



SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA EN REDES LTE

Eduardo M. de Rioja y del Nido

CONAMA2014



SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA EN REDES LTE

Aspectos ambientales del control de potencia

01 ASPECTOS AMBIENTALES DEL CONTROL DE POTENCIA

CONAMA2014



01. Aspectos ambientales del control de potencia

→ El control de potencia en las redes móviles

Forma parte de los denominados mecanismos de gestión de los recursos radio (*Radio Resource Management*, RRM). Sus principales funciones son:

- Fijar la potencia de transmisión, adaptándola a las condiciones del canal de propagación y asegurando un cierto nivel de calidad de servicio.
- Reducir la interferencia generada entre equipos de la misma red y con otros sistemas de comunicaciones.

Desde el punto de vista medioambiental, el control de potencia puede influir en los siguientes aspectos:

- Reducción en el consumo energético de los terminales.
- Aumento en la duración de las baterías.
- Regulación de la potencia emitida de acuerdo con la normativa vigente.



01. Aspectos ambientales del control de potencia

→ Reducción del consumo energético

- El uso cada vez más extendido de dispositivos como *tablets*, *smartphones* y ordenadores portátiles, da lugar a altas expectativas por parte de los usuarios:
 - Conectividad instantánea.
 - Tasas de datos elevadas.
 - Nuevas aplicaciones.
- Las nuevas tecnologías de banda ancha, como WiMAX y LTE, han sido diseñadas para poder satisfacer dichas expectativas, pero las prestaciones requeridas para ello implican un consumo de potencia importante.
- Por tanto, se han desarrollado diferentes mecanismos de ahorro de energía que permiten aumentar la duración de la batería de los terminales:
 - Modos de funcionamiento *idle* y *sleep*.
 - Modo de recepción discontinua (DRX).
 - Control de la potencia transmitida.



01. Aspectos ambientales del control de potencia

→ Regulación de la potencia emitida

- Real Decreto 1066/2001: fija niveles de referencia para las emisiones radioeléctricas, en función de los límites de exposición del público en general a los campos electromagnéticos.
- Tasa Específica de Absorción (W/kg)

Gama de frecuencia	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz-	—	8/f	—	—	—	—
4-1.000Hz	—	2	—	—	—	—
1.000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	4.000/f	5.000/f	—
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	—
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	—
10-400 MHz	28	0,73/f	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10



SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA EN REDES LTE

La tecnología LTE

02 LA TECNOLOGÍA LTE

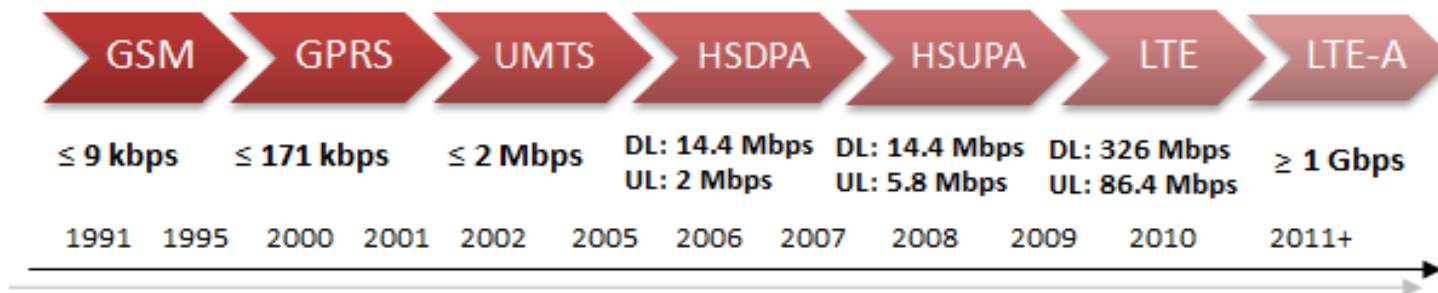
CONAMA2014



02. La tecnología LTE

→ La tecnología LTE

- El estándar LTE (*Long Term Evolution*) fue definido por el 3GPP en 2009, dentro de la *Release 8*. Tanto LTE como su evolución *LTE-Advanced* son exponentes de la cuarta generación de las comunicaciones móviles o 4G.
- Sus principales ventajas respecto a sus predecesores son:
 - Aumento de las velocidades de transmisión.
 - Mayor eficiencia espectral y anchos de banda escalables.
 - Reducción de la latencia en la red de acceso.
 - Mecanismos de gestión más eficientes.

