

Correcciones Radiométricas

Contenido

- Introducción
- Distorsiones Radiométricas
 - Caso Optico
 - Caso Radar
- Efectos Atmosféricos
- Métodos de corrección

Distorsiones de la Imagen

- Distorsiones (errores) en las Imágenes Teledetectadas
 - radiométrica
 - geométrica ← **Tópico de esta catedra!**
- Radiometría influenciada por
 - Estación del año
 - Atmósfera
 - sensor
- Geometría es influenciada por
 - Configuración del Satélite
 - Geometría de Vista del Sensor
 - Terreno Observado

Distorsiones de las Imágenes

- Distorsiones (errores) en las imágenes teledetectadas (sistemas opticos)
 - Radiométrica
 - Errores del sistema *minimizadas por correcciones cosméticas*
 - Distorsiones Atmosféricas *minimizadas por correcciones atmosféricas*
 - Geométrica *Minimizadas por correcciones geométricas*

Distorsión Radiométrica

- Que es la distorsión radiométrica?
 - Es un error que influye en la radiación o valor radiométrico de un elemento de la escena (pixel).
 - Porque?
 - La señal viaja a través de la Atmosfera; afecta la señal.
 - La iluminación del sol afecta los valores radiométricos.
 - Los cambios estacionales afectan los valores radiométricos
 - Las fallas del sensor o el ruido en el sistema afectan los valores
 - El terreno influye en la radiación
- ⌘ Análisis multi-espectral o Multi-sensorial requieren de imágenes corregidas.

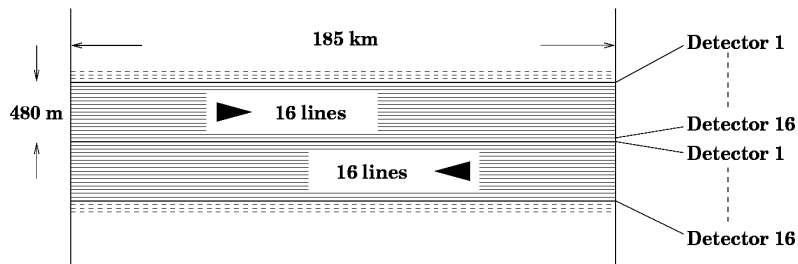
Distorsión Radiométrica ~ Caso Optico ~

- Fallas o ruido en el sensor
- Variaciones Estacionales
- Efectos a menudo desatendidos debido a grandes influencias de los efectos atmosféricos

Fallas y ruidos en el Sensor (1)

(Eg., la “Escobilla” del Landsat TM)

16 detectores escanean la escena alternándose de izquierda a derecha y viceversa usando un espejo oscilante.



En cualquier hora, 100 detectores están operando simultáneamente (6x16 VNIR mas 1x4 TIR).

Fallas y ruido en los sensores (2)

Tipos de Fallas y ruidos

1. **Rayado de líneas**
2. **Caida Periodica de Líneas.**
3. **Ruido o puntos Aleatorios**

1. Rayado de Líneas

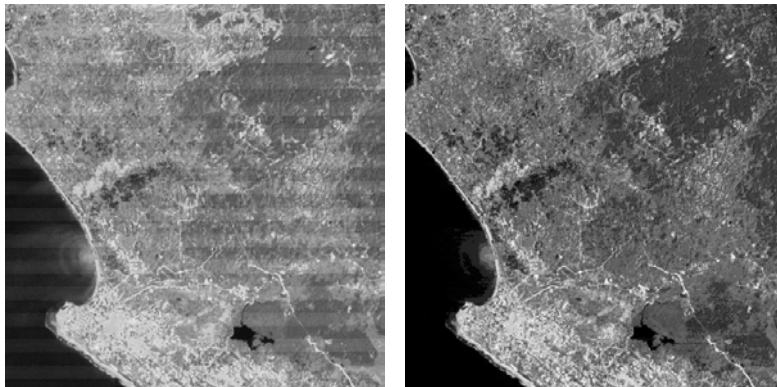
Causa:

Respuesta no idéntica de uno o mas detectores
resultado de un arrastre en respuesta después de la
calibración de los detectores.

Método de corrección (uno de ellos):

1. Calcule el histograma de un detector como estándar.
2. Lleve los histogramas de los otros detectores al histograma del detector estándar.

