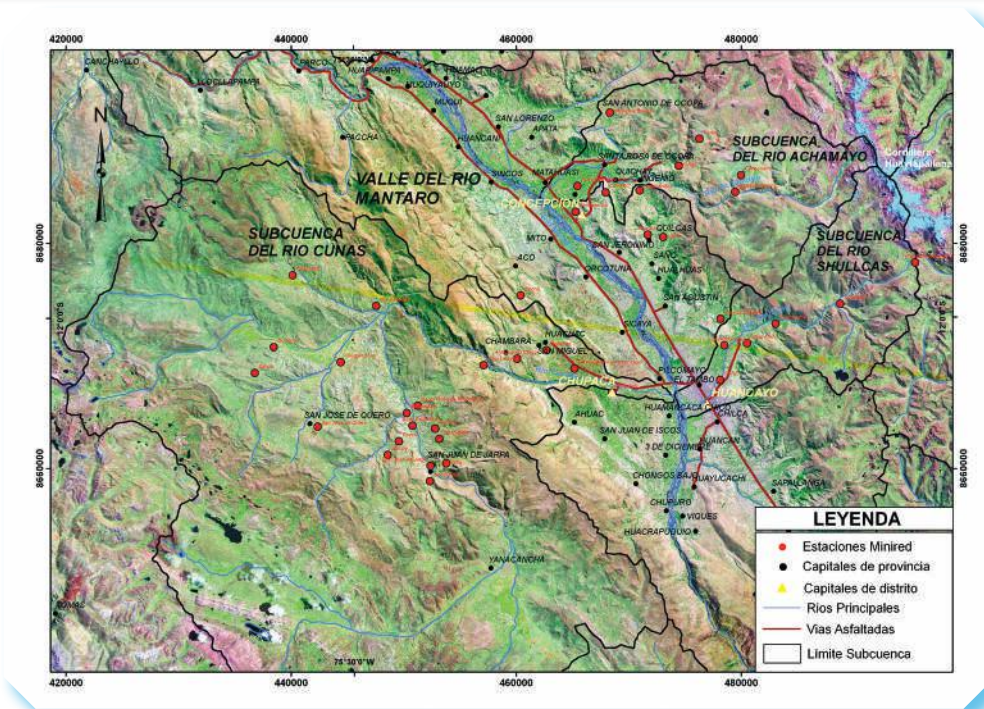
En la misma línea, el 2010 se desarrollaron las etapas finales de un proyecto de predicción de clima para su aplicación en la agricultura, con el apoyo del Programa para la Innovación y Competitividad para el Agro Peruano (Incagro). Fue un esfuerzo que demandó cuatro años de trabajo, en los cuales fue posible elaborar una base de datos a partir de la información del IGP; realizar estudios de variabilidad climática de temperatura y lluvias; e implementar un modelo estadístico para el pronóstico de temperaturas para tres localidades (Huayao, Jauja y Viques).

La fase de investigación, que le compete al IGP, ha concluido. De igual manera, el proyecto de gestión de eventos meteorológicos extremos está próximo a culminar y tiene por fecha límite el 2012. Para el IGP fue una gran experiencia en el campo que le permitió conocer los aspectos no físicos del clima, relacionados a los impactos, lo que deben continuar otras instituciones.

## VIGILANCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO

Las investigaciones relacionadas al fenómeno El Niño toman en cuenta diversos modelos climáticos, de tipo atmosférico y oceánico, que lleven a analizar y comprender cómo se desarrolla este evento y cómo se puede generar un sistema de pronóstico que mitigue su impacto. Como referencia –según cálculos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)–, el total de daños externos (infraestructura y servicios) causados durante 1997-1998 por El Niño ascendió a US\$1,409 millones en el Perú y casi US\$1,000 millones adicionales en otros países de la Comunidad Andina. Una gran parte de este monto, de lograrse una adecuada prevención, podría destinarse a otros fines.

Una de las investigaciones que se desarrolló en el 2010 ha permitido registrar algunos cambios en el desarrollo del fenómeno, detectados durante la última década. El estudio está referido al pronóstico de la temperatura del mar del Perú, que utiliza el modelo de la NOAA (Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) y que en los años más recientes presenta una fuerte degradación. Esto implica que el fenómeno puede estar volviéndose más impredecible, quizás debido al cambio climático.



Mapa del valle del Mantaro y distribución de estaciones pluviométricas de la minired meteorológica de MAREMEX Mantaro. Se cuenta con más de 30 estaciones operadas por comunidades rurales.

Otra investigación relacionada con el fenómeno El Niño consiste en una propuesta de dos nuevos índices para analizar la evolución del evento, los que permiten identificar dos regímenes distintos: eventos cálidos extraordinarios y eventos cálidos moderados, neutrales y fríos. Este conocimiento aportará para el análisis del fenómeno y para la búsqueda de mecanismos de prevención a favor de la población costera.

El IGP reporta estos hallazgos al comité técnico del ENFEN (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño), entidad que evalúa la data histórica y que determina qué peso se da a la información disponible, la que se utilizará en sus labores de prevención. Además de las mediciones y datos empíricos, los conocimientos científicos proporcionan una base sólida para realizar las predicciones de este evento climático.

## OTROS PROYECTOS Y NUEVOS CONOCIMIENTOS

Siempre en la búsqueda de nuevos conocimientos que sean útiles para comprender los fenómenos atmosféricos y su posible impacto en la sociedad, el área lleva adelante el desarrollo de una metodología para entender la interacción entre el mar peruano y la atmósfera costera. El objetivo, a mediano plazo, es llegar a conocer cómo la atmósfera influye en el clima del mar y viceversa, sobre todo en el contexto de fenómenos como el cambio climático.

Eventualmente, con estos conocimientos, sería posible implementar una herramienta de modelado del sistema acoplado océano-atmósfera. Entre las líneas de investigación que se desarrollaron están una metodología para estimar los vientos superficiales a nivel regional, la velocidad de los vientos en la costa y el modelado de los vientos paracas, en colaboración con el IRD y con el Instituto de Mar del Perú (Imarpe).

Vista del glaciar Huaytapallana, que provee de agua a la ciudad de Huancayo.



Es importante mencionar que, para realizar estas investigaciones, el IGP cuenta con material e infraestructura de primer nivel, distribuida en las sedes de Mayorazgo y Huancayo. También se utilizaron radares atmosféricos instalados en el campus de la Universidad de Piura y en el Observatorio de Huancayo del IGP, para mediciones de perfil de vientos.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

Durante el 2010, el ENFEN emitió 12 notas de prensa, un comunicado oficial y dos informes técnicos, con la evaluación del desarrollo del fenómeno y sus perspectivas. El IGP tuvo una activa participación en estos reportes. La información que se divulga es valiosa para los organismos encargados de prevención, ya que –como se ha mencionado– los efectos vinculados a este evento en años anteriores han sido devastadores. Igualmente las empresas utilizan la información como parte del análisis de sus mercados.

Por otra parte, especialistas de Vulnerabilidad y Cambio Climático participaron en eventos nacionales e internacionales, para dar a conocer las investigaciones desarrolladas por el área. Destacaron en este campo los viajes a Brasil para el Encuentro de las Américas 2010, en el que la delegación peruana aportó los conocimientos obtenidos en estudios de circulación atmosférica costera y a través del proyecto Maremex-Mantaro; y a Ecuador, para el Taller Internacional de ENSO (El Niño Southern Oscillation), donde se expusieron estudios sobre los fenómenos El Niño y La Niña, además del clima del valle del Mantaro.

En el contexto de las investigaciones del proyecto Incagro, se produjeron siete tesis de licenciatura, referidas, entre otros temas, al modelo de pronóstico estacional, al estudio de las sequías de corto período conocidas como veranillos y otras seis orientadas al impacto de los eventos meteorológicos en el agro. Sobre estos impactos, por ejemplo, se consideró la influencia de la temperatura y la precipitación en los cultivos del valle del Mantaro: en maíz amiláceo en las variedades de San Gerónimo y Blanco Urubamba, en papa variedad Canchán y Yungay y quinua variedad Hualhuas y Blanca de Junín.

El proyecto Incagro, además, concluyó con la publicación de un libro que recopila los resultados de trece trabajos de investigación, además de dos manuales sobre uso consuntivo del agua y tipos de suelo agrícola del valle del Mantaro.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fueron reconocidas como aportes a la comunidad científica nacional e internacional, al ser incluidas en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección “Generando ciencia” (p. 70).

# GEOMAGNETISMO



## *Estudio del campo magnético de la Tierra*



Observatorio de Huancayo, tres de los principales laboratorios del área de Geomagnetismo: de absolutos, variación y pruebas. Son también las construcciones más antiguas hechas por la Carnegie Institution de EE.UU en 1922.

*Pocas personas saben que el Observatorio de Huancayo, conocido mundialmente como Observatorio Geomagnético de Huancayo, es aquel donde se iniciaron las labores científicas del IGP en 1922. Es, además, el único de su tipo que se ubica en la zona del ecuador magnético terrestre, por lo que es considerado como uno de los 10 más importantes observatorios geomagnéticos del mundo. Una de las actividades principales del área de Geomagnetismo es el registro continuo de la variación del campo geomagnético, seguido de su procesamiento y análisis de datos.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

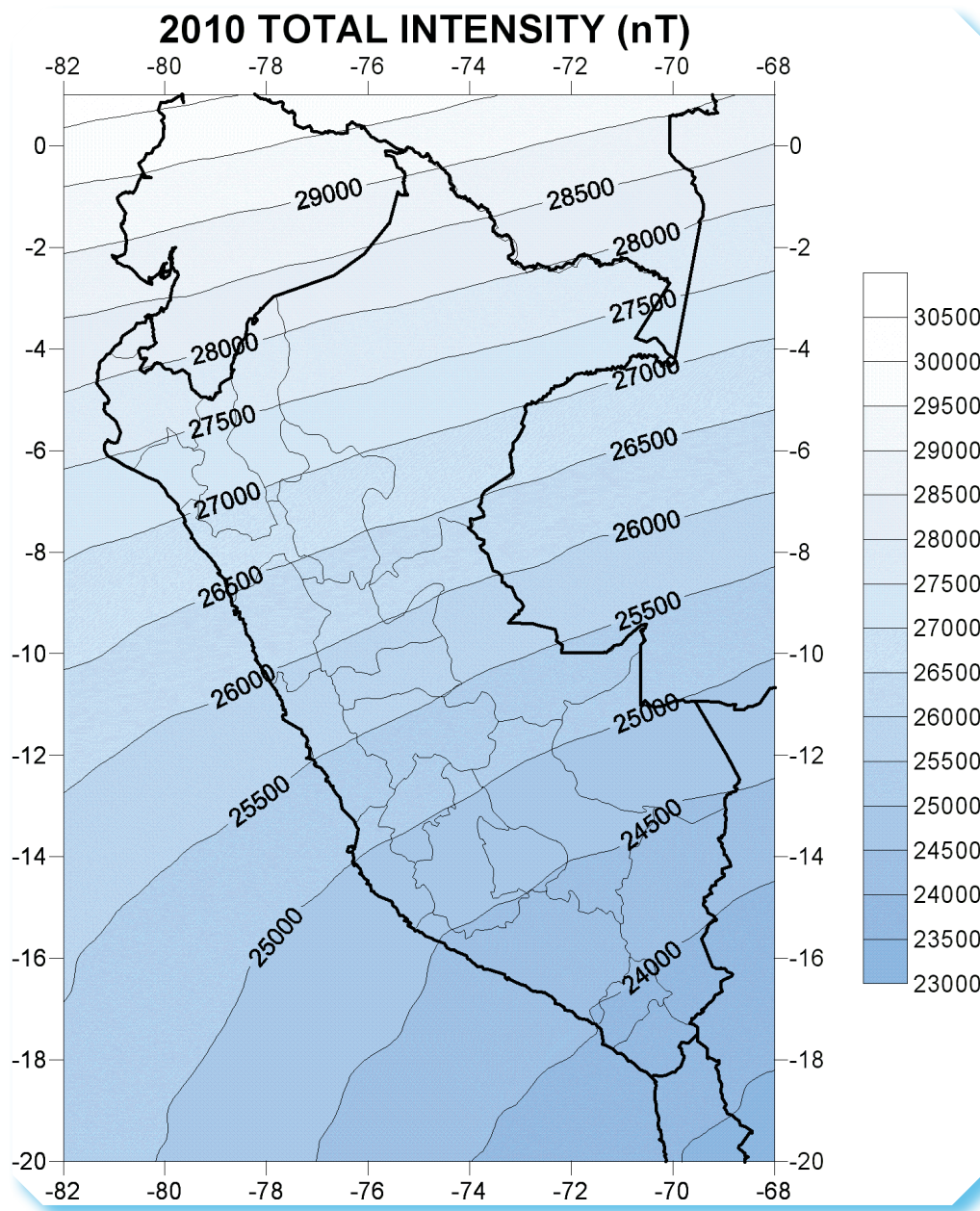
Durante el 2010, uno de los grandes aportes de esta área fue poner a disposición de la comunidad científica mundial los datos registrados de la variación del campo magnético en tiempo real, a una resolución de un dato por minuto, lo que contribuyó al registro continuo y permanente que se inició el 1 de marzo de 1922. De esta manera, el Observatorio de Huancayo cuenta con el registro histórico de datos más largo que se tiene en la zona del ecuador geomagnético.

La información registrada se envía a distintas centrales de datos geomagnéticos, ubicadas tanto en Lima como en distintas partes del mundo. Estas son: red LISN (Low-Latitude Ionospheric Sensor Network), Jicamarca (Perú), World Data Center for Geomagnetism (Japón), red Intermagnet (Polonia).

