



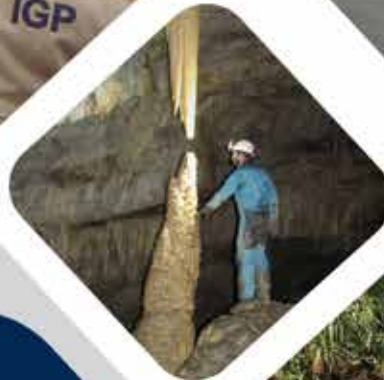
PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



# Memoria Institucional 2015



Ciencia para protegernos,  
ciencia para avanzar.

**Editado por:**  
**Geofísica & Sociedad**

**Fotografías:**  
**Agradecimiento especial a las subdirecciones, observatorios y oficinas del IGP.**

**Impreso por Empresa: Imprenta Editora Gráfica Real SAC.**  
**Jr. Independencia 953 – Trujillo – La Libertad**  
**Teléfono (44) 25-3324**

**Lima, junio del 2016**

**Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú:**  
**2012-07186**

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

**Fotografías carátula**

- 1. Cuenca del río Araza, en Madre de Dios.**
- 2. Medición de potencial espontáneo en el volcán Misti.**
- 3. Recolección de muestras para estudios en paleoclimatología.**
- 4. Evaluaciones geodinámicas en el río Casma (Ancash).**



Ciencia para protegernos,  
ciencia para avanzar.



El radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca cuenta con 18,432 antenas dipolo.

# CONTENIDO

## 07 RESUMEN EJECUTIVO

## 08 MISIÓN Y VISIÓN DEL IGP

## 09 ORGANIGRAMA

## 10 MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

## 13 INVESTIGADORES CIENTÍFICOS

## 14 GENERANDO CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS

Artículos Indexados	14
Divulgación Científica	16

## 17 SUBDIRECCIÓN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

Sismología	19	Geodesia	24
Ingeniería Sísmica	22	Geodinámica	32

## 32 SUBDIRECCIÓN CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA E HIDRÓSFERA

Climatología	34	Hidrología y Suelos	39
Oceanografía	37	Física Atmosférica	43

## 47 SUBDIRECCIÓN DE GEOFÍSICA Y SOCIEDAD

Comunicaciones	49	Planetario	52
Dimensión Humana	50	Asuntos Académicos	53

## 56 SUBDIRECCIÓN DE REDES GEOFÍSICAS

## 60 RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA

I+D&I	62	Cielo	63
Operaciones	63		

## 67 OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR

## 73 OBSERVATORIO DE HUANCAYO

Astronomía	75
------------	----

## 77 OPTIMIZANDO LAS TECNOLOGÍAS E INFRAESTRUCTURAS

## 81 COOPERACIÓN INSTITUCIONAL Y SERVICIOS

## 88 MEJORANDO LA GESTIÓN INSTITUCIONAL



Estación GPS instalada en La Yarada - Tacna.

# RESUMEN EJECUTIVO

“La Tierra es un ser vivo”, es la metáfora que ha terminado por convertirse en una premisa común entre las sociedades del mundo tras milenios de interacción del hombre con el planeta. Y esta condición de “viviente” que se le ha otorgado es la que conlleva a su constante estudio para poder entenderla, aprovechar sus virtudes y saber cómo protegernos de sus defectos, aquellos que llamamos peligros naturales.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), siguiendo esta premisa, cumple el rol de estudiar a la Tierra a través de la geofísica y ciencias afines. Durante el año 2015 esta labor se realizó a través del monitoreo de la actividad sísmica y volcánica del país, de la presencia del fenómeno El Niño, del movimiento de la corteza, de huaicos y deslizamientos, eventos hidrológicos extremos, derretimiento glaciar, heladas, entre otros.

Durante el citado año el Observatorio de Huancayo, cuna del IGP, ha retomado los bríos de antaño al consolidar importantes actividades en sus instalaciones, considerando que al telescopio que se opera en coordinación con la Universidad Nacional de Ingeniería, se suman un telescopio para la detección de objetos espaciales y su seguimiento por parte de la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (Conida), así como de un

radar perfilador de nubes y precipitación por parte del propio IGP.

Asimismo, las otras dos sedes desconcentradas de la institución, el Observatorio Vulcanológico del Sur y el Radio Observatorio de Jicamarca, además de cumplir individualmente con sus estudios, iniciaron juntos el proyecto de monitorear los volcanes activos del sur del país mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, objetivo que se consolidará en los próximos años.

Por otro lado, siguiendo con la línea de acercar la ciencia a la sociedad, por motivo de su LXVIII aniversario el IGP rompió con el protocolo y realizó – con la presencia del Ministro del Ambiente – su primera feria geofísica, evento donde abrió las puertas de su sede central al público en general para que conozca las investigaciones que se están desarrollando y el aporte de las mismas a la comunidad nacional e incluso mundial.

De esta forma, el IGP llegó al tercer quinquenio del siglo XXI con la misma misión de sus orígenes pero con la visión fortalecida y renovada acorde a los nuevos tiempos, donde el hombre pese a que ha estudiado recurrentemente a la Tierra aún tiene mucho por conocer.

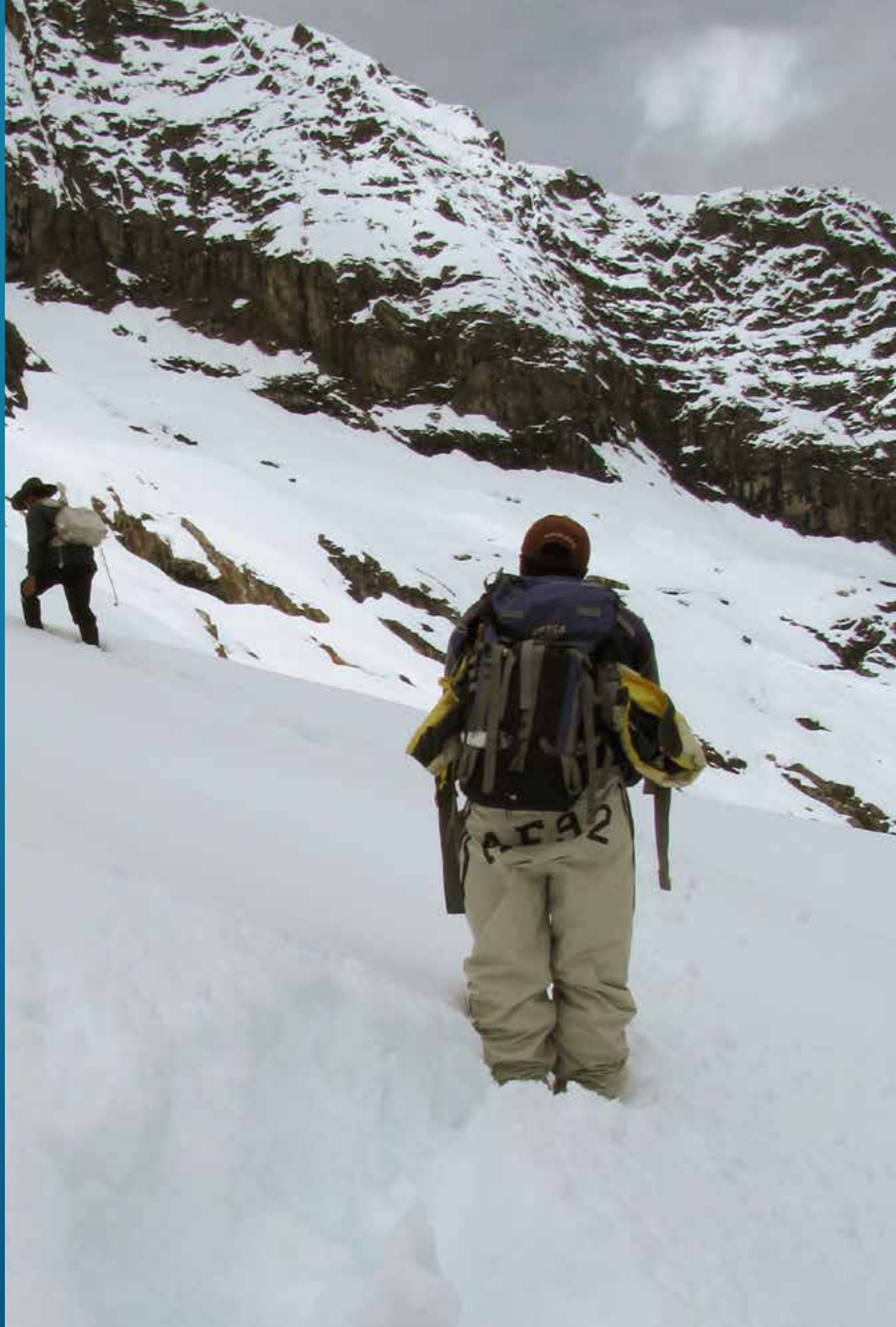
# MISIÓN Y VISIÓN

## MISIÓN

El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrita al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la Geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

## VISIÓN

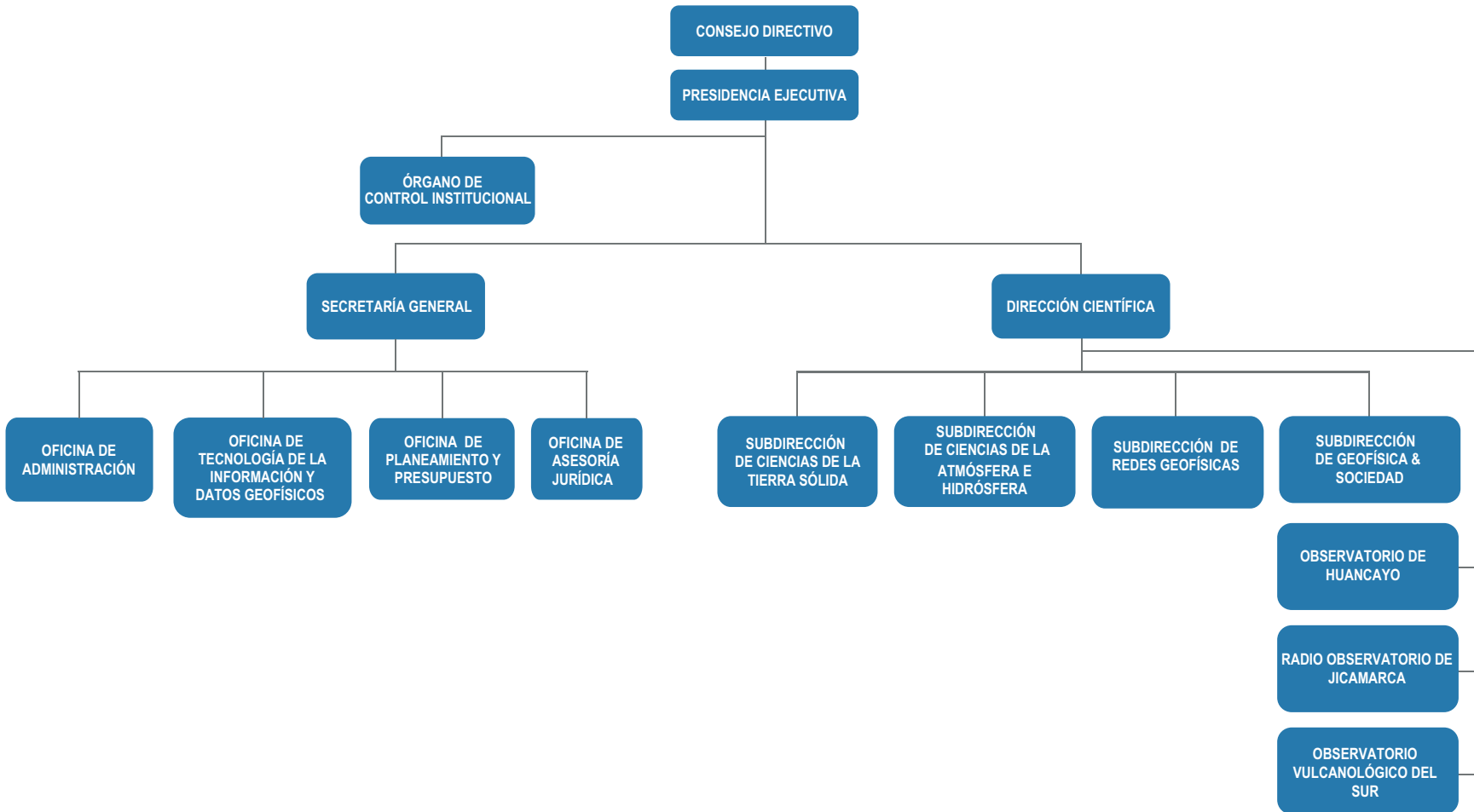
El Instituto Geofísico del Perú se ha consolidado nacional e internacionalmente como una institución pública líder en la gestión del ambiente geofísico e investigación científica, aportando significativamente a la toma de decisiones en beneficio de la sociedad peruana.



Ascenso al nevado de Chaupijanca para mantenimiento de equipos.



# ORGANIGRAMA



El presente organigrama institucional es parte del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual fue aprobado en el 2015.

**Presidente Ejecutivo**  
**Dr. Ronald Woodman Pollitt**

Actual presidente del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Máster y Ph.D. en Física Aplicada por la Universidad de Harvard. Presidente de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. y de la *American Geophysical Society*.

Premio *Edward Appleton* de la *Royal Society of London*. Premio Nacional a la Innovación. Premio Nacional de Cultura. Doctor *Honoris Causa* de las universidades: UNI, Universidad Ricardo Palma de Lima (URP) y Universidad de Piura (UDEP). Es reconocido como uno de los principales investigadores científicos del mundo en Aeronomía y ha publicado más de un centenar de artículos indexados en prestigiosas publicaciones científicas.

**Miembro**  
**Dr. Jorge Alva Hurtado**

Ingeniero Civil y magíster en Ciencias, con mención en Estructuras por la Universidad Nacional de Ingeniería (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 (ANC). Exdecano 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. Actualmente es rector de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

**Miembro**  
**Dr. Antonio Mabres Torelló**

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 (UDEP), de la que ha sido rector y actualmente es prorector. 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 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.

# CONSEJO DIRECTIVO

## Miembro Cap. Julio Vílchez Moscoso

Capitán de Fragata de la Marina de Guerra del Perú, con diplomado en Relaciones Internacionales y Defensa Nacional en la universidad UTP de Arequipa y curso de métodos de autoevaluación en la Universidad Católica del Perú.

Se ha desempeñado como jefe de la Tercera División de Control de Averías en el B.A.P. "ALMIRANTE GRAU", de la División de Ingeniería del B.A.P. "SANCHEZ CARRION", de Navegación y Comunicaciones del Departamento de Operaciones del B.A.P. "FERRE" y ha sido oficial de dotación de la Dirección de Alistamiento Naval.

Como oficial calificado en Hidrografía y Navegación ha ocupado cargos tales como comandante del B.I.C. SNP-2 bajo Convenio Marco con el IMARPE-PRODUCE, y coordinador marítimo en la ANTA XXII, entre otros.

Asimismo, ha sido comandante del B.I.C. "HUMBOLDT" desde julio del 2014 al 1 de julio del 2015. Actualmente se desempeña como jefe de la oficina de Planeamiento programación y presupuesto en la Dirección de Hidrografía y Navegación.

## Miembro Mag. Luis Montes Bazalar

Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones, formado en Ingeniería Electrónica. Con amplia experiencia profesional muy ligada a la evolución de las telecomunicaciones en el país. Actualmente se desempeña como Secretario Técnico del Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL).

Durante su trayectoria como ingeniero, planificó la red de la ex Compañía Peruana de Teléfonos (CPT), la expansión de centrales digitales en Telefónica. Asimismo, participó como Director Técnico en el comité de privatización de la Compañía Peruana de Teléfonos y Entel Perú.

Desde el año 2012 aporta con su experiencia en uno de los proyectos que el Estado peruano se ha planteado para interconectar a todo el país a través de una red de fibra óptica de más de 13.500 kilómetros, el desarrollo de la "Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica en el Perú".

## Secretario Ing. César Morales Olazabal

Mag. en Administración de Empresas por la Universidad San Ignacio de Loyola y The School of Business of California State University – Fullerton. Postgrados en Salud Pública, en dirección de entidades deportivas y estudios concluidos de doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ingeniero industrial colegiado, egresado de la Universidad de Piura (UDEP).

Más de 20 años de experiencia laboral en empresas del sector público y privado. Después de laborar en la transnacional SCANIA del Perú, se desempeñó como gerente de programación y gerente de adquisiciones en ESSALUD en el periodo 1999-2001. Miembro del equipo que lanzó AGROBANCO para luego desempeñarse como gerente de administración y RRHH entre los años 2002-2003. Ingresó al FONDO MIVIVIENDA en el 2004 como jefe de canales de atención, para luego desempeñarse como gerente de administración y planeamiento entre el 2007 y 2010. Se desempeña como secretario general del IGP desde el 2010.



Estación sísmica Atahualpa, ubicada en Cajamarca.

# INVESTIGADORES CIENTÍFICOS

- Ronald Woodman, Ph.D., U. de Harvard, EE.UU.
- José Macharé, doctor en Ciencias de la Tierra, U. de París XI, Francia.
- Pablo Lagos, Ph.D., Instituto de Tecnología de Massachusetts, EE.UU.
- Hernando Tavera, doctor en Ciencias Físicas, U. Complutense de Madrid, España.
- Edmundo Norabuena, Ph.D., U. de Miami, EE.UU.
- Orlando Macedo, doctor en Geodinámica, U. de París XI, Francia.
- Ken Takahashi, Ph.D., U. de Washington, EE.UU.
- Jhan-Carlo Espinoza, doctor en Ciencias Ambientales, U. Pierre y Marie Curie, Francia.
- Marco Milla, Ph.D., U. de Illinois en Urbana-Champaign, EE.UU.
- Danny Scipión, Ph.D., U. de Oklahoma, EE.UU.
- Ivonne Montes, doctora en Oceanografía, U. de Concepción, Chile.
- José Ishitsuka, Ph.D., U. de Tokio, Japón.
- Yamina Silva, Ph.D., Instituto Estatal de Hidrometeorología, Rusia.
- Adolfo Inza, doctor en Ciencias de la Tierra, U. Joseph Fourier, Francia.
- Antonio Pereyra, doctor en Astronomía, U. de Sao Paulo, Brasil.
- Edgardo Pacheco, Ph.D., U. de Texas en Dallas, EE.UU.
- Nobar Baella, doctor en Astronomía, Observatorio Nacional de Brasil, Brasil.
- Kobi Mosquera, doctor en Oceanografía Física, U. Paul Sabatier, Francia.
- Juan Carlos Villegas, doctor en Ciencias de la Tierra, U. de Niza SophiaAntipolis, Francia.
- James Apaéstegui, doctor en Geociencias - Paleoclimatología, U. Federal de Fluminense, Brasil.
- Sergio Morera, Ph.D. U., Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Clementine Junquas, doctora en ciencias del clima de la Escuela Politécnica de Francia.
- Eva Prieto, doctora en Oceanografía de la U. de Oviedo, España.
- Juan Carlos Gómez, M.Sc., U. Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Alejandra Martínez, M.Sc., U. Ricardo Palma, Perú.
- Hugo Trigoso, M.Sc., Inst. Nacional de Investigaciones Espaciales, Brasil.
- Isabel Bernal, M.Sc., U. Nacional Autónoma, México.
- Liliana Torres, M.Sc., U. Blas Pascal, Francia.
- Ricardo Zubieta, M.Sc., U. Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Juan Sulca, M. Sc., U. de Albany, EE.UU.
- Percy Cándor, M. Sc., U. Pontificia Católica del Perú.
- Nino Puma, M. Sc., U. de Nice Sophia-Antipolis
- Wendy Quiroz, M. Sc., U. Joseph Fourier

## PERSONAL RESPONSABLE DE SOPORTE TÉCNICO E INFORMÁTICO

- María Rosa Luna, Ing., Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

# GENERANDO CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS

## ARTÍCULOS INDEXADOS

El resultado final de toda investigación se cristaliza a través de artículos indexados publicados en revistas de prestigio internacional. En el presente año los investigadores del Instituto Geofísico del Perú han continuado con el esfuerzo de divulgar a la comunidad científica nuevos conocimientos, lográndose publicar 29 artículos.

### CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

1. Antonijevic S.K., L.S. Wagner, A. Kumar, S.L. Beck, M.D. Long, G. Zandt, **H. Tavera**, **C. Condori**, The role of ridges in the formation and longevity of flat slabs, *Nature*, doi:10.1038/nature14648, v. 524, pp. 212-215.
2. Eakin C.M., M.D. Long, L.S. Wagner, S.L. Beck, **H. Tavera**, Upper mantle anisotropy beneath Peru from SKS splitting: Constraints on flat slab dynamics and interaction with the Nazca Ridge, *Earth and Planetary Science Letters*, doi:10.1016/j.epsl.2014.12.015, v. 412, pp. 152-162.
3. Eakin C. M., M. D. Long, A. Scire, S. L. Beck, L. S. Wagner, G. Zandt, **H. Tavera**, Internal deformation of the subducted Nazca slab inferred from seismic anisotropy, *Nature Geoscience* 9, doi: doi:10.1038/ngeo2592, pp. 56–59.
4. Pulido N; Z. Aguilar, **H. Tavera**, M. Chlieh, D. Calderon, T. Sekiguchi, S. Nakai, F. Yamazaki, Scenario Source Models and Strong Ground Motion for Future Mega-earthquakes: Application to Lima, Central Peru, *Bulletin of the Seismological Society of America*, doi: 10.1785/0120140098, v 105, pp. 368-386.
5. Weber J.C., H. Geirsson, J.L. Latchman, K. Shaw, P. La Femina, S. Wdowinski, M. Higgins, C. Churches, **E. Norabuena**, Tectonic inversion in the Caribbean-South American plate boundary: GPS geodesy, seismology, and tectonics of the  $M < \inf > w < / \inf > 6.7$  22 April 1997 Tobago earthquake, *Tectonics*. doi: 10.1002/2014TC003665v. 34, pp. 1181-1194.

### CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA E HIDRÓSFERA

1. Bettencourt J. H., C. López, E. Hernández-García, **I. Montes**, J. Sudre, B. Dewitte, A. Paulmier, V. Garçon, Boundaries of the Peruvian oxygen minimum zone shaped by coherent mesoscale dynamics, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo2570, pp. 937–940.
2. Cai W., A. Santoso, G. Wang, S.-W. Yeh, S.-I. An, K.M. Cobb, M. Collins, E.H. Guilyardi, F.-F. Jin, J.-S. Kug, M. Lengaigne, M.J. Mcphaden, **K. Takahashi**, A. Timmermann, G. Vecchi, M. Watanabe, L. Wu, ENSO and greenhouse warming, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2743, v. 5, pp. 849-859.
3. **Espinoza J.C.**, **S. Chavez**, J. Ronchail, **C. Junquas**, **K. Takahashi**, W. Lavado, Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation, *Water Resources Research*, doi: 10.1002/2014WR016273, v. 51, pp. 3459-3475.
4. Duran-Alarcón C., C. M. Gevaert, C. Mattar, J. C. Jimenez-Muñoz, J. J. Pasapera-Gonzales, J. A. Sobrino, **Y. Silva-Vidal**, O. Fashe-Raymundo, T. W. Chavez-Espiritu, N. Santillan-Portilla, Recent trends on glacier area retreat over the group of Nevados Caullaraju-Pastoruri (Cordillera Blanca, Peru) using Landsat imagery, *Journal of South American Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jsames.2015.01.006, v. 59, pp. 19-26.
5. Dale A.W., S. Sommer, U. Lomnitz, **I. Montes**, T. Treude, V. Liebetrau, J. Gier, C. Hensen, M. Dengler, K. Stolpovsky, L.D. Bryant, K. Wallmann, Organic carbon production, mineralisation and preservation on the Peruvian margin, *Biogeosciences*, doi:10.5194/bg-12-1537-2015, v. 12, pp. 1537-1559.
6. Huggel C., M. Scheel, F. Albrecht, N. Andres, P. Calanca, C. Jurt, N. Khabarov, D. Mira-Salama, M. Rohrer, N. Salzmann, **Y. Silva**, E. Silvestre, L. Vicuña, M. Zappa, A framework for the science contribution in climate adaptation: Experiences from science-policy processes in the Andes, *Environmental Science and Policy*, doi:10.1016/j.envsci.2014.11.007, v. 47, pp. 80–94.
7. **Junquas C.**, L. Li, C.S. Vera, H. Le Treut, **K. Takahashi**, Influence of South America orography on summertime precipitation in Southeastern South America, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2814-8, pp. 1-23.
8. Marengo JA, **J.C. Espinoza**, J. Ronchail and L. M. Alves. [Regional Climates] Tropical South America east of the Andes [in "State of the > Climate in 2014"]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96 (7), (S179-S182).