Rayado de Líneas Ejemplo de Landsat TM

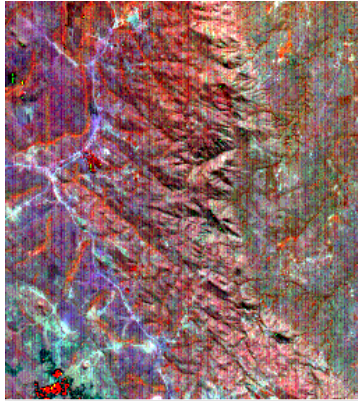


Rayado

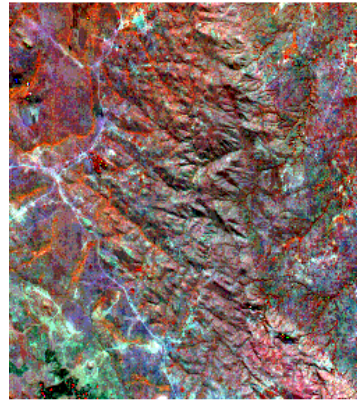
Corregido

Rayado de Líneas

Ejemplo de SPOT XS



Rayado



Corregido

Rayado de Líneas

1	18 18 20 19 19 19 19 19 22 18 18 22 22	1	18 18 20 19 19 19 19 19 19 22 18 18 22 22
19 21 19 18 18 19 18 13 18 21 19 23 25 19		19 21 19 18 18 19 18 13 18 21 19 23 25 19	
16 20 25 24 23 21 21 21 20 21 18 18 18 20		16 20 25 24 23 21 21 21 20 21 18 18 18 20	
16 23 31 32 25 23 19 20 20 20 19 19 19 19		14 23 31 32 25 23 19 20 20 20 19 19 19 19	
16 17 28 26 22 22 22 23 20 19 20 23 22 23		16 17 28 26 22 22 22 23 20 19 20 23 22 23	
6	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	6	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 19 18 18 18 21 20 20 20 20 20 20 20 20		14 19 18 18 18 21 20 20 20 20 20 20 20 20	
19 20 18 18 18 20 19 20 22 20 20 20 22 19		19 20 18 18 18 20 19 20 22 20 20 20 22 19	
20 21 18 17 17 18 21 24 19 20 20 21 22 18		20 21 18 17 17 18 21 24 19 20 20 21 22 18	
19 19 21 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19		19 19 21 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19	
19 19 19 19 21 19 19 21 19 18 18 18 20 18		19 19 19 19 21 19 19 21 19 18 18 18 20 18	
12	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	12	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 18 21 21 18 18 21 17 21 19 14 19 18 18		18 18 21 21 18 18 21 17 21 19 14 19 18 18	
18 18 21 20 15 19 20 20 19 14 19 18 19 16		18 18 21 20 15 19 20 20 19 14 19 18 19 16	
18 18 16 16 18 16 18 18 17 19 18 16 17 17		18 18 16 15 18 16 18 18 17 19 18 16 17 17	
15 19 15 15 18 18 18 14 21 17 17 20 19		15 19 15 15 18 18 18 14 21 17 17 20 19	
18 19 16 16 20 19 15 16 20 16 16 20 16 17		18 19 16 16 20 19 15 16 20 16 16 20 16 17	
18	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	18	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 20 20 20 20 20 21 18 19 15 16 15 15 15		20 20 20 20 20 20 20 21 18 19 15 16 15 15	
19 18 18 20 18 20 18 19 16 19 18 18 19 15		19 18 18 20 18 20 18 19 16 19 18 18 19 15	
15 18 16 18 16 18 18 17 19 16 16 18 16 17		15 18 16 18 16 18 18 17 19 16 16 18 16 17	
19 17 18 18 18 18 17 19 17 17 19 19 17		19 17 18 18 18 18 17 19 17 17 19 19 17	
20 18 19 16 16 20 16 19 19 16 19 16 17		20 18 19 16 16 20 16 19 19 16 19 16 17	
24	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	24	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 21 19 18 19 15 18 16 15 20 15 15 15 20		19 21 19 18 19 15 18 16 15 20 15 15 15 20	
19 16 19 18 18 20 19 16 17 17 17 17 14		19 16 19 18 18 20 19 16 17 17 17 17 14	
18 18 16 18 18 21 18 19 17 10 18 17 21 21		18 18 16 18 18 21 18 19 17 10 18 17 21 21	
18 18 18 18 18 18 15 16 16 15 18 17 20		18 18 18 18 18 18 15 16 16 15 18 17 20	
19 16 20 16 19 18 18 18 20 18 18 18 18		19 16 20 16 19 18 18 18 20 18 18 18 18	
30	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	30	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 16 16 16 16 16 16 14 22 26 25 19 20 21		15 16 16 16 16 16 16 14 22 26 25 19 20 21	
19 20 20 21 18 20 18 18 18 20 21 20 25 25		19 20 20 21 18 20 18 18 18 20 21 20 25 25	
19 18 18 21 21 18 18 18 21 21 18 18 18 18		19 18 18 21 21 18 18 18 21 21 18 18 18 18	
18 18 20 19 20 18 17 19 18 20 20 18 20 18		18 18 20 19 20 18 17 19 18 20 20 18 20 18	
18 18 21 18 18 20 18 18 20 20 19 16 20		18 18 21 18 18 20 18 18 20 20 19 16 20	

A. BEFORE DIGITAL PROCESSING.

B. AFTER DIGITAL PROCESSING.

2. Caída de Líneas (Periódica)

Causa:

- Valores de radiación erróneos para píxeles, líneas o áreas.
- Defectos en el Escaner o en el Sistema de Transmisión y recepción

Método de corrección:

- Corrección por la repetición de valores vecinos o promedios
- La amplitud de cada 6 líneas es multiplicada por un factor de 0.5 para producir los valores digitales correctos desde los cuales la imagen es dibujada.

