Teledetección desde satélite

Juan Meléndez Sánchez
Profesor Titular
Departamento de Física
Universidad Carlos III de Madrid

Mayo 2002

Conceptualmente,

Teledetección

$\Updownarrow$

Medidas *in situ*

Históricamente,

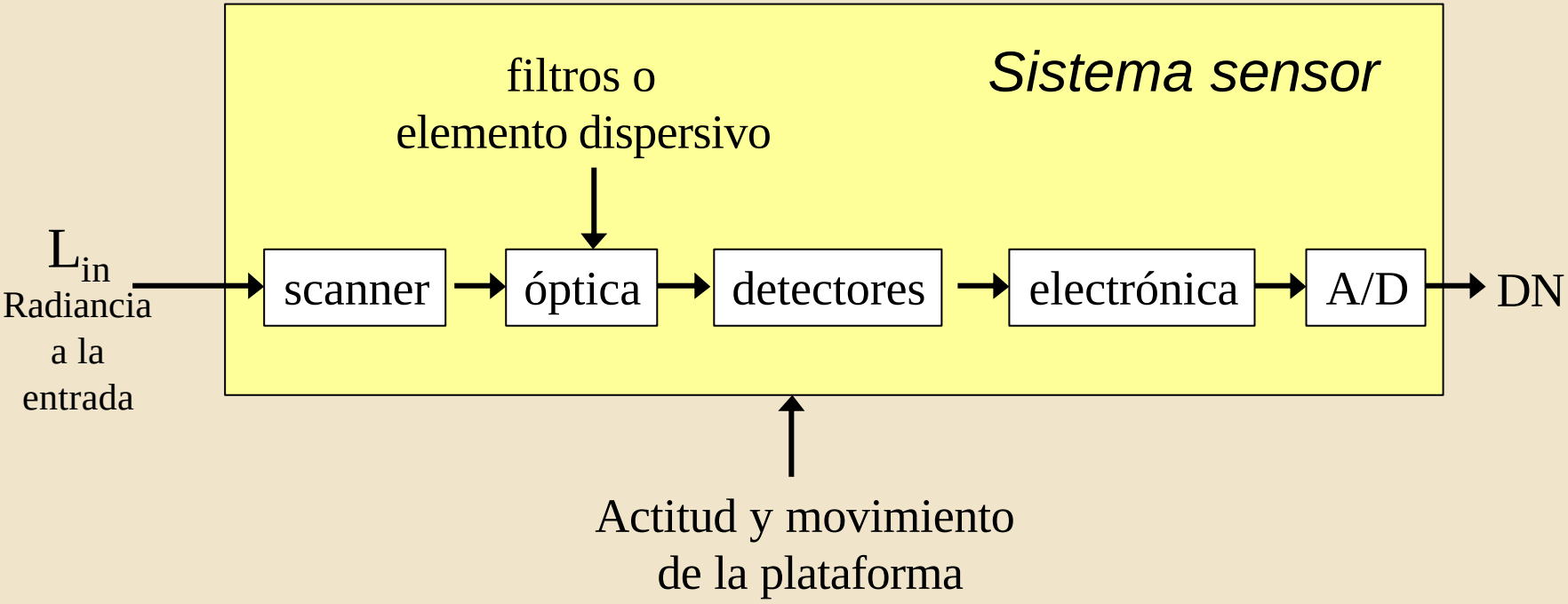
La teledetección como ciencia autónoma nació en los años 60, en relación con los satélites artificiales

Satélites artificiales

Origen: IGY (1957/58): Sputnik (4/10/57) URSS
Explorer 1 (31/01/58) USA

Observación del espacio	• Sol, Tierra (OSO, ISEE) • Rayos X (HEAO); Ultravioleta (IUE, Hubble);Infrarrojo (IRAS)...
Comunicaciones	• Echo, Intelsat, Marisat...
Reconocimiento terrestre (teledetección)	• Meteorológicos (TIROS, Meteosat, NOAA POES&GOES...) • Recursos (Landsat, SPOT, ERS...) • Militares (Vela, DMSP...)
Otros	• Navegación • Biológicos • Test nuevas tecnologías

Esquema del sistema sensor



Objetivo:
Información a partir de imágenes

Dos etapas:

- ***Modelo del sensor**:*

  DN $\rightarrow$ Radiancia a la entrada (L_{in})

- ***Modelo radiométrico*:**

  L_{in} $\rightarrow$ Magnitud buscada

Modelo del sensor

- *Resolución radiométrica*

  → Calibrado (Idealmente, lineal):

  $DN = Gain \cdot L_{in} + Offset$

- *Resolución espacial*

  → FOV, GFOV, GIFOV

  → Correcciones geométricas

- *Resolución espectral*

  → Multiespectral, hiperespectral

- *Electrónica:*

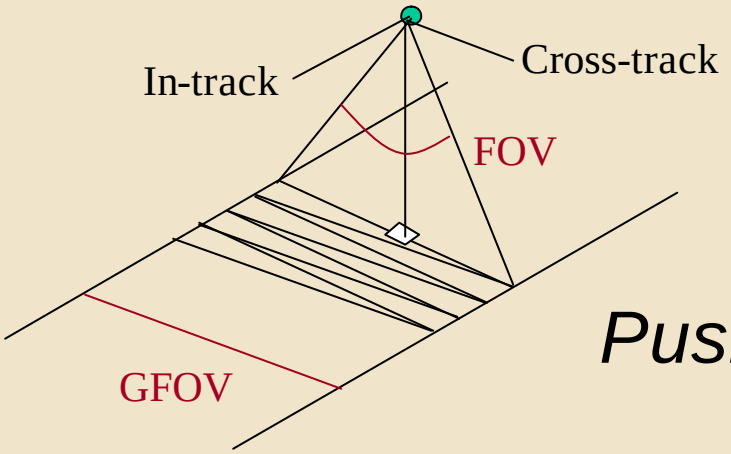
  →"readout", amplificación,

  muestreo, conversión A/D, etc.

Resolución espacial

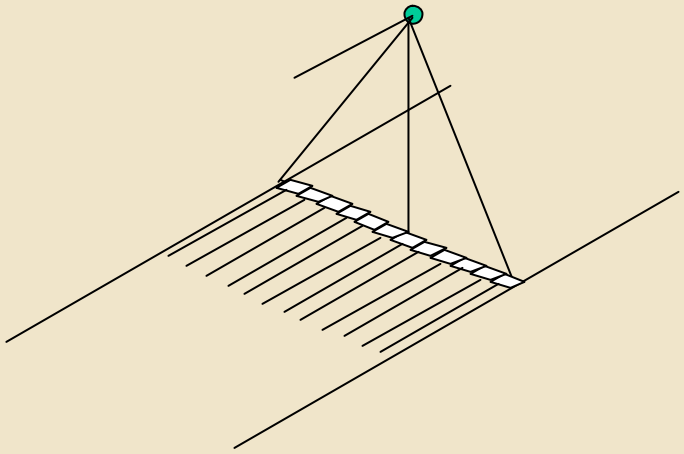
Para aumentar el campo de visión (Field of View) $\Rightarrow$ sistema de barrido (scanning):

Line scanner:



FOV = Field of View
IFOV = Instantaneous Field of View
GFOV = Ground Field of View
GIFOV = Ground Instantaneous Field of View

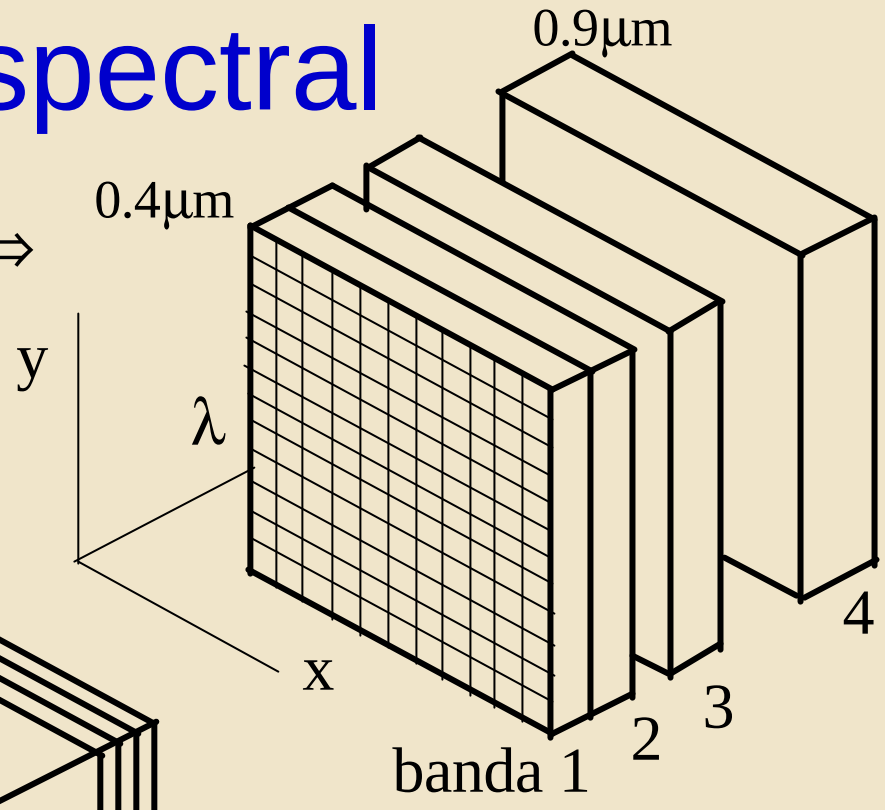
Pushbroom scanner:

