

# **Aplicaciones Sentinel para Análisis de Riesgos**

**Curso en el Marco del  
XIX Simposio Internacional SELPER 2021**

## **Modelos Digitales de Elevación**

**José Candia**

**8 de noviembre de 2021**

 Comisión Nacional de Actividades Espaciales

**Modelos Digitales de Elevaciones**

 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

**Presentaciones**

1. Conceptos
2. Generación
3. Aplicaciones

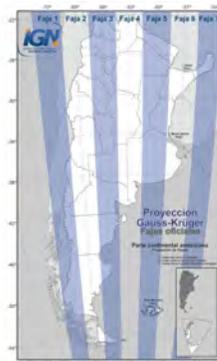
© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

2

1. Proyecciones Cartográficas
2. Definición Elipsoide – Geoide.
3. Definición de Modelo.
4. Definición de DEM - DMS Y DTM.
5. Problemática: realidad vs. Modelación.
6. Modelos de datos DEM.
7. Técnicas de elaboración de un DEM a partir de distintas fuentes de datos.
8. Problemática en la elaboración de un DEM.
9. Análisis de Calidad de un DEM
10. Normas Nacionales de MDE

### Referencia Oficial

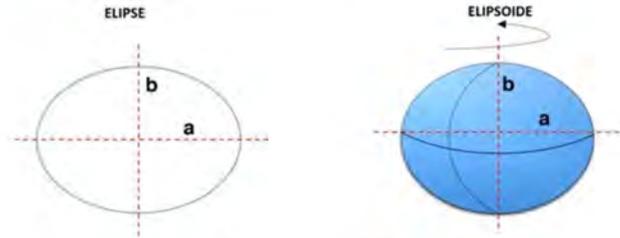
- Los sistemas de coordenadas son representaciones matemáticas de los espacios (modelos), es decir, son el marco de referencia matemático en el cual se ubican los objetos. Y la georreferenciación es la ubicación de los objetos en estos espacios de coordenadas.
- Actualmente en Argentina se utiliza como marco de referencia geodésico nacional el sistema **Posgar 2007** (Sistemas de Posiciones Geodésicas Argentinas 2007).
- Este marco se vinculó al Marco de Referencia Terrestre Internacional denominado **ITRF05** (International Terrestrial Reference Frame 2005) y **SIRGAS** (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, solución DGF08P01).
- La proyección es la cilíndrica transversal conforme de Gauss Krüger, la cual divide a la Argentina en siete fajas de 3° de longitud.



▲ Fuente: Informe sobre códigos oficiales\_EPSG

## Definiciones: **ELIPSOIDE**

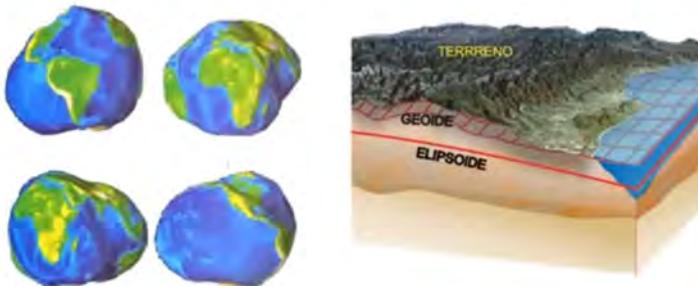
**ELIPSOIDE:** Es un volumen geométrico que proviene de una elipse que gira alrededor de su eje menor.



Semieje mayor, "a" (ecuatorial)  
Semieje menor, "b" (polar)  
Índice de achatamiento, "f"=(a-b)/a

## Definiciones: **GEOIDE**

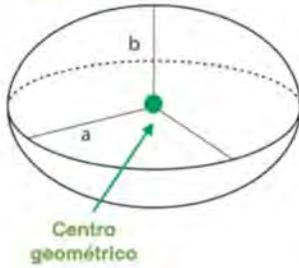
**GEOIDE:** Se define como la superficie equipotencial del campo gravitacional terrestre que coincide con las aguas del mar en su estado normal de equilibrio.



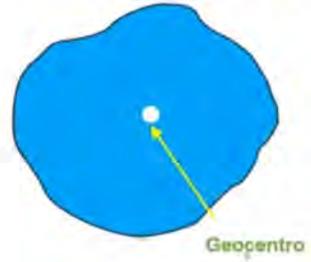
## DATUM:

Conjunto de **parámetros** que definen la posición de un **elipsoide** con respecto a la **tierra**.

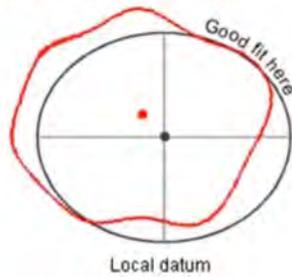
### ELIPSOIDE



### GEOIDE

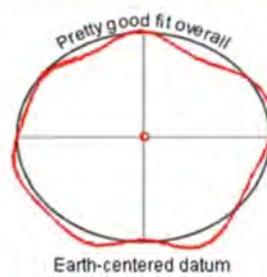


## DATUM LOCAL O RELATIVO:



Local datum

## DATUM GLOBAL O ABSOLUTO:

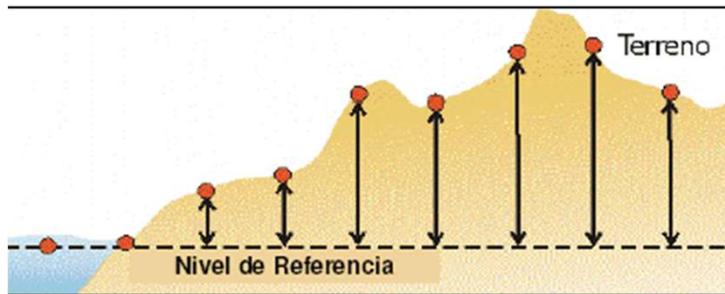


Earth-centered datum

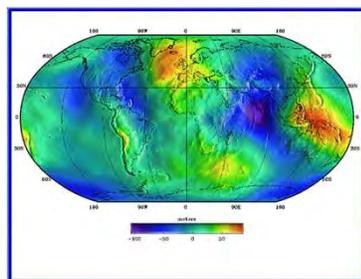
- center of mass of geoid
- center of ellipsoid

## Datum Vertical

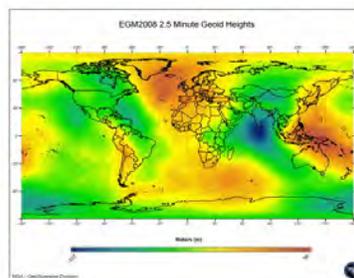
Superficie usada para referenciar localizaciones de coordenadas Z  
Actualmente se utiliza el Geoide.



EGM96 Geoid



EGM2008 - WGS 84 Versión



### SRTM V4

#### Product Specifications

Projection	Geographic
Horizontal Datum	WGS84
Vertical Datum	EGM96 (Earth Gravitational Model 1996)
Vertical Units	Meters
Spatial Resolution	1 arc-second for global coverage (~30 meters) 3 arc-seconds for global coverage (~90 meters)
Raster Size	1 degree tiles
C-band Wavelength	5,6 cm

<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc>

### ASTER GDEM V2

#### Especificaciones técnicas ASTER GDEM Versión 2

**Formato de salida: GeoTiff 16 bits**

**Georeferencia: coordenadas geográficas, elipsoide WGS84**

**Referencia vertical: geoide EGM96**

**Resolución espacial: 30 metros**

**Cobertura: 83 Grados Norte ~ 83 Grados Sur**

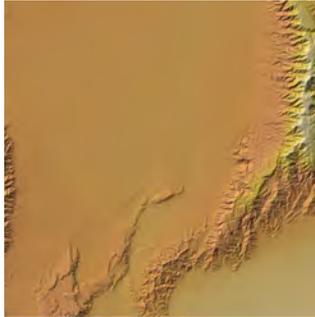
**Dimensiones de las escenas: 3601 pixeles por 3601 pixeles, 108,03 km por 108,03 km**

**Exactitud: La exactitud de los modelos oscila según la web oficial entre los 7 y 14 metros**

<http://mundocartogeo.blogspot.com/2015/12/modelos-digitales-aster-descripcion.html>

### AW3D30

ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)"



#### Height above sea level

- Integer (signed 16 bit) raster data (little endian)
- Equirectangular projection
- Pixel spacing: basically 1 arcsec (approx. 30 m), latitude dependent\*1
- DSM values are average over the range of 1 arcsec grid pixel (Round off to the integer)
- Elevation (in meter) converted from the ellipsoidal height based on ITRF97 and GRS80, using EGM96\*2 geoid model
- Value "-9999" is stored in void pixels
- Value "0m" is stored in sea pixels

[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v31\\_product\\_e\\_a.pdf](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v31_product_e_a.pdf)

### MDE-Ar v2.1 30m

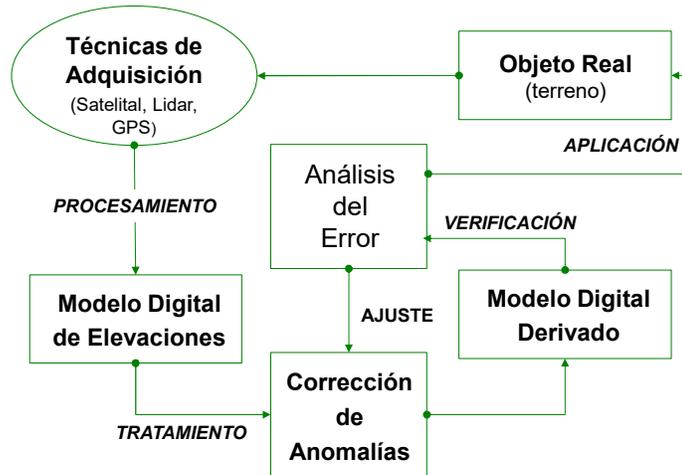
A partir de una combinación de datos capturados por las misiones satelitales SRTM y ALOS, el IGN llevó adelante el desarrollo del modelo MDE-Ar v2.1, que cubre la totalidad del territorio continental nacional, y cuya referencia vertical coincide con el Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16). Al mismo se le ha realizado un proceso de filtrado para reasignar valores de alturas de píxeles que se encontraban por fuera del umbral. El MDE-Ar v2.1 que distribuye el IGN tiene una resolución espacial de 30m y una precisión vertical de aproximadamente 2m

#### DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

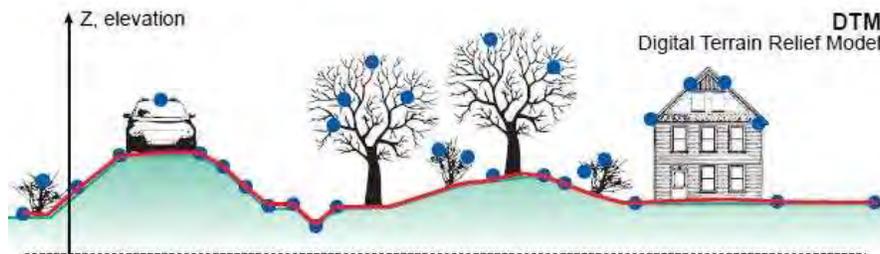
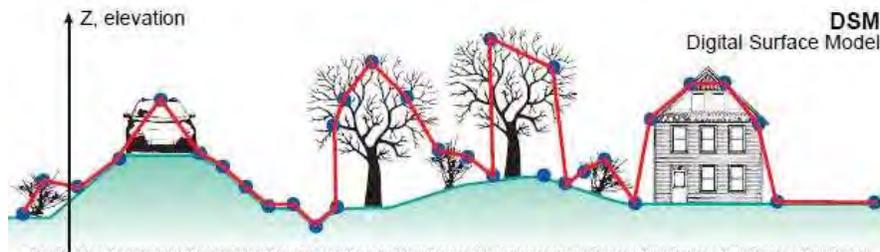
- Informe sobre la generación del MDE-Ar v2.1 con resolución espacial de 30 m.
- Informe sobre la generación del MDE-Ar v2.0 con resolución espacial de 30 m.
- Informe sobre la generación del MDE-Ar v1.0 con resolución espacial de 30 m.
- Informe sobre la generación del MDE-Ar con resolución espacial de 45 m.