9. Marengo JA and J.C. Espinoza, 2015. Review Article. Extreme Seasonal Droughts and Floods in Amazonia: Causes, Trends and Impacts, *International Journal of Climatology*, 36 (3), 1033-1050. doi:10.1002/joc.4420.
10. Mourre L., T. Condom, C. Junquas, T. Lebel, J. E. Sicart, R. Figueroa, A. Cochachin, Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru), *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, doi: 10.5194/hessd-12-6635-2015, v. 12, pp. 6635–6681.
11. Sicart J.E., J.C. Espinoza, L. Queno, M. Medina, Radiative properties of clouds over a tropical Bolivian glacier: seasonal variations and relationship with regional atmospheric circulation, *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4540.
12. Takahashi K., B. Dewitte, Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2665-3, v. 46, p. 1627-1645.
13. Wenju C., G. Wang, A. Santoso, M. J. McPhaden, L. Wu, F.-F. Jin, A. Timmermann, M. Collins, G. Vecchi, M. Lengaigne, M. H. England, D. Dommenget, K. Takahashi, E. Guilyardi, Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming, *Nature Climate Change* 5, doi:10.1038/nclimate2492, pp. 132–137.
14. Zubieta R., A. Getirana, J.C Espinoza, W. Lavado, Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador, *Journal of Hydrology*, doi: doi:10.1016/j.jhydrol.2015.06.064, v. 528 , pp. 599-612.

## ASTRONOMÍA

1. Gomes A.L., A.M. Magalhães, A. Pereyra, C.V. Rodrigues, A new optical polarizatin catalog for the small magellanic cloud: The magnetic field structure, *Astrophysical Journal*, doi: 10.1088/0004-637X/806/1/94.
2. Ishitsuka, J. K., 93 Years of Geomagnetic Data Acquisition at Huancayo Observatory, *Sun and Geosphere. The International Journal of Research and Applications*, v. 10.
3. Pereyra A., C.V. Rodrigues, E. Martioli, Measuring the continuum polarization with ESPaDOnS, *Astronomy and Astrophysics*, doi: 10.1051/0004-6361/201423492 v. 573.

## OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR

1. Coppola, D., O. Macedo, D. Ramos, A. Finizola, D. Delle Donne, J. del Carpio, R. White, W. McCausland, R. Centeno, M. Rivera, F. Apaza, B. Ccallata, W. Chilo, C. Cigolini, M. Laiolo, I. Lazarte, R. Machaca, P. Masias, M. Ortega, N. Puma, E.C. Taipe, Magma extrusion during the Ubinas 2013-2014 eruptive crisis based on satellite thermal imaging (MIROVA) and ground-based monitoring, *Journal of Hydrology*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.005, v. 528, pp. 599-612.
2. Jay J.A., F.J. Delgado, J.L. Torres, M.E. Pritchard, O. Macedo, V. Aguilar, Deformation and seismicity near Sabancaya volcano, southern Peru, from 2002 to 2015, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1002/2015GL063589, v. 42, pp. 2780-2788.

## RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA

1. Bousquet O., A. Berne, J. Delanoe, Y. Dufournet, J.J. Gourley, D. Scipion, A., Zwiebel, J. Schwarzenboeck, Multifrequency radar observations collected in southern France during HyMeX-SOP1, *International Journal of Climatology*, doi: http://dx.doi.org/10.1002/joc.4420, v. 96, pp. 267–282.
2. Hysell D.L., M.A. Milla, F.S. Rodrigues, R.H. Varney, J.D. Huba, Topside equatorial ionospheric density, temperature, and composition under equinox, low solar flux conditions, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, doi: 10.1002/2015JA021168, v. 120, pp. 3899-3912.
3. Immel T.J, G. Liu, S.L. England, L.P. Goncharenko, P.J. Erickson, M.V. Lyashenko, M. Milla, J. Chau, H.U. Frey, S.B. Mende, Q. Zhou, A. Stromme, L.J. Paxton, The August 2011 URSI World Day campaign: Initial results, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, doi: 10.1016/j.jastp.2015.09.005, v. 134, pp. 47-55.
4. Rodrigues F.S., J.M. Smith, M. Milla, R.A. Stoneback, Daytime ionospheric equatorial vertical drifts during the 2008-2009 extreme solar minimum, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, doi: 10.1002/2014JA020478, v. 120, pp. 1452-1459.
5. Rodrigues F.S, M.J. Nicolls, M.A. Milla, J.M. Smith, R.H. Varney, A. Strømme, C. Martinis, J.F. Arratia, AMISR-14: Observations of equatorial spread F, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1002/2015GL064574, v. 42, pp. 5100-5108.
6. Wolfensberger D., D. Scipion., A. Bernem Detection and characterization of the melting layer based on polarimetric radar scans, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi: 10.1002/qj.2672.

## DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

La difusión de los resultados de las investigaciones que se realizan a través de presentaciones y ponencias, es un valor agregado que genera el IGP. El alto número de exposiciones (246) realizadas durante el 2015, pone en evidencia el interés en diseminar los estudios de la institución, los cuales son compartidos con la comunidad científica nacional e internacional, así como con los tomadores de decisiones y público en general.

En cuanto a la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, se realizaron 104 presentaciones en el ámbito nacional, entre las que destacan las que se desarrollaron en diversas ciudades de la costa sobre el fenómeno de El Niño; así como también a nivel nacional sobre eventos hidrológicos extremos, el modelado del mar peruano y la adaptación al cambio climático.

	PRESENTACIONES		
	Nacionales	Internacionales	Total
Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	88	4	92
Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera	104	19	123
Radio Observatorio de Jicamarca	4	4	8
Observatorio Vulcanológico del Sur	12	0	12
Observatorio de Huancayo	8	3	11

Respecto a la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida (SCTS), se registraron 88 presentaciones nacionales, entre las que destacan la participación en el Foro Geológico 2015, donde también estuvo presente personal del Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS), sede desconcentrada del IGP que también participó en el Primer Encuentro de Observatorios Vulcanológicos.

En cuanto a las exposiciones en el exterior se tuvo un total de 30, entre ellas la importante participación de científicos del Radio Observatorio de Jicamarca en el “*Coupling Energetics and Dynamics of Atmospheric Regions – CEDAR*”, así como la presencia de expertos de las subdirecciones de Ciencias de la Tierra Sólida y Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera en la Reunión de Otoño de la *American Geophysical Union (AGU)*, ambos eventos en Estados Unidos.

Asimismo, en Astronomía se llevó a cabo una presentación sobre el Observatorio de Huancayo en el *United Nations/Japan Workshop on Space Weather*.

Finalmente, también es importante destacar las presentaciones que se realizaron en el Encuentro Científico Internacional, tanto en su edición de verano como de invierno, donde se presidió la sesión “Ciencias de la Atmósfera, la Tierra y el Espacio”. Así como también en Sinergia 2015, donde profesionales de la SCAH, SCTS y el ROJ participaron en los stands de Calidad Ambiental, Cambio Climático y Gobernanza Ambiental.



# Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida





El Servicio Sismológico Nacional (SSN) es operado por personal de la SCTS.

La Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida (SCTS) tiene como misión promover, coordinar y ejecutar investigaciones científicas y estudios interdisciplinarios en los campos de la Tierra Sólida a través de programas de investigación orientados a conocer, ampliar y generar nuevo conocimiento geofísico para el desarrollo de la ciencia y contribución al proceso de estimación del peligro en la gestión del riesgo como interés nacional.

La SCTS considera cuatro campos de investigación fundamentales para el conocimiento de los fenómenos que se producen en el interior y superficie terrestre: sismología, ingeniería, geodesia y geodinámica.

## UNIDAD DE SISMOLOGÍA

El Perú es un país sísmico y está ubicado en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, por ello los peruanos estamos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de grandes sismos, los cuales tienen como origen la interacción de placas; es decir, de grandes piezas de mosaico que forman la corteza terrestre y que están en constante movimiento.

En la historia nacional de suelos, el país tiene los recuerdos más tristes a causa de la ocurrencia de grandes sismos que han azotado tanto la costa peruana como el interior del país, ocasionando lamentables pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales. Motivo por el cual despertó la preocupación del Estado para que se pudieran hacer estudios de investigación.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) tiene a la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida y en ella a la Unidad de Sismología, la cual se encarga de la elaboración de mapas sísmicos e informes técnicos sobre proyectos e investigaciones de acceso directo para la Presidencia de Consejos de Ministros (PCM), el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred). Los resultados son de información primaria para las tareas de gestión del riesgo en el país.

Gracias al avance de la tecnología, nuestros profesionales están altamente capacitados para brindar información a la ciudadanía ante la ocurrencia de un evento sísmico a través del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

### Lo que desarrollamos en el 2015

El 2015 se trabajó de la mano con las unidades de Ingeniería y Geodinámica, lo que permitió conocer la zonificación sísmica – geotécnica de las áreas urbanas de San Vicente de Cañete, Casma, Chancay, Huaral, Mala, Asia, Cerro Azul y Lunahuaná, obteniendo como resultados el conocimiento geológico, geomorfológico y geofísico de la zona de estudio.

Además, se realizaron visitas a centros de estudios, ferias y entidades públicas como parte de las actividades de educación, sensibilización y prevención en el para el caso de la ocurrencia de sismos.

## Nuestro principal logro: el Centro Nacional de Monitoreo Sísmico - Acelerométrico (CNM)

La unidad de Sismología cuenta con el “Mejoramiento de la red acelerométrica a nivel nacional del centro de procesamiento de Información del Instituto Geofísico del Perú”, el cual tiene como función informar en el menor tiempo posible sobre la ocurrencia de sismos al Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) para la mitigación de daños, así como también a la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) de la Marina de Guerra del Perú para las posibles alarmas sobre la ocurrencias de tsunamis.

A través del Proyecto SNIP N°181270, se ha mejorado la información postsismo para la mejor respuesta del Estado a un costo mínimo, con la finalidad de perfeccionar la capacidad de registro y provisión de información sísmica y acelerométrica, mediante la integración de redes de monitoreo a nivel nacional.

La Red Acelerométrica Nacional permitirá conocer los niveles de sacudimiento del suelo en términos de aceleración; es decir, a mayor aceleración del suelo, mayor daño esperado en los elementos expuestos. El proyecto SNIP N°181270 beneficia a más de 13 millones de peruanos que se encuentran en los diferentes departamentos del país. El proyecto ha permitido adquirir 169 acelerómetros de marca *Nanometrics*, así como un sistema integrado de análisis y procesamiento automático de la información a fin de disponer, después de ocurrido un sismo, de la información para la atención y mitigación de los daños producidos en ciudades y localidades ubicadas en la zona epicentral. Finalmente, el proyecto permitió la construcción de un edificio en la calle Calatrava 216 Camino Real, distrito de La Molina, denominado Centro Nacional de Monitoreo Sísmico – Acelerométrico (CNM).



Este centro se ubica en calle Calatrava 216, Camino Real - La Molina



### Servicio Sismológico Nacional (SSN)

En el 2015 el Servicio Sismológico Nacional, ubicado en el citado centro, procesó más de 2 mil eventos sísmicos, de los cuales solo 250 fueron percibidos por la población. Esta información fue enviada a la Dirección de Hidrografía y Navegación y al Instituto Nacional de Defensa Civil, así como a gobiernos

regionales y a la población. El mayor número de eventos reportados corresponde a la crisis sísmica en el valle del cañón del Colca y Chivay (Arequipa), la cual tuvo como origen la reactivación de los importantes sistemas de fallas tectónicas de esta región.



Ingeniero geofísico en plenas labores en el Servicio Sismológico Nacional.

### Tesis

En el 2015 se consolidaron un total de tres tesis: “Análisis de residuales de ondas P y propuestas de modelo de equilibrio isostático para la cordillera andina del Perú” y “Determinación y análisis del factor de calidad de las ondas coda (Qc) en el borde suroccidental del Perú”, a cargo de las profesionales Martha Añazco y Lizbeth Velarde en

la Universidad Nacional San Agustín (UNSA) de Arequipa. Mientras que Edson Severino presentó “Evaluación de desplazamientos laterales por solicitaciones sísmicas del edificio de la Biblioteca Agrícola Nacional según la normativa vigente” en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## UNIDAD DE INGENIERÍA SÍSMICA

En los últimos años, tras la ocurrencia de sismos de moderada a gran magnitud, en algunas ciudades se ha observado un panorama desolador como consecuencia de una inadecuada planificación urbana y carencia de acertadas políticas de planeamiento. La población inmigrante está ocupando áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los citados sismos, tsunamis, deslizamientos y sus efectos secundarios.

Por ello se dio el interés de realizar el estudio de zonificación sísmica – geotécnica en las ciudades de San Vicente de Cañete, Casma, Chancay, Huaral, Mala, Asia, Cerro Azul y Lunahuaná, a fin de conocer las condiciones dinámicas del suelo que son parte de los factores más importantes para poder disminuir los daños observados ante estos eventos sísmicos.



Las labores de campo se realizaron en compañía de personal del serenazgo municipal.

Dicha información es primaria y debe ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizada por las autoridades locales y regionales.

Cabe indicar que la ingeniería sísmica permite conocer el comportamiento dinámico de los suelos y estructuras sujetas a cargas sísmicas y el conocimiento adquirido permite prever las potenciales consecuencias de los sismos en áreas urbanas y sus efectos en la infraestructura ubicada sobre diferentes tipos de suelo.

## Metodologías

En la Unidad de Ingeniería se realiza la aplicación de tres metodologías que permiten relacionar los períodos predominantes con los valores de Vs y espesores de los sedimentos, así como la identificación de capas freáticas que potencian la ocurrencia de procesos de licuación de suelos.

La técnica de cocientes espectrales (H/V) hace uso de registros de vibraciones ambientales tomados en 950 puntos obtenidos en las áreas urbanas de las 8 localidades antes mencionadas. Su análisis e interpretación permite conocer el periodo fundamental de respuesta del suelo y estimar las amplificaciones máximas relativas que experimentaría el suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Asimismo, con el método de MASW se logra determinar en detalle la velocidad de las ondas sísmicas de corte (ondas S) en función de la profundidad. En

estas localidades se realizaron 75 líneas sísmicas a fin de registrar las ondas superficiales.

Adicionalmente, se aplicó el método de resistividad multielectródica, basado en la modelización 2-D y 3-D mediante técnicas de inversión a fin de conocer la resistividad aparente del suelo a lo largo de una línea receptora (electrodos), a partir de la inyección de corriente eléctrica. En estas ciudades se consideraron 28 tendidos.

Finalmente, los resultados de este estudio son complementados con el conocimiento geológico, geomorfológico, geodinámico y geotécnico de la zona analizada. La integración de esta información permitió la elaboración del informe técnico respectivo que permite conocer la zonificación sísmica – geotécnica de las áreas urbanas de las localidades mencionadas.



Técnica de cocientes espectrales (H/V)  
aplicada en la localidad de Asia.

## UNIDAD DE GEODESIA

### Tesis

En el 2015 se consolidó la tesis “Aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos para la evaluación de riesgos de geodinámica externa en el área urbana de Huaycán - Lima”,

la cual fue presentada, sustentada y aprobada por la Srta. Kelly Pari en la Universidad Nacional San Agustín (UNSA), en Arequipa.

La unidad de Geodesia Espacial se dedica al estudio del ciclo sísmico en la zona de subducción (zona de contacto de las placas de Nazca y Sudamericana) y en las fallas activas presentes a lo largo del territorio peruano. Para este propósito se hace uso de información proveniente de la Geodesia Espacial, como por ejemplo, el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y el InSAR.

lentos que pueden durar de varios días a varios meses.

Hoy en día las herramientas de la Geodesia Espacial permiten medir los desplazamientos superficiales asociados a estos procesos con un nivel de precisión milimétrico.

Como parte del proceso que conduce a la ocurrencia de los terremotos, la superficie de la Tierra se deforma, debido a que la zona de contacto de placas o fallas:

Las mediciones continuas y/o repetitivas de marcadores geodésicos, que el Instituto Geofísico del Perú (IGP) está instalando desde hace dos décadas en el territorio nacional, permiten cuantificar la deformación actual asociada a cada una de las fases del ciclo sísmico. El modelamiento de dichos desplazamientos permite caracterizar mejor la interfaz de contacto de las placas o fallas, por ejemplo, identificar y mapear las áreas que presentan mayor acumulación de energía sísmica donde ocurrirán los próximos eventos sísmicos.

(1) Acumula esfuerzos elásticos durante periodos de decenas a centenas de años.

(2) Libera esfuerzos mediante deslizamiento súbito, es decir mediante la ocurrencia del terremoto.

(3) Se desliza lentamente a través de deslizamiento postsísmico o sismos

### Lo que desarrollamos en el 2015

El Dr. Juan Carlos Villegas participó en el *Workshop* Internacional denominado “*Deform2015: Active deformation, Faults and Earthquakes – from measurements to models*”, organizado por el *Institut de Physique du Globe de Paris* y el laboratorio *Geoazur*, el cual se llevó a cabo

entre el 7 y 13 de febrero de en la ciudad de Barcelonnette – Francia.

El *workshop* tuvo como objetivo reunir a investigadores científicos que trabajan sobre los diferentes aspectos de la tectónica activa y los procesos que generan los



grandes terremotos. Con un enfoque en el estado del arte de las diferentes técnicas utilizadas para estudiar dichos

procesos y una perspectiva sobre los modelos, tipos de observaciones y datos disponibles para tal fin.



Grupo de investigadores que participaron en el Workshop Internacional "Deform2015", que se llevó a cabo en febrero de 2015 en Barcelonnette, Francia.

En marzo el Dr. Villegas fue designado miembro principal de la comisión de Geofísica de la Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) en el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El IPGH es un organismo internacional, científico y técnico de la Organización de los Estados Americanos dedicado a la generación y transferencia de conocimiento especializado en las áreas de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.

Asimismo, en agosto participó en el *Workshop* internacional "GPS Data Processing and Analysis with Gamit/Globk/Track Short Course", organizado

por la *University Governed Consortium, Facilitates Geoscience* (UNAVCO), el cual se llevó a cabo entre el 10 y el 14 de Agosto en la ciudad de Boulder, Colorado - Estados Unidos.

El *workshop* consistió en un taller de trabajo dirigido a jóvenes investigadores científicos, en el que se efectuó el procesamiento y análisis de datos geodésicos con *software* de procesamiento científico y se discutieron temas relacionados a nuevas técnicas de procesamiento, marcos de referencia geodésicos, análisis de errores para mediciones estáticas y cinemáticas y análisis en tiempo real.



Con los GPS se estudian los peligros geológicos que se producen en la corteza terrestre.

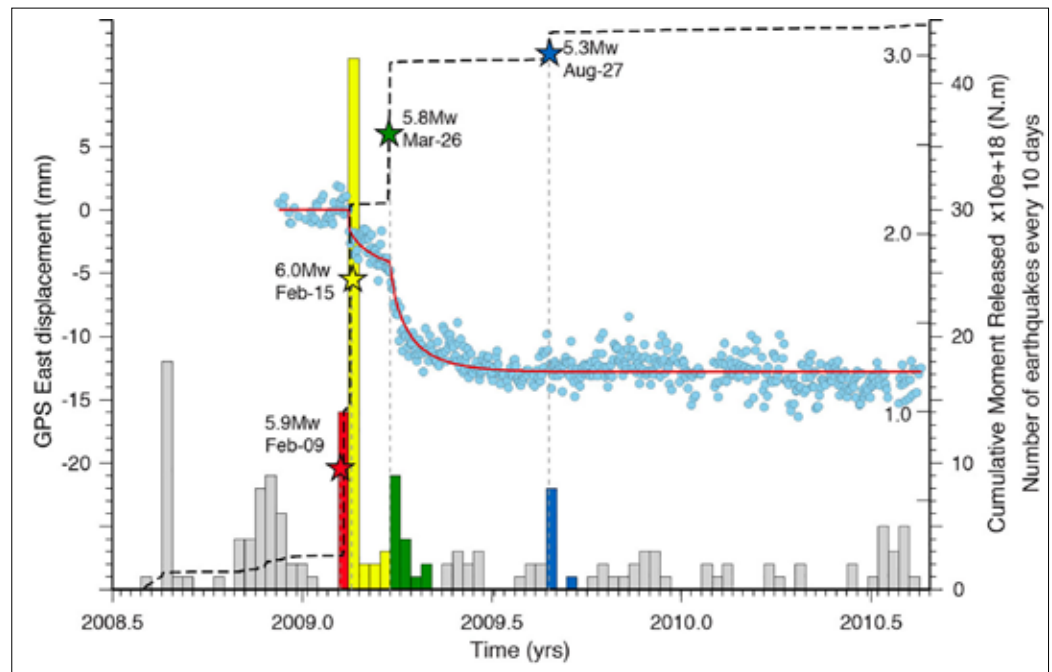


El Dr. Villegas recibió su credencial de parte del Gral. Marco Merino, Jefe del IGN y presidente del IPGH (Sección Perú).  
Foto: IGN

Gracias al apoyo otorgado por Fondecyt a través del programa Cienciaactiva, se participó en la reunión anual de la *American Geophysical Union "AGU Fall Meeting 2015"*, con la presentación del estudio de investigación "*A Slow Slip and Seismic Swarm sequence in the weakly coupled Subduction Zone in Northern Peru*". Este evento se llevó a cabo del 14 al 18 de diciembre en la ciudad de San Francisco, Estados Unidos.

La citada investigación documenta y analiza la secuencia de un enjambre de sismicidad y un deslizamiento asísmico registrado con GPS durante el año 2009 en la región norte del país. Se trató de un evento atípico que liberó energía equivalente a un sismo de magnitud 6.8Mw en un lapso de 7 meses.

Serie de tiempo GPS (círculos) e histograma de sismicidad durante la secuencia sísmica-asísmica del norte del Perú durante el 2009. Estos resultados fueron presentados en el AGU Fall Meeting 2015.