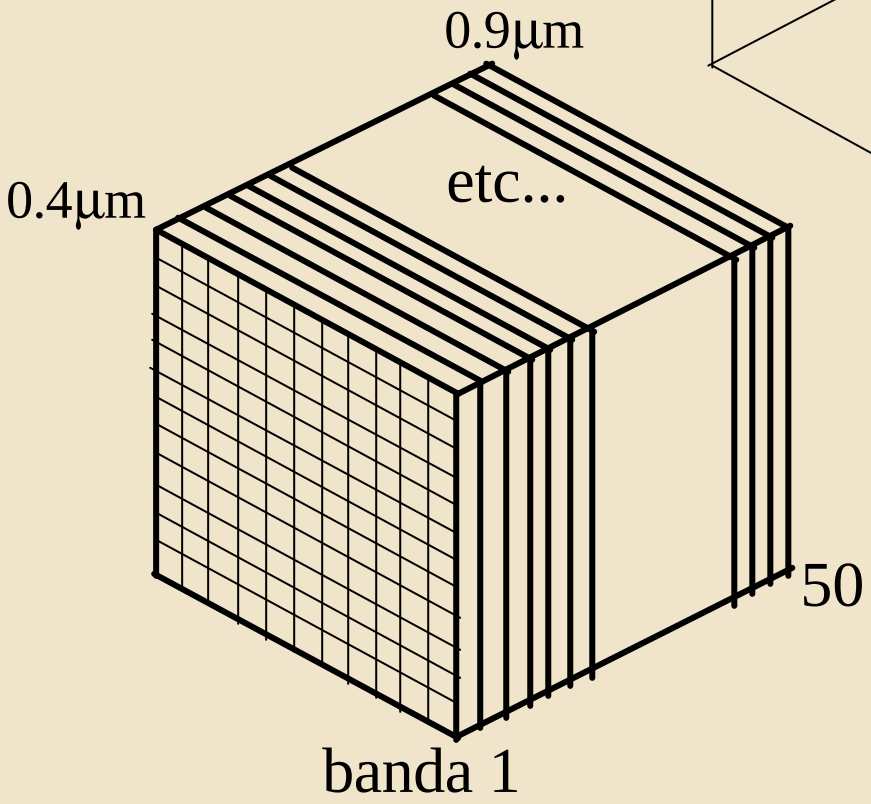


GIFOV $\rightarrow$ tamaño en tierra de un pixel

Resolución espectral

Sistema multiespectral ⇒
(e.g.: Thematic Mapper)

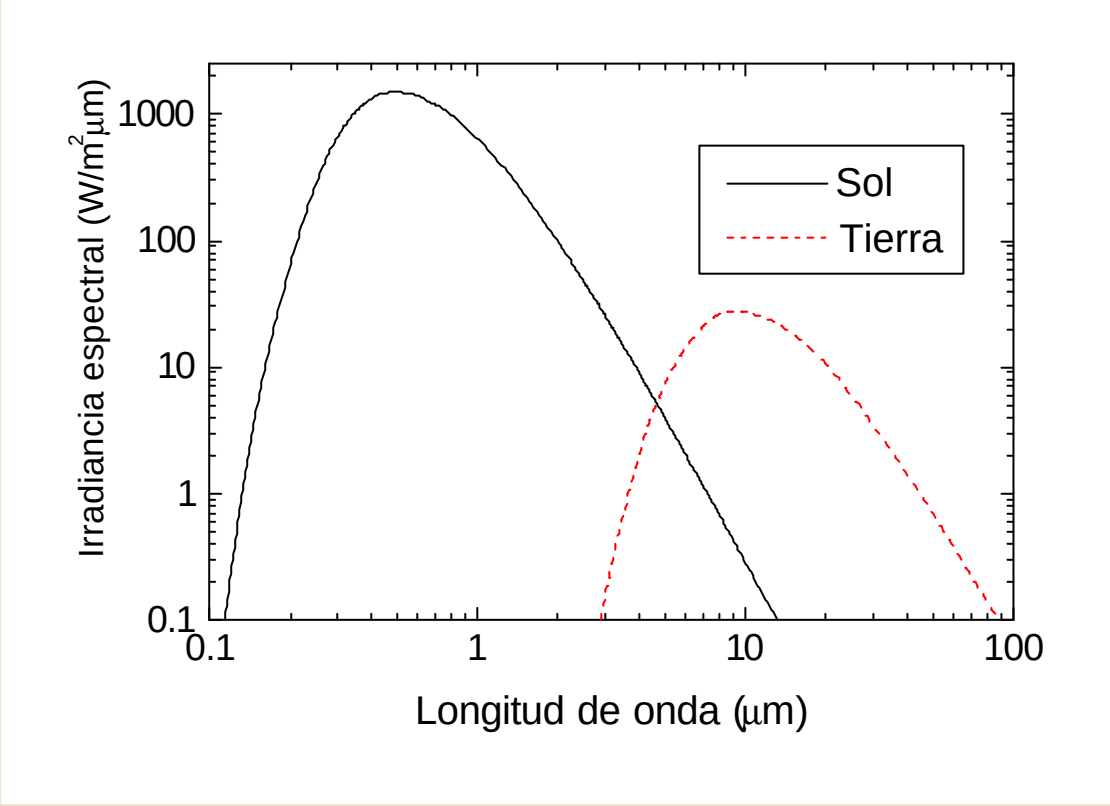




⇐ Sistema hiperespectral
(e.g.: AVIRIS)

Modelo radiométrico

- Dos componentes principales:
  Radiación emitida y reflejada



Modelo radiométrico

- *Efectos atmosféricos*

  Transmitancia

  Emisión atmosférica

  Dispersión

  $\longrightarrow$ aparecen 6

  "*componentes de radiancia*"

