



Agencia de Cooperación Internacional del Japón



Plan de Asignación de Frecuencias y Propagación de Ondas Electromagnéticas

Curso IV – TV digital ISDB-T (UdelaR)

Nobuyuki Sato
(Experto JICA en Uruguay)
Montevideo, 09 abril 2014

Copyright NHK 2011

Contenido del curso

- (1) Generalidades y características de la Televisión Digital Terrestre y el ISDB-T (Mar 12)
- (2) Tecnología base sobre ISDB-T (Mar 19)
- Curso cancelado (Mar 26)
- (3) Teoría básica sobre ISDB-T (Abr 02)
- (4) Asignación de Frecuencias y Propagación de Ondas EM (Abr 09)**
- (5) NHK y su nueva tecnología (May 07)
- (6) Sistemas de transmisión y recepción (May 14)
(se incluye “mediciones”)

Plan para traspaso de Tx analógica a digital

- (1) Elaboración del Plan Maestro
- (2) Asignación de Frecuencias -----(autoridades, operadores)
- (3) Instalación equipos transmisión -----(operadores)
- (4) Difusión de receptores con sintonizador ISDB-T (consumidores)
- (5) Apagón analógico -----(autoridades)

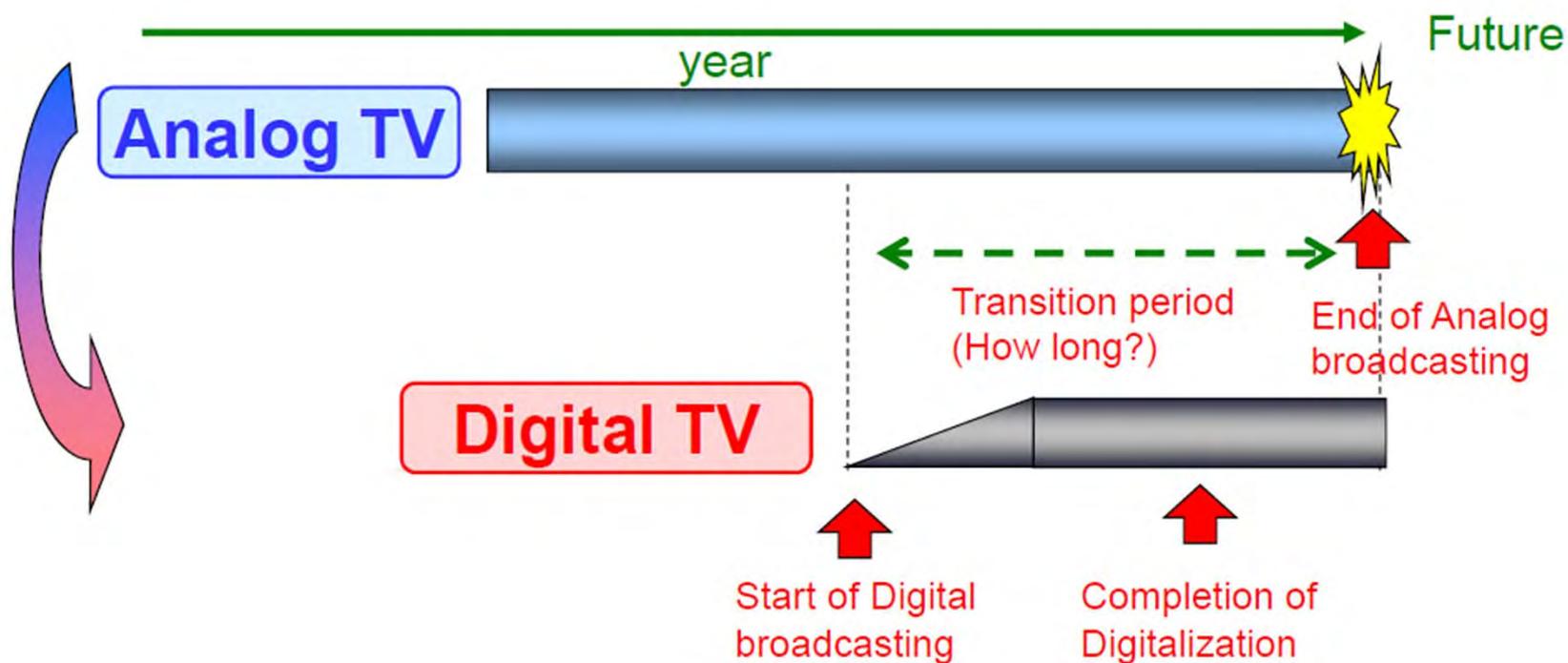
Condiciones previas – caso Japón

- Hay un período de transición desde el Analógico al Digital.
- Hay transmisión analógica y digital simultánea.
- Todos los operadores analógicos pasan a digital.
- El área de cobertura digital es similar al analógico existente.
- Para la transmisión digital se utiliza la banda UHF.
- El ancho de canal digital es de 6 MHz, al igual que el analógico.
- Operadores preparan el plan de asignaciones para pasar a TDT.
- En Japón se utiliza la norma ISDB-T.

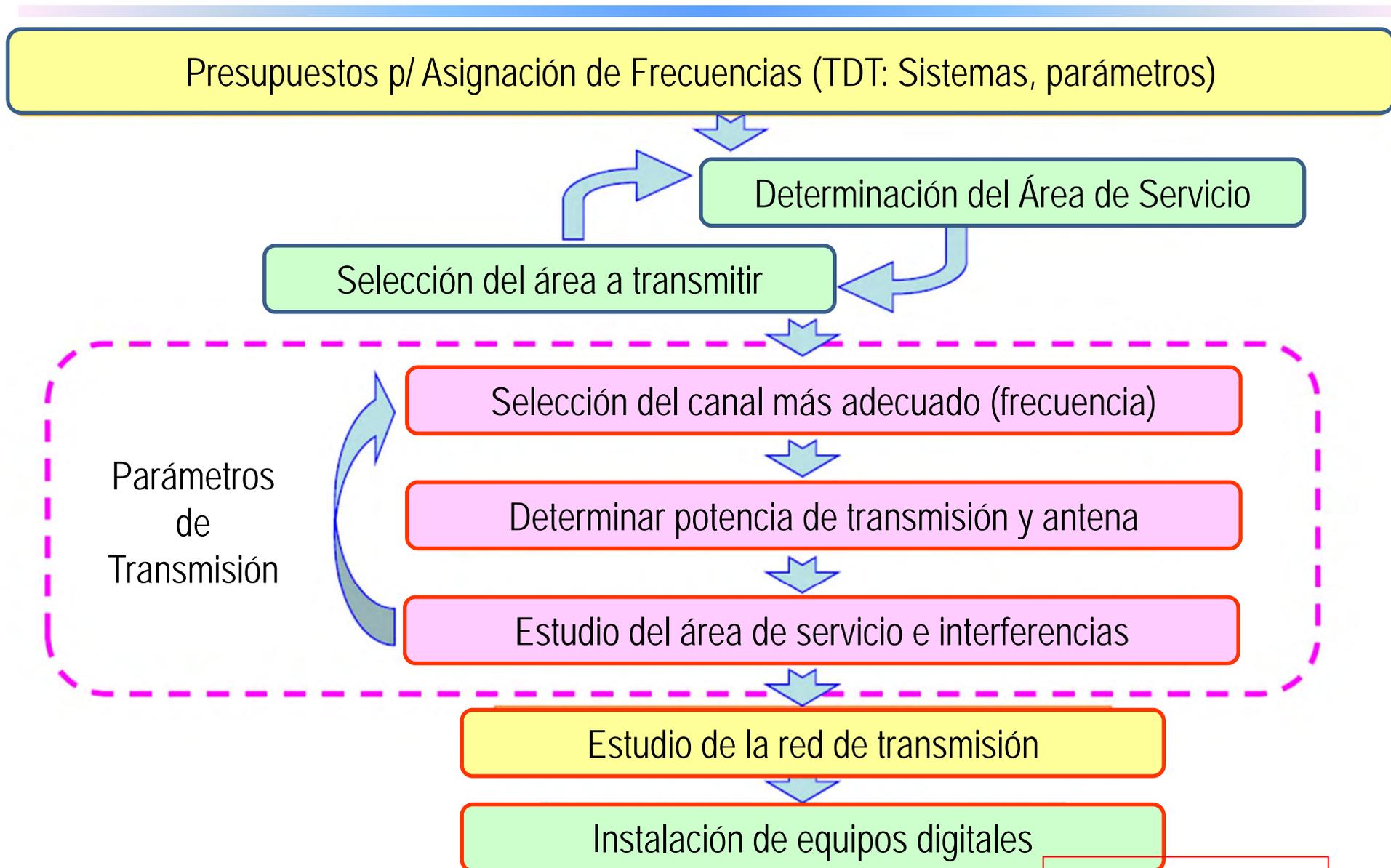
Plan Maestro

Cronograma de la digitalización

- Q. Cuál es la fecha de inicio de la transmisión digital?
- Q. Cuál es la fecha de finalización de la transmisión analógica?
- Q. Las transmisiones analógicas y digitales van a operar simultáneamente en un período determinado?



Resumen del Proceso



Condiciones previas para la Asig. Frecuencias

Parámetros OFDM adoptados en Japón.

Mode	Mode1	Mode2	Mode3(currently in operation)
Number of Segments	13		
Bandwidth [kHz]	5575	5573	5572
	$13 \times (6000 / 14) + \Delta f$		
Carrier Interval Δf [kHz]	3.968	1.984	0.992
Number of Carriers	1405	2809	5617
Modulation Type	QPSK	16QAM	64QAM
Symbols / Frame	204		
Effective Symbol Length [μ sec]	252	504	1008
GI(Guard Interval) Ratio	1 / 4	1 / 8	1 / 16
Inner Code	Convolution Code (1 / 2, 2 / 3, 3 / 4, 5 / 6, 7 / 8)		
Outer Code	RS(204, 188)		
Transmission Symbol Rate [Mbps]	3.651 ~ 23.234		

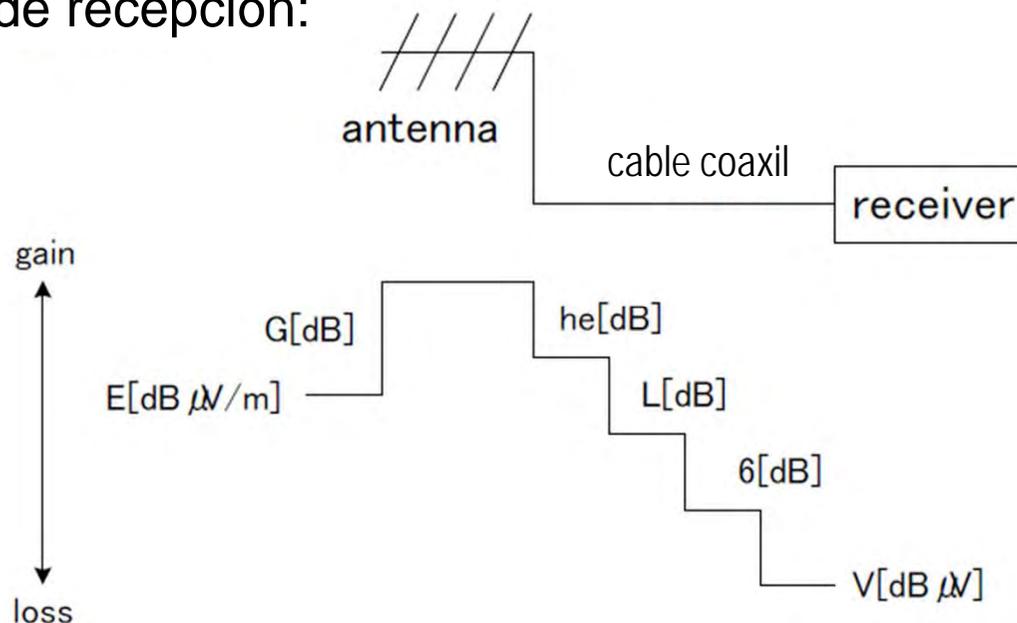
Rojo: Parametros para recepción fija.

Verde: Para receptores móviles o portátiles.

Condiciones previas para la Asig. Frecuencias

- Intensidad de campo requerida: 60 dB $\mu\text{V}/\text{m}$

- Sistema de recepción:



$$V = E + G + he - L - 6$$

- V[dB μV]: Tensión de entrada receptor
- E[dB $\mu\text{V}/\text{m}$]: Intensidad de Campo
- G[dB]: Ganancia de la antena Rx
- he[dB]: Factor de corrección $20 \log (\lambda/\pi)$
- L[dB]: Pérdida del cable coaxil
- 6[dB]: Tensión Abierto/cerrado

Condiciones previas para la Asig. Frecuencias

- Factor de protección contra interferencias (en Japón) (D / U)

Desired Wave	Undesired Wave	Frequency	Protection Ratio
Analog	Digital	Co-channel (N←N)	45 dB
		Lower adjacent channel (N←N-1)	0 dB
		Upper adjacent channel (N←N+1)	10 dB
Digital	Analog	Co-channel (N←N)	20~30 dB
		Lower adjacent channel (N←N-1)	-21 dB
		Upper adjacent channel (N←N+1)	-24 dB
	Digital	Co-channel (N←N)	28 dB
		Lower adjacent channel (N←N-1)	-26 dB
		Upper adjacent channel (N←N+1)	-29 dB

Norma analógica: NTSC

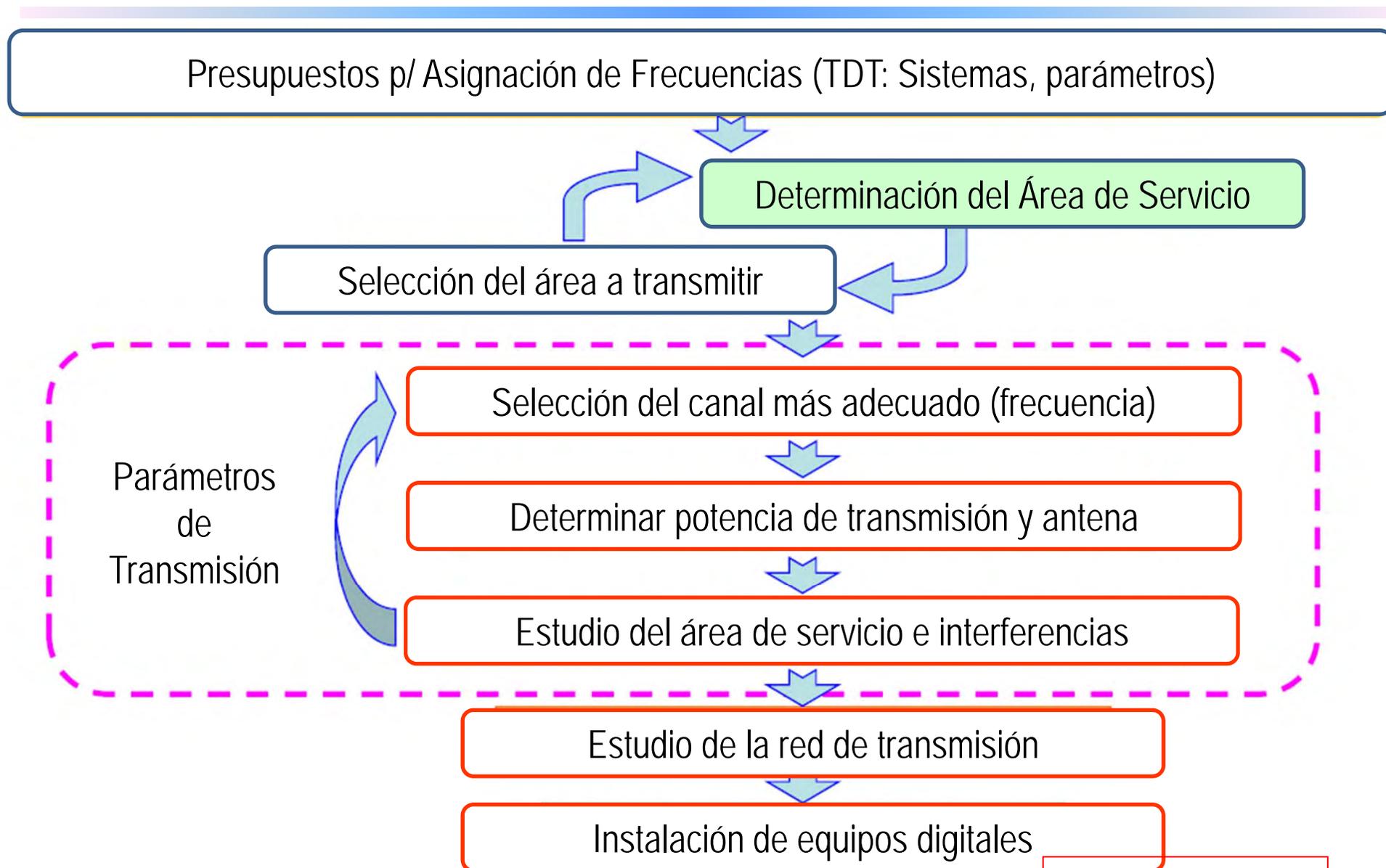
Norma Digital: ISDB-T (64 QAM, FEC 7/8)

Analógico ← Digital ---- Grado 4 (evaluación de imagen)

Digital ← Analógico ---- Resultados experimentales + margen

Digital ← Digital ----- Resultados experimentales + margen

Resumen del Proceso



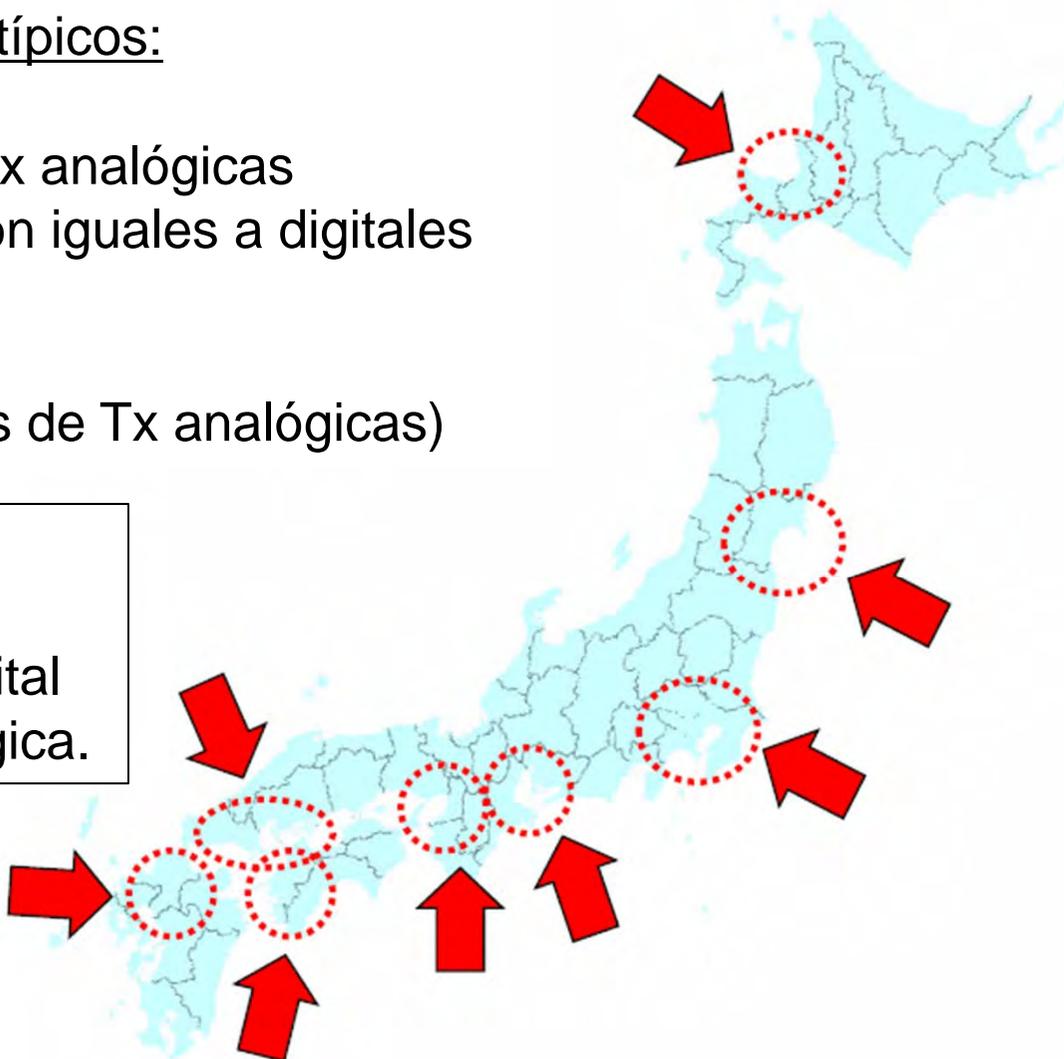
Determinación del Area de Servicio

Se presentan dos casos típicos:

- Areas cubiertas por la Tx analógicas
→ Puntos de transmisión iguales a digitales
- Areas nuevas para TDT
→ (Areas diferentes a las de Tx analógicas)

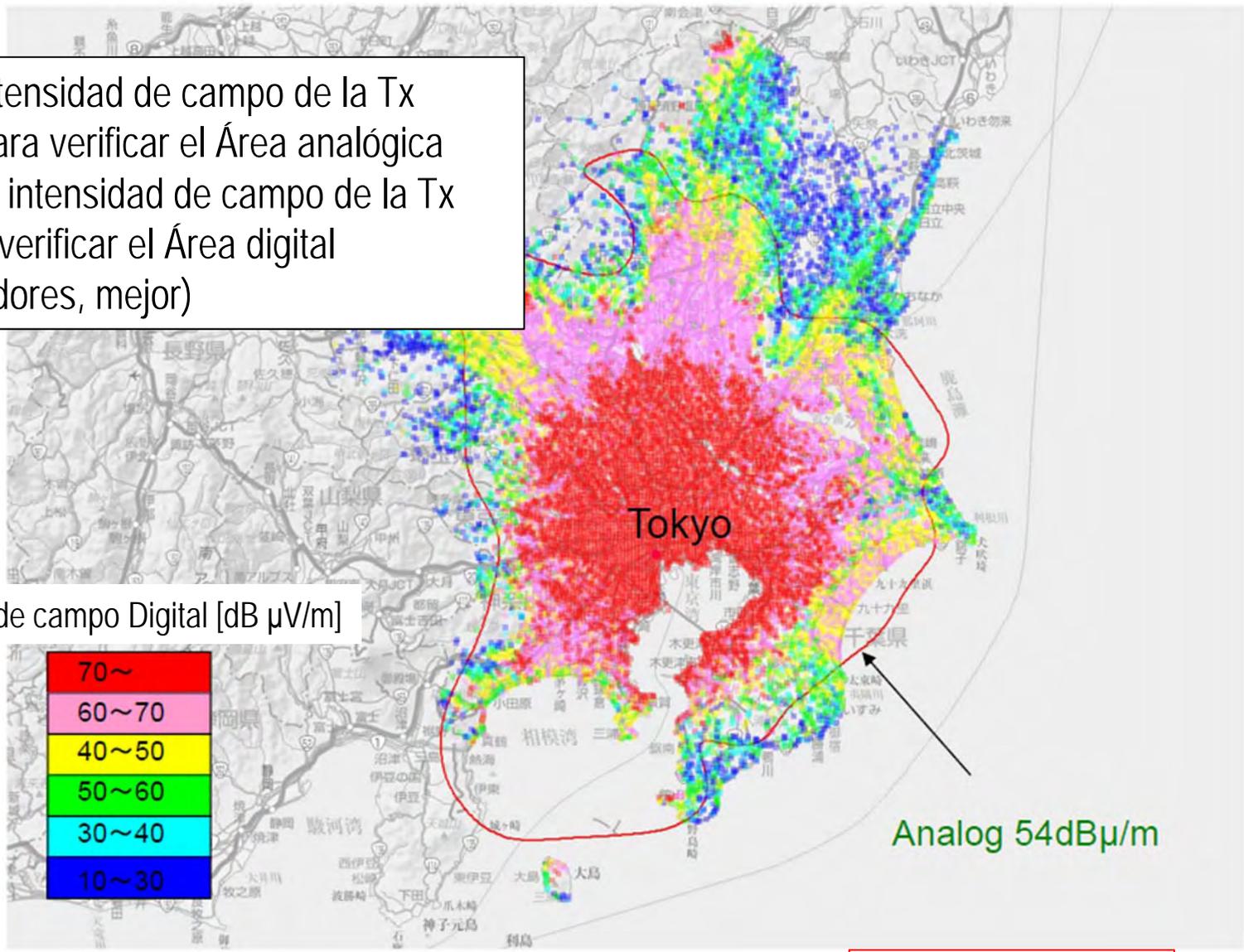
En Japón:

Todas las areas de TV digital coinciden con la Tx analógica.



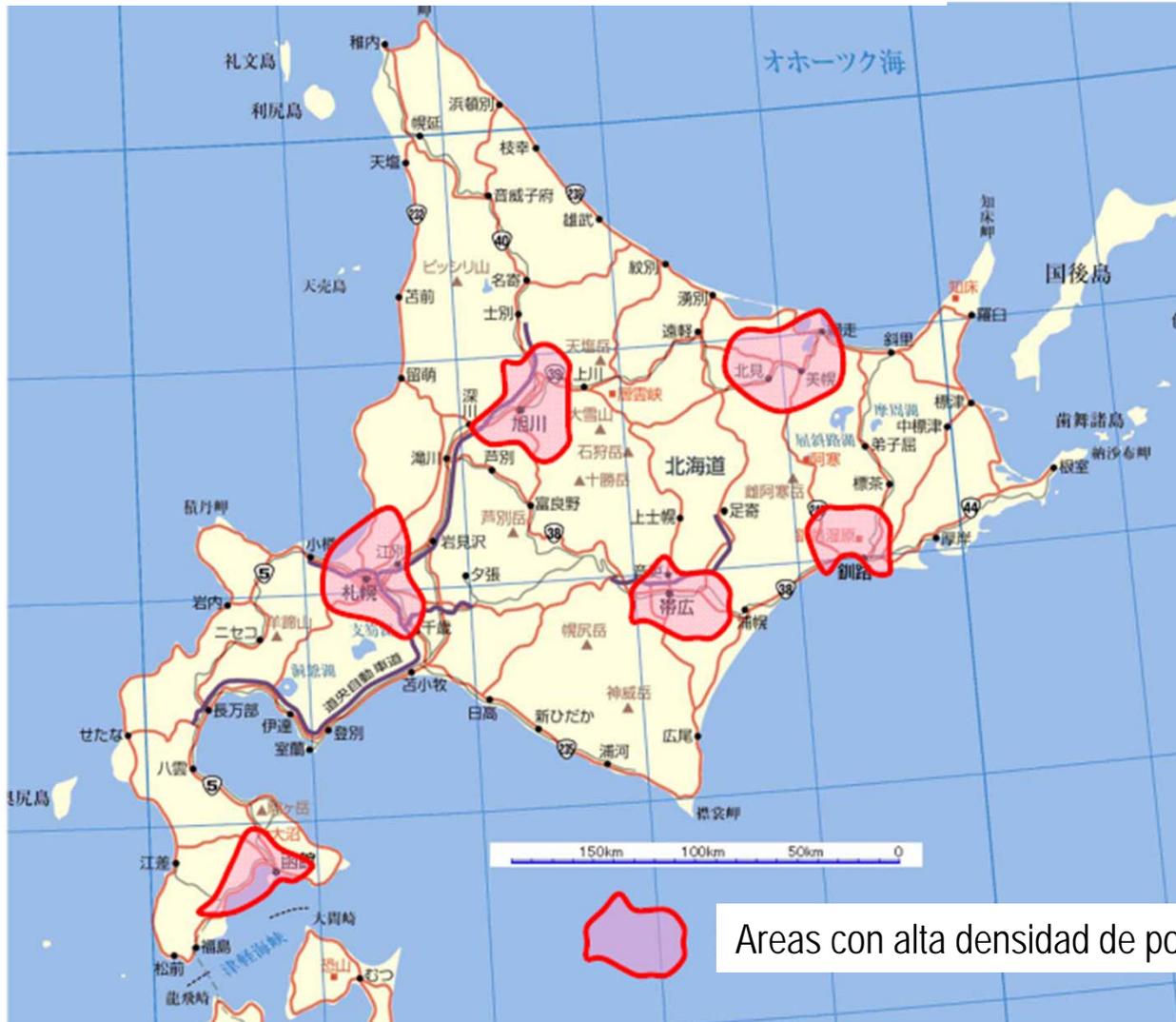
Si las areas de Tx digital coinciden con Tx Analógica..

- Medir la intensidad de campo de la Tx analógica para verificar el Área analógica
- Calcular la intensidad de campo de la Tx Digital para verificar el Área digital (con simuladores, mejor)



Si las areas de Tx digital difieren de Tx Analógica..

- Determinar las áreas de servicio



Mapa de la Isla de Hokkaido

Areas con alta densidad de población

Intensidades de C. para determinación del A.servicio

- Intensidades de campo especificadas por ley, para determinar las áreas de servicio.

○Analog

Frequency		Required field strength
VHF	High noise level area	80~88dB μ V/m (10~25mV/m)
	Medium noise level area	70~80dB μ V/m (3~10mV/m)
	Low noise level area	54~70dB μ V/m (0.5~3mV/m)
UHF	Constant value	70dB μ V/m (3mV/m)

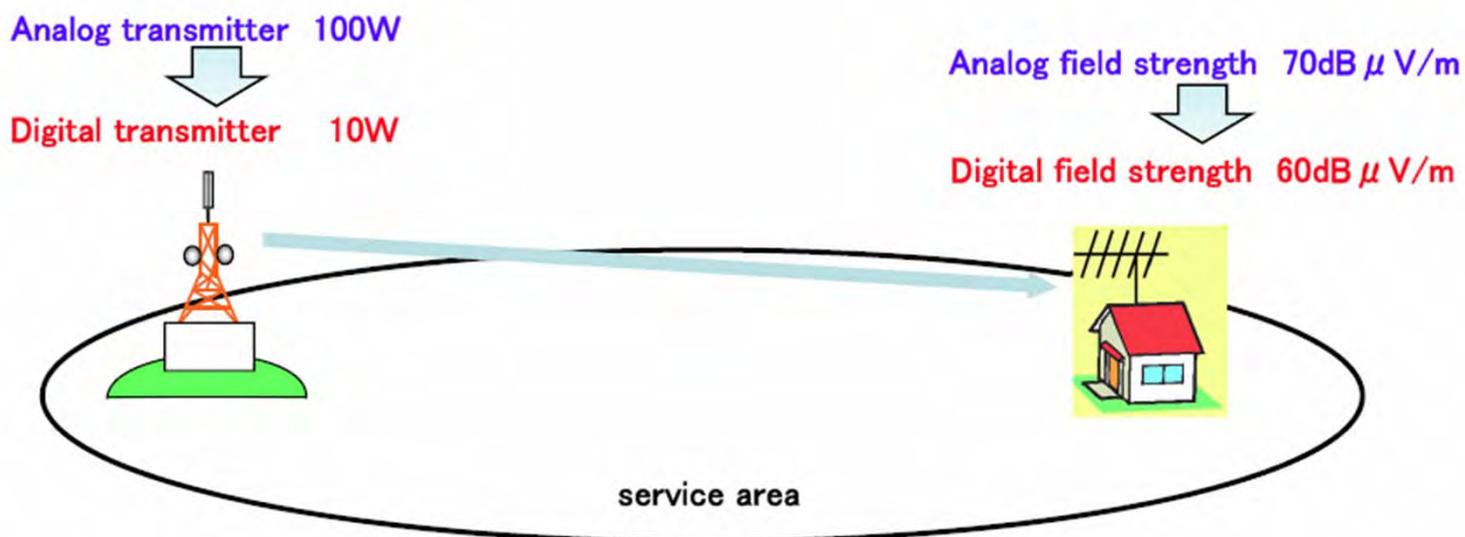
○Digital

UHF	Constant value	60dB μ V/m (1mV/m)
-----	----------------	------------------------

*) Por ley, la potencia de salida de Tx Digital = (P analógica – 10 dB)
(caso Japón)

Areas digitales y Areas analógicas

	Digital broadcast	Analog broadcast
Frequency	UHF	VHF/UHF
Required field strength	60dB μ V/m	70dB μ V/m(UHF)
Height of reception antenna	1.0m	4m
Image deterioration	cliff effect	gradually deteriorate
Delay adjust	necessary	unnecessary



Intensidad de Campo (1)

INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO Y DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA

- La energía de la onda electromagnética (P_o) que atraviesa un área unitaria se expresa:

$$P_o = E \times H = E \times \frac{E}{120\pi} = \frac{E^2}{120\pi} \quad (W / m^2) \quad \text{donde H: Intensidad Campo magnético (A/m)}$$

- Por otro lado, si la potencia transmitida (P_t) es omidireccional, la densidad de flujo de potencia (P_o) en una superficie esférica de radio d (m) será:

$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (W / m^2)$$

- La relación entre la IC eléctrico (E) y la potencia transmitida (P_t) puede definirse igualando ambas ecuaciones.

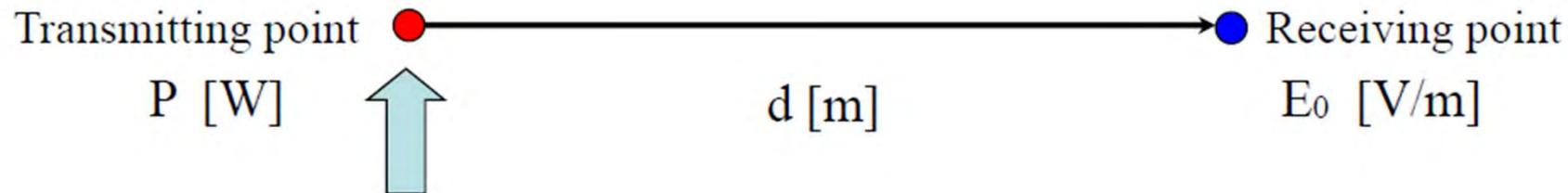
$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} = \frac{E^2}{120\pi}$$

en consecuencia:

$$E = \frac{\sqrt{30P_t}}{d} \quad (V / m)$$

Intensidad de Campo (2)

Propagación de la onda en el espacio libre



- Antena Isotrópica

$$E_0 = \frac{\sqrt{30P}}{d} \quad [\text{V/m}]$$

- Antena dipolo de media onda (1.64: ganancia absoluta de una antena dipolo ½ onda)

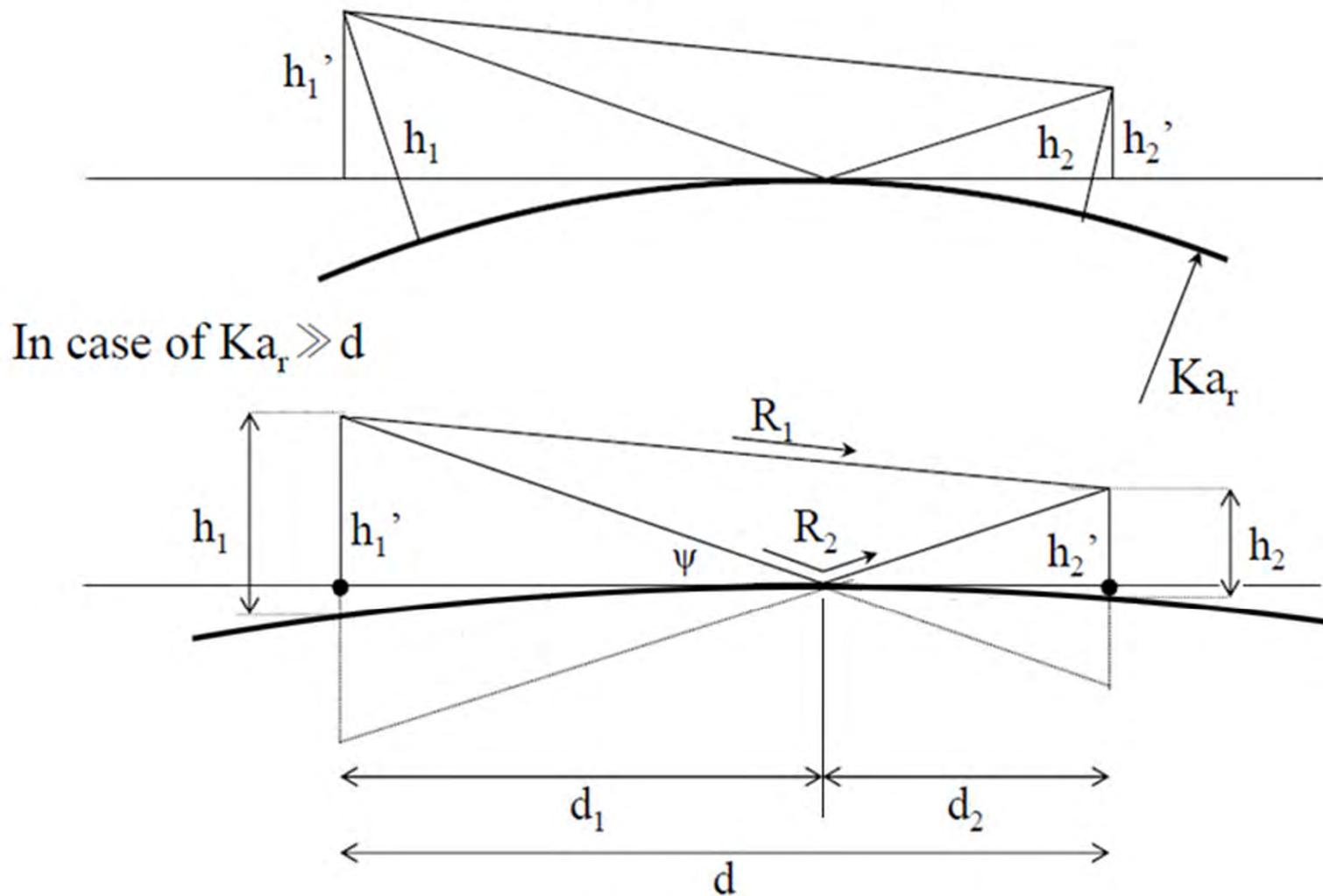
$$E_0 = \frac{\sqrt{30 \times 1.64 \times P}}{d} \cong \frac{7\sqrt{P}}{d} \quad [\text{V/m}]$$

- Antena con ganancia relativa (Ganancia Relativa: referida a una antena dipolo de ½ onda)

$$E_0 = \frac{7\sqrt{GP}}{d} = \frac{7\sqrt{ERP}}{d} \quad [\text{V/m}] \quad (\text{ERP: effective radiation power})$$

Intensidad de Campo (3)

Esquema de Propagación en una superficie esférica



Intensidad de Campo (4)

