

Autores: Gastón Díaz, Diego Mohr-bell y José Daniel Lencinas
Laboratorio de Geomática, Área de Planificación Territorial - CIEFAP

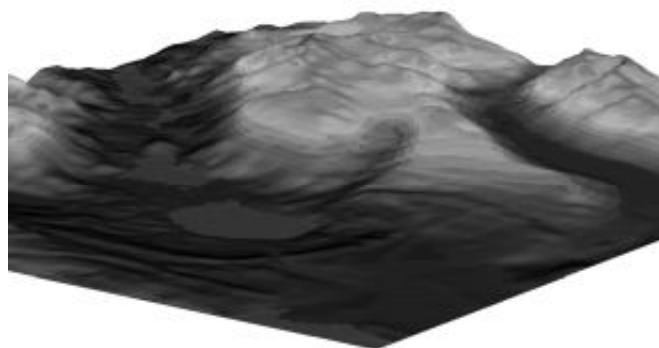
Modelos digitales de elevación de alta resolución

Extracción con datos del satélite ALOS

En los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la superficie de la Tierra es representada con Modelos Digitales de Elevación (MDE) que permiten obtener información de altitud en cualquier punto de un área específica. Esta propiedad los diferencia de un conjunto de datos de elevación, como por ejemplo, las curvas de nivel. Los MDE pueden ser representados en formato regular o irregular; el primero es el más extensamente utilizado y consiste en una malla de celdas de igual tamaño (píxeles) denominada raster (Hengl y Reuter 2009). Antes de incorporar un MDE en un SIG es necesario conocer su proyección geográfica y el sistema de referencia utilizado para determinar la altitud, ya que puede estar referida a un elipsoide (altura sobre el elipsoide) o a un geoide (altura sobre el nivel del mar). A su vez, los MDE pueden representar la vegetación, los edificios y otras características culturales, o únicamente el terreno subyacente. Los primeros se conocen como modelos digitales de superficie (MDS), los segundos, como modelos digitales del terreno (MDT).

Actualmente, es posible descargar sin costo a través de Internet MDE que cubren casi la totalidad de la superficie terrestre, siendo el SRTM-C el más difundido. Éste se trata de un raster en coordenadas geográficas, con la altitud referida al geoide, en el que cada píxel representa 3 arcos de segundo en el terreno (aproximadamente 90 metros).

La teledetección espacial es una importante fuente de datos para derivar MDE. Por ejemplo, el SRTM-C fue producido con datos radar banda C adquiridos desde un trasbordador espacial durante la misión SRTM, del inglés *Shuttle Radar Topography Mission* (Rabus et al. 2003). Además de adquirir datos banda C, la misión adquirió datos banda X, pero en franjas cuatro veces más angostas, ocasionando vacíos de información entre orbitas adyacentes. Con estos datos fue derivado el modelo SRTM-X (© DLR 2010), que cubre la Tierra en forma discontinua con resolución espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 metros). Recientemente ha comenzado a distribuirse sin costo. El ASTER GDEM (del inglés *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*) también fue derivado de datos provenientes de teledetección espacial (óptica, en vez de radar) y, a partir de junio de 2009, puede descargarse sin costo a través de Internet; cubre casi la totalidad



Modelo Digital de Elevación de un área montañosa.

de la tierra y se distribuye en formato raster con 1 arco de segundo de resolución espacial (METI et al. 2009). Aunque el ASTER GDEM y el SRTM-X tienen la misma resolución espacial, el último representa con mayor fidelidad la superficie del terreno (Rabus et al. 2003, Ludwig y Schneider 2006, METI et al. 2009).