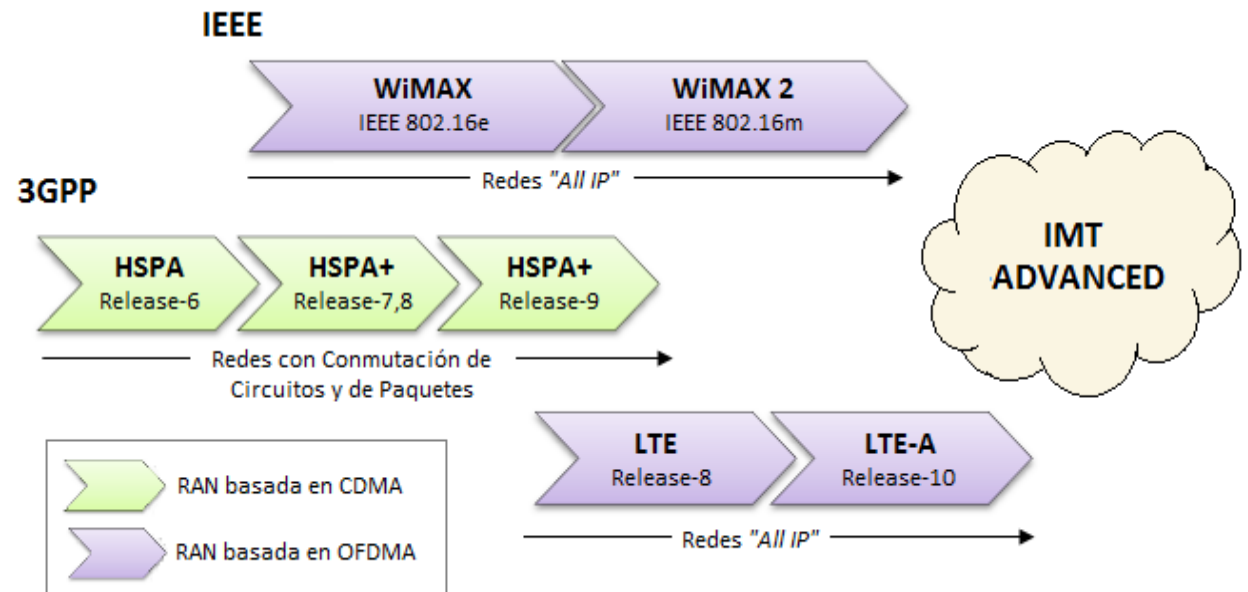




02. La tecnología LTE

→ La evolución hacia IMT-Advanced

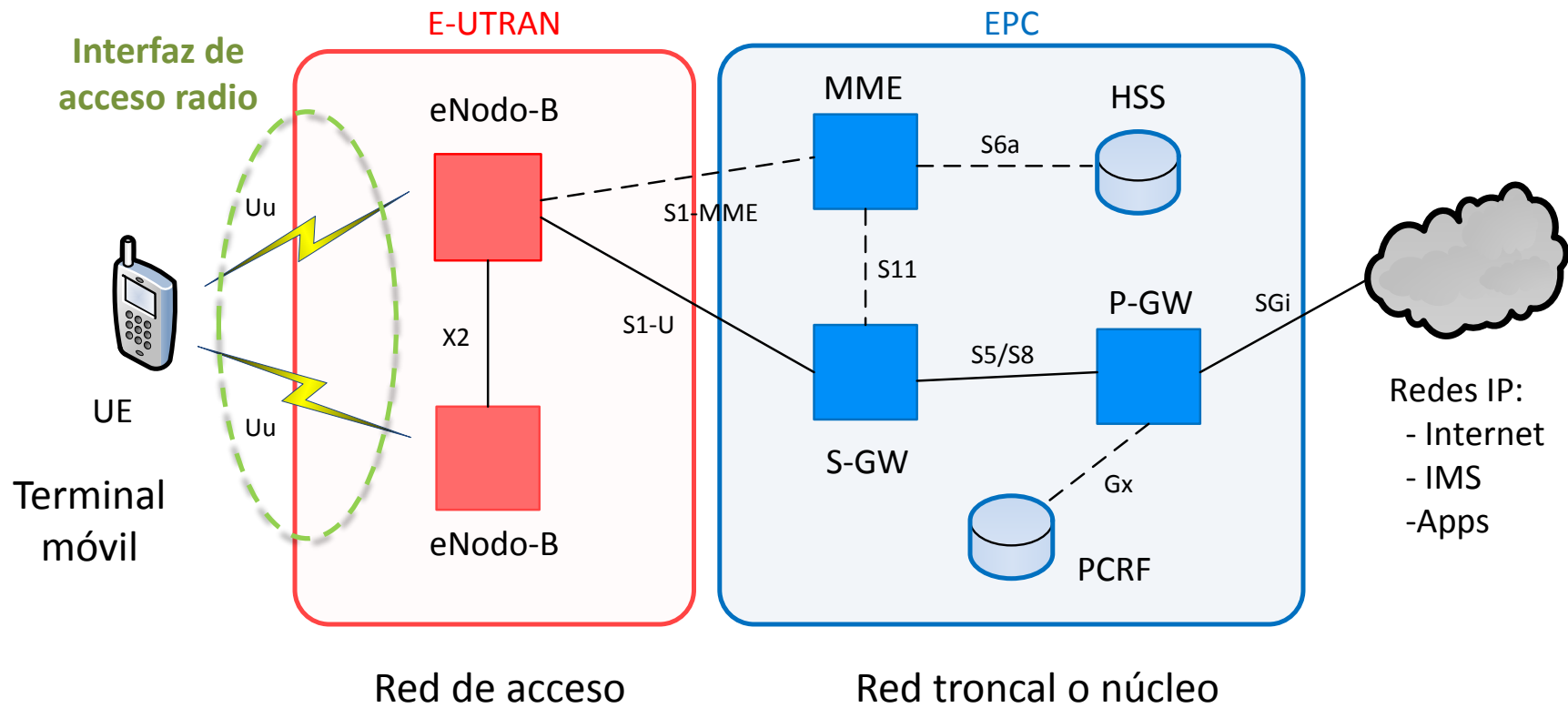
- La familia de tecnologías IMT-Advanced engloba los sistemas considerados como 4G.
- El contrapunto a LTE en el marco del IEEE es el sistema WiMAX, con el que comparte muchas características.
- En España se ha optado más por LTE, aunque su desarrollo haya sido más lento que en otros países.





02. La tecnología LTE

