

---

# Radiocomunicación

## Tema 1

### Fundamentos de los sistemas de radiocomunicación

# Tema 1. Fundamentos de los sistemas de radiocomunicación

---

1. Radiocomunicación: términos y definiciones.
2. Servicios de radiocomunicación.
3. Estaciones radioeléctricas.
4. Modos de explotación.
5. Gestión de frecuencias radioeléctricas.
6. Parámetros y características de la radiocomunicación.
7. Modelo energético del sistema de radiocomunicación.
8. Clasificación de modos de propagación

# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (I)

---

## Radiocomunicación:

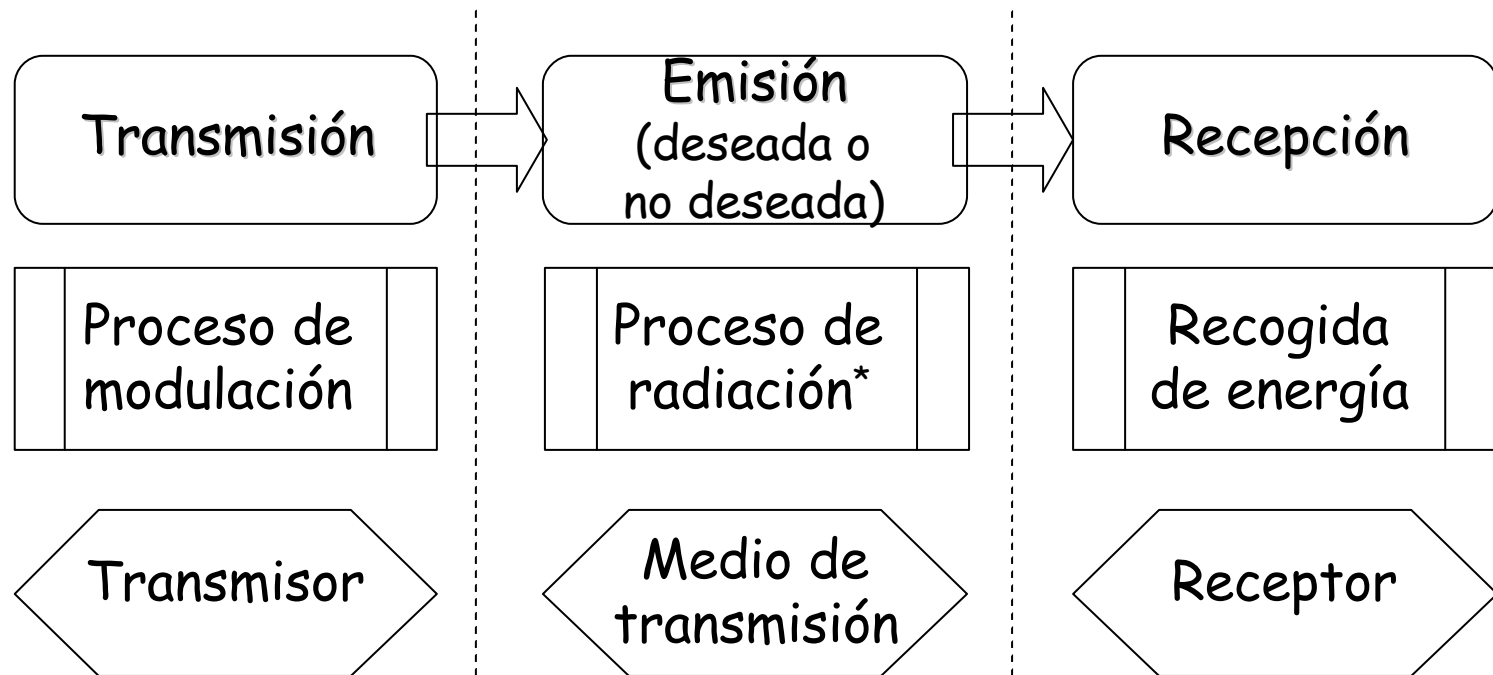
Telecomunicación realizada por medio de ondas radioeléctricas (Ondas EM que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior es de 3000 GHz).

## Tipos de radiocomunicación:

1. Radiocomunicación espacial (hace uso de los elementos situados en el espacio).
2. Radioastronomía.
3. Radiocomunicación terrenal.

# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (II)

## Técnica de radiocomunicación:



\* Radiación: flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas

# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (III)

---

## Contribuciones a la radiocomunicación:

- Positiva: transmisor, receptor y antenas.
- Negativa: medio de transmisión.
  - Introduce pérdidas.
  - Introduce perturbaciones:
    - Distorsión.
    - Ruido.
    - Interferencias.

## Umbral de calidad:

Relación mínima admisible entre la potencia de la señal útil y la potencia equivalente de ruido e interferencia.

- Las potencias dependen de factores que varían con:
  - Frecuencia y anchura de banda de la emisión.
  - Localidad y características del entorno de recepción.
  - Hora del día y estación del año.

# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (IV)

---

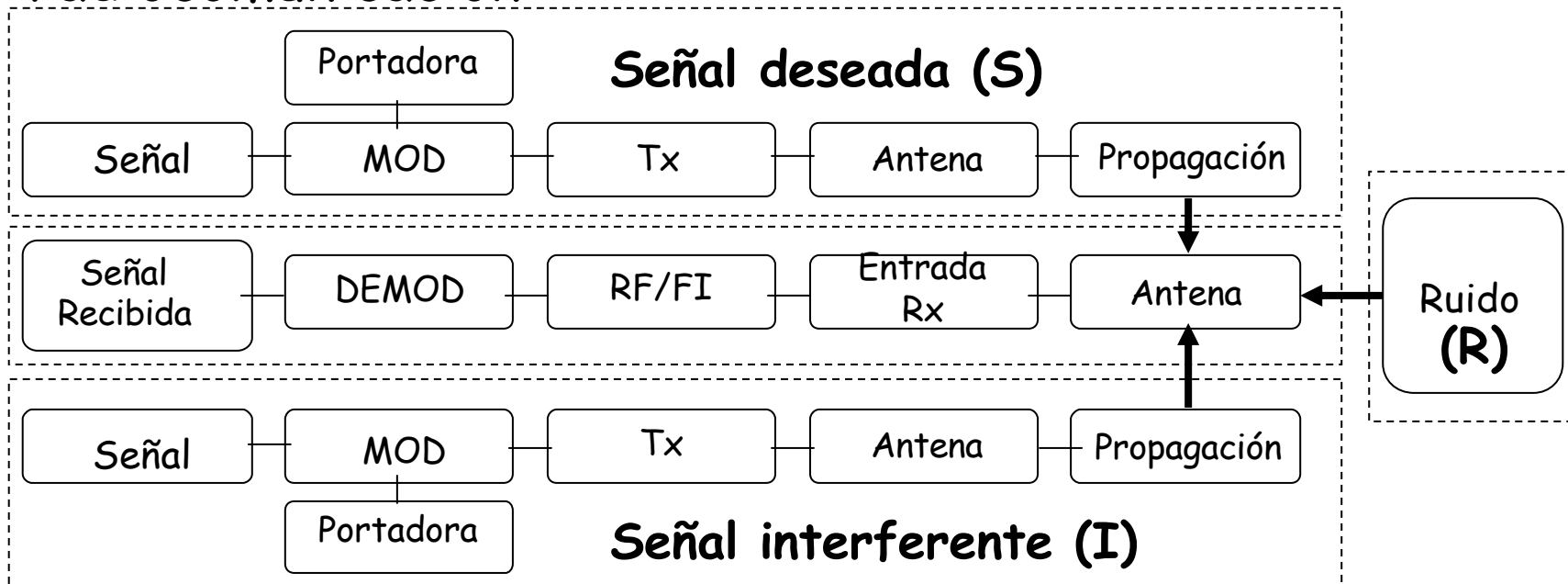
## Cobertura:

Alcance útil de una emisión radioeléctrica, dependiente del tipo e intensidad de las perturbaciones.

- Cobertura limitada por ruido.
  - Umbral definido como la mínima señal necesaria para una calidad de recepción determinada.
- Cobertura limitada por interferencia.
  - Alcance de cobertura función de la relación de protección.
- La distorsión puede degradar la señal, impidiendo la recuperación de la información.
  - Compensada con técnicas de diversidad y ecualización.

# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (V)

Modelo básico de estudio y análisis de un sistema de radiocomunicación:



# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (VI)

---

Modelo básico (factores y parámetros básicos):

1. **Transmisor de señal deseada (S) o interferente (I):**
  - **Portadora:** estabilidad de frecuencia.
  - **Modulación (MOD):** dispersión de energía.
  - **Transmisor (Tx):** potencia, anchura de banda, densidad espectral.
  - **Antena transmisora (Antena):** diagrama de radiación, polarización.
  - **Propagación:** atenuación espacial, absorción, desvanecimiento, efecto Doppler, despolarización.