Caída de Líneas

Original

```
11 11 11 11 11 11 12 15 22 23
10 11 11 11 11 12 16 20 28 31
10 11 11 11 13 16 22 28 36 39
10 11 11 13 17 23 30 36 42 45
10 11 13 17 25 33 40 45 47 48
```

Caída de Líneas

```
11 11 11 11 11 11 12 15 22 23
10 11 11 11 11 12 16 20 28 31
10 11 11 12 14 17 23 28 35 38
10 11 11 13 17 23 30 36 42 45
10 11 13 17 25 33 40 45 47 48
```

Corregido

```
11 11 11 11 11 11 12 15 22 23
10 11 11 11 11 12 16 20 28 31
→ 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
```

Caida de Líneas

La amplitud de cada 6 líneas es multiplicada por un factor de 0.5 para producir los valores digitales correctos desde los cuales la imagen es dibujada.

A. BEFORE DIGITAL PROCESSING.

1	22	17	20	18	23	26	26	26	25	22	27	24	24	
	24	24	25	24	26	30	33	26	24	28	24	25	19	19
	23	21	22	32	31	28	27	22	24	23	23	22	23	20
	13	15	24	32	27	23	24	22	18	23	22	23	23	19
	16	21	30	31	25	23	24	23	23	24	23	23	22	22
5	18	23	36	40	26	24	26	22	20	26	24	22	28	22
	16	19	33	31	27	25	25	23	20	23	24	29	25	26
	19	16	23	24	27	27	25	22	25	25	23	31	25	30
	17	18	21	20	22	23	24	23	22	22	23	23	28	23
	23	19	18	23	16	15	24	24	23	23	23	24	24	24
	23	24	18	20	18	18	23	27	24	23	22	22	23	23
12	21	21	21	21	24	21	20	27	20	22	19	19	19	22
	24	20	18	23	25	22	24	23	23	24	23	19	20	19
	22	22	23	23	23	22	23	19	23	20	17	23	23	20
	19	17	23	23	17	20	18	24	19	17	19	17	19	18
	18	18	19	17	19	18	20	19	20	18	17	18	16	18
18	20	18	17	17	23	18	17	17	20	18	17	19	18	18
	25	24	18	20	23	19	18	25	20	18	18	20	18	17
	23	21	23	23	23	22	23	20	18	18	18	19	17	17
	18	18	24	18	19	20	18	17	17	19	17	19	18	19
	18	18	17	20	23	18	20	19	19	20	17	19	19	17
24	22	18	18	20	18	20	19	20	18	17	19	18	19	17
	20	12	20	21	19	20	23	19	19	20	18	14	15	15
	23	24	23	23	16	19	17	19	18	21	18	17	18	18
	23	18	19	18	24	18	19	20	17	16	18	18	19	13
	18	20	18	17	23	22	22	23	18	23	17	17	25	23
30	18	19	20	19	19	19	19	19	22	18	18	22	22	22
	19	21	19	18	18	19	18	13	18	21	19	23	25	19
	16	20	25	24	23	21	21	20	21	18	18	18	20	20
	16	23	31	32	25	23	19	20	20	19	19	19	19	19
	16	17	28	26	22	22	22	23	20	19	20	23	22	23

B. AFTER DIGITAL PROCESSING.

1	22	17	20	18	23	26	26	26	25	22	27	24	24	
	24	24	25	24	26	30	30	26	24	28	24	26	19	19
	23	21	22	32	31	28	27	22	24	23	23	22	23	20
	13	16	24	32	27	23	24	22	18	23	22	23	23	19
	16	21	30	31	25	23	24	23	23	24	23	23	22	22
6	18	20	36	40	25	24	26	22	20	26	24	22	28	22
	16	19	33	31	27	25	25	23	20	23	24	29	25	26
	19	16	20	24	27	27	25	22	25	25	23	31	25	30
	17	18	21	20	22	23	24	23	22	22	23	23	28	23
	23	19	18	20	16	15	24	24	23	23	23	24	24	24
	23	24	18	20	18	18	23	27	24	23	22	22	23	23
12	21	21	21	21	24	21	20	27	20	22	19	19	19	22
	24	20	18	23	25	22	24	23	23	24	23	19	20	19
	22	22	23	23	23	22	23	19	23	20	17	23	23	20
	19	17	23	23	17	20	18	24	19	17	19	17	19	18
	18	18	19	17	19	18	20	19	20	18	17	18	16	18
18	20	18	17	17	23	18	17	17	20	18	17	19	18	18
	25	24	18	20	23	19	18	25	20	18	18	20	18	17
	23	21	23	23	23	22	23	20	18	18	18	18	19	17
	18	18	24	18	19	20	18	17	17	19	17	19	18	19
	18	18	17	20	20	18	20	19	19	20	17	19	19	17
24	22	18	20	18	20	19	20	18	17	19	18	19	17	17
	20	12	20	21	19	20	20	20	19	19	20	18	14	15
	23	24	23	23	16	19	17	19	18	21	18	17	18	18
	23	18	19	18	24	18	19	20	17	16	18	18	19	13
	18	20	18	17	23	22	22	23	18	23	17	17	25	23
30	18	18	22	18	20	16	16	16	16	16	16	20	22	22
	18	18	20	19	19	19	19	19	19	22	18	18	22	22
	19	21	19	18	18	19	18	13	18	21	19	23	25	19
	16	20	25	24	23	21	21	20	21	18	18	18	20	20
	16	23	31	32	25	23	19	20	20	20	19	19	19	19
	16	17	28	26	22	22	22	23	20	19	20	23	22	23