Cuando un SIG es utilizado para medir distancias o superficies, es necesario incorporar información base con exactitud planimétrica acorde a la tolerancia definida. Sensores satelitales de muy alta resolución espacial (VHR por sus siglas en inglés) como IKONOS, QuickBird o WorldView-2, tienen una exactitud potencial inferior a un metro (Corbelle-Rico et al. 2006, Lencinas y Siebert 2009). Sin embargo, en áreas montañosas el relieve provoca distorsiones de magnitud variable en función de la geometría de observación del sensor y de la rugosidad del terreno; en esos casos, la corrección geométrica debe realizarse con integración de MDE (Itten et al. 1992, Toutin 1995, Rocchini y Di-Rita 2005). Las imágenes corregidas con este procedimiento se conocen como imágenes ortorrectificadas u orto-imágenes. La Comisión Europea recomienda generar orto-imágenes de VHR utilizando MDE con error vertical de RMS (del inglés *Root mean Square*) menor a cinco metros (Kapnias et al. 2008). En áreas montañosas no es posible disponer de ese nivel de exactitud con los MDE disponibles sin costo a través de Internet.

Existen varios sistemas de teledetección espacial que permiten obtener MDE de alta resolución, entre ellos se destaca el sensor PRISM (del inglés *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) a bordo de la plataforma satelital ALOS (del

inglés *Advanced Land Observing Satellite*), que fue diseñado para obtener MDE de diez metros de resolución espacial y RMS menor a cinco metros (JAXA 2007). Se trata de un sensor óptico pancromático de VHR con la capacidad de adquirir datos estereoscópicos simultáneamente a lo largo de su órbita, permitiendo generar MDE a través de extracción automática mediante un software específico. El objetivo de esta nota es presentar las características de este tipo de datos y su potencial de aplicación, desarrollando, en líneas generales, los materiales y métodos necesarios para extraer un MDE.

Características de los datos PRISM

El satélite ALOS fue lanzado el 24 de enero de 2006 por la JAXA (Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial) y fue diseñado para mantenerse operativo durante tres a cinco años. La plataforma tiene tres sensores a bordo, el AVNIR-2 (del inglés *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*), el PALSAR (del inglés *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), y el PRISM. Este último se trata de un sensor óptico pancromático (520 a 770 nm) con resolución espacial de 2,5 metros en el nadir y tres sistemas ópticos independientes *push-broom*, con la capacidad de generar datos estereoscópicos simultáneamente a lo largo de su órbita con 8 bit de resolución radiométrica. El PRISM tiene vista nadir, hacia el frente y atrás, estas últimas relativas al sentido de avance del satélite (Figura 1). La inclinación es de $+24^\circ$ y -24° con respecto al nadir. De esta manera se consigue una relación base/altura de uno, al combinar las vistas frente-atrás, y de 0,5, con nadir-frente/atrás.



Figura 1. Sistemas ópticos independientes del sensor PRISM, adaptado de JAXA (2008)

El sensor tiene varios modos de operación. En la modalidad normal (OB1) captura las tres vistas (triplet) con una extensión aproximada de 35×35 km cada una, con una superposición entre imágenes del orden de 90 % (JAXA 2007, 2008). Con respecto a la disponibilidad de datos, el EORC (del inglés *Earth Observation Research Center*) de la JAXA hace público el plan de toma de datos del PRISM, que puede consultarse en el siguiente sitio: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/alos_scenario/prism/prism.htm

Cuando se requieren los datos PRISM para fines no comerciales, deben ser adquiridos a través de Internet. Si los datos son de América o Antártica, deben solicitarse a AADN (del inglés *Americas ALOS Data Node*), conforme a la política publicada por la JAXA (<http://www.asf.alaska.edu/node/874>). En el siguiente sitio del AADN puede consultarse el catálogo y programarse tomas nuevas: <https://ursa.aadn.alaska.edu/cgi-bin/login/guest/>. En cambio, cuando los fines son comerciales, los datos deben adquirirse a través de representantes locales (en Argentina, [®]InfoSat Geomática <http://www.infosatgeomatica.com>), que se encargan de distribuir escenas ALOS con licencia comercial, datos orbitales y RPC (del inglés *Rational Polynomial Coefficients*). Las escenas distribuidas por el AADN solamente tienen los datos orbitales; disponer de los RPC permite aplicar modelos de corrección geométrica empíricos, de lo contrario, sólo se puede utilizar modelos físicos (Toutin 2004c).