<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigital/Elevaciones/Documentacion>

- Una acepción de la palabra modelo, originada en ámbitos geográficos, lo define como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades (Joly, 1988:111):  $Z = f(x, y)$



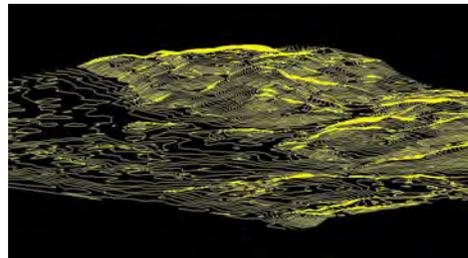
- Modelo Digital de Elevaciones (MDE):** es una representación, de matriz cuadrículada regular, de la *variación continua del relieve en el espacio* (Burrough, 1986; Weibel and Heller, 1991) .
  - Modelo Digital del Terreno (MDT):** Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial *de una variable cuantitativa y continua del terreno, la altura.*
  - Modelo Digital de la Superficie (MDS):** Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de *la altura de la superficie donde, además del terreno, se consideran también los elementos enlazados a él (edificios, vegetación, etc.)*
- *En síntesis:* **Un MDE solamente muestra el relieve del suelo.**  
**Un MDS crea un relieve de la tierra incluyendo la vegetación, edificaciones y objetos presentes.**  
**Un MDT es un MDE que incorpora otros elementos geográficos como crestas, líneas de ruptura, ríos, etc.**



### Modelo de datos VECTORIAL

Está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices:

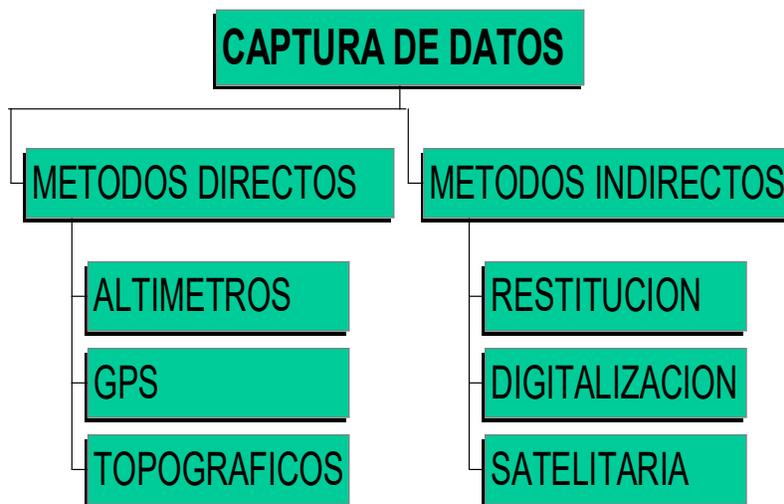
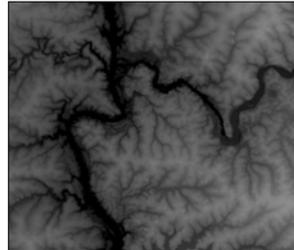
- El MDE está constituido por un conjunto de curvas de nivel más un conjunto de puntos acotados.
- El uso directo del modelo de curvas es poco útil pero casi todos los SIG tienen herramientas para incorporarlas y transformarlas a otras estructuras (TIN o matrices).



## Modelo de datos RASTER

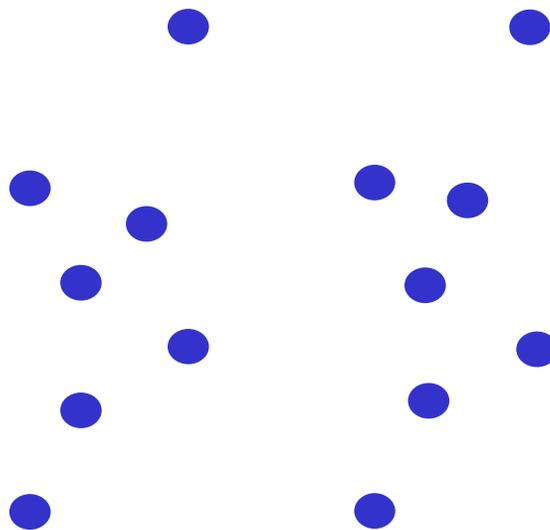
Está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

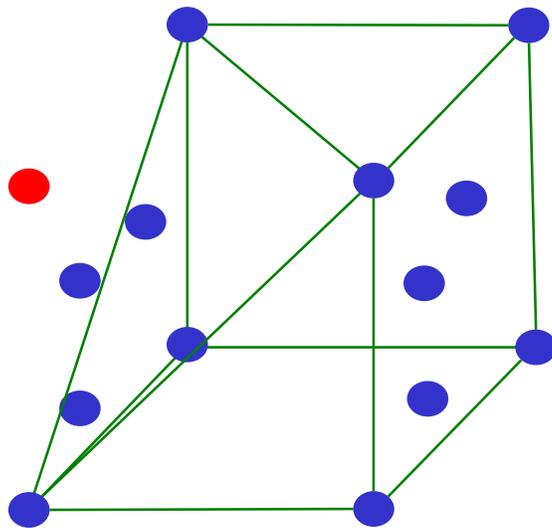
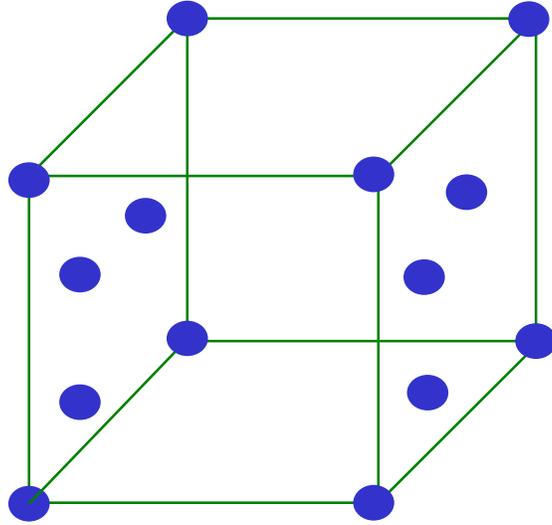
- Las matrices regulares se construyen superponiendo una retícula sobre el terreno y extrayendo la altitud media de cada celda.
- Normalmente, la retícula es una red regular de malla cuadrada.
- La localización espacial de cada dato está determinada de forma implícita por su situación en la matriz, definidos el origen y el valor del intervalo entre filas y columnas.
- La matriz regular es la estructura más utilizada para construir los MDE debido a su cómodo manejo informático y simplicidad estructural.



### ¿Qué datos capturar?:

- Curvas de Nivel
- Puntos acotados
- Líneas Estructurales;
- Líneas de Inflexión o Rotura.
- Zonas de Altitud constante;
- Zonas de Recorte;
- Zonas Vacías.





La expresión que afecta la precisión de los modelos digitales de elevación puede ser denominada, como *ADTM* donde intervienen las variables tal como : características del terreno, rugosidad, método de interpolación y los tres atributos (precisión, densidad y distribución) de los recursos de datos. (Li, Zhu, & Gold, 2005)

$$A_{DTM} = f(C_{DTM}, M_{\text{modelamiento}}, R_{\text{terreno}}, A_{\text{datos}}, D_{\text{datos}}, DN_{\text{datos}}, O)$$

Donde:

- C= características del terreno
- M= método de interpolación
- R=rugosidad del terreno
- A, DN, D= tres atributos
- O= otros

Ecuación. Función de evaluación de modelos digitales de elevación  
Fuente: (ASPRS, 2015) adaptación

### Análisis de error:

Los errores en los MDE pueden ser separados en dos categorías:

- **Los errores posicionales:** afectan a la situación en el plano XY.
- **Los errores atributivos:** asignación imprecisa de la altitud e implican a las coordenadas en el eje Z.

## Medición del Error en los DEMs

- ¿Evaluación de altimetría?
  - ¿Evaluación de planimetría?
  - ¿En simultáneo?
  - ¿Cantidad de puntos?
  - ¿Distribución?
  - ¿Metodología?
  - ¿Límite de exactitud?
- ¿Tiempos?

➤ ¿Costos?

### ESTANDARES Y NORMAS SOBRE CONTROL POSICIONAL

	NMAS	EMAS	ASLMS	MIL-STD 60001	NSSDA	STANAG	MGCP	ISO 19157
PLANIMETRÍA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
ALTIMETRÍA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
ERROR CIRCULAR/LINEAL	L	L	L	C	C	C	C	C
PUNTOS DE CONTROL	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
MUESTRA	20	20	20		20	167	400	200
DISTRIBUCIÓN			SI		SI	SI	SI	SI
ESTIMACIÓN	90	95	90	90	95	90	90	50,68,90,95,99,8
ERROR MEDIO CUADRÁTICO			SI		SI		SI	SI
MEDIA Y DESVIO EST.		SI		SI		SI		SI

NMAS (National Map Accuracy Standard)  
 EMAS (Engineering Map Accuracy Standard)  
 ASLMS (Accuracy Standard for Large Scale Maps)  
 NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy)  
 STANAG ( Standard Agreement Nato)  
 MGCP (Multinational Geospatial Co-production Program)

### Test del USGS de categorías de exactitud de modelos digitales del terreno (MDT):

1. Seleccionar una muestra de al menos 20 puntos del MDT obteniendo su componente Z sobre el modelo y sobre la fuente de mayor exactitud.
2. Calcular el error en cada uno de los puntos de la muestra
3. Calcular el RMSE en la componente vertical

#### 3.1 ACCURACY VERIFICATION

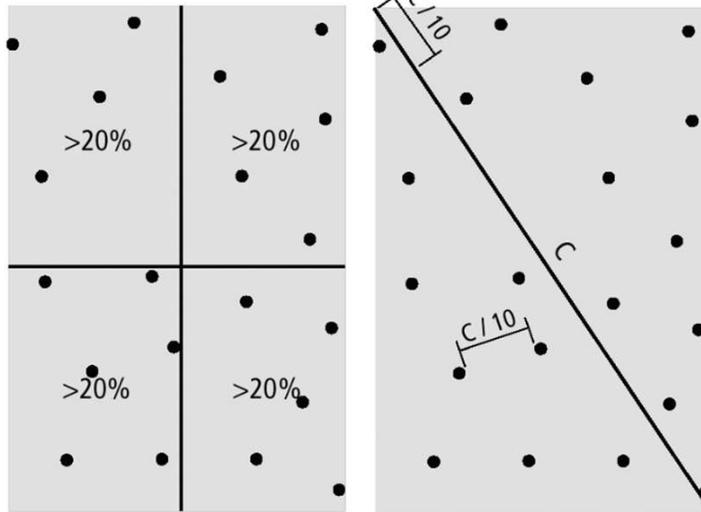
##### 3.1.1 Statistical Testing

A representative sampling of test points is used to verify the accuracy of a DEM. A minimum number of 28 test points per DEM is required (20 interior points and 8 edge points).

[Standards for Digital Elevation Models Part 3: Quality Control USGS, 1997](#)

- Todos los estándares analizados se basan en **entidades puntuales**. Es sobre este tipo de elementos sobre el que se realizan diferentes pruebas estadísticas en sus componentes tanto horizontal (X e Y) como vertical (Z).
- En todo momento se emplea una **fuentes de mayor exactitud** con la que realizar la comparación de las coordenadas de los puntos que forman la muestra.
- Según se indica, esta muestra ha de estar formada en todos los casos por “al menos 20 puntos perfectamente definidos”.

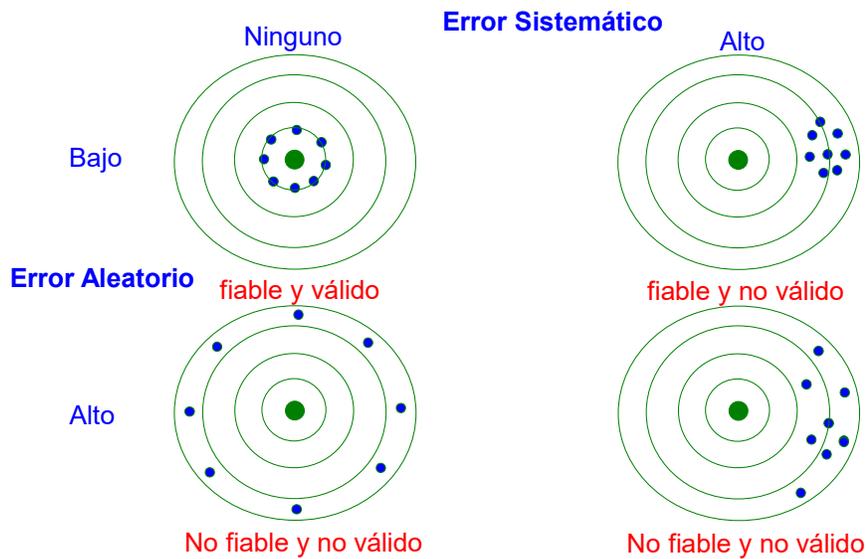
## Distribución homogénea



recomendaciones del FGDC

© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

## Relación entre fiabilidad y validez:



© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

### Cuantificación del error:

Valores reales o verdaderos Vs. Valores del modelo

Empleo de estadísticos:

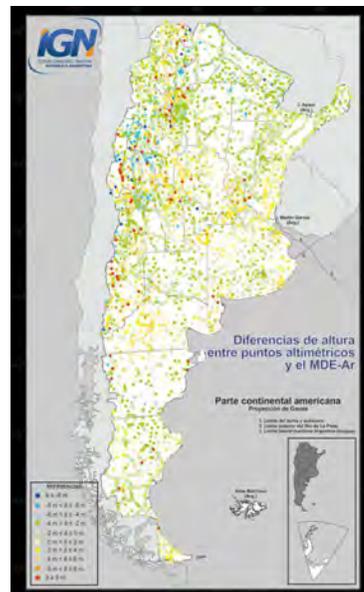
$$EM = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2$$

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n-1} (X_i - \bar{X})^2}$$

### Ejemplo: Validación del MDE-Ar:

- 9055 puntos, distribuidos en forma homogénea sobre el territorio Nacional (base de datos altimétrica del IGN).
- Máxima diferencia positiva entre alturas y las derivadas del modelo fue de +17,43 m.
- Máxima diferencia negativa = -27,09 m.
- Diferencia promedio = -2,10 m;
- Desvío estándar = 3,05 m.