FORMULA FUNDAMENTAL DE LA ONDA DE RADIO-1

$$\dot{E} = \dot{E}_d + \dot{E}_r = E_d + E_r e^{-j\theta}$$

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 - 2E_d E_r \cos(\theta - \pi)}$$

$$E = E_0 \sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\theta - \pi)}$$

E_d : Intensidad de campo de la onda directa
 E_r : Intensidad de campo de la onda reflejada
 θ : ángulo del retardo de la onda reflejada
 ρ : coeficiente de reflexión

- Se plantea: $E_d = E_0$; $E_r = \rho E_0$
- Dado que el ángulo de retardo θ está compuesto por $(\theta = \delta + \phi_R)$, donde δ es el ángulo diferencial debido a la trayectoria y (ϕ_R) el ángulo de retardo por la reflexión, puede escribirse:

$$E = E_0 \sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\delta + \phi_R - \pi)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- El ángulo de retardo δ se origina por la diferencia de distancias entre la onda directa y la reflejada.

$$\Delta d = R_2 - R_1 \cong \frac{2 \cdot h_1' h_2'}{d} = \frac{2 \cdot h_1 h_2 J}{d} \quad [\text{m}] \quad J: \text{Coeficiente corrección por diferencia de fase}$$

$$\therefore \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d = \frac{4\pi h_1 h_2 J}{\lambda d} \quad [\text{rad}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

Intensidad de Campo (5)

FORMULA FUNDAMENTAL DE LA ONDA DE RADIO-2

- Cuando el ángulo θ es pequeño, el coeficiente ρ es casi 1, y φ_R casi igual a π , en ese caso la fórmula (1) puede escribirse:

$$E = E_0 \sqrt{1 + 1 - 2 \cos(\delta + \pi - \pi)} = E_0 \sqrt{2(1 - \cos \delta)} = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) \right|$$

- Sustituyendo δ en la fórmula anterior utilizando la fórmula (2), resulta:

$$E = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{\frac{4\pi h_1 h_2 J}{\lambda d}}{2} \right) \right| = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2 J}{\lambda d} \right) \right| \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \frac{d}{\sqrt{2K_a r} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}$$

J: Coeficiente corrección por diferencia de fase

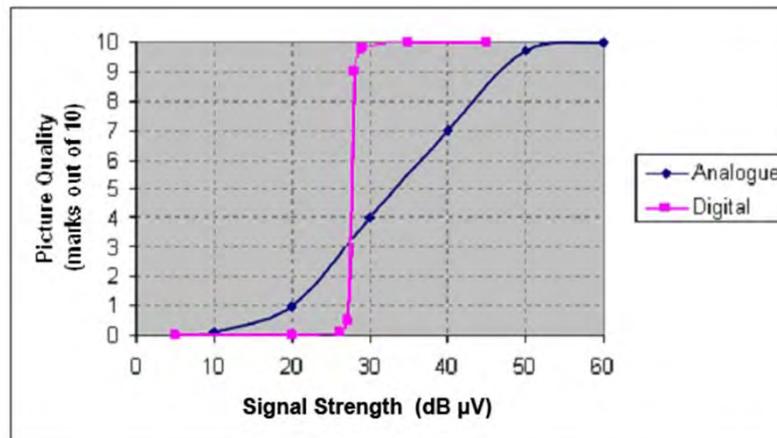
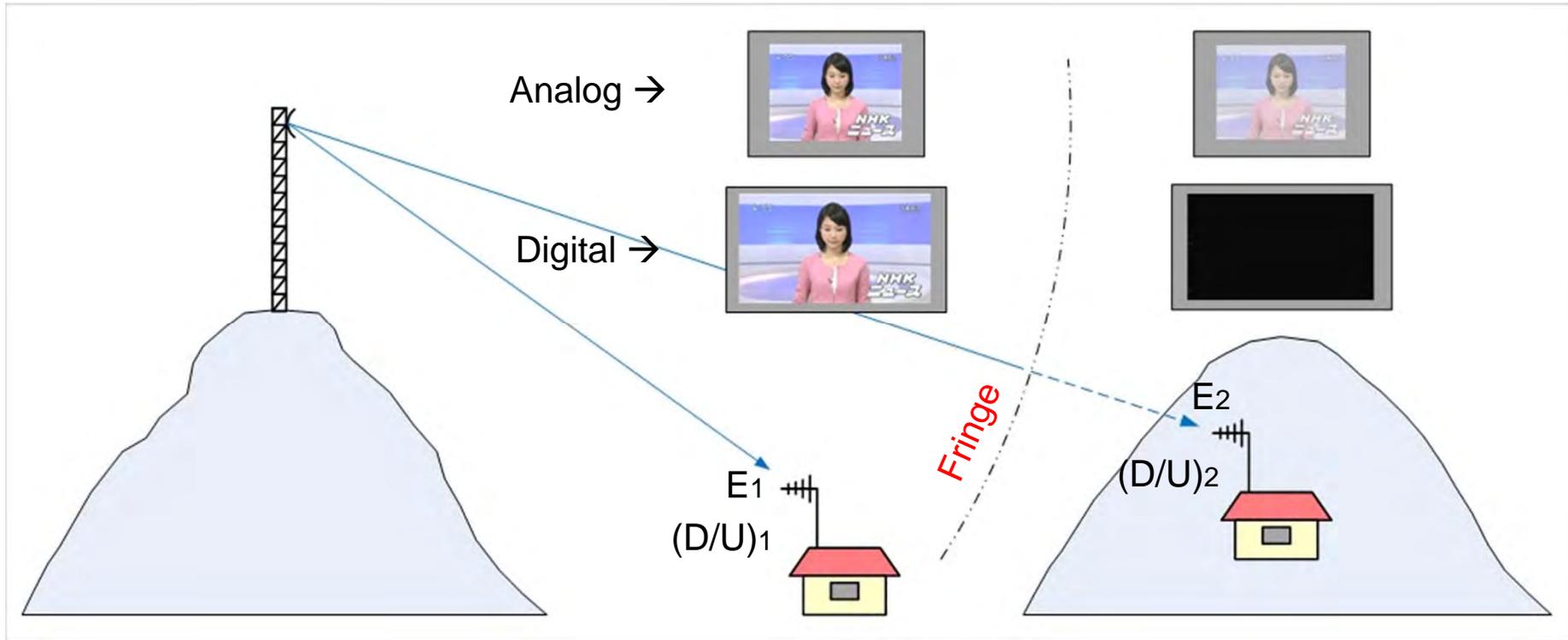
$S < 1$: Dentro del horizonte de propagación

$S > 1$: Fuera del horizonte de propagación

- En el caso de $S \leq 0.2$, y considerando que J puede asimilarse a 1, entonces la fórmula (3) será:

$$E = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \right| \dots\dots\dots (4)$$

Disponibilidad del Servicio



Disponibilidad del Servicio

- Se busca que los servicios de TV se transmitan con estabilidad y sin fallas. Estos servicios se evalúan en base a la calidad de imagen, sonido y datos y que estén por encima de lo especificado. La planificación de la transmisión se realiza para asegurar que los operadores puedan mantener la calidad requerida dentro del área de cobertura, y evitando perturbaciones sobre otros servicios. Los criterios para la planificación son la "intensidad de campo" y el "factor de protección". Los servicios de TV analógica y digital difieren en el nivel de degradación de la calidad.
- La TV analógica presenta una degradación de la imagen cuando la intensidad de campo disminuye por debajo del nivel estándar. Esto no significa que la imagen desaparezca en forma súbita, sino que disminuye la calidad a medida que se debilita la I. de Campo.
- En la TV digital, la imagen y sonido no se reproduce cuando la I. de Campo cae por debajo del nivel especificado, en el cual no se alcanza el C/N requerido. En este punto, la calidad de la imagen cae drásticamente y se interrumpe. Este fenómeno se denomina "Efecto Cliff" (efecto umbral). La planificación de la transmisión debe realizarse de modo que los operadores puedan mantener la calidad dentro de su área de cobertura.

Cobertura (1)

- Normalmente la cobertura está limitada en 2 aspectos:

- Limitación por el ruido en la señal recibida
- Limitación de la cobertura por interferencias del mismo canal.

La 1ra depende de la intensidad de campo. Aquí, la IC estándar es la requerida.

La 2da se determina por el cociente de la IC deseada y de la señal interferente.

- La IC requerida se expresa como al valor medio $F(50\%-50\%)$, estos son 50% de las ubicaciones y 50% en el tiempo. El valor medio se obtiene de la IC mínima (F_{min}) más términos con factores de corrección sobre un porcentaje de ubicaciones del 90% y sobre porcentaje en tiempo del 95%. La IC requerida para el plan de asignación se expresa:

$$F(50\%-50\%) = F_{min} + N(L=90\%) + N(T=95\%)$$

- Para evitar el "Efecto Cliff", se recurre a lugares altos y porcentaje de tiempo de 90% o 99%, para estabilizar la calidad del servicio.

Sin embargo, para lugares altos y porcentaje de T altos se requieren transmisores de mayor potencia, lo cual aumenta las probabilidades de perturbaciones de zonas aledañas.

Cobertura (2)

- Los porcentajes de ubicación y de tiempo aplicadas según países es como sigue:

País	Probabilidad L	Probabilidad T
EEUU	50%	90%
Europa	70% o 95%	90% - 99%
Japón	50%	99%

- Estas diferencias entre países se deben a diferencias en el desarrollo de la TDT y la calidad del servicio.

Los detalles sobre las limitaciones de cobertura debidas a interferencias puede verse en la norma ITU-R BT.1368-3, Anexo 7.

La IC requerida FD para la cobertura puede escribirse:

$$FD = FU(50,T) + A$$

donde $FU(50,T)$ es la IC de la señal interferente de otras áreas (su tiempo probablemente excede el T%) y A es el factor de protección.

Estimación de la Intensidad de Campo (1)

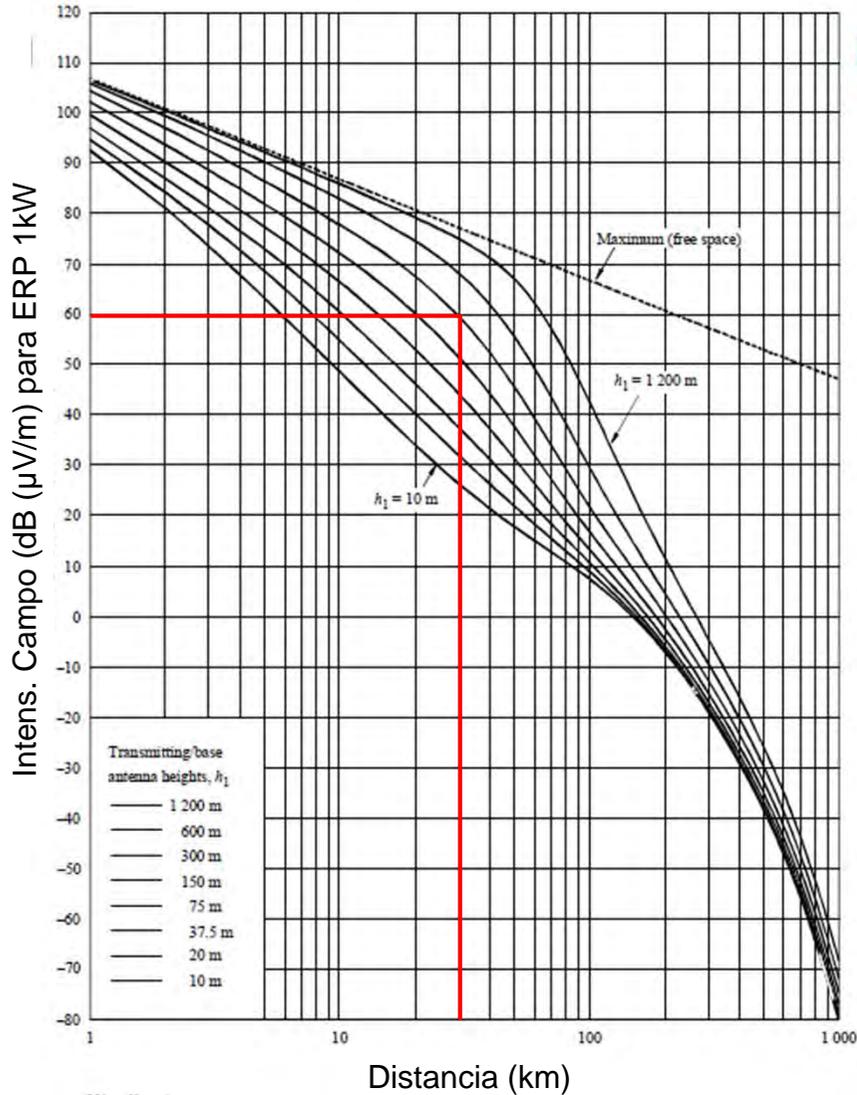
- Los detalles sobre estimaciones de IC se indican en la Recomendación ITU-R P.1546. Estas recomendaciones sirven de guía para la planificación de la TDT para bandas VHF y UHF y se aplican para las siguientes condiciones:

Rango de frecuencia	300 a 1000 MHz (nominales 100, 600 y 2000 MHz)
Rango de distancias	1 km a 1000 km
Via de propagación	Por tierra, por mar, mixto
Altura de antena de Tx	10 m a 3000m
Porcentaje en tiempo	1%, 10% y 50%
Porcentaje de ubicación	El factor de corrección L% se calcula por la desviación estándar para transmisión de TDT.

- Las figuras siguientes muestran las curvas estimadas para propagación por tierra para 600MHz, descritas en las recomendaciones ITU-R P.1546. Las probabilidades de tiempo son 50% y 1% para las figuras respectivas.

Estimación de la Intensidad de Campo (2)

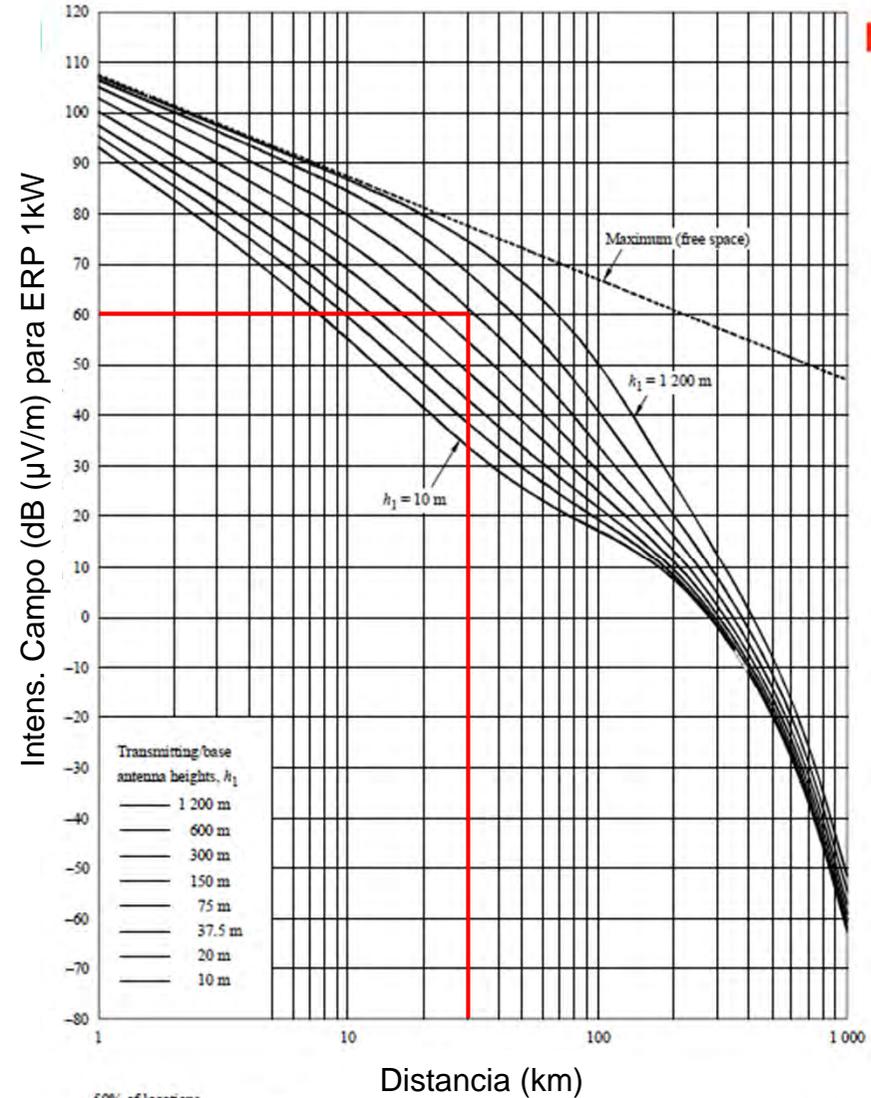
600 MHz, trayectoria terrestre, 50% del tiempo



