Lección 9: Análisis de Enlaces de Comunicación. Parte I

Gianluca Cornetta, Ph.D.
Dep. de Ingeniería de Sistemas de Información y Telecomunicación
Universidad San Pablo-CEU

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Contenido

- Análisis de Enlace
- El Canal
- Potencia de Ruido y de Señal Recibida
- Análisis del Presupuesto de Enlace

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis de Enlace

- Un enlace comprende el camino completo de los datos a través de un sistema de comunicación. Se trata pues del conjunto formado por:
  - Fuente de información
  - Sub-sistema de transmisión (codificador, modulador, etc.)
  - Canal
  - Sub-sistema de recepción
- El resultado del análisis de enlace es un presupuesto de enlace (*link budget*) que consiste en calcular la potencia de la señal útil y del ruido que llegan al receptor
  - El presupuesto de enlace es el balance de pérdidas y ganancias del sistema y *describe la distribución detallada de los recursos de transmisión y recepción que permite cerrar el enlace de comunicación*
- Algunos de los parámetros de enlace son estadísticos por lo que el presupuesto de enlace proporciona una estimación de la tolerancia a errores de un sistema de telecomunicación
- El presupuesto de enlace es una herramienta para:
  - *Estudiar las interdependencias* entre los distintos componentes de un sistema complejo
  - *Analizar las prestaciones* de distintas alternativas de diseño
  - *Buscar soluciones de compromiso* entre los distintos parámetros y figuras de mérito del

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El Canal

- El canal es el medio de propagación que conecta transmisor y receptor
  - *Medios guiados*: cables, cables coaxiales, fibra óptica, guías de onda (para enlaces RF)
  - *Medios no guiados*: atmósfera, espacio
- El objetivo es estudiar un enlace satelital por lo que los medios de propagación considerados son la atmósfera terrestre y el espacio
- Se hará la asunción de *espacio libre* (canal ideal):
  - El canal es libre de todo tipo de limitación que afectan a la propagación de ondas RF: *absorción, reflexión, refracción o difracción*
  - Si el canal contiene atmósfera, ella es uniforme y cumple con todas las condiciones anteriores
  - La tierra es infinitamente distante y su coeficiente de reflexión es despreciable

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El Canal

- Existen dos causas principales de degradación de la señal:
  - *Perdidas por degradación de la relación señal-ruido S/N*
  - *Perdidas por interferencia intersímbolo (ISI)*
- Un presupuesto de enlace sirve principalmente para analizar el efecto de pérdidas y ganancia sobre señal y ruido
  - *El efecto del ISI no se suele tener en cuenta* ya que aumentar la potencia de señal no siempre contribuye a mitigar la degradación debida a interferencia intersímbolo
- En el caso de comunicaciones digitales la tolerancia al error depende del E_b/N_0 de la señal recibida:

$$\boxed{\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N}\left(\frac{W}{R}\right)}$$

- Se trata de una forma normalizada de la relación señal ruido S/N (o SNR)
- Con el SNR se denota (a menos que se indique lo contrario) la