### Definición de parámetros

- Marco de Referencia Geodésico Nacional (POSGAR07)
- Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16 / GEOIDE-Ar16)

### Clasificación de modelos según su precisión

- **Nivel 1:** error absoluto horizontal (90%) 20 metros, error absoluto vertical (90%) 15 metros y error relativo vertical (90%) 12 metros.
- **Nivel 2:** error absoluto horizontal (90%) 10 metros, error absoluto vertical (90%) 5 metros y error relativo vertical (90%) 3 metros.
- **Nivel 3:** error absoluto horizontal (90%) 5 metros, error absoluto vertical (90%) 3 metros y error relativo vertical (90%) 1,5 metros.

### Clasificación de modelos según sus fuentes

- a. Levantamiento de campo
- b. UAV
- c. Fotogrametría
- d. Estéreo satelital óptico
- e. Radargrametría
- f. Interferometría
- g. Otros.

### Clasificación de modelos según su resolución

- Modelo nacional 30 mts
- Modelo regional 10 mts
- Modelo local 5 mts.

### Clasificación de modelos según su dimensión

Ejemplo: formato DTED

Nivel del DTED	Espaciado (segundo de arco)	Distancia en terreno (m) aprox.	Filas x columnas	Tamaño de mosaico
1	3.0	100	1200 x 1200	1 x 1 grados
2	1.0	30	3600 x 3600	1 x 1 grados
3	0.3333	10	900 x 900	5 x5 minutos
4	0.1111	3	540 x 540	1 x 1 minuto
5	0.0370	1	810 x 810	30 x 30 segundos

### ¿QUE NOS BRINDAN?

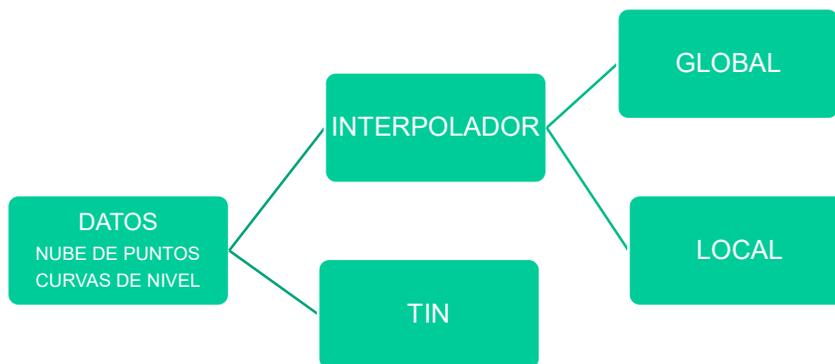
- Conocimiento de calidad del producto;
- Posibilita la comparación entre modelos;
- Limitaciones y alcances para su integración en aplicaciones e investigaciones;
- Completamiento del metadato;
- Alternativa de repositorio nacional de MDE.

## MÉTODOS DE GENERACIÓN DE MDE

- TIN
  - INTERPOLACION
  - FOTOGRAMETRIA
  - OPTICO SATELITAL
- INTERFEROMETRÍA
  - RADARGRAMETRÍA
  - LIDAR
  - DRONES, VANTs, UAVs o SUAs

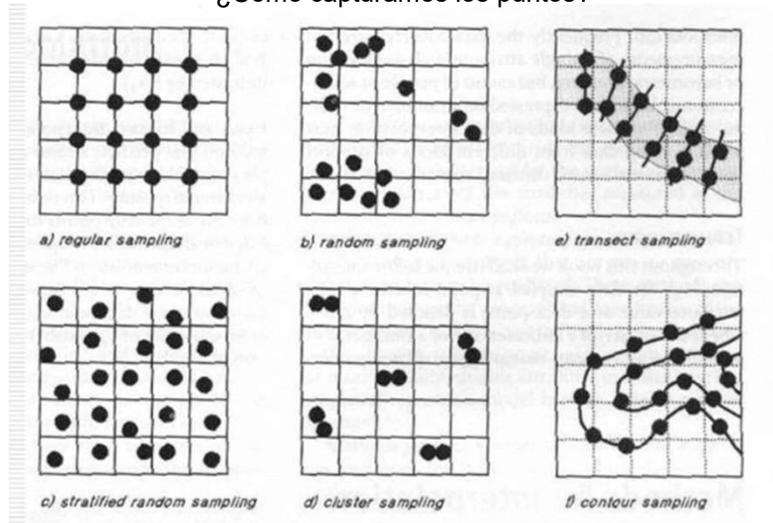
“MODELOS AUTOMÁTICOS”

## INTERPOLACIÓN



### INTERPOLACIÓN

¿Cómo capturamos los puntos?



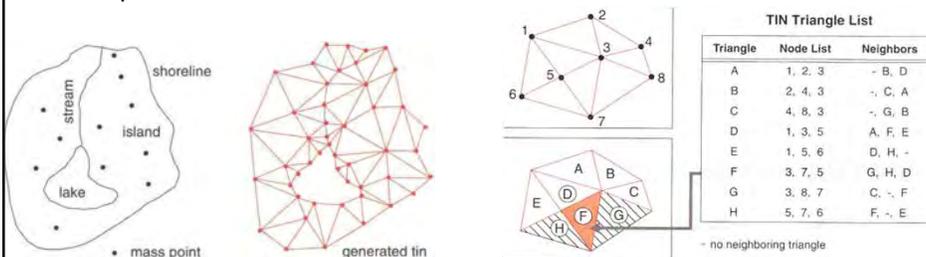
© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

41

### INTERPOLACIÓN Red de Triángulos Irregulares (TIN)

Los TIN – cualidades:

- No presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar;
- Se puede generar incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares (líneas estructurales y de inflexión);
- Se adapta a la complejidad local del terreno;
- Respeta los valores de los datos, los cuales son usados como vértices.

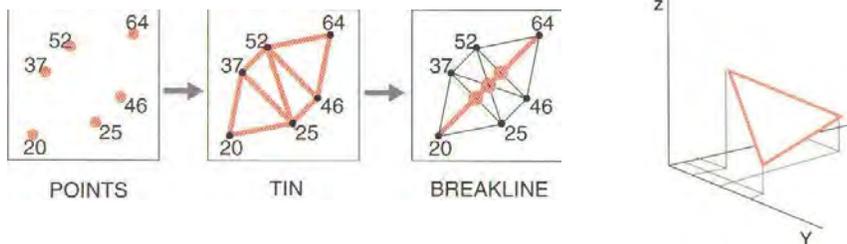


© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

42

### Interpolaciones TIN: Lineal

- ✓ Considera la superficie como continua, formada por triángulos.
- ✓ La interpolación es calculada con los valores Z de los nodos del triángulo en los cuales yace la superficie.
- ✓ Si una línea de quiebre esta presente en el TIN, no influencia la interpolación porque la interpolación lineal no es afectada por la conducta de los triángulos adyacentes.



© 2021 CONAE  
 Todos los derechos reservados / All rights reserved

43

### INTERPOLACIÓN LINEAL vs QUINTIC

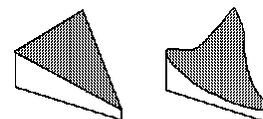
❖ La ventaja de la interpolación **LINEAL** es que el proceso de cálculo es más rápido y los resultados son más predecibles.

❖ Su desventaja es que produce discontinuidad en la primera derivada (pendiente) en los arcos del triángulo. Esto crea la posibilidad de cambios abruptos en la pendiente en los arcos del triángulo.

❑ **QUINTIC** produce resultados más realistas desde muestreo esparcido de datos, donde la información de superficie fue obtenida de ubicación arbitraria.

❑ Este método produce primera derivada continua en los arcos del triángulo. Interpolación QUINTIC computacionalmente es más intensiva que la interpolación LINEAL.