## Tesis

En el 2015 la Lic. Wendy Quiroz Sifuentes realizó el Master de primer año en Ciencias de la Tierra y el Ambiente en la Universidad Joseph Fourier, en Grenoble, Francia, con la sustentación del trabajo de investigación “*Geodetic Study of the Mw 7.0 Acari Earthquake (25th september 2013) and First Estimate of Interseismic Loading in South Peru*

*Seismic Gap*”, el cual contó con la asesoría de las Dras. Natalie Cotte y Anne Soquet del Instituto de Ciencias de la Tierra (IsTerre) de Francia. El estudio analiza los desplazamientos horizontales asociados al sismo de Acari y presenta el campo de velocidad GPS intersísmico 2010-2013 para la región sur del Perú.

## UNIDAD DE GEODINÁMICA

Con el fin de aportar a la gestión del riesgo en el Perú, la unidad de Geodinámica estudia la dinámica superficial que afecta a la Tierra, para así conocer la potencial ocurrencia de eventos como movimientos en masa, flujos de detritos, avalanchas de escombros, entre otros, que afectan la seguridad física de localidades y ciudades ubicadas en la zona andina y subandina principalmente.

Del mismo modo, desarrolla estudios de geología, geomorfología, geodinámica local para proyectos institucionales y de servicios. Los cuales se complementan con ensayos geotécnicos estandarizados, que en conjunto forman parte de las publicaciones e informes técnicos para uso directo de las autoridades en la gestión de riesgo de desastre.

### Lo que desarrollamos en el 2015

Una de las principales actividades que se desarrolla en la Unidad de Geodinámica es la estimación de peligrosidad y vulnerabilidad física de localidades a nivel nacional. Labor

que tuvo un importante crecimiento en comparación al año anterior al atender pedidos para este tipo de evaluaciones.



Levantamiento topográfico desde el cerro La Virgen, Casma.

Durante estas actividades se utilizó la metodología reglamentada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred) para la evaluación de peligros naturales, (publicada a fines del 2013) con la salvedad de la modificación de algunos cuadros y parámetros para un análisis más cercano a la realidad.

Para poder atender estas solicitudes se coordina previamente con los gobiernos regionales y/o locales con el fin que cubran los gastos logísticos (movilización, materiales de campo, análisis de laboratorio de suelos, seguros, etc); mientras que el IGP, brinda todo el soporte técnico-científico.

### **Evaluaciones geodinámicas**

Los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones y movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, derrumbes, entre otros) son fenómenos naturales (peligros geológicos) que afectan la seguridad física de un 70% de las localidades a nivel nacional. Por ello, en el año 2015 la Unidad de Geodinámica - a solicitud de los

gobiernos regionales o locales - realizó el cartografiado geológico-geodinámico de estos peligros, complementado con ensayos geotécnicos en 40 localidades afectadas y elaboró los informes técnicos donde se describen los niveles de peligrosidad que sirven como herramientas en la gestión de riesgos de desastres.

### **Programa Presupuestal por Resultados (PPR)**

La Unidad de Geodinámica continuó en el 2015 su participación en el Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por

desastres", producto "Zonas geográficas con gestión de información sísmica", actividad "Generación de estudios territoriales de peligro sísmico".

Evaluaciones geodinámicas; levantamiento batimétrico del río Casma, Ancash.



Dentro de este programa presupuestal se desarrollaron estudios sísmicos, geotécnicos y geodinámicos en los distritos de Cañete, Chancay, Huaral, Mala, Asia y Cerro Azul, tras los cuales se realizó la zonificación sísmica-geotécnica de estas localidades, el mapa de peligros naturales

(geodinámica), donde se muestra el inventario de eventos geodinámicos y las áreas susceptibles a la ocurrencia de estos, así como el mapa de peligro de inundaciones de cada localidad. Dicha información se complementó con los mapas de tipo de suelos según la clasificación SCS y capacidad portante de los suelos.

Evaluaciones geodinámicas; levantamiento topográfico del A.H Villa Hermosa, Casma.





### Proyectos de investigación

Como parte de la investigación científica realizada por el IGP, la Unidad de Geodinámica culminó en el 2015 con el proyecto de investigación: “Geodinámica, geotecnia y monitoreo (EDM) de los movimientos en masa en el distrito de Lari-Valle del Colca, provincia de Caylloma, región Arequipa”. Asimismo, continuó con los trabajos de campo del proyecto: “Fenomenología de las principales avalanchas de escombros en el complejo volcánico Sillapaca, Santa Lucía, Puno-Perú” que tiene una duración de tres años (2014-2016).

El primer proyecto culminado en el 2015 describe la caracterización geodinámica-geotécnica de los suelos del distrito de Lari afectados por movimientos en masa, aplicando una metodología cuantitativa basada en una red de monitoreo geodésico

que permite estimar tasas y direcciones de desplazamiento que servirán para validar el modelado geotécnico de la zona de estudio.

En la etapa 2015 del segundo proyecto se continuó con la inspección del sector de Santa Lucía, en particular la zona ubicada al sureste de la localidad del mismo nombre que abarca aproximadamente 200 km<sup>2</sup> y se cartografiaron depósitos de avalanchas de escombros observados en los sectores Puncune, Laripata y Quimsachata, ubicados a 7 km al este, 11 km al sureste y 10 km al sureste de la localidad de Santa Lucía, respectivamente. Esta dinámica de los eventos de avalanchas de escombros genera escenarios susceptibles a flujos de escombros que ocurren actualmente en la zona.

### Tesis

En el 2015 se culminó la tesis del Ing. Geólogo Roberth Carrillo Elizalde, quien sustentó “Evaluación de zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, aplicando el Protocolo de Cenepred”, la cual fue presentada, sustentada y aprobada en la Universidad Nacional de Piura. Los objetivos de dicha tesis fueron delimitar zonas susceptibles ante la ocurrencia de algún evento

de movimiento en masa mediante la aplicación de técnicas de investigación geológica (geotecnia, geofísica, entre otras), analizar la estabilidad de la ladera sobre la cual se asienta el centro poblado de Carampa haciendo un análisis de estabilidad de taludes con la aplicación del programa de cómputo SLIDE y realizar la aplicación del manual de Cenepred para la estimación de la peligrosidad ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra en dicho poblado.

# Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera







Radar instalado en el laboratorio LAMAR del Observatorio de Huancayo.

La Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH) genera, utiliza y hace accesible el conocimiento e información científica básica y aplicada relacionados con la atmósfera e hidrósfera, contribuyendo a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la previsión de peligros. Además, forma parte de la comunidad científica internacional, cuenta con uno de los mayores números de investigadores con nivel de doctorado en el Perú y un creciente número de publicaciones científicas arbitradas internacionales con primera autoría.

## UNIDAD DE CLIMATOLOGÍA



Conferencia de prensa del Comité Multisectorial ENFEN del 01 de setiembre de 2015.

Los resultados de las investigaciones en Climatología con respecto a El Niño, la variabilidad climática y otros fenómenos climatológicos, son de gran relevancia para nuestro país y su población, ya que aportan las evidencias que sirven de base a la información que permite que los tomadores de decisiones aprueben estrategias para reducir la vulnerabilidad del Perú ante dichos fenómenos y aprovechar sus posibles beneficios.

Continuando las labores comenzadas en 2014 en el marco del Programa Presupuestal (PP) N°68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”, los expertos de la Unidad de Climatología siguieron desarrollando estimaciones del Índice Costero El Niño (ICEN), procesamiento y análisis de datos de modelos de ondas ecuatoriales oceánicas y de modelos climáticos a nivel internacional, síntesis y difusión de información sobre El Niño y modelos climáticos a través de material de comunicación. Además, desde marzo de 2015, el IGP asumió la coordinación técnica del ENFEN, responsabilidad que anualmente recae encima de una de las instituciones que conforman el Comité Multisectorial ENFEN.

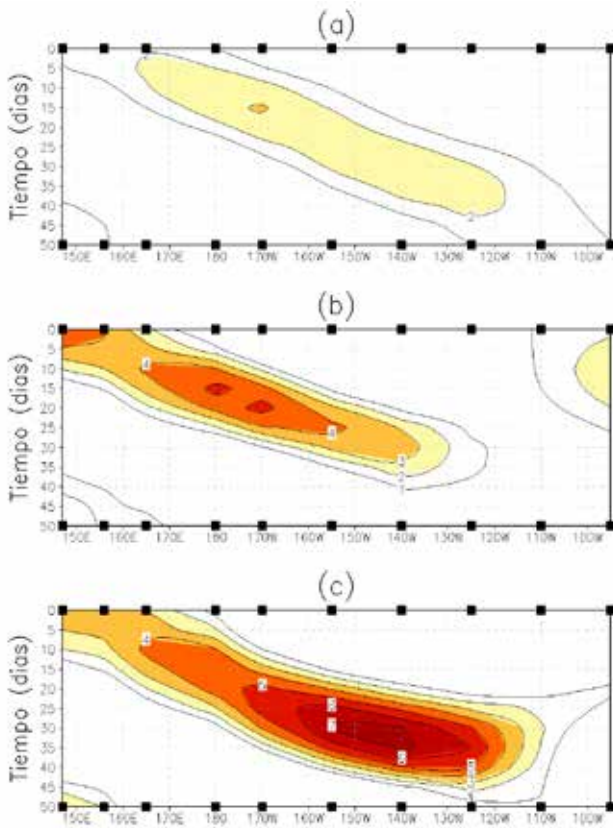
Entre los logros principales obtenidos con el ENFEN, resalta la aprobación del Sistema de Alerta ante El Niño

y La Niña costeros y del nuevo sistema de pronóstico probabilístico mensual para el verano (Dic-Mar) 2015-2016 según las magnitudes de El Niño, ambas propuestas lideradas por el IGP. Por otro lado, la evaluación experta del ENFEN, difundida quincenalmente a través de sus comunicados oficiales, sigue obteniendo mayor reconocimiento por las autoridades nacionales. De hecho, debido al aviso del ENFEN de la posibilidad de la llegada de un evento El Niño extraordinario para el verano 2015-2016, el Estado declaró en emergencia varias regiones del país para iniciar las preparaciones ante los posibles impactos del fenómeno.

El estudio del Fenómeno El Niño estuvo a la base también de importantes coordinaciones internacionales que se desarrollaron durante el año. En noviembre, se realizó una visita técnica al *Climate Prediction Center* de la NOAA (EE. UU.) y al *Global Modeling and Assimilation Office* de la NASA (EE. UU.) para coordinar colaboraciones sobre el pronóstico del mencionado Fenómeno. Además, el IGP estuvo presente en la XXV reunión del Comité Científico Regional ERFEN (CCR-ERFEN) y la VI reunión de la Alianza Regional del Sistema Mundial de Observación de los Océanos para el Pacífico Sudeste (GRASP), ambas organizadas por la Comisión Permanente del Pacífico



El Dr. Ken Takahashi, durante el II Taller de Correlaciones "El Niño", una de las actividades organizadas por el ENFEN durante el 2015.



Promedio de los patrones de evolución de la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C (termoclina) en metros a lo largo de la franja ecuatorial relacionado a un forzante de viento intraestacional de (a) entre 3 y 4 m/s, (b) 4 y 5 m/s y (c) vientos mayores a 5 m/s. Los cuadrados a lo largo de los ejes superior e inferior indican la posición de las boyas del proyecto TAO.

Sur en Santiago de Chile con la finalidad de evaluar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y biológico-pesqueras en el Pacífico Sudeste. Asimismo, se participó en el Comité Científico del Proyecto TPOS2020, el cual tiene como objetivo reformular las estrategias de observaciones en el océano Pacífico Tropical, así como en el Panel de la Región del Pacífico de CLIVAR, para coordinar actividades científicas internacionales relacionadas con esta región.

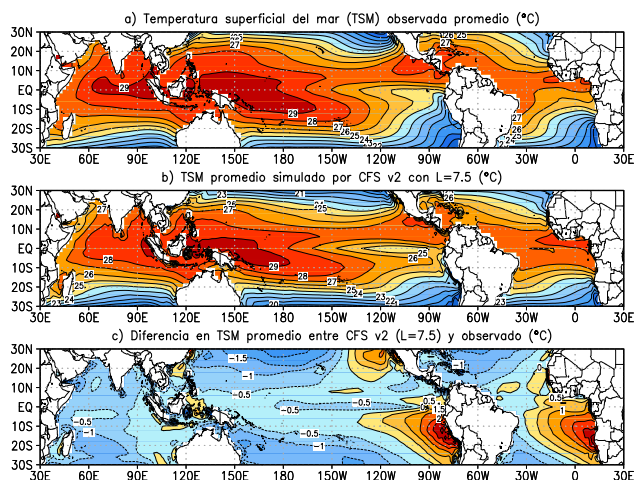
La monitorización de la onda Kelvin ecuatorial en el océano Pacífico es de importancia para el Perú debido a su impacto en distintas variables oceanográficas. En consideración de esto, se ha iniciado la proyección de la anomalía de esfuerzos de viento en las estructuras meridionales de Kelvin, lo cual ayudará a establecer qué anomalía de esfuerzo de viento zonal tiene la capacidad de formar una onda Kelvin. El producto de la proyección de la señal de la onda Kelvin en el nivel del mar ya se encuentra actualizado en tiempo real en la página web de monitoreo climático de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del IGP (<http://www.met.igp.gob.pe/variabclim/monitoreo.html>). Asimismo, se tiene disponible el producto de la proyección de las ondas Kelvin y Rossby en el esfuerzo de viento zonal. Esta información será usada de manera experimental, para forzar el modelo oceánico lineal.

Con la finalidad de entender los mecanismos que cambian las características de la onda Kelvin, se logró clasificar, de manera preliminar,

las ondas Kelvin oceánicas ecuatoriales intraestacionales. Para esto, se usó la información intraestacional de los vientos zonales al oeste de 180° (línea internacional de cambio de fecha) perteneciente a las boyas del proyecto TAO. Se consideraron tres intensidades de vientos zonales: 3, 4 y 5 m/s. Una vez detectada la fecha en la que se observaron dichas intensidades en la serie de tiempo, se procedió a obtener la información de la profundidad de la termoclina para cada una de las fechas detectadas.

Además, se realizaron experimentos numéricos de propagación de ondas Kelvin ecuatoriales. Mediante un modelo numérico baroclínico tridimensional, se estudió la evolución de la onda Kelvin en el Pacífico Ecuatorial. Gracias a esto, se pudo estimar que la magnitud de la señal de la onda Kelvin de afloramiento en el extremo oriental del Pacífico Ecuatorial representa el 30% de la onda Kelvin de hundimiento generada inicialmente. Si bien este análisis corresponde a un caso simple que podría variar al cambiar la configuración del modelo, se debe tener presente que esta podría ser una de las razones de la subestimación que presenta el mismo en el Pacífico Oriental.

Otro de los trabajos de investigación elaborados por esta Unidad, se centra en entender los mecanismos de El Niño extremo para mejorar sus pronósticos estacionales. En este tema, este año se publicó un artículo en *Climate Dynamics* en el que se contrastaron observaciones y un modelo climático y se propuso un



Temperatura superficial del mar promedio (°C) a) observada y b) simulada por el modelo CFS v2 con 7.5 meses de anticipación (contornos cada 1°C). c) Diferencia entre lo modelado y lo observado (contornos cada 0.5°C).

“feedback” convectivo amplificado que origina regímenes El Niño moderado y fuerte. Posteriormente, este mecanismo se implementó numéricamente en el modelo teórico carga/descarga, el cual exitosamente simula estos regímenes El Niño.

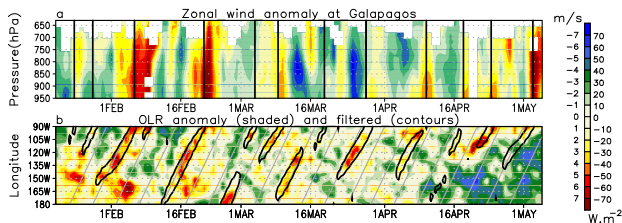
En 2015 también se publicaron dos artículos en *Nature Climate Change*. En uno de estos se analiza cómo el cambio climático podría incrementar la ocurrencia de eventos La Niña extremos en el Pacífico Central. El posible aumento futuro de dichos eventos, aun cuando se produzcan lejos de nuestra costa, es importante para el Perú, ya que en los últimos años hemos determinado que no solo somos afectados por lo que ocurre frente a nuestra costa, sino también por lo que ocurre en el Pacífico Central. En particular, los eventos La Niña en el centro del Pacífico favorecen mayores precipitaciones sobre los Andes y nuestra Amazonía. El otro artículo es una revisión del estado del conocimiento sobre los efectos del cambio climático sobre los eventos extremos El Niño y La Niña.

Por otro lado, se analizaron los perfiles verticales de calor latente y velocidad vertical del aire en la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) para el periodo 1998-2010 usando perfiles verticales de la tasa de precipitación y temperatura provenientes del radar de precipitación TRMM y el *reanalysis* ERA Interim, respectivamente, mediante aproximaciones en las ecuaciones de conservación de humedad y de energía. Esto es un importante aporte para conocer las

características básicas de la ITCZ, la cual es el sistema de lluvias más importante para la costa del Perú y cuya simulación por modelos climáticos tiene muchos problemas.

Otro logro del 2015 fue relativo al estudio de la variabilidad interdiaria de las lluvias en Piura y Tumbes durante los eventos El Niño extraordinario y su relación con las ondas Kelvin atmosféricas. A través de este trabajo se encontró una correlación de -0.38 y -0.26 para los eventos El Niño 1997-98 y 1982-83, respectivamente. Sin embargo, su predictabilidad no es mayor a cinco días. Por otro lado, las ondas Kelvin atmosféricas explican una pequeña pero significativa parte de la variabilidad de las lluvias extremas en la costa norte de Perú durante los eventos de El Niño. Sin embargo, hay todavía muchas preguntas acerca de su impacto en la precipitación extrema en esta región.

Actualizar el conocimiento de los eventos ENSO pasados fue el objetivo de una nueva investigación en Paleoclimatología, la cual buscó construir una nueva serie de eventos que sean indicadores de paleo ENSO en las regiones costeras de Perú. Por otro lado, se busca también explorar otras variabilidades temporales (decadales, centenales) que son poco abordadas actualmente por la comunidad científica. En este contexto, se ha trabajado en la construcción y preparación de los colectores de agua de lluvia, proceso fundamental para la captura y medición de la señal isotópica de las lluvias y su calibración en los registros de espeleotemas y



Sección tiempo-presión de anomalía de viento zonal en Galápagos (1°S; 90°W) y b) Sección tiempo-longitud de anomalía de OLR total (sombreado) y filtros-Kelvin (contornos;  $-15 \text{ Wm}^{-2}$ ) entre 5°S-5°N. El periodo corresponde a ene-may 1998. Las líneas en color gris muestran la velocidad teórica de una onda Kelvin convectiva, mientras las líneas verticales en color negro indican la fecha de incidencia de ondas Kelvin convectivas en 90°W.

## UNIDAD DE OCEANOGRAFÍA

la celulosa de los árboles. Dichos captosres (5) se colocaron alrededor de un gradiente altitudinal que cubre posiciones desde el nivel del mar (estación Paita) hasta altitudes próximas a los 2000 metros de altitud (estación Huancabamba) en el margen oeste de la cordillera de los Andes.

La relevancia de los ecosistemas manglares para nuestro país ha motivado una de las tesis sustentadas en 2015 que tuvo el objetivo de utilizar el modelado numérico computacional como herramienta para la simulación de las mareas en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT) y evaluar el posible impacto de El Niño y el cambio climático en estas. En este trabajo, se implementó un modelo numérico hidrodinámico no-lineal y bidimensional, basado en la técnica de diferencias finitas y con dos dominios anidados para simular la dinámica de las mareas. Para este propósito también fue necesario elaborar el primer mapa batimétrico

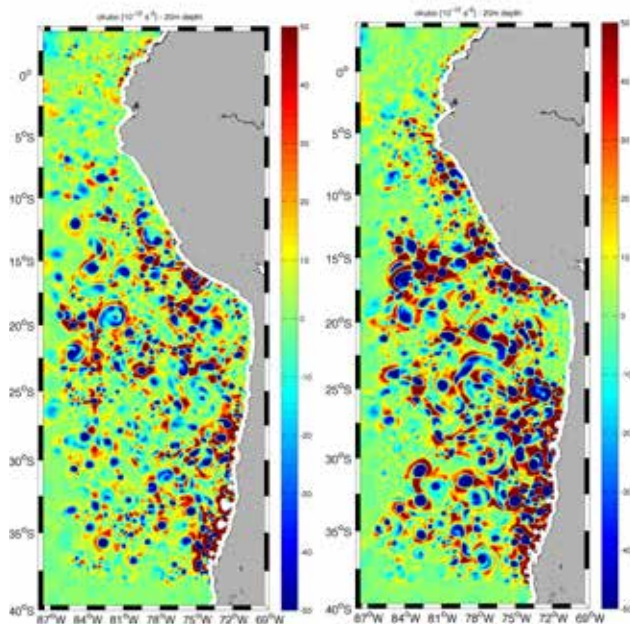
Los océanos representan el reservorio más importante de agua disponible en estado líquido del planeta, ya que ocupan más del 70% de la superficie de la Tierra. Su combinación de ~97% de agua y 3% de sales disueltas, partículas, material orgánico y gases sostiene una inmensurable riqueza biológica que lo convierte en una de las principales fuentes de vida animal y vegetal, así como de alimento.

Actualmente, el Instituto Geofísico del Perú, organismo involucrado en el desarrollo de la ciencia, viene investigando el rol del océano sobre

del SNLMT usando mediciones en campo con una ecosonda. El modelo fue validado con datos *in situ* de nivel de marea y velocidades al interior del Santuario y los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que los esteros Zarumilla y Gallo son los más susceptibles ante futuros eventos El Niño. De esta manera se pudo comprender la respuesta del ecosistema del SNLMT al mecanismo de mareas.

Por último, a través del análisis de los datos diarios de temperaturas extremas del aire y precipitación de la estación Hipólito Unanue, ubicada en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), se reconstruyó la serie de temperatura media utilizando la estación de campo de Marte (1931-1980) para el periodo 1931-2013 para evaluar las variaciones de largo plazo y las tendencias. Así mismo, se analizaron los índices climáticos para relacionar las variaciones interanuales con El Niño.

la atmósfera y el ecosistema, así como su impacto sobre el clima, a través de la Unidad de Oceanografía de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH). Las investigaciones desarrolladas por esta Unidad se centran en algunos temas principales: la variabilidad de la estructura térmica del océano frente a Perú asociada a la interacción océano-atmósfera; la influencia de la dinámica ecuatorial sobre el Sistema de Corrientes del Perú y su impacto sobre la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO); los procesos costeros relacionados a la onda Kelvin



Sección tiempo-presión de anomalía de viento zonal en Galápagos (1°S; 90°W) y b) Sección tiempo-longitud de anomalía de OLR total (sombreado) y filtros-Kelvin (contornos;  $-15 \text{ Wm}^{-2}$ ) entre 5°S-5°N. El periodo corresponde a ene-may 1998. Las líneas en color gris muestran la velocidad teórica de una onda Kelvin convectiva, mientras las líneas verticales en color negro indican la fecha de incidencia de ondas Kelvin convectivas en 90°W.

ecuatorial por su importante rol en la dinámica del Fenómeno El Niño.

Uno de los principales estudios desarrollados en 2015 por esta Unidad se concentró en investigar los mecanismos responsables de la generación de remolinos y posibles modulaciones de la actividad de mesoescala sobre escalas interanuales. Se analizaron dos corridas interanuales configuradas para el Pacífico Tropical Este que difieren en el periodo de simulación (1999-2005 y 1997-2008) y la resolución (12 km y 7 km). Asimismo, se realizó una validación adicional a las salidas de la configuración interanual de 7 km de resolución con datos observacionales y se realizaron diagnósticos eulerianos complementarios para estudiar la influencia de la Corriente Subsuperficial de Peru-Chile (PCUC) sobre la variabilidad espacial de la ZMO, región del océano cuya concentración de oxígeno es muy baja, por lo que interviene con la liberación de gases de efecto invernadero y representa una barrera respiratoria para las especies marinas.