Actualmente nuestros equipos realizan un muestreo de 12 a 60 datos por minuto, a partir de los cuales se procesan y se obtienen datos a resolución de uno por minuto. Pero debido a la importancia y calidad de la información que se viene entregando, la IAGA (Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía, por sus siglas en inglés) ha solicitado que tales envíos se realicen en tiempo real y a una resolución de uno por segundo. Este reto implica modificar las tarjetas electrónicas de adquisición de datos para hacer un muestreo mínimo de 10 datos por segundo y así poder cumplir tal encargo.

Entre las actividades de investigación se desarrollan los siguientes temas: el estudio de las variaciones del campo geomagnético producido por fuentes externas principalmente por el Sol, el estudio de la “variación secular” o cambio lento del campo geomagnético producido por el desplazamiento del meridiano magnético y el estudio de las fuertes perturbaciones temporales del campo geomagnético producido por tormentas solares que llegan a la Tierra, de uno a tres días después del suceso.

Otra de las actividades que se realiza es prospección geomagnética, una técnica geofísica que se utiliza para explorar minerales, mapeos geológicos, búsqueda de objetos y ruinas arqueológicas que se encuentran enterrados. Asimismo, mediante el uso de herramientas matemáticas, se hacen modelamientos del campo geomagnético global, regional y local, que son representaciones del campo geomagnético que permiten estudiar las características y propiedades de las diversas fuentes del campo geomagnético, formuladas a partir del monitoreo en observatorios, satélites y estaciones geomagnéticas.



Carta Magnética del Perú 2010 "Intensidad Total".

Los datos producidos por el observatorio de Huancayo contribuyen a los modelamientos del campo geomagnético global producidos por la IAGA. Una de sus aplicaciones prácticas de estos modelamientos es guiar algunos tipos de satélites que tienen por sistema de orientación el campo geomagnético; los sistemas de posicionamiento global (llamados también GPS) también los usan como herramienta auxiliar.

El campo geomagnético se emplea en diversas formas. Por ejemplo, el registro de la actividad magnética derivada de explosiones solares permite conocer en qué medida esa actividad perturba el campo magnético terrestre y qué cambios genera. Cuando se produce una explosión solar, aproximadamente ocho minutos después se generan perturbaciones fuertes del campo magnético en la Tierra, las cuales los observatorios geomagnéticos registran. Con esta información se puede prever con muchas horas de anticipación la llegada de una tormenta magnética, y de esta manera los satélites y las naves que no



Primeros instrumentos utilizados para la medición del campo magnético en Huancayo.

poseen condiciones de operatividad apropiadas para soportar fuertes tormentas magnéticas se pueden proteger oportunamente, al ser puestos en *stand by*. Al paso de la tormenta, reanudan sus operaciones normalmente.

Algunos satélites utilizan el campo geomagnético para orientarse y evitar que se caigan a tierra o se pierdan en el espacio. Todas las naves, principalmente aéreas y marítimas, llevan como instrumento fundamental de navegación la brújula. Aunque hoy para la navegación se usa el GPS, la brújula no ha dejado de ser un instrumento fundamental que sirve de respaldo ante la eventualidad de que en algún momento dejase de funcionar correctamente el GPS. Además, el campo geomagnético lo usan naturalmente las aves para orientarse durante sus largas travesías intercontinentales. Animales como reptiles y cetáceos también usan este campo para su orientación.

Los estudios en geomagnetismo son realizados en el IGP a partir de la data que se obtiene en el Observatorio de Huancayo y en una red de estaciones magnéticas ubicadas en diferentes puntos, como Piura, Ancón, Jicamarca y Puerto Maldonado. El IGP opera, además, en forma conjunta con la Universidad Nacional de Colombia la estación de Leticia y con el Casleo, Argentina, la estación El Leoncito, como parte del proyecto LISN.

## PROYECTOS Y NUEVOS CONOCIMIENTOS

Uno de los proyectos importantes concluidos durante el 2010 fue el levantamiento geomagnético del cerro donde se ubica el Observatorio Óptico de Jicamarca, para establecer allí una zona de calibración y registro geomagnético.

Dentro del perímetro del Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) no existían condiciones apropiadas para instalar una nueva estación, debido a diversos factores (estar ubicado en una zona de relave de río y la



Vista parcial del Observatorio Óptico de Jicamarca donde se realizó el levantamiento geomagnético de fuerza total (F). Las características de baja gradiente magnética del terreno y su aislamiento lo hacen propicio para la instalación de una estación geomagnética.

presencia de antenas), lo que determinó que se llevara a cabo un estudio en los alrededores para encontrar una zona más apropiada.

Para el trabajo de levantamiento geomagnético se analizaron cuatro áreas predefinidas y se obtuvieron datos de 2,350 puntos. Un lugar que destacaba por su baja variación del campo magnético y suelo casi plano, y finalmente fue señalado como la ubicación ideal para establecer una estación magnética y prever a futuro la instalación de un observatorio geomagnético en ese lugar.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

El área de Geomagnetismo ha participado en importantes eventos de divulgación científica durante el 2010. Destaca en este campo el XVII Encuentro Científico Internacional (ECI) de Verano, en el que fueron discutidos temas como la importancia, la calidad y las aplicaciones de las mediciones geomagnéticas del Observatorio de Huancayo, el pasado y futuro de la investigación en esta rama del conocimiento y la confección del Campo Geomagnético Referencial del Perú 2010. Este trabajo está a disposición libre de los investigadores y público interesado en el portal web del IGP.

También se participó en el IX ECI de Invierno, con la presentación de las investigaciones multidisciplinarias realizadas en torno al meteorito de Carancas, un trozo de materia estelar que impactó en la superficie terrestre en Puno, cerca de la frontera con Bolivia, en setiembre del 2007.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fue reconocida como aporte a la comunidad científica nacional e internacional, al ser incluida en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección "Generando ciencia".

# AERONOMÍA

*A la vanguardia*



# *del conocimiento del geoespacio ecuatorial*



Vista panorámica del Radio Observatorio de  
Jicamarca, Lima, Perú.

*En alturas mayores a los 50 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, la radiación solar rompe las moléculas de gas en iones o partículas con carga eléctrica y electrones libres. En esta zona circulan cientos de satélites, cuyo funcionamiento depende de que el hombre pueda comprender cómo ocurren los fenómenos físicos y químicos que allí se producen. Para investigar estas capas de alta atmósfera, los científicos cuentan con instrumentos como satélites, magnetómetros, GPS, etc. Y el Perú tiene el privilegio, para este propósito, de contar con un centro de investigación de importancia mundial: el Radio Observatorio de Jicamarca. Mantenerse a la vanguardia de los estudios de alta atmósfera es la tarea principal del área de Aeronomía.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

El Perú es uno de los países que más ha aportado al estudio mundial sobre la ionósfera ecuatorial, la capa situada entre 50 km y 20,000 km, primero desde el Observatorio Magnético de Huancayo y luego con el Radio Observatorio de Jicamarca, una infraestructura de nivel mundial con 50 años de historia. Y en el 2010, el área de Aeronomía siguió contribuyendo con la ciencia a través de una investigación que abre paso a nuevos conocimientos sobre esta capa atmosférica.

En la ionósfera ecuatorial, ciertas anomalías detectadas, entre ellas la F Dispersa (turbulencia atmosférica) y el electrochorro ecuatorial, afectan directamente las señales de satélite y las comunicaciones. Aunque el efecto se manifiesta como alteraciones aparentemente pequeñas en las señales de receptores GPS, satélites y otros aparatos electrónicos, sus efectos adquieren gran relevancia en algunas aplicaciones civiles, militares y científicas.

Desde Jicamarca, la F Dispersa era monitoreada de manera permanente todas las noches con el programa de investigación atmosférica JULIA (Jicamarca Unattended Long-term Investigations of the Ionosphere and Atmosphere). Pero nuevos conocimientos, más el desarrollo de algoritmos, han permitido lograr un modo de operación mejorado, llamado JULIA Imaging, con el que es posible obtener datos en alta resolución de altitud, distancia horizontal y tiempo.

Para aplicar este modelo, se desarrolló un programa de procesamiento en paralelo de los datos del radar principal, que se ejecuta en un sistema multiprocesador de gran potencia y que se desarrolló utilizando software libre. El nuevo programa es capaz de procesar la información en tiempo real, lo que constituye un aporte fundamental para la observación del fenómeno F Dispersa. A diferencia de este, el programa anterior tardaba varios minutos en procesar apenas algunos segundos de datos.

Para la comunidad científica, estudiar la F Dispersa es de gran utilidad para conocer y pronosticar la ocurrencia de este fenómeno, debido a la forma como puede afectar algunas aplicaciones vinculadas al uso de satélites y a las comunicaciones (telefonía, aviación, señales de GPS, etc.).

Red de interferómetros Fabry-Perot en el Perú (Jicamarca, Nazca y Arequipa) para realizar mediciones de vientos y temperaturas de la alta atmósfera.



Relacionado con esta investigación, el IGP se prepara para concluir la instalación de una red de tres interferómetros Fabry-Perot, con los que se medirán los vientos y la temperatura de la alta atmósfera sobre el Perú. Ese tipo de estudios no se ha realizado antes en el país y permitirá analizar la relación de estos vientos con la ocurrencia del fenómeno F Dispersa y con los mecanismos que lo forman.

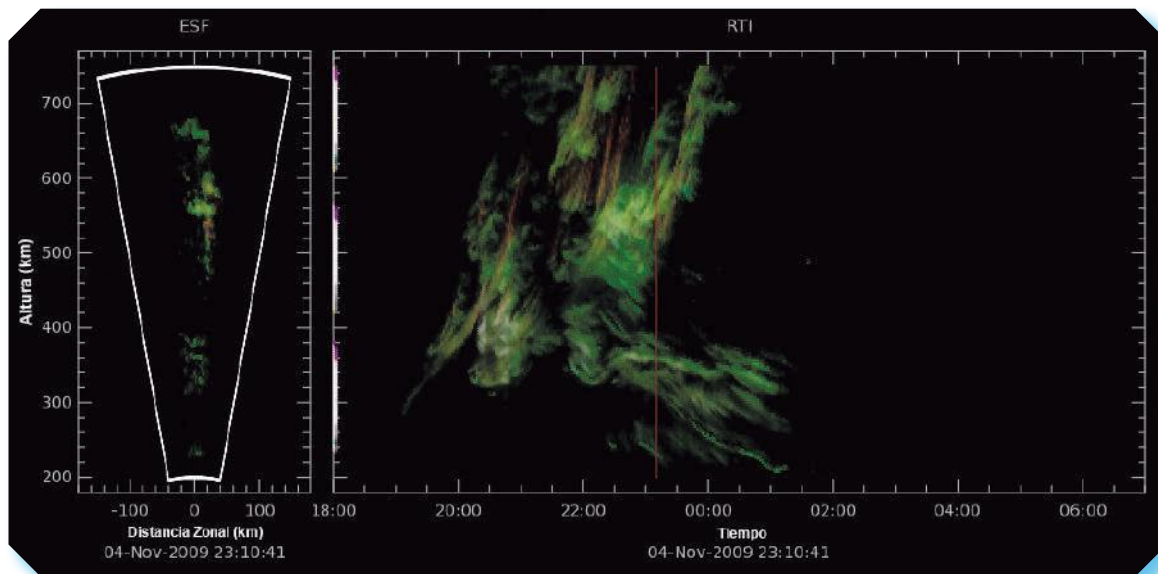
El proyecto de contar con varios puntos de monitoreo óptico empezó el 2009, a partir de los datos obtenidos por el primero de los interferómetros en uso, instalado en Characato, Arequipa, varios años atrás. El objetivo es realizar mediciones conjuntas con una red de estaciones que apunta a la misma región en el espacio. En agosto del 2009 se inauguró un segundo observatorio en Jicamarca y se dispuso contar con un tercer punto en una estación móvil, que fuera fácil de reubicar para realizar nuevos experimentos.

En octubre del 2010 se puso a prueba la estación móvil en Paracas, Ica, y meses después se reubicó en Nazca, en un lugar equidistante entre Lima y Arequipa, donde se ubican los otros dos equipos. Una siguiente etapa será automatizar los reportes y el procesamiento de datos, para dar una operación continua a la red de interferómetros.

Otra investigación realizada este año tuvo por objetivo analizar la relación entre fenómenos ocurridos en las capas de baja altura (tropósfera, estratósfera y mesósfera) y la forma como pueden propagarse en la ionósfera. Para ello se aplicaron experimentos que permitieron aumentar la sensibilidad del radar de Jicamarca, con lo cual fue posible realizar observaciones simultáneas de la baja y alta atmósfera con alta resolución.

Gracias a estas aplicaciones fue posible analizar con detalle esa relación entre baja y alta atmósfera en un período de mínima actividad solar, cuando es más fuerte la interacción entre ambas zonas atmosféricas. Al respecto, el último ciclo solar, que se produce en un período de 11 años, tuvo por característica haber alcanzado condiciones extremas de mínima actividad solar (la medición más baja se produjo en diciembre del 2008). Específicamente se ha logrado identificar una alta correlación entre un fenómeno meteorológico que ocurre en la estratósfera polar (llamado en inglés *sudden stratospheric warming*) y cambios en los campos eléctricos en la ionósfera ecuatorial. Los estudios preliminares, con uso de modelos numéricos, muestran que ambos eventos son consecuencia de cambios de gran escala en las ondas planetarias en la tropósfera.

Una investigación continua, iniciada en 1998, consiste en hacer un seguimiento de cómo se comporta la capa de inversión de temperatura sobre Jicamarca, con varios objetivos: uno de ellos es caracterizar los cielos sobre el lugar, para detectar las temporadas de poca o nula nubosidad (importante para aprovechar el potencial del instrumental óptico que posee el radioobservatorio) y, otro, analizar la interacción entre baja y alta atmósfera.



Mapa de intensidad Doppler en función de rango y tiempo (RTDI - Range Time Doppler Intensity) del fenómeno ionosférico F-Dispersa. La luminosidad, color y saturación de la imagen representan el SNR, desplazamiento Doppler y ancho espectral de los ecos medidos por el radar de Jicamarca.