**La cara LINEAL es plana; la cara QUINTIC es curvada y puede ser cóncava o convexa**

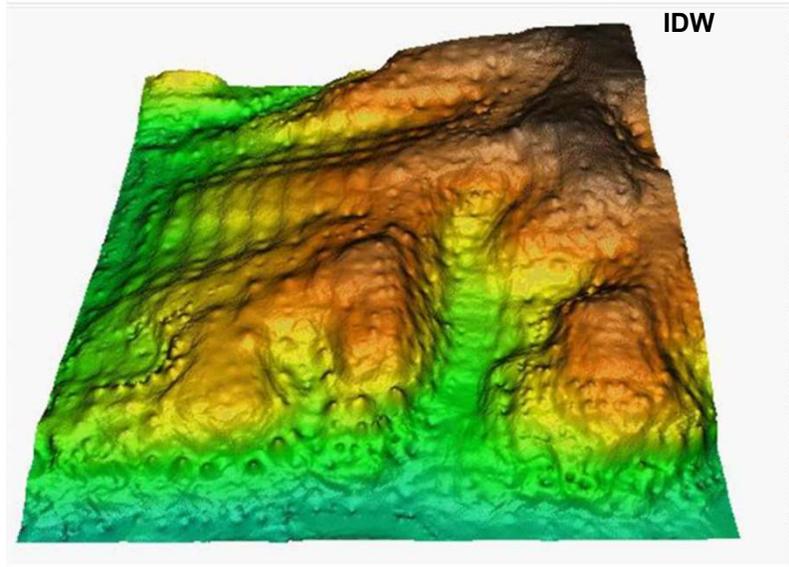


© 2021 CONAE  
 Todos los derechos reservados / All rights reserved

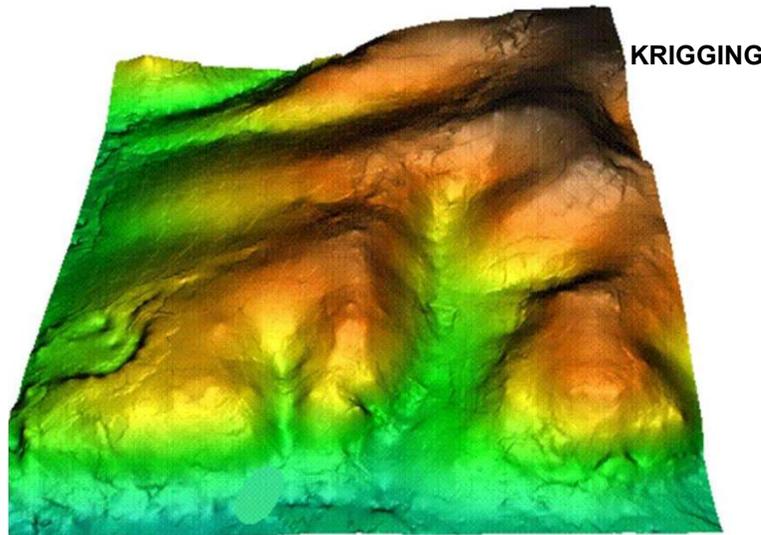
44



## GENERACION DE MDE: *INTERPOLACIÓN*

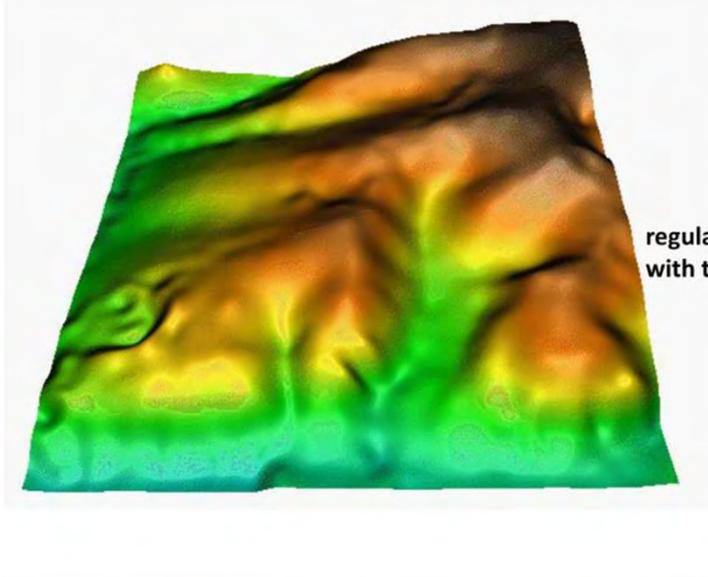


## GENERACION DE MDE: *INTERPOLACIÓN*





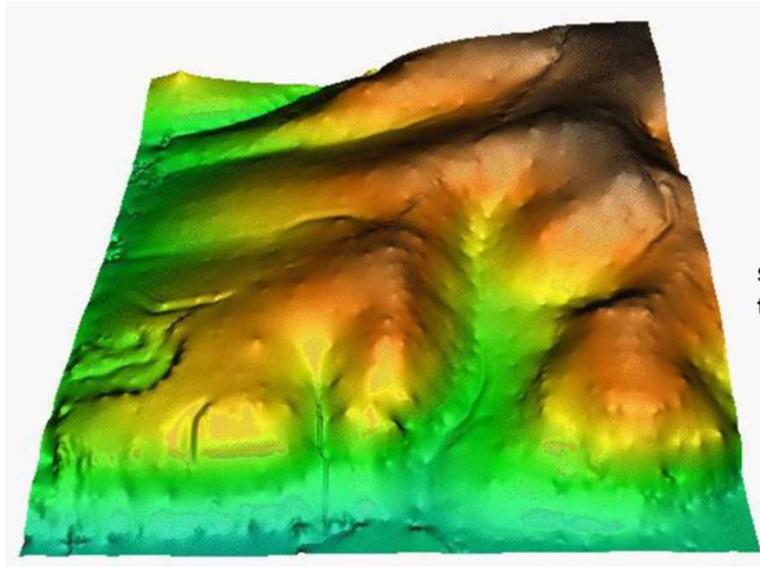
# GENERACION DE MDE: **INTERPOLACIÓN**



**regularized spline  
with tension**

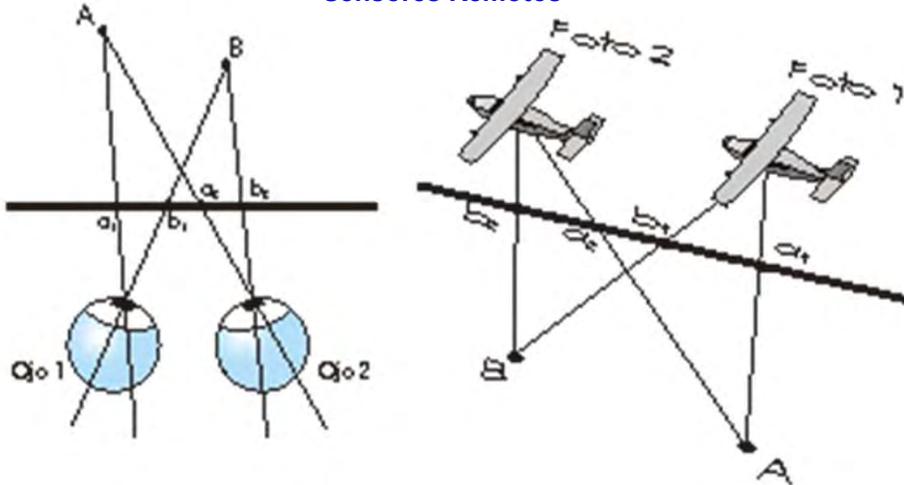


# GENERACION DE MDE: **INTERPOLACIÓN**



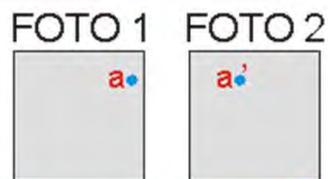
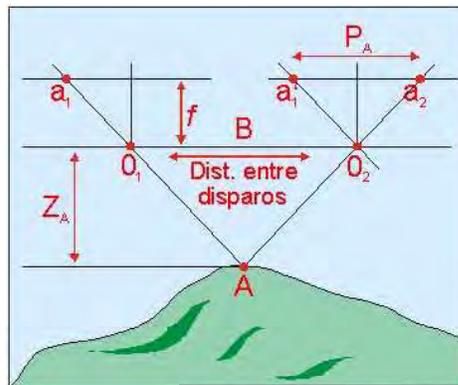
**spline with  
tension**

**Sensores Remotos**



© 2021 CONAE  
 Todos los derechos reservados / All rights reserved

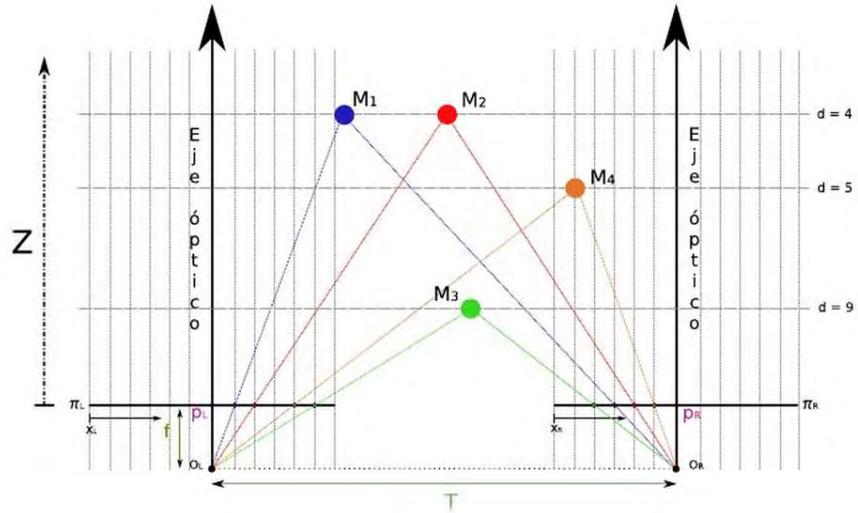
**Sensores Remotos**



DIRECCIÓN Y SENTIDO DEL VUELO

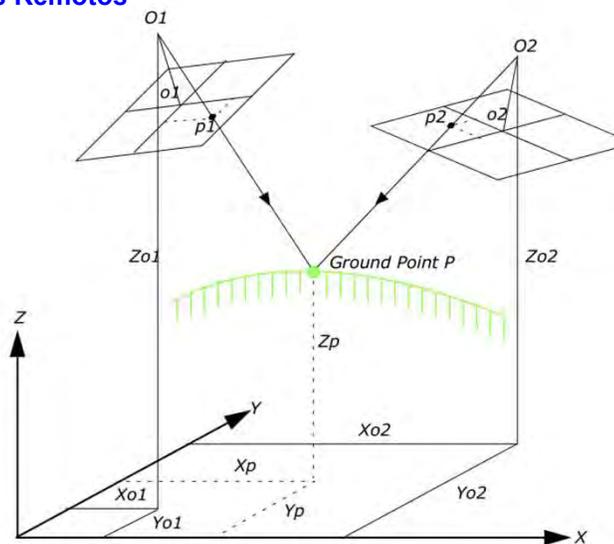
© 2021 CONAE  
 Todos los derechos reservados / All rights reserved

## Sensores Remotos



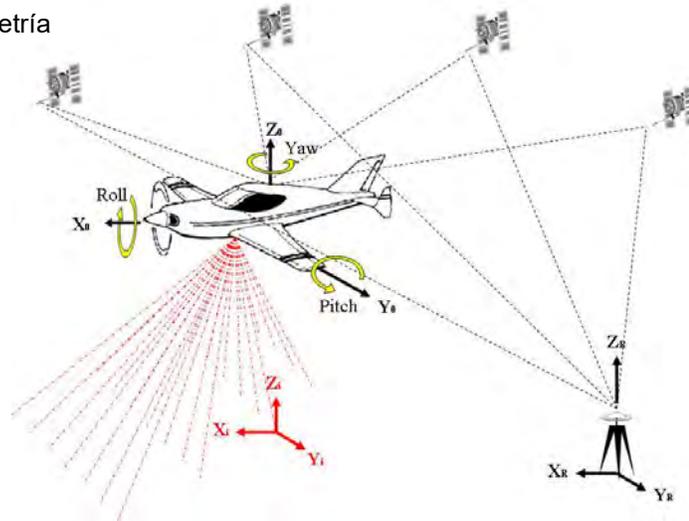
## Sensores Remotos

Resección  
Espacial:



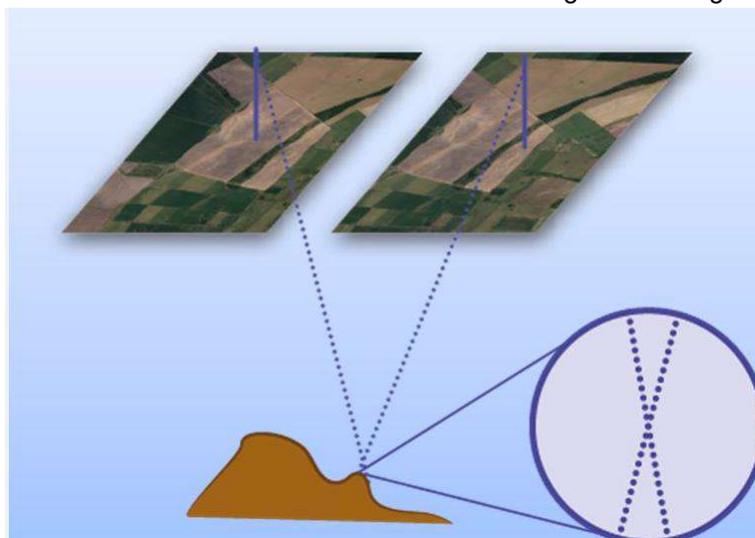
## Sensores Remotos

Fotogrametría Digital:



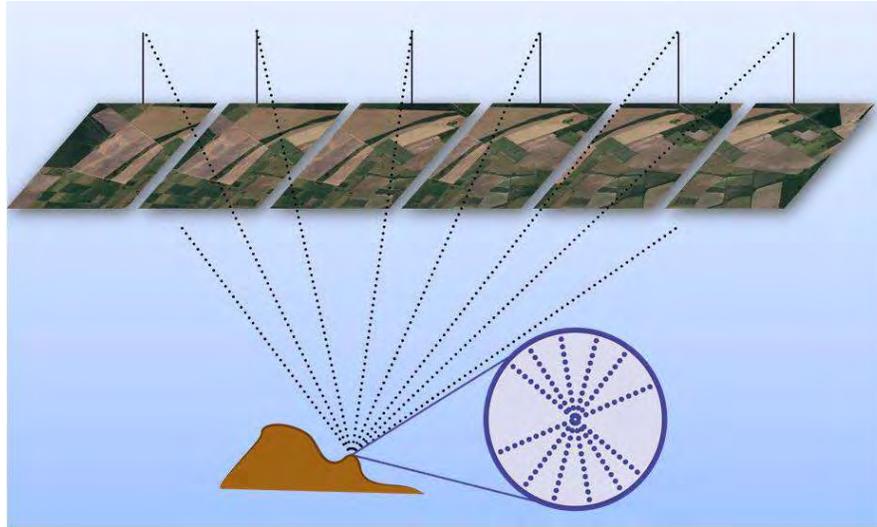
## Sensores Remotos

Fotogrametría Digital:



## Sensores Remotos

## Fotogrametría Digital:



## Sensores Remotos

## Fotogrametría Digital:

Number of photos : 4018  
Number of strips : 37  
sigma naught 2.0 micron

907 points connecting	2 photos
5019 points connecting	3 photos
13319 points connecting	4 photos
6489 points connecting	5 photos
8689 points connecting	6 photos
15547 points connecting	7 photos
88383 points connecting	8 photos
11395 points connecting	9 photos
8042 points connecting	10 photos
18799 points connecting	11 photos
22121 points connecting	12 photos
1383 points connecting	13 photos
151 points connecting	14 photos
2 points connecting	15 photos

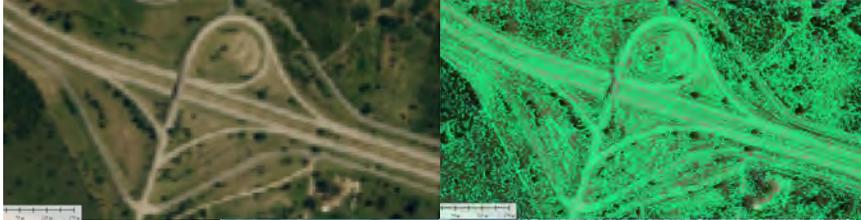
number of observations 3316021  
number of unknowns 624846  
redundancy 2691175