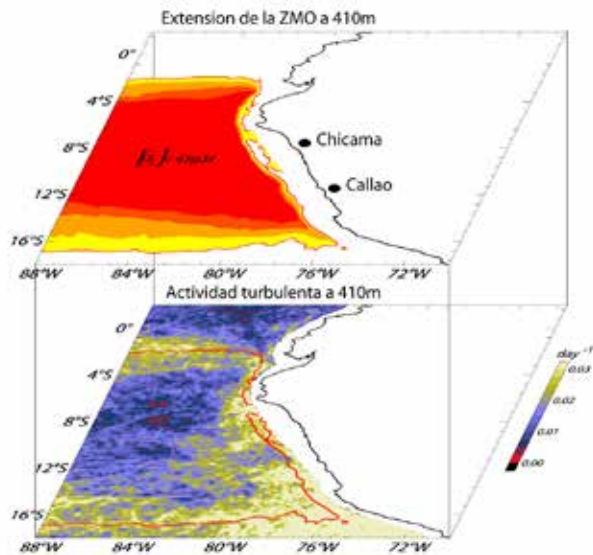
Además, se publicó en la revista *Nature Geoscience* un trabajo donde se estudia el rol de las estructuras de mesoescala, en forma de remolinos y otros procesos de inestabilidad, sobre la Zona de Mínima de Oxígeno. Para realizar la investigación, se utilizó un modelo numérico físico-biogeoquímico y se analizaron los datos obtenidos con técnicas de la física del caos. A través de este análisis, se llegó a la conclusión de que los flujos de remolinos que

se observaron en profundidades de entre 380 y 600 m contribuyen significativamente a la ventilación de la ZMO en el Pacífico Tropical Este, específicamente frente al Perú.

También, se completó la colección histórica de datos hidrográficos relativos al Pacífico Tropical Este, los cuales están disponibles para su visualización a través del software *Ocean Data View* (ODV). Además, se realizó un análisis comparativo de la distribución vertical de los datos hidrográficos (e.g., temperatura y salinidad) provenientes de la climatología de CARS y WOA, incluyendo diagramas TS a una serie de puntos localizados a lo largo de la costa.

Para estudiar la dinámica de la interacción océano-atmósfera y la variabilidad climática en el Pacífico Oriental, se realizaron diferentes corridas del sistema acoplado regional de alta resolución ROW (ROMS-OASIS-WRF), utilizando la nueva versión del acoplador *Ocean Atmosphere Sea Ice Surface - Model Coupling Toolkit* (OASIS3-MCT), desarrollado por la CERFACS de Francia y el *Argonne National Laboratory* (ANL) de Estados Unidos. Como resultado se obtuvieron las correlaciones temporales de 0.97 para la temperatura superficial del mar (TSM), 0.74 para el esfuerzo del viento, 0.89 para la velocidad del viento.

En el desarrollo del Fenómeno El Niño se resalta la presencia de ondas Kelvin ecuatoriales intraestacionales (ISKw) las cuales pueden influir en el progreso del evento. Además, las ISKw, algunas veces, logran alcanzar



Distribución de la Zona de Mínima de Oxígeno frente al Perú a 400 m de profundidad simulada por un modelo regional de alta resolución, considerada con valores menores a  $45 \mu\text{M}$ . (Inferior) Distribución de la actividad de remolinos cuyas zonas más turbulentas son resaltadas en color amarillo; la línea roja delimita las fronteras de la ZMO

## UNIDAD DE HIDROLOGÍA Y SUELOS

la costa peruana y cambiar la TSM con impactos en la pesca y, si el evento se da en el verano, en la atmósfera por medio de intensas precipitaciones. Con el objetivo de entender cómo la onda Kelvin evoluciona a lo largo de la costa peruana e impacta la TSM,

### Tesis

El asistente de investigación Fernando Campos sustentó su tesis “Caracterización de las escalas de variabilidad intra-anual debido a forzamiento físico en la zona de mínimo oxígeno frente al Perú”, obteniendo el título de Licenciado en Física de la Universidad Nacional del Callao (UNAC). Dicho trabajo tuvo el objetivo de brindar una primera aproximación de las escalas de variabilidad de la ZMO a cortas escalas temporales así como de los mecanismos físicos que tienen influencia sobre las variaciones de oxígeno. Los resultados muestran

En 2015 la Unidad de Hidrología y Suelos aportó ampliamente a la generación de nuevos conocimientos a través de la publicación de artículos en revistas indizadas y a la difusión de la ciencia participando en eventos de relevancia internacional, entre ellos, la XXI Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (París, Francia).

Asimismo, siguió involucrándose en importantes colaboraciones con organismos de investigación, volviendo a confirmar su compromiso con el observatorio SO-HYBAM, institución que constantemente monitorea la hidrología amazónica en los cinco países que forman parte

se realizó un análisis retrospectivo preliminar que consiste en replicar el estudio de ondas costeras de Huyer usando tanto información *in situ* como de simulaciones numéricas regionales.

tres escalas de variabilidad temporal presentes: 1) escala intra-diaría asociada a ondas internas, 2) escala intra-mensual asociada al esfuerzo de vientos y ondas atrapadas a la costa y 3) escala intra-estacional asociada a ondas Kelvin oceánicas de hundimiento y afloramiento. En el núcleo solamente está presente la escala intra-diaría e intra-mensual, posiblemente relacionada a movimientos verticales de las masas de agua oceánicas de hundimiento por presencia de ondas de Kelvin oceánicas de hundimiento.

de la cuenca del río Amazonas y el Laboratorio Mixto Internacional (LMI) Paleotracas, que procura las reconstrucciones paleoambientales a fin de incrementar el conocimiento del proceso de cambio climático en grandes escalas temporales. Estas colaboraciones siguen consolidándose también a través del proyecto “Sistema de previsión de eventos hidrológicos extremos estacionales en la cuenca amazónica peruana”, financiado por Innóvate Perú, donde el IGP trabaja conjuntamente a la Autoridad Nacional del Agua y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD, Francia).

Uno de los principales resultados

logrados por esta Unidad en 2015 fue el análisis de la distribución espacial, variabilidad e intensidad de las precipitaciones en la parte sur de la transición andino-amazónica, una de las regiones más húmedas del planeta y donde se presentan los valores máximos de precipitación de toda la cuenca amazónica, como es el caso de las localidades de Quincemil (Cusco), San Gabán (Puno) y la región del Chapare en Bolivia. La investigación, publicada en *Water Resources Research*, resaltó que, durante los regímenes de viento del norte a bajos niveles de la tropósfera, anomalías positivas de precipitación predominan sobre el flanco oriental de los Andes, mientras que menos lluvia cae en regiones más altas. Por otro lado, episodios secos en la región de máxima precipitación se producen durante la ocurrencia de regímenes de vientos del sur.

Además, se realizó una síntesis de información relevante sobre los eventos hidrológicos extremos enfocándose en sus causas y principales impactos. Este trabajo, que fue publicado como *review paper* en *International Journal of Climatology*, hace un balance del conocimiento de los escenarios futuros de la hidrología amazónica en el marco del cambio climático.

El trabajo de monitoreo de las variables hidroclimáticas más relevantes en la Amazonía peruana evidenció, desde mediados del 2015, anomalías negativas importantes en las precipitaciones, principalmente en la región central y norte de la cuenca amazónica. Esta situación mantuvo en alerta las diferentes instituciones interesadas en la

variabilidad hidrológica en Perú y Brasil e impulsó la creación de un sistema de seguimiento de eventos extremos, el cual fue presentado en octubre durante la conferencia internacional del SO-HYBAM, realizada en Cusco.

Una de las investigaciones desarrolladas durante el año logró definir patrones de circulación intraestacionales y su relación con las lluvias en la Amazonía peruana. Estos estudios muestran mapas inéditos de la variabilidad intraestacional de la precipitación en la cuenca amazónica y su relación con las lluvias. El trabajo permite, además, evaluar la utilidad de datos de alta resolución del satélite TRMM, producto 2A25 PR.

En julio de 2015 se publicó un estudio que documenta el estado del clima en la región tropical al este de los Andes durante el 2014. Este trabajo dio a conocer los fuertes impactos producidos por las inundaciones al sur de la cuenca amazónica (ríos Madre de Dios, Beni y Madeira) y la sequía histórica al sur este de Brasil, ambos eventos asociados entre sí por anomalías en la circulación atmosférica de gran escala.

Adicionalmente, se evaluó la utilidad de estimaciones de precipitación a partir de satélites en la generación de caudales para cuencas de ríos amazónicos de Perú y Ecuador. Para el desarrollo de este trabajo, se emplearon tres conjuntos de datos satelitales de precipitación (TMPA, CMORPH, PERSIANN), así como un conjunto basado únicamente en datos de estaciones meteorológicas (HYBAM), y se evaluaron sus





Vista del río Araza.

impactos en el balance hídrico de la cuenca amazónica de Perú y Ecuador, una región donde la modelización y pronóstico de descargas ante eventos hidrológicos extremos (sequías, inundaciones) están poco desarrollados. Entre los resultados logrados por el análisis, resaltan las diferencias en el uso de estos datos satelitales, donde se observa un mejor rendimiento de los datos satelitales en la región sur de la Amazonía peruana.

Durante los meses de agosto y setiembre de 2015 se realizó también un balance hídrico preliminar para analizar los eventos hidrológicos entre 2010 y 2012, mediante el uso de datos de precipitación obtenidos a partir de satélite. Para realizar el estudio, se incluyó la evaluación de datos obtenidos a partir de satélite TRMM RT (a tiempo real). Los resultados son similares a los obtenidos en la modelización de datos TRMM 3B42, los cuales son caracterizados por un alto rendimiento en la región sur de la cuenca amazónica peruana. Estos resultados manifiestan la posible utilización de los datos satelitales a tiempo real para la estimación de caudales en los principales ríos de la cuenca amazónica.

Además, se vienen desarrollando nuevas investigaciones sobre las precipitaciones en la frontera de Perú-Bolivia que tienen por objetivo determinar la influencia de los vientos cros-ecuatoriales de bajos niveles por un lado, y los vientos meridionales de altos niveles, por otro lado. Como parte de esta investigación y en colaboración con el LMI-GREATICE, se documentaron las propiedades radiativas de las nubes sobre el glaciar

Zongo (cordillera Real Bolivia, cerca de la frontera con Perú), así como su ciclo estacional. Adicionalmente se analizó la circulación atmosférica característica de los eventos de mayor nubosidad en diferentes estaciones del año. Este trabajo muestra la relevancia de incursiones de vientos de bajo nivel desde el sur del continente en modular la intensidad de la nubosidad sobre el mencionado glaciar.

Con respecto a la línea de investigación sobre el estudio del transporte de sedimentos en la cuenca amazónica, que se realiza en colaboración con el observatorio HYBAM, se participó en un trabajo sobre el balance del transporte de sedimentos en el curso principal del río Amazonas (en Óbidos, Brasil) que documenta, por primera vez, la dinámica de los sedimentos finos y gruesos, por separado, y los relaciona con las diferentes características climáticas de las principales sub-cuencas. Asimismo, se documentaron los impactos producidos por inundaciones y sequías extremas en la cantidad de sedimentos observados en la estación de Óbidos. Por otro lado, se viene analizando la variabilidad espacial y temporal de los sedimentos en el río Madeira, desde su origen en Perú (Madre de Dios) hasta Brasil, utilizando información desde los años 80s. La investigación realiza un balance de las tasas de erosión y su relación con eventos hidrológicos extremos en esta región de la cuenca amazónica.

En julio de este año también empezó el proyecto "Monitoreo, caracterización e identificación de las principales fuentes de erosión



Campaña de medición de grandes avenidas en los ríos del norte del Perú (2015-2016). Aforo líquido realizado con ayuda del perfilador de corriente ADCP, el 25 de febrero del 2016 en la Estación hidro-sedimentológica Palmales, cuenca binacional del Río Zarumilla (Q=54 m3.s-1).



Personal del IGP durante colecta de muestras.

y sedimentos durante crecidas o eventos extremos El Niño en las cuencas binacionales Puyango-Tumbes y Zarumilla”, el cual cuenta con financiamiento de “Innovate Perú”. A través de este proyecto se generará una metodología apropiada para medir grandes caudales durante eventos extremos mediante el uso de tecnologías acústicas y radar. Estas actividades son esenciales para el planeamiento y gestión de los recursos hídricos en las cuencas montañosas, las que requieren un monitoreo de alta precisión de los caudales y sedimentos, parámetros necesarios para la planificación y dimensionamiento de las obras hidráulicas.

Este año el proyecto “Influencia de los páramos en la erosión y conservación de suelos andinos, e identificación de su rol en la regulación del recurso hídrico en grandes ciudades altoandinas” ganó la convocatoria de Cienciactiva, iniciativa de CONCYTEC, y empezará a ejecutarse a partir del 2016. Dicho proyecto se orienta a generar herramientas que promuevan acciones y políticas efectivas para el manejo y protección de los recursos suelo y agua.

Entre los estudios de Paleoclimatología desarrollados en 2015, se ha trabajado en la interpretación de los datos isotópicos para el Holoceno de estalagmitas de los Andes orientales del norte que ya habían sido estudiadas con anterioridad. Este registro evalúa y discute la sincronía y los mecanismos de teleconexión entre los periodos de expansión glaciaria en regiones del océano Atlántico Norte (eventos Bond) y la intensificación del sistema de Monzón Sudamericano

en escalas milenarias. A su vez, se evidencia la influencia conjunta entre estos episodios y el incremento en la frecuencia e intensidad del ENSO después del Holoceno Medio.

Se realizaron varias salidas de campo que permitieron recolectar muestras en lagunas altoandinas de la región Ayacucho. Gracias al análisis de sedimentos de los bofedales de la cabecera de cuenca del río Cachi (Ayacucho), ha sido posible determinar que existe una alta tasa de deposición durante el último milenio. Por otra parte, se ha iniciado el monitoreo de variables isotópicas en el agua de lluvia, ríos y bofedales, a fin de poder establecer el balance hídrico de estos sistemas utilizando herramientas geoquímicas y modelos numéricos, los cuales brindarán a futuro información valiosa para la gestión del recurso hídrico en la región en el contexto de adaptación al cambio climático.

Dada la importancia de generar más indicadores relacionados a la ocurrencia del fenómeno ENSO, se ha instalado también, durante fines de 2015, una red de monitoreo de variables isotópicas para el agua de lluvia en la región Piura. Dicha red cubre un gradiente altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m y se apoya sobre la red de estaciones meteorológicas que opera la Universidad de Piura a través de los últimos años con el objetivo de caracterizar mejor los regímenes de precipitación en el área de estudio mencionada.

Finalmente, con el objetivo de recolectar muestras de sedimentos y carbonatos, se realizó también una importante expedición en varias

## UNIDAD DE FÍSICA ATMOSFÉRICA



Disdrómetro óptico, usado para detectar el tamaño de las partículas que atraviesan el haz láser entre el emisor y el receptor

cavidades subterráneas de la región San Martín. Las muestras de espeleotemas y datos hidrológicos recolectados serán de utilidad para desarrollar una nueva línea de investigación dedicada a la reconstrucción de eventos sísmicos del pasado (paleosismos). A través de la medición sistemática del tamaño y orientación de espeleotemas caídos con respecto a las fallas presentes en la zona de estudio, es posible determinar el tiempo y la energía de los eventos sísmicos. De manera complementaria, el análisis de isótopos cosmogénicos

El clima en los Andes peruanos representa un factor importante para las poblaciones que en ellos habitan y las actividades que ahí se desarrollan, siendo las precipitaciones uno de los elementos clave para los recursos hídricos, no sólo en esta región, sino también para la costa del Perú. A pesar de ello, existe aún un gran vacío en su conocimiento científico, debido, principalmente, a la falta de instrumentos adecuados para la investigación de los procesos físicos.

A partir del año 2015, la Unidad de Física Atmosférica de SCAH cuenta con el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR), el cual fue mejorado y potenciado gracias a la adquisición de nuevos equipos meteorológicos: un radar perfilador de nubes y precipitación MIRA 35C, que opera en la banda Ka (35 GHz), lo que le permite alta sensibilidad para detectar gotas de agua muy pequeñas, y será utilizado para estudiar la dinámica y microfísica de los procesos asociados a la formación de nubes y precipitación en zona de montaña, así como la nubosidad y su impacto en el balance

energético en los Andes; un higrómetro de alta frecuencia, que se complementa con el anemómetro sónico y servirá para medir flujos de calor latente y calor sensible; un disdrómetro óptico para medir la cantidad, intensidad y tipos de precipitación en superficie, así como la distribución del tamaño de las gotas de agua, que servirá para validar la estimación de precipitación por radar. La adquisición de dichos instrumentos fue realizada a través de dos proyectos financiados por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú). Así mismo, gracias a un convenio con la NASA, en LAMAR se instaló un fotómetro solar para medición de aerosoles. Con ello el IGP es parte del *Aerosol Robotic Network* (AERONET).

En el 2015, como parte de las actividades del proyecto “Estudio de los procesos físicos que controlan los flujos superficiales de energía y agua para el modelado de heladas, lluvias intensas y evapotranspiración en la sierra central del Perú”, se instaló una torre para medir el flujo de calor latente y sensible y se realizaron experimentos

en los sedimentos recolectados en las cavernas de la región ayudará a establecer velocidades de surrección tectónica y su relación con el paisaje y las comunidades que radican en esta región del Perú. Al contrastar esta información con los registros hidro-climáticos se buscará determinar mecanismos de interacción entre el clima y la tectónica. Además, las informaciones generadas incrementarán los registros de la historia sísmica en la región otorgando un panorama referente a los eventos de mayor magnitud en el pasado.



Torre de flujos instalada en LAMAR.

para evaluar el impacto de la quema de material orgánico en el balance energético en superficie, con el objetivo de validar las técnicas que permitan mitigar las heladas en zonas andinas.

Para mejorar el conocimiento sobre los factores que intervienen en las heladas, se ha cuantificado el efecto de la nubosidad sobre la radiación infrarroja, verificando la estacionalidad de la radiación infrarroja con datos obtenidos desde agosto de 2014, encontrándose que es mayor durante el periodo de lluvias, dado que hay más nubosidad y humedad, y menor durante los meses de julio y agosto. Se evaluaron diferentes métodos empíricos para estimar la radiación infrarroja en el Observatorio de Huancayo, determinándose que los métodos de Angstrom y Brunt muestran los mejores resultados.

En este año se inició un importante estudio sobre las variables y los procesos más relevantes en la generación de vapor de agua por parte de las plantas, así como en el intercambio de gases entre la superficie y la atmósfera, utilizando la técnica de *eddy covariance*. Los resultados mostraron que la evapotranspiración es de 0.33 mm al día, es decir 10 veces menor que la evapotranspiración en la Amazonía (que llega a 3 mm por día). Otros datos de calor sensible y calor latente recolectados de la torre de flujo ubicada en LAMAR desde el 26 de junio del 2015 hasta el 30 de noviembre del 2015, señalaron que la evapotranspiración observada promedio en ese intervalo de tiempo es de 0.4 mm al día.

También se inició un importante estudio sobre la precipitación estimada por radar, la cual se calcula en función a

parámetros empíricos  $a$  y  $b$ , según la relación  $R=aZ^b$ , donde  $R$  es la lluvia en [mm/hr] y  $Z$  es la reflectividad equivalente medida por el radar. Por primera vez en los Andes centrales se calcularon estos parámetros usando el disdrómetro óptico instalado en LAMAR y se han comparado con aquellos parámetros que se utilizan en los algoritmos que convierten las mediciones de los radares a bordo del satélite GPM-core en lluvia. Considerando que el satélite GPM-core es la parte más importante de la misión global de medición de precipitación liderada por la NASA, la necesidad de validar los parámetros  $a$  y  $b$  en los Andes centrales peruanos era imperativa.

Adicionalmente se ha elaborado una base de datos de 15 años de la precipitación media anual registrada por el radar a bordo del satélite TRMM que fue el precursor del satélite GPM-core, con ella se ha caracterizado espacialmente la precipitación en todo el territorio peruano.

Por otro lado, se ha generado información sobre la ocurrencia de tormentas en el valle del Mantaro a fin de analizar su distribución espacial y determinar su intensidad. Se han categorizado las precipitaciones en la estación meteorológica del Observatorio de Huayao en convectivas, orográficas y ciclónicas. Dicha información será utilizada para evaluar los mecanismos que producen tormentas con el apoyo de los datos del radar de nubes y precipitación y el modelo WRF.

Se continuó con el estudio de la precipitación en la cuenca del río Mantaro usando el modelo WRF. La simulación de años (2000-2012) con una resolución de 9km para el



Vista panorámica de LAMAR, en el Observatorio de Huancayo.

mes de febrero, mostró que, a nivel interanual, el modelo reproduce mejor los años secos. El modelo sobreestima la precipitación en cuatro veces en relación al producto 2A25 del TRMM. Sin embargo, al comparar con datos de la estación de Huayao, se observó una sobreestimación del modelo en dos veces, lo que indica que el TRMM subestima la precipitación en los Andes. En el ciclo diario el modelo muestra un sesgo de dos horas, observándose un máximo de precipitación de 0.77mm/h a las 16hr (hora local), mientras que el pluviómetro muestra un máximo de 0.37 mm/h a las 18 horas. Para el caso de la temperatura, la máxima ocurre a las 15hr para ambos, pero el modelo presenta condiciones más frías en aproximadamente 2°C.

Este año se continuó con el estudio sobre la variabilidad en la estacionalidad de las precipitaciones en la cuenca del Mantaro, encontrándose alta variabilidad interanual de las fechas de inicio del periodo de lluvias (C.V=29%), con un retraso de 2.9 días/década en toda la cuenca (en promedio inician las lluvias entre el 19-23 de setiembre), con una desviación estándar de 25 días, siendo este retraso más significativo en la zona sur oriental de la cuenca (Quinua, Acobamba y Lircay), donde se encontraron retrasos de hasta 27 días en el periodo (1970-2009). Las fechas de finalización de las lluvias son más homogéneas (C.V=4.7%); en promedio en la cuenca las lluvias terminan entre el 7-11 de abril, con una desviación estándar de 8 días. No existen evidencias estadísticas de que haya un corrimiento de la temporada de lluvias, sino más bien una tendencia al acortamiento del ciclo de las lluvias a razón de -2.9 días/década.

Otra investigación importante desarrollada en 2015 fue un estudio espacio temporal del índice de concentración de precipitación diaria en la cuenca del río Mantaro, la cual hace referencia a aquellas grandes cantidades de lluvia que pueden precipitar en pocos días, pudiendo causar problemas ambientales tales como erosión de suelos, deslizamientos e inundaciones. Para realizar la investigación, se seleccionaron datos de 46 estaciones pluviométricas entre los años 1974 y 2010. El análisis de la precipitación diaria indica que eventos de baja intensidad corresponden al 38% de los días con lluvia, aportando solo el 9% de la lluvia total. En contraste, eventos de alta y muy alta intensidad suman el 35% del total de los días con lluvia y aportan aproximadamente el 71% de las precipitaciones. Los resultados de la investigación brindan importante información acerca de qué regiones presentan una mayor probabilidad de ser afectadas por eventos de precipitación extrema y cómo tienden estos eventos a incrementarse.