El equipo que se emplea con este propósito consiste en una sonda meteorológica con sensores de temperatura, humedad y presión, adosada a un globo de helio que se monitorea desde tierra. El equipo del ROJ está diseñando una nueva sonda más eficiente y con una mejor respuesta en el control de ascensos y descensos.

Dos investigaciones adicionales reportan información sobre el plasma de la ionósfera, y la variación diaria y estacional del campo eléctrico ecuatorial. El objetivo del ROJ es seguir acumulando conocimientos que permitan un entendimiento cabal de los fenómenos que ocurren en las capas de alta atmósfera.

## PROYECTOS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

Un total de 46 proyectos se llevaron a cabo por esta área durante el 2010, lo que significó un importante aporte en mejoras e innovaciones de software y hardware, destinadas a las investigaciones de Aeronomía. Del total de proyectos, 22 fueron programados y los otros 24 provienen de necesidades puntuales o de evaluación de posibles nuevas aplicaciones para el ROJ y para el IGP.

Los proyectos mencionados contemplan desde la construcción de transmisores para aumentar la capacidad de transmisión del radar del ROJ hasta las fases de implementación y ajuste de la red de interferómetros.

Es importante resaltar el proyecto de apunte automático del radar de Jicamarca (proyecto ABS), que permitirá implementar nuevos experimentos para una mejor observación de los fenómenos ionosféricos.

Fotografía de la antena principal del radar de Jicamarca compuesta por 18,432 dipolos cubriendo un área de aproximadamente 85,000 m<sup>2</sup>.



Otra iniciativa importante es el sistema de comunicación VHF vía electrochorro (proyecto Chasqui), un proyecto para la Marina de Guerra del Perú que permitirá establecer enlaces de comunicación de voz y datos con lugares remotos del Perú a los cuales no llega la telefonía.

Destacan también tres proyectos de colaboración con el Observatorio de Millstone Hill: RF Signal HDF5, Madrigal CEDAR-HDF5 y Signal Chain. El proyecto Signal Chain consiste en desarrollar herramientas de procesamiento en Python para el análisis en línea de las señales del radar, lo cual permitirá ofrecer un mejor servicio a los usuarios del radar de Jicamarca.

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS

Esta área tuvo una intensa actividad durante el 2010 en presentaciones de carácter científico, tanto nacionales como internacionales. Investigadores del IGP estuvieron en encuentros realizados en Brasil (Encuentro de las Américas 2010), Estados Unidos (Universidad de Stanford, SRI Menlo Park, CEDAR Workshop 2010), Suiza (International Space Science Institute), Japón (Universidad de Nagoya) y Puerto Rico (Observatorio de Arecibo). También en el Encuentro Científico Internacional (ECI) Verano 2010, II Encuentro Nacional de Radio Científicos e Investigadores Afines (URSI-Perú), el Primer Taller Latino Americano FMT, entre otros eventos realizados en el Perú.

Las intervenciones estuvieron relacionadas al estudio de la ionósfera, la observación de meteoros, tecnología de radar y comunicaciones, entre otros campos de estudio afines al área.

La participación en charlas y conferencias también fue muy importante en el 2010, con un aproximado de 30 presentaciones. Los temas fueron desde los primeros pasos para establecer un sistema de pequeños satélites en el Perú, a través del proyecto Chasqui de la UNI, hasta el control automático de la trayectoria de un robot-móvil.

Además es importante mencionar que el área continúa publicando a través del portal del ROJ un reporte trimestral de las actividades y proyectos en proceso o realizados. Esta información es de acceso libre a la comunidad científica y al público interesado.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fueron reconocidas como aportes a la comunidad científica nacional e internacional, al ser incluidas en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección "Generando ciencia" (p. 70).

# ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA



# *Exploración más allá de las estrellas*



Radio Observatorio Astronómico de Sicaya  
(ROAS), ubicado en Huancayo.

*Analizar los fenómenos estelares puede llevarnos a entender desde cómo se forman las estrellas hasta cuál es la importancia de estos lejanos procesos en nuestra vida diaria. Para lograrlo hace falta, además de voluntad, equipos de avanzada y la curiosidad que llevó a los hombres desde los primeros años de su historia a mirar las estrellas. El área de Astronomía y Astrofísica se encarga de realizar esta importante labor y también de despertar esa ancestral curiosidad en las nuevas generaciones de científicos.*

## LO QUE SE HIZO EN EL 2010

Dos años atrás, una antena parabólica de 32 metros de diámetro dejada sin uso por la empresa Telefónica del Perú en Sicaya, en las afueras de Huancayo, fue donada al IGP como parte de un proyecto para adaptar, a partir de esos equipos, un radiotelescopio que permitiera observar las estrellas.

Tras varios meses de estudio, y con la recuperación de un local abandonado para instalar la infraestructura, en el último trimestre del 2010 se hicieron los ajustes finales: fue habilitado el sistema mecánico del radiotelescopio y se instaló el equipo necesario para que empezara a funcionar (un sistema de seguimiento; un receptor a temperatura ambiente, donado por el Observatorio Astronómico Nacional del Japón, y un dispositivo de frecuencia intermedia).

En medio de las carencias económicas se había logrado rehabilitar una antena de comunicaciones y convertirla, con el talento de personal peruano, en un radiotelescopio único por sus dimensiones en América Latina y de gran utilidad para la investigación científica. Los resultados de estos esfuerzos tendrían una recompensa algunos meses más tarde, cuando fue recibida en Sicaya la primera señal de onda de radio desde el espacio exterior. En adelante estos datos serán vitales para conocer el proceso de formación de las estrellas.

Esta área reparte sus actividades entre la investigación de los fenómenos que se producen fuera del campo magnético de la Tierra y la influencia que esos procesos determinan para los seres humanos, y la educación de nuevos científicos interesados en el conocimiento del cosmos.

La puesta en funcionamiento del radiotelescopio de Sicaya es fundamental para ambos objetivos. Como lo es también la llegada de un telescopio de monitoreo de explosiones solares, que se une a otro instrumental especializado en observación, análisis y comprensión de la actividad solar (un telescopio refractor de 15 cm y a un espectrógrafo solar) para formar un equipo de investigación de enorme potencial. Esta infraestructura está instalada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

Gracias al Observatorio Solar de Ica, los investigadores pueden analizar el ciclo solar, que dura aproximadamente 11 años, y vigilar cómo este fenómeno afecta al planeta. El Sol es un gran generador de rayos cósmicos, fuentes de una enorme energía, que en su mayor parte son desviados por el campo magnético

Telescopio FMT (de sus siglas en inglés Flare Monitoring Telescope), el cual está instalado y operativo en la Estación Solar de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. El FMT observa el Sol en cuatro diferentes longitudes de onda captando las explosiones solares entre otros fenómenos solares y las prominencias solares en un quinto telescopio.



de la Tierra. De la misma manera, en las altas capas de la atmósfera están instalados satélites y otros instrumentos artificiales, usados sobre todo para comunicaciones, que no podrían existir sin la protección magnética del planeta.

En un ciclo solar existen puntos máximos y mínimos. Y llegan a la Tierra menos rayos cósmicos en los períodos de mayor actividad solar, según un efecto descubierto por el científico Scott Forbush. Los satélites artificiales son construidos solo con materiales que resisten los rayos cósmicos, y aun así se prefiere evitar que estos equipos se expongan a tales fuerzas de energía, para lo cual es muy importante tener un registro exacto del ciclo solar.

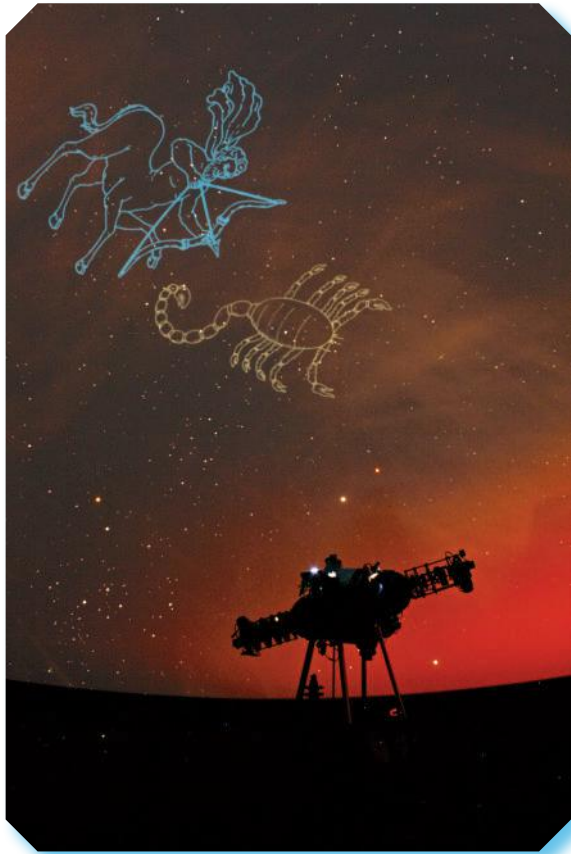
Lo anterior es solo un ejemplo de cómo el conocimiento que se adquiere con la observación solar es importante para las actividades humanas, como también lo será descubrir cuál es el impacto directo de la actividad cósmica directamente sobre la Tierra. Parte de esa ciencia provendrá de la observación y vigilancia desde Ica. Los resultados de este trabajo servirán para alimentar las publicaciones científicas más importantes del mundo.

## UNA INTENSA LABOR EDUCATIVA

El Observatorio Solar de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga no solo es una herramienta vital para la actividad científica. Los estudiantes y graduados de esta casa, y de otros centros de estudios superiores, tienen una oportunidad única de analizar, reducir e interpretar los datos en el propio campo y con los equipos más apropiados. De esta manera, el conocimiento científico se traslada a las universidades.

Es importante destacar la llegada de un nuevo telescopio reflector de 60 cm de diámetro, de tipo Cassegrain (reflector que utiliza dos espejos), que se convertirá en un instrumento de monitoreo principal en el futuro Observatorio Astronómico Educativo del cerro Jahuay, Ica, y que se destinará a la educación de escolares, profesores y universitarios. Se trata de una donación del pueblo japonés al doctor Mutsumi Ishitsuka, físico solar que ha dedicado más de 50 años a la investigación científica en el IGP.

Las gestiones para construir una infraestructura adecuada para el futuro observatorio de Jahuay, sobre un terreno de 800 hectáreas, están en trámite. Mientras estos concluyen, el telescopio ha sido instalado en la universidad de Ica. Este equipo permite vigilar la variación estelar de las estrellas en formación, estrellas envejecidas, estallidos de rayos gamma, entre otros.



El moderno Planetario del IGP permite recrear las posiciones exactas de más de 3,500 estrellas vistas desde cualquier latitud de la Tierra y a cualquier época del año. La constelación de Sagitario (en azul) es representada por un centauro y en ella se encuentra el centro galáctico de la Vía Láctea, encontrándose muchos cúmulos y nebulosas. Escorpio (en amarillo) es el eterno enemigo del cazador mitológico Orión que está ubicado exactamente en el lado opuesto, como símbolo de su rivalidad.

En lo referente al Planetario Nacional Peruano Japonés Mutsumi Ishitsuka, ubicado en el Laboratorio Central de Mayorazgo, Ate, la labor educativa a favor de escolares es intensa e incluye, desde el último trimestre del 2010 ofrece un horario para visitas nocturnas, lo que muestra un creciente interés de los jóvenes por la ciencia. Se trata de un equipo valorizado en más de medio millón de dólares y que entregó el Gobierno de Japón como una donación cultural no reembolsable, que proyecta con gran verosimilitud el aspecto de la bóveda celeste, la ubicación de más de 3,500 estrellas y de galaxias, planetas, cometas y eclipses.

## PROYECTOS Y NUEVOS CONOCIMIENTOS

Una de las investigaciones continuas más importantes del área de Astronomía y Astrofísica se refiere a los trabajos de arqueoastronomía (estudio de yacimientos arqueológicos en los que se detecta actividad astronómica) en el Santuario de Caral, ubicado en la provincia de Supe, región Lima. Se trata de una de las ciudades más antiguas de América y del mundo, cuya importancia por conocimientos y tecnología es comparada con Mesopotamia y Egipto.

Ciudadela de Caral. Con la finalidad de observar la salida del Sol, esta imagen fue tomada a temprana horas del amanecer.



Las exploraciones en Caral, que forman parte de un esfuerzo multidisciplinario, permiten recopilar información sobre conocimientos producidos por el ser humano hace 5,000 años, muchos de ellos vinculados a fenómenos estelares. Una de las líneas de investigación es la forma como el movimiento del eje de la Tierra ha modificado la posición de las estrellas tomadas como referencia por los caralinos para levantar sus edificios. Se han identificado ciertas estrellas, las más brillantes, que estuvieron alineadas a ejes de algunas pirámides construidas de hace 5,000 años, así como la alineación de los ejes de estas edificaciones a las salidas del Sol y de la Luna.

Las investigaciones también han permitido descubrir que las pirámides referenciales fueron modificadas por los caralinos cada cierto tiempo, lo que queda reflejado en los cambios de lugar de los fogones ubicados en la parte superior de las pirámides. Esto implica que estos antiguos peruanos mantuvieron una vigilancia constante de los astros y que definitivamente existía una élite con conocimientos de astronomía.

En otro campo de la actividad astronómica, personal del área empezó a trabajar en el desarrollo de equipos astronómicos y educativos, y utilizó platos de las antenas parabólicas pequeñas, para entender de forma interactiva los principios de la parábola.

## CONTRIBUCIÓN CIENTÍFICA

Una intensa actividad de divulgación científica realizó el área de Astronomía y Astrofísica durante el 2010, tanto en eventos y presentaciones como en el campo educativo. El Día Internacional de la Astronomía se celebró este año con una actividad masiva en la plaza Huiracocha, de Jesús María, que atrajo a cientos de ciudadanos interesados en la observación del espacio.