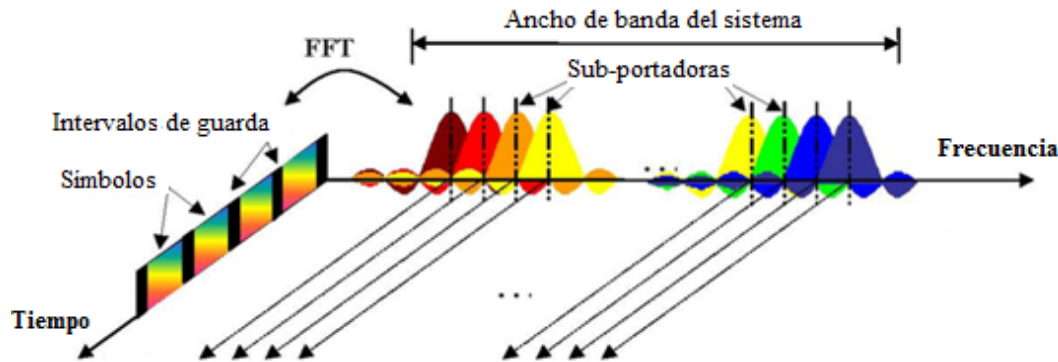
→ Arquitectura de la red LTE





02. La tecnología LTE

→ La interfaz radio: modulaciones OFDMA Y SC-FDMA



- Transmisión sobre portadoras ortogonales, con símbolos multiplexados sobre las mismas.

$$x(t) = e^{j-2\pi-k\Delta f-t} \cdot \Pi_{T_S}(t)$$

- Robustez frente a propagación multitrayecto, por la adición del prefijo cíclico.
- Sencilla implementación circuital mediante FFT.
- Factor de reutilización de frecuencias igual a 1.

