

Teledetección

## Tema 6

# Preprocesamiento y corrección de imagen

---

Alejandro Millán Calderón

*personal.us.es/amillan*

2 de mayo de 2024

© Universidad de Sevilla. Todos los derechos reservados.

# Índice

1. Introducción

2. Errores radiométricos – Origen y corrección

- Producidos por la atmósfera
- Producidos por el sensor

3. Errores geométricos – Origen

- Producidos por la Tierra
- Producidos por el sensor
- Producidos por la plataforma

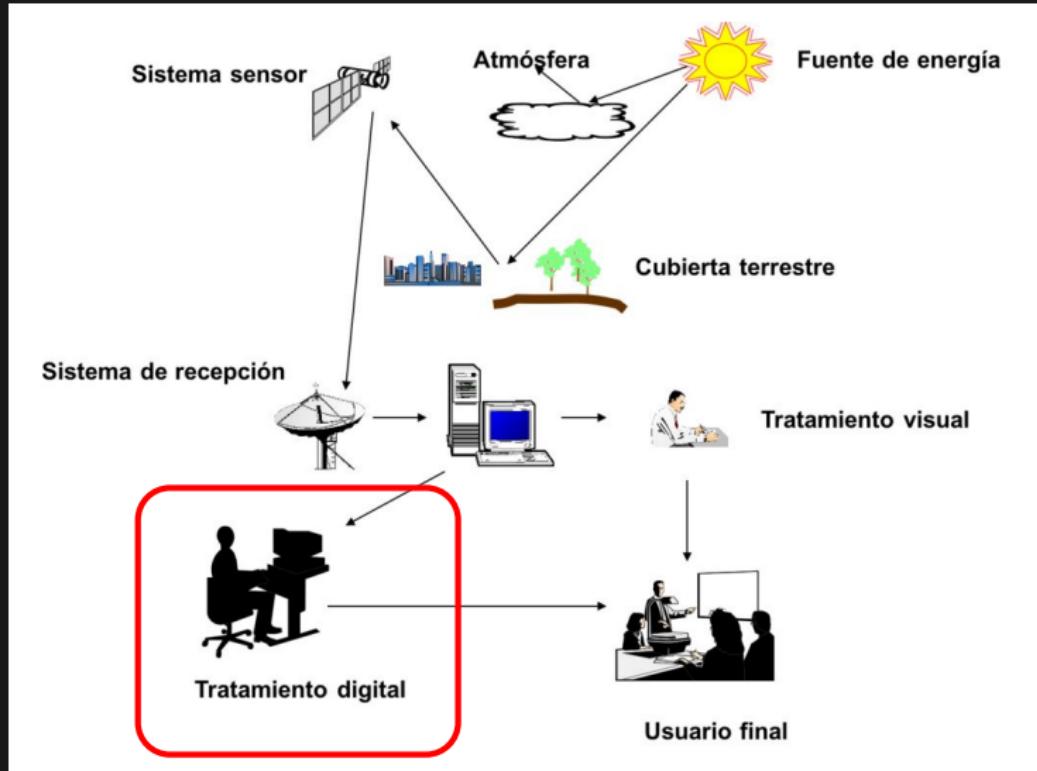
4. Errores geométricos – Corrección:

- Georreferenciación
- Corrección geométrica por puntos de control

# Introducción

---

# Actores de un sistema de Teledetección



# Procesamiento digital de imágenes

- Permite extraer el máximo de información de una imagen, poniendo de manifiesto los rasgos más significativos presentes en ella. Engloba:
  - ▶ Supresión de errores sistemáticos.
  - ▶ Supresión de errores aleatorios.
  - ▶ Incremento de su inteligibilidad.
- Se realiza en tres fases:
  1. Corrección.
  2. Realce.
  3. Transformación y clasificación.
- El procesamiento es digital.

# Ejemplo de procesamiento de imagen

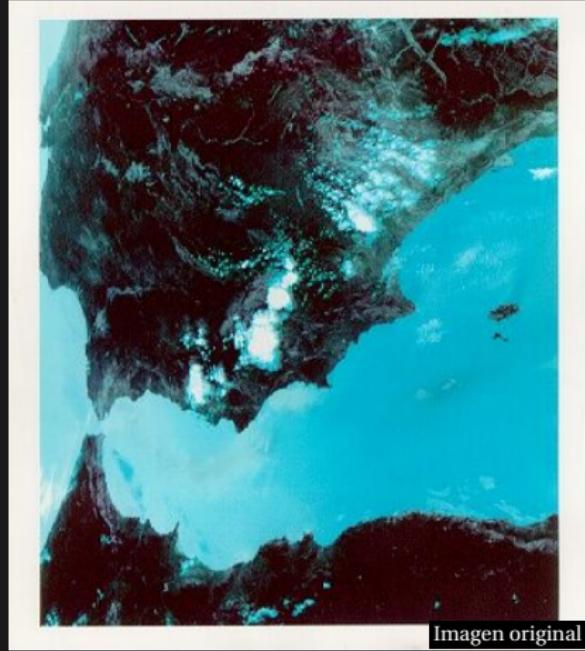


Imagen original

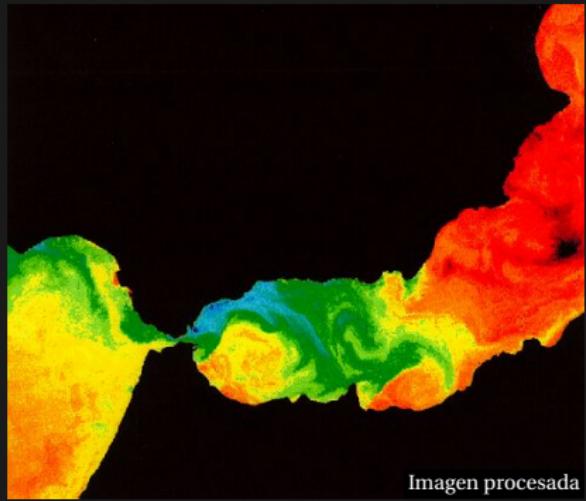


Imagen procesada

# Niveles de preprocesamiento comercial de las imágenes

- Básico:
  - ▶ Corrección radiométrica, corrección del sensor (fallos y movimiento).
- Estándar:
  - ▶ Básico + corrección geométrica básica (ángulo de observación y rotación terrestre).
- Ortorectificado:
  - ▶ Estándar + corrección geométrica avanzada (puntos de control).
- Ortorectificado plus:
  - ▶ Ortorectificado + aplicación DEM.
- Productos específicos (realce, clasificación, etc.).

## Corrección de imagen

Tiene por finalidad la eliminación de errores, tanto sistemáticos como aleatorios. Tipos de errores:

- Radiométricos. Son aquellos producidos al obtener el ND de uno o varios píxeles:
  - ▶ Producidos por la atmósfera.
  - ▶ Producidos por fallo en los instrumentos.
- Geométricos. Suponen diferencias geométricas entre la imagen y la superficie terrestre que representan:
  - ▶ Producidos por la forma de tomar la medida el sensor.
  - ▶ Producidos por la forma o el movimiento de la Tierra.
  - ▶ Producidos por el desplazamiento del satélite.

# **Errores radiométricos – Origen y corrección**

---

# **Errores radiométricos – Origen y corrección**

---

**Producidos por la atmósfera**

## Errores radiométricos producidos por la atmósfera - Origen

- El ND que el sensor almacena proveniente de la porción de la superficie terrestre que llamaremos píxel efectivo, puede ser erróneo debido a la absorción o a la dispersión producida por partículas en suspensión.
- El origen de estos errores es que al sensor puede llegar:
  - ▶ Sólo parte de la radiación que haya emitido o reflejado el píxel efectivo. El resto ha sido absorbida.
  - ▶ Radiación que proviene de píxeles vecinos, desviada por dispersión.
  - ▶ Radiación enviada por el píxel efectivo pero que éste haya recibido a su vez de píxeles vecinos por dispersión.
- Estos errores dependen de la longitud de onda.

# Errores radiométricos producidos por la atmósfera – Corrección

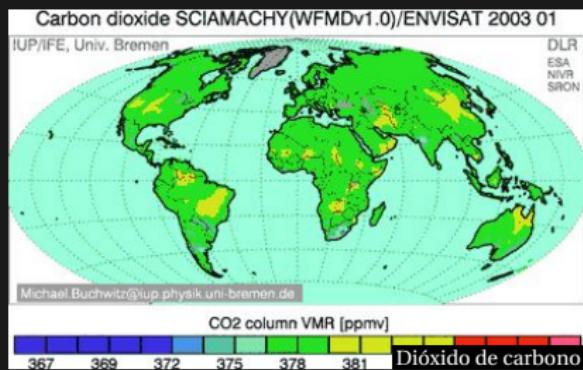
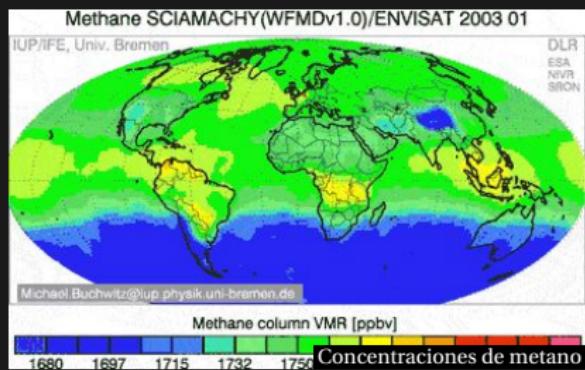
## Modelado inverso

- Es necesario conocer datos atmosféricos de composición, temperatura, presión, humedad, etc. a diferentes alturas.
- Se aplican algoritmos particularizados:
  - ▶ Para la longitud de onda específica.
  - ▶ Para el tipo de superficie estudiada.

## Análisis de histogramas

- Se analizan los histogramas de las diferentes bandas.
- Se corrigen dichos histogramas mediante algún método de corrección atmosférica como el algoritmo DOS (*Dark Object Subtraction*).

# Ilustración de datos atmosféricos para corrección



## Ilustración de corrección atmosférica mediante modelado inverso

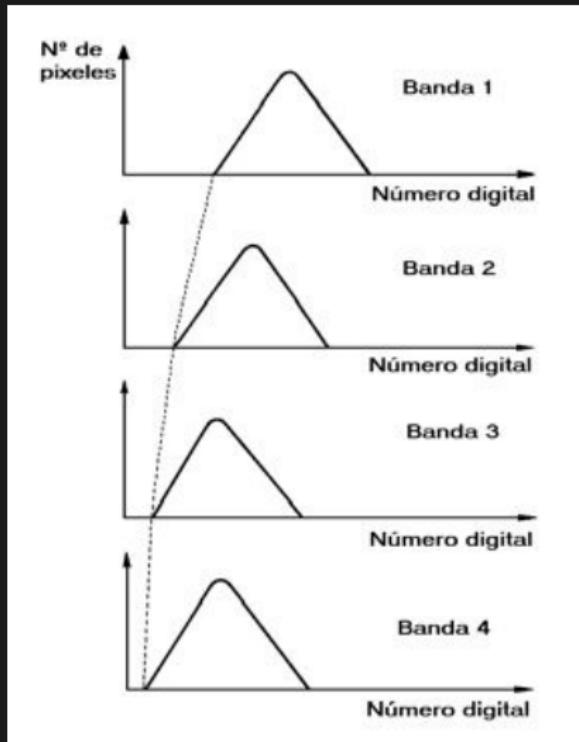


# Algoritmo DOS (*Dark Object Subtraction*)

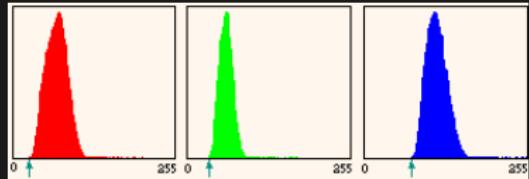
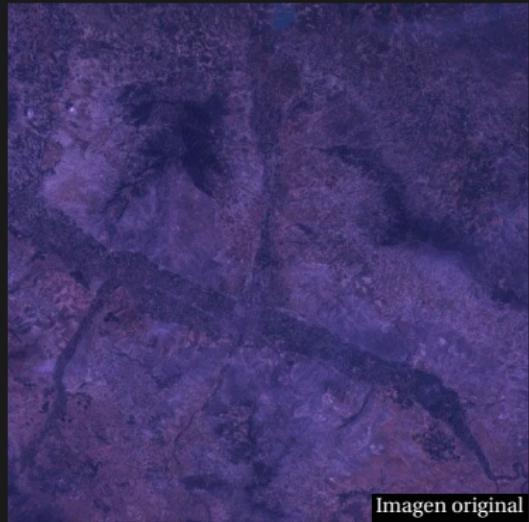
- Asume la existencia de cubiertas con  $\rho = 0$ .
- Busca el ND mínimo de la imagen y lo resta (menos una unidad) a toda ella:

$$ND'_{ij} = ND_{ij} - (ND_{\min} - 1)$$

- El objetivo es que el histograma comience en  $ND = 1$ .



# Ilustración del algoritmo DOS (*Dark Object Subtraction*)



# **Errores radiométricos – Origen y corrección**

---

**Producidos por el sensor**

# Errores radiométricos producidos por fallo del sensor – Origen

- Moteado (speckle):

- ▶ Valores no adecuados al entorno.

- Bandeado (striping):

- ▶ Provocado por el descalibrado de alguno de los detectores del sensor.
  - ▶ Produce un efecto de bandas equidistantes más oscuras o más claras que el resto de la imagen.

- Huecos (gaps):

- ▶ Hacen referencia a las pérdidas de píxeles o líneas completas.
  - ▶ Se producen por mal funcionamiento del sensor o de la antena receptora.
  - ▶ Su efecto es que varios píxeles o líneas aparecen sin señal.