UNESCO RAPCA



Caida de Líneas

Señal Caída - Ejemplo



(CCRS Remote Sensing Tutorial)

UNESCO RAPCA



3. Ruido o Puntos Aleatorios

Causa: Errores de transmisión o disturbios temporales

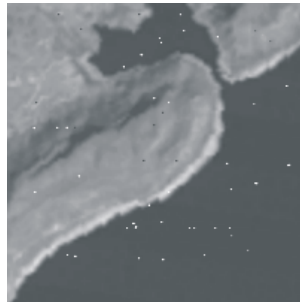
Método de Corrección:

1. Detectar el punto comparando su DN con los DN's de sus alrededores (vecinos)
2. Reemplazar el DN del punto con el valor del DN interpolado de los pixeles vecinos

Ruido o puntos aleatorios

Ejemplo de puntos en Landsat MSS

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
3	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
3	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



Ruido o puntos aleatorios

Ejemplo de corrección para los 'puntos'

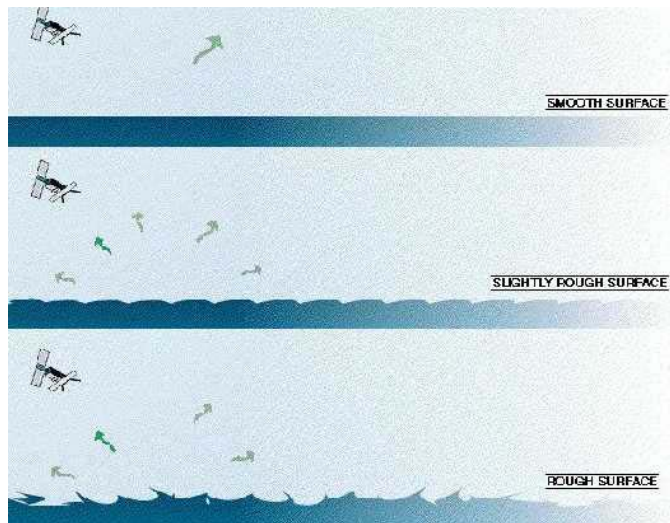
Filtro Mediana condicional | Condicion: cuando el centro es 0 o 255, tome la mediana

21	26	33	40	47	50	50	255	58	21	26	33	40	47	50	50
36	40	42	46	49	50	50	51	58	36	40	42	46	49	50	50
45	47	255	49	51	51	50	50	57	45	47	49	49	51	51	50
47	49	50	51	53	53	51	49	mediana	47	49	50	51	53	53	51
49	50	51	52	54	54	52	49	55	49	50	51	52	54	54	52
50	51	53	54	55	54	52	47	55	50	51	53	54	55	54	52
52	53	55	0	56	55	53	46	54	52	53	55	55	56	55	53
20	55	57	58	58	56	54	42	53	20	55	57	58	58	56	54
55	57	58	59	59	57	55	40	0	55	57	58	59	59	57	55
56	58	58	59	59	57	55			56	58	58	59	59	57	55

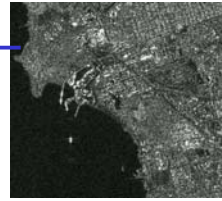
Imagen con punto

Imagen corregida

Microonda Backscatter



Efectos Radiometricos – Caso SAR



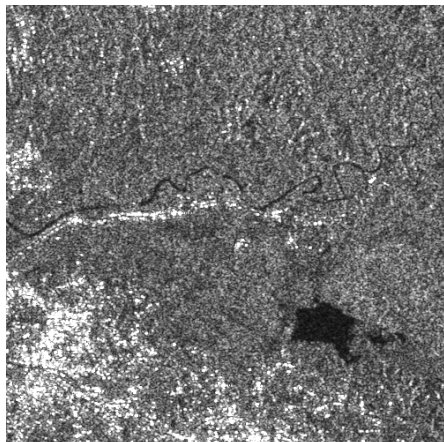
- Speckle
 - Efecto “Sal y pimienta”
 - Efecto de la rugosidad de la superficie y factores del sistema en la producción de imágenes
 - Cuenta para contribución de interferencias de dispersiones individuales
 - Es un efecto aleatorio y multiplicativo
- Metodos de corrección
 - Procesamiento Multi-vista
 - Promediado
 - Filtrado

Métodos de Corrección

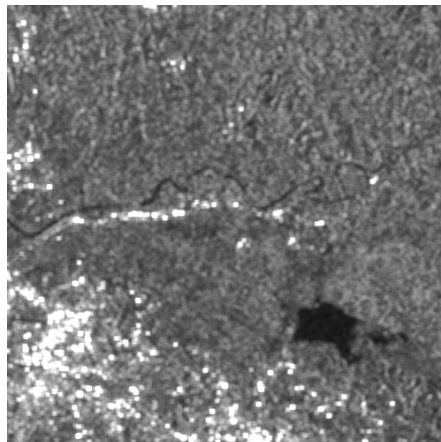


- Procesamiento Multi-vista
 - Movimiento del sensor- recibe señal de de retorno de una fuente varias veces.
 - Crear varias imágenes (=vistas)
 - Promediar imágenes para producir la imagen “multi-vista”
- Promediado Espacial
 - Usa resolución completa de una vista simple
 - Aplicar filtros de bajo-paso
- Filtro Speckle
 - Suaviza areas homogéneas, preserva bordes