Con el objetivo de evaluar los posibles efectos de las quemadas de vegetación en la calidad del aire y el forzamiento radiativo en la región andina de Perú, se completó la instalación de un sistema de monitoreo continuo de contaminación atmosférica, conformado por un aethelómetro para medir el "black carbon", un medidor de ozono y un perfilador del tamaño de aerosoles, obtenidos en colaboración con la Universidad de Colorado en Boulder (EE.UU) a través del proyecto "Impacto del transporte transfronterizo de la contaminación por quema de biomasa sobre los Andes Centrales

de Perú”, financiado por la Agencia de Cooperación Internacional de Estados Unidos (USAID). Estos equipos, complementados con los datos del fotómetro solar de la NASA, se utilizan para estudiar las propiedades físicas, ópticas y radiativas de las partículas atmosféricas y su interacción con la radiación solar.

En el marco del Proyecto “*Glacier retreat and water resource sustainability in the Peruvian Andes: Informing adaptation strategies through collaborative science*”, ejecutado por el IGP con un aporte financiero de USAID a través del programa *Partnerships for Enhanced Engagement in Research* (PEER), se instalaron nuevos equipos para medir la descarga del río Shullcas y sus tributarios, registradores de nivel y conductividad del río y lagunas, así como la presión atmosférica en la subcuenca del río Shullcas.

Como parte del fortalecimiento de la línea de investigación en Física Atmosférica, del 13 al 21 de noviembre, se llevó a cabo el “Curso internacional sobre física y microfísica atmosférica”,

realizado en el Observatorio de Huancayo. El evento fue organizado en el marco del proyecto “Estudio de los procesos físicos que controlan los flujos superficiales de energía y agua para el modelado de heladas, lluvias intensas y evapotranspiración en la sierra central del Perú”, financiado por Innóvate Perú y contó con un importante aporte del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica- FONDECYT. El objetivo principal del curso fue formar un grupo de profesionales altamente capacitados en ciencias atmosféricas, abarcando temas tales como: conocimiento sobre instrumental especializado para la toma de datos atmosféricos; análisis y procesamiento de datos de los diversos instrumentos, incluido el radar perfilador de vientos; radar de nubes y precipitación; física y dinámica de la atmósfera; procesos de superficie; procesos radiativos y microfísica de las nubes. La capacitación estuvo a cargo de expertos internacionales y del IGP y logró involucrar a 32 alumnos de diferentes instituciones y universidades nacionales.



Participantes del curso internacional sobre Física y Microfísica Atmosférica.

# Subdirección de Geofísica y Sociedad





A través de la prensa se acerca el mensaje de los investigadores del IGP a la sociedad.



Esta subdirección se encarga de incluir la temática de dimensión humana en los proyectos de investigación del IGP, así como de difundir a los diferentes estamentos de la sociedad los resultados de los estudios ejecutados, incluyendo en su público objetivo otras entidades afines, tomadores de decisiones y la ciudadanía en general.

Asimismo, a partir del 2015 está a cargo de dirigir las labores académicas que se desarrollan dentro de la institución y las actividades de difusión educativa del Planetario Nacional “Mutsumi Ishitsuka”.

## UNIDAD COMUNICACIONES



Como parte de sus labores, la unidad de Comunicaciones realiza para sus boletines entrevistas a funcionarios representativos del sector.

Esta unidad orgánica modificó en el 2014 su visión y forma de trabajo, agregando la especialización de la comunicación en toda la institución. De esta forma, se cuenta con comunicadores especializados en el Observatorio Vulcanológico del Sur, el Radio Observatorio de Jicamarca, la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida y el Planetario Nacional.

Las labores de este equipo son coordinadas por un comunicador general que ejerce funciones en la Subdirección de Geofísica y Sociedad, desde donde además cubre las actividades de la Dirección Científica, la Subdirección de Redes Geofísicas y la Oficina de Tecnología de la Información y Datos Geofísicos, entre otros.

La labor conjunta de este equipo se centra en la actualización diaria del portal institucional, el dinamismo de las redes sociales, así como la elaboración de material de difusión para su entrega en talleres y/o ferias técnico científicas. Así como la cobertura y/o participación en reuniones nacionales e internacionales de las diferentes subdirecciones y observatorios. Además, cada comunicador tiene labores específicas tales como preparación de material especializado, atención al público, etc.

En el 2015 esta unidad cubrió eventos donde el IGP participó a nivel institucional como es el caso del Encuentro Científico Internacional (ediciones de verano e invierno), Sinergia y Perú con Ciencia, entre otros. Así como también aquellos que fueron organizados o donde participaron las subdirecciones y sedes desconcentradas de cada comunicador, como por ejemplo los talleres desarrollados por Geofísica y Sociedad en las localidades de Camaná, Atico y Chala sobre la ocurrencia de tsunamis, donde el comunicador además de coordinar la difusión también participó como moderador y expositor.

Asimismo, se cumplió con la labor de coordinar la presencia de los investigadores en los medios de comunicación, donde los temas más requeridos fueron la actividad sísmica del país, la presencia del fenómeno El Niño en la costa peruana y las explosiones de los volcanes Ubinas y Sabancaya en el sur del país, así como la cobertura de la prensa de la I Feria Geofísica del IGP, organizada por motivo de su LXVIII aniversario.

En materia de publicaciones se elaboró la Memoria institucional 2014, la cual muestra un balance de lo realizado por las áreas de investigación, las oficinas administrativas, soporte tecnológico y académico, así como el estado financiero



Las localidades de Chala, Atico y Camaná son propensas a ser afectadas por un tsunami.

## UNIDAD DIMENSIÓN HUMANA

de la institución; y dos boletines semestrales con un resumen de las actividades desarrolladas en los correspondientes periodos. Además, con la finalidad de posicionar al IGP entre sus grupos de interés y actores claves como una entidad que brinda información científica a la sociedad para promover una

gestión adecuada del ambiente geofísico, se elaboraron materiales de recordación y difusión.

Cabe destacar, que a los canales de difusión tradicionales se le agregó las redes sociales, tal es el caso de facebook, twitter y un canal de youtube.

Esta unidad utiliza la información geofísica generada por las otras subdirecciones, para poder añadir el factor social que incluye la medición de los impactos de eventos geofísicos en la sociedad, análisis de vulnerabilidad, valoración del ambiente geofísico, etc., con el fin de que los tomadores de decisiones tengan conocimiento y puedan desarrollar acciones que permitan diagnosticar, analizar, adaptar, mitigar, etc. los impactos identificados.

realizando en la institución, sobre todo vinculadas a la gestión de riesgo de desastres.

Asimismo, se continuó con las labores en el marco de los productos: “Generación y difusión de resultados - Tsunamis” (PP 068 - «Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencia por desastres») y “Valoración del ecosistema manglar” (PP 035 -«Gestión sostenible de recursos naturales y diversidad biológica»). Además, se ejecutó el estudio de la vulnerabilidad presente y futura ante el cambio climático en la región Tumbes, financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Como parte de esta labor se trabajó en la inclusión de la temática de dimensión humana en las investigaciones que se vienen

### Programa Presupuestal 068

Por cuarto año consecutivo se realizaron talleres dirigidos a las autoridades y tomadores de decisiones, profesionales de la salud, docentes, bomberos y público en general sobre la gestión del riesgo de desastres, haciendo hincapié en la gestión del riesgo ante sismos y tsunamis. Las ciudades seleccionadas en el 2015 fueron Chala, Camaná y Atico, donde se realizaron dos talleres por localidad.

mencionadas, aplicando la metodología de Saaty (1980) mencionada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred), realizando la jerarquización de pesos de variables como: material predominante de la edificación, exposición ante eventos de tsunami, antigüedad de la edificación, tipo de Suelo, entre otros. Con esta información además se elaboraron los reportes técnicos correspondientes a cada localidad.

Además, se elaboró un informe interno sobre la identificación de la vulnerabilidad en las ciudades



En el marco de este programa presupuestal se realizaron talleres en Chala, Camaná y Atico.



El economista Daniel Flores realizó encuestas socioeconómicas en los caceros cercanos al Coto de Caza El Ángolo.

### Programa Presupuestal 035

Tras concluir un año antes la labor de valoración económica del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, en el 2015 el objetivo fue la identificación de los servicios ecosistémicos del Coto de Caza El Ángolo (CCEA), en Piura, considerando el ambiente geofísico, principalmente la interacción atmósfera hidrosfera. Para tal fin, entre otras actividades, se realizó un trabajo de campo para identificar y reconocer la cobertura vegetal y uso actual del suelo en el citado coto de caza. Las labores comprendieron el Área Natural Protegida (ANP) así como los sectores Oeste, Este y Sur de su zona de amortiguamiento, lugares donde también se desarrolló una encuesta social, económica y ambiental a los jefes de hogar de los

caseríos asentados en los sectores mencionados.

Para elaborar los mapas de zonificación se utilizaron imágenes *RapidEye* proporcionadas por el Sernanp-Piura, donde para representar las unidades de cobertura y densidad vegetal, y alturas, entre otros, de las más de 65 000 hectáreas que comprende el CCEA, se tomó en cuenta las unidades fisiográficas como montaña, colina y llanura que se apoya en el modelo de elevación digital descargado del geoservidor del MINAM (2015). En el aspecto de acercamiento social se realizó un taller dentro de los tres sectores de la Zona de amortiguamiento. Esta labor culminará el 2016, donde además se realizará la redacción y diagramación del informe final.

### Proyecto PNUD

La ciudad de Tumbes, ubicada en la costa norte de Perú, está expuesta a diferentes eventos climáticos como lluvias intensas, sequías y la ocurrencia de fenómenos como El Niño, que ocasionan pérdidas de infraestructura y vidas humanas, afectando el normal desarrollo de las actividades económicas de la región (agricultura, acuicultura, turismo, comercio, etc.).

el estudio “Vulnerabilidad presente y futura ante el cambio climático en la región Tumbes” durante el 2015. Dicho estudio desarrolló tres productos: a) Línea base de la región Tumbes, b) Vulnerabilidad actual ante la variabilidad y el cambio climático de la región Tumbes y c) Vulnerabilidad futura ante la variabilidad y el cambio climático en la región Tumbes.

Por ello, el IGP a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y en el marco del proyecto “Hacia un desarrollo bajo en carbono y resiliente al cambio climático en las regiones Piura y Tumbes” - Proyecto TACC, ejecutó

Durante el desarrollo de los tres productos se consideró el análisis de los sectores agrícola, acuícola y turismo, los cuales son de mayor importancia y desarrollo sobre la citada región.



La Ing. Karen León presentó el plan de trabajo y metodología del proyecto.

## UNIDAD PLANETARIO



Esta unidad realiza presentaciones en dos salas: Planetario y 3D.

Esta unidad está encargada de ofrecer un servicio educativo científico a través del Planetario Nacional Mutsumi Ishitsuka, donde se realizan presentaciones de temas como el Sol, las constelaciones, equinoccios, solsticios, entre otros. Además, en su sala 3D realiza a los visitantes un viaje virtual por el Universo, acercando así la ciencia a la sociedad.

De esta forma, se recibió la visita de colegios nacionales y privados en los niveles de primaria y secundaria, de academias, institutos y universidades tanto locales y del interior del país, como fue el caso de la Universidad Nacional San Agustín (UNSA), personal de entidades del Estado y el público en general.

En lo que respecta a actividades de difusión de la Astronomía, esta unidad participó en febrero en el NASE 2015, taller desarrollado en la institución educativa N° 1225 “Mariano Melgar” y en la sede central del IGP, el cual organizó este evento junto con la *Network for Astronomy School Education*.

Asimismo, fue parte del Día Internacional de la Astronomía (DIA), el cual se llevó a cabo en abril en el Parque de la Felicidad (San Borja – Lima), donde se puso a disposición de la población el telescopio Takahashi de 60 milímetros de apertura para la observación de astros y planetas. Además, se realizó la demostración del vuelo de un cohete de agua, a cargo del M.Sc. Taichi Tsujino, voluntario de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

El citado voluntario llegó al IGP en el primer trimestre del 2015 y brinda un aporte importante en las actividades de difusión de la astronomía organizadas por la Unidad Planetario. El M.Sc. Tsujino organizó en junio y octubre el taller a distancia “Aprende cómo construir una pila seca”, en coordinación con el área de responsabilidad social de Panasonic Corporation del Japón.

La actividad estuvo dirigida a alumnos del nivel primario de centros educativos del distrito de Ate Vitarte, quienes elaboraron una pila identificando en cada paso la ciencia involucrada en su fabricación. De esta manera se cumplió con el objetivo de transmitir a los niños conocimientos científicos desde un punto de vista innovador y divertido mediante la tecnología, conectando además a dos países: Perú y Japón.

En setiembre, a propósito del eclipse total de Luna que se produjo el domingo 27, personal del Planetario realizó charlas informativas referentes a este tipo de eventos, enfocándose en el uso de telescopios. Además se realizaron presentaciones donde el público pudo apreciar una simulación de las estrellas, constelaciones, el Sol y otros astros. Asimismo, por motivo de esta importante fecha astronómica, se elaboró la guía “Observación del eclipse total de Luna”, la cual da detalle de este fenómeno estelar y explica cómo poder observarlo y los que se produzcan en el futuro con las mismas características.

## UNIDAD ASUNTOS ACADÉMICOS



Cada año se publican los trabajos de investigación realizados por los tesisistas de la Institución.

El Instituto Geofísico del Perú además de realizar investigación científica en las diversas áreas de la Geofísica y ofrecer servicios científicos, brinda capacitación profesional de alto nivel. El IGP, como generador y transmisor de conocimientos, ofrece programas de capacitación mediante el desarrollo de tesis de grado y maestría a los egresados de las diversas universidades del país. Esta capacitación profesional está dirigida a estudiantes universitarios de los últimos ciclos, egresados y bachilleres que deseen desarrollar su tesis en campos de estudio como: ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, ciencias de la tierra sólida, astrofísica, física solar, física cósmica, magnetismo terrestre, tectonofísica y vulcanología; así como en instrumentación y electrónica.

Los egresados de universidades nacionales que ingresan al IGP como tesisistas son beneficiados con el "Programa de tesis del IGP", el cual es coordinado por la Unidad de Asuntos Académicos y consiste en subvencionarlos —hasta por un periodo de 15 meses— en el desarrollo de sus tesis. Asimismo, se les facilita datos geofísicos y se

### Viernes científicos

Como parte de la difusión de los temas relacionados con las ciencias de la tierra sólida, atmósfera e hidrósfera, geoespacio y astronomía, además de otros temas de interés para la comunidad científica y público en general, la unidad de Asuntos Académicos organiza periódicamente el evento denominado "Viernes científicos", donde distintas conferencias son

les brinda una asesoría permanente por parte de los investigadores del IGP. Durante el 2015 participaron del programa 25 tesisistas.

El mayor número de tesisistas estuvo concentrado en las Subdirecciones de Ciencias de la Tierra Sólida (SCTS), de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH) y el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ). Como resultado se sustentaron 07 tesis, una correspondiente a la SCAH, cinco a la SCTS, y una a Astronomía.

Todos estos trabajos de investigación, en la modalidad de tesis, son publicados en el libro "Compendio de Trabajos de Investigación Realizados por Estudiantes". El último volumen es el N° 15, el cual contiene una selección de 10 artículos y fue distribuido en universidades e institutos de investigación de todo el país.

Asimismo, la citada unidad participó en la organización de la sesión especializada sobre "Ciencias de la Atmósfera, Tierra y Espacio" del Encuentro Científico Internacional (ECI 2015), en sus ediciones de verano e invierno.

dictadas por personal de la Institución, así como invitados de otras entidades nacionales y extranjeras. De esta forma, especialistas de Brasil, Francia, Chile, Estados Unidos, entre otros países, junto a investigadores de instituciones nacionales, compartieron nuevos conocimientos a través de charlas que se desarrollaron en la sede central del IGP.

## Capacitación

Durante el 2015, Asuntos académicos dirigió el Plan de Desarrollo de las Personas (PDP) del IGP. En ese sentido se capacitó

a un total de 82 trabajadores distribuidos en 17 cursos en Lima y 4 en el Observatorio Vulcanológico del Sur.

## Biblioteca

La Biblioteca Central del IGP proporciona servicios y productos especializados de calidad que brindan el soporte necesario para las diversas tareas de investigación que se realizan en la institución. Los usuarios más frecuentes de estos servicios son: i) personal de la institución, ii) estudiantes universitarios o egresados que vienen desarrollando sus tesis en el IGP, iii) la comunidad educativa en todos sus niveles y iv) el público en general.

Además, tiene una de las colecciones más completas en el Perú en cuanto a ciencias de la tierra se refiere, cuenta con más de 8650 títulos distribuidos entre monografías, libros, tesis, publicaciones periódicas, artículos, congresos, recursos electrónicos y audiovisuales; que abarcan temas como Geología, Geofísica, Atmósfera, Astronomía, Climatología, Oceanografía, Sismología, Vulcanología, Geodesia, Geomagnetismo, Electrónica, Agricultura, entre otros.

Entre los servicios que brinda se encuentran: lectura en

sala, búsqueda de artículos especializados, fotocopia y digitalización, cooperación con bibliotecas externas y las pertenecientes a la institución, consultas por teléfono y correo electrónico, préstamos interbibliotecarios y servicios de difusión como las alertas bibliográficas, boletines bibliográficos y el calendario de eventos científicos internacionales. Además, desde sus instalaciones se pueden acceder a importantes bases de datos tales como *Science Direct*, *Scopus* y *EBSCO* y periódicamente también se obtienen accesos a otros recursos de igual importancia para la investigación.

Durante el año 2015, la biblioteca estableció diversos convenios de cooperación con entidades del Estado vinculadas al campo de la ciencia, la salud y el medio ambiente y tiene ya establecido su repositorio digital institucional, el cual forma parte del repositorio nacional ALICIA de Concytec y la Referencia (Red de repositorios institucionales a nivel latinoamericano).

N°	Nombres y apellidos	Universidad	Especialidad	Tema de tesis	Asesor	Área	Fecha
1	Denis Cabezas Huamán	Maestría en el Centro de Radio Astronomía y Astrofísica Mackenzie (CRAAM)	Ciencias físicas	Estudio en múltiples Frecuencias de onda de la baja atmósfera solar durante explosiones.	José Ishitsuka	Observatorio de Huancayo	mar-15
2	Lidia Huamán	UNALM	Ing. Meteorología	Variabilidad estacional e interanual de la ITCZ y la circulación atmosférica asociada en el Pacífico oriental con datos de radar.	Ken Takahashi	SCAH	jun-15
3	Martha Añazco Condori	UNSA	Ing. Geofísica	Análisis de residuales de ondas p y propuesta de modelo de equilibrio isostático para la cordillera andina del Perú.	Hernado Tavera	SCTS	ago-15
4	Lizbeth Velarde Quispe	UNSA	Ing. Geofísica	Determinación y análisis del factor calidad de las ondas coda (Qc), en el borde suroccidental del Perú.	Hernado Tavera	SCTS	ago-15
5	Kelly Pari Rendón	UNSA	Ing. Geofísica	Aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos para la evaluación de riesgos de geodinámica externa en el área urbana de Huaycán-Lima.	Hernado Tavera	SCTS	ago-15
6	Erick Bryan Soto Castellones	UNSA	Ing. Geofísica	Aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos para determinar la geometría en 3D del basamento rocoso y la caracterización de sitio en la ciudad de Huarmey(Ancash).	Hernado Tavera	SCTS	oct-15
7	Roberth Paúl Carrillo Elizalde	UNP	Ing. Geólogo	Evaluación de zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, aplicando el protocolo de CENEPRED.	Juan Carlos Gomez	SCTS	nov-15

Relación de tesis sustentadas en el 2015.

# Subdirección de Redes Geofísicas







Personal de la Subdirección de Redes geofísicas en plena labor de instalación.

La Subdirección de Redes Geofísicas (SRG) es un órgano de línea del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Tiene como función principal diseñar, desarrollar, implementar y operar la Red Sísmica Nacional (RSN), la Red Acelerométrica Nacional y la Red de Monitoreo de Fallas Activas y Deformación de la Corteza (RMFA), así como de instrumental geofísico de utilidad para las actividades de investigación científica de la institución.

El objetivo principal se resume al monitoreo de parámetros asociados a detección y alerta temprana de eventos extremos (terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis y deslizamientos entre otros) para una adecuada gestión de riesgos a dichos desastres. En este sentido la SRG es responsable del funcionamiento ininterrumpido y control de calidad del flujo de datos y su transferencia al Servicio Sismológico Nacional (SSN) y al Banco de Datos Geofísicos (OTIDG).



Equipos de la Red Acelerométrica Nacional.

La Red Acelerométrica Nacional (RAC) es parte de un proyecto del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) denominado “Ampliación y Mejoramiento de la Red Acelerométrica Nacional.

En el trabajo desarrollado durante el 2015 se instalaron 61 estaciones acelerométricas, labor que abarcó las regiones de Lima e Ica, con 33 y 07 estaciones, respectivamente. En el segundo semestre del año, se instalaron adicionalmente 12 estaciones en la región Cusco y 09 estaciones en la región Piura.

En lo concerniente a la Red Sísmica Nacional, esta se vió fortalecida con la construcción de infraestructura y puesta en operación de nueve estaciones sísmicas satelitales (VSAT) en las localidades de Cerro Azul, La Yarada, Chachapoyas, Bellavista, Huarmey, Ayacucho, Sicuani, Patahuasi y Puerto Bermúdez. Con este incremento las estaciones satelitales operadas por el IGP a nivel nacional ascendieron a 39.

Por otro lado, se fortaleció el monitoreo de volcanes en el sur del Perú con la instalación de una red de monitoreo de 04 estaciones sísmicas y una repetidora alrededor del volcán Ticsani – Región Moquegua con

enlace de telemetría al Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS) en la ciudad de Arequipa y por internet al Sistema de Detección Geofísica en Tiempo Real (SDGTR), ubicado en Lima.

En lo que respecta a la RMFA se efectuó el mantenimiento preventivo de 31 estaciones GPS de operación permanente. Asimismo en cooperación con el Instituto de Ciencias de la Tierra de Grenoble–ISTerre, se efectuó una campaña de observaciones GPS en 30 estaciones de control temporal distribuidas en el sur del Perú.

En soporte de actividades de investigación y trabajo conjunto con la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida, se instalaron estaciones sísmicas temporales alrededor de las Fallas de Huambo-Cabanaconde (región Arequipa) y Huaytapallana (región Junin) así como 09 estaciones en la Falla de Tambomachay – Región Cusco.

Además, como parte de las actividades permanentes de la SRG, se realizó el mantenimiento y operación de las redes RSN, RAN y RMFA y las de vigilancia sismo – volcánica de los volcanes Misti y Ubinas, donde las fallas ocasionadas por las condiciones climáticas



Parte de los equipos de monitoreo son instalados en lugares alejados de las zonas urbanas.

(lluvias, descargas eléctricas) fueron subsanadas.

Dentro de sus actividades de servicio y consultorías externas, la SRG operó la instrumentación geofísica del proyecto Electro-Perú y continuó desarrollando el convenio

IGP-Minera MILPO. En cuanto a su participación como supervisor en la norma E030, se efectuaron 12 certificaciones sobre conformidad de acelerómetros instalados en edificaciones que superan los 10,000 m<sup>2</sup>.