# 1. Radiocomunicación: términos y definiciones (VII)

---

Modelo básico (factores y parámetros básicos):

## 2. Receptor:

- **Antena receptora (Antena):** diagrama de radiación, polarización.
- **Entrada del receptor (Entrada Rx):** factor de ruido,  $C/N$ ,  $C/I$ .
- **RF/FI:** estabilidad, selectividad, respuestas no deseadas.
- **Demodulador (DEMODO):**  $S/N$ ,  $S/I$ .

3. **Ruido:** fuente, naturaleza, propagación, densidad espectral.

## 2. Servicios de radiocomunicación

---

### Servicio de radiocomunicación:

Servicio que implica la emisión y/o recepción de ondas radioeléctricas para la transmisión/recepción de información, para la cobertura de necesidades de telecomunicación o de tipo científico o industrial.

### Clasificación de los servicios:

1. Por el tipo de radiocomunicación: fijo, móvil, radiodifusión.
2. Por sus aplicaciones: radiodeterminación, radioastronomía, frecuencias patrón y señales horarias, aficionados, ...

# 3. Estaciones radioeléctricas

---

## Estación radioeléctrica:

Conjunto de uno o más transmisores o una combinación de los mismos (incluyendo instalaciones accesorias) necesarios para establecer un servicio de radiocomunicación en un lugar determinado.

## Clasificación de las estaciones:

- Estación terrenal.
- Estación espacial.
- Estación terrena.
- Estación fija.
- Estación móvil.

# 4. Modos de explotación

---

- Explotación símplex: permite transmitir en uno u otro sentido de un canal de radiocomunicación, de forma alternativa. Requiere una o dos frecuencias.
- Explotación dúplex: permite la transmisión simultánea en los dos sentidos de comunicación de un canal de radiocomunicación. Requiere dos frecuencias.
- Explotación semidúplex: modo símplex en un punto del enlace de radiocomunicación y dúplex en otro u otros. Requiere dos frecuencias.

# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (I)

---

## Consideraciones generales:

- Asignación de frecuencias a las estaciones de radio es un proceso complejo  $\Rightarrow$  cuidadosa planificación.
  - Necesidad de usar una frecuencia para cada radioenlace.
  - Gran demanda de estos servicios.
  - Problemas de interferencias.
- El espectro radioeléctrico es un recurso reutilizable y escaso.
  - Deben poder utilizarlo el mayor número de estaciones con un mínimo de perturbaciones mutuas.
- Las ondas no tienen fronteras  $\Rightarrow$  carácter internacional.

# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (II)

Atribución, adjudicación y asignación de bandas de frecuencias.

- El espectro radioeléctrico se divide en Bandas de Frecuencias que se atribuyen a los distintos servicios.
  - Las atribuciones las realiza la UIT-R.
    - Las Conferencias de Radiocomunicaciones establecen los Planes de Adjudicación de Frecuencias que habilitan frecuencias a usar por los distintos servicios.
    - Las Administraciones de los distintos países asignan frecuencias y bandas a las estaciones de cada servicio.

# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (III)

Banda de frecuencias asignada a una estación:

Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación.

- Anchura de banda = anchura de banda necesaria + doble del valor absoluto de la tolerancia en frecuencia.
  - Satélites: incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler que se puede producir con relación a un punto de la superficie de la Tierra:  $v$  relativa radial respecto a estación terrena /  $\lambda$ .

Frecuencia asignada a una estación:

Centro de la banda de frecuencias asignada.

# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (IV)

Nomenclatura de las bandas de frecuencias:

Número de la banda	Denominación	Gama de frecuencias	Designación métrica
4	VLF	3 - 30 kHz	Ondas miriamétricas
5	LF	30 - 300 kHz	Ondas kilométricas
6	MF	300 - 3000 kHz	Ondas hectométricas
7	HF	3 - 30 MHz	Ondas decamétricas
8	VHF	30 - 300 MHz	Ondas métricas
9	UHF	300 - 3000 MHz	Ondas decimétricas
10	SHF	3 - 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 - 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 - 3000 GHz	Ondas decimilimétricas

La Banda N se extiende de  $0,3 \times 10^N$  a  $3 \times 10^N$  Hz.



# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (V)

Nomenclatura especiales de bandas de frecuencias:

## Radiodifusión y TV

Banda I	41 - 68 MHz
Banda II	87,5 - 108 MHz
Banda III	162 - 230 MHz
Banda IV	470 - 582 MHz
Banda V	582 - 960 MHz
Banda VI	12 GHz

## Microondas

L	1 - 2 GHz
S	2 - 4 GHz
C	4 - 8 GHz
X	8 - 12 GHz
Ku	12 - 18 GHz
K	18 - 27 GHz
Ks	27 - 40 GHz
mm	40 - 300 GHz

# 5. Gestión de las frecuencias radioeléctricas (VI)

## Cuadro de Atribución de Frecuencias:

[www.sgc.mfom.es/espectro/tablas\\_cnaf/bandasfr.htm](http://www.sgc.mfom.es/espectro/tablas_cnaf/bandasfr.htm)

- Instrumento del Reglamento de Radiocomunicaciones en el que se inspira la regulación de la utilización de frecuencias.
- División del mundo en 3 regiones:
  - Región 1: Europa, África, Siberia y algunos países de Oriente Medio.
  - Región 2: América del Norte y América del Sur.
  - Región 3: Australia, Sur-Sureste Asiático y parte del Pacífico Sur.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (I)

---

## Parámetros de emisión:

1. Clase de emisión: conjunto de características de una emisión (tipo de modulación de la portadora, naturaleza de la señal moduladora, tipo de información que se transmite, ...).
2. Anchura de banda necesaria para una clase de emisión dada: anchura de banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad de transmisión y con la calidad requerida en condiciones especificadas.
3. Anchura de banda ocupada para una clase de emisión dada: anchura de banda de frecuencias en cuyos límites se emitan potencias medias iguales a un porcentaje especificado.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (II)

## Parámetros de emisión (cont.):

4. Tolerancia en frecuencia de una emisión: desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una emisión.
5. Emisiones no deseadas: emisiones, controlables pero difícilmente suprimibles, producidas por un equipo como consecuencia de imperfecciones del mismo.
  - Emisiones fuera de banda: se producen, como consecuencia del proceso de modulación, en una o varias frecuencias fuera de la anchura de banda necesaria. Su eliminación mediante filtros afecta a la calidad de la señal.
  - Emisiones no esenciales: se producen en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria, pudiendo reducirse su nivel sin influir en la transmisión de la información.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (III)

## Parámetros de emisión (cont.):

### 6. Potencia de un transmisor según la clase de emisión:

- Potencia en la cresta de la envolvente o potencia de cresta, PEP: media de la potencia suministrada por el transmisor a la antena en condiciones normales de funcionamiento, durante un ciclo de radiofrecuencia tomado en el valor más alto de la envolvente de modulación.
- Potencia media de la onda modulada,  $P_m$ : valor medio de la potencia suministrada en las condiciones anteriores, evaluado en un intervalo de tiempo suficientemente largo en comparación con el período de la frecuencia más baja de la señal moduladora.
- Potencia de portadora,  $P_c$ : valor medio de la potencia suministrada, en las condiciones anteriores, durante un ciclo de radiofrecuencia en ausencia de modulación.
- PIRE Y PRA.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (IV)

## Parámetros de emisión (cont.):

7. Polarización de la onda: variación temporal del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio vista desde la fuente.
  - Polarización horizontal: el vector campo eléctrico se halla en un plano horizontal.
  - Polarización vertical: el vector campo eléctrico se halla en un plano vertical.
  - Polarización oblicua: el vector campo eléctrico tiene una inclinación de  $45^\circ$  respecto de la horizontal
  - Polarización circular: el extremo del vector campo eléctrico describe un círculo.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (V)

## Denominación de las emisiones:

1. Anchura de banda necesaria: utiliza 4 caracteres (3 cifras y una letra que ocupa la posición decimal).
  - H entre 0,001 y 999 Hz.
    - 400 Hz → 400H
  - K entre 1,00 y 999 kHz.
    - 2,4 kHz → 2K40
    - 180,4 kHz → 180K
    - 180,6 kHz → 181K
  - M entre 1,00 y 999 MHz.
    - 1,25 MHz → 1M25
    - 10 MHz → 10M0
  - G entre 1,00 y 999 GHz.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (VI)