- Todos estos tipos de errores son aleatorios.

## Ilustración del error de moteado

|   |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 7 | 14  | 14 | 15 | 16 | 15 | 15 | 17 | 16 | 13 | 12 | 14 | 1 |
| 4 | 13  | 12 | 13 | 12 | 11 | 12 | 14 | 13 | 11 | 12 | 17 | 2 |
| 2 | 12  | 11 | 11 | 11 | 10 | 12 | 16 | 15 | 13 | 16 | 23 | 3 |
| 1 | 11  | 11 | 11 | 11 | 12 | 15 | 22 | 23 | 21 | 24 | 31 | 3 |
| 1 | 180 | 11 | 11 | 12 | 16 | 20 | 28 | 31 | 29 | 32 | 39 | 4 |
| 1 | 11  | 11 | 13 | 16 | 22 | 28 | 36 | 39 | 39 | 42 | 47 | 5 |
| 1 | 11  | 13 | 17 | 23 | 30 | 36 | 42 | 45 | 45 | 48 | 51 | 5 |
| 1 | 13  | 17 | 25 | 33 | 40 | 45 | 47 | 48 | 48 | 50 | 53 | 5 |
| 3 | 21  | 26 | 33 | 40 | 47 | 50 | 50 | 50 | 50 | 51 | 54 | 5 |
| 1 | 36  | 40 | 42 | 46 | 49 | 50 | 50 | 50 | 50 | 51 | 54 | 5 |
| 0 | 45  | 47 | 48 | 49 | 51 | 51 | 50 | 50 | 8  | 52 | 54 | 5 |
| 4 | 47  | 49 | 50 | 51 | 53 | 53 | 51 | 50 | 50 | 52 | 54 | 5 |
| 7 | 49  | 50 | 51 | 52 | 54 | 54 | 52 | 51 | 51 | 51 | 53 | 5 |
| 3 | 50  | 51 | 53 | 54 | 55 | 54 | 52 | 51 | 51 | 51 | 53 | 5 |
| 0 | 52  | 53 | 55 | 0  | 56 | 55 | 53 | 51 | 50 | 50 | 52 | 5 |
| 2 | 120 | 55 | 57 | 58 | 58 | 56 | 54 | 51 | 50 | 50 | 52 | 5 |
| 3 | 55  | 57 | 58 | 59 | 59 | 57 | 55 | 52 | 49 | 49 | 51 | 5 |



## Error de moteado – Corrección

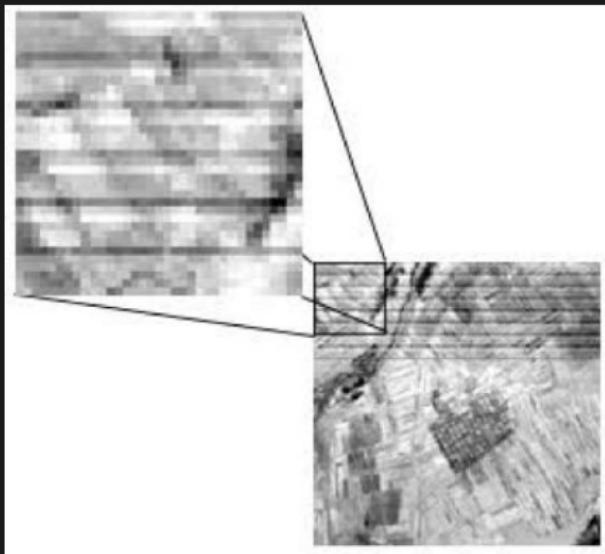
- Se puede mejorar el efecto visual de la imagen cambiando el valor de los píxeles defectuosos por los de algún vecino.
- Esto se hace de varios modos:
  - ▶ Se sustituye por el valor del vecino inmediato anterior o posterior.
  - ▶ Se sustituye por un valor medio de los ND vecinos (filtro paso de bajo).
  - ▶ Se sustituye por el valor más repetido entre los vecinos (filtro de moda).
  - ▶ Otros métodos similares.
- Se detecta por variación brusca del ND defectuoso.

## Ilustración de corrección del efecto de moteado



## Error de bandeados – Origen

- Es provocado por el descalibrado de alguno de los detectores del sensor.
- Se produce un efecto de bandas equidistantes más oscuras o más claras que el resto de la imagen.



## Error de bandeados – Corrección

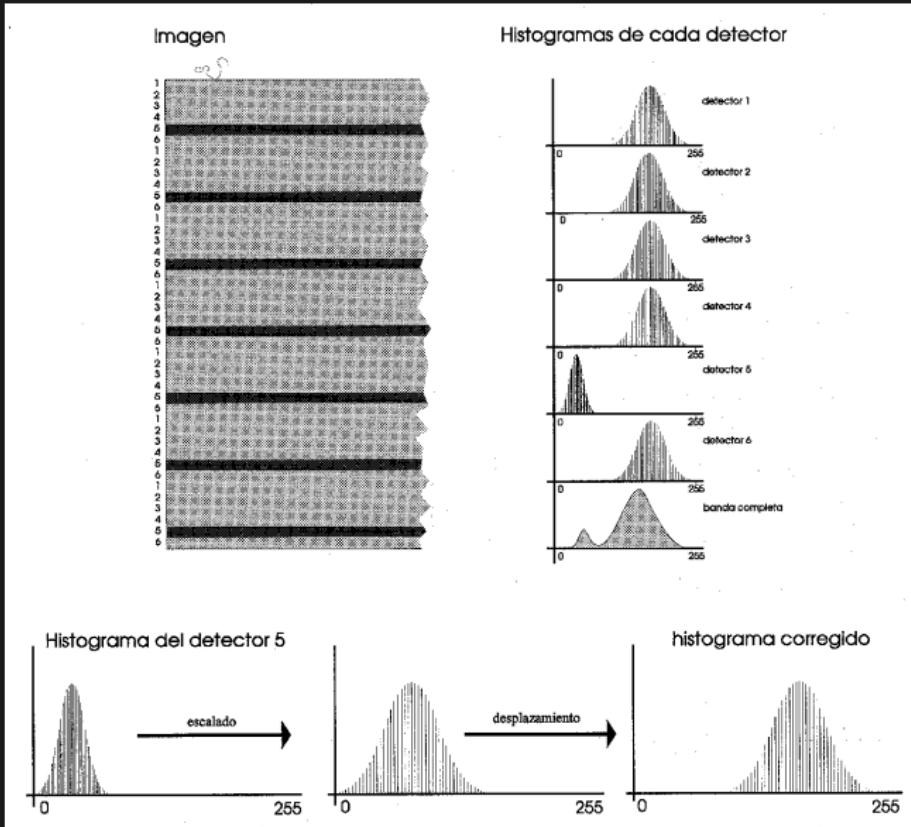
- Obtener los histogramas de las imágenes parciales obtenidas por cada detector  $k$  y calcular sus medias  $M_k$  y sus desviaciones típicas  $S_k$ .
- Obtener el histograma de la imagen total y calcular su media  $M$  y su desviación típica  $S$ .
- Calcular los coeficientes de corrección  $a_k$  y  $b_k$  como sigue:

$$a_k = \frac{S}{S_k} \quad b_k = M - a_k M_k$$

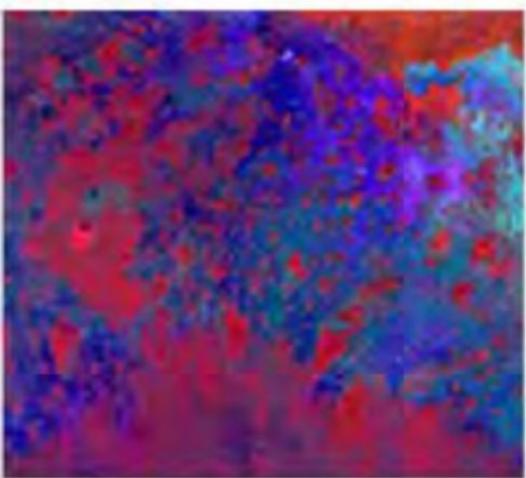
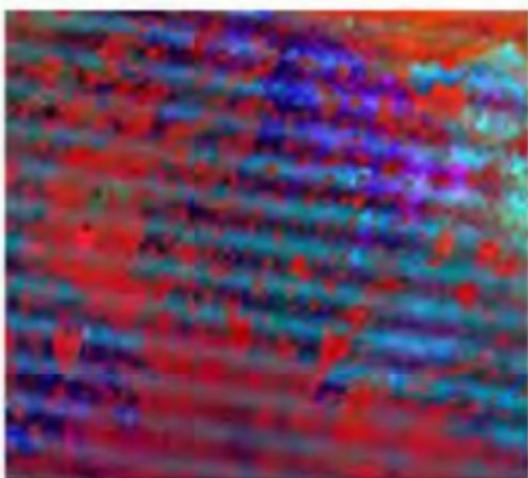
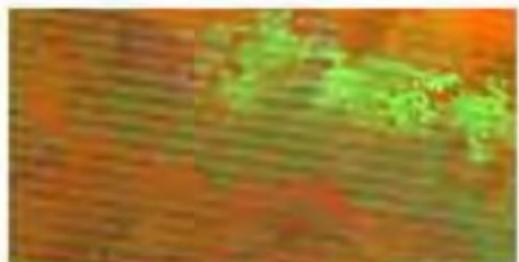
- Corregir las líneas defectuosas píxel a píxel mediante la expresión:

$$ND'_{ij} = a_k ND_{ij} + b_k$$

# Ilustración del proceso de corrección del error de bandeo



## Corrección de error de bandeados



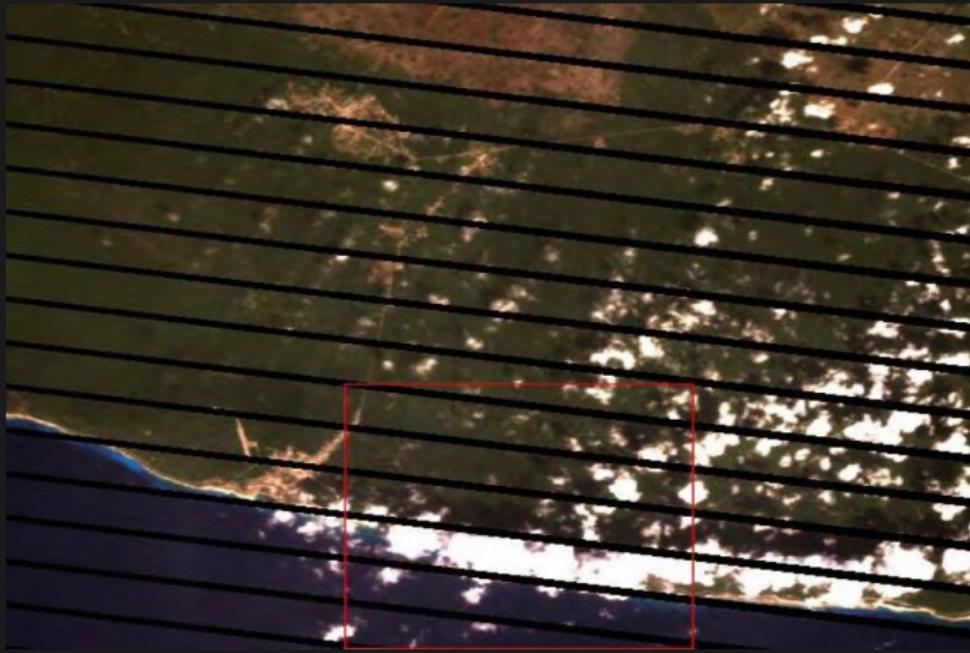
## Pérdida de píxeles – Origen

- Se refieren a las pérdidas de píxeles o líneas completas.
- Son originados por un mal funcionamiento del sensor o de la antena receptora.
- Su efecto es que varios píxeles o líneas aparecen sin señal:
  - ▶ ND mínimo o máximo (0 ó 255 en el caso de 8 bits de resolución radiométrica).



|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 15 | 22 | 23 |
| 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 16 | 20 | 28 | 31 |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 10 | 11 | 11 | 13 | 17 | 23 | 30 | 36 | 42 | 45 |    |
| 10 | 11 | 13 | 17 | 25 | 33 | 40 | 45 | 47 | 48 |    |