### **Proyecto SNIP 244750 LNIG**

En el 2015 se elaboró el proyecto SNIP “Mejoramiento del servicio de Laboratorio Nacional de Instrumentación Geofísica (LNIG) para la generación de información de base en gestión de riesgos y desastres causados por sismos, tsunamis y problemas de geodinámica de superficie”, el cual se encuentra en proceso de evaluación. La finalidad fundamental de este proyecto es

fortalecer los sistemas de calibración y mantenimiento del instrumental geofísico que la institución utiliza tanto para sus sistemas de detección y alerta temprana como para sus actividades de investigación. Este mejoramiento conlleva el incremento de información geofísica oportuna (científica técnica) para la gestión de riesgo de desastres en beneficio de la sociedad.

### **Desarrollo De Sistemas de Adquisición de Datos en Tiempo Real**

El grupo de desarrollo en adquisición de datos en tiempo Real ha desarrollado un sistema de monitoreo automático del estado de las estaciones satelitales a nivel nacional. Este sistema permite

en pantalla observar el estado de operación de cada estación segundo a segundo. Asimismo, es posible establecer espectrogramas y niveles de ruido de manera automática.

La SRG colabora con el Observatorio Vulcanológico del Sur en la instalación de equipos de monitoreo sísmico volcánico.



# Radio Observatorio de Jicamarca





El ROJ cuenta con el radar AMISR que es usado en modo complementario con el radar principal para realizar observaciones sobre la Ionósfera.

Los fenómenos de ionización y disociación generados por la radiación solar en alturas mayores a 50km sobre la superficie de la Tierra, cobran vital importancia debido a que pueden alterar las características físicas y químicas de las capas superiores de la atmósfera.

Para el estudio de estas regiones, también conocidas como ionósfera, los científicos cuentan con instrumentos geofísicos de diversos tipos como radares ionosféricos, ionosondas, magnetómetros, receptores GPS, interferómetros *FabryPerot*, entre otros.

En el Perú, el estudio y observación de las capas altas de la atmósfera se realiza desde el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), sede científica del Instituto Geofísico del Perú (IGP), que cuenta con el radar ionosférico (o de dispersión incoherente) más grande y potente del mundo dedicado a la observación de los fenómenos ionosféricos sobre nuestro territorio.

De esta forma, desde las instalaciones del ROJ, se han ejecutado un sinnúmero de estudios acerca de la ionósfera, lo que ha permitido que este tipo de investigaciones cobren mayor relevancia en el mundo brindando a la humanidad gran parte del conocimiento sobre la física de la ionósfera en la región ecuatorial.

Cabe destacar que el Perú es el único país en Latinoamérica que posee el radar ionosférico más potente en su tipo, ubicado en el ecuador magnético.

### Lo que desarrollamos en el 2015

Durante el 2015 se ejecutaron una serie de actividades y proyectos a cargo de nuestras unidades de desarrollo e ingeniería.

### UNIDAD I+D&I (INVESTIGACIÓN + DESARROLLO & INNOVACIÓN)



Modelo 3D del nuevo sistema de adquisición JARS 2.0

Este año el ROJ continuó con el desarrollo de una nueva versión de nuestro sistema de adquisición JARS (*JRO Acquisition Radar System*, por sus siglas en inglés), el cual incluye un protocolo de comunicación de alta velocidad llamado LVDS.

Así, este nuevo sistema contará con una nueva interface de configuración vía web que sea amigable al usuario con el fin de facilitar la configuración y flexibilidad de los instrumentos del radar de Jicamarca.

Además, el personal de esta unidad participó activamente en la operación

del radar AMISR-14, el cual ha funcionado de forma conjunta con el radar principal del ROJ operando en el modo JULIA (modo de baja potencia dedicado a la observación de las irregularidades ionosféricas).

Este modo de operación permitió obtener información complementaria acerca del comportamiento de la ionósfera a 435 MHz. Es importante añadir que el radar AMISR-14 es capaz de apuntar a diferentes partes de la ionósfera casi en forma simultánea.

## UNIDAD DE OPERACIONES

El 2015 se trabajó en la modernización de diferentes partes de la antena principal del ROJ con el fin de mejorar la sensibilidad y calidad de nuestras observaciones. Para ello se instaló un nuevo sistema de apunte automático del haz de la antena (ABS – *Automatic Beam Switching*) en los cuartos norte y sur de la misma. Este sistema permite que el cambio de posición de la antena se realice desde una computadora presionando un botón. Además, se instaló un nuevo arreglo de TRs de estado sólido (basados en diodos), el cual permite que la sensibilidad de la antena sea más estable.

Otra de las actividades que realizó esta unidad fue la instalación de la tercera estación del sistema de radar multiestático HF IGP - *Cornell*, en el Observatorio de Huancayo. Este sistema permite realizar estudios

acerca de las perturbaciones de la parte baja de la ionósfera usando baja potencia (5W). Este proyecto es un trabajo en conjunto entre el IGP y la Universidad de Cornell (EE.UU.).

En el mes de agosto se instaló el sistema de radar TIDDBIT (*Traveling Ionospheric Disturbance Detector Built In Texas*) con estaciones en Ancón, Canta, Lurín y Sayán. Este radar permitirá observar y medir el viaje de las perturbaciones ionosféricas por periodos de tiempos largos, logrando predecir de forma inmediata el estado de la ionósfera e implementar una base de datos de las mediciones de TIDs (*Traveling Ionospheric Disturbance*). Este es un proyecto realizado por miembros del ROJ y ASTRA (*Atmosphere y Space Technology Research Associates*).

## UNIDAD CIELO (CLUSTER OF INSTRUMENTS FOR EQUATORIAL AND LOW – LATITUDE OBSERVATIONS)



Premio otorgado por el IGP a CIELO como equipo de alto rendimiento.

Este año la unidad CIELO recibió un premio de reconocimiento otorgado por el IGP como el equipo de alto rendimiento.

Es importante resaltar que en setiembre el ROJ obtuvo la patente de modelo de utilidad para el magnetómetro digital Triaxial JROMAG-M103, otorgado por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi), la cual le concedió al ROJ el uso de este instrumento por un plazo de 10 años. Esta creación, que le pertenece a Oscar Veliz Castillo - inventor del ROJ, es utilizada para realizar estudios

sobre el comportamiento del campo magnético terrestre.

En la parte operativa, se continuó con la operación regular de la red de interferómetros *Fabry Perot*, instalados en Jicamarca, Nazca y Arequipa en modo cardinal y de volumen común de las tres cámaras *AllSky*. También, se reemplazó el RAID del sistema de base de datos de la red LISN (red de instrumentos dedicada al estudio de la ionósfera en el Ecuador y bajas latitudes) por uno de mayor capacidad con el fin de asegurar el guardado seguro de datos tomados por estos instrumentos.



Estimación de vientos MLT empleando el radar JASMET.

## Proyectos tecnológicos

En el transcurso del año se ejecutaron un total de 17 proyectos de desarrollo tecnológico, 14 de ellos fueron programados y 3 resultaron de las necesidades puntuales que se presentaron en el año.

A raíz de las pruebas realizadas durante los años anteriores con los sistemas JASMET que operan en 50 MHz y 30 MHz, se verificó que el sistema a 30 MHz es capaz de detectar mayor cantidad de meteoros y brinda mejores resultados que el radar a 50 MHz. Es así que este año se puso en operación el sistema JASMET a 30 MHz. Además el uso de esta frecuencia evita posibles interferencias con las operaciones del radar principal de Jicamarca.

Para ello, se construyó un sistema completo de radar sincronizado con GPS. Asimismo, los resultados obtenidos de la estimación de vientos con el sistema fueron presentados como póster por el Ing. Julio Oscanoa en la conferencia CEDAR (Seattle, EE.UU.) en junio.

Otro importante proyecto que continuó operando durante el 2015 fue el estudio de turbulencia de la tropósfera usando el radar *SOUSY* y el vehículo no tripulado *DataHawk*. Para la ejecución del proyecto, el citado radar fue modernizado utilizando un receptor digital basado en *software-defined radio* (USRP). Asimismo, el proyecto involucró campañas trimestrales por espacio de una semana. Durante las últimas semanas del mes de noviembre se incluyó al radar AMISR para obtener datos sobre los vientos horizontales. Los primeros resultados fueron presentados en la conferencia

CEDAR (Seattle, EE.UU) durante la sesión del Radio Observatorio de Jicamarca.

Dentro de las actividades de desarrollo de nueva tecnología, se realizaron mejoras en el sistema integrado de radar que consistieron en dos modernizaciones de equipos antiguos (controlador de radar 2.0 y DDS 2.0) donde se implementó un equipo nuevo llamado generador y un sincronizador de reloj. El objetivo de esta modernización fue la adaptación de estos instrumentos al nuevo sistema integrado de radar que el ROJ viene desarrollando con el fin de mejorar la operación de los radares ubicados en el observatorio.

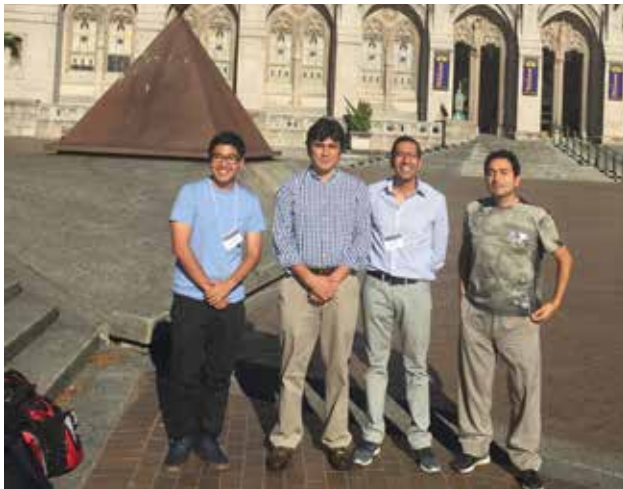
Cabe resaltar que este año se dio inicio a los cinco proyectos de desarrollo electrónico ganados por el ROJ, de los cuales cuatro están financiados por Innóvate Perú (Instrumentación para Nanosatélites, Monitoreo de volcanes con UAVs, Radar perfilador de vientos UHF, Sistema de alerta temprana de huaycos 2.0 - SATH) y uno por FONDECYT (Monitoreo de deslizamientos).

El desarrollo de los proyectos es un trabajo en conjunto entre el personal del ROJ y las distintas áreas especializadas del IGP. Hasta el momento se viene cumpliendo con la planificación estipulada con los entes de financiamiento. Cabe resaltar que para el caso del proyecto SATH (Sistema de Alerta Temprana de Huaycos), éste ya está operando continuamente, lo cual permite dar aviso oportuno a Sedapal sobre la ocurrencia de un huayco.





Magnetómetro digital Triaxial JROMAG-M103.



Representantes del ROJ en CEDAR frente a la Universidad de Washington (EE.UU)

### Aportando a la ciencia

Durante el 2015, los ingenieros e investigadores del ROJ tuvieron una activa participación en eventos nacionales e internacionales de carácter científico tales como el “*Workshop on Ionospheric Effects on SBAS and GBAS Applications at Low Latitudes*” (Italia), 2015 CEDAR Workshop (EE.UU.), 14vo Simposio Internacional en Aeronomía Ecuatorial – ISEA 2015 (Etiopía), Programa de clima espacial *embrace* – INPE (Brasil). Entre los eventos realizados en el Perú figuran el Encuentro Científico Internacional (ECI) edición verano e invierno 2015, feria de SINERGIA – MINAM, Perú con Ciencia – Concytec, Congreso

Internacional de investigación – CONACIN.

Con el fin de fomentar el interés por la investigación en las ciencias, el ROJ cuenta con 5 tesis, 4 de ellos vienen realizando actividades relacionadas con los proyectos de desarrollo tecnológico financiados por FINCYT y el quinto tesis diseñó un sistema de control y supervisión para el encendido automático del transmisor del radar *SOUSY* que permitirá controlar el sistema desde un computador y visualizar en tiempo real el estado del sistema. Ésta última tesis ya fue sustentada para obtener el grado de Ingeniero Electrónico.

### 2015 ISR SUMMER SCHOOL



Participantes nacionales e internacionales del ISR Summer School en auditorio del Conida.

Del 19 al 25 de julio del 2015, el Perú fue anfitrión del evento científico internacional: Escuela de radares de dispersión Incoherente – verano 2015 (*ISR* por sus siglas en inglés), cuyo desarrollo estuvo a cargo del

Radio Observatorio de Jicamarca en coordinación con Elizabeth Kendall y Mary Mcready, investigadoras del SRI Internacional (EE.UU.). Este importante evento tuvo como sede principal el auditorio del

Consejo Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (Conida) y convocó a más de 40 participantes entre profesores científicos y estudiantes del campo de las ciencias geoespaciales provenientes de Estados Unidos, Canadá, Chile India, Etiopía, Egipto, España, Kenia y Perú.

La escuela contó con la presencia de 8 profesores de diversas instituciones internacionales, quienes fueron los encargados del desarrollo del curso. En la parte teórica los temas tratados fueron: introducción a la teoría de la dispersión incoherente, funcionamiento de los radares, las técnicas de análisis de radar de dispersión incoherente y la base de datos Madrigal y; en la parte práctica, los estudiantes

tuvieron la oportunidad de visitar y realizar experimentos con el radar de dispersión incoherente de Jicamarca y el uso de datos de varios observatorios de dispersión incoherente como Arecibo, *Millstone Hill*, *Poker Flat (PFISR)*, *Sondrestrom* y *Resolute Bay (RISR)*.

Cabe resaltar que este evento, que reúne a científicos y estudiantes internacionales, es organizado cada año en distintos países del mundo y es patrocinado por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (*National Science Foundation - NSF*) a través de su Programa de Instalaciones de la Alta Atmósfera dentro de la División de la Atmósfera y Ciencias del Geoespacio.

### Formación académica

Fiel a su objetivo de seguir formando jóvenes estudiantes a través de la investigación en las ciencias, el ROJ cuenta con programas nacionales e internacionales de experiencia en investigación.

Este año el programa nacional "Experiencia en investigación científica y desarrollo tecnológico para universitarios" convocó a más de 60 postulantes de las carreras de Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Sistemas, Matemática, Ciencias de la Computación, Física y/o afines de las distintas universidades nacionales y particulares, no solo de Lima sino también del resto de departamentos del país. Los 6 participantes elegidos ejecutaron proyectos de desarrollo electrónico,

lo que permitió que fortalecieron su talento durante las 10 semanas de duración del programa.

JIREP (*Jicamarca International Research Experience Program*) es el programa internacional del ROJ que convoca a estudiantes de maestrías y doctorados de las diferentes universidades del mundo. En 2015, cinco estudiantes fueron aceptados para este programa. Los seleccionados llevaron a cabo proyectos de investigación entre los meses de mayo y julio bajo la asesoría de nuestros investigadores y/o ingenieros senior, brindando así al estudiante una experiencia única por 10 semanas en uno de los centros de investigación más importantes del mundo.



Integrantes del programa JIREP en el ROJ.

# Observatorio Vulcanológico del Sur





Profesional del OVS realizando inspeccion in situ de las emisiones fumarólicas del volcán Sabancaya.

Nuestro país, en su extenso y vasto territorio, cuenta con un gran número de volcanes que se emplazan desafiantes a lo largo de la parte sur de la Cordillera de los Andes. Estos macizos, en toda su historia, han dibujado con su actividad el paisaje del sur peruano, moldeando su relieve, y muchas otras veces lo han destruido, extinguiendo diferentes modos de vida y civilizaciones en progreso.

Hoy en día, en las cercanías de estos gigantes geológicos, se han asentado ciudades importantes con una dinámica económica resaltante y con una población que no cesa de aumentar, tal es el caso de Arequipa a los pies del Misti. El Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) tiene como función principal estudiar la situación de estos colosos, analizar –gracias a sus modernas redes de monitoreo- los registros sísmicos obtenidos diariamente e identificar las primeras señales asociadas al reactivamiento de un volcán.

El curso pasado ha sido, sin lugar a dudas, el año en el cual el OVS ha consolidado su método de trabajo, y se ha revalidado como institución pionera en el desarrollo de investigaciones y estudios referidos a la vulcanología. Un año de retos cumplidos y nuevos proyectos que en el más breve plazo comenzarán a dar sus propios frutos.

### Monitoreo volcánico

En 2015, el Instituto Geofísico del Perú cumplió 25 años realizando vigilancia y monitoreo volcánico, actividad que viene siendo desempeñada por el Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS) desde el inicio de la última erupción del volcán Sabancaya en 1990.

En este primer cuarto de siglo, el IGP ha establecido redes de monitoreo sísmico permanentes en cuatro volcanes del sur del país: Sabancaya y Misti en Arequipa y Ubinas y Ticsani en Moquegua. El Ticsani, a 60 km de la ciudad de Moquegua, ha sido el último en sumarse a la lista de volcanes vigilados en tiempo real por nuestro Observatorio, gracias a los trabajos efectuados por el área de Redes Geofísicas que permitieron su instalación completa y puesta en funcionamiento hacia fines de noviembre de 2015.

De esta manera, el Observatorio recopila diariamente, segundo a segundo, toda la información sísmica acerca del comportamiento

de cada uno de estos colosos. El grupo de vulcanólogos del OVS interpreta cada señal para generar un diagnóstico de la situación, lo cual se ve reflejado en la elaboración y publicación periódica de reportes técnicos que son compartidos con los gobernadores de cada región, autoridades y representantes de instituciones vinculadas a la gestión del riesgo de desastres y población en general.

Así, en 2015 el OVS publicó 54 reportes sobre la actividad del volcán Ubinas, uno por cada semana del año; 47 reportes del volcán Sabancaya; 22 reportes del volcán Misti y 08 reportes del volcán Ticsani. Agregado a estos, un reporte anual por cada volcán y un reporte técnico especial titulado: “Investigación y Monitoreo de Volcanes Activos en el Sur del Perú 2015”, el cual contiene artículos de investigación y el resumen detallado de la actividad de estos cuatro volcanes a lo largo del citado año.



Medición de potencial espontáneo en el volcán Misti.



Las visitas *in situ* a los cráteres de los principales volcanes fueron una constante en el 2015.

## Investigación y publicaciones científicas

La investigación es uno de los ejes fundamentales de trabajo del Observatorio. Así, en 2015 el OVS ha logrado publicar dos investigaciones en sendas revistas internacionales de prestigio internacional, trabajos en los cuales se ha contado con el apoyo y coautoría de vulcanólogos internacionales de primer orden.

La primera de estas publicaciones, titulada: “*Deformación and seismicity near Sabancaya volcano, southern Peru, from 2002 to 2015*”, contó con la participación del Ing. José Torres y del Dr. Orlando Macedo, quienes junto a profesionales de la Universidad de Cornell, estudiaron el proceso de deformación en este macizo y su interacción con la sismicidad de fractura localizada en la zona. La revista *Geophysical Research Letters* publicó este estudio en abril de 2015.

En el mes de septiembre, una nueva publicación del OVS tuvo su aparición en otra revista científica internacional.

Esta vez fue el *Journal of Volcanology and Geothermal Research* el que publicó el artículo de investigación titulado: “*Magma extrusion during the Ubinas 2013-2014 eruptive crisis based on satellite thermal imaging (MIROVA) and ground-based monitoring*”, el cual fue realizado por el Dr. Orlando Macedo, el Ing. José Del Carpio, el Ing. Riky Centeno y el M.Sc. Nino Puma, además de profesionales del Ingemmet y del Dr. Diego Coppola, responsable del Sistema Mirova, proyecto de la Universidad de Torino y la Universidad de Florencia que identifica anomalías térmicas en zonas volcánicas.



Taller con autoridades y pobladores de Caylloma sobre la actividad del volcán Sabancaya.

## Educando a la comunidad

El OVS tiene claro que la mejor manera de replicar su trabajo es haciéndolo extensivo a toda la sociedad y, principalmente, a las personas directamente expuestas a la actividad de los volcanes activos del país.

Bajo esta premisa, en 2015 el OVS realizó sendos talleres en el distrito de Ubinas y la provincia de Caylloma, efectuando diferentes exposiciones sobre la actividad de los volcanes Ubinas y Sabancaya, y explicando a las autoridades y población asistente la labor que el Observatorio realiza en el monitoreo de ambos volcanes.

En el taller de Ubinas, realizado en mayo

y denominado: “Conociendo al volcán Ubinas: cómo estar preparados”, participaron autoridades regionales y distritales, así como representantes de instituciones vinculadas a la gestión del riesgo de desastres, tal es el caso del vicegobernador de Moquegua, Dr. Emilio Euribe, el alcalde de Ubinas, Arq. Luis Concha y el director de la dirección desconcentrada de Indeci Moquegua, Arq. Iván Zapata.

A esta cita acudieron más de 110 personas, y todas ellas recibieron material informativo del OVS sobre la actividad de los volcanes en nuestro país.

Posteriormente, en julio, fue la oportunidad de Chivay y Cabanaconde de ser sedes, respectivamente, del segundo y tercer taller del OVS en 2015. Ambos distritos, ubicados en la provincia de Caylloma, recibieron al equipo de profesionales del Observatorio liderado por el Dr. Orlando Macedo, y fueron instruidos acerca del sistema de fallas de la zona y la actividad preeruptiva del volcán Sabancaya.

Finalmente, con motivo de la celebración de los 68 años de creación del IGP y los 25 años de trabajo en vulcanología, el OVS organizó el taller “Conociendo al

volcán Misti: Peligros de una posible erupción”, el cual fue realizado en la facultad de Ingeniería de Minas, Ingeniería Geológica e Ingeniería Geofísica de la Universidad Nacional de San Agustín (Arequipa). Más de 100 estudiantes y muchos otros docentes de esta facultad atendieron con especial interés las ponencias del Dr. Orlando Macedo, el MSc. Nino Puma y el Ing. José Del Carpio, quienes expusieron con gran detalle los avances en monitoreo volcánico del Observatorio y la situación de cada uno de los macizos que el OVS vigila en tiempo real.

### Nuevas redes de monitoreo

El Observatorio Vulcanológico del Sur ha logrado consolidar desde su creación tres redes de monitoreo sísmico permanentes sobre tres diferentes volcanes: Ubinas, el volcán más activo del Perú; Sabancaya, macizo cercano al valle del Colca y Misti, el coloso más peligroso de todo el país debido a su gran cercanía a la ciudad de Arequipa.

El OVS ha proyectado como uno de sus principales objetivos expandir y crear nuevas redes de vigilancia a los restantes siete volcanes que son considerados como activos o potencialmente activos. Así, a partir de mayo de 2014, el Observatorio inició el monitoreo de la actividad del volcán Ticsani mediante la instalación de estaciones temporales en las cercanías de su edificio volcánico, con el objetivo de conocer su situación y contar con información útil para las más de 5000 personas que habitan

en su área de influencia.

Posteriormente, y siendo necesario disponer de una red permanente de monitoreo, el área de Redes Geofísicas del IGP inició en 2015 el proceso de instalación de cuatro estaciones sísmicas telemétricas, el cual se realizó en dos etapas: la primera de ellas, realizada en agosto, comprendió la instalación y puesta en funcionamiento de una primera estación sobre el domo reciente de este macizo, denominada TCN1. Seguidamente, en noviembre de este mismo año, se efectuó la instalación de tres estaciones adicionales, distribuidas planificadamente en puntos cercanos al volcán. De esta manera, la Red Local Ticsani quedaba plenamente instalada y en completo funcionamiento con las siguientes estaciones: TCN1, SPDR (San Pedro), HYTR (Huaytire) y MUYQ (Muylaque).



Estación sísmica telemétrica Ticsani, instalada sobre el domo reciente de este macizo.