## Denominación de las emisiones (cont):

2. Clase de emisión: 3 símbolos que describen las características esenciales de la emisión. Opcionalmente 2 símbolos para indicar características adicionales.
- 1er símbolo: tipo de modulación de la portadora principal: N (ninguna), A (amplitud DBL), H (BLU portadora completa), C (banda lateral residual), F (frecuencia).
  - 2º símbolo: naturaleza de la señal moduladora: 0 (ninguna), 1 (canal digital), 3 (canal analógico), 8 (dos canales múltiplex).
  - 3er símbolo: tipo de información: N (ninguna), D (datos), E (fonía), F (video).
  - 4º símbolo: detalles sobre la señal moduladora: J (sonido calidad comercial), G (sonido calidad radiodifusión monoaural), H (sonido calidad radiodifusión estéreo), N (video en color).
  - 5º símbolo: características del multiplaje si la señal moduladora es múltiplex: N (ninguno), F (frecuencia), T (tiempo)



# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (VII)

---

## Características de propagación:

- Onda de superficie: largos alcances y gran estabilidad de las señales.  $f < 30$  MHz.
- Onda ionosférica: grandes alcances con cierto grado de inestabilidad de las señales.  $3 \text{ MHz} < f < 30 \text{ MHz}$ .
- Onda espacial: estable aunque limitada al alcance de la visión óptica entre transmisor y receptor.  $f > 30$  MHz.
  - Onda directa.
  - Onda reflejada.
  - Ondas de multitrayecto.
- Onda de dispersión troposférica: pérdidas muy elevadas y desvanecimientos profundos.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (VIII)

## Parámetros y características de recepción:

1. Intensidad de campo mínima utilizable o campo mínimo necesario o campo a proteger: valor mínimo del campo que permite obtener una determinada calidad de recepción. Depende de la sensibilidad del receptor, del rendimiento de la antena y del ruido.
2. Intensidad de campo utilizable: tiene en cuenta, además del campo mínimo, los efectos de las interferencias de otros transmisores (reales o previstas).
  - Si  $f < 1 \text{ GHz}$   $\rightarrow \mu\text{V/m}$  ó dBu.
  - Si  $f > 1 \text{ GHz}$   $\rightarrow \text{dBW}$ , dBm, dBW/m<sup>2</sup> ó dBm/m<sup>2</sup>.

# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (IX)

Parámetros y características de recepción (cont.):

3. Condiciones de recepción dependientes de:
  - La instalación de recepción.
  - El tipo de transmisión.
  - La banda de frecuencias.
  - Las condiciones de explotación (zona, hora, época del año).
4. Interferencia: efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones, sobre la recepción de un sistema, que degrada la calidad y/o falsea o pierde la información a obtener en ausencia de dicha señal.
5. Relación de protección en RF: valor mínimo de la relación entre la señal deseada y la no deseada a la entrada del receptor, determinada bajo condiciones concretas, necesaria para obtener una calidad de recepción especificada a la salida del receptor durante un porcentaje de tiempo especificado.