Modelo radiométrico

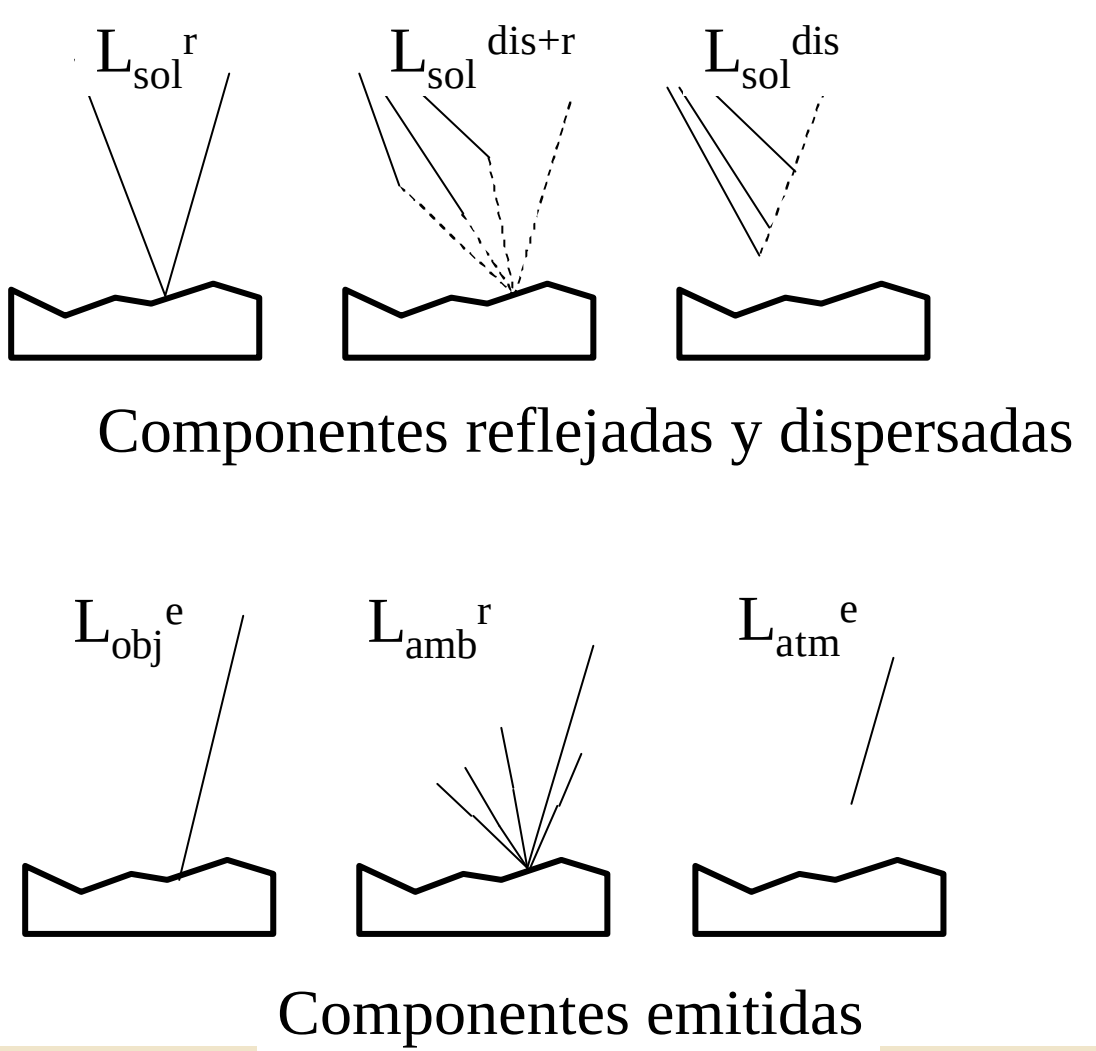
- *Componentes de radiancia (I):*

Mecanismo 6 / *Fuente* 9	**Transmisión directa**	**Reflexión en el objeto**	**Dispersión en la atm.**	**R+D ó D+R**
Sol	0	Radiación solar no dispersada reflejada en el objeto L_{sol}^{r}	Radiación solar dispersada hacia el detector L_{sol}^{dis}	Radiación solar dispersada reflejada en el objeto L_{sol}^{dis+r}
Atm/Amb	Radiación emitida por la atmósfera hacia el detector L_{atm}^{e}	Radiación del ambiente reflejada en el objeto L_{amb}^{r}	.0	.0
Superficie	Radiación emitida por el objeto L_{obj}^{e}	.0	.0	.0

Cuadro 1.: *Resumen de las componentes de radiancia en teledetección.*

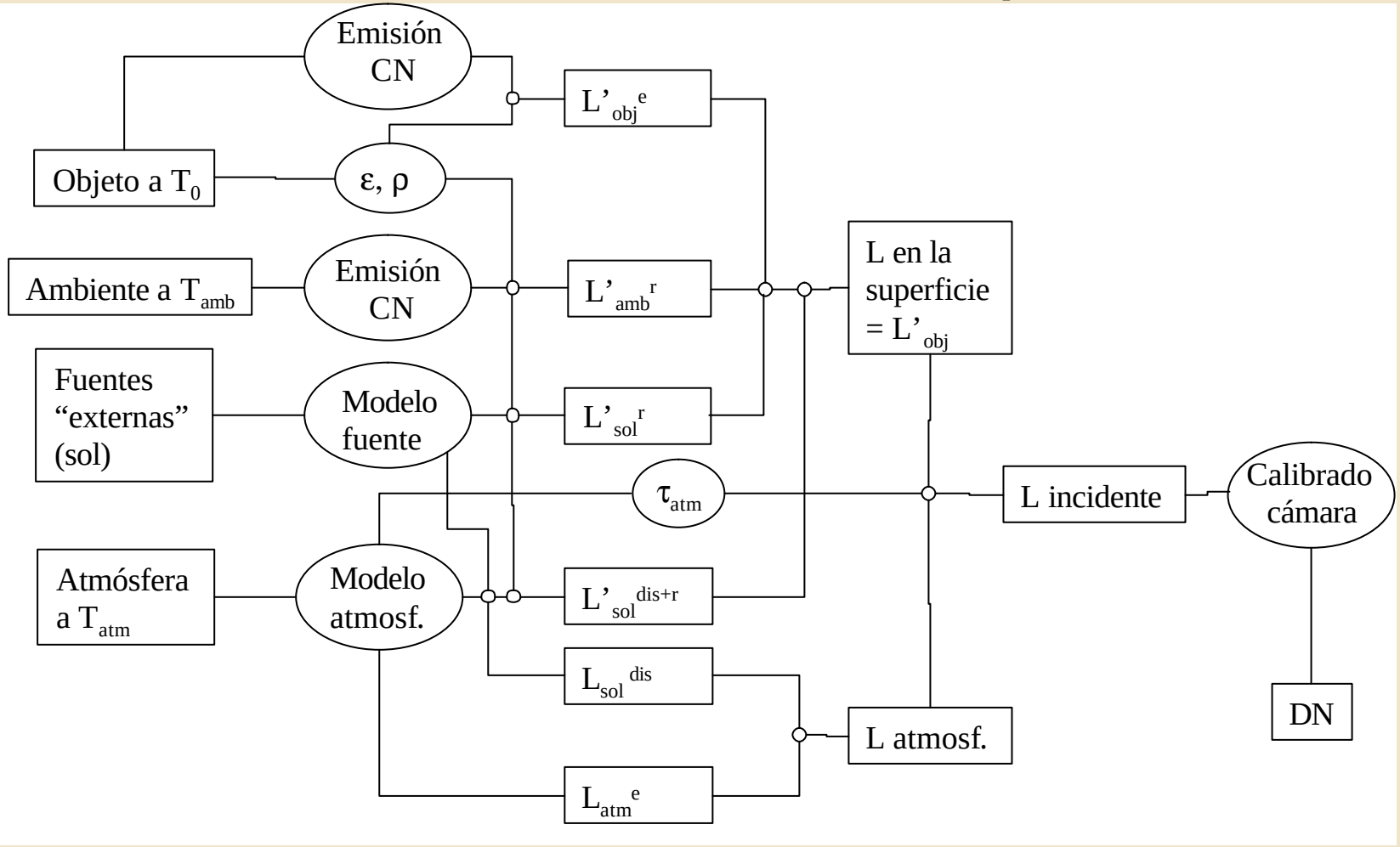
Modelo radiométrico

- *Componentes de radiancia (II):*



Modelo radiométrico

- *La cadena radiométrica completa*



Modelo radiométrico

- *Componentes reflejadas*

$$L_{ref} = L_{sol}^{r} + L_{sol}^{dis+r} + L_{sol}^{dis} = r_{obj}(x,y,l)\frac{t_v(l)}{p}\left\{t_s(l)E_s(l)\cos[q(x,y)] + F(x,y)E_{sol}^{dis+r}(l)\right\} + L_{sol}^{dis}(l)$$

siendo:

$\rho_{obj}(x,y,\lambda)$ = reflectancia en el punto x,y

$\tau_v(\lambda)$, $\tau_s(\lambda)$ = transmitancias (τ_v = camino objeto-satélite , τ_s =camino Sol-objeto)

$E_s(\lambda)$ = irradiancia espectral solar sobre la Tierra

E_{sol}^{dis+r} = irradiancia de la luz dispersa del cielo

L_{sol}^{dis} = radiancia solar dispersada hacia el detector (definida anteriormente)

θ = ángulo formado por el Sol y la normal a la superficie del objeto

F(x,y) = factor topográfico (tiene en cuenta sombras debidas al relieve)

Modelo radiométrico

- *Componentes emitidas*

$$L_{emit} = L^{e}_{obj} + L^{r}_{amb} + L^{e}_{atm} = (1 - r_{obj}(x, y, l))\, t_{v}(l)\, L_{cn}(l, T_{obj}(x, y)) + F(x, y)\, r(x, y, l)\, \frac{t_{v}(l)}{p}\, E_{amb}(l) + L^{e}_{atm}(l)$$

siendo:

L_{cn} = radiancia espectral de un cuerpo negro (dada por la ley de Planck)
T_{obj} (x,y) = temperatura del punto (x,y)
E_{amb} = irradiancia emitida por el ambiente
L_{atm}^{e} = radiancia emitida por la atmósfera hacia el detector (definida anteriormente)

Modelo radiométrico

- La inversión de la cadena requiere simplificaciones

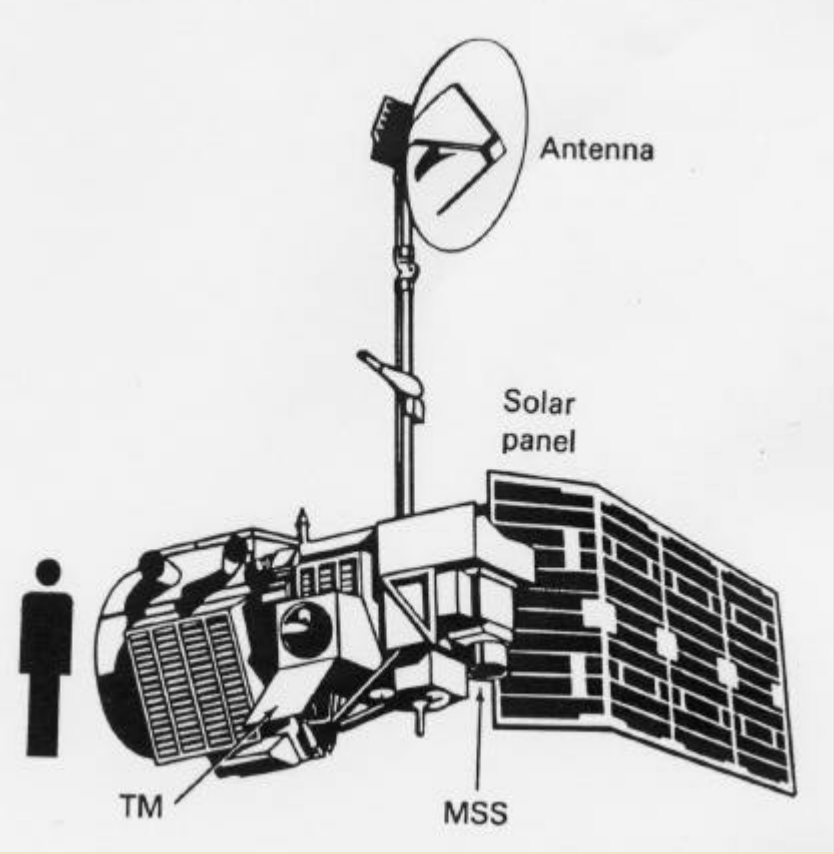
$$L = \underbrace{L_{obj}^{e} + L_{amb}^{r} + L_{sol}^{r}}_{\text{componentes emitidas}} + \underbrace{L_{sol}^{dis+r} + L_{atm}^{e} + L_{sol}^{dis}}_{\text{componentes reflejadas y dispersadas}}$$