Con el apoyo de esta red, los vulcanólogos del OVS pueden reconocer cualquier variación asociada a una intranquilidad en este volcán. conocer a cada minuto el desarrollo de la situación del Ticsani, y

### **Proyecto de mejoramiento y ampliación del sistema de riesgo volcánico en el Perú**

Hacia fines de mayo de 2015, la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobó el perfil del Proyecto de inversión Pública, denominado: “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante Riesgo Volcánico en el Perú”, con código SNIP N° 271840, y formulado por el Instituto Geofísico del Perú.

De esta manera, se obtuvo luz verde a un proyecto que tiene como objetivo el incremento de generación, registro y provisión de información sísmica volcánica ante la ocurrencia de eventos de origen volcánico.

Así, en los próximos años se consolidará una red de monitoreo sismovolcánico conformada por 30 estaciones vulcanológicas a instalarse en las inmediaciones de 10 volcanes, con herramientas

especializadas para estudios del comportamiento sismovolcánico, deformación, emisión y composición de gases de origen volcánico. Estos 10 macizos son: Sara Sara en Ayacucho; Coropuna, Sabancaya y Misti en Arequipa; Ubinas, Huaynaputina y Ticsani en Moquegua y Tutupaca, Yucamane y Casiri en Tacna.

El nuevo Observatorio Vulcanológico del Sur tendrá su sede en el distrito de Sachaca, en un área otorgada por esta comuna distrital al Instituto Geofísico del Perú. Su puesta en total funcionamiento y la operatividad de todas sus redes de monitoreo beneficiará a una población de 1,611,849 personas, la cual se asienta en zonas de peligro mediano, alto y muy alto, de acuerdo al Mapa de Calificación de provincias según niveles de peligros volcánicos.



La vigilancia del comportamiento de cada volcán se complementa con visitas a las inmediaciones de cada macizo.



# Observatorio de Huancayo





Heliógrafo monocromático del Observatorio de Huancayo con el que se realizaron observaciones solares.

El Observatorio Magnético de Huancayo es considerada la cuna del IGP y uno de los observatorios más antiguos del hemisferio. Sus actividades se iniciaron en marzo de 1922, las cuales se han mantenido y traspasado las fronteras del nuevo milenio gracias a la calidad de sus registros geofísicos y meteorológicos, los mismos que abarcan casi 100 años y hacen de este observatorio un caso excepcional en el mundo y único en la región ecuatorial.

Durante el 2015 esta sede ha continuado consolidando esta imagen gracias al aporte de sus investigadores, la colaboración interinstitucional y a trabajos que se están ejecutando con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concytec).

Las principales actividades se han desarrollado en astronomía, ámbito de estudio que está mostrando sus primeros resultados tras su reopentamiento en el 2014, año en el que su equipo de investigadores se reforzó con dos nuevos astrónomos peruanos provenientes de Brasil.

Cabe indicar que en este observatorio también se llevan a cabo investigaciones del Radio Observatorio de Jicamarca y las subdirecciones de Ciencias de la Tierra Sólida y Atmósfera e Hidrósfera, tal como se está dando a conocer en sus respectivas secciones.

## UNIDAD ASTRONOMÍA

Las actividades en astronomía comprendieron el desarrollo de proyectos científicos tanto en el mismo observatorio como en el Radio Observatorio Astronómico de Sicaya, así como la formación académica de quienes conformarán la nueva generación de astrónomos de la institución.

El proyecto del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Ingeniería (OA-UNI) que conduce el Dr. Antonio Pereyra, investigador científico del IGP, ha consolidado su fase de calibración con la primera imagen estelar (primera luz) obtenida en el mes de mayo, la cual conllevó al artículo "Observatorio Astronómico de la UNI - OAUNI: primera luz", publicado en la revista REVCUNI, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Por su parte, el Dr. Nobar Baella (dentro de su labor de búsqueda de estrellas simbióticas amarillas)

elaboró un artículo para su publicación en la revista *Astronomical Journal*, en el artículo se incluyeron los resultados de la identificación de una nueva estrella simbiótica no registrada en los catálogos astronómicos.

Con este trabajo se busca conocer la verdadera naturaleza de esta estrella. El estudio forma parte de una colaboración entre el Observatorio Nacional (Brasil), la Universidad de Vigo (España) y el IGP; así como de un programa de detección de objetos astronómicos candidatos a estrellas simbióticas amarillas dentro de nuestra Galaxia.

### Radio Observatorio Astronómico de Sicaya

Durante el 2015 se continuó con el trabajo de adecuación de su infraestructura para que pueda estar operativa la antena parabólica de 32m de diámetro

El Dr. Makoto Miyoshi, del Observatorio Astronómico Nacional

del Japón, evaluó - del 27 de febrero al 2 de marzo - la condición de la citada antena. Paralelamente se continuó con las coordinaciones correspondientes en Japón para completar la implementación de este radio telescopio.

Telescopio operado por el Dr. Pereyra en el Observatorio de Huancayo.



Radar del Radio Telescopio Astronómico de Sicaya.



## ACTIVIDADES ACADÉMICAS

Dentro del apoyo que el Dr. Pereyra está dando a los cursos de astronomía dictados en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, estudiantes de dichos cursos han participado

de las actividades del proyecto OA-UNI. Particularmente, el estudiante José Ricra, quien está apoyando activamente las misiones observacionales.

### Tesis

El Bach. William Cori desarrolló su tesis de maestría “Acceso remoto al Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Ingeniería y Variabilidad Estelar”, con la asesoría

del Dr. Antonio Pereyra. Este trabajo fue presentado a la Facultad de Ciencias de la UNI en enero del 2016 .

# Optimizando las Tecnologías e Infraestructuras





Servidor operado por la Oficina de Tecnologías e Información y Datos Geofísicos.

# OFICINA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DATOS GEOFÍSICOS – OTIDG

Esta oficina tiene como actividades principales la administración de la base de datos geofísicos y del Repositorio Digital Institucional (cuya información está a disposición de la comunidad científica nacional e internacional).

Además, es la encargada del desarrollo de diversos módulos aplicativos informáticos solicitados por las diversas subdirecciones del IGP y la Administración, tales como el módulo de desarrollo de capacidades del personal, módulo de inventario de hardware y software, el registro de visitas en línea, actividades de presupuestos por resultados, catálogo virtual de biblioteca, entre otros.

Asimismo, es la responsable de la administración de los portales web como el Institucional, de Transparencia y el del Estado Peruano. Por otro lado, en su labor de servicios transversales a las sedes desconcentradas de la institución, la OTIDG colabora en la implementación del monitoreo del sistema de vigilancia de volcanes entre otras labores.

La estructura organizativa de esta oficina comprende las siguientes unidades:

## UNIDAD INGENIERÍA DE SOFTWARE

La cual realiza soluciones informáticas bajo un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento del software en el IGP. Además, siempre está monitoreando los diferentes sistemas de la institución a fin de evaluar el funcionamiento actual e identificar sus debilidades para así proponer mejoras que conlleven a un sistema robusto ante fallos.

Durante el 2015 se desarrollaron

nuevas aplicaciones web, tales como el repositorio digital, la plantilla web institucional, repositorio multimedia, los sitios web de las subdirecciones y sedes desconcentradas, entre otros. Asimismo, se llevó a cabo el mantenimiento de las ya existentes, entre las cuales figuran el portal web institucional, el registro de incidencias del Servicio Sismológico Nacional, el registro de incidencias del Observatorio Vulcanológico del Sur.

## UNIDAD BANCO NACIONAL DE DATOS GEOFÍSICOS

Esta unidad gestiona eficientemente el repositorio central del IGP, el cual alberga todos los datos de los instrumentos en forma ordenada. Además, busca segmentar los procesos de almacenamiento, procesamiento y disponibilización de los datos para poder incrementar la seguridad de su arquitectura y sus accesos al sistema. Asimismo, responde al cumplimiento del Decreto Supremo N° 133-2013-PCM, mediante el cual se establece el acceso e intercambio de información geo espacial entre entidades de la Administración Pública.

Como parte de esta labor, entre otras actividades, se incrementó la capacidad de almacenamiento del Banco de Datos, se preparó el

nuevo servidor de procesamiento y se realizó la migración de datos geoespaciales (GEOIGP), el cual es un proyecto que tiene por finalidad amparar a la institución en el marco del DS N° 133-2013-PCM de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), así como obtener un reporte de datos recibidos detallada y mensualmente de las estaciones sísmicas de la institución.

Asimismo, se creó una copia de seguridad externa de todo el Banco de Datos, dentro de lo cual se implementó un sistema redundante en otra sede, se implementaron sistemas y políticas de copias de seguridad y se desarrolló un plan de continuidad de operaciones del citado banco.

## UNIDAD OPERACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Su labor se centra en el monitoreo, seguimiento y análisis de los servicios de comunicaciones. Asimismo, es responsable de la administración de los recursos informáticos y de software para asegurar su operatividad y brindar asistencia técnica a los órganos de la institución. Además, emite opinión técnica para la adquisición de los mismos.

Para cumplir a cabalidad estas funciones esta unidad ha identificado cuatro principales actividades, las mismas que se ejecutaron convenientemente durante el 2015:

1. Operación y mantenimiento de servicios críticos (banda ancha,

Internet satelital BGAN, equipos que brindan el servicio de correo institucional, telefonía móvil e internet, equipos que albergan los sistemas SIGA y SIAF).

2. Operación y mantenimiento de servicios no críticos (instalación del servicio de red, del servicio de mesa de ayuda al usuario, del servicio EDUROAM.

3. Operación de licencias de software, mensajería interna, entre otros.

4. Operación del sistema de aire acondicionado, infraestructura de red (mantenimiento de equipos de voz y datos) y UPS.



# Cooperación Institucional y Servicios



# CONVENIOS PARA EL DESARROLLO

La labor del Instituto Geofísico del Perú tiene relevancia nacional e internacional, tanto por el alto nivel de sus investigaciones así como por el interés que generan en la comunidad científica los temas que se desarrollan en las diversas unidades de la institución. Esta condición del IGP ha permitido que diversas instituciones nacionales y del exterior opten por trabajar de manera conjunta a través de convenios, donaciones o subvenciones en proyectos de interés conjunto.

De esta forma en el Observatorio de Huancayo, gracias a un convenio con la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (Conida), se realizó la instalación y operación de un moderno telescopio del proyecto Sistema de Satélites Ópticos de Observación Terrestre Asia Pacífico (APOSOS), mediante el cual es posible realizar la detección de objetos espaciales y su seguimiento, alertas tempranas de colisión, predicción de reingreso de objetos espaciales, así como consultas técnicas y capacitación.

En el citado observatorio se cuenta también, en el marco de un convenio de cooperación con la National Aeronautics and Space Administration (NASA, EE.UU.), con un fotómetro solar para la medición de aerosoles en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR), con el cual este centro pasó a integrar la red mundial AERONET de la NASA.

Asimismo, se continúa recibiendo el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencias de los EE.UU. (NSF) a través del acuerdo cooperativo que ostenta con la Universidad de Cornell. Convenio que data desde 1979 y mediante el cual el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) realiza investigaciones tanto en Aeronomía

como Geomagnetismo y asume la responsabilidad de permitir a la citada casa de estudios obtener datos del radar de dispersión incoherente a una tasa aproximada de 1000 (mil) horas/año durante el período acordado.

Precisamente el ROJ mantiene por su parte convenios con el Laboratorio del Gobierno Federal de los Estados Unidos del Departamento de la Marina (NRL) y con el *Atmospheric & Space Technology Research Associates* LLC (ASTRAD-IGP), con los cuales el Instituto realiza la instalación, mantenimiento y toma de datos de cuatro receptores marca NWRA y se ejecuta el proyecto de investigación denominado “Radar Doppler de alta frecuencia (HF) para estudios en bajas latitudes”, respectivamente.

En el marco del compromiso del Perú en la vigilancia de la no proliferación de pruebas con armas nucleares, el IGP cuenta desde el 2012 con una importante donación por parte del Sistema Internacional de Verificación del Tratado de NoProliferación de Armas Nucleares (CTBTO), el cual consiste en un sistema que facilitará el intercambio de información relevante sobre eventos sísmicos que puedan estar asociados a posibles explosiones nucleares detectables en el ámbito regional.



Telescopio instalado en el Observatorio de Huancayo por un convenio con la Conida.

Por otro lado, se continúa con el convenio con la Municipalidad de Sachaca, mediante el cual se realizó un estudio de microzonificación sísmica en su jurisdicción y esta comuna cedió al IGP un terreno para la construcción de un moderno Observatorio Vulcanológico.

También con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD de Francia) se mantiene un convenio de cooperación interinstitucional con el fin de realizar estudios que se desarrollan en sismología, vulcanología y eventos hidrológicos extremos en la Amazonía, los cuales aportan conocimiento en materia de gestión de riesgo de desastres.

Además, desde el 2006 se lleva a cabo un convenio con el Boston College de EE.UU. para la operación del proyecto internacional *Low-Latitude Ionospheric Sensor Network* (LISN) cuya finalidad es estudiar y pronosticar los fenómenos ionosféricos. LISN consiste en un sistema capaz de monitorear la baja, media y alta atmósfera a través de modernos instrumentos geofísicos instalados en diversos países de América del Sur.

Mientras que, desde el 2007, el área de Geodesia Espacial mantiene un convenio de cooperación con el Laboratorio de Tectónica del Instituto Tecnológico de California (CALTECH), en el marco del cual se realizan campañas de observaciones en puntos geodésicos instalados por ISTERre e IGP. Cabe agregar que esta área del IGP y la *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) colaboran desde el 2013 de manera conjunta en un proyecto científico con el objetivo de evaluar la potencial ocurrencia de erupciones volcánicas en los principales volcanes del sur del Perú, trabajo que, a iniciativa de la JPL-NASA, tiene carácter multinacional y también se desarrolla en otras zonas volcánicas de Sudamérica y América Central.

En lo que respecta a donaciones, el Planetario de San José, perteneciente a la Universidad de Costa Rica, realizó en julio del 2015 una importante donación al Instituto Geofísico del Perú (IGP), consistente en material astronómico didáctico de divulgación científica, el cual será adaptado y emitido en las funciones del Planetario Nacional “Mutsumi Ishitsuka”.

# SERVICIOS TECNOLÓGICOS



GPS con el que se monitorea la represa del Mantaro.

Las unidades de investigación del Instituto Geofísico del Perú (IGP) generan conocimiento científico que contribuye al desarrollo de actividades de diversas empresas e instituciones en ámbitos como minería, electricidad, telecomunicaciones, etc.

De esta forma, la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida opera una red sísmica que consta de 8 estaciones temporales y 4 de la Red Sísmica Nacional, con el objetivo de recolectar información sísmica que permita conocer la geometría de las principales fallas que comprenden el sistema Rioja-Moyomaba, la misma que dio lugar a los sismos de 1990 y 1991 que produjeron destrucción y muerte en dicha región.

Asimismo, un grupo de ingenieros de la citada subdirección realizó trabajos de campo para la recolección de datos sísmicos y geofísicos en la zona del cerro Vista Alegre y a sus alrededores, labor que se ejecutó por expresa solicitud del Gobierno Regional de Lima a fin de conocer el comportamiento dinámico de los suelos ante movimientos sísmicos. Tras la evaluación de la data recogida, el 8 de julio se presentó el informe correspondiente.

Además, se continuó con el convenio que se tiene con Electroperú consistente en el análisis de la actividad sísmica local registrada por la red sísmica telemétrica del Complejo Mantaro – Tablachaca y, a cargo de la Subdirección de Redes Geofísicas, con el registro,

evaluación, análisis y procesamiento e interpretación de la actividad sísmica local.

Asimismo, la Institución mantiene el contrato que se tiene con la compañía minera Milpo, que consiste en la operación, mantenimiento y entrega de datos del acelerómetro instalado en el nevado de Chaupijanca.

Por su parte, el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) participó en setiembre en la instalación y puesta en operación de una segunda versión del sistema de sondeo HF *Doppler digital* – TIDDBIT, desarrollado para el monitoreo y caracterización de perturbaciones ionosféricas TIDs (*Travelling Ionospheric Disturbances*), en el marco de un proyecto desarrollado en colaboración con Timothy Duly y Adam Reynolds, e investigadores del *Atmosphere & Space Technology Research Associates* (ASTRA).

Mientras que en el Observatorio de Huancayo, el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) cuenta con instrumentos de última generación que permitirán desarrollar estudios sobre la física y microfísica de nubes y precipitación, balance de agua y energía en zona de montaña, así como transporte de aerosoles. Esta estructura es el único laboratorio de su tipo en el Perú y está abierta para universidades e instituciones de investigación nacionales y extranjeras, interesadas en desarrollar estudios sobre la física del clima de los Andes peruanos.

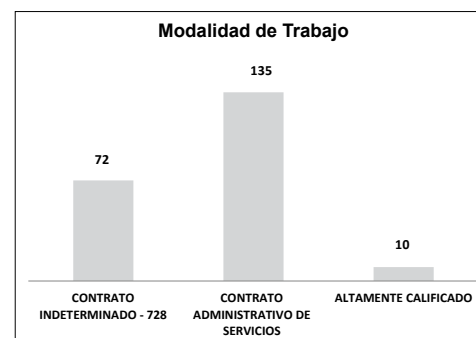
# RECURSOS HUMANOS DEL IGP

La fuerza de toda organización se centra en su capital humano, sus capacidades, conocimientos y habilidades: elementos esenciales para el desarrollo de sus actividades. El IGP tiene la responsabilidad —dentro de su competencia— de hacer ciencia y su campo de acción son los fenómenos y procesos naturales que afectan a la Tierra. Para cumplir a cabalidad esa tarea, cuenta con profesionales de alto nivel, lo que le permite investigar y obtener información confiable que se convertirá luego en insumo para hacer la ciencia que el país tanto necesita.

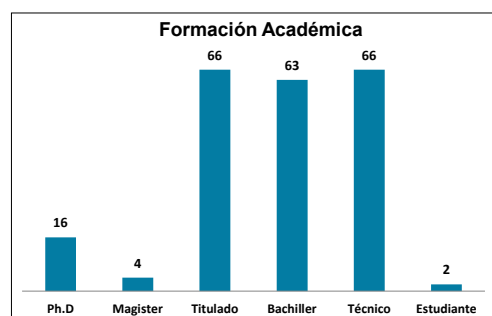
Al 31 de diciembre del 2015, el IGP mantuvo una fuerza laboral de 389 personas, bajo diferentes modalidades de contratación: 72 por Contrato Indeterminado, 728, 135 vía Contrato Administrativo de Servicios (CAS), 10 en Altamente calificados y 135 Locadores (presupuesto), 12 de Proyecto Fincyt, 2 del proyecto Fondecyt, 14 del proyecto PEER Aerosoles, 5 del proyecto LISN, y 4 del proyecto Manglares.

Además, como resultado del convenio con la Autoridad Nacional del Servicio Civil (Servir), la Institución continuó con la colaboración de tres gerentes públicos cuya labor se centró en mejorar la eficiencia del gasto y la gestión administrativa del IGP.

Modalidad de Trabajo



Formación



En lo que respecta a la labor científica, el IGP cuenta con una plana de destacados especialistas que le permite ser fuente de información altamente especializada. El Radio Observatorio de Jicamarca está dirigido por Marco Milla; el Observatorio de Huancayo por José Ishitsuka; la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida está a cargo de Hernando Tavera; la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera por Ken Takahashi; y el Observatorio Vulcanológico del Sur por Orlando Macedo. Ellos tienen a su cargo equipos de trabajo integrados por investigadores científicos, asociados, asistentes de investigación, técnicos, ingenieros, tesisistas y colaboradores, quienes contribuyen durante la ejecución de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico.

Además, en lo que se refiere a soporte, la Subdirección de Redes Geofísicas estuvo a cargo de Edmundo Norabuena, la Oficina de Tecnologías de la Información y Datos Geofísicos fue dirigida por María Rosa Luna y la Subdirección de Geofísica & Sociedad por Alejandra Martínez.

# Personal IGP 2015



OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO



OFICINA



RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA



SUBDIRECCIÓN DE GEOFÍSICA & SOCIEDAD



OFICINA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DATOS GEOFÍSICOS



OFICINA DE CONTROL INSTITUCIONAL



OBSERVATORIO DE HUANCAYO



UNA DE ASESORÍA JURÍDICA



OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR



ALTA DIRECCIÓN



SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



OFICINA DE ADMINISTRACIÓN



SUBDIRECCIÓN DE REDES GEOFÍSICAS



SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA E HIDRÓSFERA



OFICINA DESCONCENTRADA DE CHICLAYO

# Mejorando la Gestión Institucional





# FORTALECIENDO EL CORE DEL IGP

Con la finalidad de incorporar nuevos investigadores científicos en aras de reforzar las capacidades de las diversas áreas de investigación de la Institución, durante el 2015 se realizaron seis concursos públicos, tras los cuales se dio la incorporación de un nuevo agregado de investigación.

En la búsqueda de valorar las capacidades de los profesionales con que cuenta el IGP, así como ampliar y diversificar los estudios que se desarrollan, en los meses de junio, agosto y diciembre la Institución dispuso la progresión interna por méritos permitiendo de esta manera que 03 trabajadores accedan a niveles superiores.

De esta manera el IGP puso de manifiesto su premisa de reforzar su staff y mantenerse a la vanguardia de la investigación científica en el país, así como continuar siendo un referente a nivel internacional.

	INVESTIGADORES CON GRADO DE DOCTOR	INVESTIGADORES
Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	3	5
Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera	10	6
Subdirección de Redes Geofísicas	2	
Subdirección de Geofísica y Sociedad		3
Radio Observatorio de Jicamarca	4	1
Observatorio Vulcanológico del Sur	1	1
Observatorio de Huancayo	3	1

Cuadro de número de investigadores del IGP.

# MEDIOS FINANCIEROS

## FINANCIAMIENTO E INGRESOS

El Presupuesto Institucional de Apertura (PIA) para el pliego N° 112 Instituto Geofísico del Perú (IGP), aprobado mediante Ley N° 30281, “Ley del Presupuesto del Sector Público para el periodo Fiscal 2015”, ascendió por toda fuente de financiamiento a S/ 26,016,981, siendo desagregado en las Fuentes de Financiamiento : Recursos Ordinarios S/ 24,877,441, que corresponde a 96%; Recursos Directamente Recaudados S/ 513,080 correspondiente a 2% y en Donaciones y Transferencias S/ 626,460 corresponde a un 2%, los mismos que fueron incorporados y aprobados con Resolución de Presidencia N° 438-IGP/13 de fecha 26.12.2014.

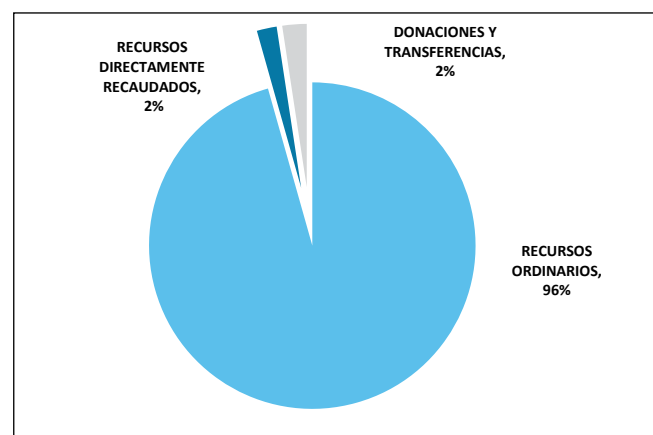
Al finalizar el periodo fiscal 2015, la entidad culmina con un Presupuesto Institucional Modificado – PIM (por toda Fuente de Financiamiento) de S/ 29,910,894, notándose un incremento (créditos suplementarios y transferencias de partidas) por S/ 3,893,913, que representan el 15 % con respecto al PIA.