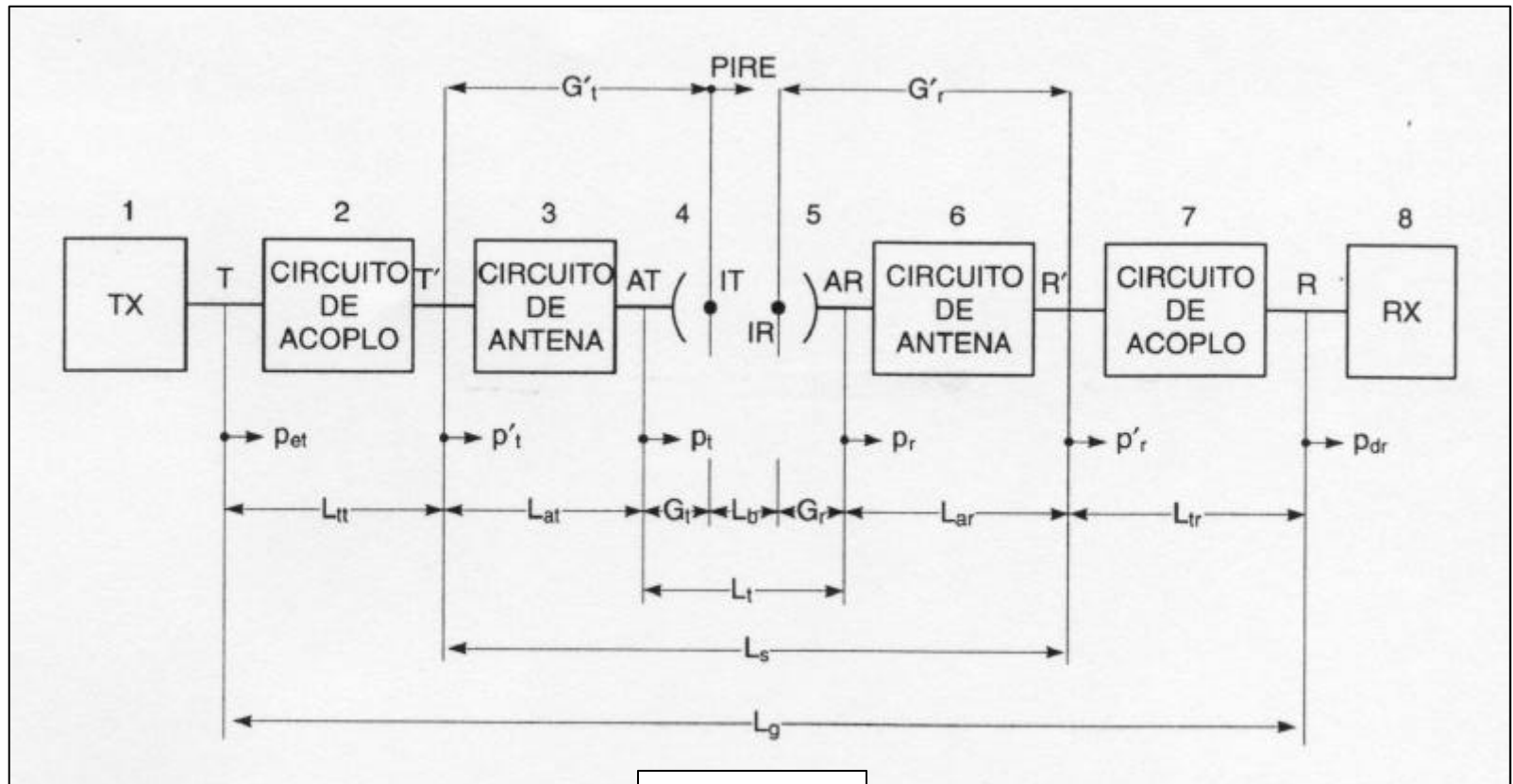
# 6. Parámetros y características de una radiocomunicación (X)

---

## Parámetros de explotación:

1. Zona de cobertura de un transmisor: zona en la que la intensidad de campo producida por el transmisor es mayor o igual que un umbral determinado. Parámetro variable.
2. Zona de servicio: zona para la que la emisión goza de un cierto nivel de protección frente a señales interferentes. Concepto administrativo.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (I)



# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (II)

---

## Constitución del modelo.

- En el lado de transmisión:
  1. **TX:** transmisor.
  2. **Circuitos de acoplo de antena:** alimentador de antena, multiplexores. Entre ambos se define el interfaz T.
  3. **Circuito de antena:** representa los elementos disipativos de la antena.
  4. **Antena ideal.**

El conjunto 3-4 constituye la antena física real. Entre 2 y 3-4 se define el interfaz real T' y entre 3 y 4 el interfaz virtual AT.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (III)

---

## Constitución del modelo (cont.).

- En el lado de recepción:
  5. **Antena ideal** a través de cuyo interfaz virtual de antena isótropa de recepción (IR) entra la señal al sistema receptor.
  6. **Circuitos de antena** separado del módulo anterior por el interfaz virtual AR, y que representa los elementos disipativos de la antena de recepción. El conjunto 5-6 forma la antena receptora real.
  7. **Circuitos de acoplo del receptor** separados de la antena por el interfaz R' y constituidos por duplexores, filtros, línea de alimentación, ...
  8. **RX**: receptor. El interfaz entre el circuito de acoplo y el receptor es el R.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (IV)

---

Potencias (en dBm) en el lado de transmisión:

- $P_{et}$ , potencia entregada por el transmisor.
- $P_+'$ , potencia entregada a la antena real.
- $P_+$ , potencia ficticia entregada a la antena ideal, sin pérdidas, equivalente a la antena real.  
Potencia radiada.
- PIRE, potencia isótropa radiada equivalente en dirección al receptor.



# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (V)

---

Potencias (en dBm) en el lado de recepción:

- $P_i$ , potencia ficticia disponible en una antena receptora isótropa.
- $P_r$ , potencia ficticia disponible en los terminales de la antena receptora ideal equivalente a la antena receptora real.
- $P_r'$ , potencia disponible a la entrada de los circuitos de acoplo al receptor.
- $P_{dr}$ , potencia disponible a la entrada del receptor.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (VI)

Pérdidas, en dB, dependientes de los elementos pasivos de la instalación:

- $L_{\text{tt}}$ , pérdidas en los circuitos terminales del transmisor, entre T y T'.
- $L_{\text{at}}=10.\log(100/\eta_{\text{at}})$ , pérdidas en la antena de transmisión, entre T' y AT.
- $L_{\text{tr}}$ , pérdidas en los circuitos terminales del receptor, entre R' y R.
- $L_{\text{ar}}=10.\log(100/\eta_{\text{ar}})$ , pérdidas en la antena de recepción, entre AR y R'.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (VII)

---

Pérdidas, en dB, del sistema:

- $L_b$ , pérdida básica de propagación, entre antenas isotrópicas. Función de la frecuencia, distancia, altura de antenas, modo y medio de propagación.
- $L_t$ , pérdida de transmisión entre antenas ideales.
- $L_s$ , pérdida del sistema, definida entre los interfaces de las antenas reales.
- $L_g$ , pérdida global, definida entre los interfaces T y R.

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (VIII)

Ganancias, en dB, en el modelo:

- $G_+'$ , ganancia de potencia de la antena transmisora.
- $G_+$ , ganancia directiva de la antena transmisora.
- $G_r'$ , ganancia de potencia de la antena receptora.
- $G_r$ , ganancia directiva de la antena receptora.

Relaciones entre pérdidas y ganancias:

$$L_t = L_b - G_t - G_r$$

$$L_s = L_t + L_{at} + L_{ar}$$

$$L_g = L_s + L_{tt} + L_{tr}$$

# 7. Modelo energético de un sistema de radiocomunicación (IX)

## Balance de un enlace radioeléctrico.

Relación que expresa la potencia disponible en el receptor en función de la potencia entregada por el transmisor.

$$P_{dr} = P_{et} - L_{tt} - L_{at} + G_t - L_b + G_r - L_{ar} - L_{tr}$$

- Potencia isótropa de recepción,  $P_{iso}$ : potencia disponible en bornas de la antena receptora.

$$P_{iso} = P_{et} - L_{tt} - L_{at} + G_t - L_b + G_r$$

# 8. Clasificación de modos de propagación (I)

Banda	Modo de Propagación	Alcance típico	Tiempo de disponibilidad	Utilización típica
VLF	Guía ondas tierra ionosfera		Todas horas	Radionavegación Servicio móvil marítimo
LF	Onda de superficie	>1000 km (sobre agua)	Todas horas	Frecuencias patrón
MF	Onda de superficie	Distancias cortas (<100 km)	Todas horas	Radiodifusión
	Onda ionosférica	Distancias largas (>500 km)	Noche	Radiodifusión
HF	Onda ionosférica (3-8 MHz)	<300 km	Día	Servicio fijo
	(3-12 MHz)	>500 km	Noche	Servicios móviles
	(6-25 MHz)	>500 km	Día	Radiodifusión
	Onda de superficie	Distancias cortas (<100 km)	Todas horas	

# 8. Clasificación de modos de propagación (II)

Banda	Modo de Propagación	Alcance típico	Tiempo de disponibilidad	Utilización típica
VHF	Onda espacial (troposférica)	Visión directa (50 km)	Todas horas	Servicios móviles Radiodifusión sonora y TV Radionavegación Servicio fijo
	Dispersión ionosférica (f<50 MHz)	2000 km		
UHF	Onda espacial (troposférica)	Visión directa (40 km)		Servicio fijo (radioenlaces) Servicios móviles Radiodifusión Servicio fijo
	Dispersión troposférica (f<500 MHz)	600 km		
SHF	Onda espacial (troposférica)	Visión directa (40 km)		Servicio fijo (radioenlaces terrenales) Telecomunicación y radiodifusión por satélite Radionavegación