OFDMA	SC-FDMA
Enlace descendente	Enlace ascendente
Alta relación PAPR	Baja relación PAPR
Asignación flexible de recursos	Asignación contigua en frecuencia

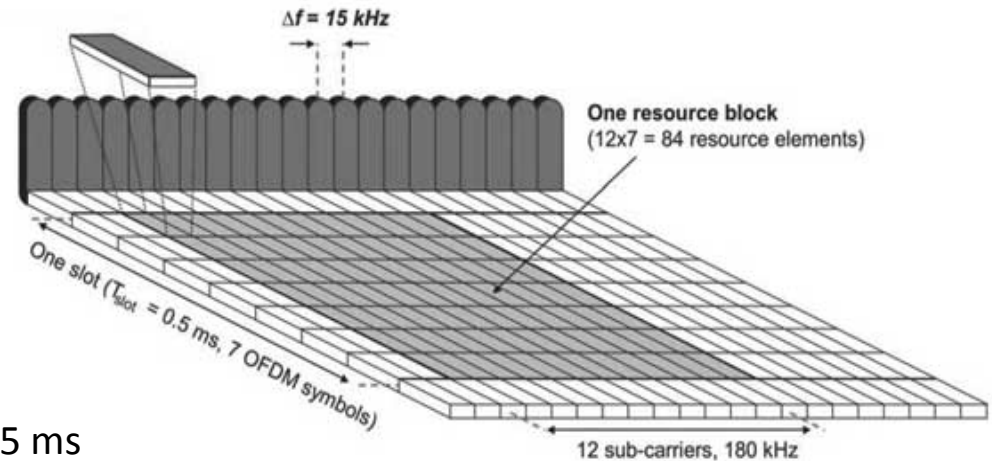


02. La tecnología LTE

→ Los bloques de recursos

- Flexibilidad en la asignación de recursos a los usuarios en el dominio tiempo-frecuencia.

1 RB = 12 subportadoras (180 KHz) x 2 slots de 0,5 ms



Ancho de banda	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Nº de SCs útiles	73	181	301	601	901	1201
Nº de PRBs	6	15	25	50	75	100
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Velocidad de pico total (Mbps)	6	15	25	50	75	100
Velocidad de pico bruta (Mbps)	5.1	12.8	21	42.5	63.7	85

Hasta 100 Mb/s con sistemas de 20 MHz de ancho de banda, sin utilizar MIMO.



SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA EN REDES LTE

Los sistemas de control de potencia

03 LOS SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA

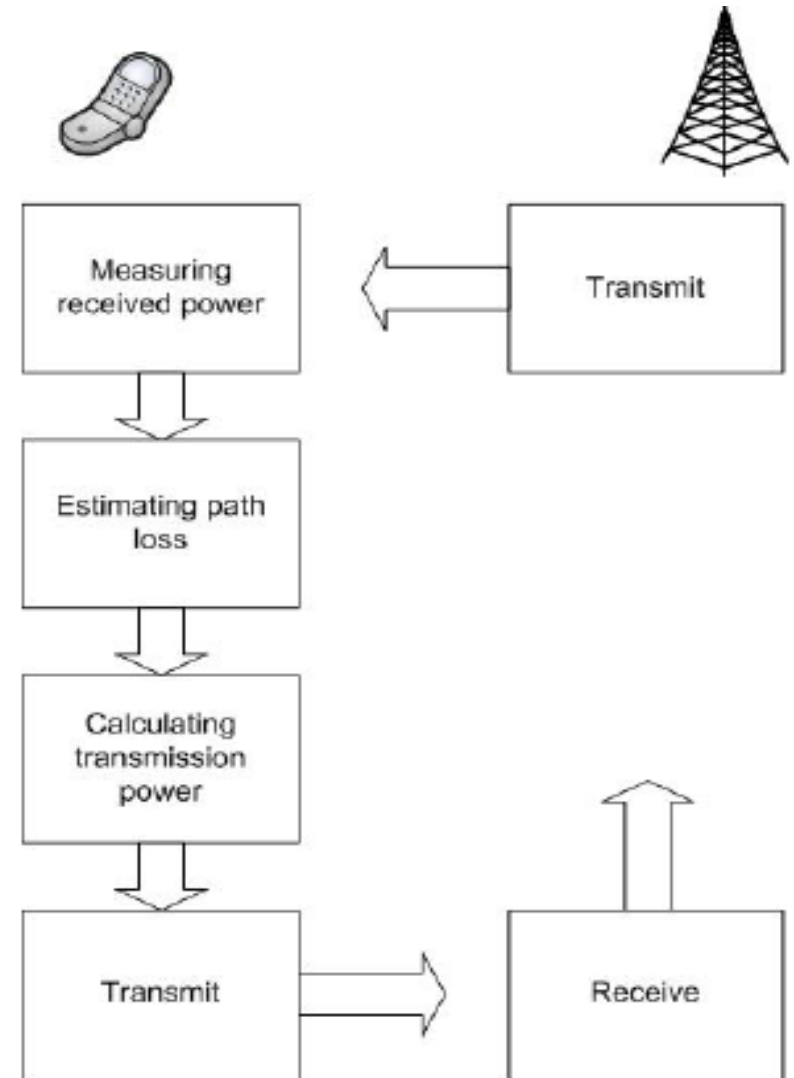
CONAMA2014



03. Los sistemas de control de potencia

→ Método de control en lazo abierto

- Estimación de la potencia necesaria realizada por el terminal antes de llevar a cabo una transmisión.
- Compensa las pérdidas de propagación y el desvanecimiento lento del canal, pero no tiene en cuenta correctamente los efectos del desvanecimiento rápido.
- No espera ningún tipo de información procedente de la estación base.
- El proceso de cálculo es muy rápido (puede hacerse cada 1 ms).

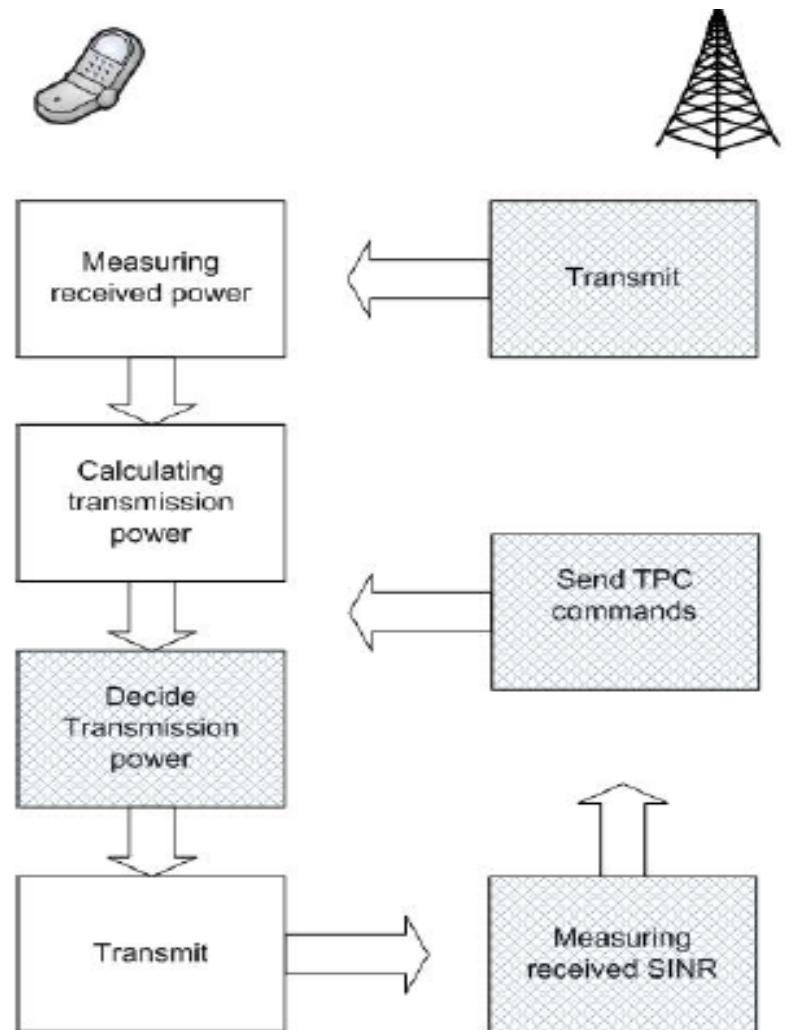




03. Los sistemas de control de potencia

→ Métodos de control en lazo cerrado

- Ajuste de la potencia del terminal indicado por la estación base, en función de la calidad de la señal recibida y la deseada (SINR objetivo).
- Corrige defectos en la compensación del desvanecimiento rápido.
- Requiere de un periodo de espera para recibir y decodificar los comandos enviados por la estación base (4 ms), por lo que estos no se aplican instantáneamente.