SAR Speckle



ERS-1 SAR original



ERS-1 SAR filtrada

UNESCO RAPCA



SAR Speckle

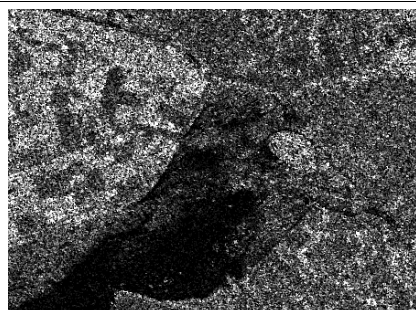


Imagen Original

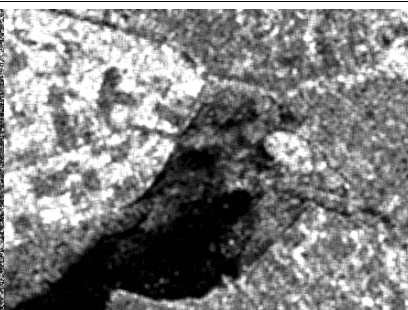


Imagen Filtrada

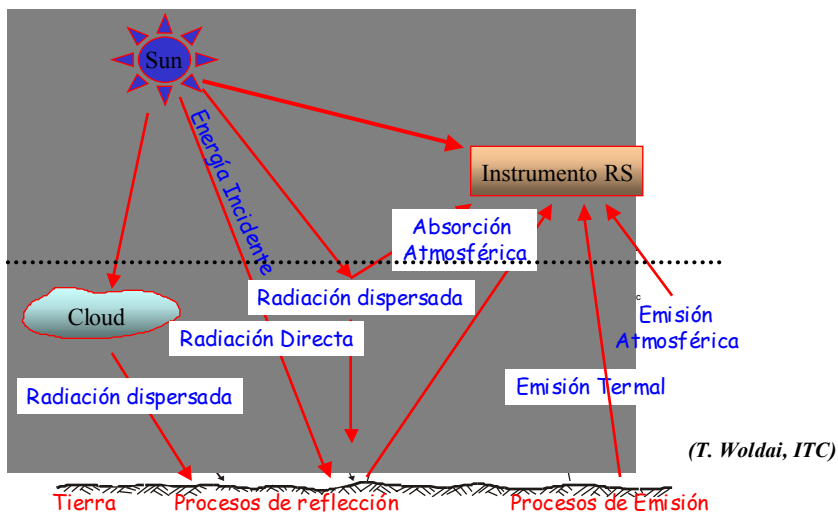
Reducción Speckle

UNESCO RAPCA

(G. Huurneman, ITC)



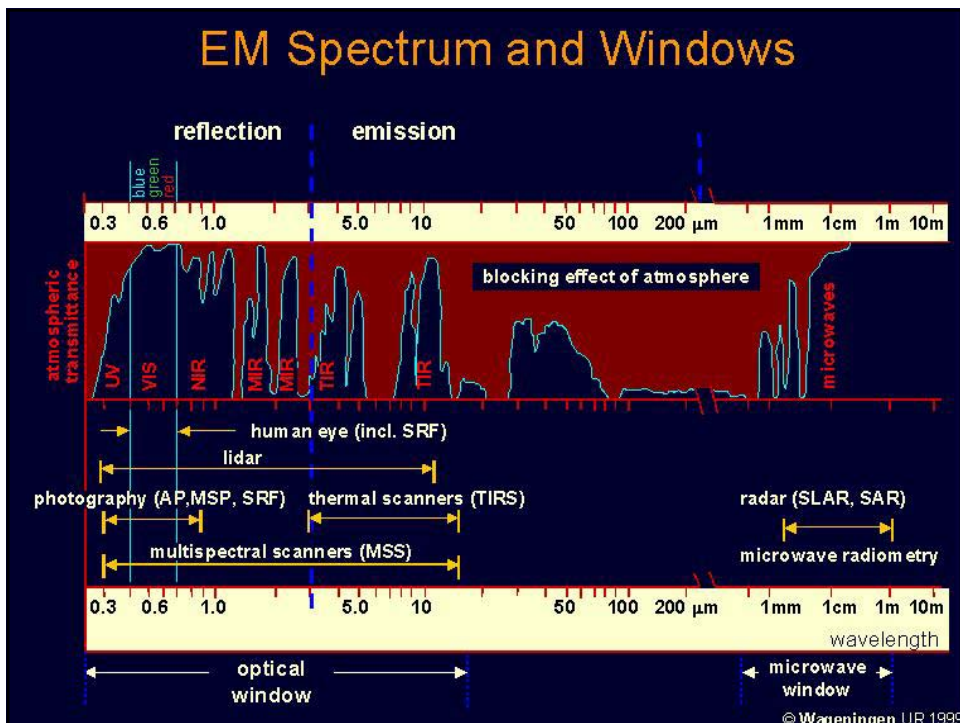
Efectos Atmosféricos Principios de Radiación