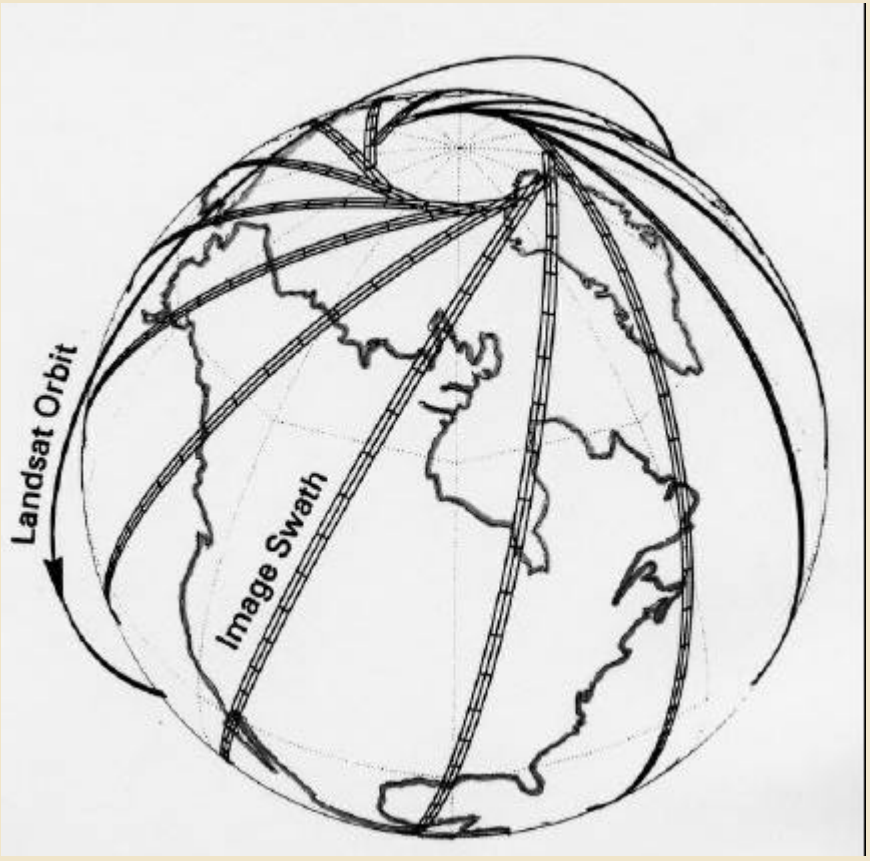
componentes emitidas → Despreciables en UV, VIS y NIR

componentes reflejadas y dispersadas → Despreciables en TIR

(En MIR hay que tener en cuenta componentes emitidas y reflejadas)

Ejemplo: Landsat (I)





Ejemplo: Landsat (II)

- Teledetección de recursos. Origen: ERST (1972)
- 2 satélites (L4 y L5) en órbita polar
- Altura: 705 km; Tamaño imagen: 185 km

Sensor	**Resolución**			
	x	l		t
MSS *Multi Spectral Scanner*	79 m	1: 0.55 µm 3: 0.75 µm	2: 0.65 µm 4: 0.90 µm	16 d
TM *Thematic Mapper*	30 m	1: 0.50 µm 3: 0.65 µm 5: 1.70 µm 7: 2.2 µm	2: 0.55 µm 4: 0.85 µm 6: 11 µm	

Chuvieco 1996 pp 122-128
http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html

Ejemplo: Landsat (III)

Bandas espectrales del sensor Thematic Mapper (TM)		
Banda	Longitud de onda (µm)	Características
1	0.45 a 0.52	Azul-verde. Máxima penetración en el agua (útilpara hacer cartografía batimétrica en aguas poco profundas). Útil para distinguir suelo de vegetación y coníferas de árboles de hoja caduca
2	0.52 a 0.60	Verde. Ajustado al pico de reflectancia de la vegetación en el verde, útil para evaluar el vigor de las plantas
3	0.63 a 0.69	Rojo. Coincide con una banda de absorción de la clorofila, importante para discriminar tipos de vegetación.
4	0.76 a 0.90	IR reflejado. Útil para determinar contenido de biomasa y para cartografía de costas
5	1.55 a 1.75	IR reflejado. Indica contenido de humedad de suelo y vegetación. Penetra en nubes finas. Da buen contraste entre tipos de vegetación.
6	10.4 a 12.50	IR térmico. Las imágenes nocturnas son útiles para cartografía térmica y estimación de la humedad de suelos.
7	2.08 a 2.35	IR reflejado. Coincide con banda de absorción causada por iones hidroxilo en minerales. El cociente de las bandas 5 y 7 se usa para destacar rocas alteradas hidrotérmicamente, asociadas con depósitos minerales.

Ejemplo: NOAA-POES (I)

- Meteorológico. Origen: TIROS-1 (1960)
- 2 satélites en órbita polar (heliosíncrona)
- Altura: 833-870 km; Tamaño imagen: 3000 km

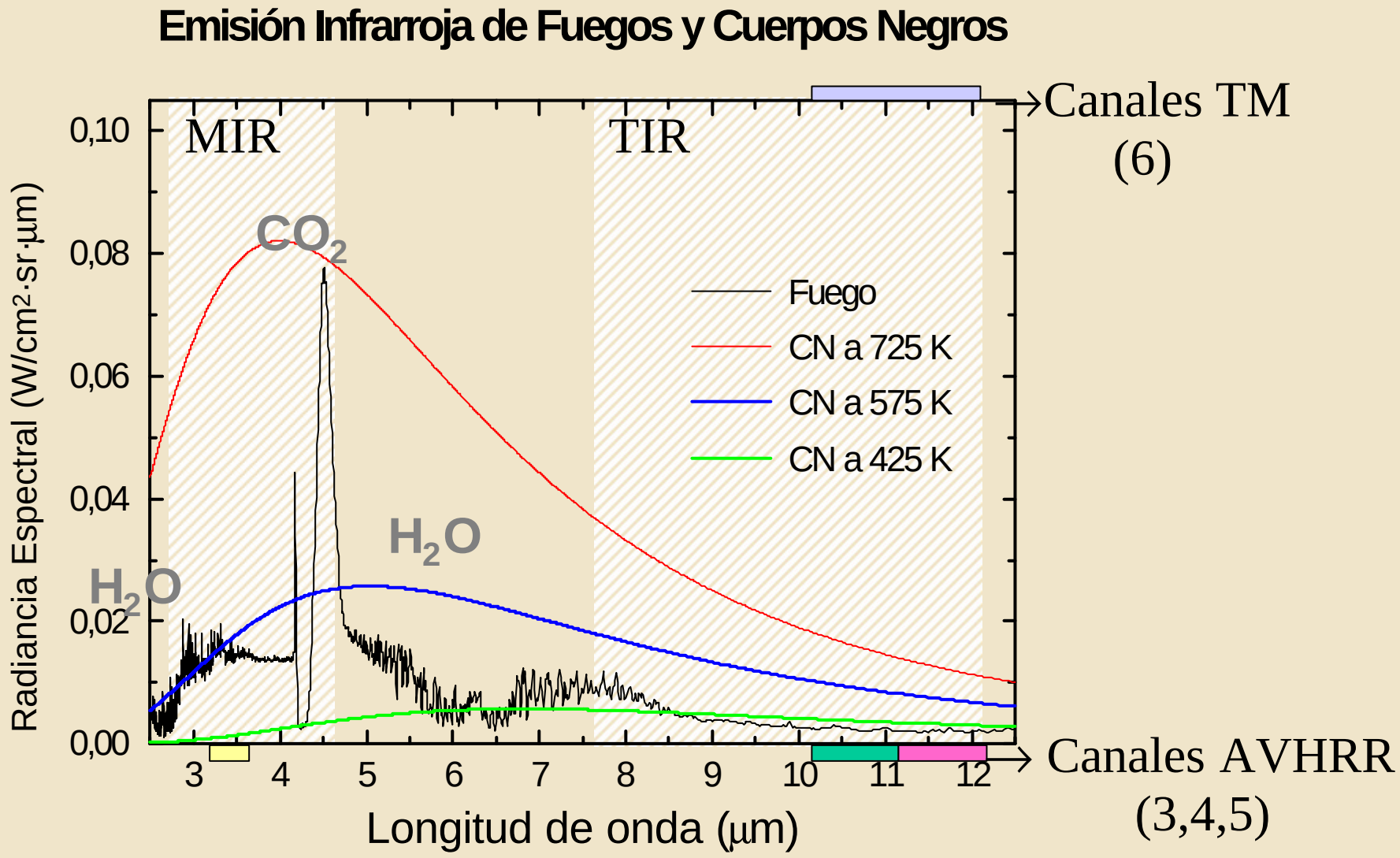
Sensor	**Resolución**			
	x	l		t
AVHRR *Advanced Very High Resolution Radiometer*	LAC: 1.1 km GAC: 4km	1: 0.65 µm 3: 3.70 µm 5: 12.0 µm	2: 0.80 µm 4: 10.8 µm	6 h