El segundo aniversario del Planetario Nacional Peruano Japonés Mutsumi Ishitsuka fue celebrado con un día de abrepuestas, con ingreso gratuito, charlas y exposiciones de material didáctico para adultos y niños.

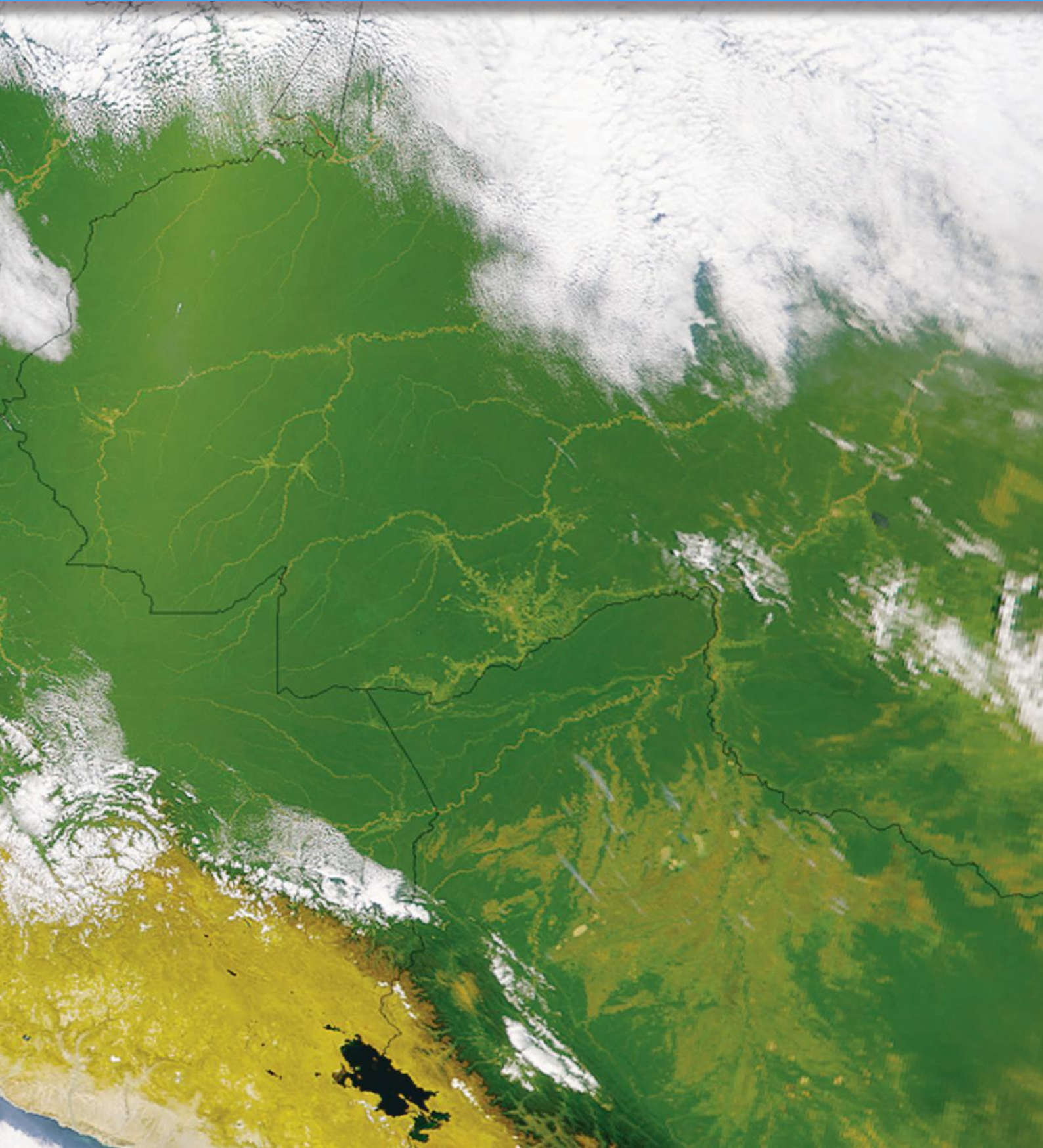
El área también participó en eventos internacionales, entre ellos la International Space Weather Initiative, realizada en Egipto, en la que se expusieron los alcances del proyecto MAGDAS/CPMN, uno de cuyos puntos de observación se encuentra en el Perú.

Es necesario resaltar que parte de las investigaciones realizadas durante el 2010 fue reconocida como aporte a la comunidad científica nacional e internacional, al ser incluida en revistas, compendios y otras publicaciones, como se podrá observar en la sección "Generando ciencia" (p. 70).

# TRASLADANDO NUESTRO CONOCIMIENTO



*Ciencia al servicio de la sociedad*



## NUESTROS SERVICIOS EN ACCIÓN

*Los conocimientos científicos generados en el IGP contribuyen en aplicaciones de enorme importancia con diversas actividades, entre las que destacan minería, telecomunicaciones, etc. Estas aplicaciones se ejecutan mediante convenios con instituciones y empresas, los que constituyen un aporte decisivo a la comunidad.*

### LO QUE SE HIZO EN EL 2010

Para actividades que están ligadas a un conocimiento cabal de las condiciones geofísicas del terreno, el aporte de la investigación que realiza el IGP es fundamental. En ese sentido, durante el 2010, se continuaron ejecutando convenios con entidades y empresas, tanto privadas como estatales.

Algunas actividades necesitan datos acerca de la actividad sísmica de los territorios donde están asentadas sus operaciones, para saber en qué momento se pone en riesgo su infraestructura y cuándo se deberían tomar medidas de emergencia. El área de Redes Geofísicas suministra de información constante a Electroperú, y el IGP a través de la Dirección de Sismología realiza el monitoreo y análisis de las actividades sísmicas en la zona donde se ubica el complejo hidroeléctrico de Mantaro. Para ello se cuenta con una red de siete estaciones sísmicas y cuatro acelerómetros, que conforman la Red Sísmica Telemétrica de Tablachaca. Para la empresa estatal es muy importante garantizar la operatividad del sistema que surte de energía eléctrica al 40% del mercado peruano.

Asimismo, empresas mineras como Milpo necesitan mediciones continuas de aceleración de terrenos en las zonas de sus operaciones. Por ese motivo, desde hace varios años, mantiene contratos de prestación de servicios con el IGP, para recabar datos en la Cordillera Blanca, en particular en lo que respecta al nevado Chaupijanca (provincia de Bolognesi, Áncash), lugar donde se asienta el proyecto Hilarión.

Se brindó un servicio de consultoría a El Pacífico Peruano Suiza Compañía de Seguros y Reaseguros, con la finalidad de evaluar la causa o las causas probables de la desestabilización de las relaveras N° 1 y 2 de la Compañía Minera San Juan Perú S.A. Esta infraestructura se ubica en la concesión minera denominada Cerro Tamboraque, en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima. El objetivo del estudio fue realizar la evaluación integral de la información geológica, geofísica, geotécnica e hidrológica que posee el Instituto Geofísico del Perú y de la información proporcionada por Pacífico Seguros.

Además, la Dirección de Sismología, a solicitud del IRD, realizó un estudio de zonificación sísmico-geotectónica de siete distritos de Lima, a fin de completar el mapa de zonificación de Lima Metropolitana realizado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) (por encargo de la Asociación de Empresas de Seguros del Perú - Apeseg). Los distritos para los cuales se hicieron esos estudios fueron Pucusana, San Bartolo, Santa María, Punta Hermosa, Punta Negra, Santa Rosa y El Agustino. Para ello se realizaron 49 calicatas para estudios geotécnicos y un promedio



Vista de la relavera 1 y 2 de la compañía minera San Juan - Tamboraque. Se prestó consultaría para la evaluación de posibles causas de deslizamientos en la misma.

de 80 mediciones de vibración ambiental en cada distrito. El análisis de la información permitió obtener los mapas de zonificación y tipificación de suelos, información base para todo estudio de planificación urbana y mejoras en las normativas de sismorresistencia locales.

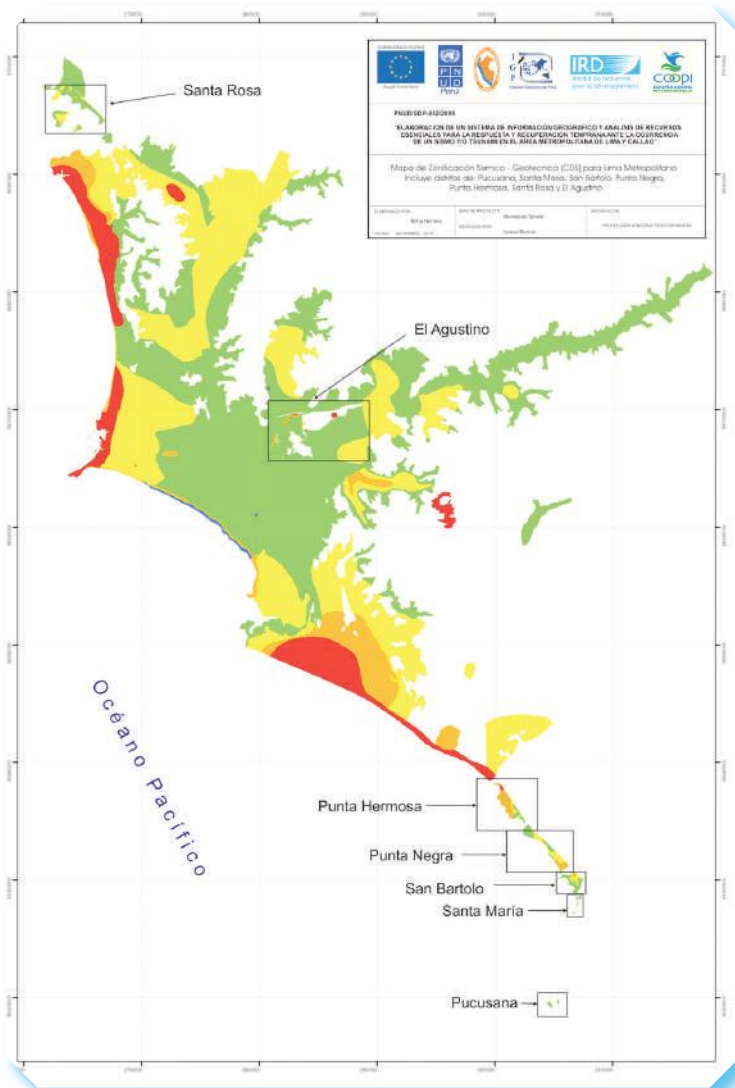
Con la Marina de Guerra del Perú existe un convenio para utilizar la información que se genera en el Radio Observatorio de Jicamarca, a través de un sistema de adquisición que recopila datos de los radares VHF y HF. Esta información utiliza la Marina de Guerra para operar un sistema de vigilancia costera en Ancón; con la data es posible detectar si hay barcos que naveguen sin autorización en el litoral peruano. Al respecto es importante mencionar que el radar VHF posee un alcance aproximado de 50 kilómetros, mientras que el radar HF, en desarrollo, podrá alcanzar distancias más allá del horizonte (200 kilómetros aproximadamente).

También con la Marina de Guerra se implementa el proyecto Chasqui, que permitirá establecer un sistema de comunicación de voz y datos, a través del electrochorro ecuatorial. Este sistema permitirá establecer comunicaciones entre Lima y estaciones remotas a las que no llegan otros medios de comunicación; por ejemplo, en la región del VRAE (valle de los ríos Apurímac y Ene, entre los departamentos de Ayacucho, Cusco, Junín y Huancavelica).

Por otro lado, se firmó un convenio con la empresa Tumimed S.R.L. para construir tres magnetómetros solicitados por Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil (INPE). Estos instrumentos se enviaron en junio al vecino país y forman parte de una red de magnetómetros para el estudio del campo magnético y su interacción con el electrochorro ecuatorial.

Asimismo, el Instituto posee acuerdos de cooperación con diversas instituciones y empresas para intercambiar servicios. Entre ellos están gobiernos regionales, TGP y Southern Peru Copper, por mencionar algunos casos, en los que se brinda información y se obtiene seguridad para los equipos de monitoreo, que quedan instalados en zonas protegidas.

Por otra parte, el IGP también mantiene en operación continua las estaciones sísmicas de Atahualpa (en el norte del Perú) y Ñaña (Lima), en cumplimiento del compromiso del Estado peruano con la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO).



Mapa de zonificación sísmica para Lima Metropolitana, elaborado por el CISMID (2005). La Dirección de Sismología elaboró los mapas para los distritos indicados en los recuadros.

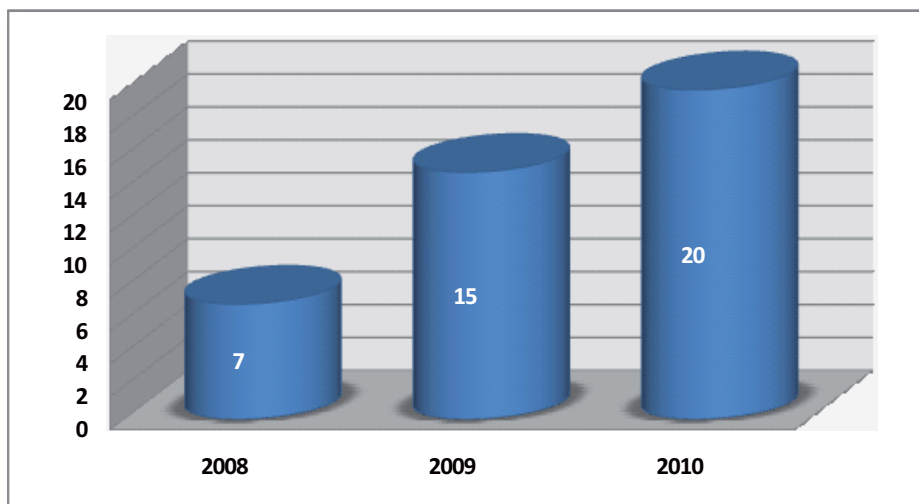
Otros ejemplos se podrían mencionar, pero los aquí descritos dan una idea de la intensa actividad que se genera a partir de la información científica que despliega el IGP. Es importante resaltar que varios de estos contratos significan para el instituto una fuente adicional de recursos, con los que se completa el limitado presupuesto que recibe.