UNESCO RAPCA



EM Spectrum and Windows



Interacciones con la Atmósfera

- Medida de Radiación por Sensores Ópticos.
 - El Sol es la fuente de radiación
 - El EMR es reflejada por la Tierra (la cantidad depende de la reflectividad de la superficie de la Tierra)
 - La Radiación tiene que pasar la Atmósfera 2 veces

🕒 Interacción con la Atmósfera. :

↪ Dispersión

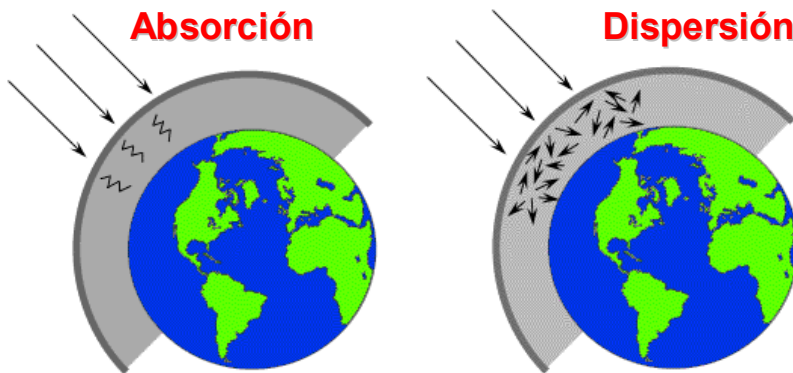
✂ Absorción

Interacción con la Atmósfera- 2

- Regiones relativamente libres de efectos
 - = **Ventanas Atmosféricas**
- Dependiendo de la Longitud de onda
- Adiciona **neblina (haze)** a la imagen
 - = la imagen pierde contraste*
- Absorción y dispersión
 - = **Atenuación** or **Extinción**

* *Contraste = Radio entre areas brillantes y oscuras.*

Efectos Atmosféricos



(CCRS Remote Sensing Tutorial)

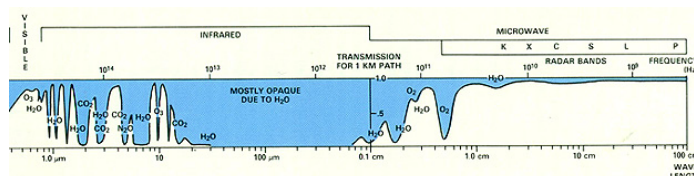
UNESCO RAPCA



Absorción

- Los gases absorben radiación
 - Vapor de Agua
 - Dioxido de Carbono
 - Ozono

← La teledetección en bandas de absorción es imposible.



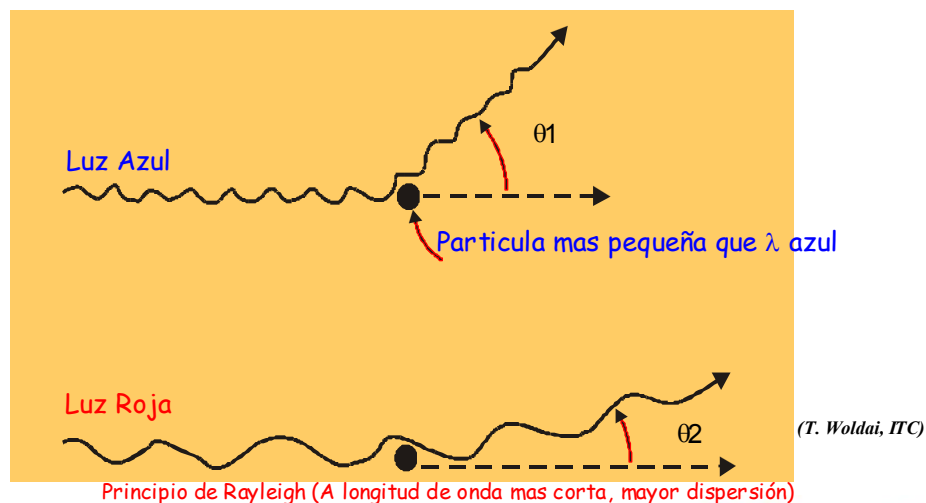
UNESCO RAPCA



Dispersión

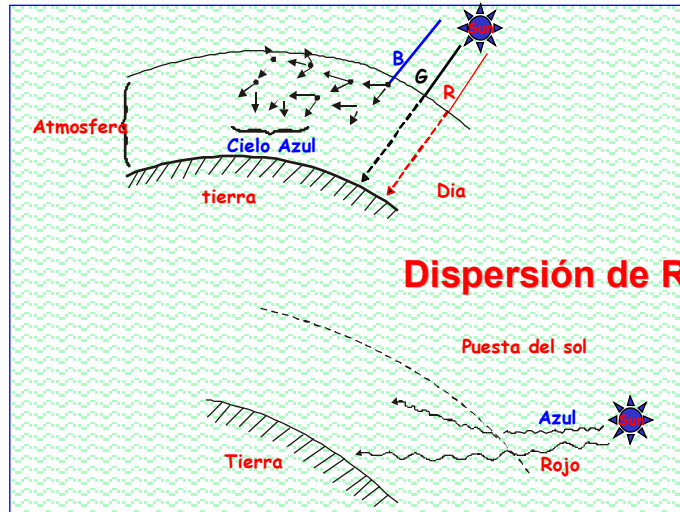
- Selectiva
 - Afecta longitudes de onda específicas
 - Ejemplos
 - *Dispersión de Rayleigh*
 - *Dispersión de Mie*
- No-Selectiva
 - Independiente de Longitud de onda