Chuvieco 1996 pp 131-124
http://osdacces.nesdis.noaa.gov/nesdis.htm
http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/1KM/avhrr.sensor.html

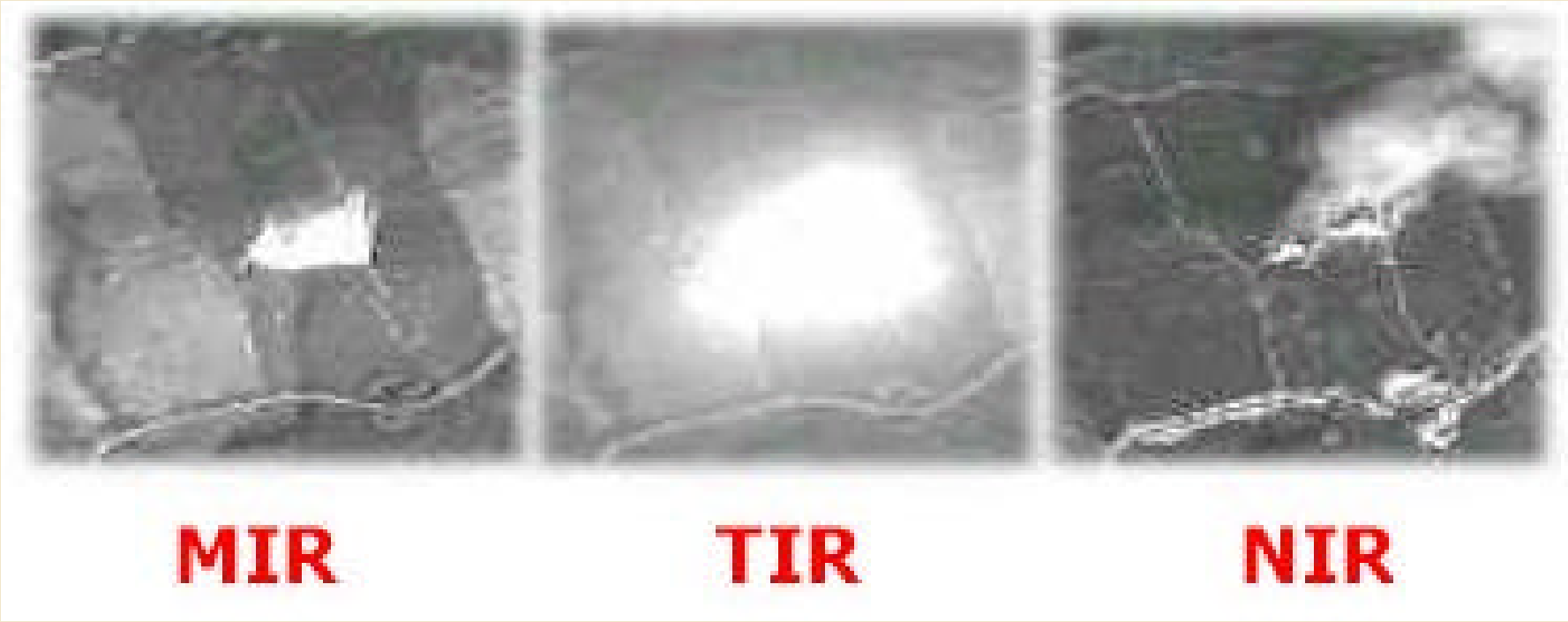
Ejemplo: NOAA-POES (II)

Bandas espectrales del Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)		
Banda	Longitud de onda (µm)	Características
1	0.58 a 0.68	Rojo. Cartografía de vegetación.
2	0.72 a 1.10	IR reflejado. Similar al 4 del TM
3	3.55 a 3.93	IR medio. Detección de focos calientes como incendios o volcanes
4	10.50 a 11.50	IR térmico. Medida de temperaturas ambiente.Similar al 6 del TM
5	11.50 a 12.50	IR térmico. Banda adicional presente sólo en el NOAA 7

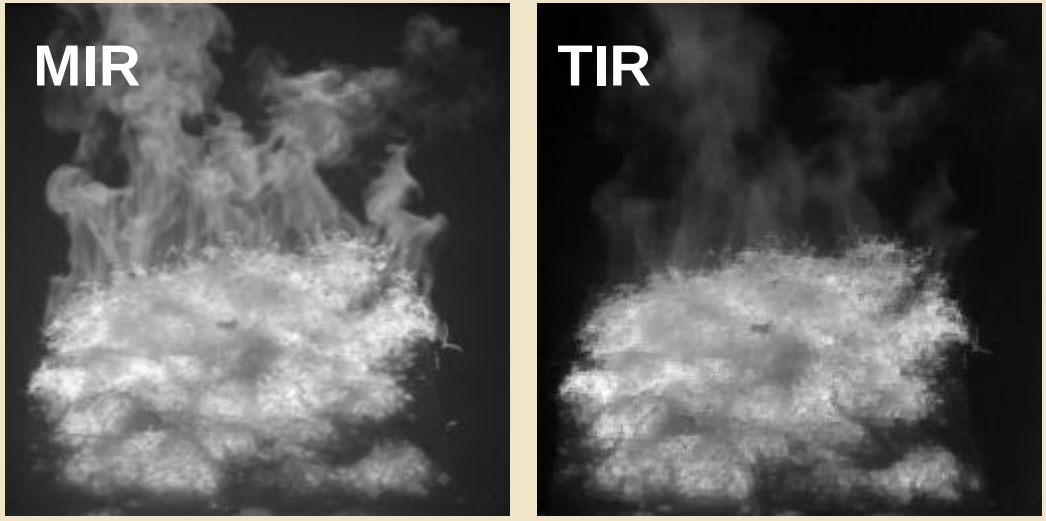
Emisión de un incendio (I)



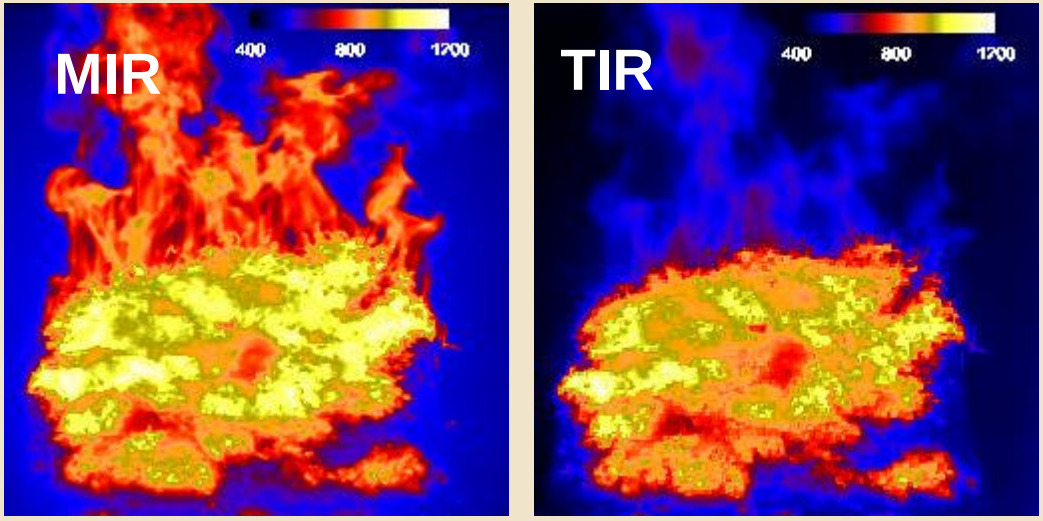
Emisión de un incendio (II)



Emisión de un incendio: imágenes biespectrales (I)