El mayor incremento se dio en la Fuente de Financiamiento Donaciones y Transferencias el mismo que alcanzó el 373.4% principalmente como consecuencia del saldo de balance correspondiente al periodo 2014, recursos provenientes de la Universidad de CORNELL (Pensilvania), Japón y de los diferentes convenios realizados con FONDECYT.

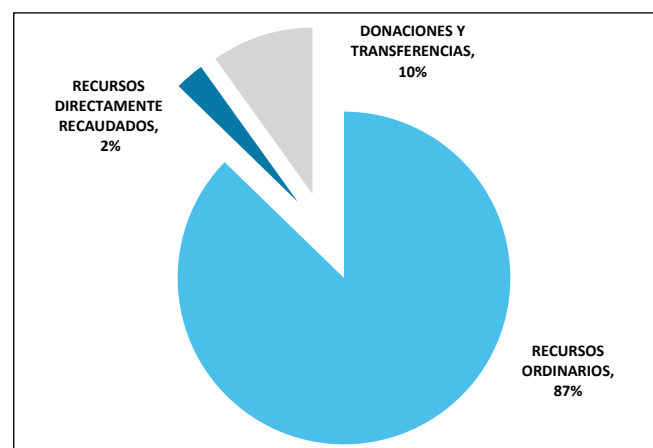
La Fuente de Financiamiento Recursos Ordinarios experimentó un incremento del 4.9%, como consecuencia de la transferencia de recursos con el Decreto Supremo N° 002-2015-EF por reajuste de pensiones D.L. N° 20530, y Decreto Supremo N° 268-2015-EF para el Proyecto de Inversión: “Mejoramiento de la Red Sísmica Acelerométrica a Nivel Nacional y del Centro de Procesamiento de Información del Instituto Geofísico del Perú”.

Asimismo, en la fuente de financiamiento Recursos Directamente

**Presupuesto Institucional de Apertura  
PIA 2015  
S/ 26,016,981.00**



**Presupuesto Institucional Modificado  
PIM 2015  
S/ 29,910,894.00**



Recaudado tuvo un incremento porcentual de 64.8%, principalmente como consecuencia del saldo de balance correspondiente al periodo 2014, y por recaudación intereses generados por los saldos de las asignaciones financieras de cada mes (CUT), penalidades administrativas, por derecho de reproducción del expediente de contratación ADP, por Convenio con PNUD, ElelectroPerú, Sedapal, Conida Y MILPO, servicio del planetarios y otros servicios a terceros.

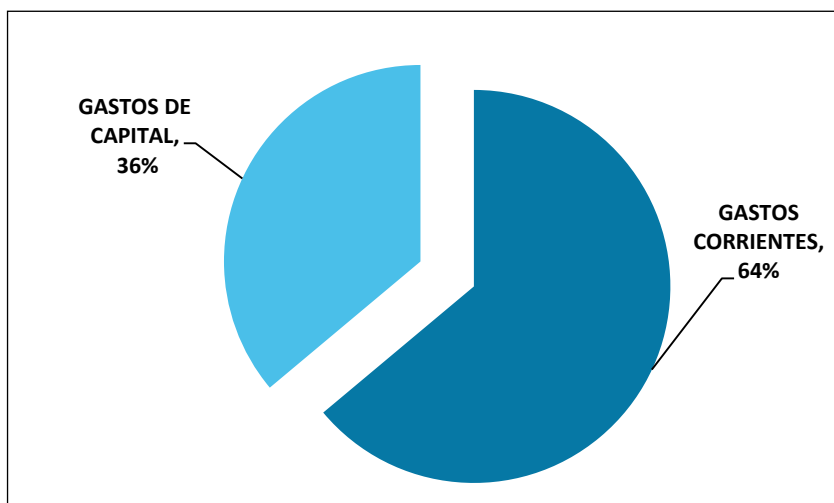
### Resumen del comportamiento de los ingresos

<b>PRESUPUESTO INSTITUCIONAL DE INGRESOS 2015</b>				
<b>FUENTE DE FINANCIAMIENTO</b>	<b>PIA</b>	<b>PIM</b>	<b>INCREMENTO</b>	<b>%</b>
<b>RECURSOS ORDINARIOS</b>	<b>24,877,441</b>	<b>26,100,068</b>	<b>1,222,627</b>	<b>4.9%</b>
Presupuesto Inicial ( Ley N° 30114)	24,877,441	24,877,441	0	
Crédito Suplementario		0	0	
Transferencia de Partidas		1,222,627	1,222,627	
<b>RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS</b>	<b>513,080</b>	<b>845,342</b>	<b>332,262</b>	<b>64.8%</b>
Presupuesto Inicial ( Ley N° 30114)	513,080	513,080	0	
Crédito Suplementario		332,262	332,262	
Transferencia de Partidas				
<b>DONACIONES Y TRANSFERENCIAS</b>	<b>626,460</b>	<b>2,965,484</b>	<b>2,339,024</b>	<b>373.4%</b>
Presupuesto Inicial ( Ley N° 30114)	626,460	626,460	0	
Crédito Suplementario		2,339,024	2,339,024	
Transferencia de Partidas				
<b>TOTAL</b>	<b>26,016,981</b>	<b>29,910,894</b>	<b>3,893,913</b>	<b>15.0%</b>
Presupuesto Inicial ( Ley N° 30114)	26,016,981	26,016,981	0	
Crédito Suplementario	0	2,671,286	2,671,286	
Transferencia de Partidas	0	1,222,627	1,222,627	

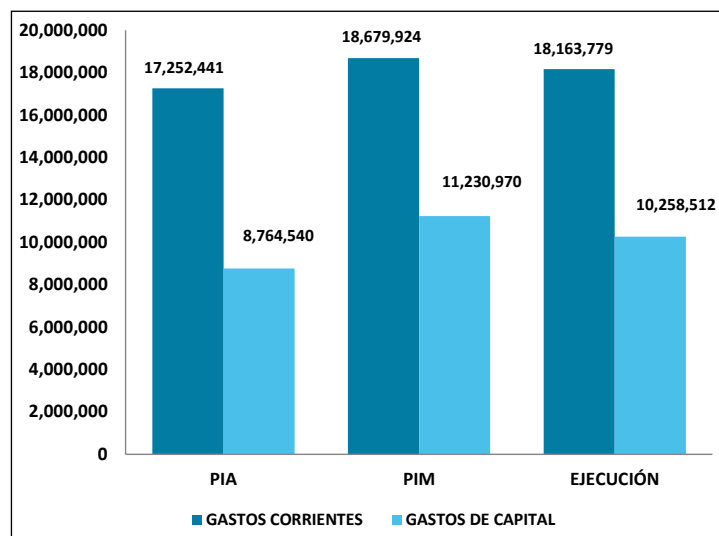
## COMPORTAMIENTO DE LOS GASTOS

Para el periodo fiscal 2015, el IGP logró ejecutar por toda fuente de financiamiento S/ 28,422,291.00, significando el 95% respecto al PIM; este porcentaje se distribuyó en Gastos Corrientes 64% y Gastos de Capital 36%.

Ejecución Presupuestaria 2015  
Por Tipo de Gasto

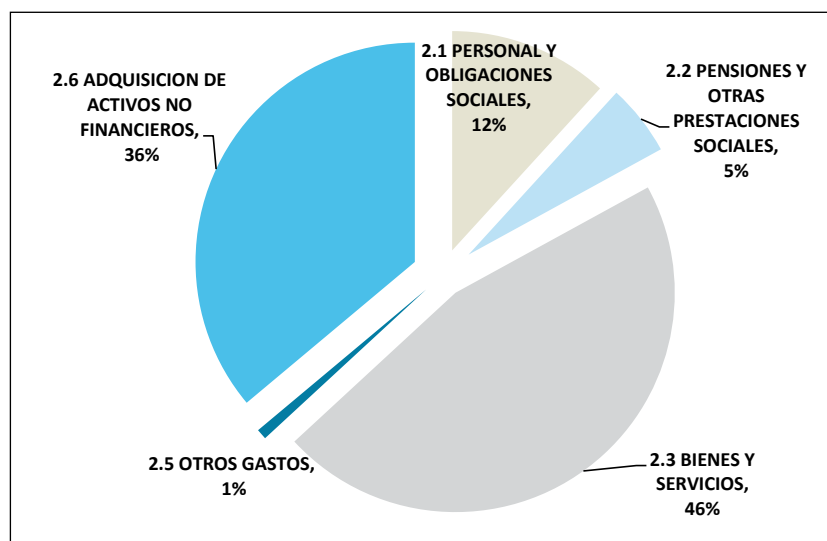


Ejecución Presupuestaria 2015



Analizando la composición del gasto ejecutado, el 12% corresponde a la genérica 2.1 Personal y Obligaciones Social, el 5% corresponde a genérica 2.2 Pensiones y Otras Prestaciones Sociales, el 46% a la genérica 2.3 Bienes y Servicios, el 1% a la genérica 2.5 Otros gastos y el 36% a la genérica 2.6 Adquisición de Activos no Financieros.

Ejecución Presupuestaria 2014  
por Genérica de Gasto



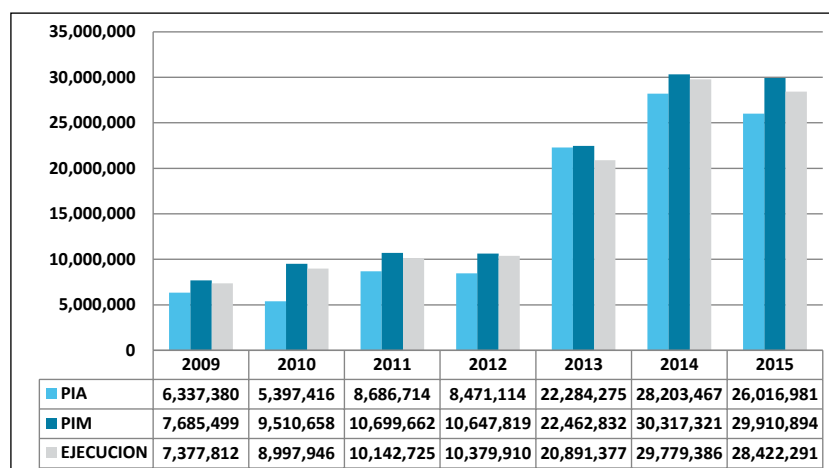
## Resumen del comportamiento de los gastos

PRESUPUESTO INSTITUCIONAL DE GASTOS 2015				
FUENTE DE FINANCIAMIENTO / GENERICA DE GASTO	PIA	PIM	EJECUCIÓN	EJE/PIM
<b>1 RECURSOS ORDINARIOS</b>	<b>24,877,441</b>	<b>26,100,068</b>	<b>25,761,695</b>	<b>99%</b>
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>16,122,901</b>	<b>16,855,642</b>	<b>16,630,276</b>	<b>99%</b>
2.1 PERSONAL Y OBLIGACIONES SOCIALES	4,400,000	3,422,743	3,302,201	96%
2.2 PENSIONES Y OTRAS PRESTACIONES SOCIALES	1,100,000	1,544,416	1,491,930	97%
2.3 BIENES Y SERVICIOS	10,469,901	11,686,335	11,636,200	100%
2.5 OTROS GASTOS	153,000	202,148	199,945	99%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>8,754,540</b>	<b>9,244,426</b>	<b>9,131,419</b>	<b>99%</b>
2.6 ADQUISICION DE ACTIVOS NO FINANCIEROS	8,754,540	9,244,426	9,131,419	99%
<b>2 RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS</b>	<b>513,080</b>	<b>845,342</b>	<b>631,695</b>	<b>75%</b>
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>513,080</b>	<b>731,409</b>	<b>528,630</b>	<b>72%</b>
2.3 BIENES Y SERVICIOS	513,080	731,409	528,630	72%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>0</b>	<b>113,933</b>	<b>103,066</b>	<b>90%</b>
2.6 ADQUISICION DE ACTIVOS NO FINANCIEROS	0	113,933	103,066	90%
<b>4 DONACIONES Y TRANSFERENCIAS</b>	<b>626,460</b>	<b>2,965,484</b>	<b>2,028,901</b>	<b>68%</b>
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>616,460</b>	<b>1,092,873</b>	<b>1,004,873</b>	<b>92%</b>
2.1 PERSONAL Y OBLIGACIONES SOCIALES	46,180	46,180	45,106	98%
2.3 BIENES Y SERVICIOS	555,280	1,022,850	939,754	92%
2.5 OTROS GASTOS	15,000	23,843	20,013	84%
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>10,000</b>	<b>1,872,611</b>	<b>1,024,028</b>	<b>55%</b>
2.6 ADQUISICION DE ACTIVOS NO FINANCIEROS	10,000	1,872,611	1,024,028	55%
<b>TOTAL</b>	<b>26,016,981</b>	<b>29,910,894</b>	<b>28,422,291</b>	<b>95%</b>

## COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PRESUPUESTO DEL IGP

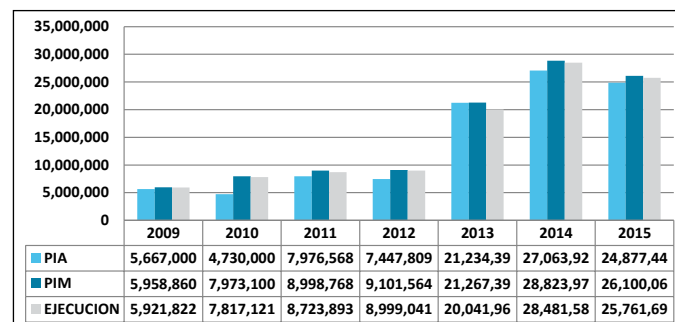
Para el periodo fiscal 2015, y tomando como base el año 2009, el presupuesto del IGP por toda fuente, muestra una tendencia creciente respecto a los tres momentos presupuestarios; si bien el Presupuesto Institucional Apertura (PIA) y el Presupuesto Institucional Modificado (PIM) ha tenido una disminución con respecto a los años 2014 a 2015 de S/ 2,186,486.00 y S/ 406,426.00 respectivamente, dicha variación se dio debido a que en la Fuente de Financiamiento Recursos Ordinarios, se viene ejecutando el Proyecto de Inversión Pública denominado: 2.159216 - "Mejoramiento de la Red Sísmica Acelerométrica a nivel nacional y del Centro de Procesamiento de Información del Instituto Geofísico del Perú", donde para el año 2015 se tuvo asignación menor, debido a que es su tercer año de ejecución.

Comportamiento histórico del presupuesto del IGP  
Toda fuente



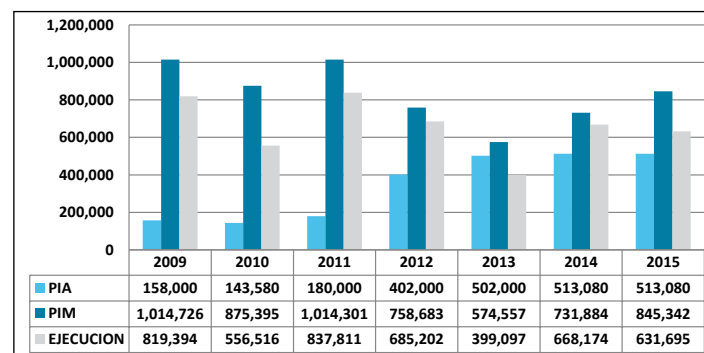
Verificando el comportamiento histórico por fuente de financiamiento, observamos que a nivel de Recursos Ordinarios (RO) este tuvo un incremento significativo a partir del año 2011.

### Comportamiento Histórico RO



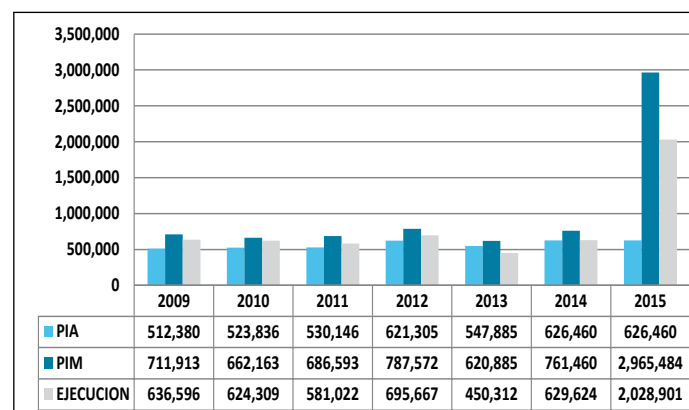
La fuente Recursos Directamente Recaudados (RDR), a nivel de PIM y Ejecución, muestra un comportamiento ascendente a partir del 2009.

### Comportamiento Histórico RDR



La fuente Donaciones y Transferencias (DyT) muestran un comportamiento homogéneo a partir del 2010, como consecuencia de los aportes del Convenio de financiamiento de la Universidad de Cornell, Pensilvania, Japón y las transferencias de los diferentes convenios con Fondecyt.

### Comportamiento Histórico D y T



## PROYECTO DE INVERSIÓN PÚBLICA

FICHA RESUMEN DEL PROYECTO	
Nombre del proyecto:	"Mejoramiento de la red sísmica acelerométrica a nivel nacional y del centro de procesamiento de información del Instituto Geofísico del Perú"
Código SNIP:	2159216
Objetivo del proyecto:	Incremento de la capacidad de registro y provisión de información sísmica - acelerométrica a nivel nacional, con fines de prevención y atención de peligros naturales .
Principales detalles técnicos del proyecto:	Mejora de la prevención y atención de desastres naturales , con mínimos costos sociales y económicos asumidos por el Estado, ante la ocurrencia de eventos sísmicos.
Objetivo Especifico:	* 169 estaciones acelerometricas instaladas y funcionando adecuadamente a nivel nacional al tercer año del proyecto. * Sistema de interconexión y transmisión de datos entre estaciones y con el centro de procesamiento de datos funcionando adecuadamente .
Beneficiarios directos :	20,050,010 habitantes o 4,890 ,246 hogares
Beneficiarios indirectos:	Población a nivel nacional
Costo total del proyecto	9,474,021.00

PROYECTO	PIA	PIM	EJECUCIÓN	%
"Mejoramiento de la red sísmica acelerométrica a nivel nacional y del centro de procesamiento de información del Instituto Geofísico del Perú"	1,916,000	3,111,987	3,000,504.39	96.42%

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS  
Dirección General de Contabilidad

SECTOR : 05 AMBIENTAL  
ENTIDAD : 112 INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

**ESTADO DE GESTION**  
Para los años terminados al 31 de Diciembre del 2015 y 2014  
(EN NUEVOS SOLES)

**INGRESOS**

	2015	2014
Ingresos Tributarios Netos	0	0
Ingresos No Tributarios	463,361	433,847
Traspasos y Remesas Recibidas	25,761,695	31,975,532
Donaciones y Transferencias Recibidas	5,036,840	734,057
Ingresos Financieros	28,175	14,490
Otros Ingresos	245,994	848,112
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>31,536,064</b>	<b>34,006,039</b>

**COSTOS Y GASTOS**

Costo de Ventas	0	0
Gastos en Bienes y Servicios	(13,323,779)	(10,269,478)
Gastos de Personal	(4,457,876)	(6,820,697)
Gastos por Pens.Prest.y Asistencia Social	(613,342)	(596,725)
Donaciones y Transferencias Otorgadas	0	0
Traspasos y Remesas Otorgadas	0	0
Estimaciones y Provisiones del Ejercicio	(5,478,681)	(4,381,196)
Gastos Financieros	(1,377)	(487)
Otros Gastos	(705,851)	(970,635)
<b>TOTAL COSTOS Y GASTOS</b>	<b>-24,580,906</b>	<b>-23,039,217</b>

**RESULTADO DEL EJERCICIO SUPERAVIT  
(DEFICIT)**

<b>6,955,158</b>	<b>10,966,821</b>
------------------	-------------------



ESTADO DE SITUACION FINANCIERA  
Al 31 de Diciembre del 2015 y 2014  
(EN NUEVOS SOLES)

ACTIVO	2015	2014
<b>ACTIVO CORRIENTE</b>		
Efectivo y Equivalente de Efectivo	3,798,393	650,960
Inversiones Disponibles	0	0
Cuentas por Cobrar (Neto)	59,066	12,411
Otras Cuentas por Cobrar (Neto)	81,472	81,472
Inventarios (Neto)	141,908	191,081
Servicios y Otros Pagados por Anticipado	56,474	20,513
Otras Cuentas del Activo	2,351,138	4,194,330
<b>TOTAL ACTIVO CORRIENTE</b>	<b>6,488,452</b>	<b>5,150,767</b>

ACTIVO NO CORRIENTE	2015	2014
Cuentas por Cobrar a Largo Plazo	0	0
Otras Ctas. por Cobrar a Largo Plazo	0	0
Inversiones (Neto)	0	0
Propiedades de Inversión	0	0
Propiedad, Planta y Equipo (Neto)	72,815,858	596,945,022
Otras Cuentas del Activo (Neto)	3,659,454	2,593,713
<b>TOTAL ACTIVO NO CORRIENTE</b>	<b>76,475,312</b>	<b>599,538,735</b>

<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>82,963,764</b>	<b>604,689,502</b>
---------------------	-------------------	--------------------

Cuentas de Orden	8,582,523	10,338,062
------------------	-----------	------------

PASIVO Y PATRIMONIO	2015	2014
<b>PASIVO CORRIENTE</b>		
Sobregiros Bancarios	0	0
Cuentas por Pagar a Proveedores	3,580,053	3,856,163
Impuestos, Contribuciones y Otros	59,198	159,649
Remuneraciones y Beneficios Sociales	315,381	305,058
Obligaciones Previsionales	0	0
Operaciones de Crédito	0	0
Parte Cte. Deudas a Largo Plazo	0	0
Otras Cuentas del Pasivo	17,796	234,719
<b>TOTAL PASIVO CORRIENTE</b>	<b>3,972,428</b>	<b>4,555,589</b>

PASIVO NO CORRIENTE	2015	2014
Deudas a Largo Plazo	0	0
Cuentas Por Pagar a Proveedores	0	0
Beneficios Sociales	1,951,896	1,805,396
Obligaciones Previsionales	2,595,433	2,296,415
Provisiones	572,225	183,025
Otras Cuentas del Pasivo	0	0
Ingresos Diferidos	0	0
<b>TOTAL PASIVO NO CORRIENTE</b>	<b>5,119,554</b>	<b>4,284,836</b>

<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>9,091,983</b>	<b>8,840,425</b>
---------------------	------------------	------------------

PATRIMONIO	2015	2014
Hacienda Nacional	169,689,672	169,703,797
Hacienda Nacional Adicional	811,645	(14,125)
Resultados No Realizados	18,576,200	544,888,115
Resultados Acumulados	(115,205,737)	(118,728,710)
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>73,871,781</b>	<b>595,849,077</b>

<b>TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO</b>	<b>82,963,764</b>	<b>604,689,502</b>
----------------------------------	-------------------	--------------------

Cuentas de Orden	8,582,523	10,338,062
------------------	-----------	------------

# Instituto Geofísico del Perú

Ciencia para protegernos, ciencia para avanzar.





GPS utilizado para medir el movimiento de la corteza terrestre.



INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

© Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima,  
Central Telefónica: (511) 317 2300  
<http://www.igp.gob.pe>