Efectos Atmosféricos Dispersión Selectiva



Efectos Atmosféricos

Dispersión de Rayleigh causa cielos azules durante el día y cielos rojos en la puesta del sol



Dispersión de Rayleigh

(T. Woldai, ITC)

UNESCO RAPCA



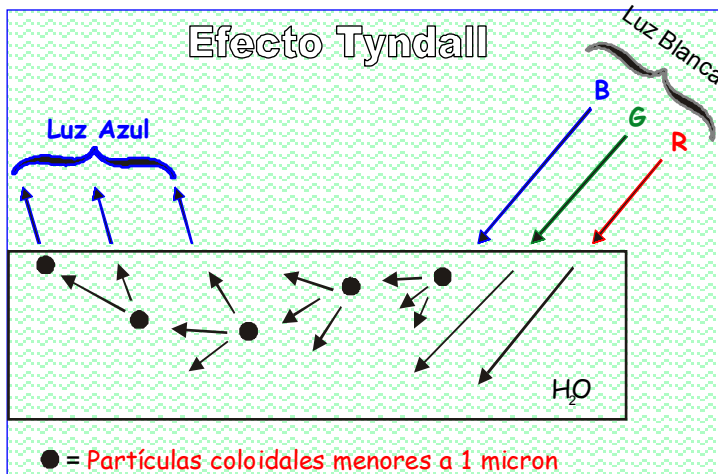
Dispersión de Mie

- La dispersión de Mie ocurre cuando las longitudes de onda de la radiación entrante es similar al tamaño de las partículas atmosféricas (e.g., aerosoles : una mezcla de gases, vapor de agua y polvo.).
- La dispersión de Mie esta restringida a la atmosfera mas baja donde las particulas mas grandes son mas abundantes.
- Influye la región espectral completa desde el ultravioleta cercano hasta el infrarojo cercano inclusive.

UNESCO RAPCA



Dispersión selectiva en el Agua



(T. Woldai, ITC)

UNESCO RAPCA



Efectos Atmosféricos

Dispersión No selectiva



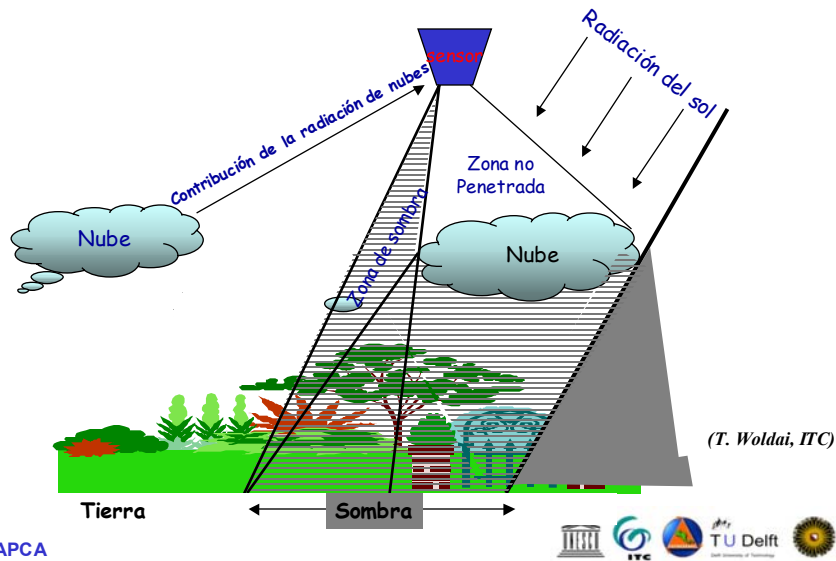
Dispersión no-selectiva es independiente de la longitud de onda, con todas las longitudes de onda dispersas casi iguales. El ejemplo más predominante incluye el efecto de las nubes (consistentes en gotas de agua). Ya que todas las longitudes de onda son dispersas igual, una nube aparece en blanco.

(CCRS Remote Sensing Tutorial)

UNESCO RAPCA



Factores Negativos de la Cobertura de Nubes



Efectos Atmosféricos

- Skylight
 - La radiación del sol es dispersa en la dirección de la superficie de la tierra por pequeñas partículas y moléculas en la atmósfera.
 - Pueden causar incremento en la radiación recibida en el sensor.
 - Efecto Multiplicativo
- Corrección
 - Multiplicación por un factor de una característica estable en el tiempo
 - Igualación de imágenes de varias fechas

Efectos Atmosféricos

- Bruma o Neblina
 - La radiación del sol es dispersa en la dirección de la superficie de la tierra por pequeñas partículas y moléculas en la atmósfera.
 - Pueden causar incremento en la radiación recibida en el sensor.
- Corrección (aproximación)
 - Seleccionar los objetos que absorben toda la radiación (e.g. cuerpos de agua); $DN_{Ideal} = 0$
 - Determinar el $DN \neq 0$ de la bruma; restar ese valor de radiación a todos los píxeles