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

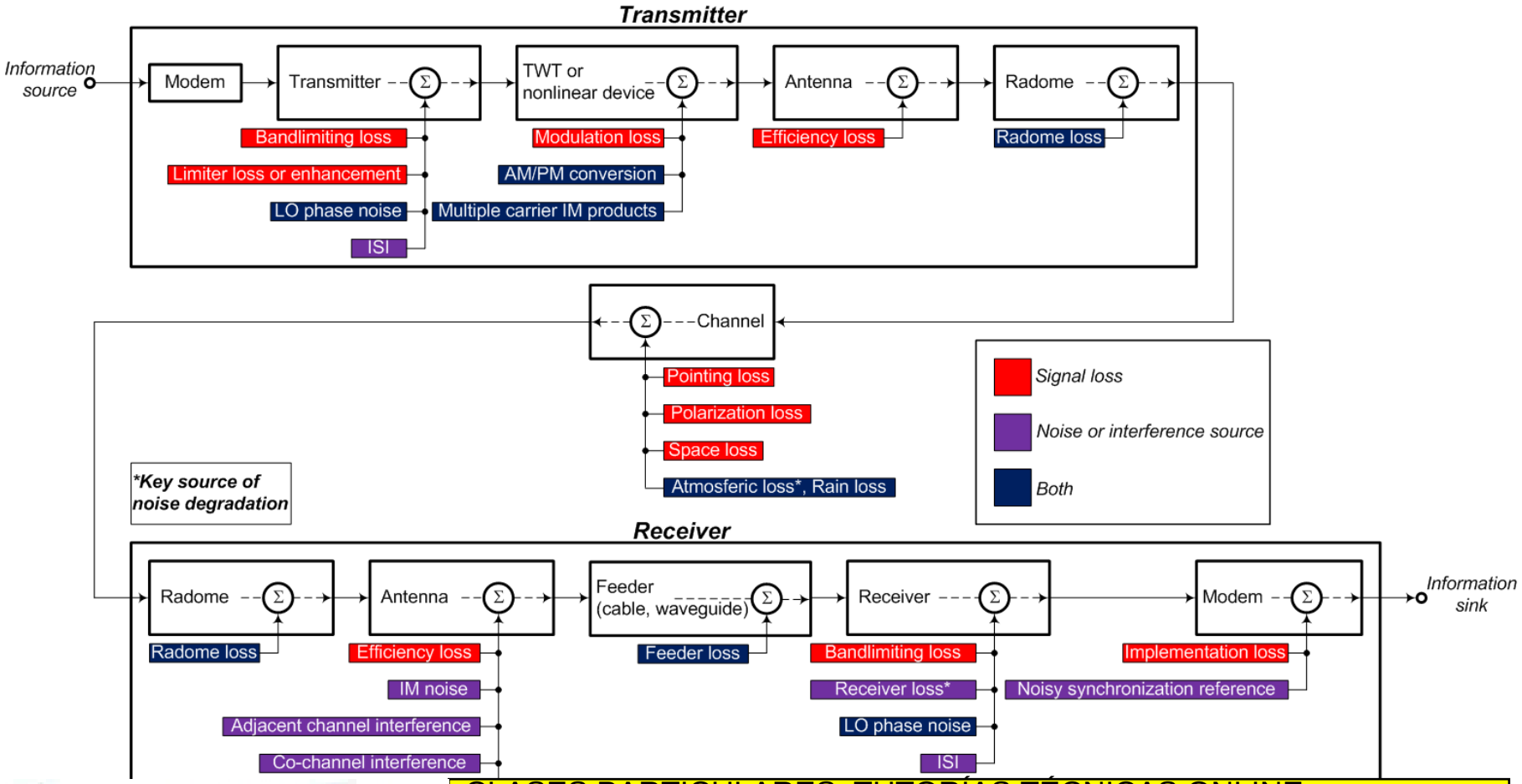
El Canal

- Dos son las fuentes principales de degradación del degradación del SNR:
  - *Disminución de la potencia de la señal deseada (pérdidas de trayecto)*
  - *Aumento de la potencia de ruido (pérdidas por ruido) o de la potencia de los interferentes (pérdidas por interferencia)*
- Las pérdidas ocurren cuando una porción de la señal es absorbida, reflejada o difusa durante su trayecto hacia el receptor
  - Una parte de la energía transmitida no llega pues al receptor
- Las fuentes más comunes de pérdidas por ruido o por interferencia son:
  - Ruido térmico, ruido galáctico, ruido atmosférico, ruido de intermodulación, etc.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El Canal

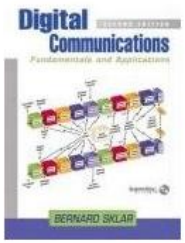


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El Canal

- Las fuentes de interferencia afectan a transmisor receptor y canal, y pueden clasificarse en tres grupos:
  - *Pérdidas de señal*: limitación en banda por filtrado imperfecto, pérdidas o ganancias debidas a limitadores (*hard limiting* o *clipping*), pérdidas de modulación (energía gastada para la portadora), pérdidas de eficiencia, por desapuntamiento o de polarización de la antena, pérdidas debidas a la distancia de transmisión, pérdidas por sincronización y limitaciones de la implementación
  - *Fuentes de ruido e interferencia*: ISI, interferencia de señales en bandas adyacentes o en la misma banda de la señal útil (interferencia co-canal), ruido de intermodulación generado por dispositivos no lineales, ruido térmico en el receptor, ruido galáctico y terrestre
  - *Fuentes de pérdidas y de ruido*: ruido de fase del oscilador, distorsión AM/PM y productos de intermodulación inyectados por dispositivos no lineales (por ejemplo TWT –*Travelling Wave Tube*), pérdidas de radomo, pérdidas por cableado, pérdidas por atenuación atmosférica

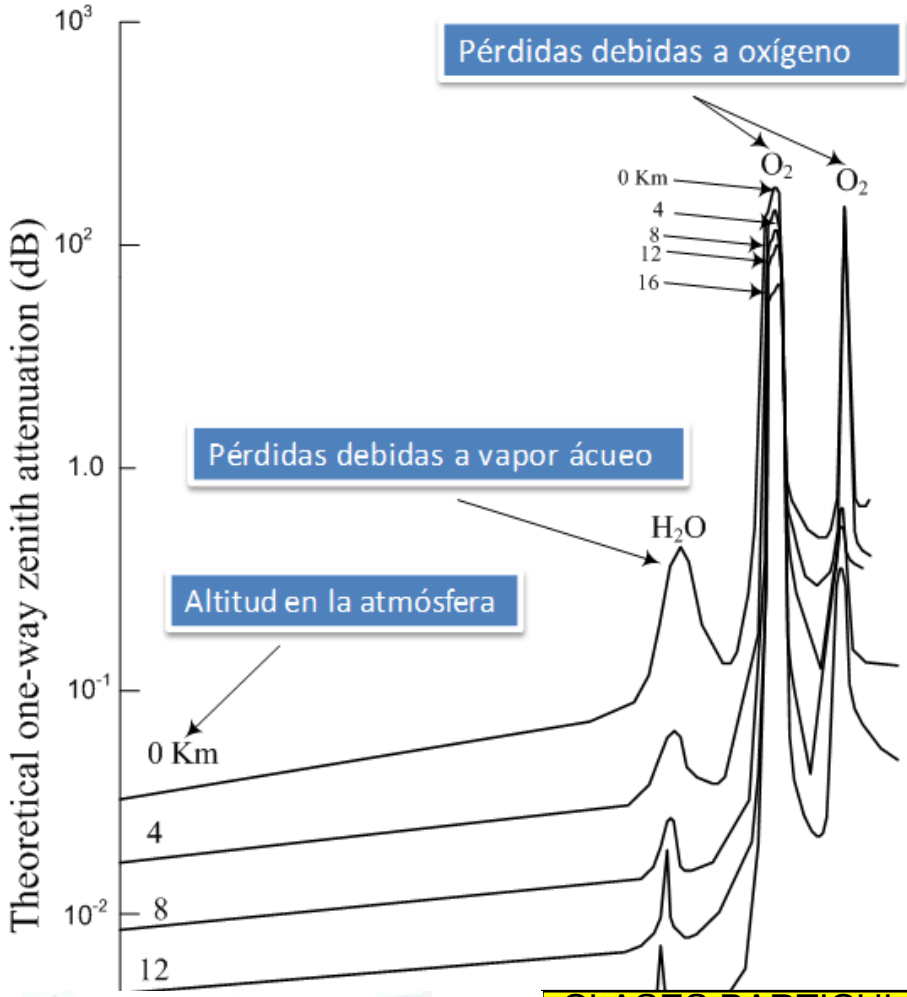


Consulte el ***párrafo 5.2.3*** del libro de texto para información más detallada

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El Canal



La atmósfera es una de las principales responsables de atenuación y de ruido y de ruido en un sistema de telecomunicación ya que las moléculas de vapor ácueo y de oxígeno absorben pero también radian energía en el espectro RF.
La lluvia es también otra de las principales causas de absorción de energía de la señal RF.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