03. Los sistemas de control de potencia

→ Control de potencia en GSM

- Valores de potencia máxima fijados por el estándar según el *power class number*.
- Ajustes realizados mediante *power level numbers*, que indican niveles de potencia con variaciones de ± 2 dB.
- El periodo de integración para medida y corrección de potencia es de 60 ms.

<i>Power Class Number</i>	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
	Potencia Máxima	Potencia Máxima	Potencia Máxima
1	-	30 dBm	30 dBm
2	39 dBm	24 dBm	24 dBm
3	37 dBm	36 dBm	33 dBm
4	33 dBm	-	-
5	29 dBm	-	-



03. Los sistemas de control de potencia

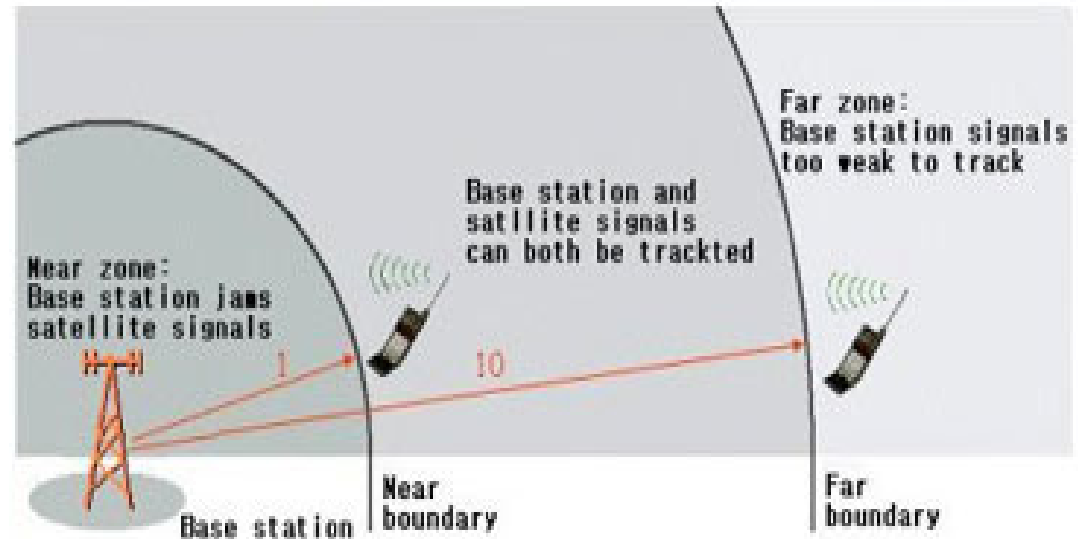
→ Control de potencia en UMTS

Mecanismo consistente en:

- Control de potencia en lazo abierto: estimación del móvil.

$$P_{tx}[\text{dBm}] = L_{DL} + \text{Int} + \text{SINR} + \text{cte}$$

- Control de potencia en lazo cerrado: comandos de ajuste enviados por el eNodo-B. Valores entre 0,5 y 2 dB.
- Control en lazo externo: relación entre SINR y probabilidad de error en recepción. Influye en el control de potencia en bucle cerrado.