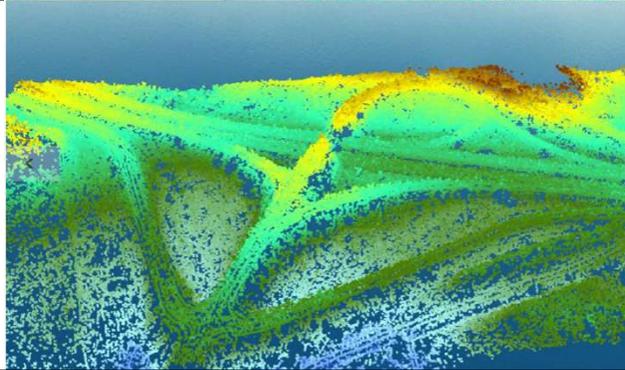
Al realizar automáticamente la correlación entre las distintas imágenes de los puntos homólogos, se logra una alta precisión relativa a lo largo de todo el MDE

**Sensores Remotos**

Fotogrametría Digital:

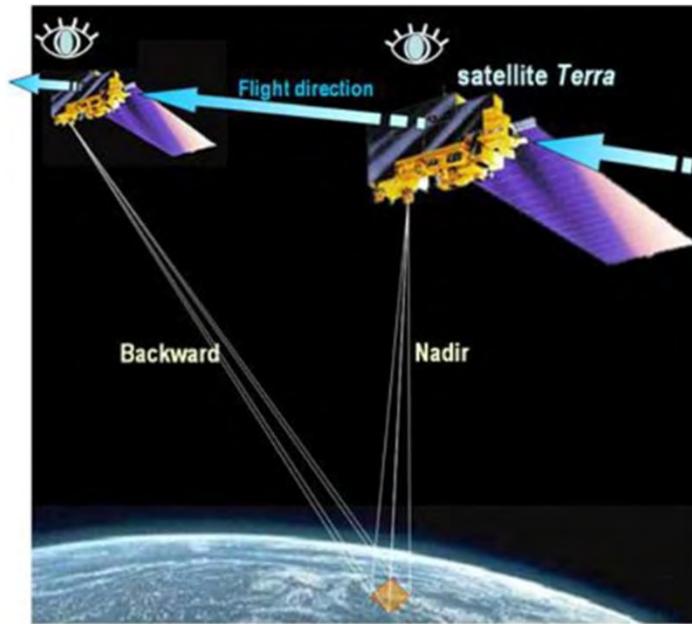


Nube de puntos:



**Sensores Remotos**

Adquisiciones Ópticas:



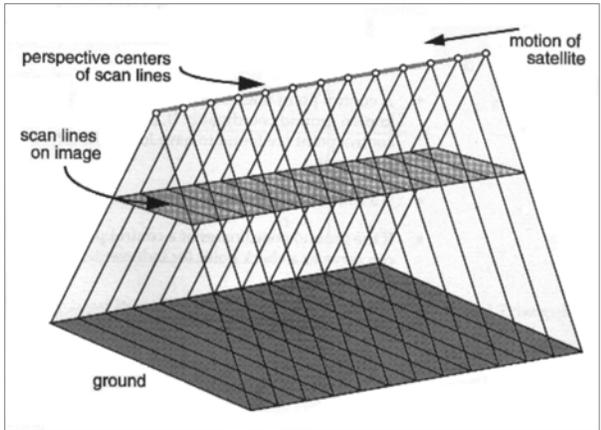

 Comisión Nacional de Actividades Espaciales
 

 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

## GENERACION DE MDE: MODELOS AUTOMÁTICOS

**Sensores Remotos**

Adquisiciones Ópticas:



Cada línea

→

Centro de proyección  
 Conjunto de ángulos de rotación

→

Ecuación del rayo  
 cada línea

© 2021 CONAE. Todos los derechos reservados / All rights reserved

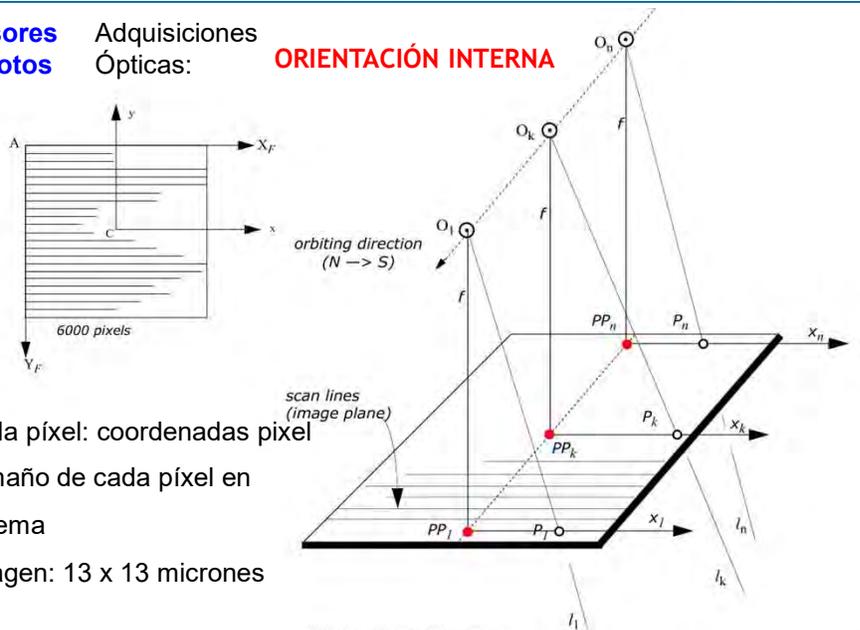
59


 Comisión Nacional de Actividades Espaciales
 

 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

## GENERACION DE MDE: MODELOS AUTOMÁTICOS

**Sensores Remotos** Adquisiciones Ópticas: **ORIENTACIÓN INTERNA**



- Cada píxel: coordenadas píxel
- Tamaño de cada píxel en sistema imagen: 13 x 13 micrones

© 2021 CONAE. Todos los derechos reservados / All rights reserved

60

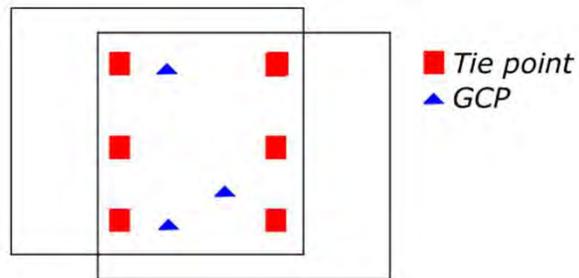
**Sensores Remotos**

Adquisiciones Ópticas:

- Tipo de sensor
- Modelo matemático para cada sensor
- Geometría diferente a la proyección central
- Haz de rayos para cada píxel

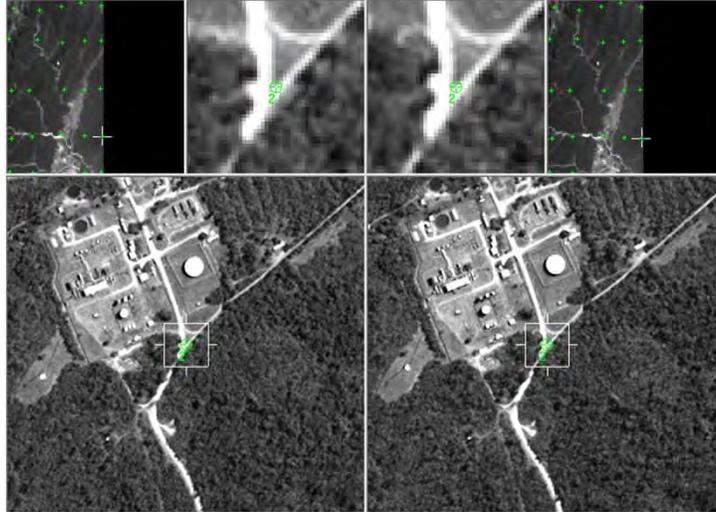
**Sensores Remotos**

Adquisiciones Ópticas:



**Sensores Remotos**

Adquisiciones Ópticas:

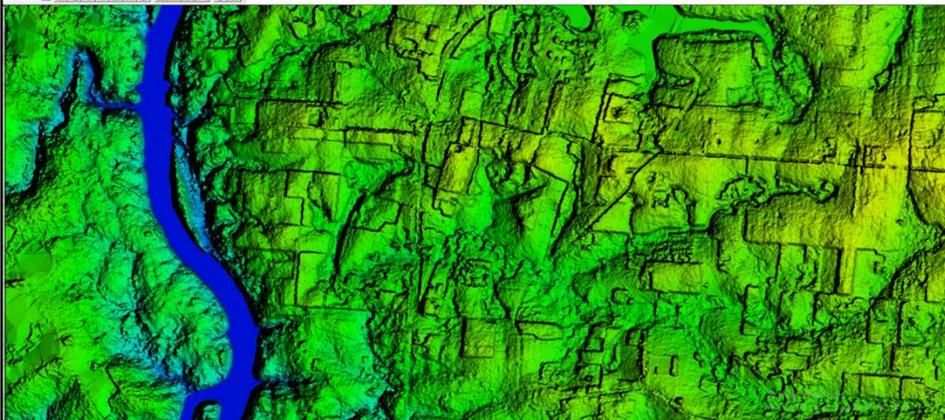


© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

63

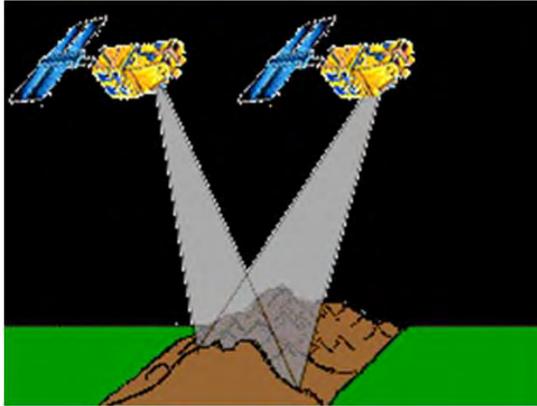
Sensores Remotos. Adquisiciones Ópticas:

**Recomendaciones**



© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

64



### Radargrametría

- Conceptos
- Principios geométricos
- Procesos
- Aspectos particulares
- Resultados

La radargrametría es uno de los campos de aplicación de las imágenes de radar. Es el proceso de aplicar técnicas tradicionales fotogramétricas y adaptarlas a los datos de radar con el fin de crear modelos estéreo. Por tanto, utiliza conceptos similares en fotogrametría, pero con las correcciones propias de la geometría de radar y su aplicación está enfocada principalmente al área de topografía y mapeo.