## Ejemplo de pérdida de píxeles

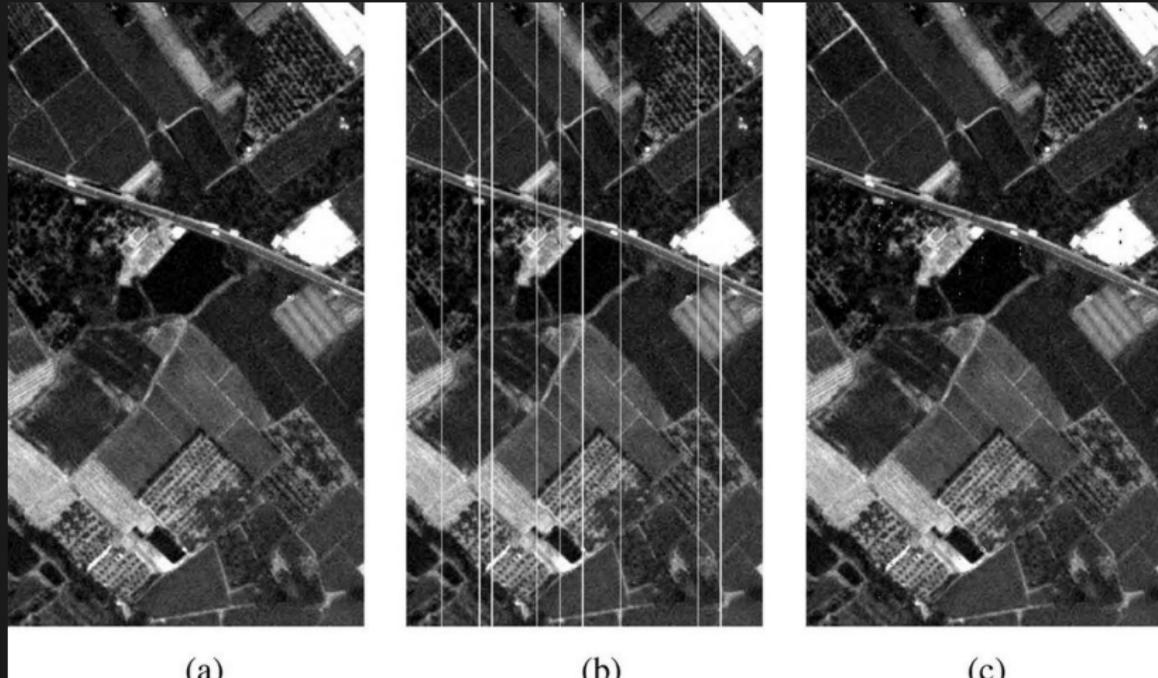


*Imagen tomada por el sensor ETM+ a bordo del Landsat 7. Desde 2003 (4 años después de su lanzamiento), el sensor comenzó a presentar fallos por lo que sus imágenes muestran huecos (datos inválidos).*

## Pérdida de píxeles – Corrección

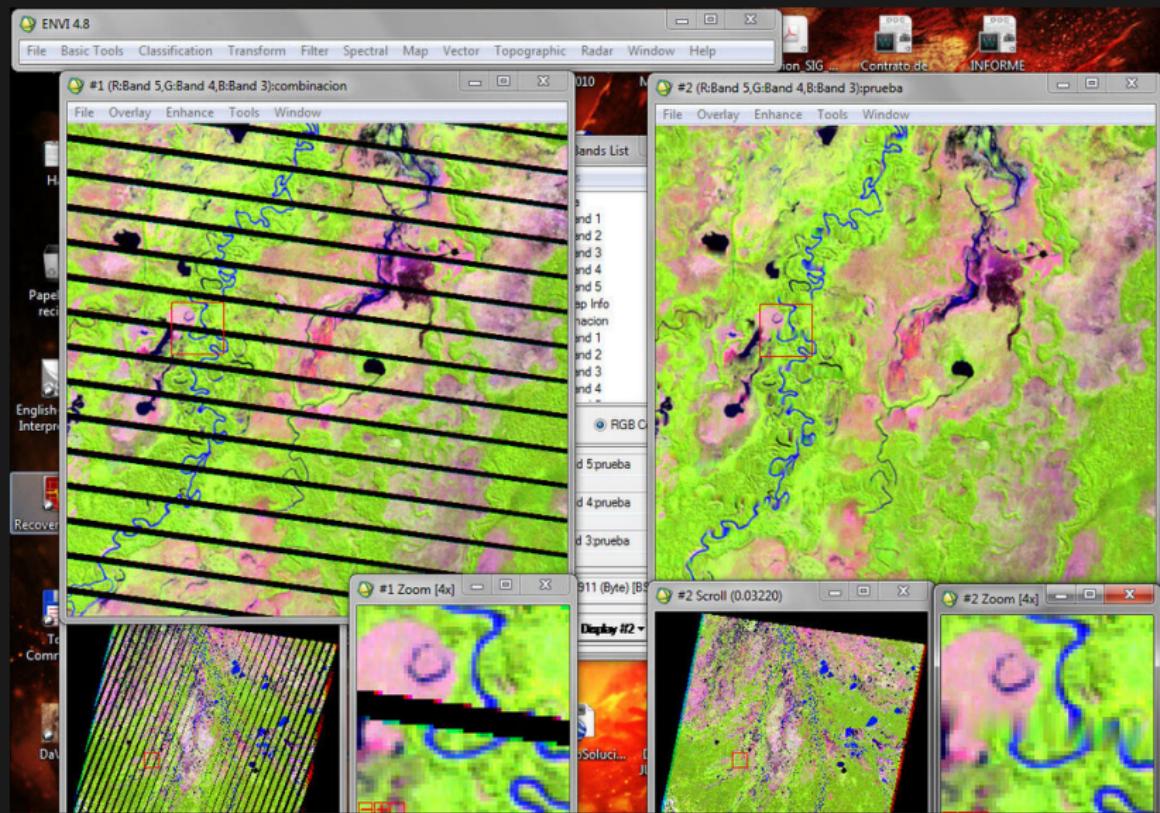
- Los píxeles perdidos no se pueden recuperar ya que no existe dicha información.
- Se puede mejorar el efecto visual de la imagen cambiando el valor de los píxeles defectuosos por los de los vecinos.
- Esto se hace de varios modos:
  - ▶ Se sustituye la línea defectuosa por la inmediata anterior o posterior.
  - ▶ Se sustituye, píxel a píxel, por la media aritmética de ambas.
  - ▶ Otros métodos similares.

## Ilustración de relleno de huecos



Relleno de huecos: (a) imagen original, (b) imagen con huecos, (c) imagen corregida mediante interpolación.

## Corrección de huecos en imagen Landsat con ENVI



## Bandas de evaluación de calidad [1]

- Algunos satélites incorporan bandas que permiten evaluar la calidad de los datos recogidos en la imagen.
- Por ejemplo, el Landsat 8 incorpora una *Quality Assessment Band* que tiene por finalidad dar información (superficie terrestre, atmósfera, estado del sensor, etc.) sobre cada píxel de la imagen, lo cual ayuda a la corrección de errores radiométricos en esa imagen.
- En este ejemplo concreto, dicha banda aporta 16 bits:

| 16-bit Landsat 8 QA Band - Read bits from RIGHT to LEFT ← starting with Bit 0 |                  |    |                   |    |                     |    |                       |   |                           |   |                  |   |          |                   |               |                 |
|---|------------------|----|-------------------|----|---------------------|----|-----------------------|---|---------------------------|---|------------------|---|----------|-------------------|---------------|-----------------|
| BIT   | 15               | 14 | 13                | 12 | 11                  | 10 | 9                     | 8 | 7                         | 6 | 5                | 4 | 3        | 2                 | 1             | 0               |
| DESCRIPTION   | Cloud Confidence |    | Cirrus Confidence |    | Snow/Ice Confidence |    | Vegetation Confidence |   | Reserved for cloud shadow |   | Water Confidence |   | Reserved | Terrain Occlusion | Dropped Frame | Designated Fill |

## Bandas de evaluación de calidad [2]

|             | 16-bit Landsat 8 QA Band - Read bits from RIGHT to LEFT ← starting with Bit 0 |    |                   |    |                     |    |                       |   |                           |   |                  |   |          |   |                   |               |                 |
|-------------|---|----|-------------------|----|---------------------|----|-----------------------|---|---------------------------|---|------------------|---|----------|---|-------------------|---------------|-----------------|
| BIT         | 15  | 14 | 13                | 12 | 11                  | 10 | 9                     | 8 | 7                         | 6 | 5                | 4 | 3        | 2 | 1                 | 0             |                 |
| DESCRIPTION | Cloud Confidence  |    | Cirrus Confidence |    | Snow/Ice Confidence |    | Vegetation Confidence |   | Reserved for cloud shadow |   | Water Confidence |   | Reserved |   | Terrain Occlusion | Dropped Frame | Designated Fill |

1-bit

0 No

1 Yes

2-bit

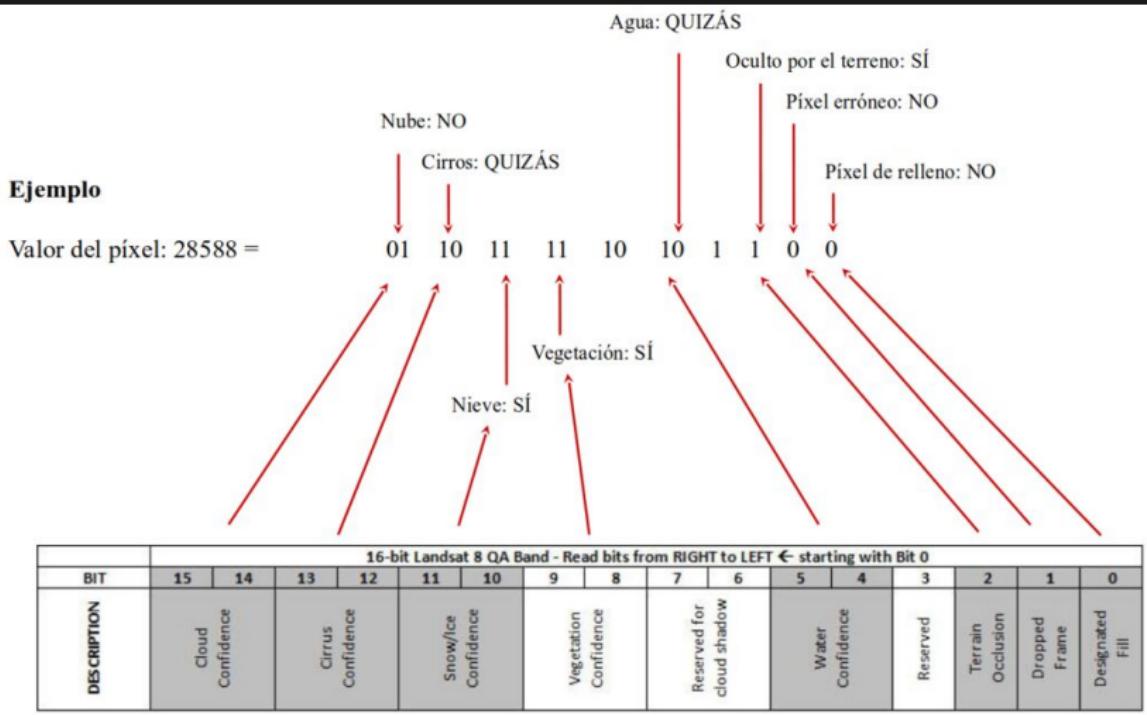
00 Not Determined

01 No (0-33 %)

10 Maybe (34-66 %)

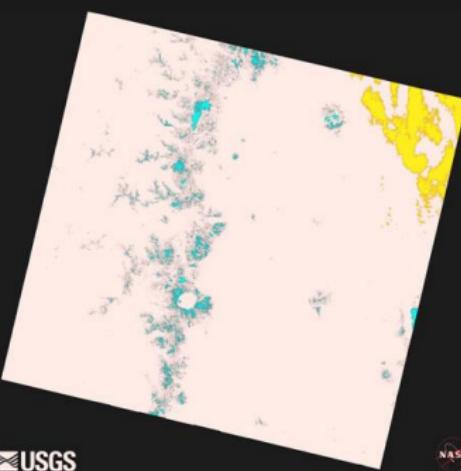
11 Yes (67-100 %)

# Bandas de evaluación de calidad [3]



## Bandas de evaluación de calidad [4]

| Bit                                    | 7      | 6       | 5         | 4           | 3      | 2                 | 1             | 0               |
|--|--------|---------|-----------|-------------|--------|-------------------|---------------|-----------------|
| Description                            | Cloud* | Cirrus* | Snow/ice* | Vegetation* | Water* | Terrain Occlusion | Dropped Frame | Designated Fill |
| *Set for highest confidence value (11) |        |         |           |             |        |                   |               |                 |



Representación en color de la banda de evaluación de calidad: cirros (amarillo), nieve (celeste) y relleno (negro).

## Errores geométricos – Origen

---

## **Errores geométricos – Origen**

---

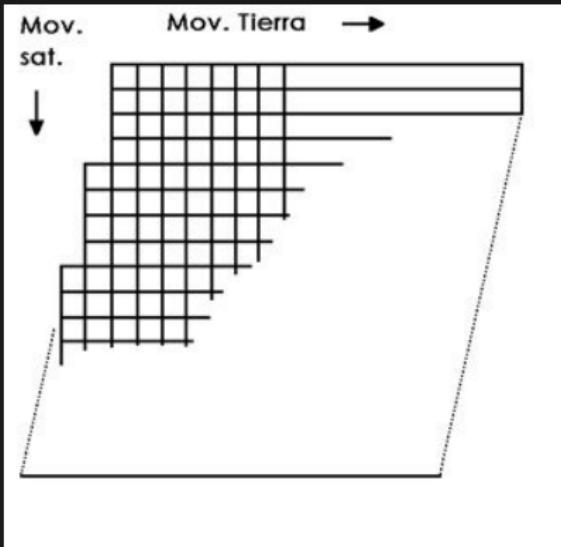
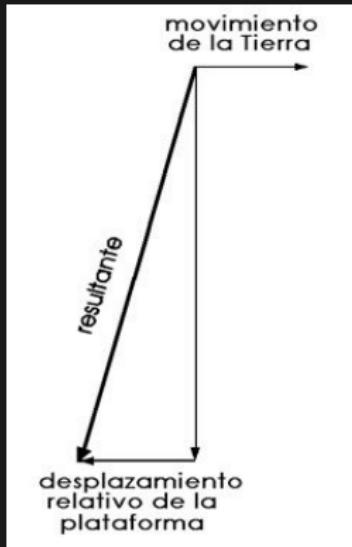
**Producidos por la Tierra**

# Errores geométricos producidos por la tierra

Distorsión producida por la rotación terrestre:

- Durante el tiempo de adquisición de la imagen por el sensor, la Tierra gira de oeste a este, de forma que la longitud (coordenada terrestre) de la primera columna de la primera fila no es la misma a la de la misma columna en la última fila.
- Esto hace que la imagen corregida geométricamente aparezca con un aspecto romboidal en dirección NE-SO.
- El desplazamiento observado dependerá de la velocidad lineal de giro de la Tierra y ésta dependerá de la latitud del lugar de observación.