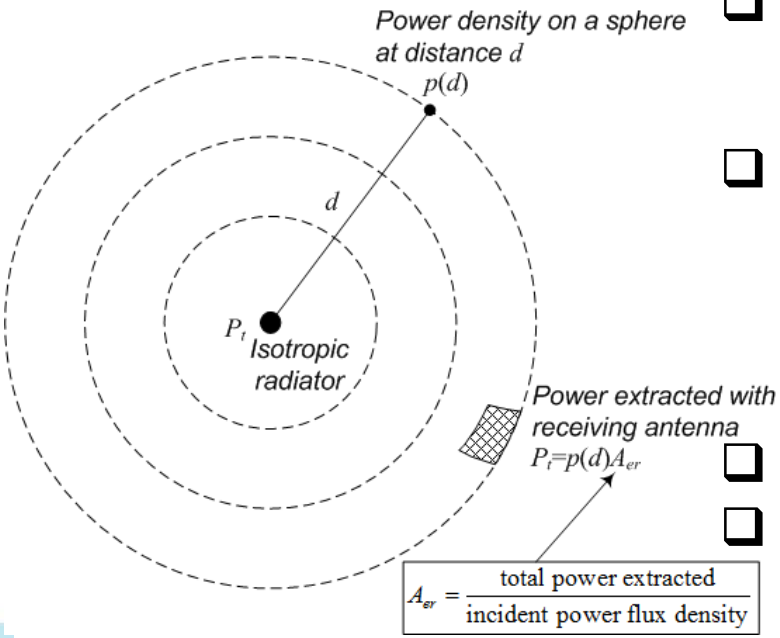
- El objetivo de un presupuesto de enlace es el de verificar que un sistema de telecomunicación se comporta según lo establecido en el plan de despliegue analizando pérdidas y ganancias de la señal desde su transmisión hasta la recepción
- El resultado del análisis es el de determinar cuánto E_b/N_0 es recibido y cuál es el margen de seguridad por encima de este límite
- En un sistema de comunicación la señal:
  - *Parte de una fuente*, es decir la antena transmisora (un transductor que transforma una señal eléctrica en un campo electromagnético)
  - *Atraviesa el canal de transmisión* (que atenúa la señal en función de la distancia entre transmisor y recepción)
  - *Llega al receptor*, es decir la antena receptora (un transductor que realiza la operación inversa de la antena transmisora)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida



- Se asume un radiador isótropo, es decir una fuente RF omnidireccional que transmite uniformemente sobre 4π estereorradianes
- La densidad de potencia $p(d)$ sobre una superficie esférica a una distancia d de la fuente que transmite con una potencia P_t es:

$$\boxed{p(d) = \frac{P_t}{4\pi d^2} \text{ vatios/m}^2}$$

- Donde $4\pi d^2$ es el área de una esfera
- Para campo lejano (es decir $d >> \lambda$), la potencia extraída por la antena receptora es:

$$\boxed{P_r = p(d)A_{er} = \frac{P_t A_{er}}{4\pi d^2}}$$

- Donde A_{er} es la <u>sección eficaz de absorción</u> (*absorption cross section*) o área efectiva de la antena receptora

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

- El área efectiva A_e de un antena (tanto en transmisión A_{et}, como en recepción A_{er}) puede relacionarse con el área física A_p y un coeficiente de eficiencia η que tiene en cuenta del hecho que parte de la potencia incidente se pierde a través de distintos mecanismos :

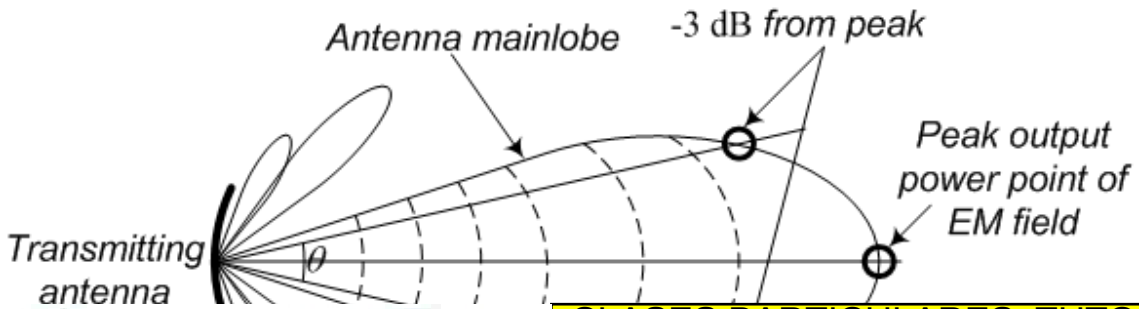
$$\boxed{A_e = \eta A_p}$$

- Valores típicos de η son 0.55 para antenas parabólicas y 0.75 para antenas de bocina
- La direccionalidad de antena o ganancia direccional (*directive gain*) G relaciona la potencia entrante o saliente de una antena con la de un radiador isótropo:

$$\boxed{G = \frac{\text{maximum power intensity}}{\text{average power intensity over } 4\pi \text{ steradians}}}$$

- En ausencia de pérdidas disipativas o de desadaptación de impedancia G representa la ganancia de pico de la antena (en la dirección de máxima intensidad). En el caso de pérdidas es multiplicada por un coeficiente de pérdidas
- La potencia efectiva radiada respecto a un radiador isotrópo (EIRP) es:

$$\boxed{EIRP = P_t G_t}$$



El campo de antena es una medida del ángulo sólido en el que está concentrada la mayor parte de la potencia radiada y es inversamente proporcional a la ganancia de antena G. En la práctica se utiliza el ángulo plano θ (*anchura del haz*) medido en

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

- En el caso en que la antena de transmisión tiene cierta ganancia respecto a una antena isótropa la potencia de transmisión P_t se sustituye con $EIRP$:

$$\boxed{P_r = EIRP\,\frac{A_{er}}{4\pi d^2}}$$

- La relación entre ganancia de antena G y área efectiva A_e es:

$$\boxed{G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad \left(\text{for } A_e >> \lambda^2\right)}$$

- Por el *teorema de reciprocidad* esta relación es válida tanto para antenas transmisoras como receptoras: para una antena y una longitud de onda de portadora dadas, antenas transmisoras y receptora son idénticas
- La ganancia de antena aumenta con la frecuencia y con la apertura efectiva de antena
- El haz de la antena disminuye con la frecuencia y con la apertura