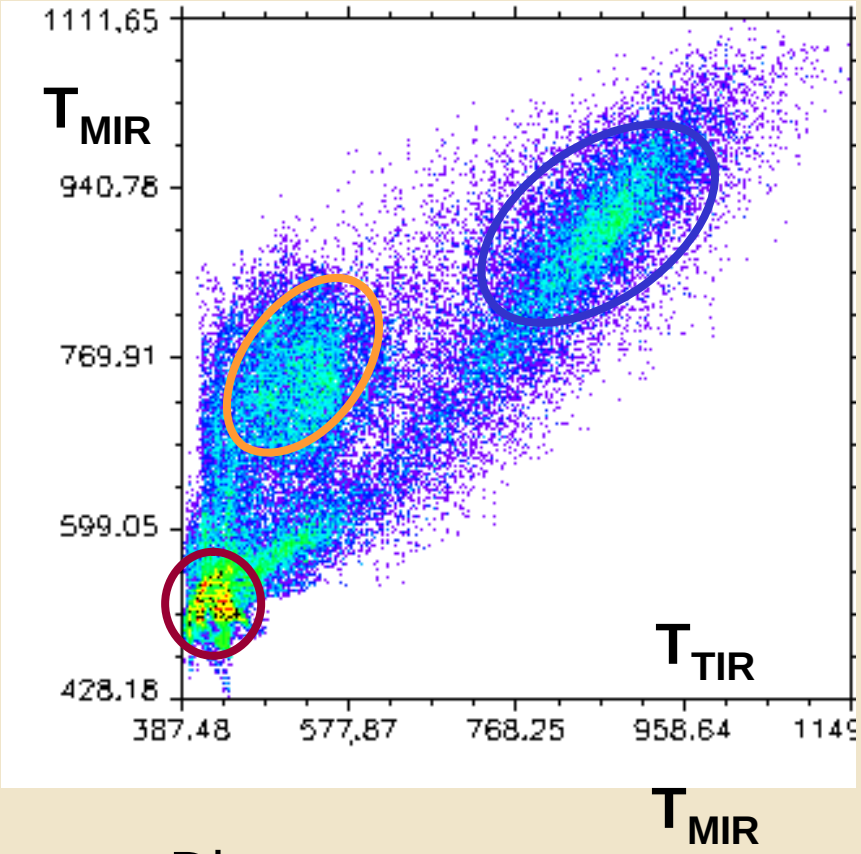


Nºs digitales

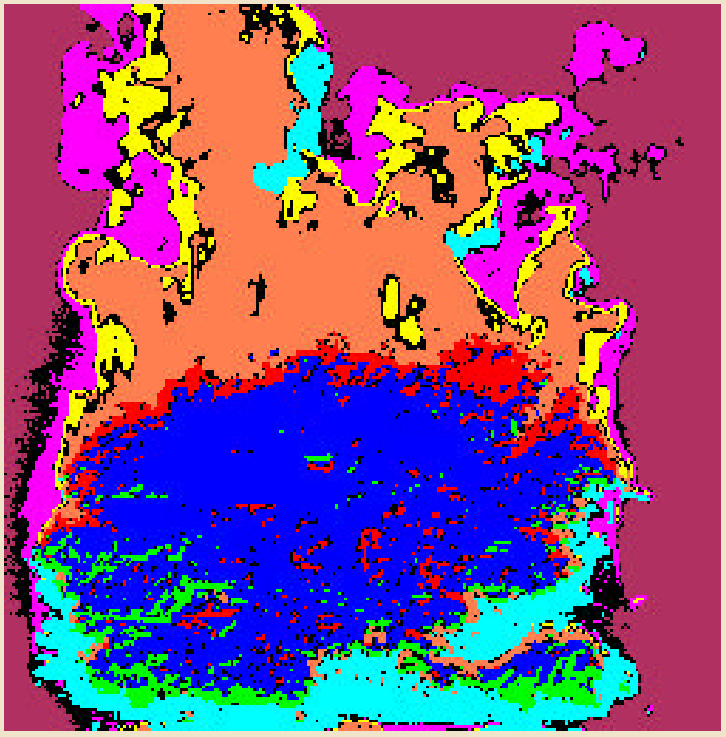


T de brillo aparentes

Emisión de un incendio: imágenes biespectrales (II)



Dispersograma



Clasificación

¿Qué se necesita?

Fase	Tarea	Información requerida
Pre-Fuego	Evaluación de riesgo	Cantidad y condición de la biomasa Factores climatológicos Factores topográficos
Fuego	Detección	Alarma: Posición (±300m) Instante (±15’)
	Seguimiento de fuegos activos	Perímetro (±50m)
Post-Fuego	Evaluación de daños	Cartografía de áreas quemadas Seguimiento de la evolución de la cubierta vegetal

¿Qué ofrecen los satélites actuales?

Meteorológicos

✓ **Observaciones frecuentes**
NOAA-GOES: 30' sobre America; NOAA-POES: 6h sobre toda la Tierra

✗ **Mala resolución**
NOAA: 4km global, 1.1 km local

✗ **Fácil saturación**
NOAA: 47ºC canal MIR

De recursos

✗ **Observaciones infrecuentes**
Landsat: 16 días

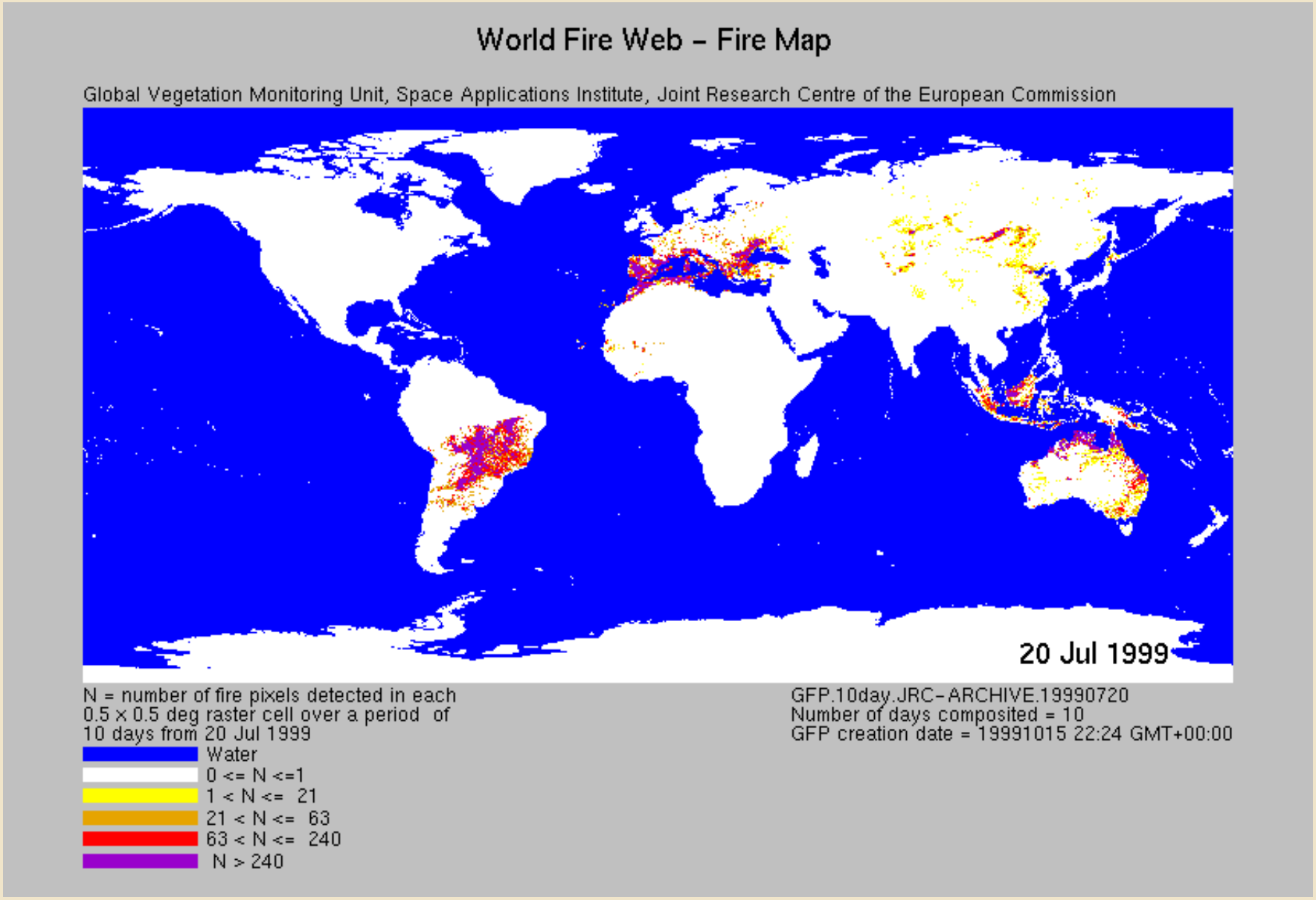
✓ **Buena resolución**
Landsat TM: 30m, SPOT: 10m

✗ **Fácil saturación**
Landsat TM: 195ºC canal MIR

Aprovechamiento de los satélites actuales

NOAA POES (AVHRR)	• Seguimiento de fuegos (grandes) • Indices de vegetación ⇒ condiciones de la biomasa • Estimación de emisiones • “Atlas” de fuegos a escala global
DMSP	• Imágenes nocturnas de fuegos
NOAA GOES	• Automatic Biomass Burning Algorithm (para Suramérica)
Landsat, SPOT	• Cartografía de áreas quemadas y seguimiento de su recuperación • Inventarios de combustible

Ejemplo: *World Fire Web* (NOAA-JRC)



Programas de Teledetección de Fuegos

	Promotor	Año	Objetivos
FIRESAT	NASA	¿?	Estimación de emisiones (CO_2, CO, Partículas...). Detección, seguimiento y evaluación de fuegos
BIRD	DLR	2000	Datos cuantitativos de fuegos (tamaño, temperatura...). Demostrador tecnológico
FUEGO	UE (INSA, Alenia, DLR, Alcatel...)	2004	Detección y monitorización operativas para los servicios de extinción
FOCUS	ESA (DLR, OBH, Zeiss...)	2004	Montado en la ISS Detección "inteligente", medidas de emisiones...