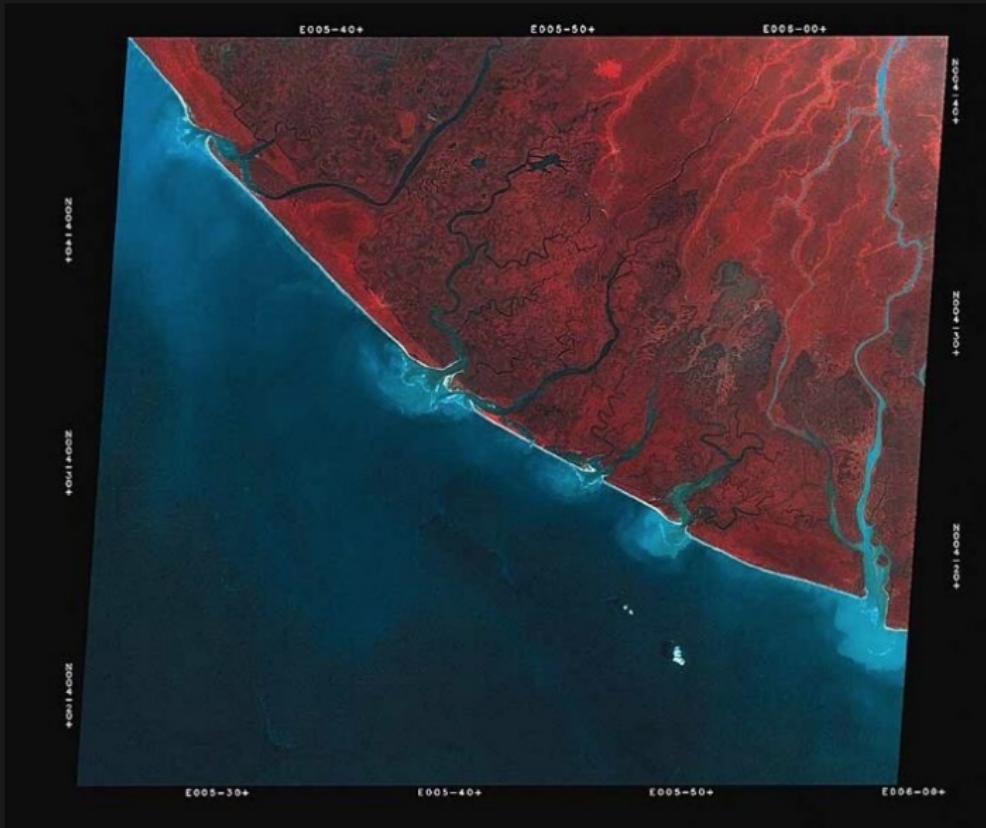
# Errores geométricos producidos por la rotación terrestre



$$\text{Landsat / latitud} = 40^\circ$$

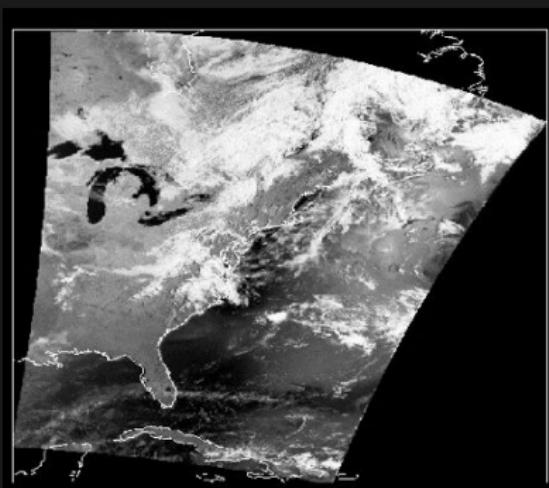
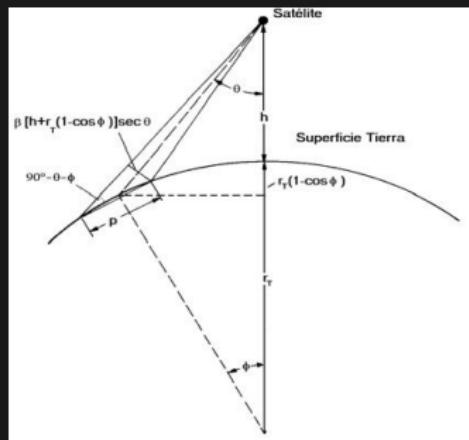
Desplazamiento Tierra: **8.94 km**

# Ilustración de la distorsión geométrica por rotación terrestre



# Distorsión producida por la curvatura de la Tierra

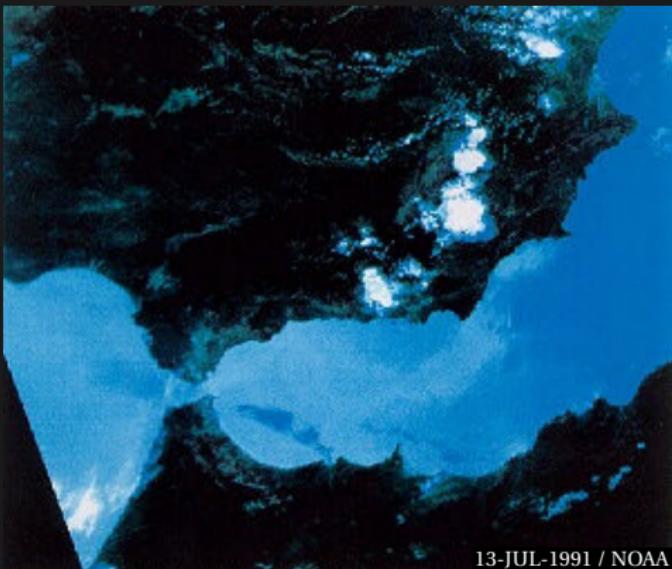
- La curvatura de la Tierra produce un aumento del tamaño de la huella del sensor en la dirección de barrido.
- Esta distorsión es más patente en sensores con un gran FOV.
- Como ejemplo, en el caso de NOAA el píxel del extremo posee una resolución en alcance un **70%** mayor que en el nadir.



# Península Ibérica y norte de África



13-JUL-1991 / NOAA



13-JUL-1991 / NOAA

## **Errores geométricos – Origen**

---

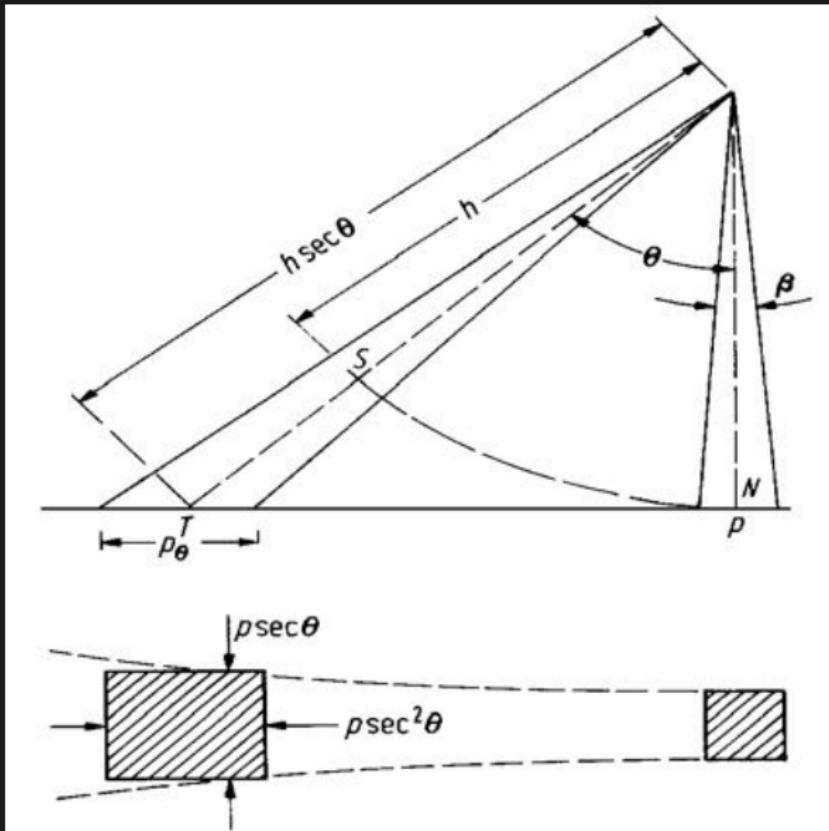
**Producidos por el sensor**

# Errores geométricos producidos por el sensor [1]

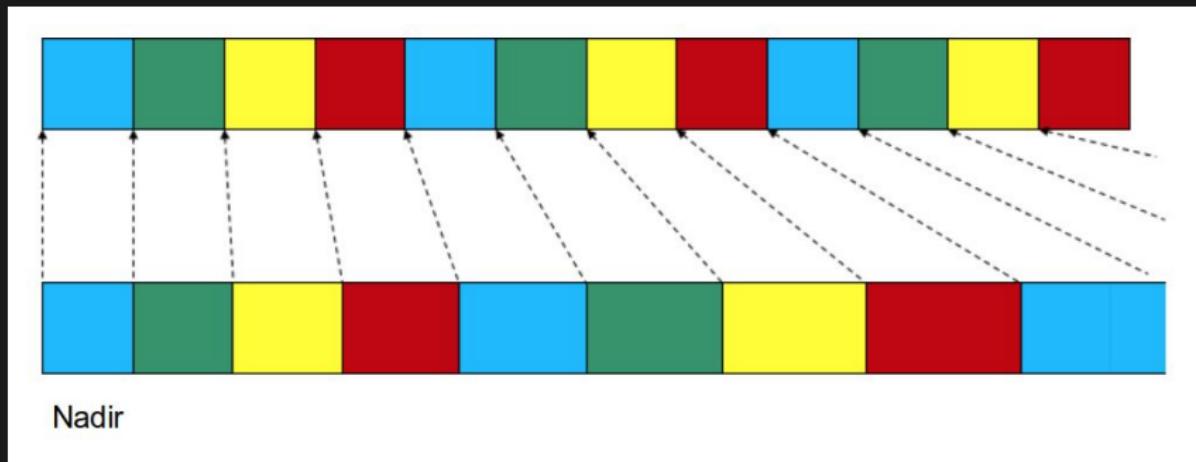
## Distorsión panorámica

- Al ser el IFOV constante, el tamaño efectivo del terreno observado es mayor en los extremos del barrido.
- Es importante en baja resolución espacial (NOAA). No tan significativo en alta resolución espacial (WorldView-4).
- Al visualizar la imagen, el tamaño del píxel es constante; lo que produce una compresión aparente de los extremos de la imagen (efecto «S»).