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

- *El área efectiva de una antena isótropa* se puede calcular imponiendo $G=1$:

$$\boxed{A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi}}$$

- Para una antena isotrópa $A_e=A_{er}=A_{et}$, por tanto *la potencia recibida por una antena isotrópa* es:

$$\boxed{P_r = EIRP\,\frac{A_{er}}{4\pi d^2} = \frac{EIRP}{(4\pi d/\lambda)^2} = \frac{EIRP}{L_S}}$$

- $L_S=(4\pi d/\lambda)^2$ representa las pérdidas de trayecto (*path loss*) o pérdidas en el espacio libre (*free-space loss*) en el caso de antena receptora isótropa ($G_r=1$) y *es una magnitud que depende de la frecuencia*
- La potencia recibida por una antena es igual a la potencia isotrópa efectiva radiada ($EIRP$) reducida sólo por las pérdidas de trayecto
- Si la antena no es isótropa

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

- La potencia recibida P_r puede expresarse de cuatro formas distintas:

$$\boxed{P_r = \frac{P_t G_t A_{er}}{4\pi d^2} = \frac{P_t A_{et} A_{er}}{\lambda^2 d^2} = \frac{P_t A_{et} G_r}{4\pi d^2} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}}$$

- Analizando estas ecuaciones se podría extrapolar información equivocada ya que en algunas parece que P_r es independiente de la frecuencia mientras que en otras resulta directamente o inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia a través de λ
- Naturalmente son se trata de ninguna paradoja ya que la ganancia de antena y su apertura efectiva están relacionadas con el cuadrado de la longitud de onda λ
- Las distintas expresiones de se utilizan en escenario distintos:
  - *Primera ecuación*: G_t y A_{er} se mantienen fijos al variar de la longitud de onda λ (esto significa que A_{et} debe variar para que G_t se mantenga constante con λ)
  - *Segunda ecuación*: se utiliza para estimar las prestaciones de sistemas ya construidos (A_{et} y A_{er} fijos). Esta ecuación nos dice que la potencia recibida aumenta al aumentar de la frecuencia
  - *Tercera ecuación*: se utiliza cuando G_r y A_{et} se mantienen fijos al variar de la

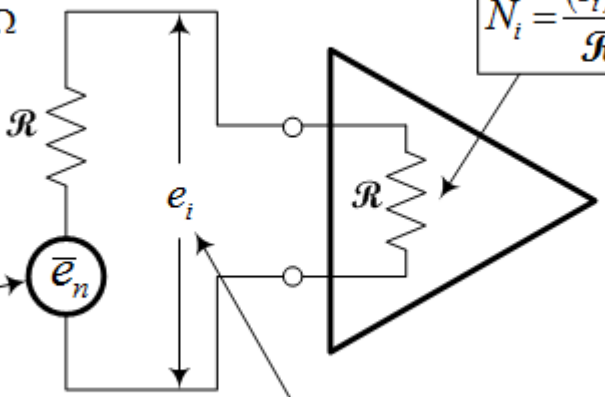
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Potencia de Ruido y de Señal Recibida

κ = Boltzmann's constant = 1.38×10^{-23} J/K or W/K - Hz = -228.6 dBW/K - Hz
T = Temperature, K
W = Bandwidth, Hz
$\mathcal{R}$ = Resistance, Ω



$$N_i = \frac{(\bar{e}_i)^2}{\mathcal{R}} = \frac{\kappa T W \mathcal{R}}{\mathcal{R}} = \kappa T W$$

$$\bar{e}_n = \sqrt{4\kappa T W \mathcal{R}}$$

$$\bar{e}_i = \frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R}+\mathcal{R}}\bar{e}_n = \sqrt{\kappa T W \mathcal{R}}$$

El acoplamiento entre antena y receptor no es ideal genera ruido térmico.

- La máxima densidad espectral de potencia unilateral N_0 (potencia de ruido en una banda de 1 Hz) es:

$$N_0 = \frac{N_i}{W} = \kappa T \quad \text{W/Hz}$$

- La potencia de ruido disponible de una fuente de ruido térmico depende de la temperatura de la fuente (temperatura de ruido –*noise temperature*)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- En un presupuesto de enlace la magnitud de interés es el SNR en recepción (es decir, la salida de la antena de recepción)
- Este SNR se suele indicar con CNR (*carrier-to-noise ratio*)
  - La potencia de ruido es $N = \kappa T_s W$
  - T_s es la temperatura de sistema
  - W es el ancho de banda
- A partir del SNR (también indicado con P_r/N o S/N) hay que determinar E_b/N_0
- Para señales con supresión de portadora (como las señales transmitidas por satélites, es decir modulaciones PSK o FSK) SNR y CNR tienen el mismo valor y se utilizan de forma intercambiable:

$$\boxed{\frac{P_r}{N} = \frac{S}{N} = \frac{C}{N} = \frac{C}{\kappa T W}}$$

- En general SNR y CNR son diferentes y sólo coinciden cuando la

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- Considere el caso de una señal FM:

$$\boxed{s(t) = A\cos\left(\omega_0 t + K\int m(t)dt\right)}$$

- Donde $m(t)$ es la moduladora y K una constante
- La potencia media de $m(t)$ es $\overline{m^2(t)}$, por tanto aumentar la potencia de la moduladora sólo aumenta la desviación de frecuencia respecto a la frecuencia de portadora ω_0
- La potencia de portadora es difusa sobre un espectro más ancho pero la potencia media de señal $\overline{s^2(t)}$ resta igual a $A^2/2$ independiente mente de $\overline{m^2(t)}$
- Para modulaciones lineales como AM:

$$\boxed{s(t) = [1+m(t)]A\cos\omega_0 t \Rightarrow \overline{s^2(t)} = [1+m(t)]^2\frac{A^2}{2} = \frac{A^2}{2}\left[1+\overline{m^2(t)}+2\overline{m(t)}\right]}$$