Fire Observing System (FOS), Forest Fire Earth Watch (FFEW)...

BIRD *(Bispectral IR Detection)*

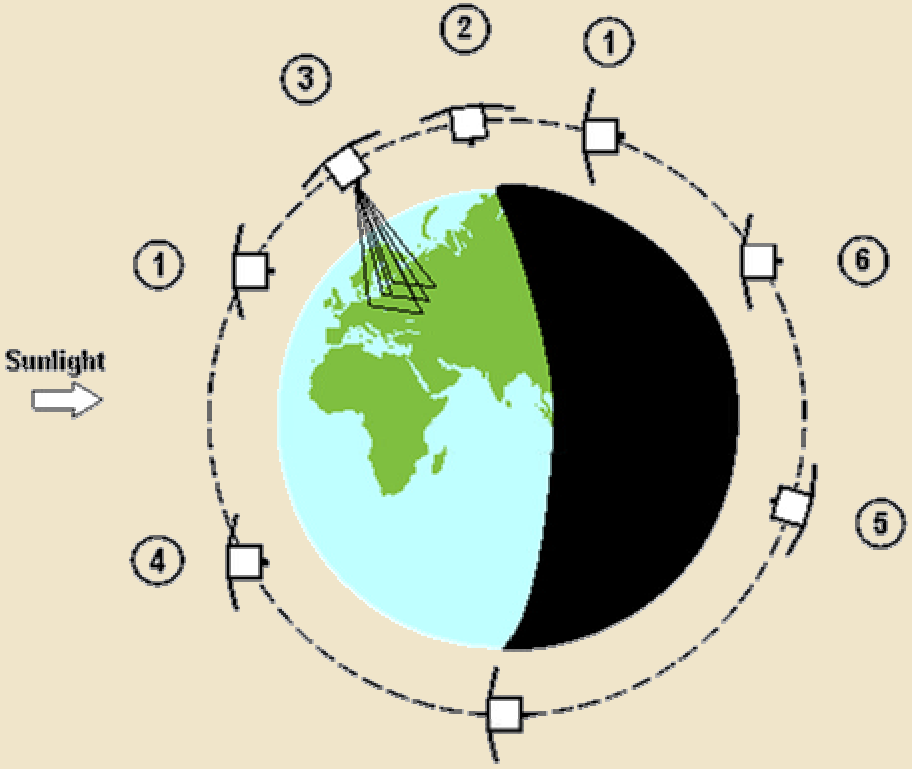
Un solo satélite cuyos objetivos son:

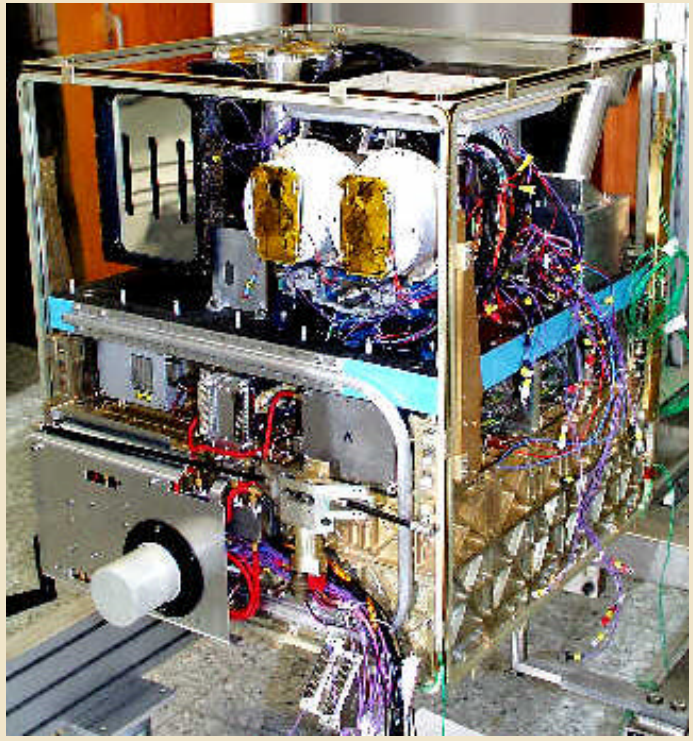
- Investigación cuantitativa de fuegos medianos y grandes
- Demostrador tecnológico

	WAOSS-B	MIR,TIR
l	600-670 nm 840-890 nm	3.4-4.2 µm 8.5-9.3 µm
Focal	21.65 mm	46.39 mm
F#	2.8	2.0
Resolución	152 m	304 m
Ancho imagen	438 km	156 km

BIRD: esquema

Lanzamiento previsto: otoño 2000





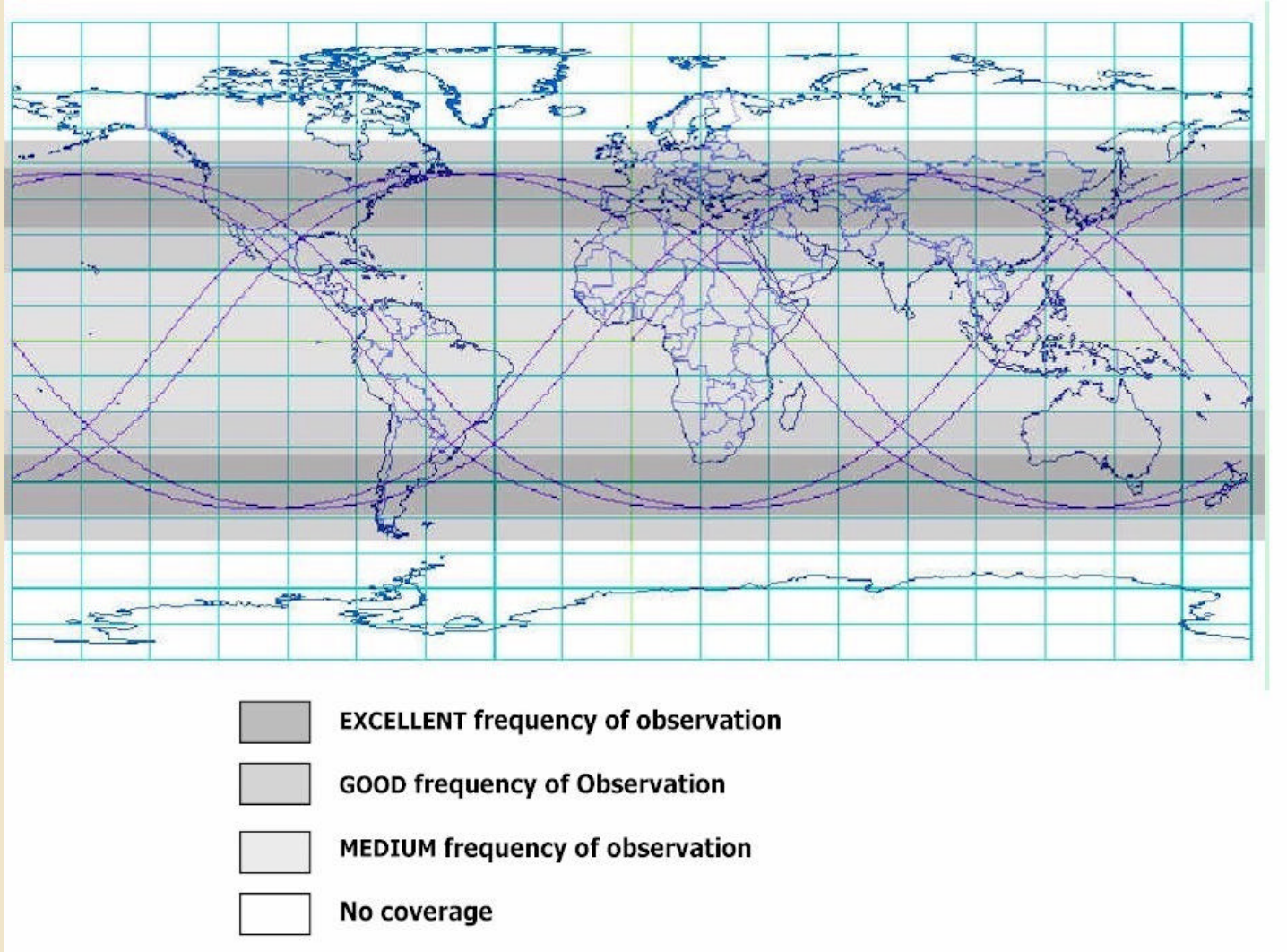
FUEGO

Constelación de 12 satélites que deben proporcionar:

- Alerta temprana (15' desde la declaración del fuego) y precisa (⌖300m)
- Seguimiento del incendio (precisión 50 m)
- Cobertura: Fundamentalmente Mediterráneo (300000 km^2)