50% of locations
 h_2 : representative clutter height

1546-09

600 MHz, trayectoria terrestre, 1% del tiempo



50% of locations
 h_2 : representative clutter height

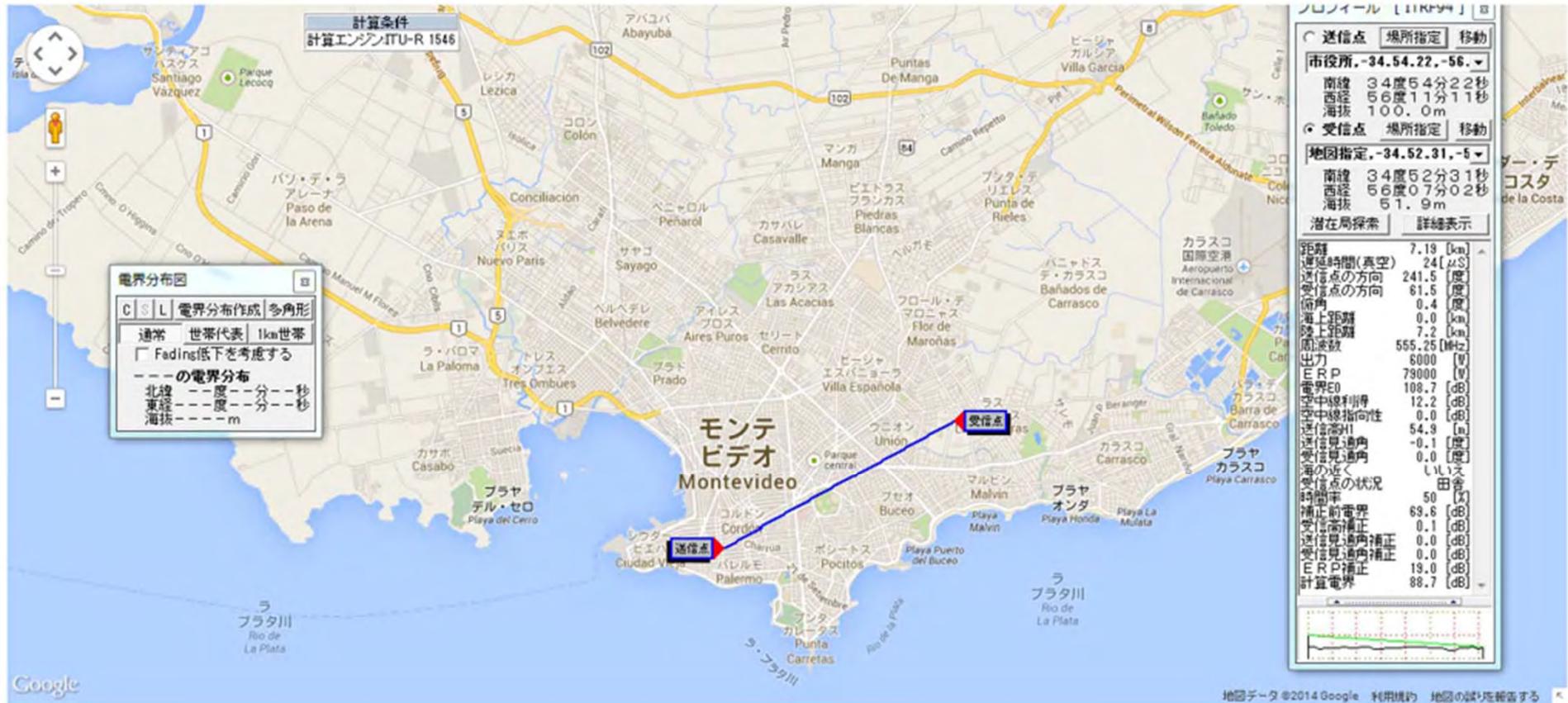
1546-11

Copyright NHK 2011

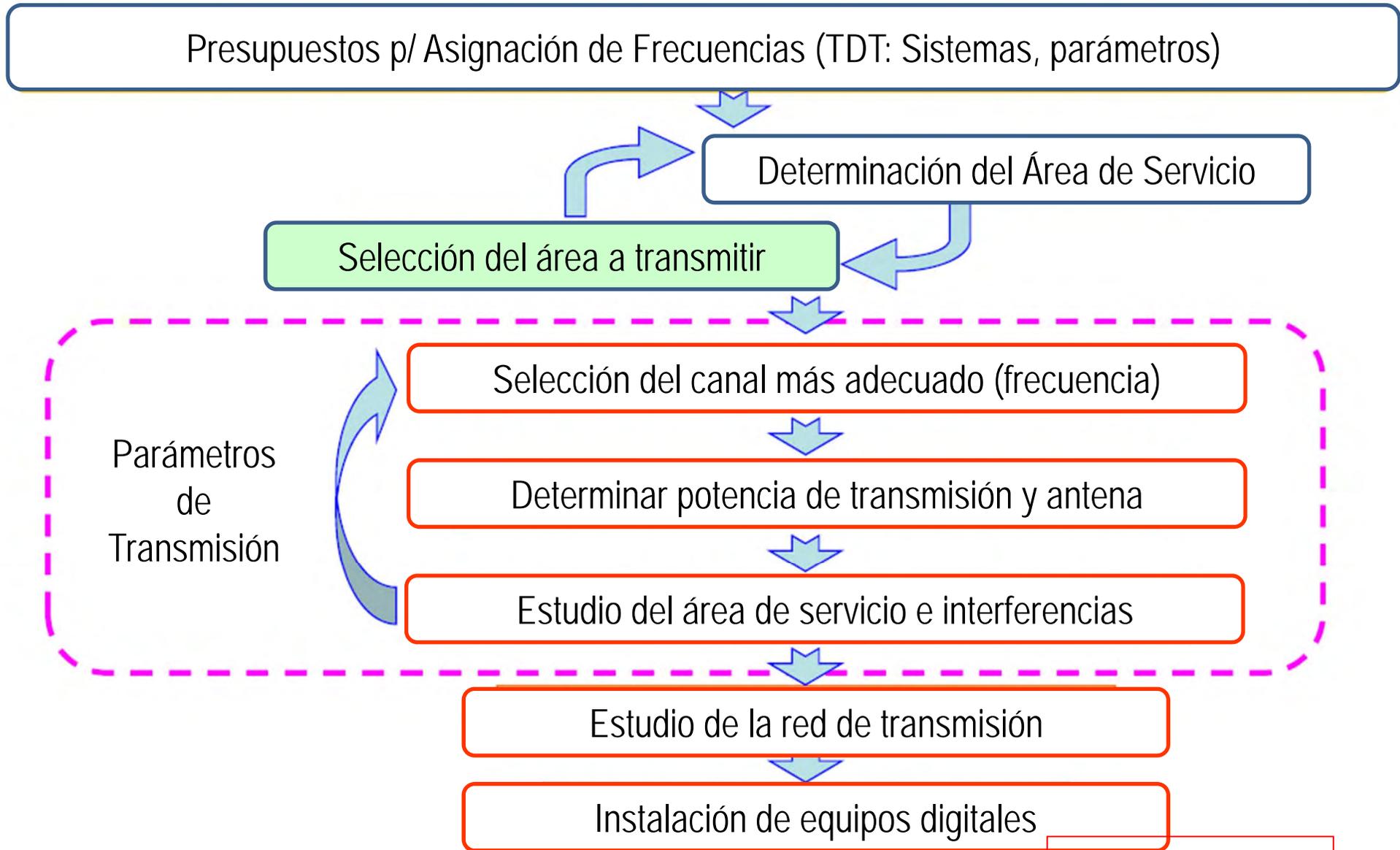
Herramienta de cálculo de la onda de propagación



Simulador "P-Map "

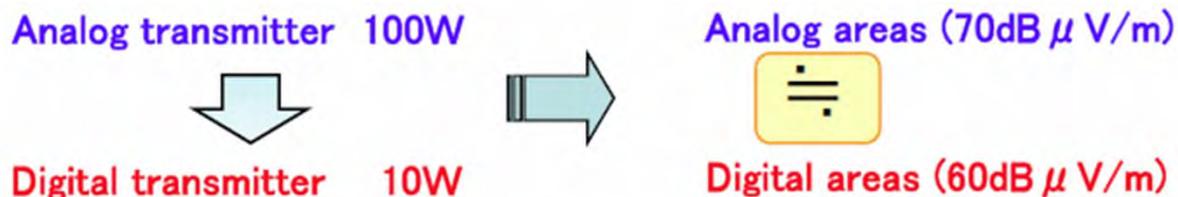


Resumen del Proceso



Selección del punto de transmisión (1)

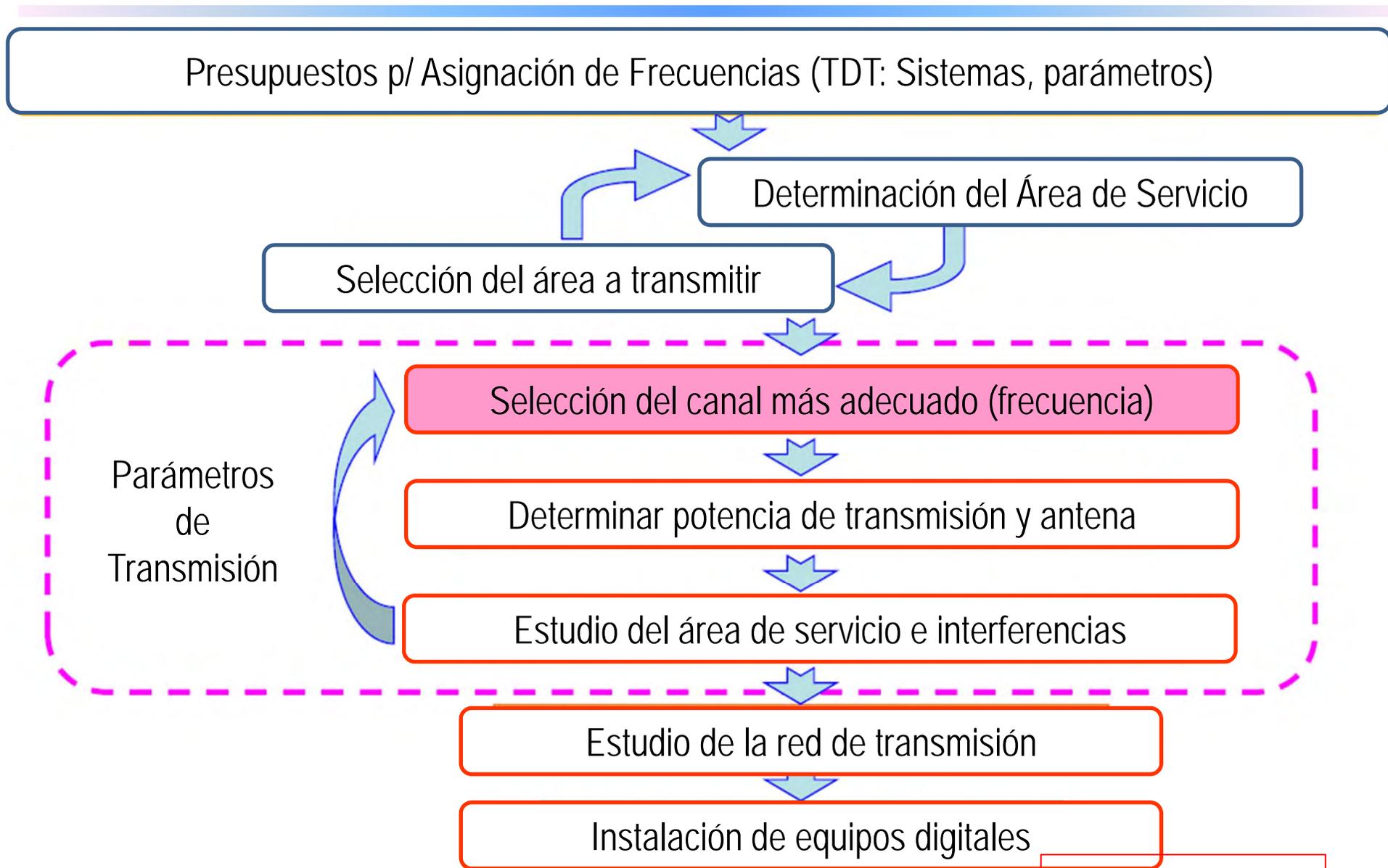
- Si los puntos de transmisión digital son los mismos que las analógicas..
 - ➔ Las áreas de servicio digital pueden estimarse en base a las analógicas.



- Si los puntos de transmisión digital son nuevos..
 - ➔ Seleccionar puntos para cubrir el área
 - ➔ Tener en cuenta de no interferir con otras áreas o países.



Resumen del Proceso



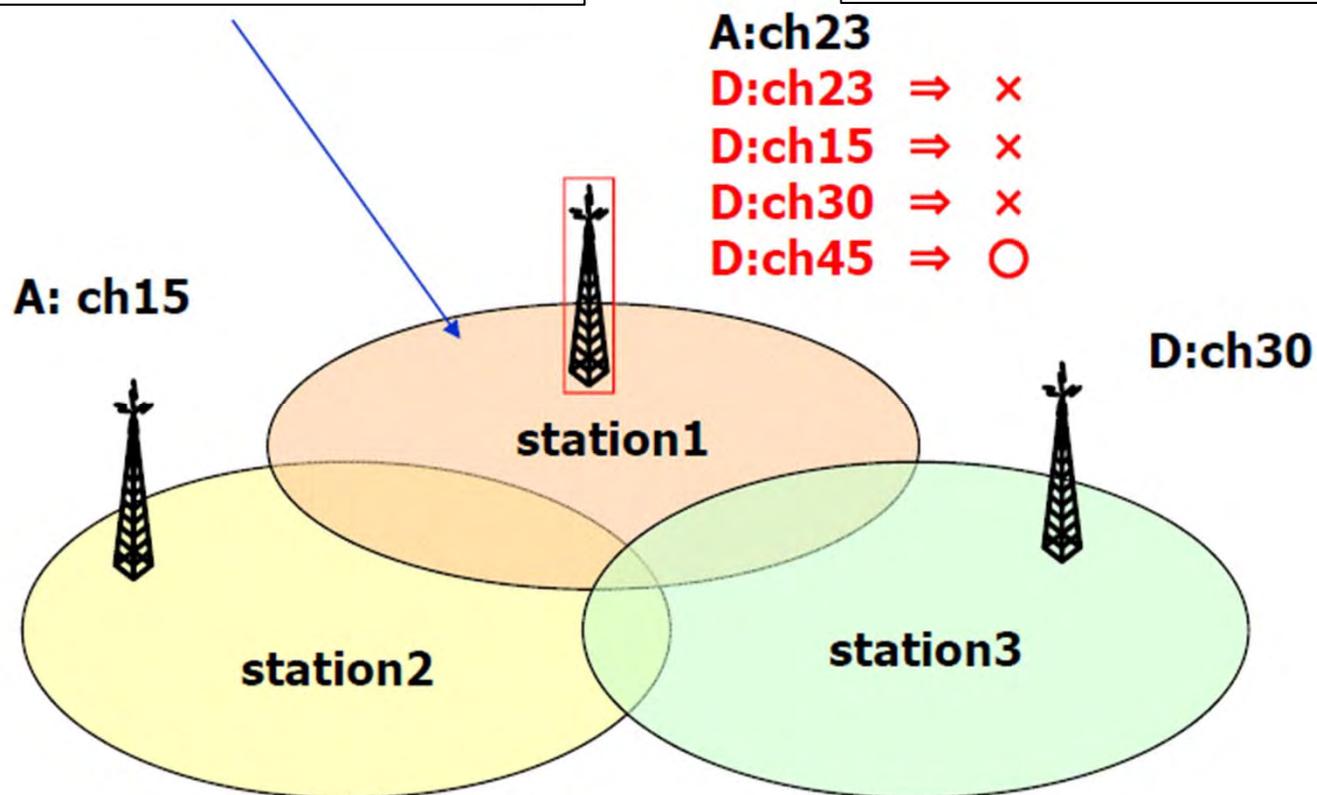
Selección del canal adecuado

- No interferir con áreas de canales analógicos
- No interferir con áreas de otros canales digitales

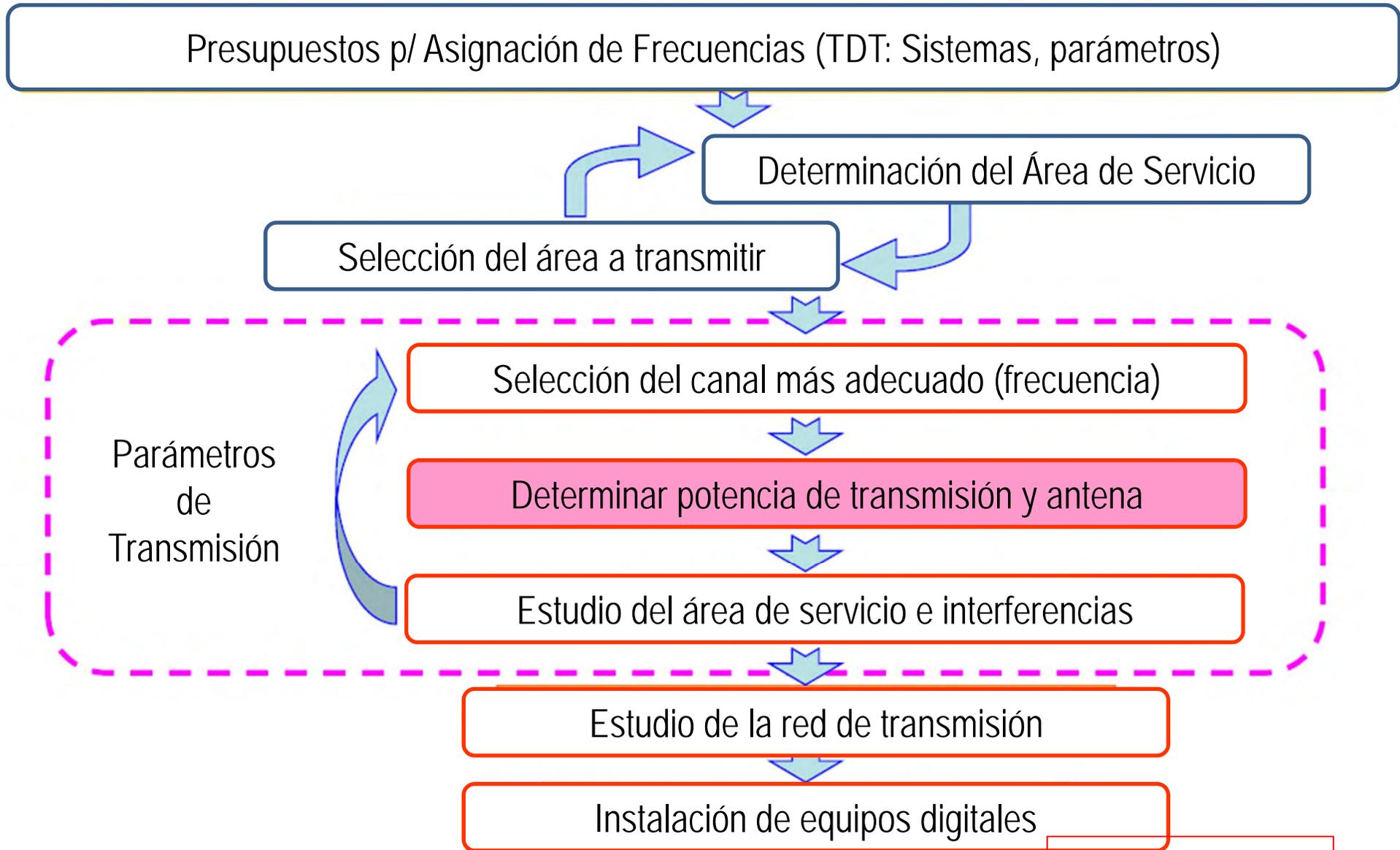
Medir la IC de las transmisiones de canales analógicos existentes



Pueden seleccionarse canales vacantes



Resumen del Proceso



Determinar Potencia de Tx y la Antena

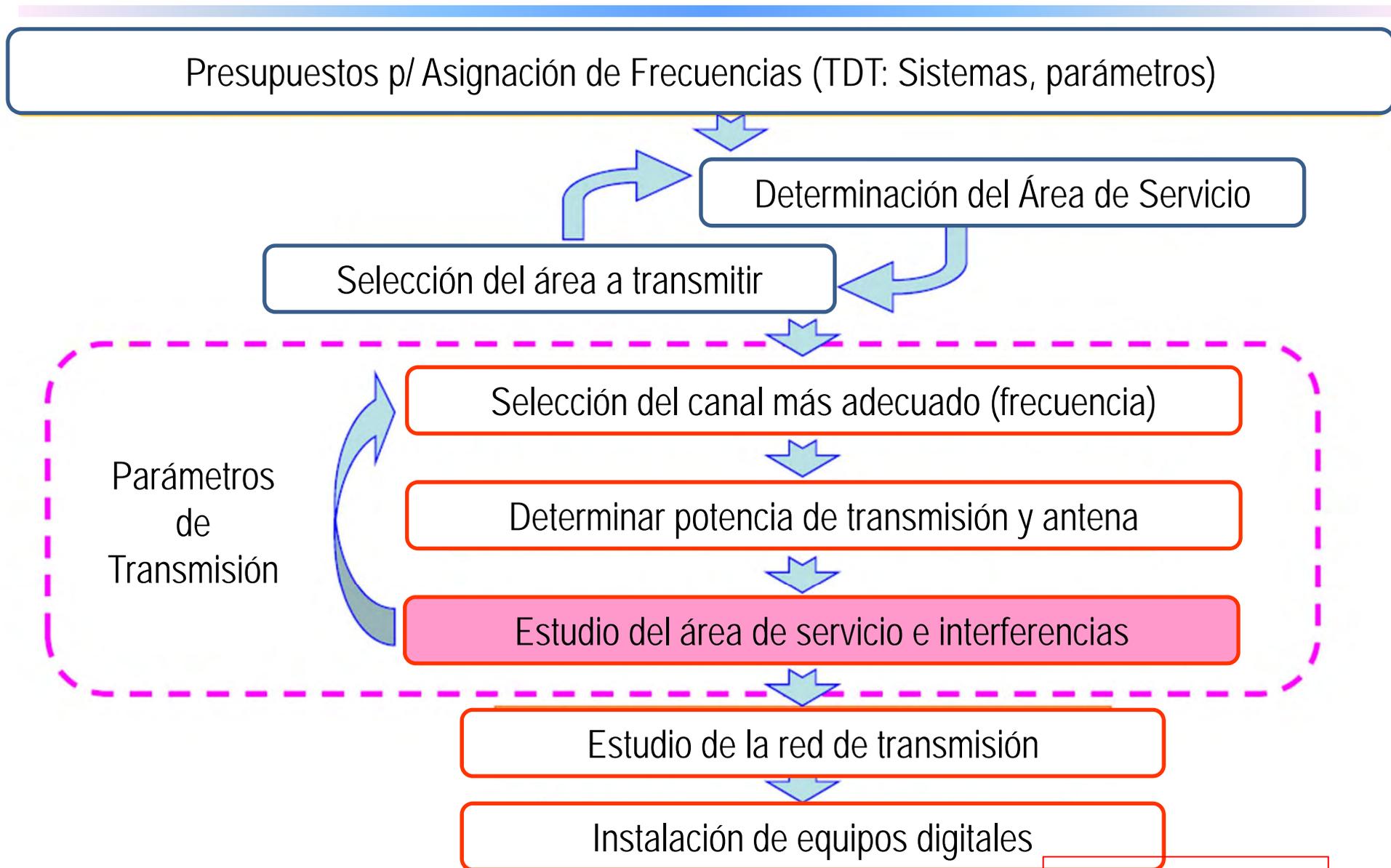
- La potencia de transmisión y la antena de Tx se diseñan para asegurar una IC de 60 dB μ V/m en el área de servicio.