Las imágenes del PRISM están disponibles con los siguientes niveles de procesamiento: 1A, 1B1 y 1B2 (JAXA 2008). El 1A es el nivel en bruto, sin corrección radiométrica o geométrica, el 1B1 tiene corrección radiométrica y el 1B2 tiene ambos tipos de corrección. Las imágenes ALOS se distribuyen en formato CEOS (BSQ: *Band Sequential*) o en GEOTIFF. La estructura de los datos depende de la modalidad de captura, siendo el modo OB1 (*triplet*: nadir, frente y atrás) el recomendado para derivar modelos digitales. En los niveles 1A y 1B1, las imágenes están separadas en franjas en el sentido de desplazamiento del satélite. Las escenas son generalmente distribuidas en cuatro archivos diferentes, uno por cada franja, y deben ser ensambladas por el analista. En el catálogo en línea del AADN, a la hora de solicitar datos 1B2, se dispone de las siguientes alternativas: “geocoded map projection utm”, “geocoded map projection ps”, “map projection utm”, “map projection ps”, “geotiff utm” o “geotiff ps”. Con estas combinaciones se elige alineación del raster con el norte geográfico, tipo de proyección y formato. Mediante estas alternativas las escenas pueden solicitarse ensambladas (*Geo-reference*), ensambladas y con la malla del raster alineada con el norte geográfico (*Geo-coded*), proyectadas en UTM (del inglés *Universal Transverse Mercator*) o en PS (del inglés *Polar Stereographic*). Información más detallada puede encontrarse en JAXA (2008).

Método de procesamiento

Existen diferentes alternativas de procesamiento. En esta nota sólo es abordado el procesamiento con el software Geomatica PCI 10.1.3 (<http://www.pcigeomatics.com>), con el módulo *OrthoEngine* ALOS. A continuación se explicarán los conceptos más importantes del proceso.

El MDE puede ser derivado con el modelo paramétrico riguroso de Toutin o con los RPC (PCI 2006). El primero puede utilizarse en datos con ambos tipos de licencia, el segundo solamente en datos con licencia comercial. El modelo de Toutin tiene una gran difusión en la literatura científica (Cuartero et al. 2004,

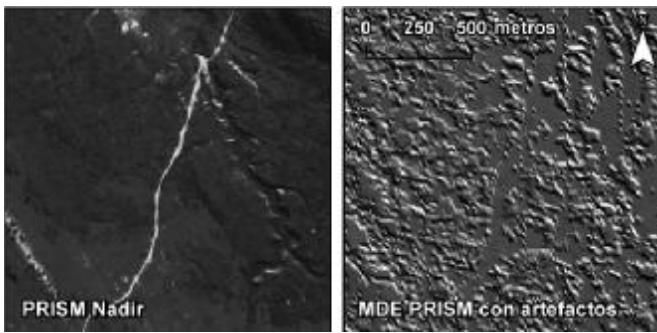


Figura 2. Artefactos generados en el Modelo Digital de Elevaciones PRISM a causa de un uso inapropiado de la opción *highest score*.

Toutin 2004a, 2004b, Eckert et al. 2005, San y Süzen 2005). Un ejemplo de la aplicación de los RPC puede leerse en el trabajo de Cheng y Chuck (2006).

En términos generales, el algoritmo de extracción de MDE relaciona los píxeles de las imágenes nadir, frente y atrás entre sí (proceso de correlación). Luego, usa la geometría del sensor o los RPC para calcular valores de posición y altitud (Toutin 2004a, Linder 2006). Para que el proceso de correlación sea más eficiente, se generan pares estereoscópicos reproyectados a lo largo de un eje común, que se denominan pares epipolares. El proceso puede resumirse en cuatro pasos:

1. Adquisición y preprocesamiento de la imagen (en el caso de 1B2 no se requiere de ningún preprocesamiento).
2. Ingreso de puntos estereoscópicos de control en el terreno (GCP, del inglés *Ground Control Point*), y ajuste del modelo físico/empírico 3D.
3. Generación automática de pares epipolares.
4. Extracción automática del MDE.