Problema Cerca-Lejos
en sistemas CDMA



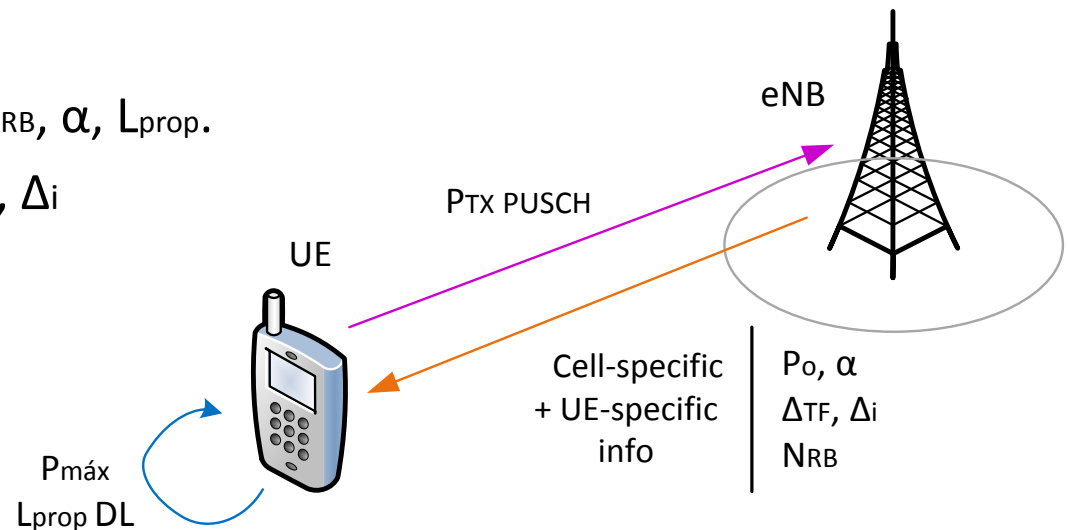
03. Los sistemas de control de potencia

→ Control de potencia en LTE

- Se implementa de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P_{\text{tx}}[\text{dBm}] = \min \left\{ \underbrace{P_{\text{max}}, P_0 + 10 \log_{10}(N_{\text{RB}}) + \alpha \cdot L_{\text{prop}}}_{\text{Lazo abierto}}, \underbrace{\Delta_{\text{MCS}} + \Delta_i}_{\text{Lazo cerrado}} \right\}$$

- Limitación: $P_{\text{máx}} = 23 \text{ dBm}$.
- Ajuste en **lazo abierto**: $P_0, N_{\text{RB}}, \alpha, L_{\text{prop}}$.
- Ajuste en **lazo cerrado**: $\Delta_{\text{MCS}}, \Delta_i$





03. Los sistemas de control de potencia

→ Ajuste en lazo abierto

Intervienen los siguientes parámetros:

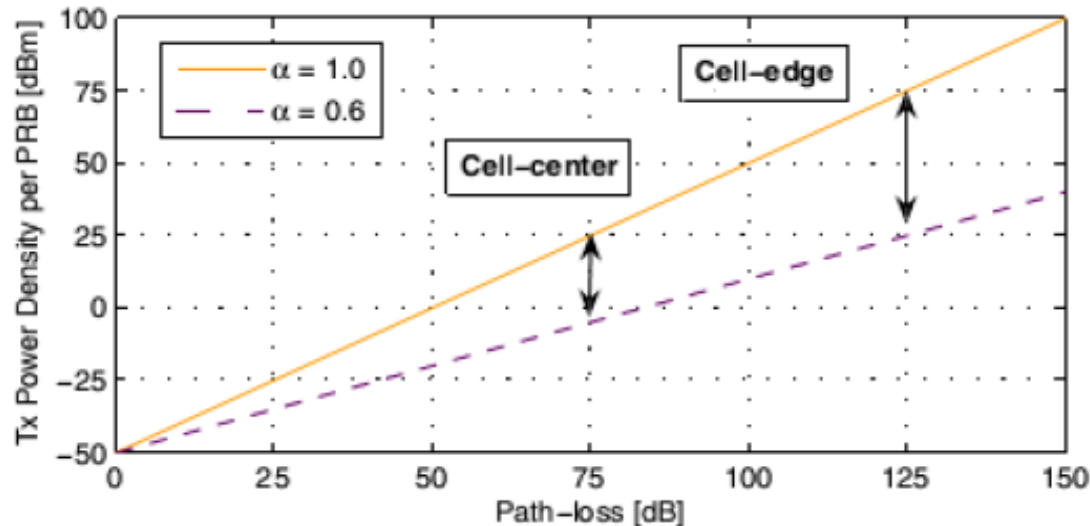
- Potencia base transmitida por bloque de recursos: P_0
 - Contribución específica de la celda, entre -126 y 24 dBm.
 - Contribución según el tipo de terminal, entre -8 y 7 dBm.
- Factor de compensación de las pérdidas de propagación: α
 - Puede tomar los valores $\{0, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\}$
 - Cuando $\alpha \neq 1$, recibe el nombre de *Fractional Power Control* (FPC)
- Pérdidas de propagación: L_{prop}
 - Estimadas por el terminal para el enlace descendente.
- Número de bloques de recursos asignados al usuario: N_{RB}
 - Valor consecuencia del proceso de reparto de recursos o *scheduling*.
 - Se asegura una densidad espectral de potencia constante.