Durante el 2010, el IGP generó ingresos directamente recaudados por unos S/875.395 relacionados directamente con los contratos y convenios de servicios y otras actividades de colaboración. Estos fondos se distribuyen entre las áreas o se destinan a instrumental, para seguir brindando a la comunidad una excelente calidad de investigación que, posteriormente, se aplicará en servicios que benefician a los peruanos.

## CANTERA DE NUEVO CIENTÍFICOS

La Dirección de Asuntos Académicos (DAA) se encarga de una importante actividad en el IGP: organizar y desarrollar los programas de capacitación al más alto nivel, con los que se formarán a los futuros científicos que el Perú necesita. Para ello la institución cuenta con la experiencia de un staff conformado por investigadores y profesionales de alta categoría, además de instalaciones, equipo de cómputo de última generación y biblioteca especializada.

Durante el 2010 siguió aumentando el número de estudiantes y egresados de universidades nacionales que recibieron becas para desarrollar sus trabajos de tesis en temas de geofísica, gracias al programa de becas que ofrece el IGP. En el 2008 se contó con 7 tesis, para el 2009 la cifra aumentó a 15 y en el 2010 se contabilizaron 20 jóvenes investigadores, lo que demuestra el interés creciente por hacer ciencia.



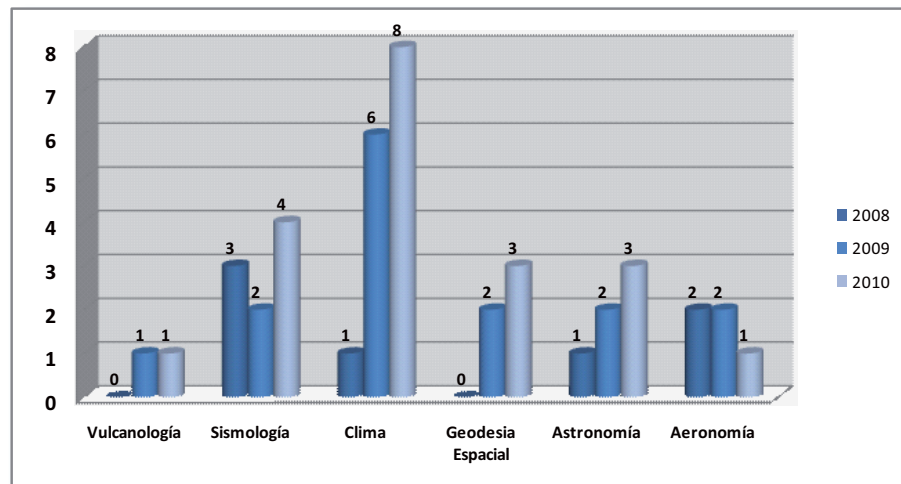
Tesistas 2008 - 2010

El mayor número de investigaciones en el 2010 estuvo relacionado con variabilidad y cambio climático (14 en total), y varias de ellas formaron parte de los trabajos del instituto sobre eventos meteorológicos extremos en el valle del río Mantaro desarrollados como parte del proyecto Maremex-Mantaro. Los tesis analizaron los procesos físicos relacionados a sequías, lluvias intensas y heladas, tormentas, así como el impacto de las heladas en la salud. El otro tema de investigación fue el pronóstico del fenómeno El Niño.

En cuanto a las tesis relacionadas a sismología (6), los temas también estuvieron vinculados a proyectos e investigaciones desarrolladas por el IGP. Entre ellas se puede mencionar el estudio de Lima como escenario de un sismo de gran magnitud y sus consecuencias; y el análisis y evaluación de los métodos geofísicos usados para detectar sismos.

Interesantes tesis se desarrollaron también en Astronomía (5), con el aporte del equipo de telescopios instalados en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica para el estudio de la actividad solar, y en Geodesia Espacial (5), con el análisis de diversos métodos aplicados en el estudio de fuentes sísmicas y evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos y flujos torrenciales debido a lluvias intensas y determinación de la vulnerabilidad física. Una tesis en Vulcanología estuvo vinculada a la actividad sísmica del volcán Ubinas durante la erupción de 2006-2009.

Tesistas 2008 - 2010 por área



Dos tesis fueron sustentadas en este período: una en Agronomía (Gilberto Chacón Galindo, de la Universidad Nacional del Centro, tesis financiada por el proyecto IGP-Incagro) y una en Ingeniería Geofísica (Geremías Monca Anculle, de la Universidad Nacional San Agustín).

Es importante resaltar que –como un aporte y un estímulo a la investigación de los jóvenes– Asuntos Académicos publicó el volumen 11 del Compendio de Trabajos de Investigación Realizados por Estudiantes durante el 2009. Esta revista selecciona 15 artículos escritos por tesistas y estudiantes de pasantía y se distribuye en universidades e institutos de investigación de todo el país. De esta manera, el IGP busca despertar el apego de los jóvenes por la generación de artículos con rigor científico y motivar el interés del público en general por la ciencia.

## DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y ACTIVIDAD ACADÉMICA

Además, durante el 2010, se realizó un alto número de conferencias científicas en la sede central del IGP, orientadas a divulgar las investigaciones de las diversas áreas de la institución y otros temas de trascendencia para la comunidad científica y para el público interesado. Expertos de diversas instituciones del mundo (Estados Unidos, Finlandia, Nueva Zelanda, Brasil, entre otros países) participaron junto con los investigadores del IGP en estas charlas que se desarrollaron los días viernes.

Una de las actividades más importantes del año fue la co-organización del XVII Encuentro Científico Internacional (ECI) de verano, denominado Ronald Woodman Pollit, en homenaje a sus 50 años de labor científica en el IGP. La institución desarrolló la sesión sobre “Ciencias de la Tierra, la atmósfera y el espacio”

Jóvenes becarios del IGP que desarrollaron su tesis en el año 2010. Ellos provienen de diversas universidades a nivel nacional.



en la sede nacional del Colegio de Ingenieros del Perú, en una jornada de dos días y seis subsecciones, en enero del 2010.

En diciembre se realizó un evento importante, el Seminario de Tesistas, que se organiza cada año para que los becarios presenten en público los avances de sus investigaciones y compartan experiencias. Este año se presentaron 19 tesistas, de cinco áreas de investigación. Las universidades de las que provienen son la UNMSM, Pontificia Universidad Católica del Perú, Universidad Nacional San Agustín, Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Federico Villarreal y Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

## **BIBLIOTECA CENTRAL: EL CAMINO VIRTUAL**

La DAA también se encarga de administrar la biblioteca central del IGP, una herramienta de enorme valor para las investigaciones y trabajos de tesis de los estudiantes, y que también está abierta a los investigadores visitantes, estudiantes de colegios y universidades, así como al público interesado en la ciencia.

En los últimos años, la biblioteca se ha venido enriqueciendo con una cantidad mayor de volúmenes, hasta completar los 5,286 títulos en su colección. Cuenta con libros, revistas especializadas y periódicas, monografías, tesis, resúmenes de congresos, recursos electrónicos y mapas. Dos veces al mes se lanza una alerta bibliográfica en formato virtual, para divulgar entre los interesados las novedades que llegan.

Durante los últimos meses del 2010 se empezó a desarrollar una base de datos en formato electrónico, que facilitará a los interesados el acceso a la información de la biblioteca y permitirá colaboraciones con otras instituciones y universidades, a través de intercambios o préstamos.

Con estas actividades, el IGP cumple una serie de objetivos fundamentales: generar y transmitir el conocimiento científico a la comunidad, incentivar la investigación entre los estudiantes de nivel superior, y promover la producción de nueva ciencia, a través de la mirada crítica y lúcida de la juventud.

# RECURSOS DE ALTA CATEGORÍA



## *Nuestro personal y nuestros equipos*

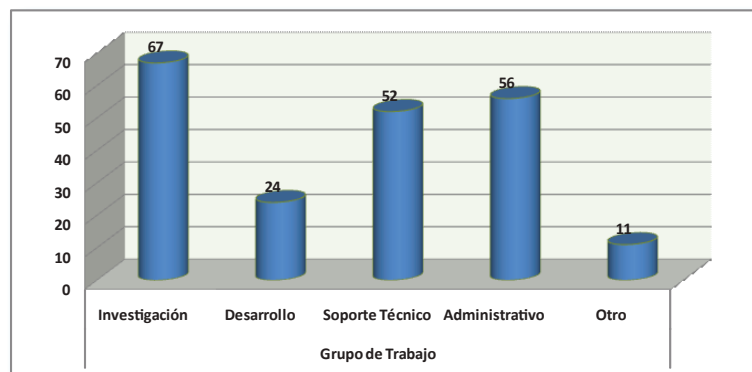


Estación sísmica de Chachapoyas.

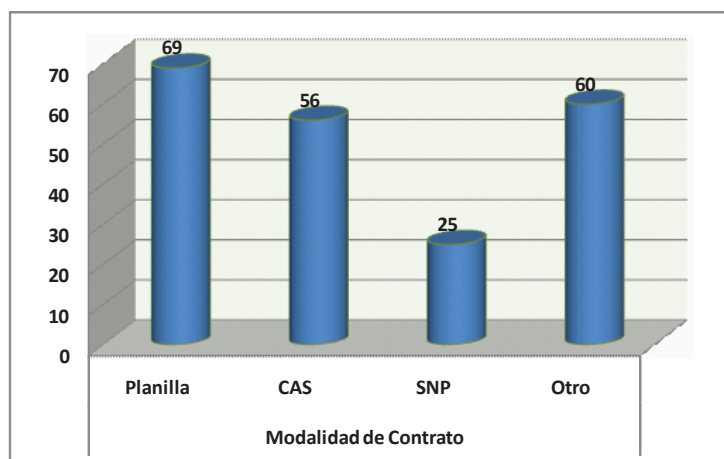
## EXPERTOS A CARTA CABAL

*El Instituto Geofísico del Perú tiene el orgullo de contar en sus filas con personal altamente capacitado, entre científicos, ingenieros, técnicos y personal administrativo, con las mejores calificaciones dentro de sus áreas y, sobre todo, con sólidos principios personales. Son ellos los encargados de generar ciencia y de brindar las condiciones básicas y necesarias para que la institución siga adelante.*

La misión fundamental del IGP es hacer y divulgar ciencia, por lo que necesita de personal idóneo para desarrollar la labor científica y también de colaboradores que generen las condiciones que faciliten el flujo del conocimiento. En el 2010, el equipo de trabajo con que contó el IGP fue de 61 profesionales dedicados a la investigación, 26 al desarrollo de proyectos, 52 a soporte técnico y 56 a tareas administrativas. Once de los integrantes de este sólido grupo cuentan con doctorado y ocho con maestría.



Para contar con este personal, el IGP, dentro de sus limitados recursos económicos, cuenta con más de una fuente de financiamiento. Recursos ordinarios financian a 102 personas, 23 lo están mediante recursos recaudados directamente, 47 por fuentes externas y 26 en cuentas por encargo.

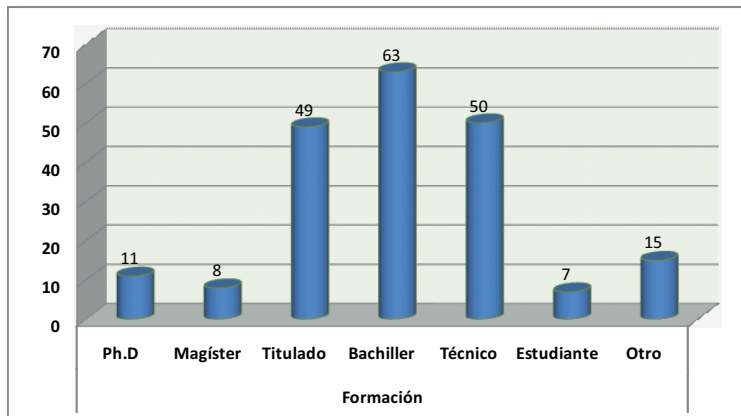


Es interesante resaltar, además, que 69 colaboradores del IGP están en planillas, 56 poseen contratos administrativos de servicios, 25 están laborando por servicios no personales y 60 por otras modalidades de contratación.

Asimismo, la institución como parte de su proceso de modernización suscribió un convenio con la Autoridad Nacional del Servicio Civil (SERVIR) para integrar a 3 Gerentes Públicos altamente capacitados para mejorar la eficiencia del gasto y la gestión administrativa del IGP.

## PLANA DE INVESTIGADORES

Cada área del IGP cuenta con personal calificado bajo la responsabilidad de un investigador principal. El área de Aeronomía está dirigida por el investigador científico principal (ICP) Jorge Chau Chong-Shing; Sismología, por el ICP Hernando Tavera Huarache; Geodesia Espacial y Peligros Geológico, por el ICP Edmundo Norabuena Ortiz; Variabilidad y Cambio Climático, por el investigador científico superior (ICS) Ken Takahashi Guevara; Astronomía y Astrología, por el investigador científico asociado José Ishitsuka Iba; y Vulcanología, por el ICS Orlando Macedo Sánchez.



Ellos se encargan de equipos especializados que integran investigadores asociados, asistentes de investigación, técnicos principales y agregados, ingenieros, colaboradores y tesistas, quienes contribuyen durante los proyectos de investigación.