## Ilustración del efecto que produce la distorsión panorámica [1]



## Ilustración del efecto que produce la distorsión panorámica [2]



# Imagen con distorsión panorámica

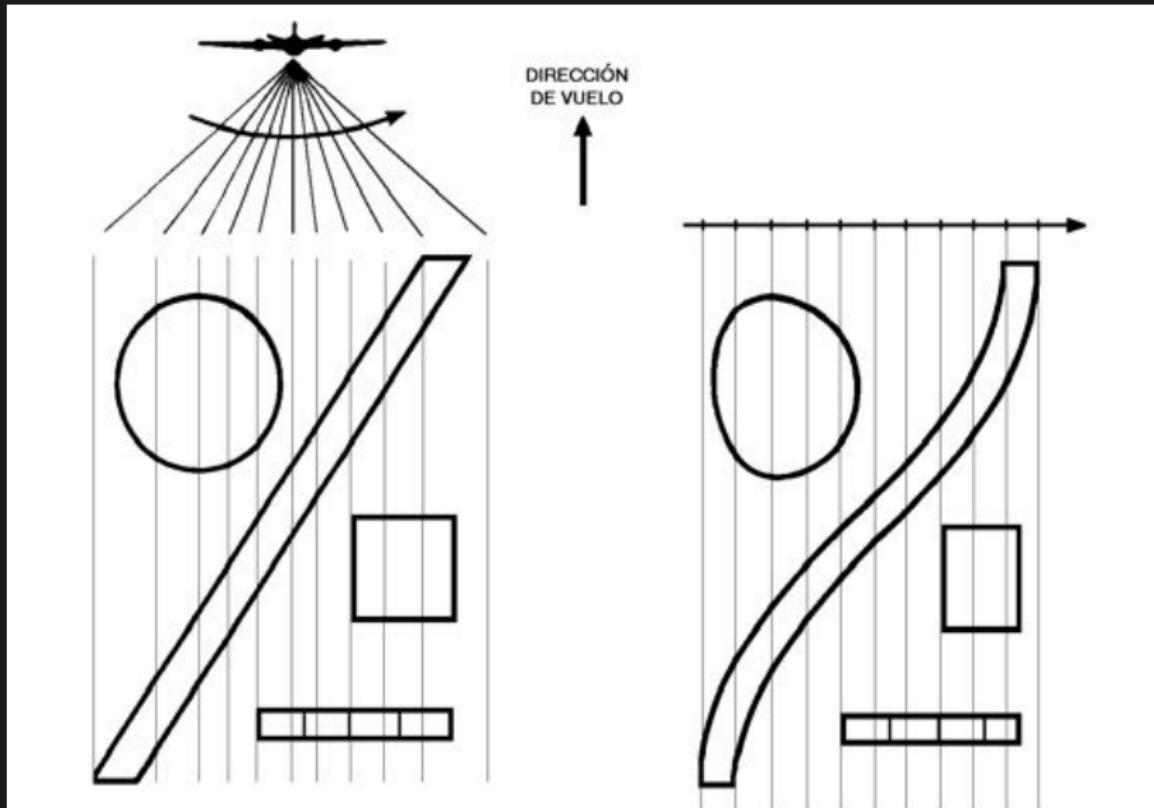


Imagen original



Imagen corregida

## Efecto «S» de la distorsión panorámica [1]



## Efecto «S» de la distorsión panorámica [2]

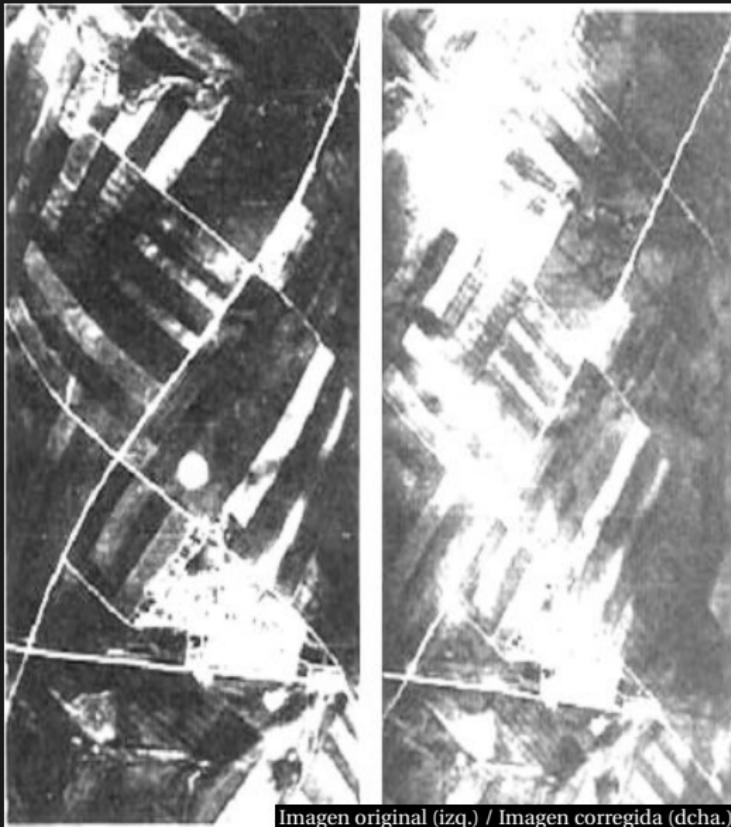


Imagen original (izq.) / Imagen corregida (dcha.)

## Efecto «S» de la distorsión panorámica [3]



Imagen original (izq.) / Imagen corregida (dcha.)

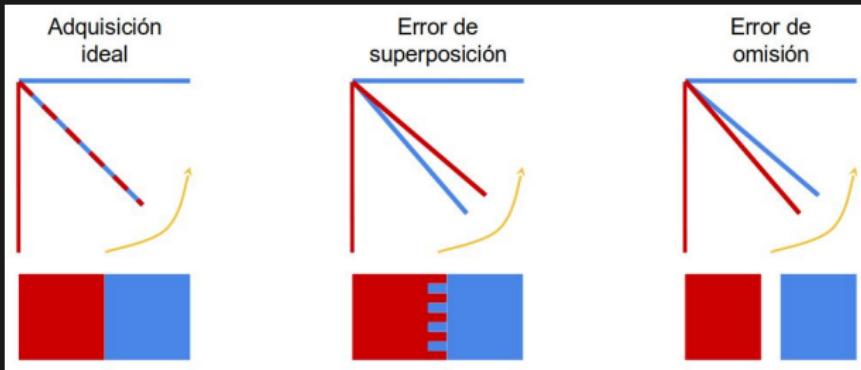
## Errores geométricos producidos por el sensor [2]

### Distorsión de barrido

- Se produce únicamente en sensores de barrido y se debe a la forma de trabajar de este tipo de sensores. Este tipo de distorsión provoca dos efectos distintos:
  - ▶ Efecto de superposición/omisión por barrido.
  - ▶ Efecto de deformación por barrido.

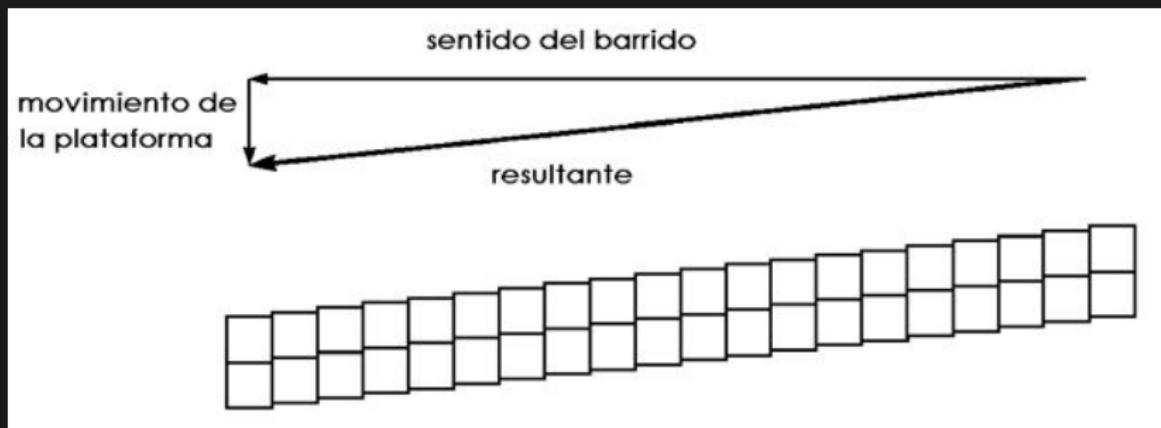
# Efecto de superposición/omisión por barrido

- Se debe a la posible desincronización entre el movimiento de rotación del espejo y la frecuencia de muestreo del sensor.
- Si el espejo rota a menor velocidad que el proceso de muestreo, se producen errores de superposición en la superficie.
- Si el espejo rota a mayor velocidad que el proceso de muestreo, se producen errores de omisión en la superficie.
- Este error se acentúan conforme el sensor se aleja del nadir.

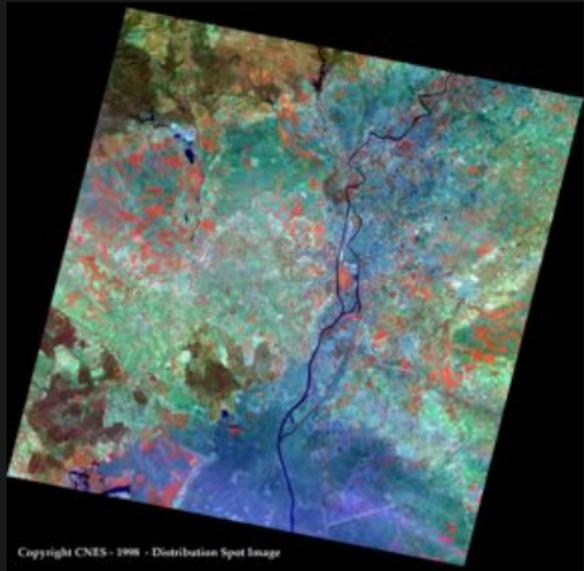


## Efecto de deformación por barrido

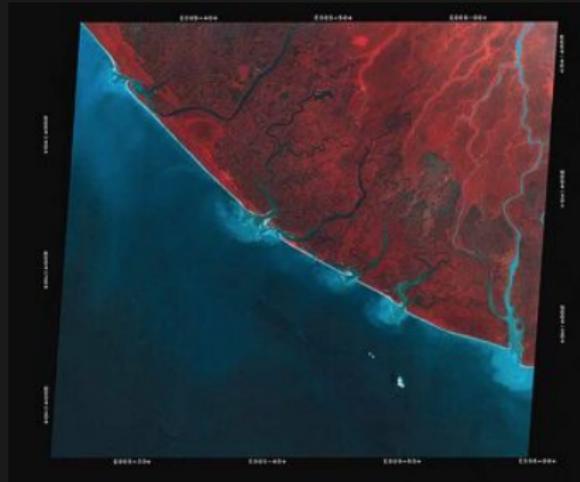
- En los rastreadores de barrido, la lectura de una línea completa consume un tiempo, durante el cual el satélite ha avanzado en la dirección de vuelo.
- La línea obtenida por tanto no corresponde con una perpendicular a la traza del satélite.



# Diferencia entre distorsiones geométricas



Distorsión por rotación terrestre +  
Deformación por barrido



Sólo distorsión por rotación terrestre

## **Errores geométricos – Origen**

---

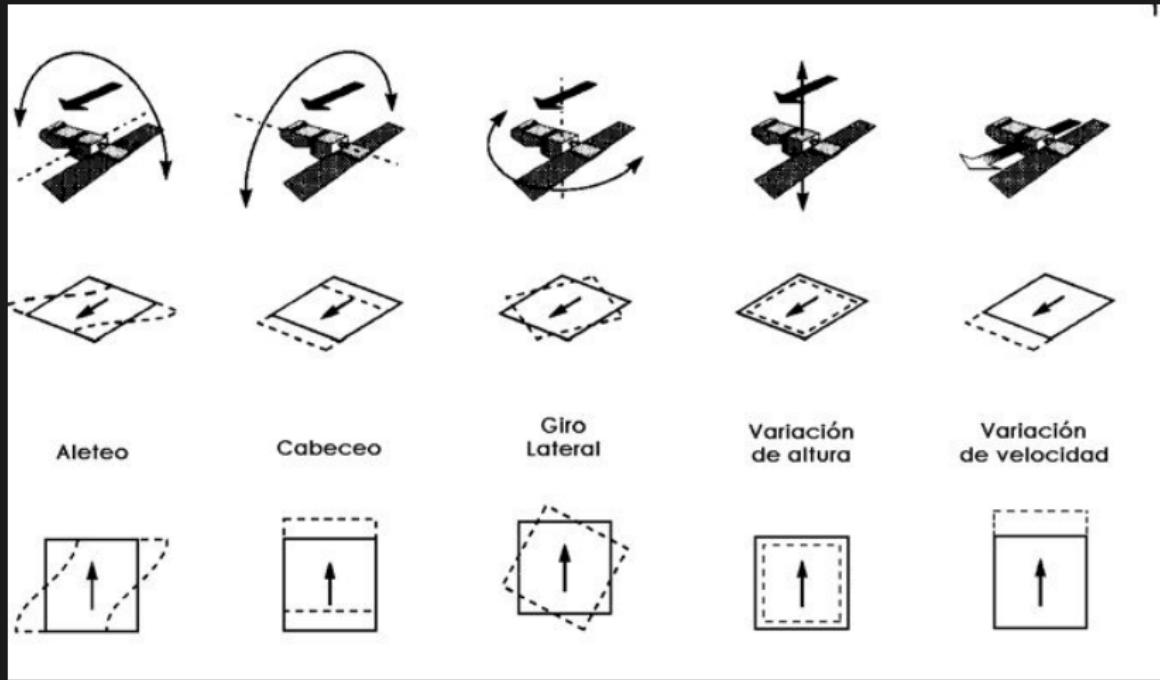
**Producidos por la plataforma**

## Errores geométricos producidos por la plataforma

- Aunque no es frecuente se pueden producir variaciones en la altitud y velocidad de la plataforma (el satélite), así como aleteo (*roll*), cabeceo (*pitch*) y giro lateral (*yaw*) de la misma.
- Estos errores son corregidos previamente a la distribución comercial de las imágenes.
- En otros casos, se pueden corregir si se conocen los datos orbitales del día y el momento en que se tomó la imagen.

Ejemplo: Registro de datos orbitales del programa GRACE-FO:  
<https://gracefo.jpl.nasa.gov/attitude-and-orbit-control-system>

## Ilustración de errores geométricos por la plataforma [1]



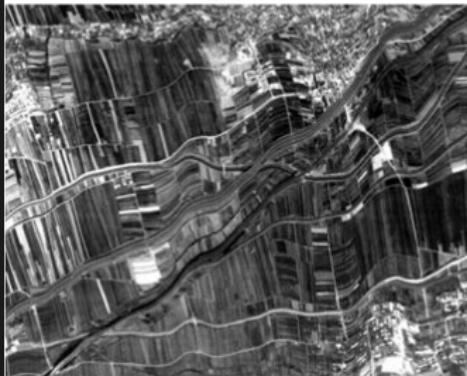
## Ilustración de errores geométricos por la plataforma [2]



(a)



(b)



(c)



(d)

## Errores geométricos – Corrección:

---

## **Errores geométricos – Corrección:**

---

**Georreferenciación**

# Georreferenciación

- Es el procedimiento que permite situar un punto sobre la superficie terrestre.
- Estudiamos dos tipos de georreferenciación:
  - ▶ Coordenadas geográficas:
    - No son proyectadas.
    - Establecen ángulos desde un origen.
  - ▶ Coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*):
    - Sí son proyectadas (el globo se proyecta en un plano).
    - Establecen distancias desde un origen.