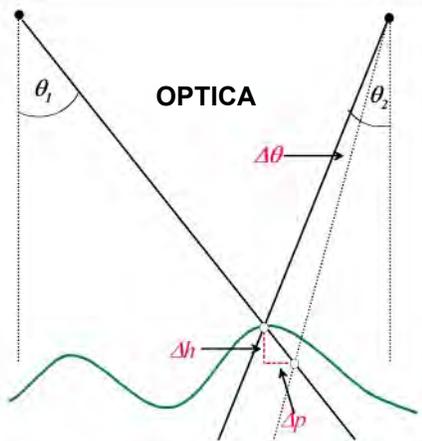
- Alternativa/complementaria a InSAR
- Basada solamente en backscatter (no precisa la fase).
- No presenta problema con la falta de coherencia
- No esta afectada por línea base crítica.
- Múltiple ángulo de los nuevos sensores SAR
- Alta resolución


 Comisión Nacional de Actividades Espaciales
 

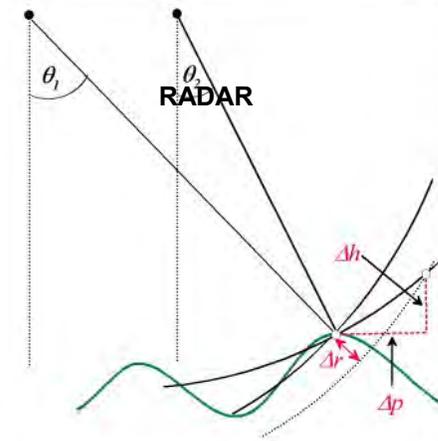
 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

## Principios Geométricos

**OPTICA**



**RADAR**



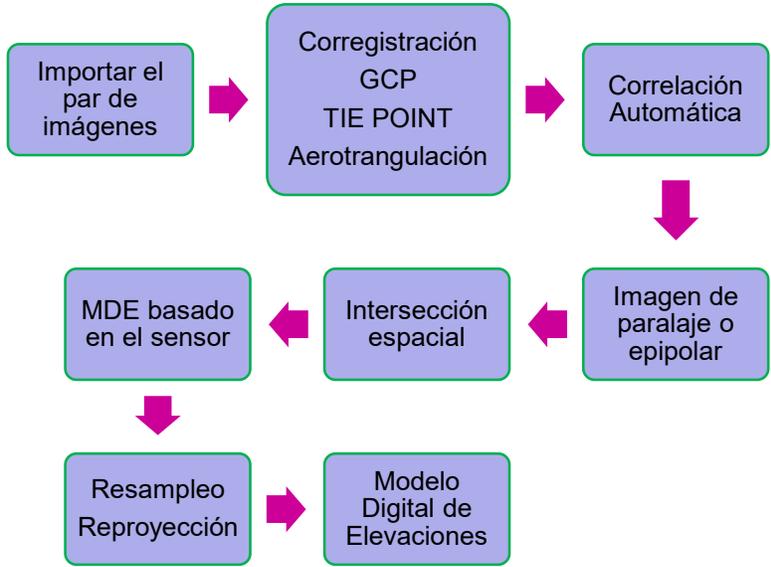
© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

67


 Comisión Nacional de Actividades Espaciales
 

 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

## Procesos



```

graph TD
    A[Importar el par de imágenes] --> B[Corrección GCP  
TIE POINT  
Aerotransulación]
    B --> C[Correlación Automática]
    C --> D[Imagen de paralaje o epipolar]
    D --> E[Intersección espacial]
    E --> F[MDE basado en el sensor]
    F --> G[Resamplado  
Reproyección]
    G --> H[Modelo Digital de Elevaciones]
    
```

© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

68

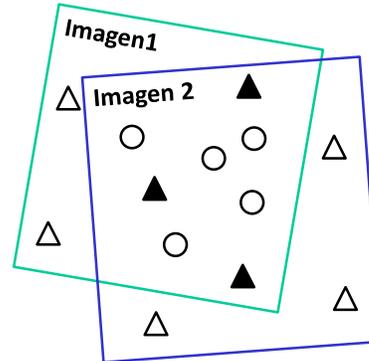
**Orientación de ambas imágenes del modelo estéreo.**

**Base:**

**Puntos de control de tierra (GCP) propios y estereos.**

**Puntos de unión (TP)**

**Ajuste del parámetro de mínimos cuadrados basado en ecuaciones de colinearidad**



- ▲ Multiple imagen GCP
- △ Imagen GCP
- TP

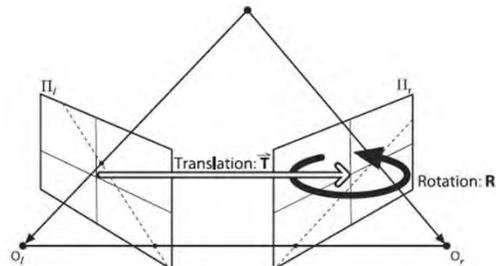
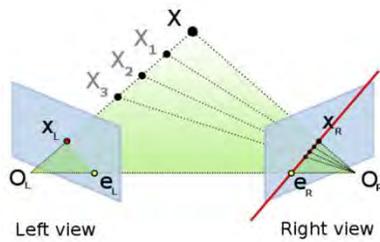


Imagen  
referencia

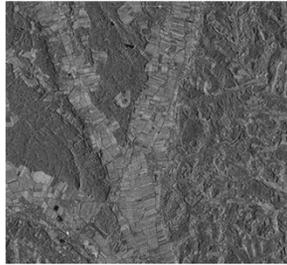


Imagen  
secundaria

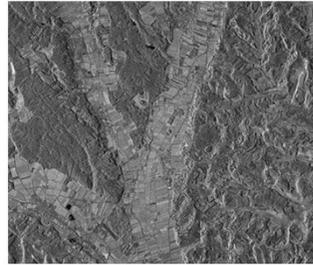


Imagen  
referencia

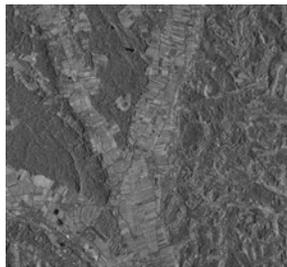
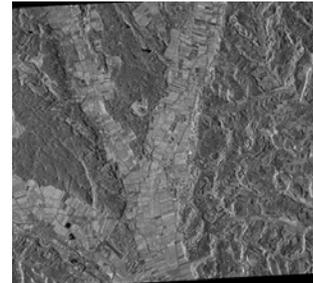
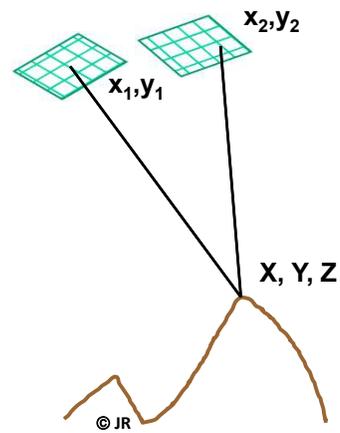


Imagen  
epipolar



- Convertir disparidades a coordenadas 3D
- Ajuste de mínimos cuadrados
- Salida: una nube de puntos con coordenadas X, Y, Z o E, N, H (Este, Norte, Altura) por ajuste.
- Todavía en geometría (epipolar) SAR
- Transformar la nube de puntos en DEM

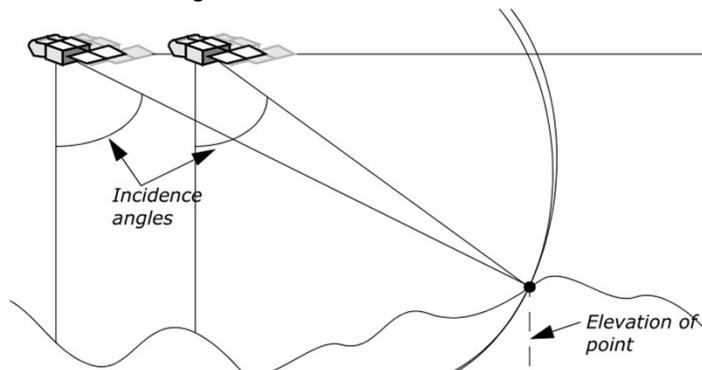


Precisión final DEM producido por el método StereoSAR se basa en dos secuencias de cálculos separados. Estas son la correlación automática de imágenes y el ajuste del cálculo de la posición del sensor / triangulación. Estos dos cálculos se unen en el paso final: Altura.

La correlación automática funciona mejor con las imágenes adquiridas con la menor divergencia angular posible. Esto es porque diferentes ángulos de imagen producen imágenes de aspecto diferente, el correlador está buscando similitud de imagen. También las imágenes adquiridas en diferentes momentos pueden ser difícil de correlacionar. Por ejemplo, imágenes tomadas de zonas agrícolas durante diferentes temporadas puede ser extremadamente diferente y, por lo tanto, difícil o imposible de solucionar exitosamente para el correlador automático.

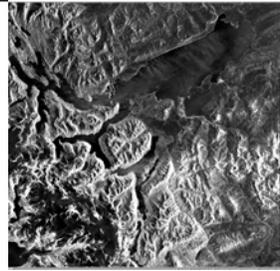
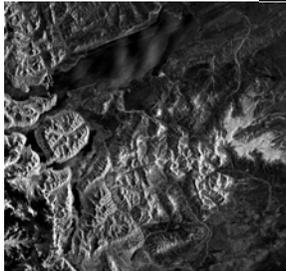
Por el contrario, el cálculo de triangulación es más preciso cuando hay un gran ángulo de intersección entre las dos imágenes porque da como resultado imágenes que son realmente diferentes debido a distorsión geométrica.

El correlador debe ser lo suficientemente robusto para emparejar imágenes con distorsión significativa.



- Los resultados analizados por Radarsat con este método aplicado a imágenes de 12,5 metros, generan un MDE acorde a un DTED I y DTED II (90 y 30 metros respectivamente) y su precisión esperada.
- Los datos de orbita de los sensores SAR están en coordenadas Elipsoidales, los GCP que se utilicen para mejorar el dato de orbita deben estar en el mismo sistema de referencia.
- Cuando se proyectan los MDE por ejemplo a UTM o GAUSS KRUGGER Las alturas no sufren modificación por lo cual aun son referidas al elipsoide.
- Se debe tener en cuenta la elección y asignación de un geoide para la referencia altimétrica del MDE.

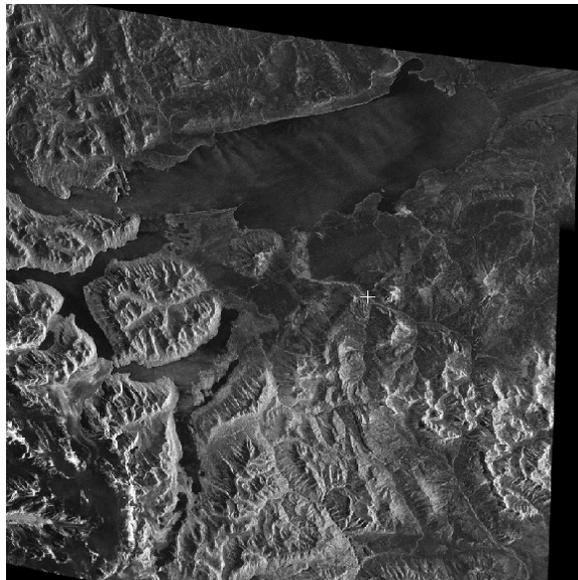




© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

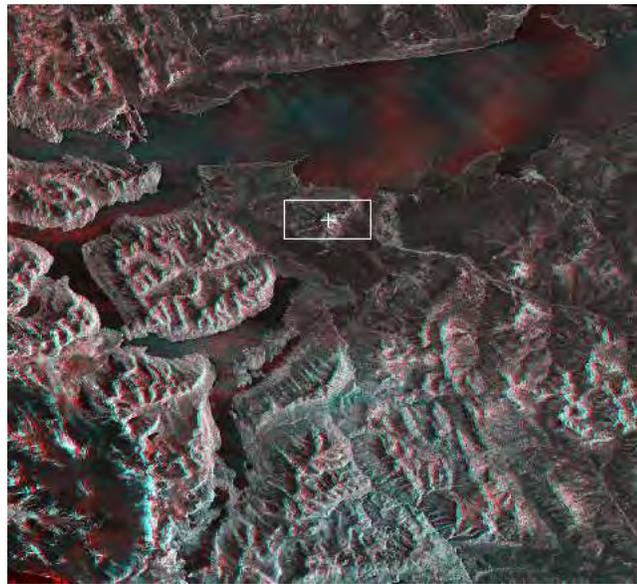
77

Imagen epipolar

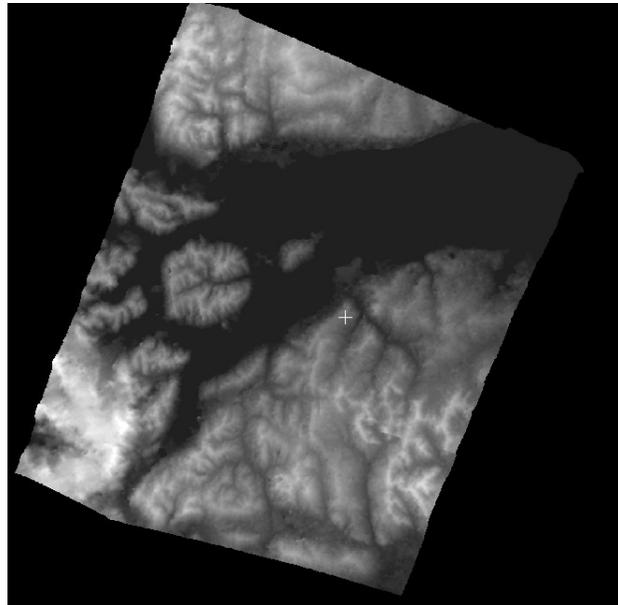


© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

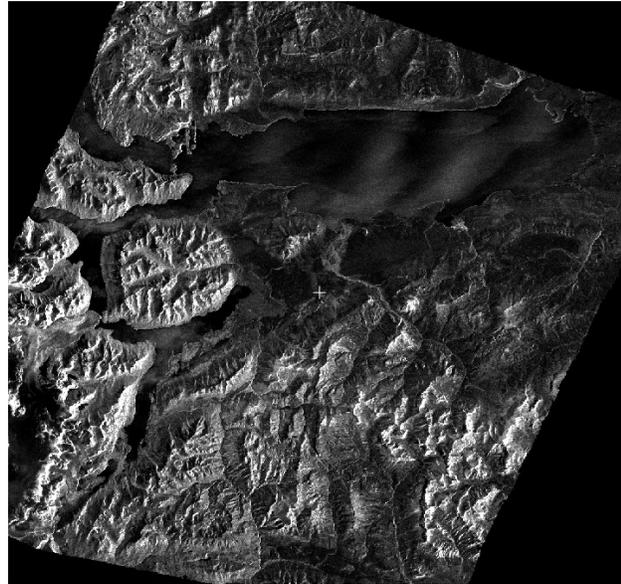
78



**MDE  
resultante**



### Imagen Radar ortorectificada



© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

81

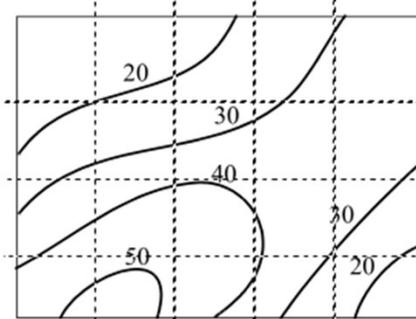
### Aplicaciones

- **Curvas de nivel;**
- **Aspecto;**
- **Pendientes;**
- **Puntos de acumulación, Dirección de flujo, Delimitación de Cuencas Hidrográficas;**
- **Visibilidad;**
- **Otras.**
- **Necesidad de Actualizar los MDE (ejemplo).**