El segundo paso dependerá del modelo usado. Si se utiliza el modelo de Toutin se deberá ingresar los GCP en la imagen completa (aunque el área de interés sea una fracción de la misma), respetando el siguiente esquema: un GCP en el sector de mínimas y otro en el de máximas alturas, los restantes distribuidos uniformemente en los bordes de la imagen. Si se utilizan los RPC, los GCP pueden restringirse al área de interés, pero deben distribuirse uniformemente en todo el rango planimétrico y de altitudes (Toutin 2004c).

Para extraer MDE, los GCP deben ser estereoscópicos (el mismo punto en más de una imagen), y el ajuste debe realizarse en las tres dimensiones. Un buen ajuste en el plano no garantiza un buen ajuste vertical, por eso se recomienda activar la opción denominada *Residual Display* para verificar el ajuste vertical. Por otro lado, cuando los GCP disponibles tienen baja precisión, se recomienda aumentar su número (más de 30), siempre y cuando estén libres de errores sistemáticos.

En el tercer paso se recomienda extraer los pares epipolares con un factor de *down sample* igual a dos, siendo que este valor optimiza el proceso de correlación y conserva la información original, valores mayores aumentan la correlación pero degradan

la información. Se recomienda generar todas las combinaciones posibles de pares epipolares (nadir-atrás; nadir-frente y atrás-frente), y combinarlos en un único MDE (cuarto paso) que utilice, en cada píxel, el valor de altitud asociado a la mejor correlación. Con esta opción, denominada *highest score*, el MDE contendrá los valores de altura más exactos que pueden extraerse, pero requiere un excelente ajuste en las tres dimensiones, de lo contrario el resultado presentará errores (artefactos) producto de las diferencias entre los tres MDE que se combinan durante el proceso (Figura 2).

En la Figura 3 se compara un MDE derivado de datos PRISM con los modelos SRTM-X, ASTER GDEM y SRTM-C, donde puede valorarse la mayor fidelidad en la representación del terreno alcanzada por el MDE PRISM. Las imágenes fueron generadas con el algoritmo *Shaded relief from elevation data* de PCI, que ilumina artificialmente el MDE permitiendo interpretar el relieve a partir de la proyección de sombras. En la Figura 3 se definió una fuente de iluminación con azimut de 30 grados y elevación de 20, simulando la posición del sol durante la captura de los datos PRISM.

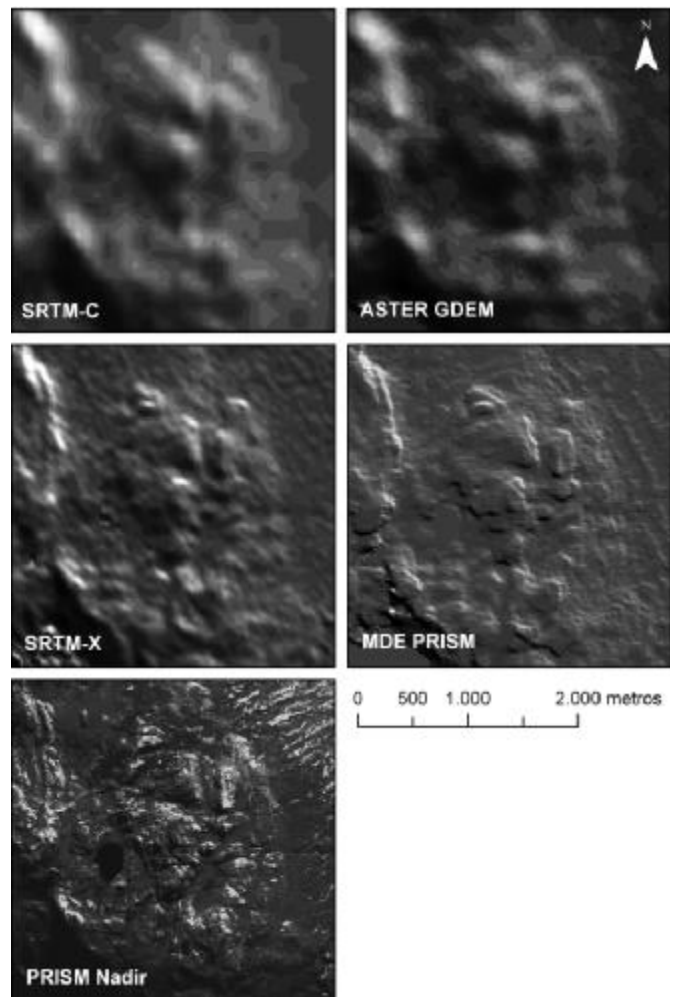


Figura 3. Comparación entre Modelos Digitales de Elevación mediante simulación de una fuente de iluminación (*shaded relief*). Como referencia, la imagen satelital pancromática de muy alta resolución espacial, PRISM nadir.