La trayectoria de nuestros investigadores es ampliamente reconocida por la comunidad científica internacional, por sus constantes aportes a publicaciones especializadas que abren nuevos caminos para la ciencia, así como por su participación en congresos, seminarios y charlas de nivel internacional en las que participan. Su aporte también es invaluable en actividades de docencia y en la formación de jóvenes científicos.

## PROFESIONALES BIEN CAPACITADOS

Existen también actividades transversales ejecutadas por profesionales muy capaces, que proveen a las áreas de investigación y que constituyen una verdadera columna vertebral para la institución. Encontramos, por ejemplo, personal especialista en recepción, análisis y almacenamiento de datos satelitales y GPS, que se recogen desde las 62 estaciones que conforman la red nacional de monitoreo y que alimentan a las áreas de investigación. En el 2010, con la labor de Redes Geofísicas, se recolectaron alrededor de 363 Gigabytes (GB) de datos desde las estaciones, los que luego de ser procesados se convirtieron en insumo para la producción científica.

Contamos también con ingenieros que controlan, operan y modernizan los instrumentos y redes geofísicas, y quienes, gracias a su capacidad e inventiva, logran desarrollar aplicaciones tecnológicas novedosas que son emuladas luego en otras entidades del Perú y del mundo. Es interesante, por ejemplo, observar el trabajo que se realiza en el área de Astronomía, gracias a un técnico especializado en la fabricación de espejos para telescopios, que serán de gran utilidad para las tareas de observación de los astros.

También es importante mencionar al personal experto en electrónica e instrumentación, que da soporte y mantenimiento a los equipos centrales y a las estaciones repartidas en el país, y quienes, incluso, muchas veces mejoran su funcionamiento, etc.

En suma, se trata de un grupo humano que responde ampliamente al reto que ha encargado el Estado a esta institución, con profesionalismo, disciplina y búsqueda de la excelencia.

## EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

*El Instituto Geofísico del Perú, desde el Laboratorio Central de Mayorazgo, Lima, procesa y analiza la información que llega desde la red de estaciones sísmicas, geodésicas y otras, distribuidas en todo el país. Es también el lugar donde se realizan las tareas administrativas y buena parte de la actividad educativa. El IGP cuenta, además, con sedes descentralizadas para efectuar las tareas de investigación científica y algunos de los equipos más avanzados del mundo. En estos lugares vive la ciencia.*

Actualmente la Red Sísmica Nacional, el gran sistema nervioso desde el que parte la información para los centros de investigación del IGP, está conformada por 62 estaciones distribuidas en todo el Perú, en la que funcionan 52 sismómetros y 34 acelerómetros. El número de estaciones que transmiten en tiempo real, con tecnología satelital, aumentó en el 2010 y llegó a 19 (de 7 registradas en el 2009). Poco a poco irán migrando las demás que siguen operando mediante conexiones ADSL y telefonía.

También este año empezó la instalación de cuatro de las siete estaciones remotas que alimentarán la Red Satelital de Alerta de Tsunamis y del equipo central, que se puso en operación en el Laboratorio Central de Mayorazgo. Esta malla de vigilancia, a la que se añaden los puntos de monitoreo geodésico, se convierte en los generadores de insumos para la gran infraestructura del IGP. Además, dos sedes descentralizadas en Chiclayo y Cayma (Arequipa) reciben y analizan la data recogida en la zona para transformarla en información procesada.

Otra gran vertiente de la infraestructura del IGP se orienta a observar la alta atmósfera y el espacio. Para ello cuenta con uno de los observatorios mejor reputados del mundo, como el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), ubicado al este de Lima y considerado el instrumento más preciso que existe para medidas de campos eléctricos en la ionósfera. También destaca el Observatorio de Huancayo, primera sede del IGP y actual centro de registro geomagnético, meteorológico y de actividad solar de talla mundial.

El Radio Observatorio Astronómico de Sicaya, en Huancayo, cuya instalación llegó a un punto decisivo en el 2010, se ha convertido rápidamente en un lugar clave para investigar el espacio exterior y muy pronto lo será también el Observatorio Astronómico de Jahuay, en Ica, que tendrá labores científicas y educativas. El Observatorio de Ancón también aporta al análisis de medición geomagnética y de vigilancia de fenómenos geofísicos en la alta atmósfera.

Se trata, en resumen, de una amplia red que se mantiene en muy buenas condiciones gracias al esfuerzo y a la dedicación de investigadores y personal técnico, que destinan muchas horas de su trabajo a conservar este patrimonio que pertenece a la comunidad científica peruana y, también, a la investigación mundial.



El sistema nervioso central del IGP es la Red Sísmica Nacional, una red de estaciones distribuidas a nivel nacional, equipadas con sismómetros, acelerómetros y receptores GPS de alta sensibilidad, cuya función es vigilar la actividad sísmica en nuestro territorio.

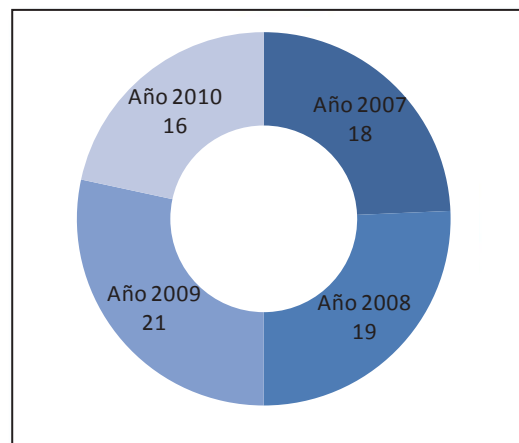
## GENERANDO CIENCIA

La labor fundamental del IGP es hacer ciencia. Y la esforzada labor de los investigadores de la institución se ve recompensada cuando los trabajos que desarrollan llegan a importantes publicaciones de alcance mundial, las que luego de un arduo proceso de revisión independiente las indexan en sus páginas, para su divulgación luego entre la comunidad científica.

### LO QUE SE HIZO EN EL 2010

Durante el 2010, un importante número de investigaciones iniciadas en el IGP llegaron a la comunidad científica a través de artículos indexados. Fueron 16 publicaciones —con autoría de la institución— las que aparecieron en revistas y compendios científicos tan importantes como Nature, Geophysical Research Letters, Journal of Geophysical Research, Meteoritics & Planetary Science, entre otros.

Es importante mencionar que estos artículos, antes de aparecer en esas publicaciones deben pasar por un proceso de revisión por parte de analistas independientes, quienes certifican la calidad de la investigación.



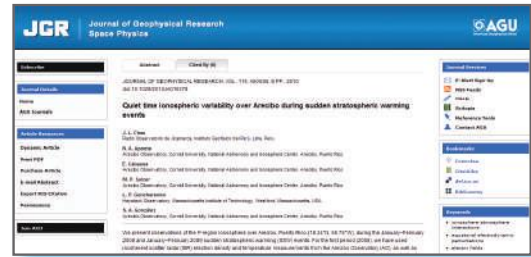
IGP - Publicaciones Científicas Indexadas por año con autoría de los Investigadores Científicos Principales

## ARTÍCULOS INDEXADOS

### Aeronomía

- Kouahl, M. N., G. Moreels, M. Faivre, J. Clairemidi, J. W. Meriwether, G. A. Lehmacher, **E. Vidal**, and **O. Veliz**, 3D Imaging of the OH mesospheric emissive layer, *Advances in Space Research*, 45, 260–267.
- Goncharenko, L. P., A. J. Coster, **J. L. Chau**, and C. E. Valladares, Impact of sudden stratospheric warmings on equatorial ionization anomaly, *Journal of Geophysical Research*, 115, A00G07, doi:10.1029/2010JA015400.

- Fejer, B. G., M. E. Olson, **J. L. Chau**, C. Stolle, H. Luhr, L. P. Goncharenko, K. Yumoto, and T. Nagatsuma, Lunar-dependent equatorial ionospheric electrodynamic effects during sudden stratospheric warmings, *Journal of Geophysical Research*, 115, A00G03, doi:10.1029/2010JA015273.
- Retterer, J. M., R. R. Ilma, M. C. Kelley, **J. L. Chau**, C. E. Valladares, L. C. Gentile, and K. Groves, Modeling the low-latitude ionospheric electron density and plasma turbulence in the november 2004 storm period, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial*, 72 (4), 350-357, doi:10.1016/j.jastp.2009.07.012.
- Sugar, G., M. M. Oppenheim, E. Bass, and **J. L. Chau**, Nonspecular meteor trail altitude distributions and durations observed by a 50 MHz high power radar, *Journal of Geophysical Research*, 115, A12334, doi:10.1029/2010JA015705.
- **Chau, J. L.**, N. A. Aponte, E. Cabassa, M. P. Sulzer, L. P. Goncharenko, and S. A. Gonzáles, Quiet time ionospheric variability over Arecibo during sudden stratospheric warming events, *Journal of Geophysical Research*, 115, A00G06, doi:10.1029/2010JA015378.
- Kelley, M. C., R. R. Ilma, M. Nicolls, P. Erickson, L. Goncharenko, **J. L. Chau**, N. Aponte, and J. U. Kozyra, Spectacular low -and mid-latitude electrical fields and neutral winds during a super storm, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial*, 72 (4), 285-291, doi:10.1016/j.jastp.2008.12.006.
- Goncharenko, L. P., **J. L. Chau**, H. L. Liu, and A. J. Coster, Unexpected connections between the stratosphere and ionosphere, *Geophysical Research Letters*, 37, L10101, doi:10.1029/2010GL043125.



## Astronomía

- Shinbori, A., Y. Nishimura, Y. Tsuji, T. Kikuchi, T. Araki, A. Ikeda, T. Uozumi, R. E. S. Otadoy, H. Utada, **J. Ishitsuka**, N. B. Trivedi, S. L. G. Dutra, N. J. Schuch, S. Watari, T. Nagatsuma, and K. Yumoto, Anomalous occurrence features of the preliminary impulse of geomagnetic sudden commencement in the South Atlantic Anomaly region, *Journal of Geophysical Research*, 115, A08309, doi:10.1029/2009JA015035.

## Geomagnetismo

- Tancredi, G., D. Cabezas, J. Bojorquez, S. Benavente, L. Sánchez, M. Varela, **E. Vidal**, **D. Rosales**, A. Lepichon, K. Antier, D. Revelle, P. Brown, R. Harris, P. Schultz, **J. Ishitsuka**, and **A. Dalmau**, A meteorite crater on Earth formed on September 15, 2007: The Carancas hypervelocity impact, *Meteoritics & Planetary Science*, 44(12), 1967–1984.

## Sismología

- Perfettini, H., J-P. Avoac, **H. Tavera**, A. Kositsky, J. M. Nocquet, F. Bondoux, M. Chlieh, A. Sladen, L. Audin, D. L. Farber, and P. Soler, Seismic and aseismic slip on the Central Peru megathrust, *Nature*, 465, 78-71, doi:10.1038/nature09062.
- Sladen, A., **H. Tavera**, M. Simons, J-P. Avoac, O. Konca, H. Perfettini, L. Audin, E. J. Fielding, F. Ortega, and R. Cavagnoud, Source model of the 2007 Mw 8.0 Pisco, Peru earthquake: Implications for seismogenic behavior of subduction megathrust, *Journal of Geophysical Research*, 115, B02405, doi:10.1029/2009JB006429.



- Arango, M.C., F. Strasser, J. Bommer, R. Boroschek, D. Comte, and **H. Tavera**, A strong-motion database from the Peru-Chile subduction zone, *Journal of Seismology*, 15(1), 19-41.

## Variabilidad y Cambio Climático

- Held, M., M. Winton, **K. Takahashi**, T. Delworth, F. Zeng, and G. Vallis, Probing the fast and slow components of global warming by returning abruptly to preindustrial forcing, *Journal of Climate*, 23, 2418-2427.
- Winton, **M.**, **K. Takahashi**, and I. Held, Importance of ocean heat uptake efficacy to transient climate change, *Journal of Climate*, 23, 2333-2344.
- Goubanova, K., V. Echevin, B. Dewitte, F. Codron, **K. Takahashi**, P. Terray, and M. Vrac, Statistical downscaling of sea-surface wind over the Peru–Chile upwelling region: diagnosing the impact of climate change from the IPSL-CM4 mode, *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-010-0824-0.



## Vulcanología

- Zobin, V., O. Melnik, M. Gonzales, **O. Macedo**, and M. Breton, Swarms of micro-earthquakes associated with the 2005 vulcanian explosion sequence at volcano de Colima, México, *Geophysical Journal International*, 182(2), 808-828, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04647.x



Asimismo, otras investigaciones de importancia se publicaron en revistas locales compendios de investigación y documentos de trabajo. Destacan, por citar algunos ejemplos, la publicación sobre el estudio de “Microzonificación sísmica-geotécnica para siete distritos de Lima Metropolitana”, trabajo que se realizó junto con el IRD; el libro “Cambio climático en la cuenca del río Mantaro: Balance de 7 años de estudio en la cuenca del Mantaro”, que publicó la editorial IGP, y la publicación “Análisis de la actividad sísmica del volcán Misti para el período 2007-2008”, que se presentó en el XV Congreso Peruano de Geología.

IGP - Publicaciones científicas indexadas por año con autoría de los investigadores científicos Principales.

INFORMACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA				
Área	Indexadas	Otras Publicaciones	Tesis	Total
Aeronomía	6	0	0	13
Astronomía	1	0	0	1
Geodesia Espacial y Peligro Geológico	0	3	0	3
Geomagnetismo	1	0	0	1
Sismología	3	2	2	7
Variabilidad y Cambio Climático	3	8	0	11
Vulcanología	0	2	0	2

## DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Durante el 2010, los investigadores asistieron a un alto número de conferencias científicas, todas orientadas a divulgar las investigaciones que realizan las diversas áreas de la institución y otros temas de trascendencia para la comunidad científica y para el público interesado. Expertos de diversas instituciones del mundo (Estados Unidos, Finlandia, Nueva Zelanda, Brasil, entre otros países) participaron junto con los investigadores del IGP.