Transmisión Digital:

UHF	Constant value	60dB μ V/m (=1mV/m)
-----	----------------	-------------------------

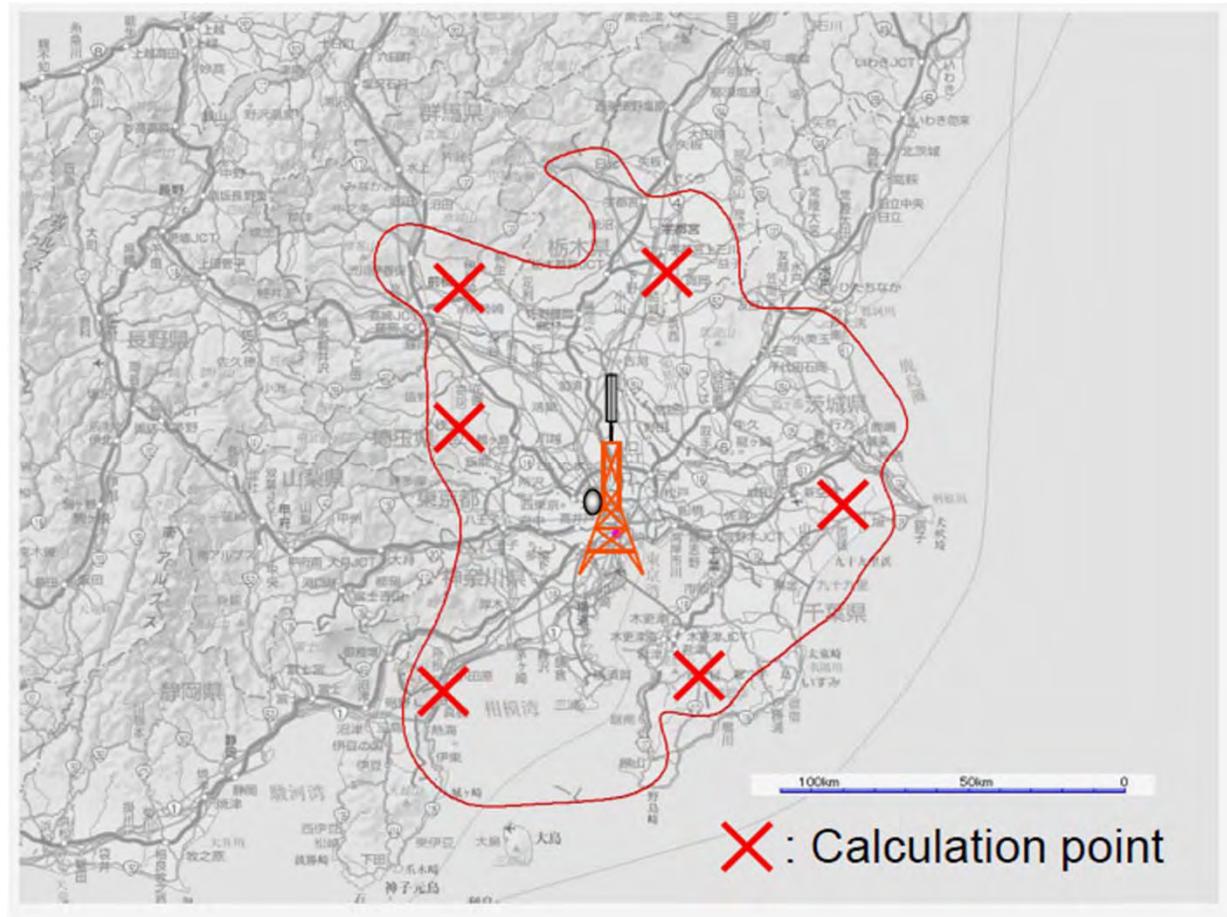
- Determinación de la potencia a transmitir
 - El punto de transmisión digital es el mismo que el analógico
 - Potencia Digital = Potencia Analógica x 1/10
(Potencia Analógica - 10dB)
 - El punto de transmisión digital es un sitio nuevo
 - El diseño debe asegurar 60 dB μ V/m en el área de servicio.
(El área de servicio está relacionado con la antena de Tx)

Resumen del Proceso



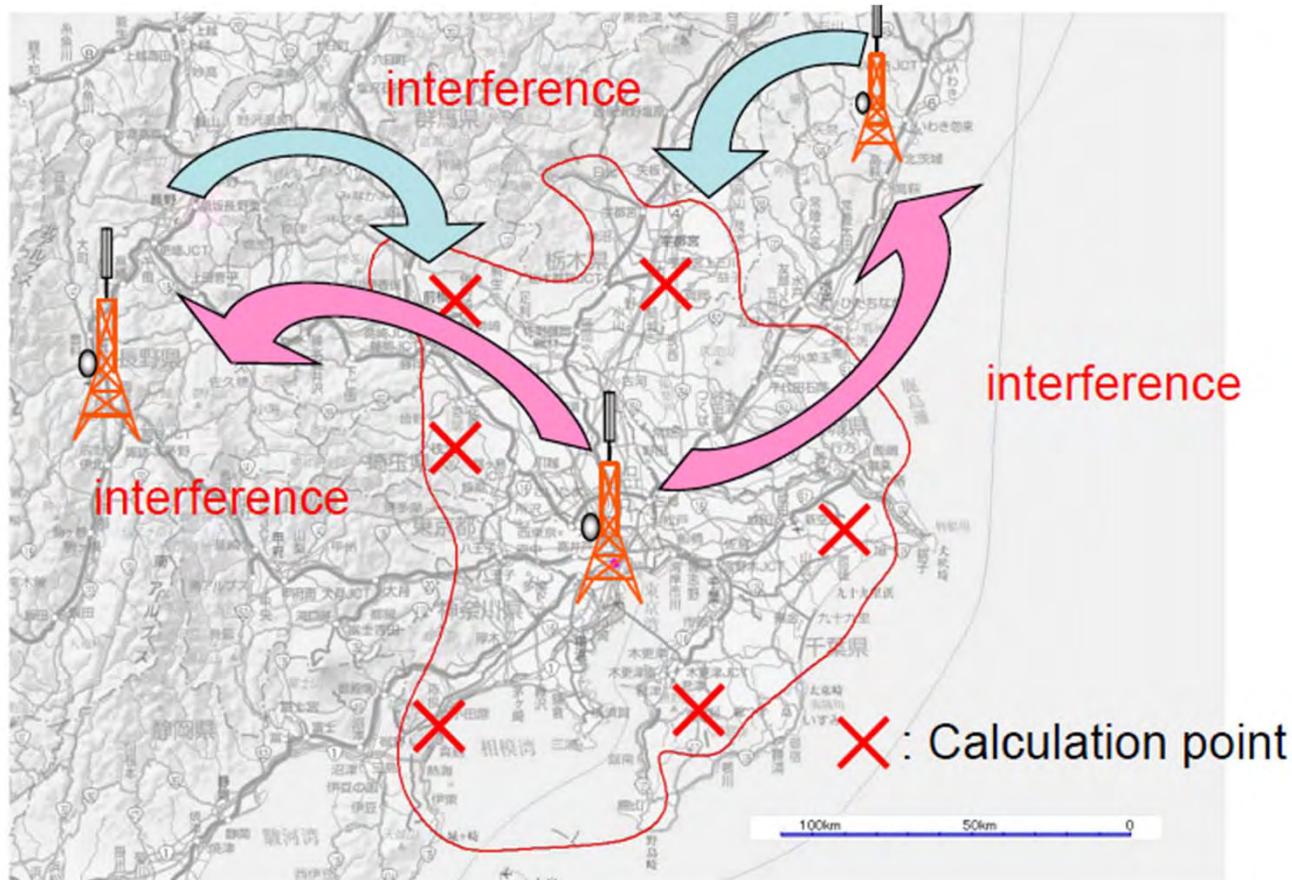
Estudio del Area de Servicio

- Calcular la IC de la transmisión digital. → Propagación



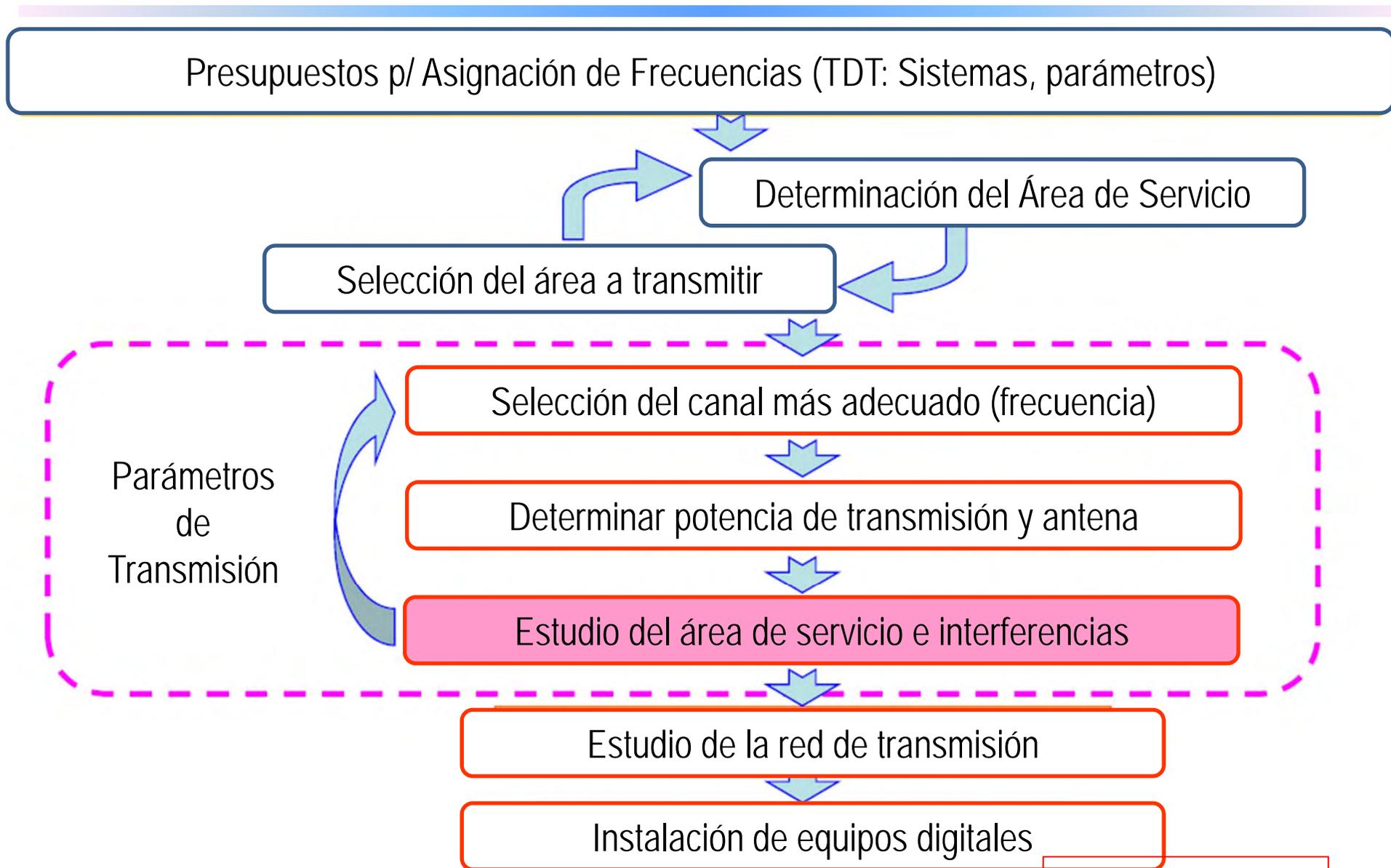
Estudio de las interferencias

- Estudiar las interferencias de otras estaciones.
- Estudiar las interferencias hacia otras áreas de servicio.



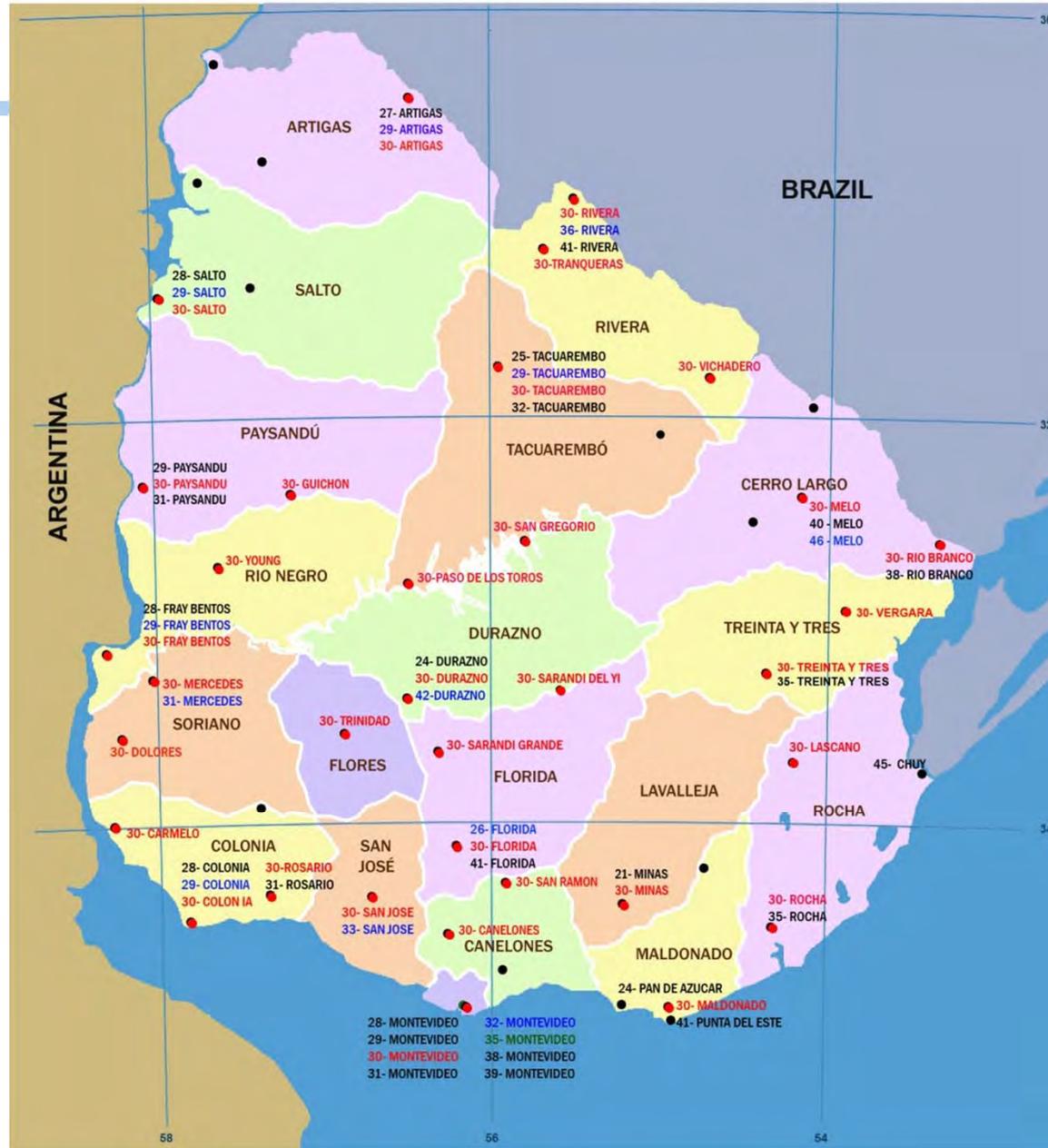
Si hay interferencias importantes → seleccionar otro canal de Tx.