Ejemplo - Bruma (Indonesia)



Efecto Neblina

Imagen Corregida

Corrección de Bruma o Neblina

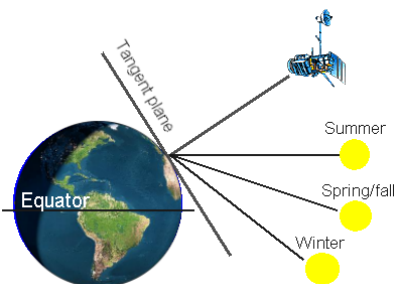
Método de substracción de objetos oscuros

Supuesto: bandas infrarojas no son afectadas por la bruma

- Identificar cuerpos negros: Agua clara y zonas con sombra con reflectancia cero en las bandas infrarojas
- Identificar los valores DN en longitudes de banda corta en las mismas posiciones de pixel. Estos DN son completamente debidos a la bruma.
- Restar el mínimo valor de DN relacionado con los cuerpos negros de una banda en particular a todos los pixeles de esta banda.

Efectos por la iluminación del Sol

- Posición del sol
 - Elevación del sol (Angulo del sol)
 - Distancia Sol-Tierra
- Corrección de elevación
 - División de cada pixel por el seno del angulo de la elevación solar para una fecha y ubicación en particular por banda espectral
- Corrección de distancia
 - La radiación del sol disminuye con el cuadrado la distancia



Efectos de la iluminación del Sol

- Las correcciones son necesarias para compensar las variaciones de la iluminación del sol resultantes de las diferentes fechas de adquisición de escenas.

Aplicaciones

- Estudios de Detección de cambios
- Mosaicos

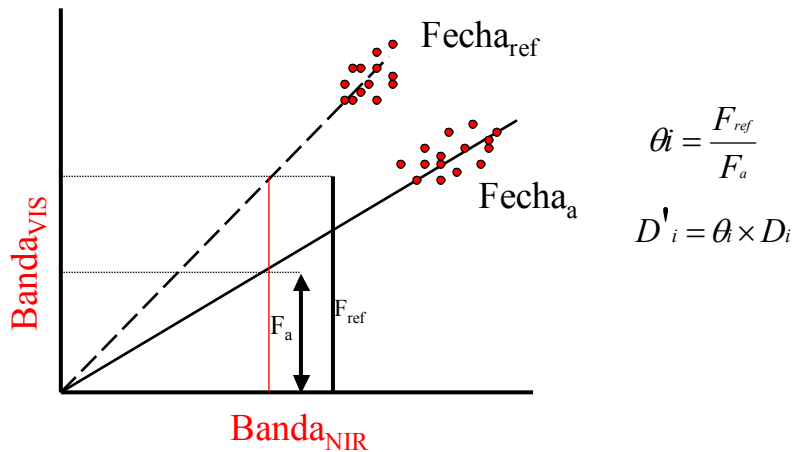
Corrección para Variaciones estacionales en la variación del sol

- Corrección del Angulo del Sol $DN' = \frac{DN}{\sin(\alpha)}$
- Corrección de la distancia Tierra-Sol

$$DN' = DN \left(1 + 0.00167 \sin \left[\frac{2\pi(d - 93.5)}{365} \right] \right)^2$$

Donde d es el número de días en un año

Corrección Skylight



UNESCO RAPCA



Resumen Corrección Radiométrica

- Necesitamos corregir los efectos atmosféricos, las variaciones en la iluminación del sol y defectos de los sistemas.
- La corrección Atmosférica es la corrección mas compleja.
- En la mayoría de los casos, solo la corrección por bruma es aplicada (resta de objetos oscuros)
- Si deseamos relacionar los datos teledetectados con datos espectromagnéticos de campo, necesitamos aplicar correcciones atmosféricas completas, tomando en cuenta factores dependientes de longitudes de onda, tales como irradiación difusa, coeficientes de transmisión, camino de la radiación y coeficientes de calibración del sensor.

UNESCO RAPCA



Referencias

- Bakx, W. (1995): “An introduction to digital image processing”, ITC Lecture Note RSD 65.
- Schreier, G. (1993): “SAR Geocoding: Data and Systems”, Karlsruhe: Wichmann, ISBN 3-87907-247-7, 435 pages.
- Wageningen UR, 1999,
<http://www.gis.wau.nl/cgirs/projects/rsbasics/overview.htm>
- CCRS Remote Sensing Tutorial:
<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutore.html>

Lecturas complementarias

- Richards, J.A., Remote sensing digital image analysis: an introduction, 2nd revised and enlarged edition, Berlin etc. - Springer Verlag, 1993, ISBN 3-540-54840-8.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Ed., 1993, J. Wiley & Sons, 720 pp.
- Jensen, J.R. & Schill, S.R. (1999): The Remote Sensing Core Curriculum, Vol. 3, Digital Image Processing,
<http://www.cla.sc.edu/geog/rsiab/rscnew/rsc-frames.html>
- Mather, P.M., Computer Processing of Remotely-Sensed Images: an Introduction, Wiley: New York 1999, ISBN 0-471-98550-3