PRESENTACIONES			
Área	Nacionales	Internacionales	Total
Aeronomía	19	34	77
Astronomía	2	0	2
Geodesia Espacial y Peligro Geológico	7	1	8
Geomagnetismo	7	1	8
Sismología	81	4	85
Variabilidad y Cambio Climático	66	8	75
Vulcanología	1	1	2

Presentaciones realizadas por los investigadores científicos

Destaca la intensa actividad del área de Sismología, debido a la alta demanda de información sobre movimientos sísmicos como consecuencia del terremoto ocurrido a inicios del 2010 en Chile. Los investigadores del IGP tuvieron participación en conferencias realizadas en el Perú, Brasil y Bolivia.

En cuanto a Variabilidad y Cambio Climático, los temas más importantes fueron los resultados de la investigación sobre eventos extremos en el valle del Mantaro y el cambio climático y la gestión de riesgos. Personal del IGP realizó presentaciones en el Perú, Brasil, Ecuador, Escocia, entre otros países.

Los investigadores del área de Aeronomía disertaron sobre el estudio de la ionósfera y tecnologías de radar y comunicaciones, entre otros temas, en conferencias y presentaciones realizadas en el Perú, Estados Unidos, Suiza, Japón y Puerto Rico. En general fue un año muy activo para la divulgación científica en nuestra institución.

# TRABAJO EN EQUIPO





## CONVENIOS PARA EL DESARROLLO

*Hacer ciencia no es una cuestión sencilla ni cuesta poco. Por ello el IGP apuesta por abrir sus puertas al trabajo junto con otras instituciones nacionales e internacionales que promueven la investigación. Gracias a esto enriquece sus proyectos con enfoques interdisciplinarios y mantiene viva la esforzada tarea de promover la ciencia en el Perú.*

Varios de los más importantes proyectos, investigaciones y labores educativas ejecutados en el 2010 tuvieron el aporte decisivo de instituciones nacionales y foráneas que apoyan a la ciencia. Para el IGP se trata de un respaldo fundamental por varios motivos: primero, que el trabajo colaborativo enriquece las investigaciones con un enfoque multidisciplinario; segundo, le permite ampliar un presupuesto de apertura bastante estrecho; y tercero, facilita la participación en el Perú de investigadores y estudiantes de otros países del mundo, quienes se convierten también en promotores científicos.

Destacan en este aspecto importantes convenios para investigación en Sismología con tres instituciones de gran prestigio. Con el Instituto Caltech de California y la Universidad de California, Los Ángeles, se trabajó un proyecto de monitoreo de la placa de Nazca con una red de 100 estaciones, distribuidas en el sur del Perú. Asimismo, con la Universidad de Arizona, fue posible instalar otras 20 estaciones de banda ancha para el estudio de la formación de la Cordillera de los Andes.

El Institute de Recherche pour le Développement (IRD) de Francia aportó tanto con investigaciones en sismología (red de GPS en el norte del Perú) como en variabilidad y cambio climático, a través de los estudios sobre la interacción océano-atmosférica en el mar peruano y el análisis del fenómeno El Niño. Vulcanología fue otra área que tuvo aporte del instituto francés, tanto en apoyo científico para el estudio del sismovulcanismo en el sur peruano como en donación de equipos.

Los proyectos de investigación en la cuenca del río Mantaro, de los cuales han salido una nutrida cantidad de temas de tesis y un modelo de pronóstico de precipitaciones, contó con el apoyo de Incagro, oficina estatal encargada de innovación en el agro peruano, y de la IDRC, fondo canadiense que apoya los proyectos de generación y divulgación de ciencia y tecnología.

Es importante resaltar el acuerdo cooperativo firmado en forma continua por el IGP con Cornell University, desde 1979, por el cual el Radio Observatorio de Jicamarca es operado con apoyo de la National Science Foundation de los EE.UU. Gracias a este convenio, el ROJ puede realizar investigaciones básicas en aeronomía y meteorología con los aportes recibidos, mientras que Cornell obtiene datos del radar de dispersión incoherente a una tasa aproximada de 1,000 horas por año, durante el período del acuerdo.

Con Boston College se firmó en el 2006 un convenio para llevar adelante el proyecto Low-latitude Ionospheric Sensor Network (LISN), cuyo objetivo es el monitoreo constante de la ionósfera ecuatorial para rea-

Tormenta en Chaquicocha, en la cuenca del río Mantaro. Esta temporada lluviosa produjo impactos particularmente intensos sobre la población de la región Junín.



lizar estudios que permitan comprender los procesos físicos y electromagnéticos que se producen en la región ecuatorial. Estos estudios serán fundamentales para analizar los efectos que los fenómenos ecuatoriales originan en la atmósfera. El proyecto funciona como un observatorio de instrumentos geofísicos, GPS, magnetómetros e ionosondas, que trabajan de manera constante y envían datos en tiempo real.

Existen también convenios aprobados con fines científicos, entre los cuales están el firmado por ASTRA (Atmospheric and Space Technology Research Associates, de EE.UU.) y el IGP, para la operación y el mantenimiento de receptores de radiofrecuencia y GPS, a través del estudio de fenómenos de la ionósfera ecuatorial de baja latitud. Por otro lado, debemos resaltar acuerdos nacionales desarrollados con organismos y/o instituciones privadas, gubernamentales y educativas.

## DONACIONES

La Universidad de Stanford fue otra importante institución que trabajó junto con el IGP y aportó un sistema de recepción de radio para los análisis de anomalías atmosféricas en el Observatorio de Huancayo.

El área de Astronomía y Astrofísica también ha recibido importantes insumos para sus investigaciones a partir de convenios con la Facultad de Ciencias de la Universidad de Kyushu y con el Observatorio Astronómico Nacional del Japón. El Perú, al respecto, es uno de los puntos de observación del proyecto MAGDAS y envía directamente los datos recogidos hacia Japón.

Asimismo ha sido donado importante material para la observación astronómica desde el Observatorio de Hida de la Universidad de Kyoto y del Observatorio Astronómico de Nishi Harima, de la prefectura de Hyogo. Todo esto contribuye a que nuestra institución posea uno de los mejores equipamientos para observar el espacio en esta parte del planeta.

También es fundamental resaltar la colaboración de entidades educativas peruanas, como la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Universidad de Piura, Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano y Pontificia Universidad Católica del Perú, las que contribuyen no solamente con aportes a la investigación, sino también con guardar en sus límites parte del instrumental que utilizan tanto científicos como estudiantes de tesis.

Estas son solo algunas de las instituciones que durante el 2010 han apoyado los esfuerzos del IGP por generar ciencia en el Perú. Aportar con conocimientos para prevenir desastres naturales es una labor fundamental de nuestra institución. Generar tecnología que ayude a los peruanos a progresar, además de formar a las futuras generaciones de científicos, son también objetivos principales de nuestra labor. Para ese motivo, con el apoyo del Estado y de nuestros colaboradores, seguimos apostando por la ciencia como el pilar fundamental que pondrá al Perú a la vanguardia.

# UNA GESTIÓN TRANSPARENTE



# ESTADOS FINANCIEROS



El 2010 el IGP inició el año con un presupuesto de casi S/.5,4 millones, lo cual representó una reducción significativa respecto de los más de S/.6,3 millones con los que inició el 2009. Esa reducción, de poco más de 14% en los ingresos de la institución, respondió a una política general de austeridad del Gobierno Central. Sin embargo, el presupuesto se completó con ingresos por recursos directamente recaudados, transferencias, donaciones y convenios, hasta completar un monto general de S/.9,5 millones para el año.

## FINANCIAMIENTO E INGRESOS

El Presupuesto Institucional de Apertura (PIA) del IGP ascendió a S/.5,397,416. El 87% de este monto se financió con recursos ordinarios del Tesoro Público, el 10% con recursos provenientes de donaciones y transferencias y 3% con recursos directamente recaudados.

Al finalizar el período fiscal 2010, el IGP logró alcanzar un presupuesto institucional modificado (PIM) por toda fuente de financiamiento de S/.9,510,658 lo que significa un incremento de 76% respecto al PIA. El mayor incremento porcentual se dio en la fuente de financiamiento de Recursos Directamente Recaudados, con un monto mayor en 510%, principalmente como consecuencia de los servicios que presta el IGP hacia otras instituciones.

La fuente de financiamiento Recursos Ordinarios experimentó un incremento del 69%, como consecuencia de la transferencia de S/.1,000,000 por parte del Ministerio del Ambiente para atender gastos correspondientes a la investigación de desastres naturales y la transferencia de S/.2,1 millones para la ejecución del proyecto de inversión pública Alerta Temprana de Tsunamis en la Costa Peruana.

PRESUPUESTO INSTITUCIONAL APERTURA  
PIA 2010 - S/. 5,397,416

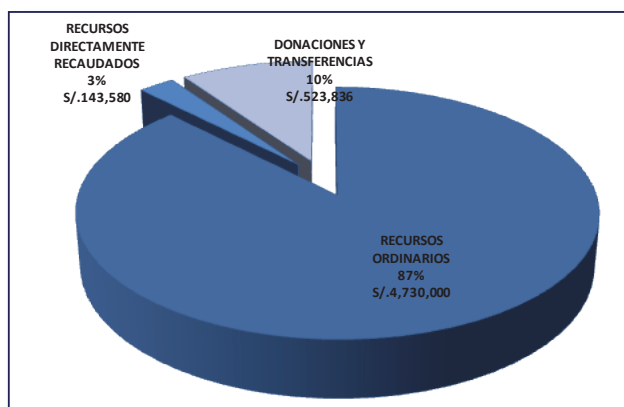


Figura N° 1: Elaboración IGP

PRESUPUESTO INSTITUCIONAL MODIFICADO  
PIA 2010 - S/. 9,510,658

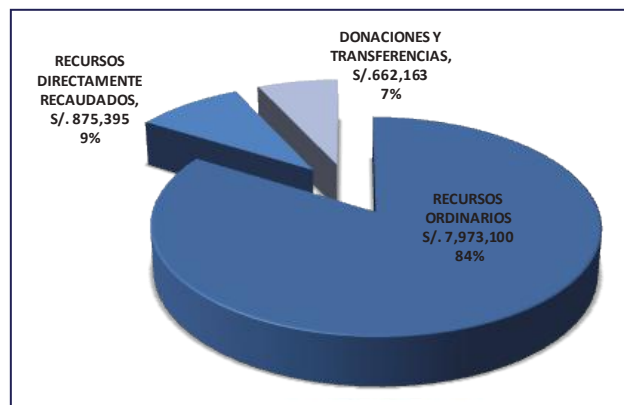


Figura N° 2: Elaboración IGP

PRESUPUESTO INSTITUCIONAL DE INGRESOS 2010				
FUENTE DE FINANCIAMIENTO	PIA	PIM	INCREMENTO	%
<b>RECURSOS ORDINARIOS</b>	<b>4,730,000</b>	<b>7,973,100</b>	<b>3,243,100</b>	<b>69%</b>
Presupuesto Inicial (Ley N° 29465)	4,730,000	4,730,000		
Créditos Suplementarios				
Transferencias de Partidas		3,243,100	3,243,100	
<b>RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS</b>	<b>143,580</b>	<b>875,395</b>	<b>731,815</b>	<b>510%</b>
Presupuesto Inicial (Ley N° 29465)	143,580	143,580		
Créditos Suplementarios		731,815	731,815	
Transferencias de Partidas				
<b>DONACIONES Y TRANSFERENCIAS</b>	<b>523,836</b>	<b>662,163</b>	<b>138,327</b>	<b>26%</b>
Presupuesto Inicial (Ley N° 29465)	523,836	523,836		
Créditos Suplementarios		138,327	138,327	
Transferencias de Partidas				
<b>TOTAL</b>	<b>5,397,416</b>	<b>9,510,658</b>	<b>4,113,242</b>	<b>76%</b>
Presupuesto Inicial (Ley N° 29465)	5,397,416	5,397,416		
Créditos Suplementarios		870,142	870,142	
Transferencias de Partidas		3,243,100	3,243,100	

Fuente: Conciliación del Presupuesto 2010

## COMPORTAMIENTO DE TODOS LOS GASTOS

Para el período fiscal 2010, el IGP logró ejecutar por toda fuente de financiamiento S/. 8,962,344, lo que representa el 94% respecto al PIM, no se logró alcanzar el 100% debido al Decreto de Urgencia N° 037. Este porcentaje se distribuyó en gastos corrientes con 74% y gastos de capital con 26%. La alta ejecución del 2010 convierte al IGP en una de las instituciones públicas de mayor eficacia en su ejecución presupuestal.