Resumen del Proceso





URUGUAY - DIGITAL TV CHANNELS ASSIGNMENT - (@October, 2013)



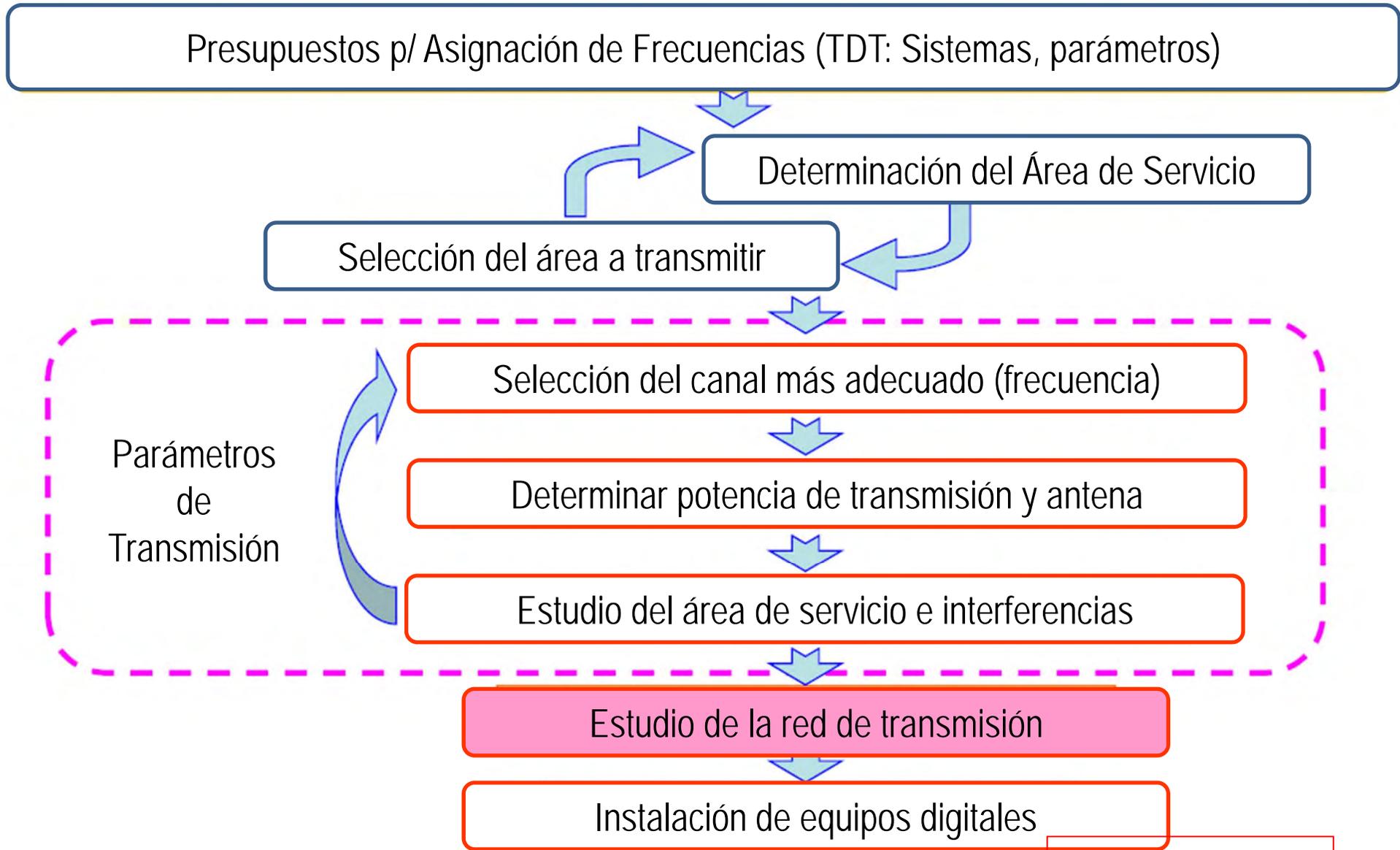
Asignación de frecuencias en el Uruguay

REFERENCES:

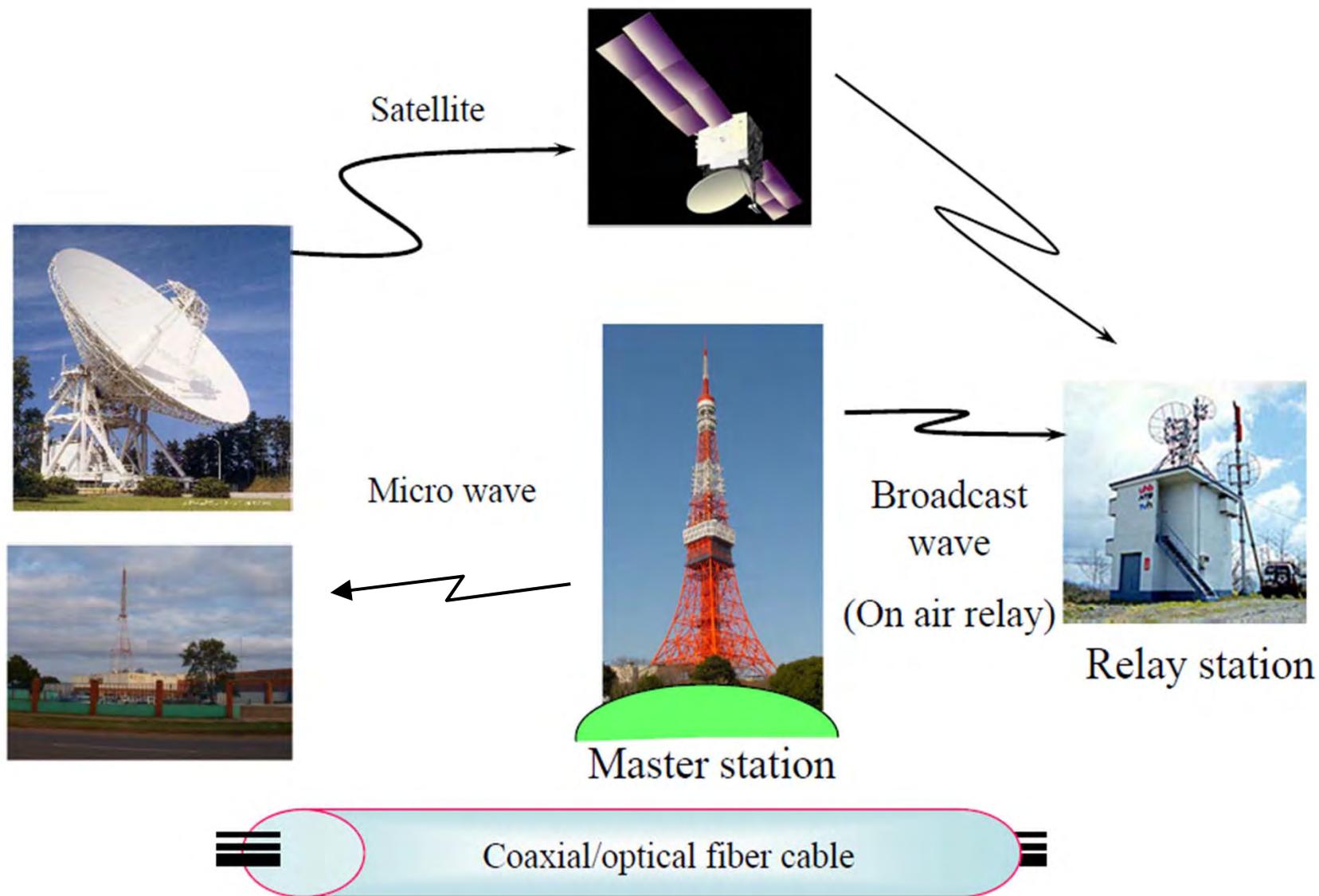
- TNU STATIONS
- PUBLIC STATIONS
- COMMUNITY STATIONS
- PRIVATE STATIONS

THIS MAP IS BASED ON THE TEXT OF THE URUGUAY'S GOVERNMENT RESOLUTIONS NO. 659, 979, 981, 984 AND 987 ISSUED ON 2013.

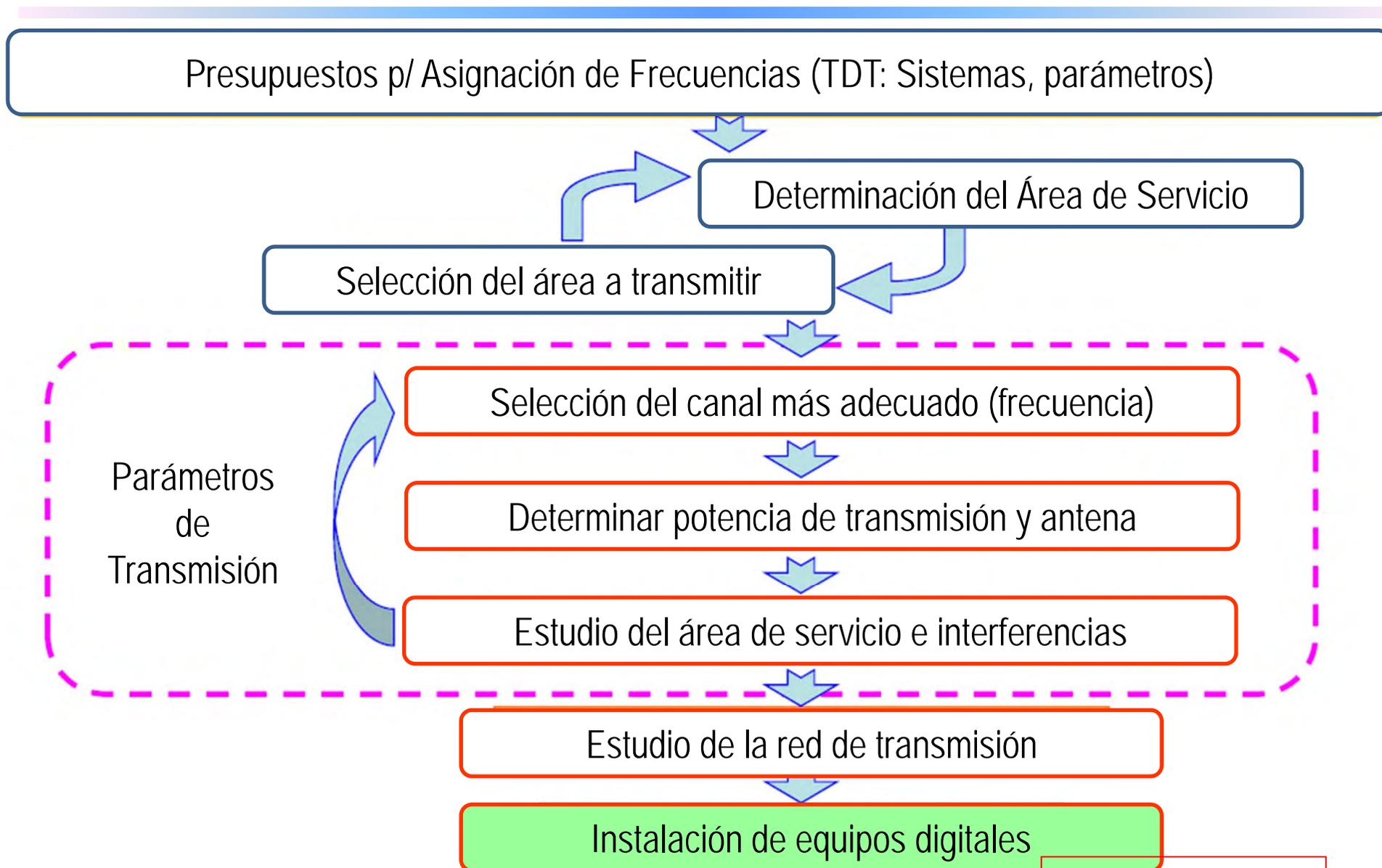
Resumen del Proceso



Tipos de red de transmisión



Resumen del Proceso



Estación de transmisión digital - Ejemplo



**Torre
de Tokio**

Estación de transmisión digital - Ejemplo



Estación Nagoya (Seto)

- Cobertura:
Aprox. 3 mill. Hogares
- Potencia de Tx: 3kW
- Antena: 6 · 4L x 4
- Red de Tx:
STL microondas
- Altura antena: 202,5m

Estación de transmisión digital - Ejemplo



Estación Hamadanishi

- Cobertura:
Aprox. 5000 Hogares
- Potencia: 10W
- Antena: 1 ▪ 6L x 2
- Red de Tx:Relay por aire
- Altura antena: 14 m



TAREAS

Tareas

INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO Y DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA

- La energía de la onda electromagnética (P_o) que atraviesa un área unitaria se expresa:

$$P_o = E \times H = E \times \frac{E}{120\pi} = \frac{E^2}{120\pi} \quad (W / m^2) \quad \text{donde H: Intensidad Campo magnético (A/m)}$$

- Por otro lado, si la potencia transmitida (P_t) es omidireccional, la densidad de flujo de potencia (P_o) en una superficie esférica de radio d (m) será:

$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (W / m^2)$$

- La relación entre la IC eléctrico (E) y la potencia transmitida (P_t) puede definirse igualando ambas ecuaciones.

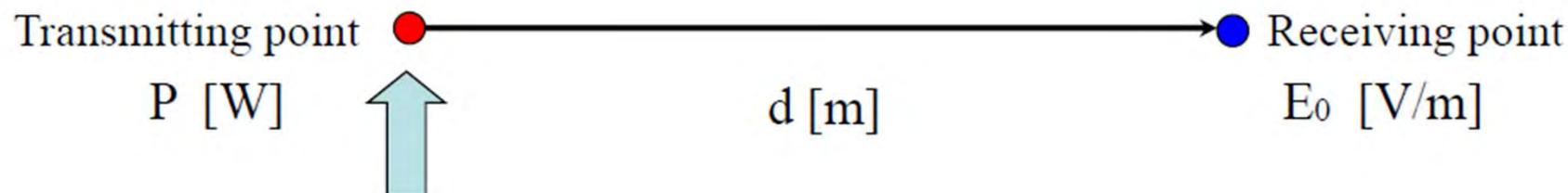
$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} = \frac{E^2}{120\pi}$$

en consecuencia:

$$E = \frac{\sqrt{30P_t}}{d} \quad (V / m)$$

Tareas

Propagación de la onda en el espacio libre



- Antena Isotrópica

$$E_0 = \frac{\sqrt{30P}}{d} \quad [\text{V/m}]$$

- Antena dipolo de media onda (1.64: ganancia absoluta de una antena dipolo ½ onda)

$$E_0 = \frac{\sqrt{30 \times 1.64 \times P}}{d} \cong \frac{7\sqrt{P}}{d} \quad [\text{V/m}]$$

- Antena con ganancia relativa (Ganancia Relativa: referida a una antena dipolo de ½ onda)

$$E_0 = \frac{7\sqrt{GP}}{d} = \frac{7\sqrt{ERP}}{d} \quad [\text{V/m}] \quad (\text{ERP: effective radiation power})$$

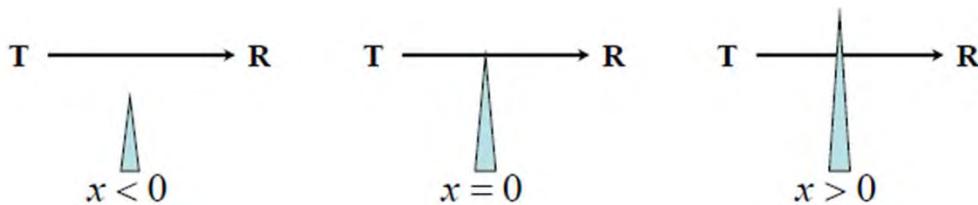
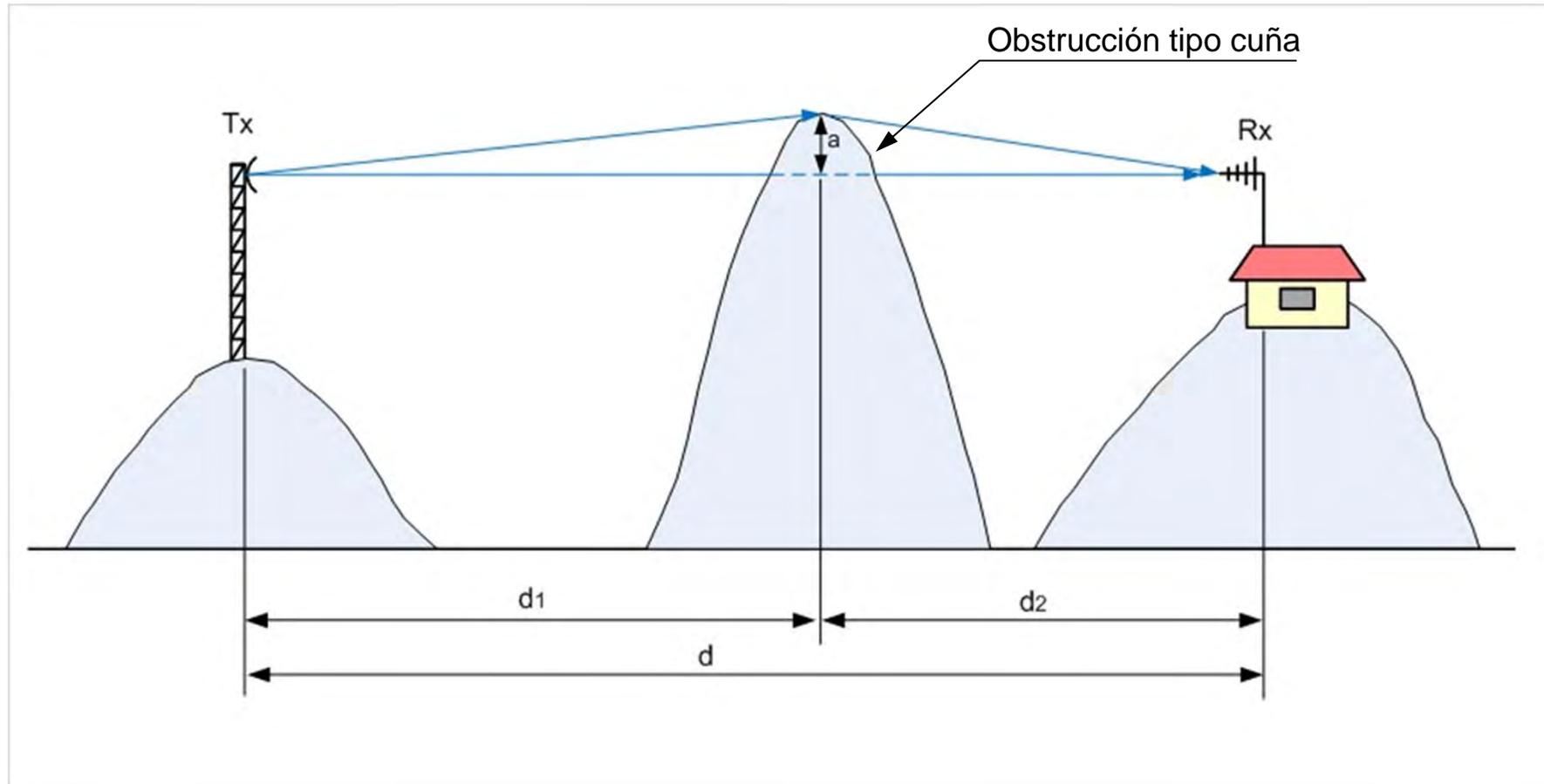
Ejercicio 1

- Indicar las diferencias entre Ganancia absoluta y Ganancia relativa.

-Las ganancias de antenas de fuentes puntuales (Ej. Antenas parabólicas) se expresan normalmente como Ganancia Absoluta.
-Las ganancias de antenas tipo lazo (loop) se expresan como Ganancia Relativa.