- Si $m(t)$ tiene media nula:

$$\boxed{\overline{s^2(t)} = \frac{A^2}{2}\left[1+\overline{m^2(t)}\right]}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- La potencia a la salida de la antena es:

$$\boxed{P_r = EIRP\,\frac{G_r}{L_S} \Rightarrow \frac{P_r}{N} = EIRP\,\frac{G_r/N}{L_S}}$$

- *En receptores analógicos* la banda equivalente de ruido vista por el demodulador suele ser mayor de la banda de señal, por tanto P_r/N es la figura de mérito más adecuada
- *En receptores digitales* banda de ruido y de señal son idénticas, por tanto es preferible sustituir la potencia de ruido con la densidad espectral de potencia de ruido:
- Para modulaciones lineales como AM:

Figura de mérito del receptor

Otras pérdidas

$$\frac{P_r}{N_0} = EIRP\,\frac{G_r}{L_S}\,\frac{1}{\kappa T L_O}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- T es la temperatura efectiva del sistema y es función del ruido radiado hasta la antena receptora y del ruido térmico generado por el receptor
- G_r/T se conoce como *figura de mérito del receptor*
- Asumiendo que toda la potencia recibida P_r está en la moduladora, se obtiene:

$$\boxed{\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r}{N}\left(\frac{W}{R}\right) = \frac{P_r}{N/W}\left(\frac{1}{R}\right) = \frac{P_r}{N_0}\left(\frac{1}{R}\right)}$$

- Por tanto resulta que:

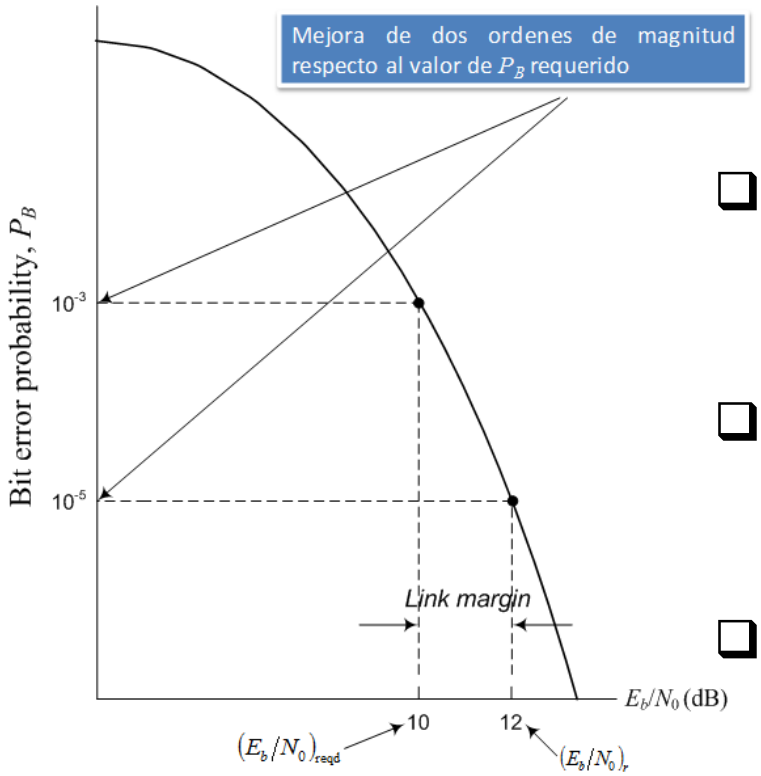
$$\boxed{\frac{P_r}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} R}$$

- Donde R es el *bitrate*
- Esta ecuación se puede extender también al caso en que parte de la potencia recibida P_r es de portadora
  - En este caso la potencia de portadora contribuye al factor de pérdidas L

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace



- E_b/N_0 es definido como el valor de energía por bit referido a la densidad espectral de potencia de ruido necesario para alcanzar una probabilidad de error dada
- Para calcular el margen de seguridad M hay que distinguir entre:
  - El E_b/N_0 requerido por el estándar: $(E_b/N_0)_{\text{reqd}}$
  - El E_b/N_0 actual o recibido: $(E_b/N_0)_r$
- No se diseña utilizando $(E_b/N_0)_{\text{reqd}}$ sino $(E_b/N_0)_r$ que fija el margen de error o margen de enlace (*link margin*) tolerado por el sistema
- La relación señal-ruido puede reescribirse teniendo en cuenta el margen de enlace M :

$$\boxed{\frac{P_r}{N_0} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_r R = M\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{reqd}} R}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- Es posible expresar el margen de enlace M en función de todos los principales parámetros de enlace obteniendo la *ecuación del margen de enlace*:

$$\frac{P_r}{N_0} = EIRP\,\frac{G_r/T}{\kappa L_S L_O} \Rightarrow M\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{reqd}} R = EIRP\,\frac{G_r/T}{\kappa L_S L_O} \Rightarrow M = EIRP\,\frac{G_r/T}{\left(E_b/N_0\right)_{\text{reqd}} R\kappa L_S L_O}$$

- E_b/N_0 es definido a la entrada del receptor (*predetection point*)
  - En general, cada parámetro que se refiere a energía o potencia recibida es definido a la entrada del receptor (*predetection point*)
- G_r/T es definida a la entrada de la antena receptora

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLÍNE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

- El análisis de enlace se suele realizar en dB, por tanto hay que expresar en dB la ecuación del margen de enlace:

$$M(\mathrm{dB}) = EIRP(\mathrm{dBW}) + G_r(\mathrm{dBi}) - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\mathrm{reqd}}(\mathrm{dB}) - R(\mathrm{dB\text{-}bit/s}) - \kappa T(\mathrm{dBW/Hz}) - L_S(\mathrm{dB}) - L_O(\mathrm{dB})$$

- Un dBW expresa la potencia de una señal en dB en relación a 1 W
- Un dBi (decibelio isótropo) mide la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica
- La tasa de transmisión R se expresa en dB referidos a una velocidad de referencia de 1 bit/s
- ¿Cuál es el margen de enlace mínimo necesario?
- El valor de M depende del escenario de diseño y del grado de confianza del diseñador en los parámetros de enlace. M puede ser mínimo cuando:
  - Todas las fuentes de pérdidas y ganancia han sido cuidadosamente analizadas considerando el caso peor
  - Todos los parámetros de enlace con elevada varianza (por ej. atenuación