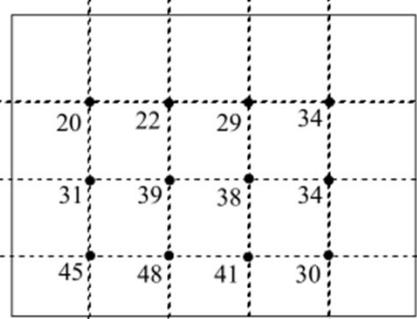
© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved

82

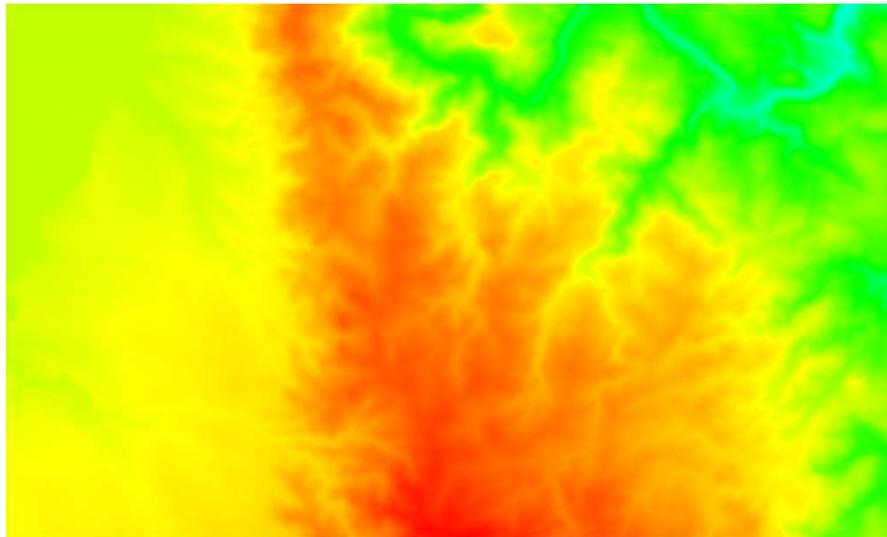
## CURVAS DE NIVEL

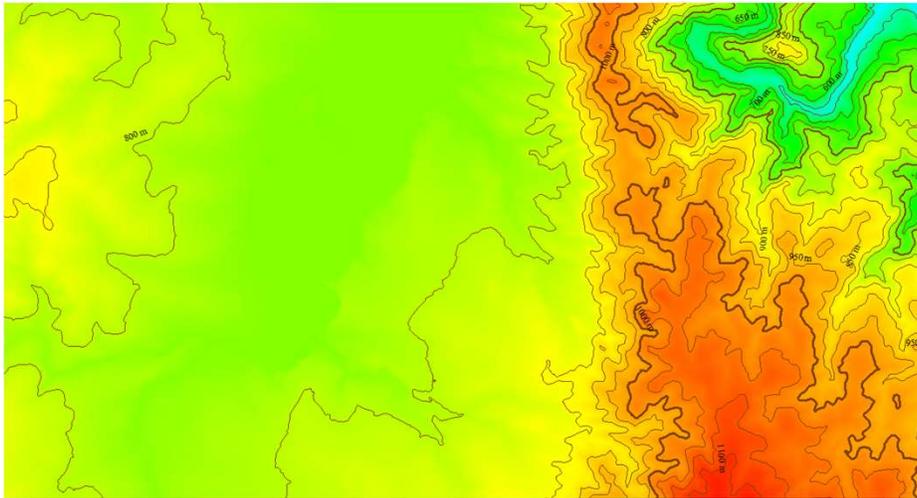


*Topographic image with grid overlay*



*DEM or regularly spaced terrain data points (Z values)*

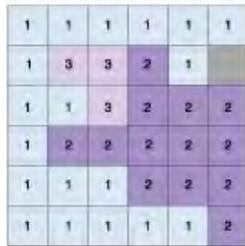




## Sombreado

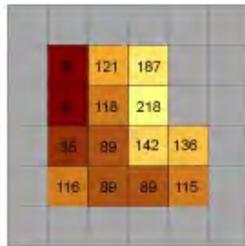
Crea un relieve sombreado a partir de un ráster de superficie teniendo en cuenta el ángulo de la fuente de iluminación y las sombras.

Ráster de entrada de superficie.



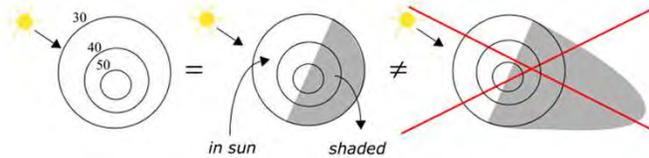
InRas1

Ráster de sombreado de salida.



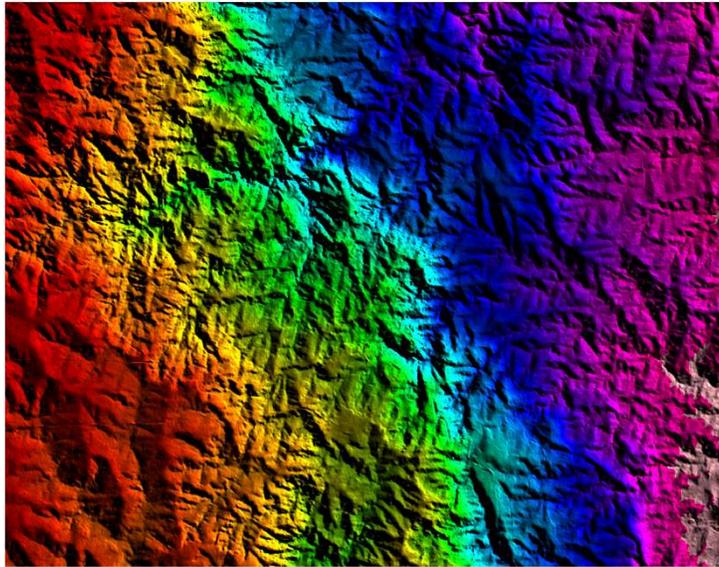
OutRas

Value = NoData





# APLICACIONES - Aspecto



Date for Calculation

May 30 2019

GMT Time (hh:mm:ss)

12 0 0

Geographic Position

Lat -31 45 0.00

Lon -64 26 0.00

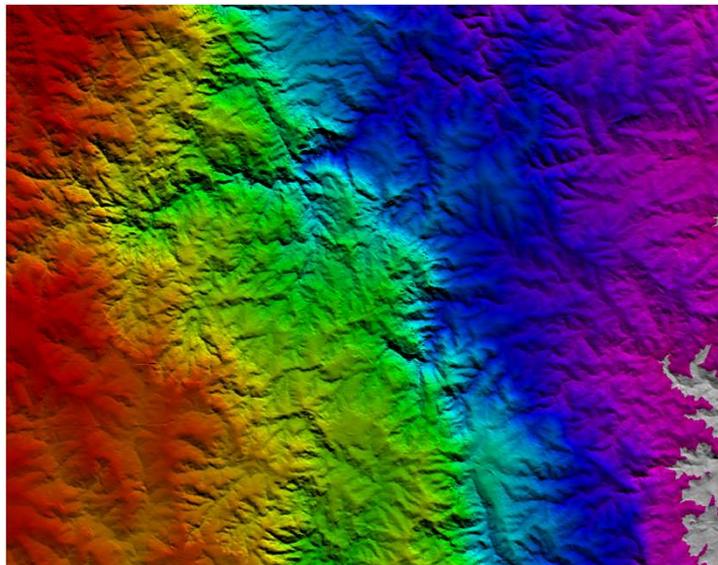
Shaded Relief Parameters

Sun Elevation Angle 8.857030

Sun Azimuth Angle 57.516807



# APLICACIONES - Aspecto



Date for Calculation

May 30 2019

GMT Time (hh:mm:ss)

15 0 0

Geographic Position

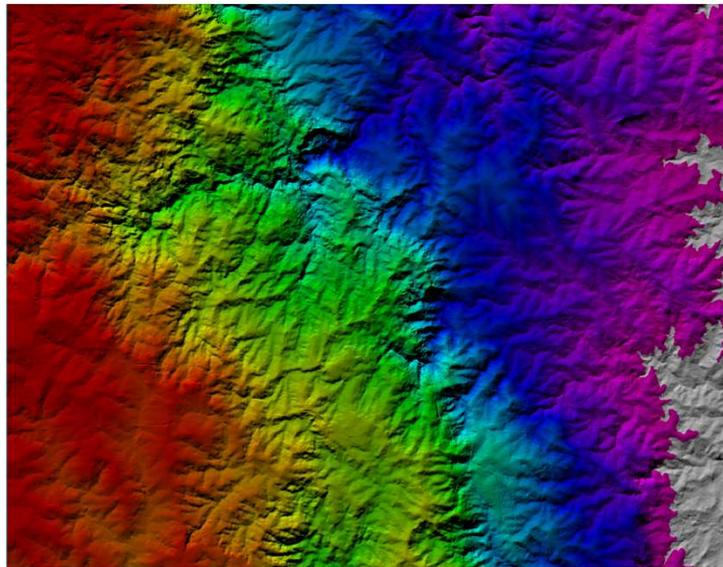
Lat -31 45 0.00

Lon -64 26 0.00

Shaded Relief Parameters

Sun Elevation Angle 33.551579

Sun Azimuth Angle 21.051140



Date for Calculation  
 May 30 2019  
 GMT Time (hh:mm:ss)  
 18:00:00  
 Geographic Position  
 Lat: -31 45 0.00  
 Lon: -64 26 0.00

Shaded Relief Parameters  
 Sun Elevation Angle: 30.893775  
 Sun Azimuth Angle: 331.463806

## Orientación

1	1	1	1	1	1
1	3	3	2	1	
1	1	3	2	2	2
1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	2

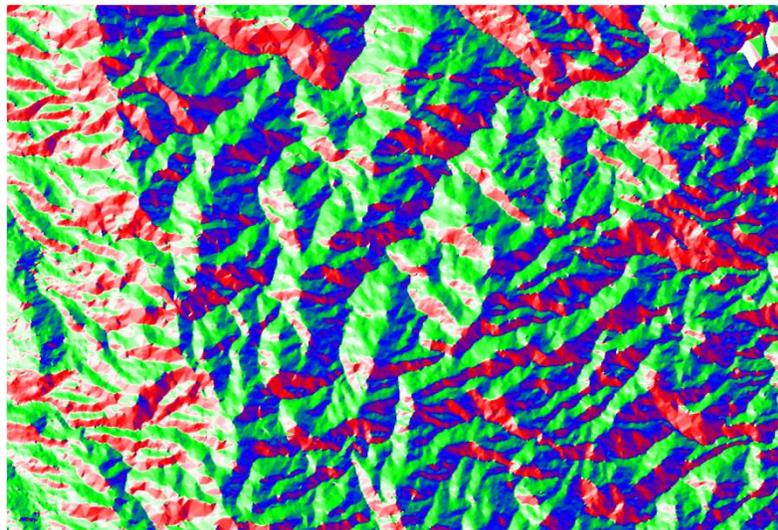
InRas1

=

315.0	341.6	8.1	26.6	45.0	-1.0
270.0	268.4	11.3	45.0	26.6	
251.6	246.8	198.4	90.0	0.0	315.0
270.0	243.4	206.6	180.0	-1.0	-1.0
225.0	198.4	206.6	206.6	198.4	225.0
-1.0	-1.0	225.0	198.4	206.6	270.0