Conclusión

ALOS ofrece una alternativa eficiente para generar Modelos Digitales de Elevación de mayor resolución espacial que los disponibles, sin costo, a través de Internet. A partir de datos del sensor ALOS-PRISM, el software Geomatica PCI con el módulo *OrthoEngine* ALOS permite extraer MDE de diez metros de resolución espacial. Los mejores resultados se obtienen combinando los tres pares estereoscópicos que ofrece el sensor (nadir-atrás, nadir-frente y atrás-frente) mediante la opción denominada *highest score*.

Bibliografía

- Cheng J. y Chuck C. 2006. DEM generation using QuickBird Stereo data without ground controls. GEOinformatics. Disponible en <http://www.geoinformatics.com>
- Corbelle-Rico E., Gil-Docampo M., Armesto-González J. y Rego-Sanmartín T. 2006. La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes IKONOS y QuickBird. Revista de Teledetección 26:18-24.
- Cuartero A., Felicísimo A. y Ariza F. 2004. Accuracy of DEM generation from TERRA-ASTER stereo data. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Estambul. 35:559-563.
- Eckert S., Kellenberger T. y Itten K. 2005. Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from aster data in mountainous terrain. International Journal of Remote Sensing 26(9):1943-1957.
- Hengl T. y Reuter H. 2009. GEOMORPHOMETRY Concepts, Software, Applications. Amsterdam. Elsevier. 772 p.
- Itten K., Meyer P., Kellenberger T., Leu R., Sandmeier S., Bitter P., et al. 1992. Correction of the Impact of Topography and Atmosphere on Landsat-TM Forest Mapping of Alpine Regions. Remote Sensing Series 18. 48p.
- JAXA. 2007. ALOS user Handbook. 146 p. Disponible en <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/handbk.htm>
- JAXA. 2008. ALOS Data Users Handbook Revision C. 158 p. Disponible en http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/ALOS_HB_RevC_EN.pdf
- Kapnias D., Milenov P. y Kay, S. 2008. Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery. Disponible en http://mars.jrc.it/mars/content/download/1231/7140/file/Orthoguidelines_v3_final.pdf
- Lencinas J. y Siebert A. 2009. Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. Quebracho 17(1,2):101-105.
- Linder W. 2006. Digital Photogrammetry A Practical Course. Springer. 214 p.
- Ludwig R. y Schneider P. 2006. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 60(5):339-358.
- METI, NASA, y USGS. (2009). ASTER Global DEM Validation. Disponible en http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf
- PCI. 2006. DEM Extraction of ALOS PRISM Data. 7 p. Disponible en <http://www.pci-geomatics.com/support/tutorials>
- Rocchini D. y Di-Rita A. 2005. Relief effects on aerial photos geometric correction. Applied Geography 25(2):159-168.
- Rabus B., Eineder M., Roth A. y Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 57(4):241-262.
- San, B. y Süzen M. 2005. Digital elevation model (DEM) generation and accuracy assessment from ASTER stereo data. International Journal of Remote Sensing, 26(22): 5013-5027.
- Toutin T. 1995. Multi-source data fusion with an integrated and unified geometric modelling. EARSeL Advances in Remote Sensing 4(2):118-129.
- Toutin T. 2004a. Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT-5, EROS-a, IKONOS-II, and QuickBird. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 42(10):2121-2129.
- Toutin T. 2004b. DSM generation and evaluation from QuickBird stereo imagery with 3D physical modelling. International Journal of Remote Sensing, 25(22):5181-5193
- Toutin, T. 2004c. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. International Journal of Remote Sensing, 25(10), 1893-1924.