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

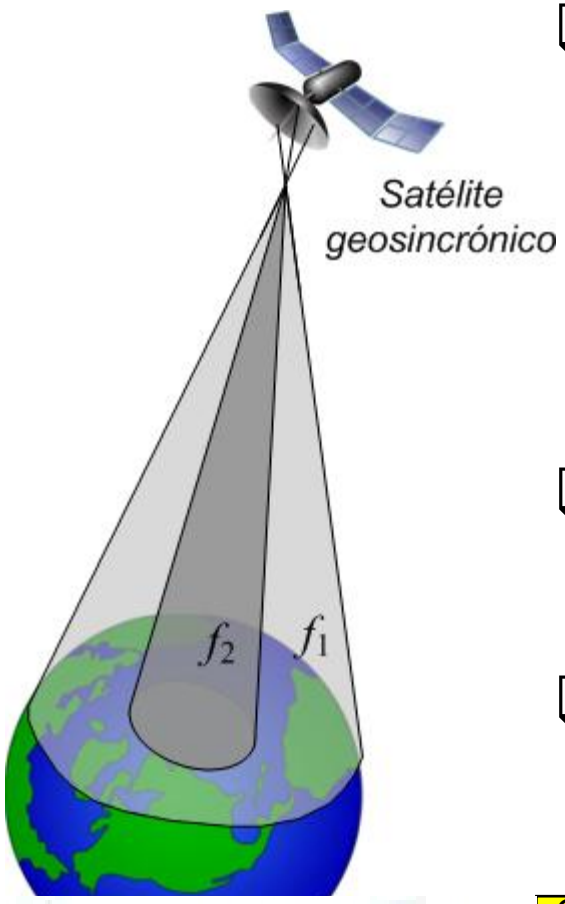
Análisis del Presupuesto de Enlace

- Por ejemplo:
  - Comunicación vía satélite en banda C (enlace ascendiente –*Uplink* 6 GHz, enlace descendiente –*Downlink* 4 GHz)
    - Los parámetros de enlace suelen ser bien conocidos por lo que un margen de enlace M=1 dB es suficiente
  - Enlace telefónico satelital con disponibilidad del servicio del 99.9% (por ejemplo INTELSAT)
    - Requiere un margen de enlace M de entre 4 y 5 dB
- En general, sistemas que operan a frecuencias elevadas (del orden de decenas de GHz) precisan márgenes de enlace más elevados debido a su baja tolerancia a las variaciones atmosféricas

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace

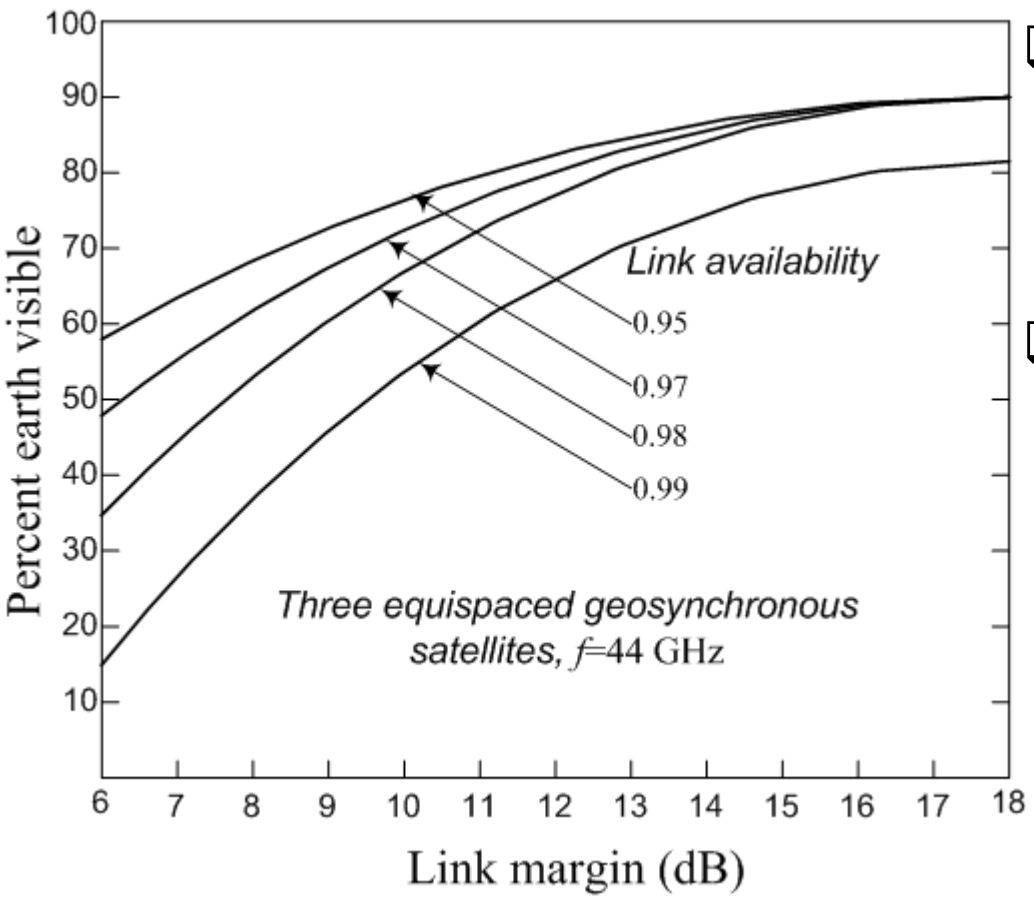


- El efecto de la atenuación atmosférica sobre la degradación del SNR es una función de la frecuencia, por tanto <u>la disponibilidad de enlace y el margen de enlace necesario deben ser examinados en el contexto de una particular frecuencia de transmisión</u>
- La ganancia de antena G_t del satélite es fija por lo que la P_r resultante es independiente de la longitud de onda
- Si el satélite consigue cubrir la superficie terrestre transmitiendo a la frecuencia f_1, un cambio a la frecuencia $f_2 > f_1$ reducirá el nivel de cobertura (ya que G_t aumentará)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace



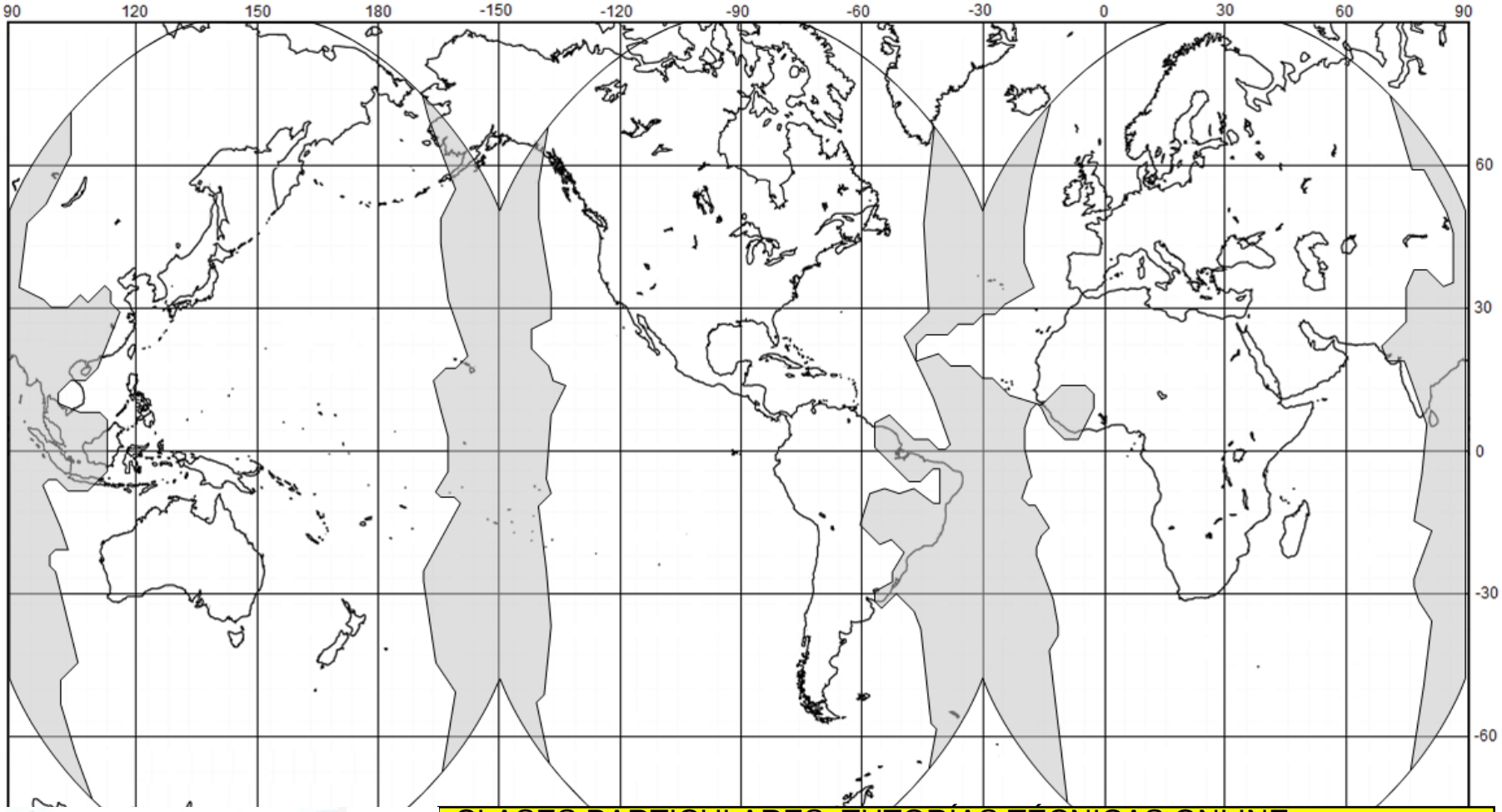
- La *disponibilidad de enlace* es una medida (sobre base anual) de la fracción de tiempo por la que un enlace está disponible
- En general, para un un satélite geoestacionario:
  - ***Fijado el margen de enlace***, la visibilidad es inversamente proporcional a la disponibilidad requerida
  - ***Fijada la disponibilidad***, la visibilidad aumenta monotonicamente al aumentar del margen de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