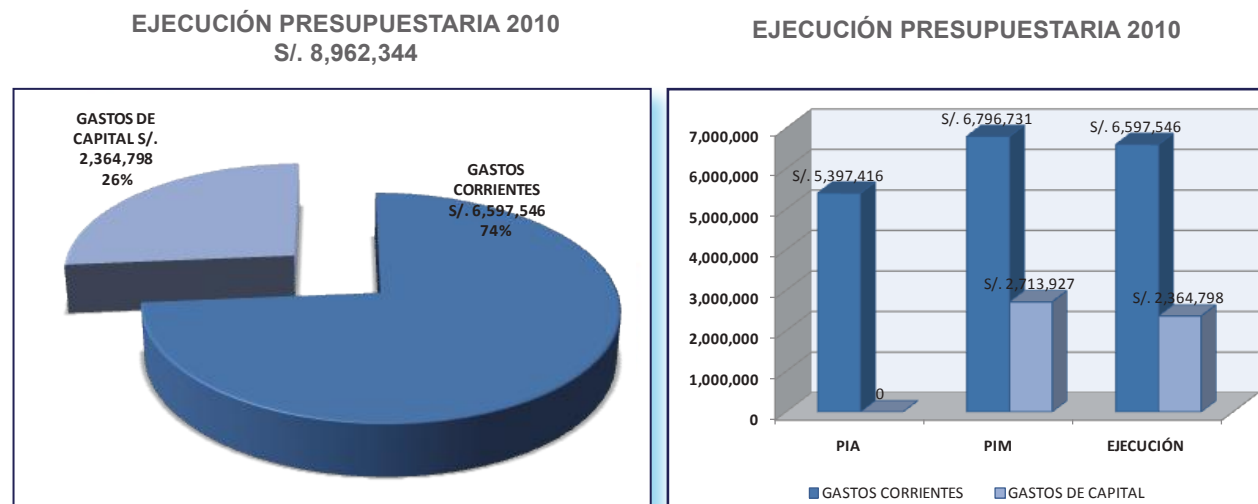
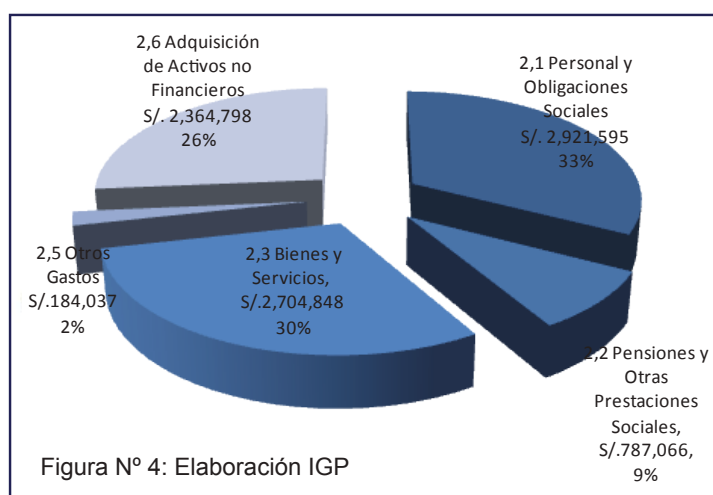


Figura N° 3: Elaboración IGP

Analizando la composición del gasto ejecutado, el 33% corresponde a la fuente de Personal y Obligaciones Sociales, el 30% a Bienes y Servicios y 26% a Adquisición de Activos no Financieros.

### EJECUCIÓN GENÉRICA DE GASTO 2010 TODA FUENTE



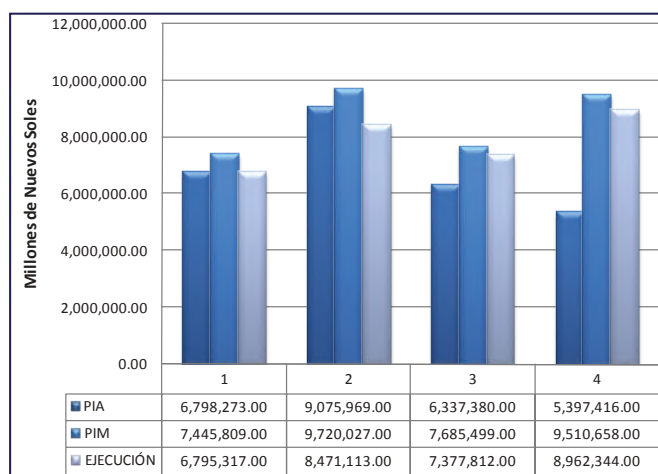
PRESUPUESTO INSTITUCIONAL DE GASTO 2010				
TIPO Y GENERICA DE GASTO	PIA	PIM	EJECUCIÓN	EJE/PIM
<b>RECURSOS ORDINARIOS</b>	<b>4,730,000</b>	<b>7,973,100</b>	<b>7,781,518</b>	
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>4,730,000</b>	<b>5,758,990</b>	<b>5,617,937</b>	<b>98%</b>
2,1 Personal y Obligaciones Sociales	2,882,218	2,812,642	2,809,878	100%
2,2 Pensiones y Otras Prestaciones Sociales	788,643	843,024	787,066	93%
2,3 Bienes y Servicios	974,739	1,918,735	1,836,956	96%
2,5 Otros Gastos	84,400	184,589	184,037	100%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>0</b>	<b>2,214,110</b>	<b>2,163,581</b>	<b>98%</b>
2,6 Adquisición de Activos no Financieros		2,214,110	2,163,581	98%
<b>RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS</b>	<b>143,580</b>	<b>875,395</b>	<b>556,516</b>	
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>143,580</b>	<b>375,578</b>	<b>355,299</b>	<b>95%</b>
2,3 Bienes y Servicios	143,580	375,578	355,299	95%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>		<b>499,817</b>	<b>201,217</b>	<b>40%</b>
2,6 Adquisición de Activos no Financieros		499,817	201,217	40%
<b>DONACIONES Y TRANSFERENCIAS</b>	<b>523,836</b>	<b>662,163</b>	<b>624,310</b>	
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>523,836</b>	<b>662,163</b>	<b>624,310</b>	<b>94%</b>
2,1 Personal y Obligaciones Sociales	115,000	120,365	111,717	93%
2,3 Bienes y Servicios	408,836	541,798	512,593	95%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>				
2,6 Adquisición de Activos no Financieros				
<b>TOTAL</b>	<b>5,397,416</b>	<b>9,510,658</b>	<b>8,962,344</b>	<b>94%</b>

Fuente: Conciliación del Presupuesto 2010

### COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PRESUPUESTO DEL IGP

Para el período 2010, el IGP inició sus actividades con un presupuesto de apertura menor en 15% respecto al monto del período 2009, como consecuencia del recorte presupuestal en la asignación de recursos correspondientes a adquisición de activos no financieros, por parte del Ministerio de Economía y Finanzas.

Contrariamente, para el mismo período 2010, el IGP obtuvo una ejecución superior en 22% respecto a la ejecución del período 2009, debido a la transferencia de un millón de nuevos soles por parte del Ministerio del Ambiente y a la ejecución del proyecto Alerta Temprana de Tsunamis por un valor de 2,1 millones de nuevos soles. A esto se suman los mayores ingresos generados por la prestación de servicios.



## INGRESOS INDIRECTOS

El IGP, por su conocimiento experto en el campo de la geofísica, ha sido elegido durante varios años y de manera consecutiva por instituciones científicas y de investigaciones extranjeras para ejecutar proyectos de investigación conjunta. En tal sentido, ha implementado acciones e instalado instrumentos para la observación de fenómenos geofísicos con implicancia a nivel internacional. La mayoría de estas actividades son financiadas con fondos transferidos para fines específicos y son ejecutados como encargos.

PROYECTOS POR ENCARGO				
REPORTE DE SALDO DE CUENTAS EN NUEVOS SOLES AL FINALIZAR EL PERIODO PRESUPUESTAL				
AÑO	2007	2008	2009	2010
TIPO DE CAMBIO SOLES SIAF	2.995	3.137	2.888	2.808
CTBTO	231,207.6	149,968.6	110,984.0	115,285.1
REDS	17,743.8	17,357.5	15,344.8	14,974.9
BOSTON COLLEGE - Proy Volume	376,750.0	139,961.4	189,376.1	189,006.1
UNIVERSIDAD CLEMSON	89,296.0	88,089.2	52,996.3	48,294.2
UNIVERSIDAD CALIFORNIA	5,113.7	4,887.3	3,822.7	4,469.4
BOSTON LISN	771,808.6	541,846.0	320,619.4	74,077.1
INCAGRO - PROY. INVESTIG Y EXTENSION AGRIC	6,402.6	62,500.9	24,937.1	
PROYECTO MAREMEX MANTARO			25,930.4	101,786.7
<b>TOTAL SALDO EN S/.</b>	<b>1,498,322.4</b>	<b>1,004,610.8</b>	<b>744,010.8</b>	<b>547,893.4</b>

Además de los proyectos por encargo, la institución desde hace ya varios años viene recibiendo la colaboración de la Universidad de Cornell de los Estados Unidos para financiar actividades de investigación geofísica, relacionadas al estudio de la Alta Atmósfera. Esta colaboración se realiza en dos modalidades:

- Directa, es decir, los recursos otorgados financian los gastos de investigación del Radio Observatorio de Jicamarca, entre ellos el consumo de energía eléctrica, comunicaciones, Internet, servicios varios y personal científico y técnico dedicado a las labores de investigación. El monto anual aproximado de la colaboración —el mismo que está sujeto a ajustes anuales acorde a los compromisos establecidos— es de \$ 180,000.00 dólares americanos.
- Indirecta, el apoyo que realiza la Universidad de Cornell mediante Convenio de Colaboración con Ciencia Internacional (persona jurídica sin fines de lucro dedicada a promover actividades de investigación científica en el Perú). La Universidad contribuye con personal científico, técnico y administrativo así como la subvención de bienes y servicios al ROJ a través de Ciencia Internacional, por un monto aproximado anual de \$ 750,000.00 dólares americanos.

**BALANCE GENERAL**  
**AL 31 DE DICIEMBRE DEL 2010**  
 (Expresado en Nuevos Soles)

RUBRO	2010	2009	RUBRO	2010	2009
<b>ACTIVO</b>			<b>PASIVO Y PATRIMONIO</b>		
<b>ACTIVO CORRIENTE</b>			<b>PASIVO CORRIENTE</b>		
Efectivo y Equivalente de efectivo	681,717	341,516	Obligaciones Tesoro Publico	328,950	401,431
Inversiones Disponibles	0.00	0.00	Sobregiros Bancarios	0.00	0.00
Cuentas por Cobrar (Neto)	255,978	162,428	Cuentas por pagar	157,551	580,763
Otras Cuentas por Cobrar (Neto)	70,798	51,517	Operaciones de Credito	0.00	0.00
Existencias (Neto)	18,125	11,040	Parte Cte Deudas a Largo Plazo	0.00	0.00
Gastos pagados por anticipado	701	1,844	Otras Cuentas del Pasivo	0.00	103,950
<b>TOTAL ACTIVO CORRIENTE</b>	<b>1,027,318</b>	<b>568,344</b>	<b>TOTAL PASIVO CORRIENTE</b>	<b>486,501</b>	<b>1,086,143</b>
			<b>PASIVO NO CORRIENTE</b>		
			Deudas a Largo Plazo	0.00	10,776
			Beneficios Sociales y Obligac Prev	3,498,427	3,138,113
			Ingresos Diferidos	0.00	0.00
			Otras Cuentas del Pasivo	0.00	0.00
			Provisiones	0.00	89,305
			<b>TOTAL PASIVO NO CORRIENTE</b>	<b>3,498,427</b>	<b>3,238,194</b>
<b>ACTIVO NO CORRIENTE</b>			<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>3,984,929</b>	<b>4,324,338</b>
Cuentas por Cobrar a Largo plazo	0.00	0.00	<b>PATRIMONIO</b>		
Otras Cuentas por Cobrar a Largo lazo	0.00	0.00	Hacienda Nacional	169,704,072	169,704,072
Inversiones (Neto)	0.00	0.00	Reservas Legales	(615)	0.00
Edificios, Estructuras y Act no produc (Neto)	28,943,135	32,947,029	Resultados Acumulados	(123,745,031)	(121,698,718)
Vehiculos, Maquinarias y otros (Neto)	19,311,391	18,445,368	<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>45,958,426</b>	<b>48,005,354</b>
Otras Cuentas del Activo (Neto)	661,510	368,951	<b>TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO</b>	<b>49,943,355</b>	<b>52,329,692</b>
<b>TOTAL ACTIVO NO CORRIENTE</b>	<b>48,916,037</b>	<b>51,761,348</b>	Cuentas de Orden	20,540,402	18,164,469
<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>49,943,355</b>	<b>52,329,692</b>			
Cuentas de Orden	20,540,402	18,164,469			

**ESTADO DE GESTIÓN**  
 Por los años terminados el 31 de diciembre del 2010  
 (Expresado en nuevos soles)

RUBRO	2010	2009
<b>INGRESOS</b>		
Ingresos Tributarios Netos	0.00	0.00
Ingresos No Tributarios	756,046	510,304
Trasposos y Remesas Recibidas	7,943,879	5,012,901
Donaciones y Transferencias Recibidas	2,648,998	1,304,577
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>11,348,924</b>	<b>6,827,783</b>
<b>COSTOS Y GASTOS</b>		
Costo de ventas	0.00	0.00
Gastos en Bienes y servicios	(2,830,217)	(2,574,346)
Gastos de Personal	(2,870,888)	(2,841,383)
Gastos por Pens Prest. Y Asistencia Social	(78,810)	(161,555)
Donaciones y Transferencias Otorgadas	0.00	0.00
Trasposos y Remesas Otorgadas	0.00	0.00
Estimaciones y provisiones del Ejercicio	(6,042,474)	(4,274,467)
<b>TOTAL COSTOS Y GASTOS</b>	<b>(11,822,390)</b>	<b>(9,851,751)</b>
<b>RESULTADO DE OPERACIÓN</b>	<b>(473,466)</b>	<b>(3,023,968)</b>
<b>OTROS INGRESOS Y GASTOS</b>		
Ingresos Financieros	56,589	4
Gastos Financieros	0.00	0.00
Otros Ingresos	3,789,816	1,167,588
Otros Gastos	(5,419,251)	(199,883)
<b>TOTAL OTROS INGRESOS Y GASTOS</b>	<b>(1,572,847)</b>	<b>967,709</b>
<b>RESULTADO DEL EJERCICIO SUPERAVIT (DEFICIT)</b>	<b>(2,046,313)</b>	<b>(2,056,260)</b>



Edición e Impresión por  
Media Corp Perú S.A.C.  
Calle Loma de los Lirios 162 Int. 201 Surco  
Teléfono:  
274 5726

Diseño Gráfico y diagramación:  
María Villaverde  
Fotografías:  
Investigadores y personal del IGP

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011-08293

Impreso en Lima en el mes de julio del 2011  
Tiraje: 500 ejemplares

Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización previa y escrita del  
Instituto Geofísico del Perú