- Determinar la IC en espacio libre (dBf) en un punto a 20km de distancia desde el punto de transmisión en donde la ganancia de la antena es de 8dB y la potencia de salida de 3W.
(Las pérdidas varias en el sistema aéreo pueden descartarse)

Propagación por difracción



Coefficiente de protección $x = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}} \cdot a$

Amplitud y fase características en difracción

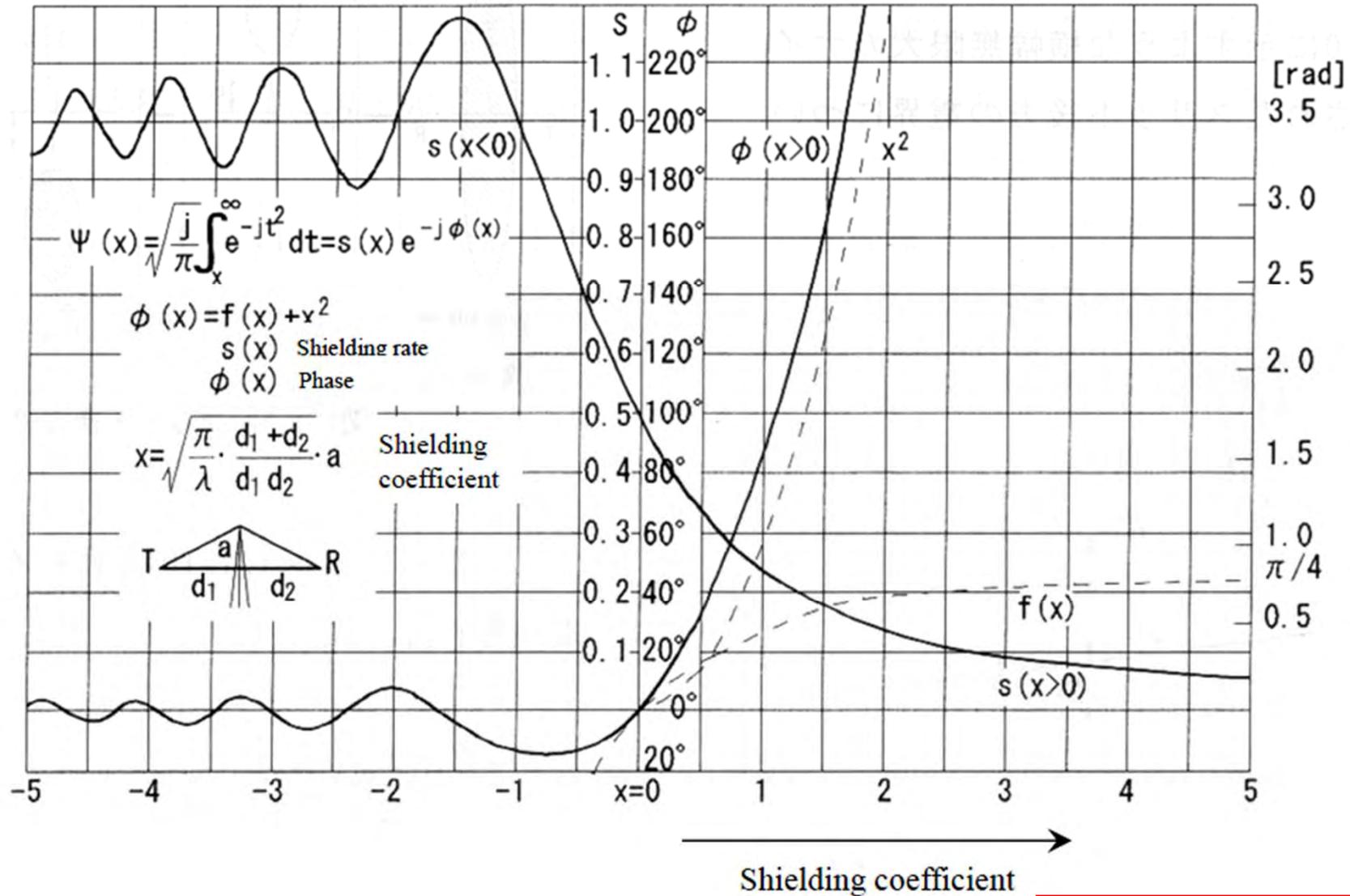
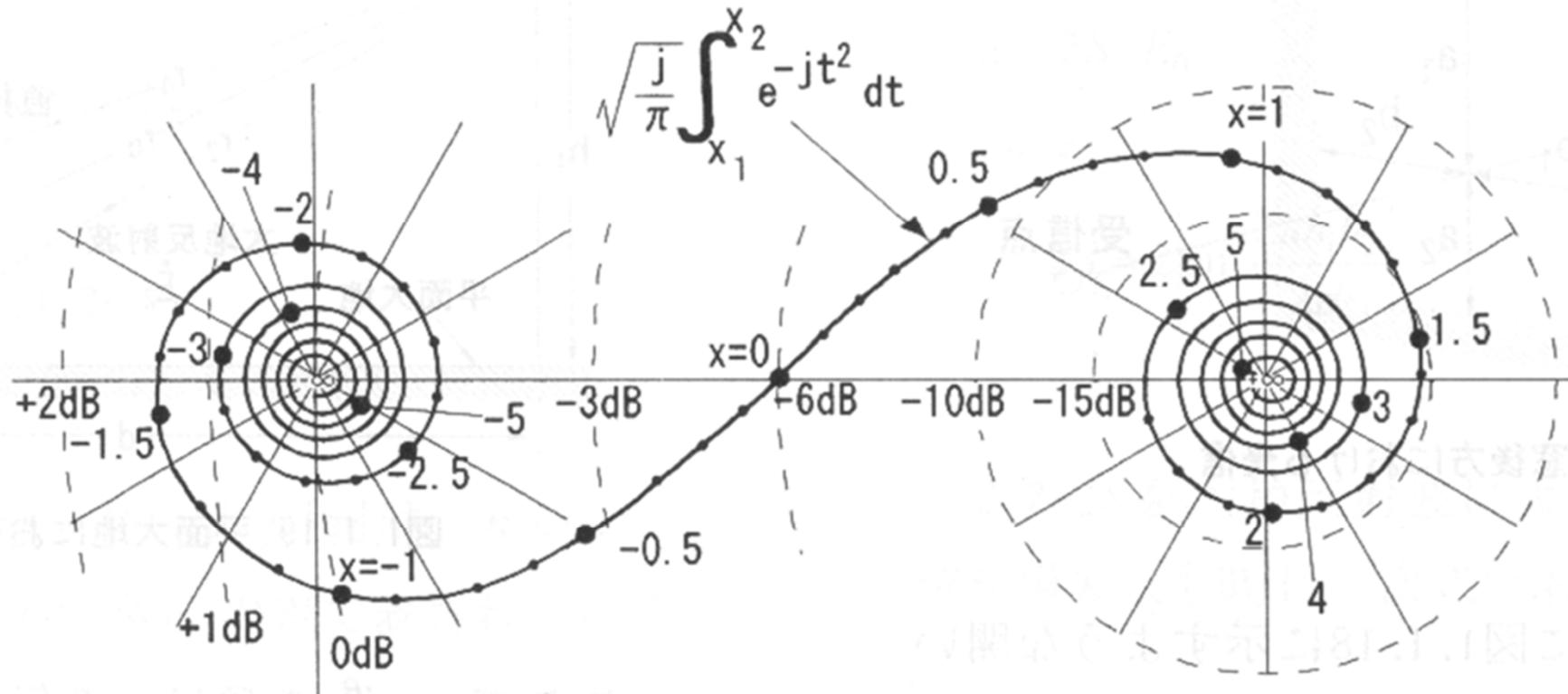
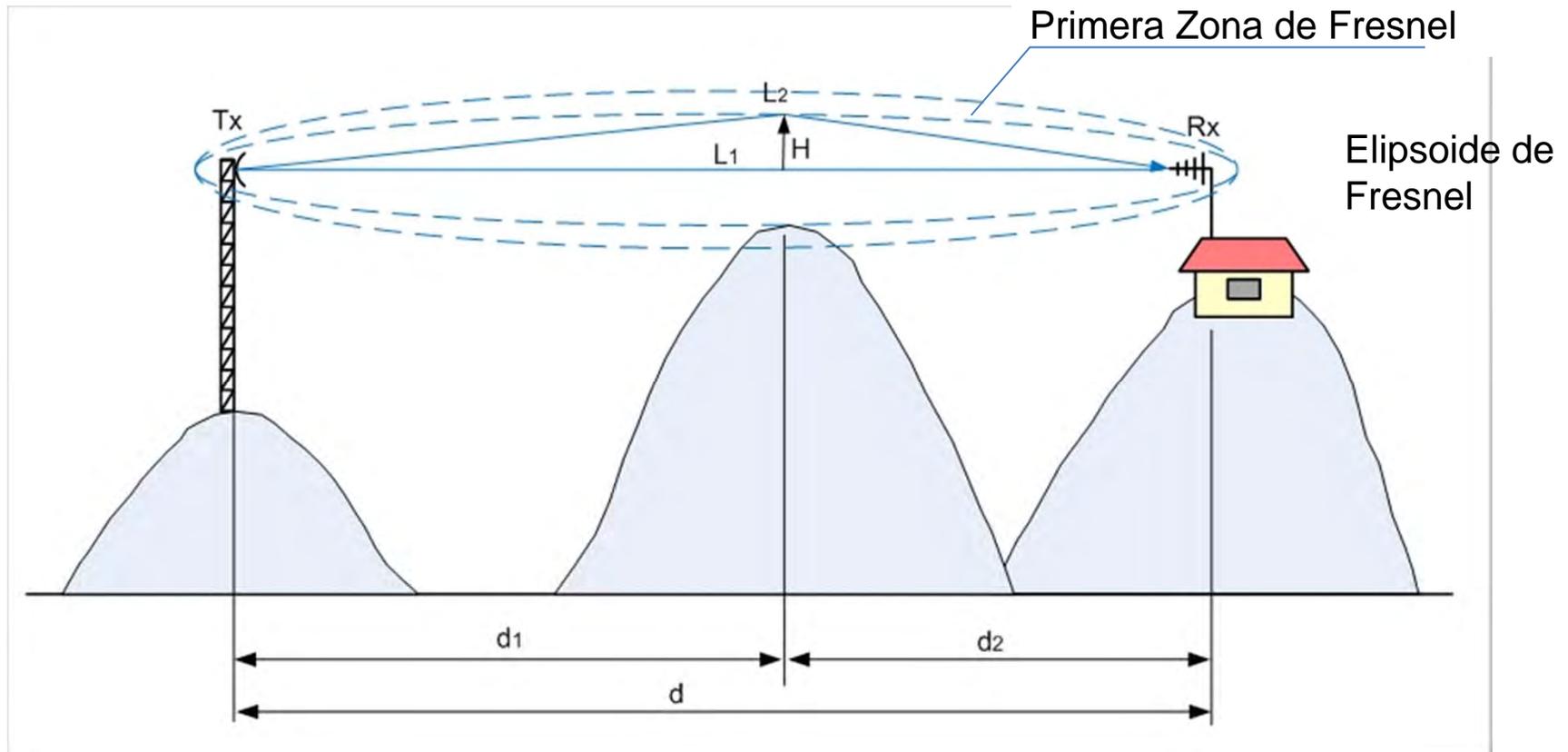


Diagrama de ubicación por integrales de Fresnel



Cálculo de la zona de Fresnel

La Primera Zona de Fresnel es el espacio en el cual la diferencia de trayectoria ($L_2 - L_1$) es igual a $\lambda / 2$, siendo L_1 la vía más corta que une el punto de transmisión con el punto de recepción.

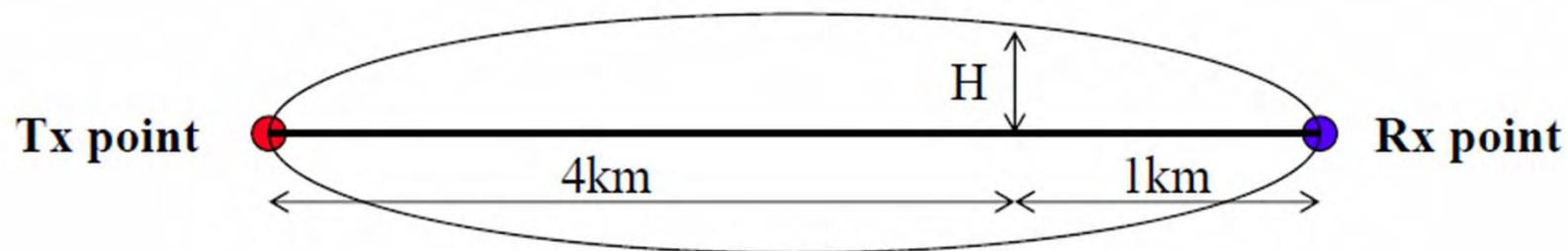


Radio “enésimo”
de la Zona de Fresnel

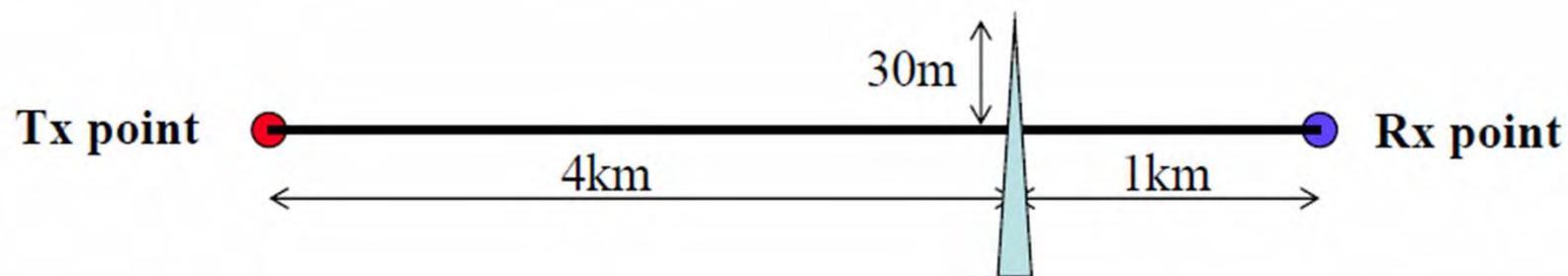
$$H_n = \sqrt{n \cdot \frac{\lambda \cdot d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad [\text{m}]$$

Ejercicio 2

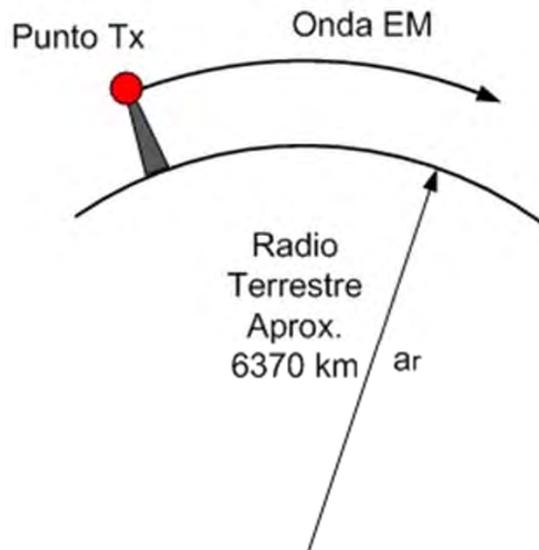
Calcular el radio H de una Zona de Fresnel en un punto distante 4 km desde el punto de transmisión, para un tramo de 5 km, para una frecuencia de 600MHz.



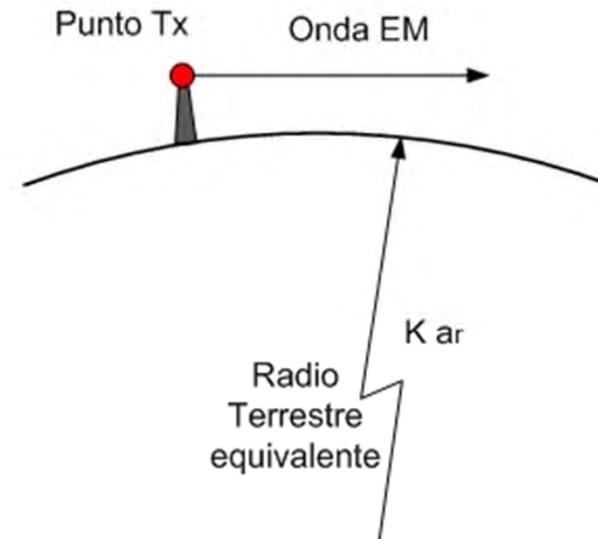
Calcular la pérdida por difracción (dB) para un caso con obstrucción con arista dispuesto como se indica en el dibujo.



Propagación sobre una superficie esférica



Propagación de una onda de radio real.



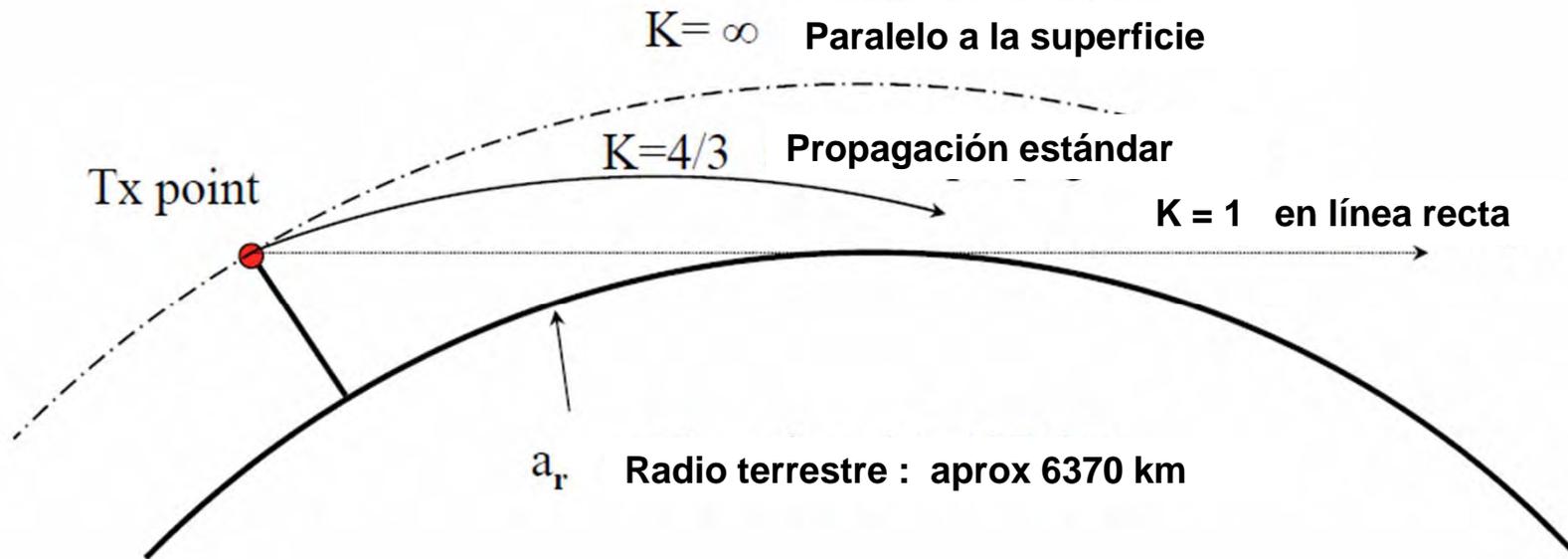
Propagación teniendo en cuenta el radio equivalente (Kar) de la Tierra.

Para una atmósfera estandar, $K \approx 4/3$

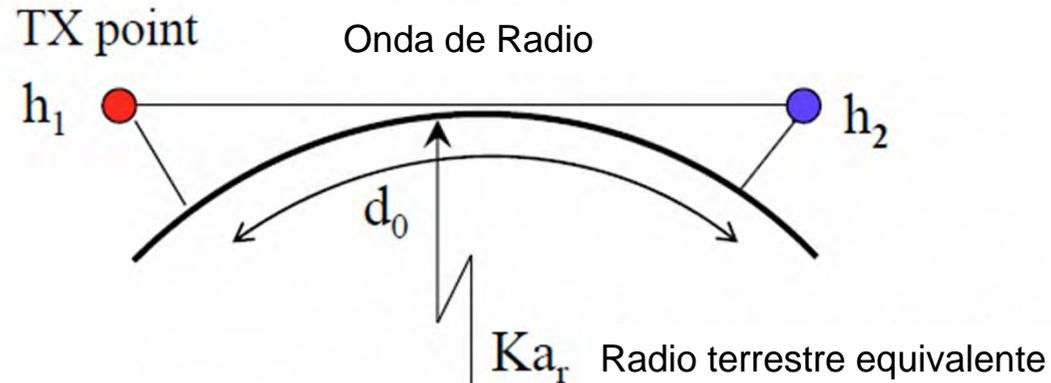
Dado que la densidad de la parte baja de la atmósfera disminuye a medida que aumenta la altura, la onda de radio se curva hacia la superficie terrestre.

Si la Tierra se representa ampliada mediante un radio equivalente que resulta del radio real multiplicado por un factor K , la trayectoria de la onda de radio puede representarse como una línea recta.