# Coordenadas geográficas

Sitúan el punto sobre la Tierra estableciendo dos ángulos:

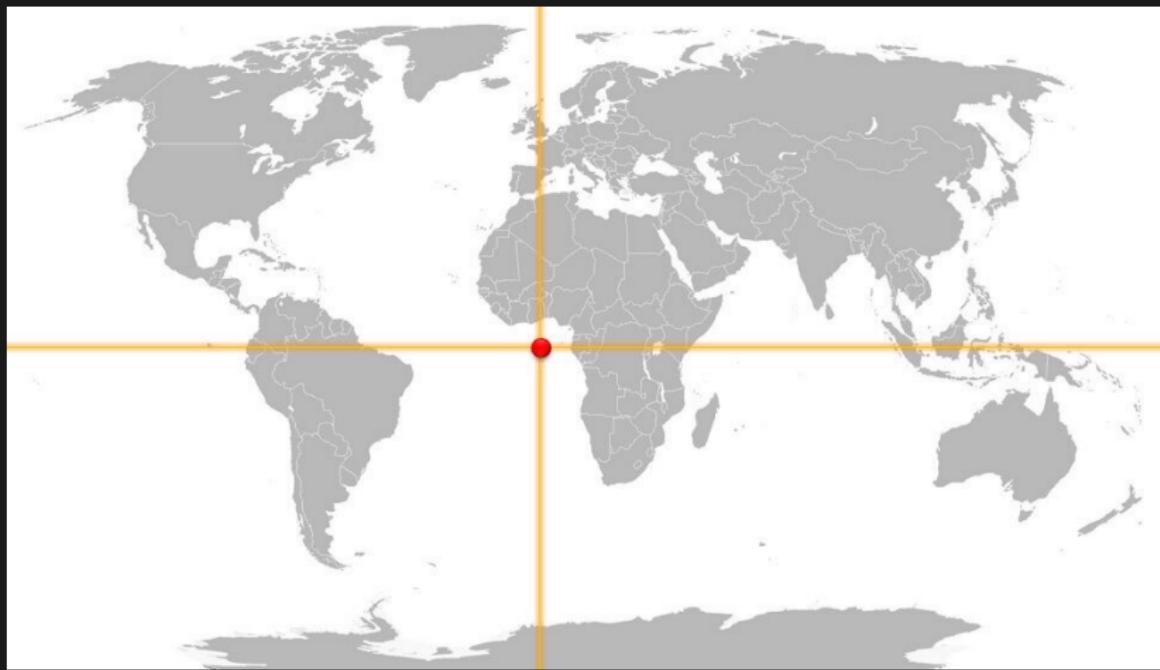
- Latitud:

- ▶ Ángulo desde el ecuador (dirección S-N).
- ▶ Rango =  $[-90^\circ, 90^\circ]$ :
  - $[-90^\circ, 0^\circ]$  = Hemisferio sur.
  - $[0^\circ, 90^\circ]$  = Hemisferio norte.

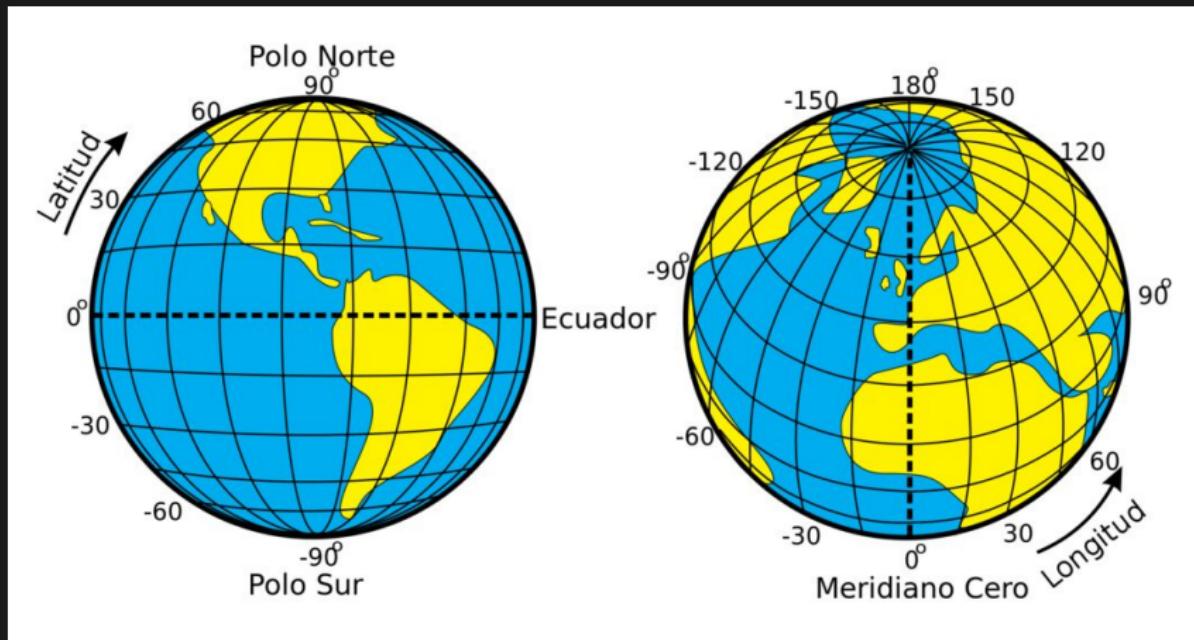
- Longitud:

- ▶ Ángulo desde el meridiano de Greenwich (dirección O-E).
- ▶ Rango =  $[-180^\circ, 180^\circ]$ :
  - $[-180^\circ, 0^\circ]$  = Oeste del meridiano de Greenwich.
  - $[0^\circ, 180^\circ]$  = Este del meridiano de Greenwich.

# Origen del sistema de coordenadas geográficas (Golfo de Guinea)



# Ilustración del sistema de coordenadas geográficas

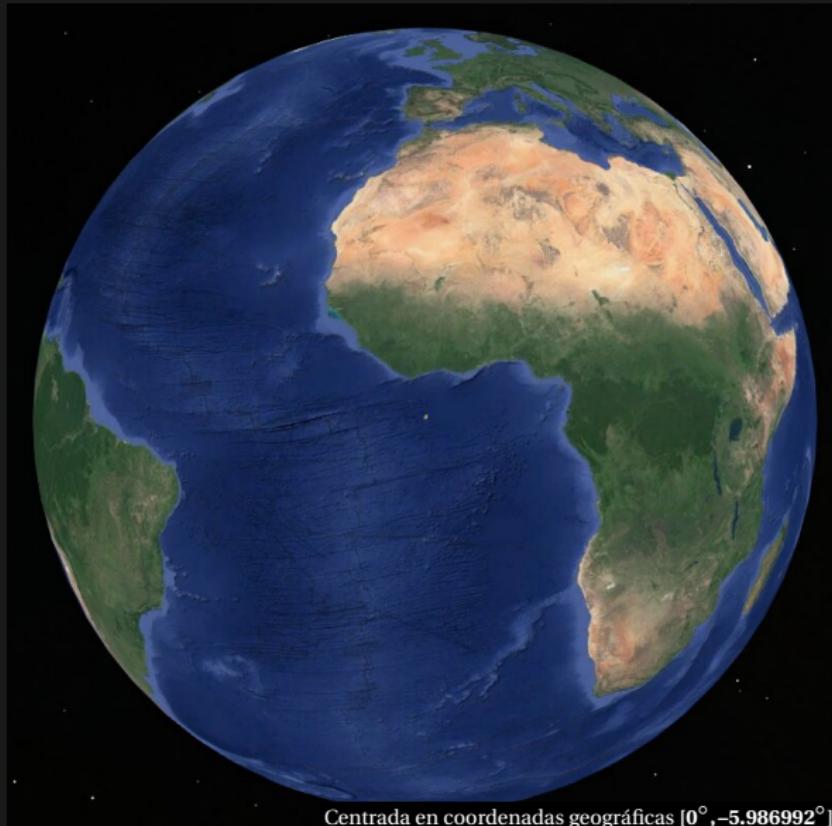


## Imagen de la Tierra [1]



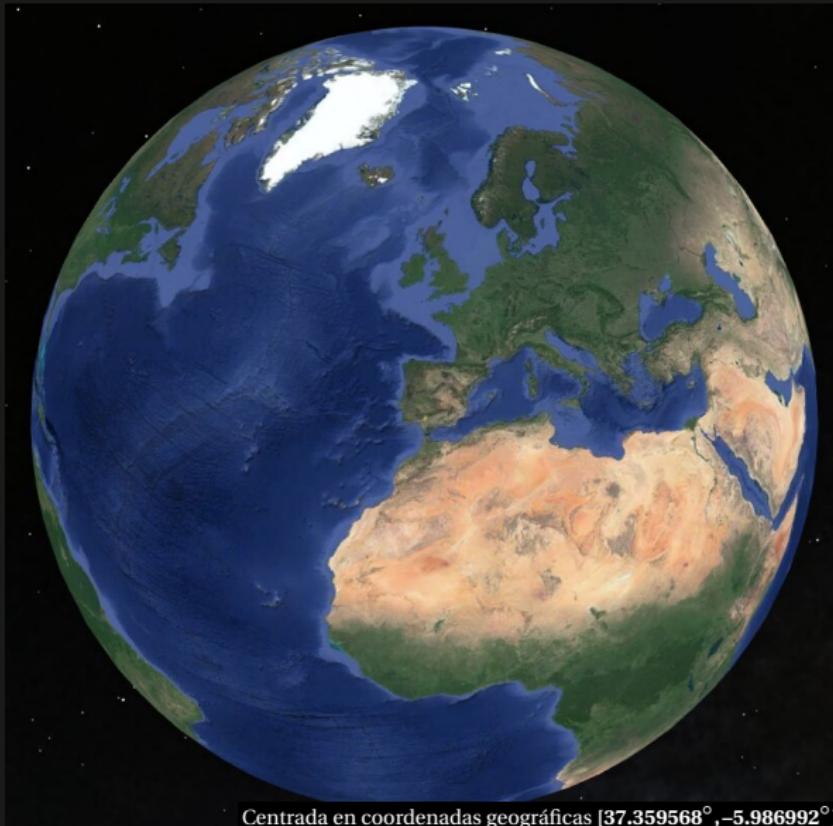
Centrada en coordenadas geográficas  $[0^{\circ}, 0^{\circ}]$

## Imagen de la Tierra [2]



Centrada en coordenadas geográficas  $[0^\circ, -5.986992^\circ]$

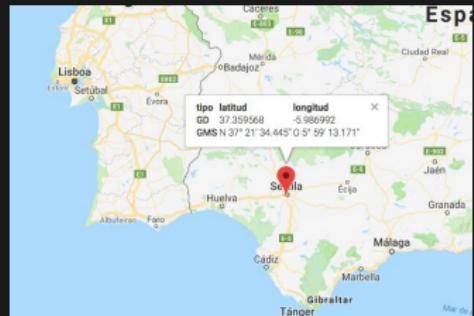
## Imagen de la Tierra [3]



Centrada en coordenadas geográficas  $[37.359568^{\circ}, -5.986992^{\circ}]$

# Coordenadas geográficas sexagesimales

- Son una variante en la que los ángulos se indican en grados, minutos y segundos (y sin signo).
- Es necesario por tanto agregar una dirección al ángulo:
  - ▶ Latitud  $> 0 \rightarrow$  Latitud NORTE
  - ▶ Latitud  $< 0 \rightarrow$  Latitud SUR
  - ▶ Longitud  $> 0 \rightarrow$  Longitud ESTE
  - ▶ Longitud  $< 0 \rightarrow$  Longitud OESTE



---

Ejemplo:

$$\text{GD } 37.359568^\circ, -5.986992^\circ = \text{GMS } N 37^\circ 21' 34.445'' \text{ O } 5^\circ 59' 13.171''$$

*(GD = Grados Decimales / GMS = Grados Minutos Segundos)*

# Coordenadas UTM

Sitúan el punto sobre la Tierra estableciendo un origen y dos distancias:

- Zona UTM:

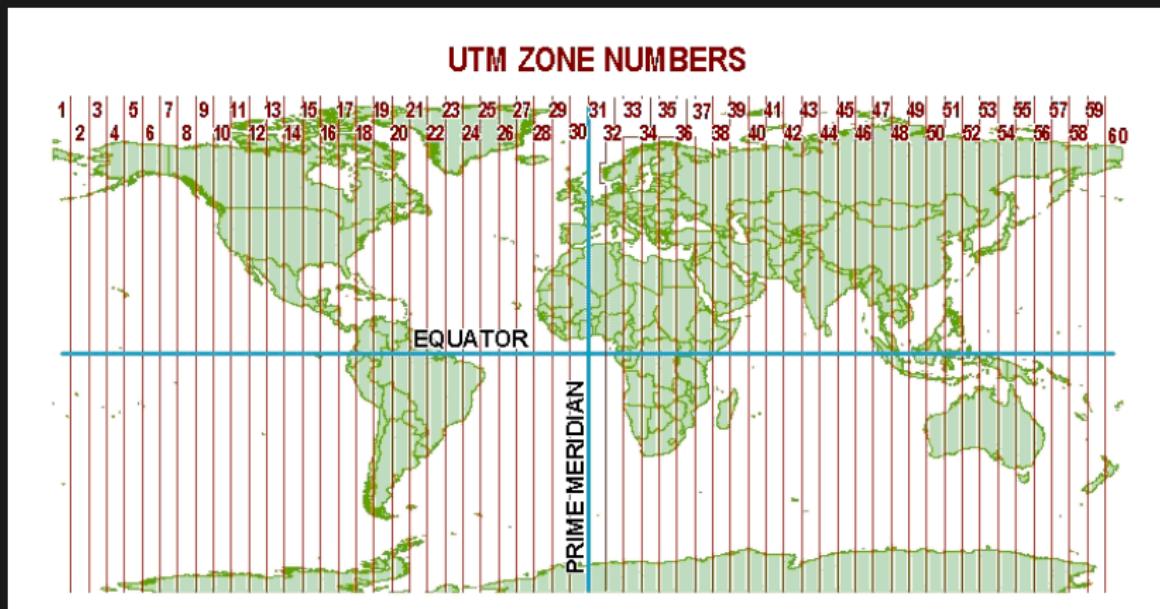
- ▶ La Tierra se divide en 60 zonas rectangulares (en la proyección).
- ▶ Cada zona UTM cubre  $6^{\circ}$  de longitud.
- ▶ La zona UTM 1 está centrada en el meridiano  $-177^{\circ}$ .
- ▶ El resto de la numeración se va incrementando hacia el este.
- ▶ El centro de la zona indicada establece el origen de las coordenadas.