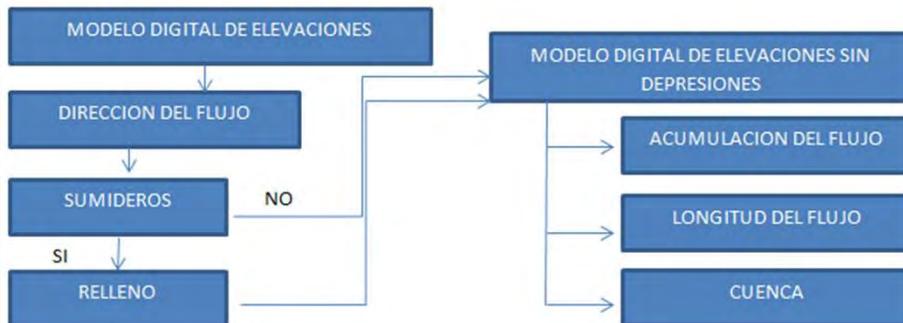
OutRas

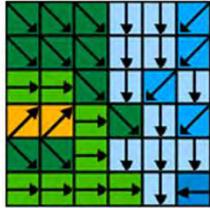
Value = NoData



■ NORTE     
 ■ SUR     
 ■ ESTE     
 □ OESTE

### FLUJO DE TRABAJO PARA GENERAR MAPAS DE CUENCAS





### Dirección de flujo

Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el modelo de flujo de ocho direcciones (D8) y sigue un acercamiento presentado en [Jenson and Domínguez \(1988\)](#)

0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	1

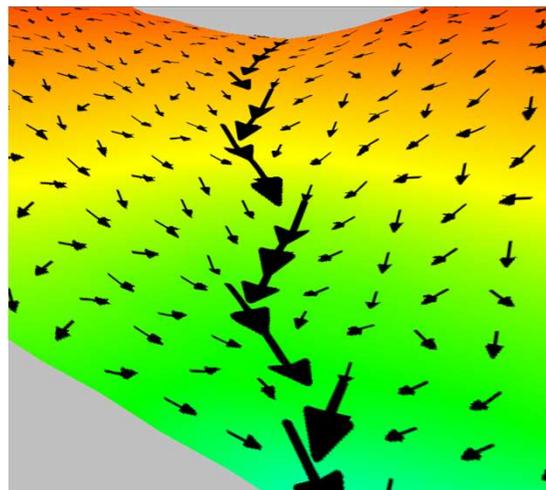
### Acumulación de flujo

Queda determinado por la acumulación del peso de todas las celdas de pendiente descendente.

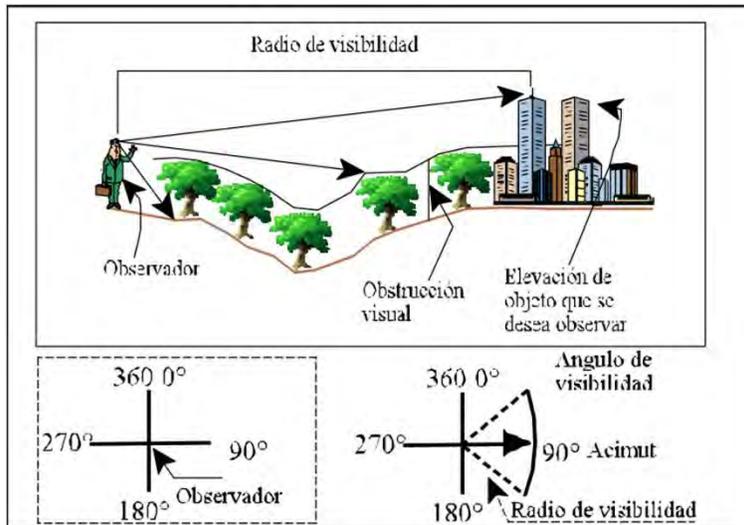
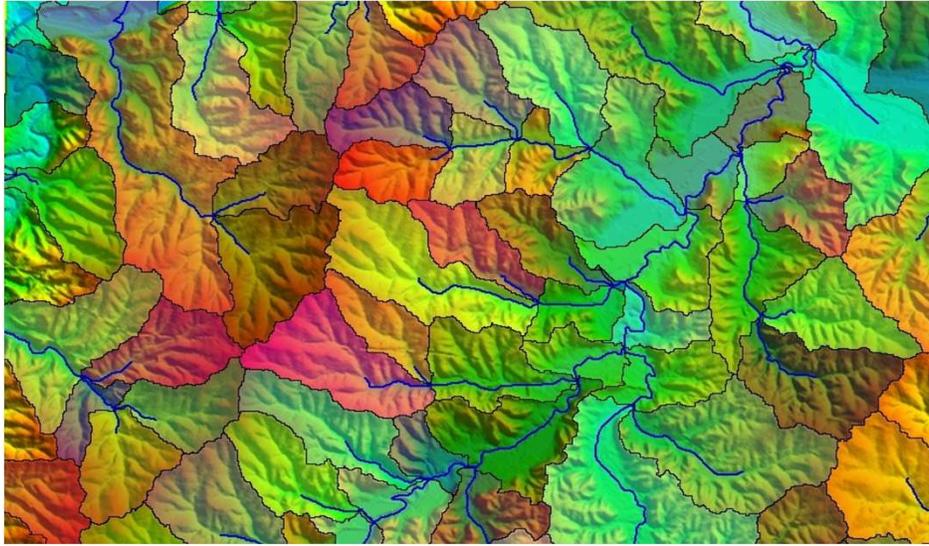
Las celdas de salida con valor alto son área de flujo concentrado.

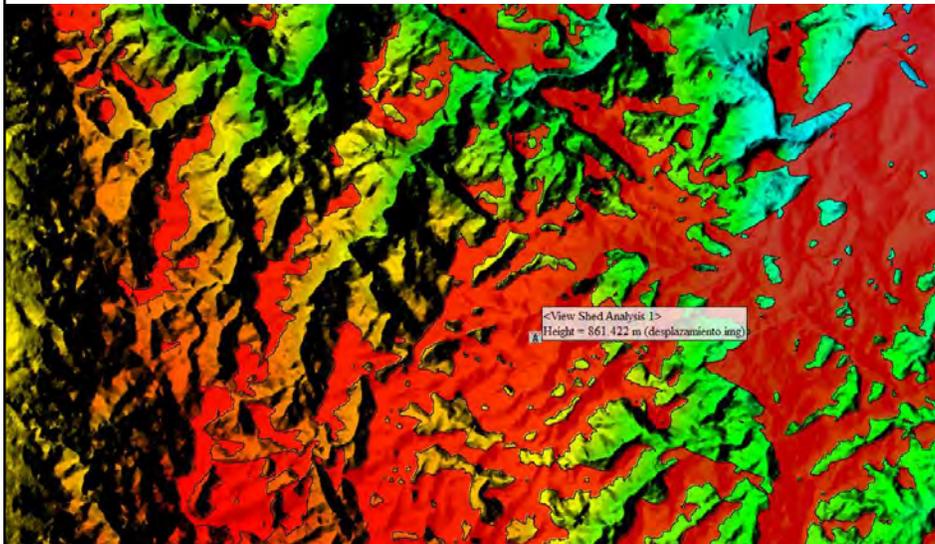
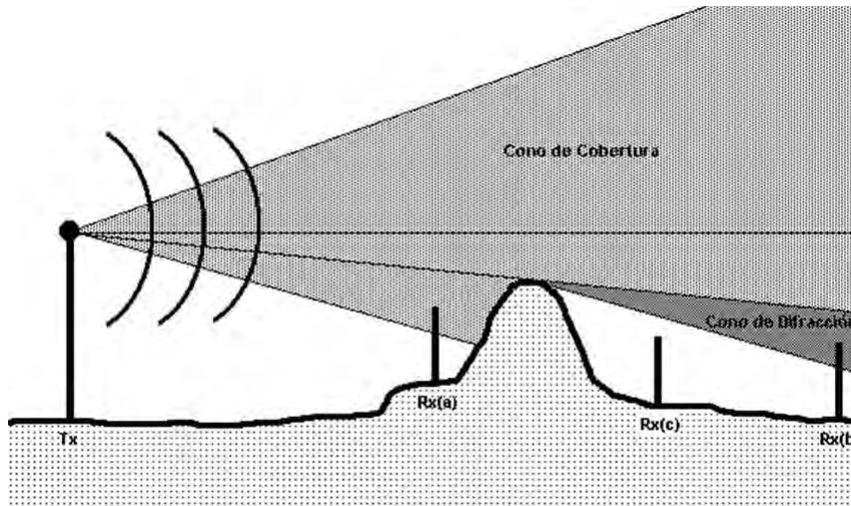
Las celdas de salida con valor 0 son alturas topográficas que se pueden identificar como crestas.

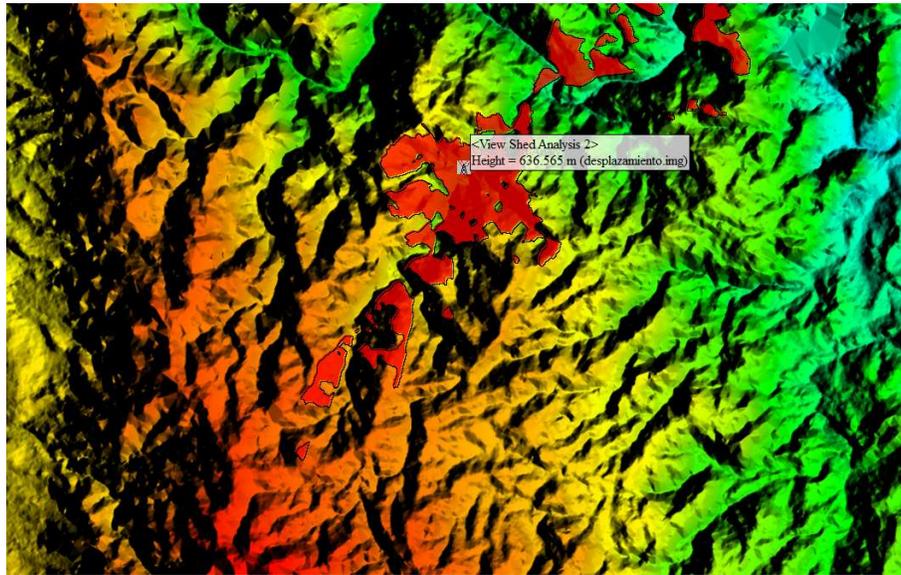
### FLUJO DE ACUMULACIÓN



### CUENCAS HIDROGRÁFICAS





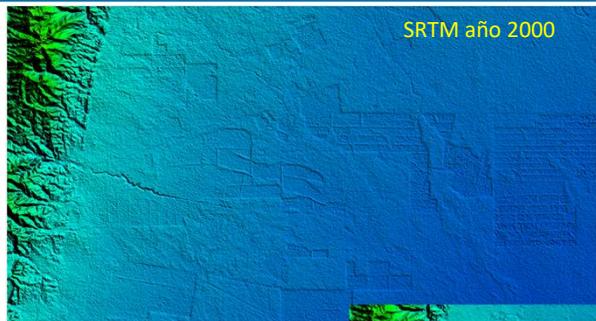


- Perfiles Altimétricos;
- Simulaciones de Vuelos;
- Simulación de Zonas Inundables;
- Mapas de Transitabilidad;
- Movimientos de Suelos;
- Simulación de Movimientos de Remoción en Masa;
- Análisis topográfico y geomorfológico;
- Estimación de “Nieve útil”;
- ...

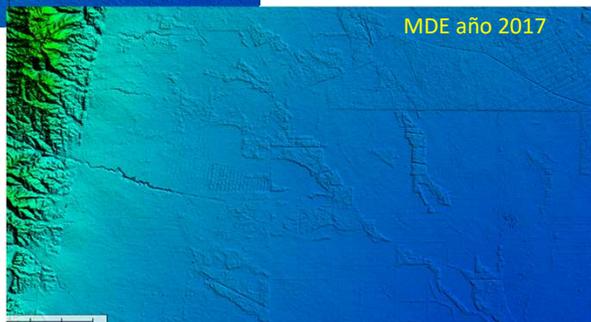


## APLICACIONES

### Necesidad de Actualización de MDE



SRTM año 2000



MDE año 2017

Todos los derechos reservados / All rights reserved



# Muchas Gracias!!

[jmilov@conae.gov.ar](mailto:jmilov@conae.gov.ar)  
[jcandia@sec.conae.gov.ar](mailto:jcandia@sec.conae.gov.ar)

© 2021 CONAE  
Todos los derechos reservados / All rights reserved