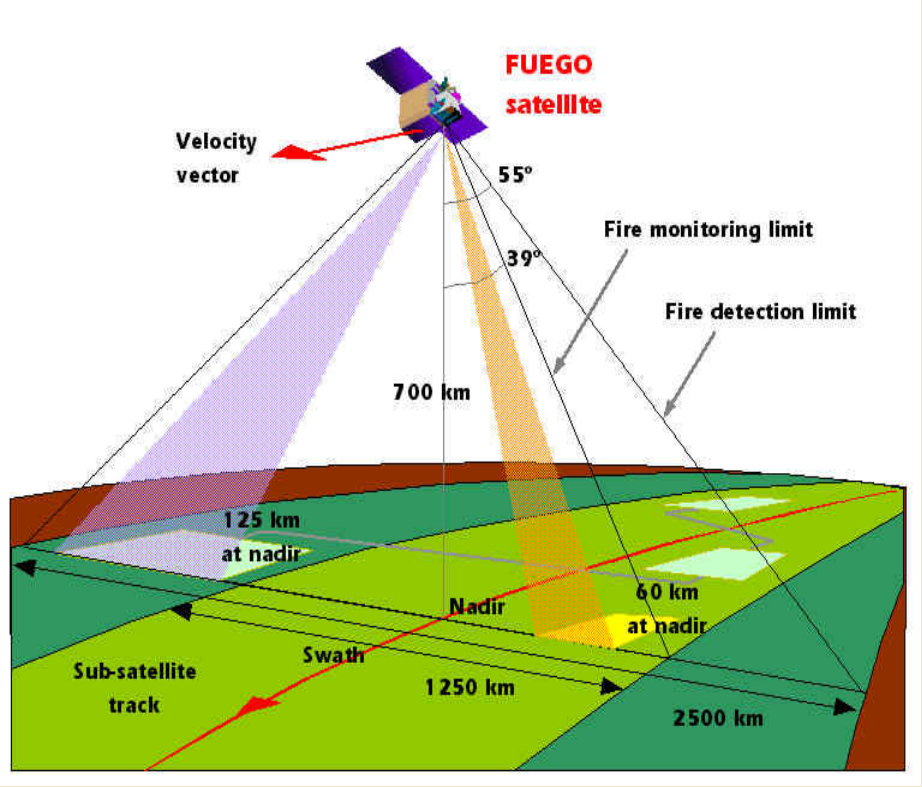
	MIR	TIR	VIS-NIR
l	3.45-4.15 µm	8-12 µm	0.58-0.68 µm 0.76-0.90 µm
Focal	87.5 mm	71.2 mm	227.5 mm
F#	1.6	1.2	6.5
Resolución	128 m	284 m	20 m
Ancho imagen	176 km	176 km	176 km

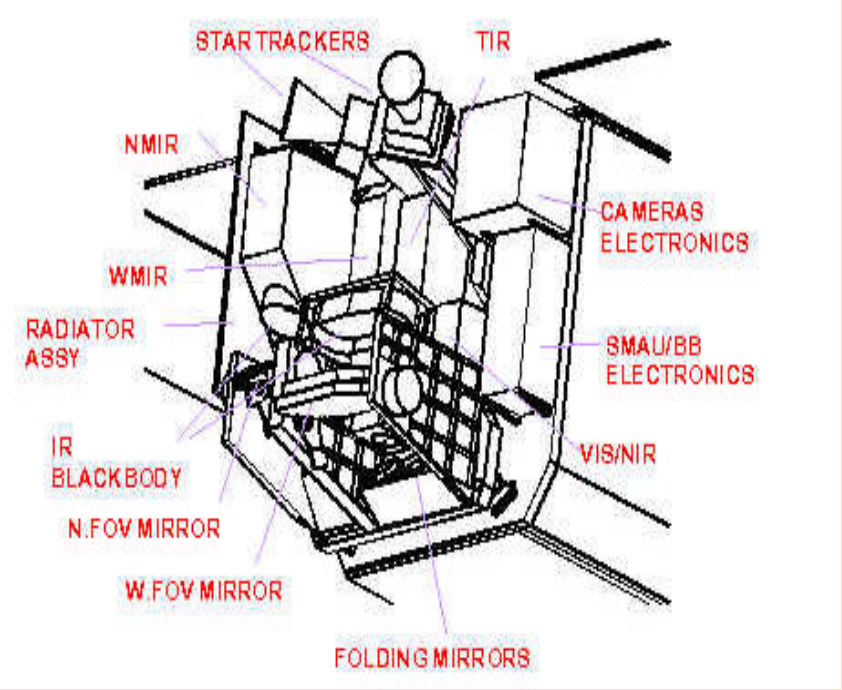
FUEGO: Cobertura



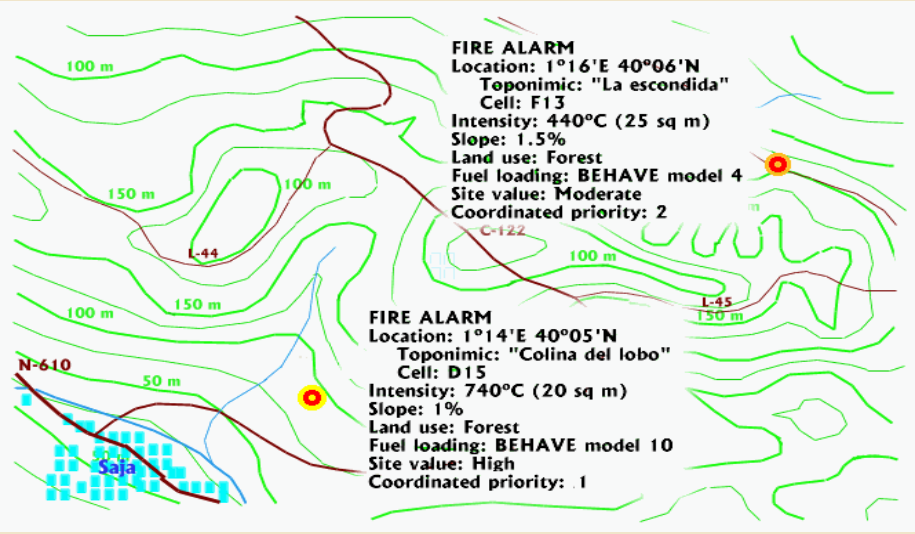
FUEGO: esquema

Lanzamiento previsto: 2004

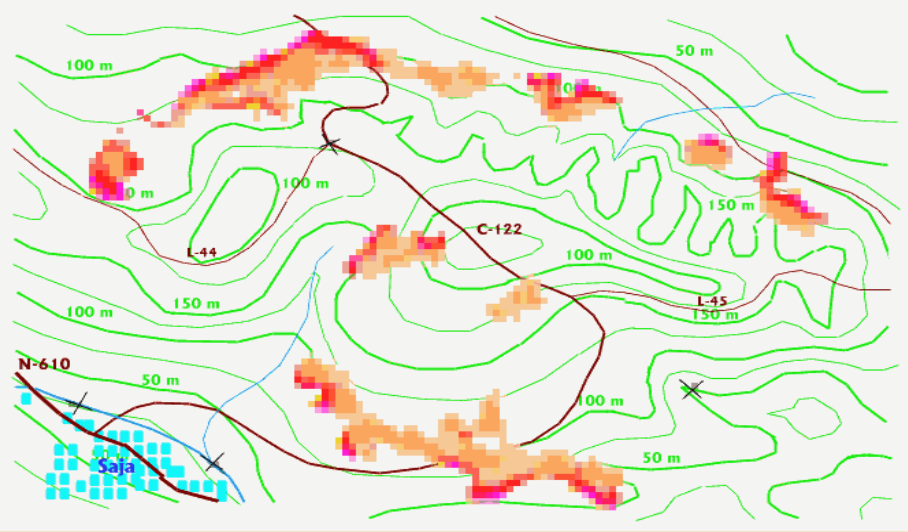




FUEGO: productos



Detección

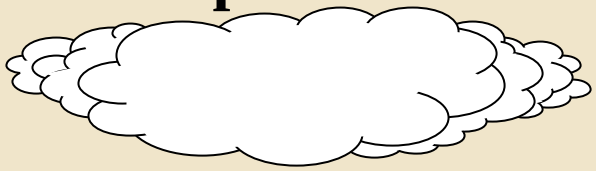


Monitorización

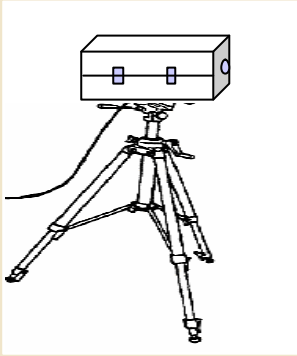
FUEGO: simulación

Helicopter

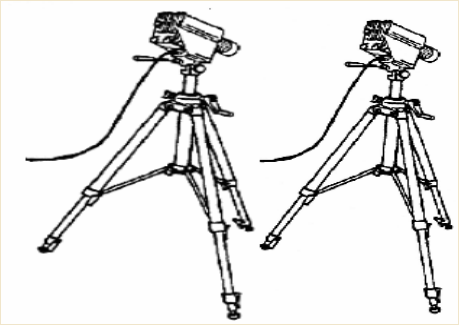
Combustion gases and particles



Spectroradiometer
FTIR



IR Cameras (SW, LW)



Fire and burned soil