- Distancias:

- ▶ Indican el desplazamiento desde el origen de la zona.
- ▶ Se indica primero hacia el ESTE y luego hacia el NORTE.

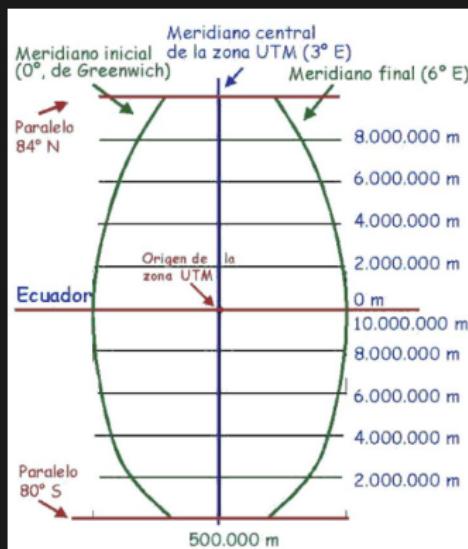
- Son más complejas pero mejores para mapas a escala.

# Zonas UTM



## Zona UTM 31

- Además de la zona UTM hay que indicar las distancias.
- Las distancias siempre se expresan con valores positivos por lo que existen desplazamientos:
  - ▶ La latitud origen es 0 m en el hemisferio norte.
  - ▶ La latitud origen es **10 000 000m** en el hemisferio sur.
  - ▶ La longitud origen siempre es **500 000 m**.
- Es necesario por tanto indicar además el hemisferio.



# Ejemplo de coordenadas UTM

**Decimal Degrees**

Latitude: 37.359568   Longitude: -5.986992

Convert Decimal Degrees | Reset Form

**Degrees, Minutes, Seconds**

Latitude:  
Degrees: 37 Minutes: 21 Seconds: 34.4448 Hemisphere: N/ S

Longitude:  
Degrees: 5 Minutes: 59 Seconds: 13.1712 Hemisphere: W/ E

Convert Degrees, Minutes, Seconds | Reset Form

**Standard UTM**

Zone: 30 Hemisphere: N Easting: 235454 Northing: 4138948.3

Convert Standard UTM | Reset Form

Mapa

Mapa

Av. de la Raza

Campus Reina Mercedes US

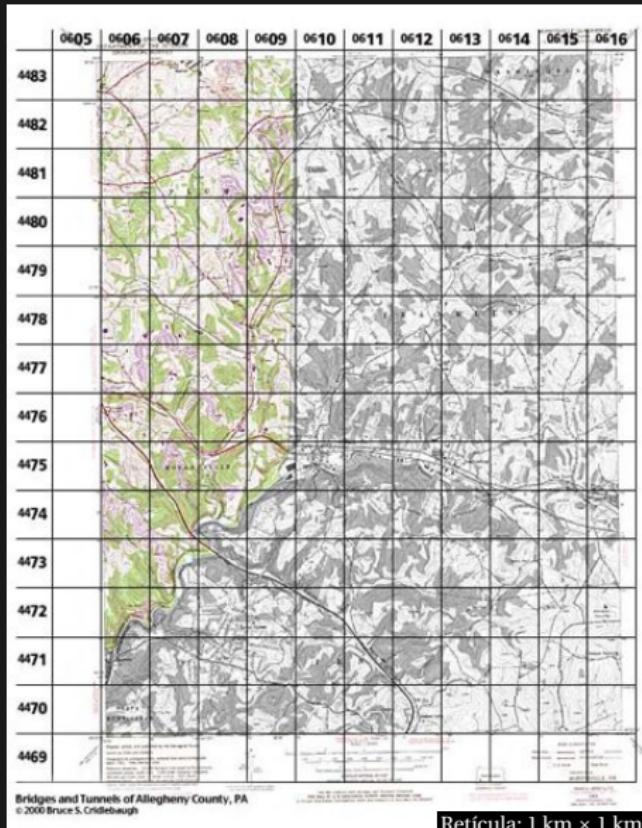
Estadio Benito Villamarín

HELIÓPOLIS

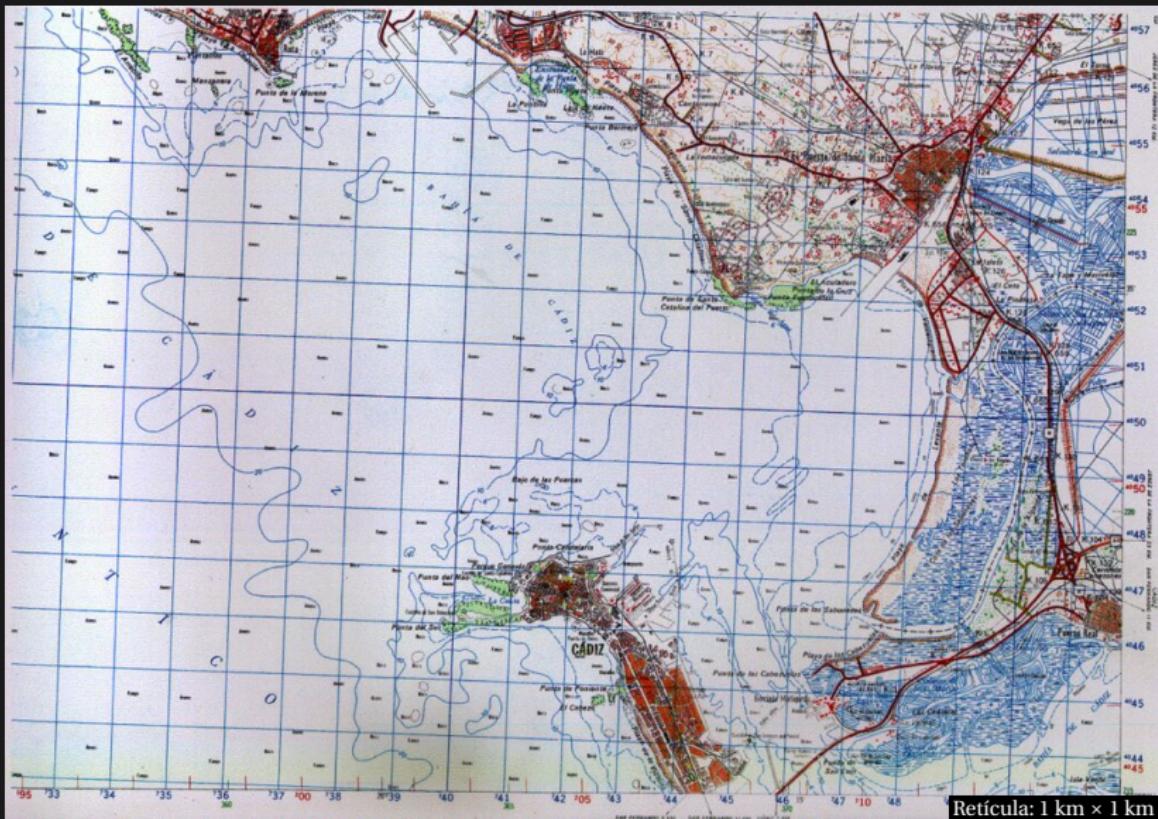
Términos de uso Informar de un error de Mapas

$$\text{GD } 37.359568^\circ, -5.986992^\circ = \text{UTM } 30 \text{ N } 0235454 \text{ } 4138948$$

# Ejemplo de cartografía basada en coordenadas UTM



## Cartografía de la Bahía de Cádiz basada en coordenadas UTM



## **Errores geométricos – Corrección:**

---

**Corrección geométrica por puntos de control**

## Corrección geométrica

- Es una transformación puntual que cambia la posición de cada píxel en la imagen sin variar su ND.
- Es imprescindible para:
  - ▶ Superponer sobre la imagen cartografía auxiliar.
  - ▶ Estudios multitemporales con varias imágenes.
- Se puede abordar desde dos puntos de vista:
  - ▶ Mediante la obtención de relaciones matemáticas entre la fila y columna de cada píxel en la imagen original y las coordenadas geográficas del correspondiente punto en Tierra.
  - ▶ Mediante el modelado de las fuentes sistemáticas de error y la obtención de la nueva imagen aplicando dicho modelo.

# Ilustración del proceso de corrección geométrica



# Corrección geométrica por puntos de control

- Consiste en la obtención de relaciones matemáticas entre la fila (**f**) y columna (**c**) de cada píxel en la imagen original y las coordenadas UTM del correspondiente punto en Tierra (**x,y**):

$$f = t_f(x, y)$$

$$c = t_c(x, y)$$

- Consta de tres fases:
  1. Localización de puntos de control\* comunes en imagen y mapa.
  2. Cálculo de las funciones de transformación  $t_f$  y  $t_c$ .
  3. Transferencia de los ND originales a la nueva posición.

\*Denominados GCP (*Ground Control Points*).

## Paso 1: Localización de puntos de control

Es el proceso más relevante para obtener una buena corrección.

Para una localización efectiva hay que atender a tres factores:

- Número: Depende del tamaño y la complejidad de la imagen.
  - ▶ Aunque existe un mínimo obligatorio dependiendo del grado del polinomio, son recomendables más (entre 15 a 20 puntos).
- Localización: Deben elegirse puntos fácilmente identificables y no sujetos a modificaciones temporales.
  - ▶ Alta resolución: Rasgos humanos. No costas.
  - ▶ Baja resolución: Puntos prominentes costeros.
- Distribución: Homogénea desde los bordes hacia el centro de la imagen.
  - ▶ Es importante cubrir bien todas las zonas con distintas altitudes para corregir efectos por la altura.

## Paso 2: Cálculo de las funciones de transformación

- Se aproximan por polinomios cuyo grado depende de la complejidad de la imagen y su distorsión.
- A mayor grado mejor ajuste cerca de GCP y peor al separarse de ellos (recomendable utilizar grado 1 ó 2).
- Caso más sencillo con regresión lineal de grado 1:

$$f = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$c = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

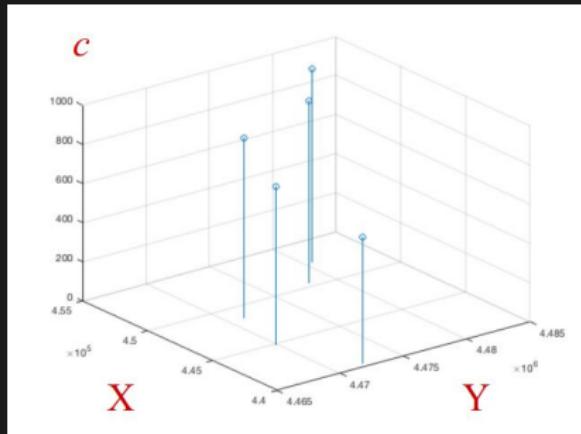
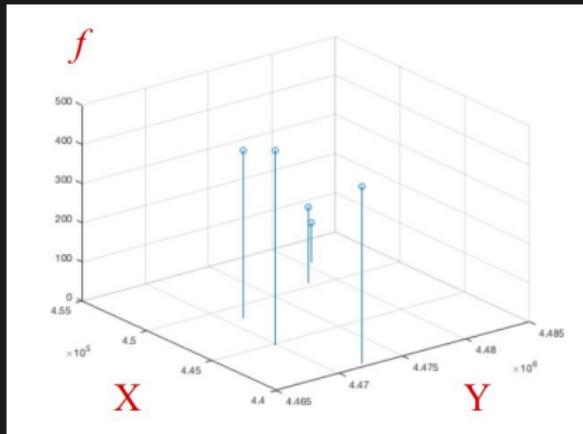
- Los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$  se calculan mediante ajuste por mínimos cuadrados a partir de las coordenadas de los GCP seleccionados (función *regress* en MATLAB).
- La calidad del ajuste se mide calculando el error en cada GCP. Si alguno presenta error excesivo se descarta y se vuelve a empezar.