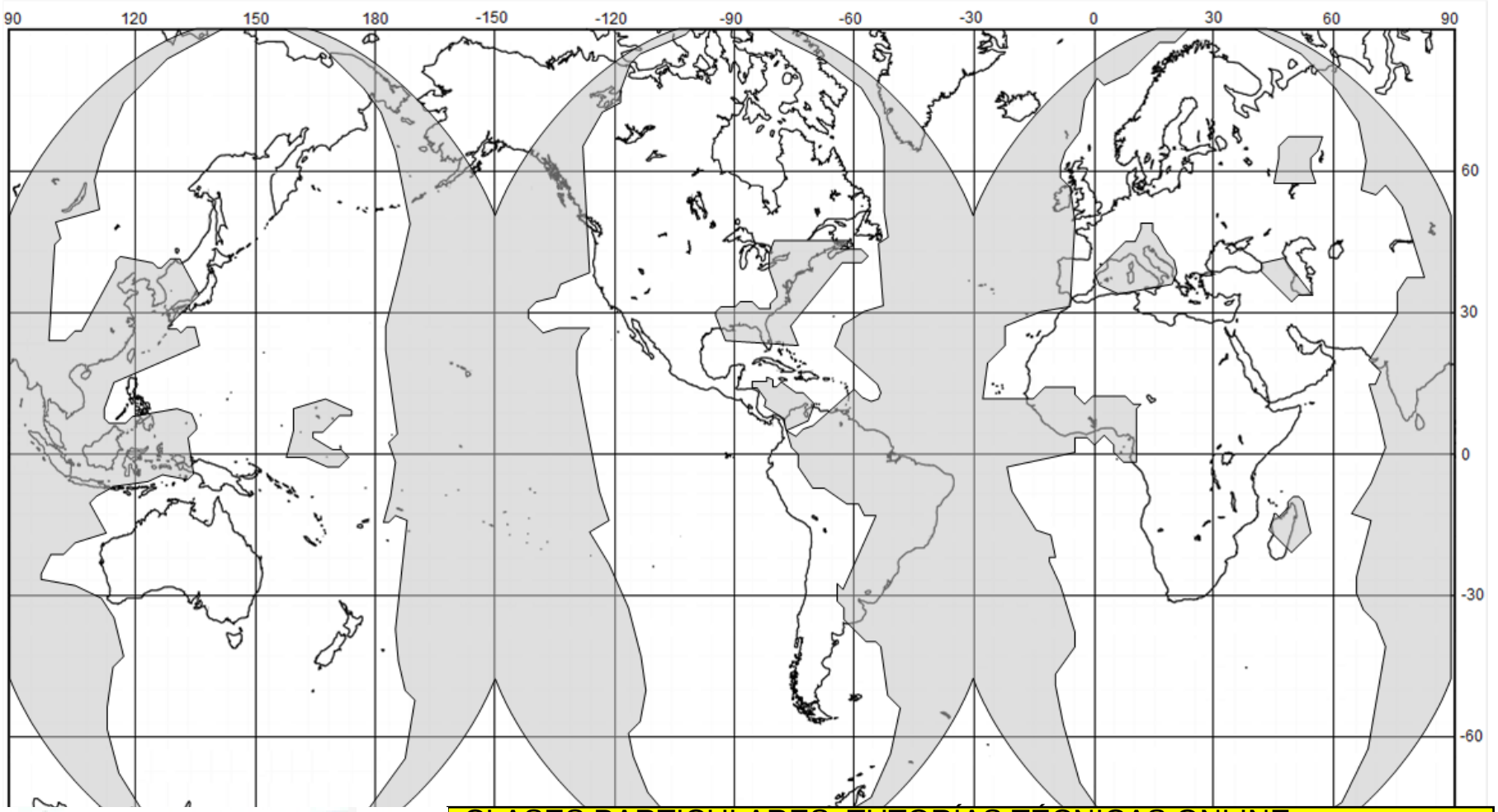
Análisis del Presupuesto de Enlace



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud del Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

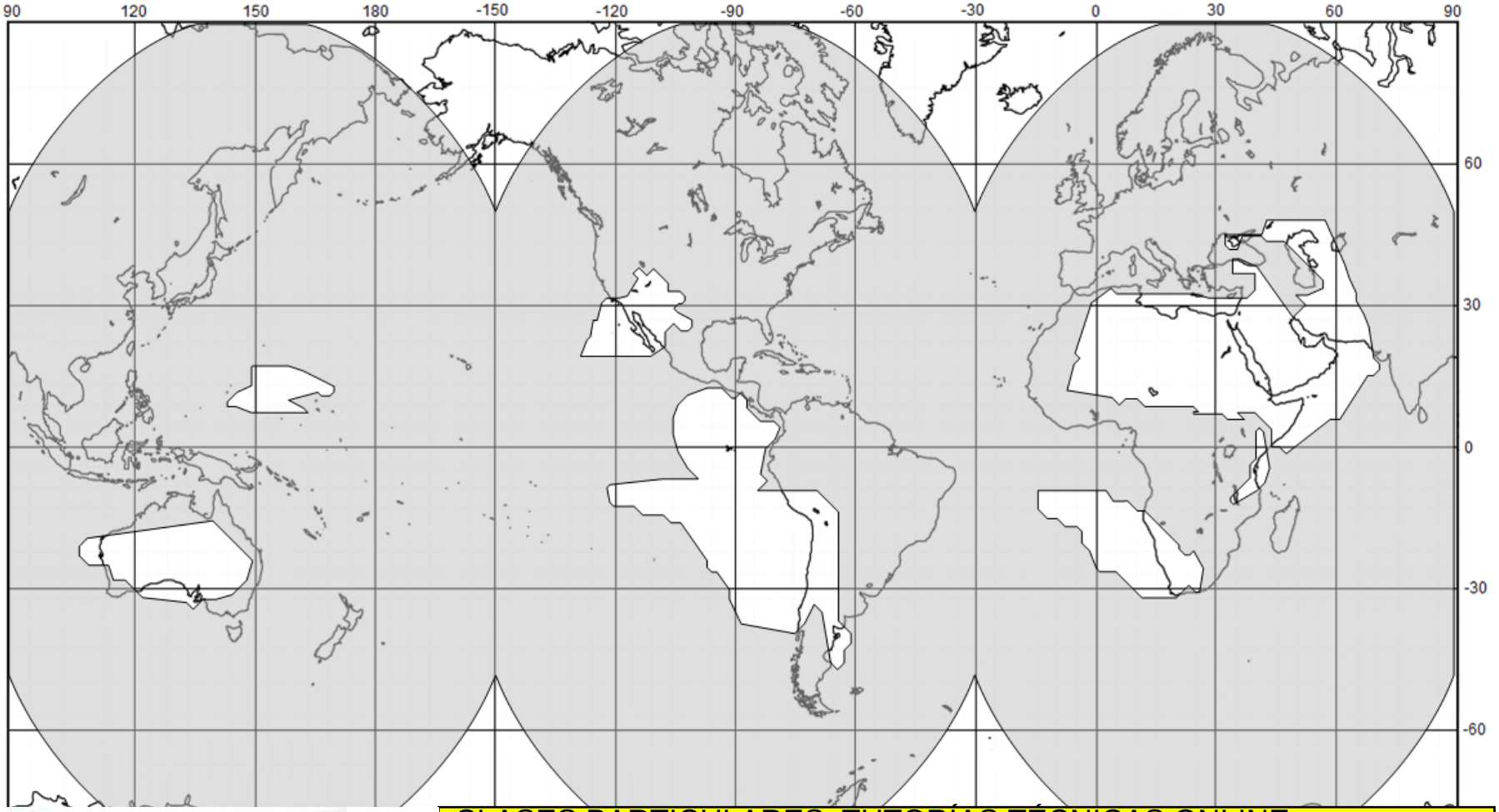
Análisis del Presupuesto de Enlace



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del Presupuesto de Enlace



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.