Relación entre el coeficiente K y trayectoria



Distancia visual sobre una superficie esférica



Distancia teórica

$$d_0 = \sqrt{2Ka_r} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad [\text{m}]$$

Para $K = 4/3$

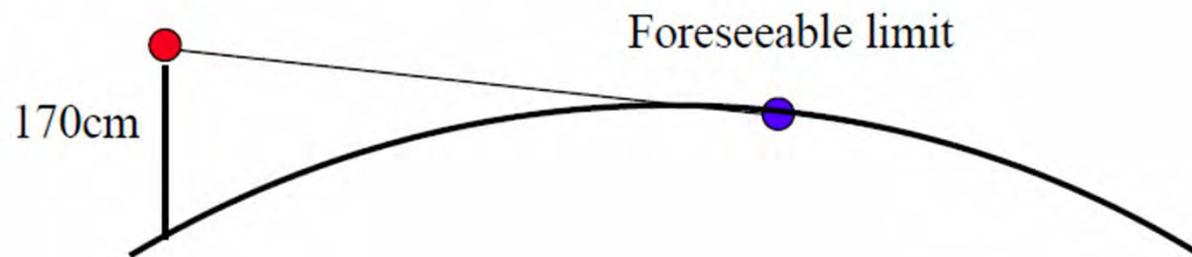
$$d_0 \cong 4.12 \times 10^3 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad [\text{m}]$$

Distancia hasta el horizonte

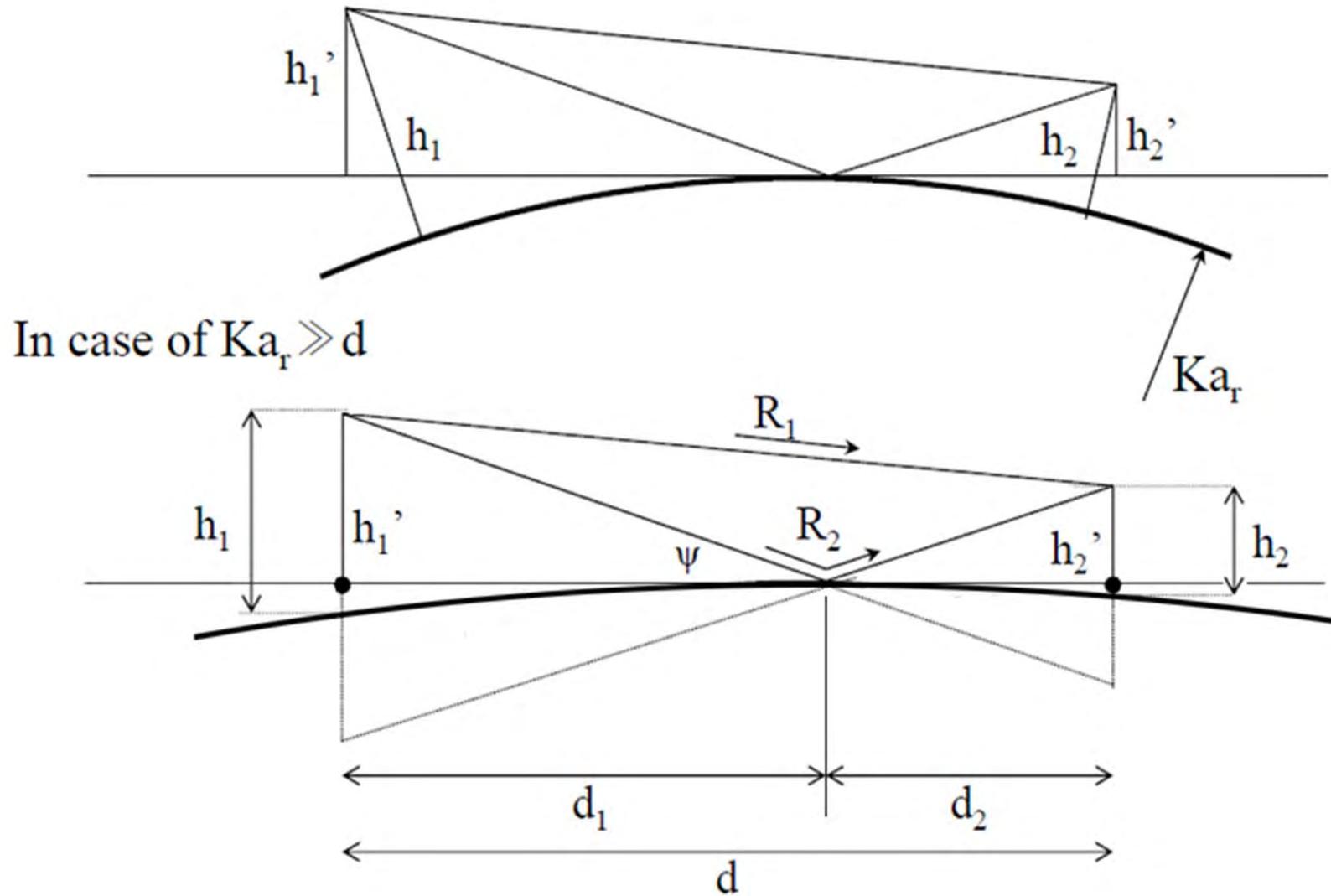
$$d_0 = \sqrt{2Ka_r \cdot h_1} \quad [\text{m}]$$

Ejercicio 3

Para el caso de una persona con una altura de 1,70 m de altura, parado sobre la superficie terrestre, calcular el límite de la distancia visual.



Propagación sobre una superficie esférica



Formula fundamental Onda de Radio 1

FORMULA FUNDAMENTAL DE LA ONDA DE RADIO-1

$$\dot{E} = \dot{E}_d + \dot{E}_r = E_d + E_r e^{-j\theta}$$

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 - 2E_d E_r \cos(\theta - \pi)}$$

$$E = E_0 \sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\theta - \pi)}$$

Ed: Intensidad de campo de la onda directa
 Er: Intensidad de campo de la onda reflejada
 θ : ángulo del retardo de la onda reflejada
 ρ : coeficiente de reflexión

▪ Se plantea: $E_d = E_0$; $E_r = \rho E_0$

▪ Dado que el ángulo de retardo θ está compuesto por ($\theta = \delta + \phi_R$), donde δ es el ángulo diferencial debido a la trayectoria y (ϕ_R) el ángulo de retardo por la reflexión, puede escribirse:

$$E = E_0 \sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\delta + \phi_R - \pi)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

▪ El ángulo de retardo δ se origina por la diferencia de distancias entre la onda directa y la reflejada.

$$\Delta d = R_2 - R_1 \cong \frac{2 \cdot h_1' h_2'}{d} = \frac{2 \cdot h_1 h_2 J}{d} \quad [\text{m}]$$

J: Coeficiente corrección por diferencia de fase

$$\therefore \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d = \frac{4\pi h_1 h_2 J}{\lambda d} \quad [\text{rad}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

Formula fundamental Onda de Radio 2

FORMULA FUNDAMENTAL DE LA ONDA DE RADIO-2

- Cuando el ángulo θ es pequeño, el coeficiente ρ es casi 1, y φ_R casi igual a π , en ese caso la fórmula (1) puede escribirse:

$$E = E_0 \sqrt{1 + 1 - 2 \cos(\delta + \pi - \pi)} = E_0 \sqrt{2(1 - \cos \delta)} = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) \right|$$

- Sustituyendo δ en la fórmula anterior utilizando la fórmula (2), resulta:

$$E = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{\frac{4\pi h_1 h_2 J}{\lambda d}}{2} \right) \right| = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2 J}{\lambda d} \right) \right| \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \frac{d}{\sqrt{2K_a r} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}$$

J: Coeficiente corrección por diferencia de fase

$S < 1$: Dentro del horizonte de propagación

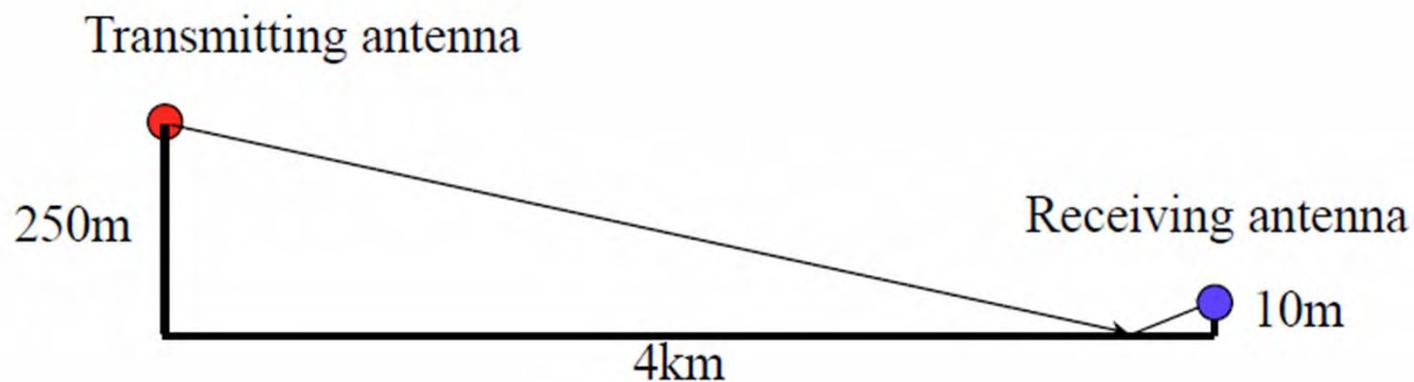
$S > 1$: Fuera del horizonte de propagación

- En el caso de $S \leq 0.2$, y considerando que J puede asimilarse a 1, entonces la fórmula (3) será:

$$E = 2 E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \right| \dots\dots\dots (4)$$

Ejercicio 4

Se dispone de una antena de Tx de 250 m de altura y una antena de Rx de 10 m, con una distancia de 4 km entre la transmisión y la recepción.
Calcular la intensidad de campo E_0 a una frecuencia de 700 MHz.
(La superficie del suelo puede considerarse plana.)



Patrón en altura de antena

Fórmula fundamental:

$$E = 2E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \right|$$

Cuando $n=0$, entonces h_2 :
$$h_{20} = \frac{0 \times \pi \lambda d}{2\pi h_1} = 0$$

Cuando $n=1$, entonces h_2 :
$$h_{21} = \frac{1 \times \pi \lambda d}{2\pi h_1} = \frac{\lambda d}{2h_1}$$

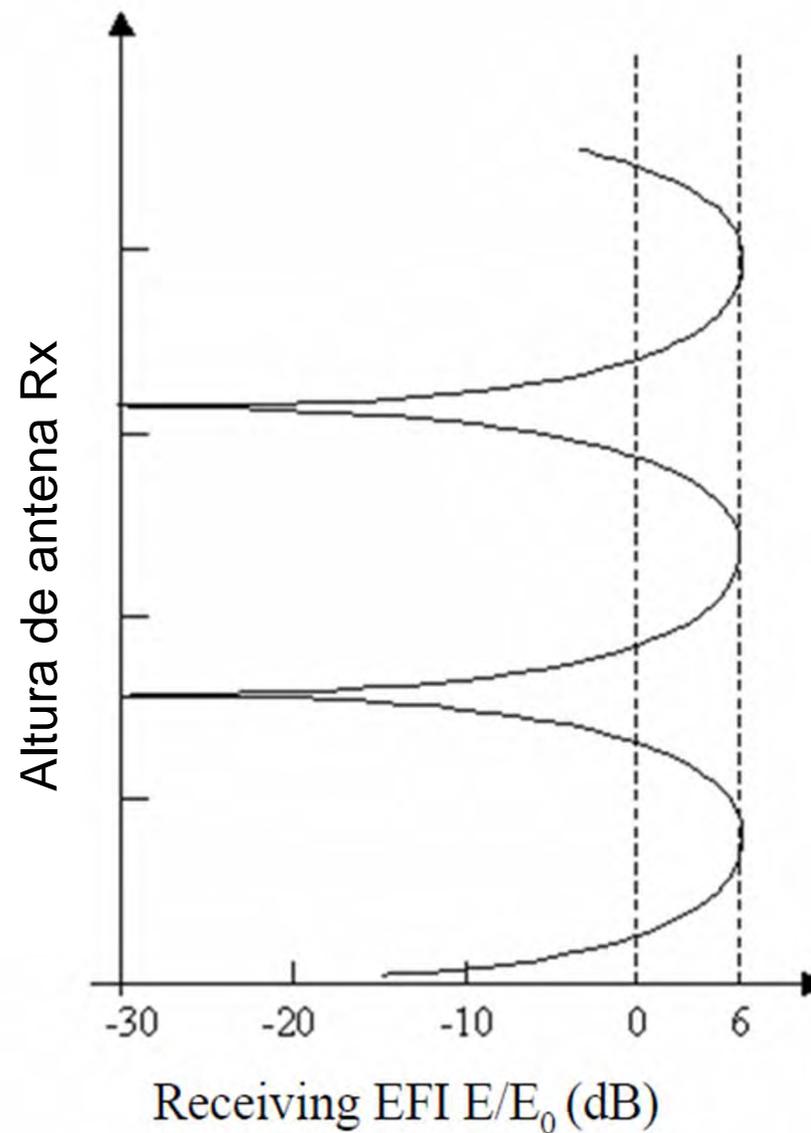
El paso repetitivo a medida que se varía la altura de la antena Rx resulta:

$$p = h_{21} - h_{20} = \frac{\lambda d}{2h_1}$$

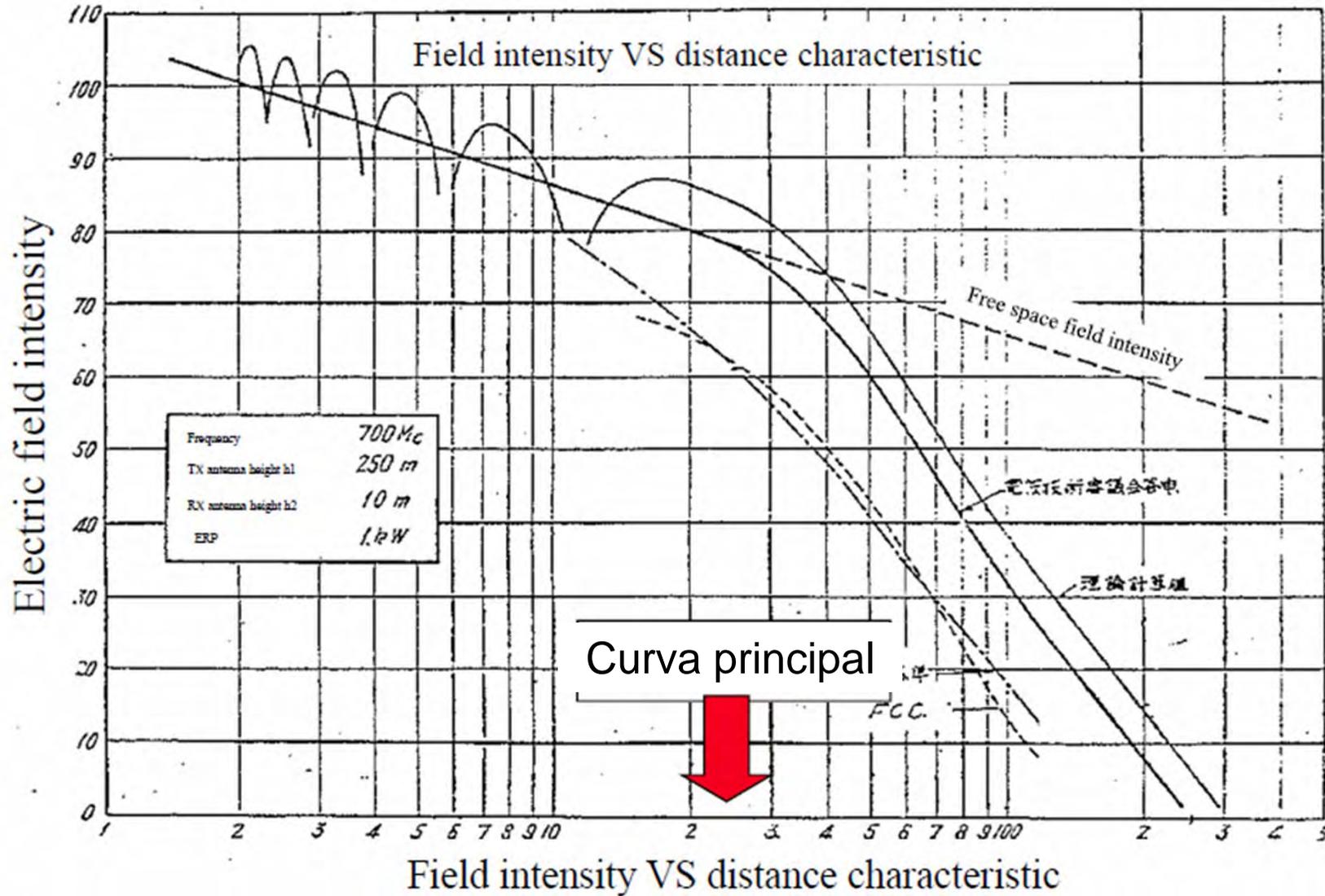
En base a la ecuación anterior, el paso disminuye a medida que la longitud de onda y la distancia disminuyen, así como cuando la altura de Tx aumenta.

Patrón en altura de antena

$$Pitch = \frac{\lambda d}{2h_1}$$



Curvas Intensidad de campo vs distancia

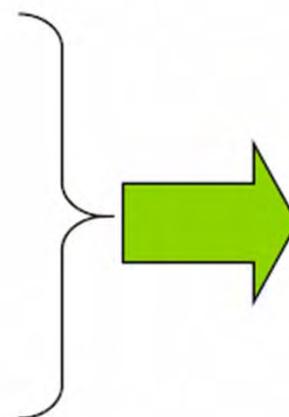


Principios para medición de la ERP

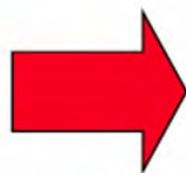
Característica de la propagación de la onda de radio.

$$E = 2E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \right|$$

$$E_0 = \frac{7\sqrt{GP}}{d} = \frac{7\sqrt{ERP}}{d}$$



GP: Se computa la potencia de radiación efectiva.



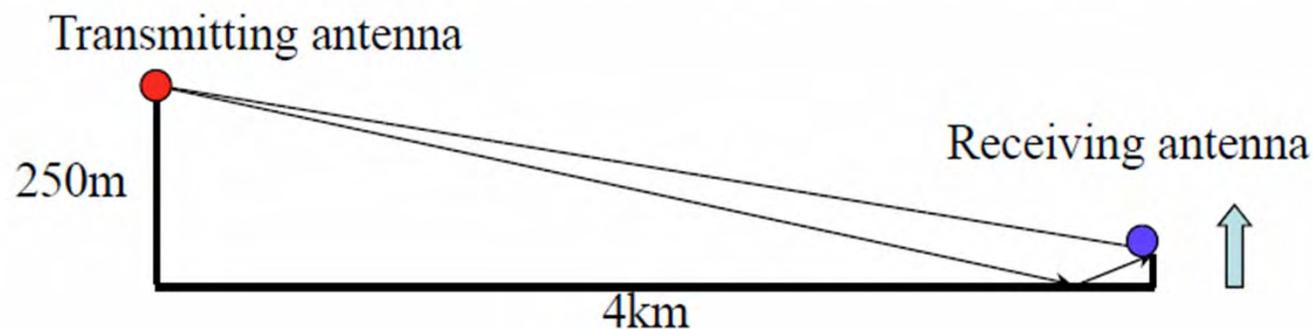
Medir cerca del lóbulo principal.

AGENDA

Se dispone de una antena de Tx con una altura de 250 m, y una antena de Rx de 10m, con una distancia entre los puntos de Tx y Rx de 4 km.

Calcular la IC considerado como la máxima a una frecuencia de 700 MHz, a medida que se eleva la antena Rx desde la superficie del terreno.

(La superficie del terreno puede considerarse plana)





Gracias por su atención...!