## Ejemplo de cálculo de funciones de transformación [1]



| GCP | X      | Y       | Columna | Fila |
|-----|--------|---------|---------|------|
| 1   | 452450 | 4480500 | 992     | 102  |
| 2   | 450300 | 4478100 | 936     | 195  |
| 3   | 448500 | 4471100 | 923     | 431  |
| 4   | 444750 | 4469800 | 810     | 498  |
| 5   | 440300 | 4472100 | 651     | 453  |
| ... | ...    | ...     | ...     | ...  |

## Ejemplo de cálculo de funciones de transformación [2]



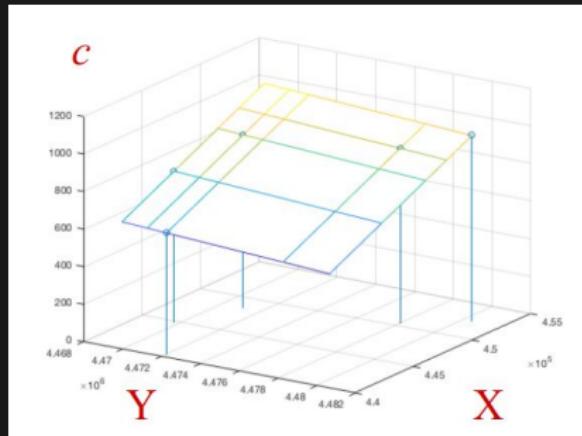
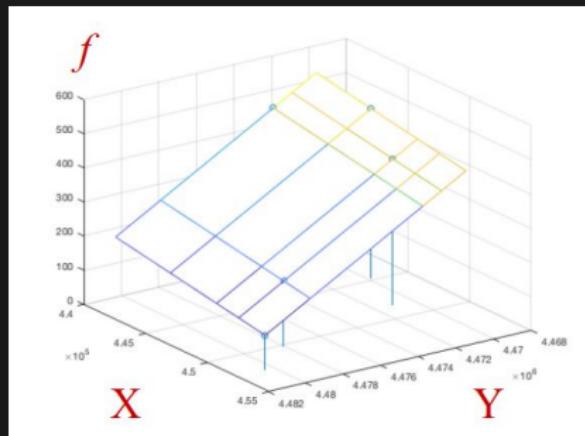
$$f = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$a_0 = ? \quad a_1 = ? \quad a_2 = ?$$

$$c = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

$$b_0 = ? \quad b_1 = ? \quad b_2 = ?$$

## Ejemplo de cálculo de funciones de transformación [3]



$$a_0 = 147294.9346400569$$

$$b_0 = 14805.62013849152$$

$$a_1 = -0.0065990597$$

$$b_1 = 0.03240641182$$

$$a_2 = -0.0321853688$$

$$b_2 = -0.00635567235$$

## Paso 3: Transferencia de los ND originales a la nueva posición

1. Crear una imagen vacía (con **ND = 0**).
2. Establecer las coordenadas UTM del píxel de una esquina (generalmente la inferior izquierda): **x, y**.
3. Aplicar las funciones de transformación para calcular su fila y su columna en la imagen original:

$$f = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$c = b_0 + b_1x + b_2y$$

4. Copiar el **ND** correspondiente si los valores de **f** y **c** pertenecen al dominio de la imagen original.
5. Repetir para el siguiente píxel hasta recorrer la imagen completa.

## Transferencia de ND [1]

Cuando se calculan los valores de **f** y **c** (fila y columna en la imagen original) se hace con precisión inferior a la unidad por lo que en el proceso realmente se apunta a un punto dentro de un píxel. Por tanto, la transferencia de ND puede realizarse de 3 formas diferentes:

### 1 – Vecino más próximo

Se toma el ND del píxel al que pertenece el punto.

- Ventaja: Rapidez e invariabilidad radiométrica.
- Inconveniente: Distorsión en rasgos lineales.

## Transferencia de ND [2]

### 2 – Interpolación bilineal

Se realiza la media ponderada del entorno de  $2 \times 2$  píxeles al que pertenece el punto. La ponderación se realiza en función de la distancia desde el punto hasta el centro de cada píxel.

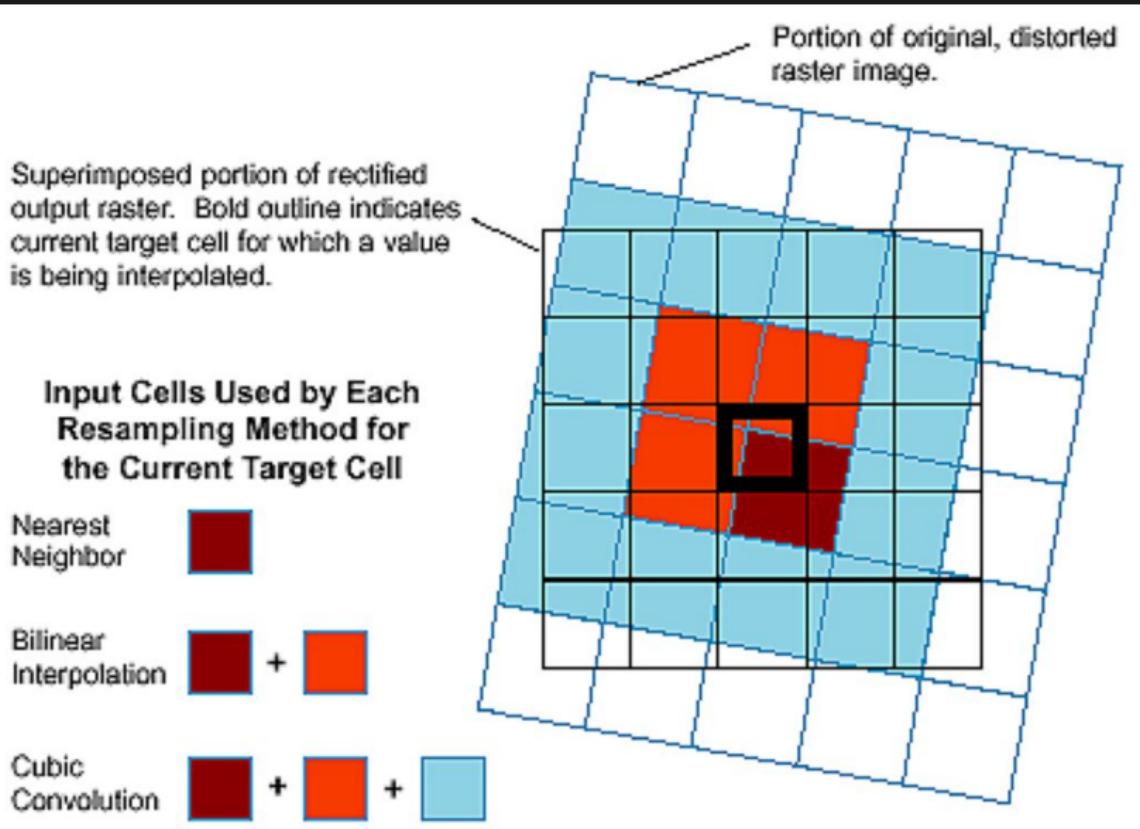
- Reduce la distorsión en rasgos lineales pero reduce el contraste.

### 3 – Convolución cúbica

Se realiza la media ponderada (igual que en bilineal) del entorno de  $4 \times 4$  píxeles al que pertenece el punto.

- Mejora el efecto visual pero aumenta mucho el volumen de cálculo.

# Métodos de transferencia de ND



## Ilustración de los distintos métodos de transferencia de ND

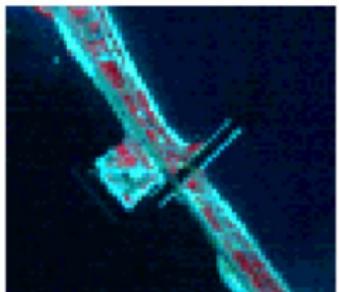


Imagen original



Vecino más próximo



Interpolación bilineal

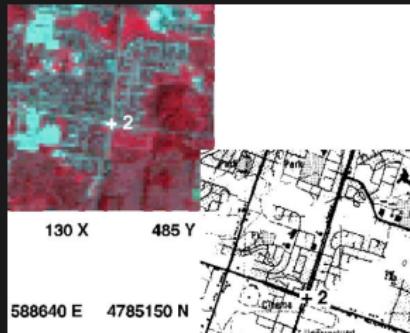
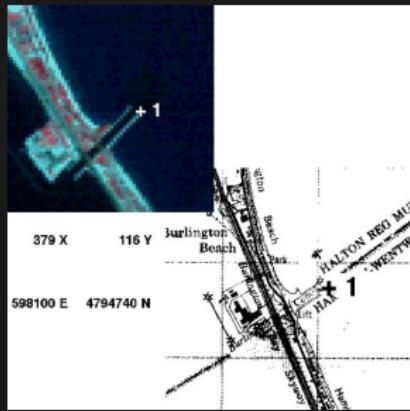


Convolución cúbica

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [1]



## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [2]



## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [3]

| Punto | Fila (u') | Columna (v') | UTM x     | UTM y   |
|-------|-----------|--------------|-----------|---------|
| 1     | 251       | 153          | 4.488.150 | 433.750 |
| 2     | 369       | 151          | 4.484.775 | 433.050 |
| 3     | 345       | 264          | 4.484.800 | 436.500 |
| 4     | 209       | 398          | 4.488.000 | 441.200 |
| 5     | 650       | 515          | 4.474.350 | 442.050 |
| 6     | 418       | 855          | 4.479.120 | 453.450 |
| 7     | 623       | 553          | 4.474.925 | 443.350 |
| 8     | 808       | 643          | 4.468.925 | 444.900 |
| 9     | 748       | 775          | 4.469.925 | 449.150 |

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [4]

1<sup>a</sup> regresión lineal:

$$f = 150116 - 0.0327514x - 0.0066180y$$

$$c = 15358 - 0.006546x + 0.032678y$$

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [5]

| Punto | Fila (u') | Fila (u)<br>calculada | Error fila | Columna (v') | Columna (v)<br>calculada | Error<br>columna |
|-------|-----------|-----------------------|------------|--------------|--------------------------|------------------|
| 1     | 251       | 252,9                 | -1,89      | 153          | 152,8                    | 0,21             |
| 2     | 369       | 368,1                 | 0,94       | 151          | 152,0                    | -1,01            |
| 3     | 345       | 344,4                 | 0,60       | 264          | 264,6                    | -0,59            |
| 4     | 209       | 208,5                 | 0,50       | 398          | 397,2                    | 0,77             |
| 5     | 650       | 649,9                 | 0,07       | 515          | 514,4                    | 0,65             |
| 6     | 418       | 418,3                 | -0,26      | 855          | 855,7                    | -0,66            |
| 7     | 623       | 622,5                 | 0,51       | 553          | 553,1                    | 0,07             |
| 8     | 808       | 808,7                 | -0,74      | 643          | 643,0                    | 0,00             |
| 9     | 748       | 747,9                 | 0,14       | 775          | 775,3                    | -0,33            |

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [6]

| Punto | Fila (u') | Fila (u)<br>calculada | Error fila | Columna (v') | Columna (v)<br>calculada | Error<br>columna |
|-------|-----------|-----------------------|------------|--------------|--------------------------|------------------|
| 1     | 251       | 252,9                 | -1,89      | 153          | 152,8                    | 0,21             |
| 2     | 369       | 368,1                 | 0,94       | 151          | 152,0                    | -1,01            |
| 3     | 345       | 344,4                 | 0,60       | 264          | 264,6                    | -0,59            |
| 4     | 209       | 208,5                 | 0,50       | 398          | 397,2                    | 0,77             |
| 5     | 650       | 649,9                 | 0,07       | 515          | 514,4                    | 0,65             |
| 6     | 418       | 418,3                 | -0,26      | 855          | 855,7                    | -0,66            |
| 7     | 623       | 622,5                 | 0,51       | 553          | 553,1                    | 0,07             |
| 8     | 808       | 808,7                 | -0,74      | 643          | 643,0                    | 0,00             |
| 9     | 748       | 747,9                 | 0,14       | 775          | 775,3                    | -0,33            |

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [7]

1<sup>a</sup> regresión lineal:

$$f = 150116 - 0.0327514x - 0.0066180y$$

$$c = 15358 - 0.006546x + 0.032678y$$

2<sup>a</sup> regresión lineal:

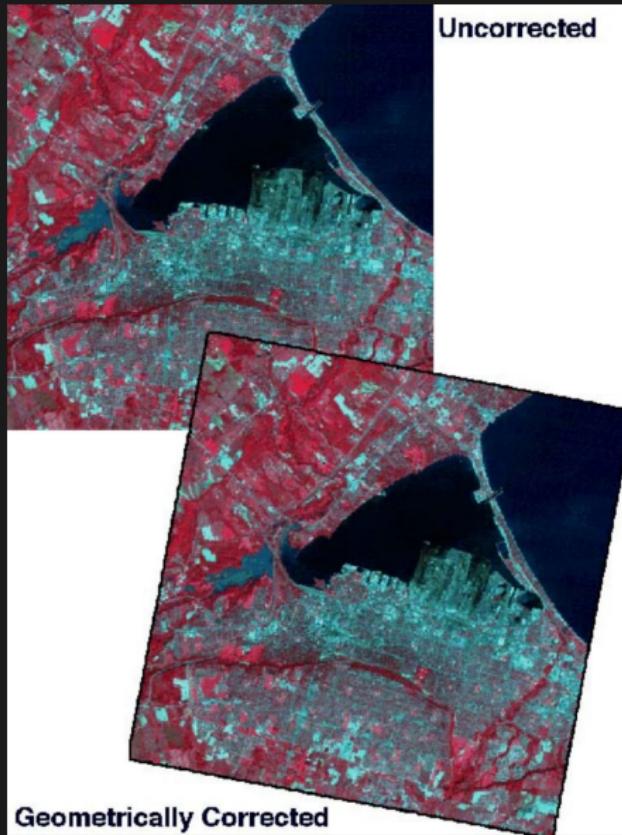
$$f = 149988 - 0.0327188x - 0.0066562y$$

$$c = 15380 - 0.006552x + 0.032684y$$

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [8]

| Punto | Fila ( $u'$ ) | Fila ( $u$ ) calculada | Error fila | Columna ( $v'$ ) | Columna ( $v$ ) calculada | Error columna |
|-------|---------------|------------------------|------------|------------------|---------------------------|---------------|
| 2     | 369           | 368,9                  | 0,13       | 151              | 151,8                     | -0,76         |
| 3     | 345           | 345,1                  | -0,09      | 264              | 264,4                     | -0,35         |
| 4     | 209           | 209,1                  | -0,10      | 398              | 397,0                     | 0,99          |
| 5     | 650           | 650,1                  | -0,06      | 515              | 514,2                     | 0,79          |
| 6     | 418           | 418,1                  | -0,11      | 855              | 855,6                     | -0,56         |
| 7     | 623           | 622,6                  | 0,41       | 553              | 552,9                     | 0,06          |
| 8     | 808           | 808,6                  | -0,59      | 643              | 642,9                     | 0,09          |
| 9     | 748           | 747,6                  | 0,42       | 775              | 775,3                     | -0,26         |

## Ej. completo de corrección geométrica por puntos de control [9]



Gracias