03. Los sistemas de control de potencia

→ Configuración de P_o y α

- El valor de los parámetros P_o y α es decisión del operador de la red. Algunas parejas de valores comúnmente utilizadas se muestran en la tabla inferior.
- Compromiso entre favorecer a los usuarios con mayores pérdidas ($\uparrow \alpha$) o a los situados más cerca de la estación base ($\downarrow \alpha$).



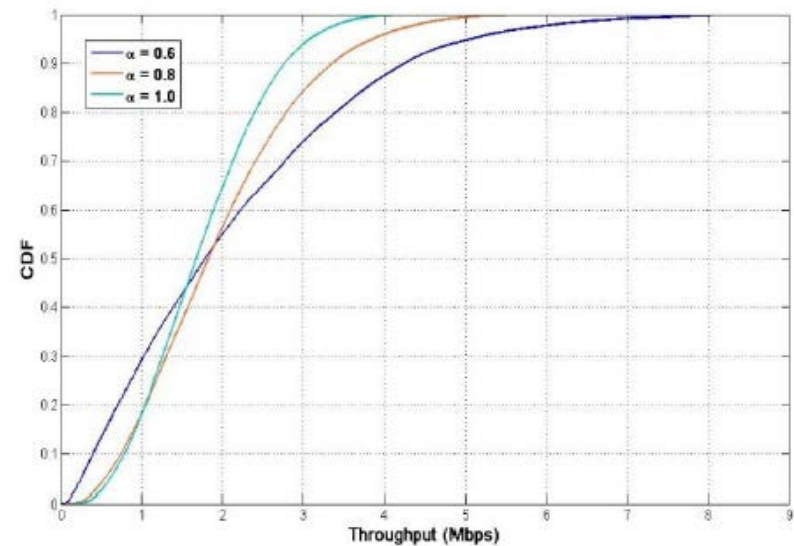
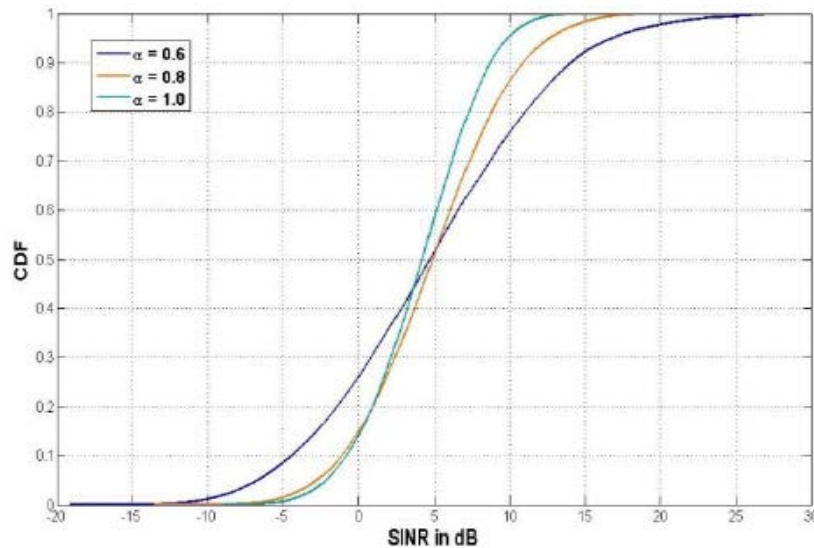
P_o	α
-81 dBm	0.8
-60 dBm	0.6
-38 dBm	0.4



03. Los sistemas de control de potencia

→ Impacto en el rendimiento del sistema

- Emplear valores menores de α tiende a igualar las prestaciones que reciben los usuarios del sistema, pero se reduce el caudal binario total cursado por el mismo.



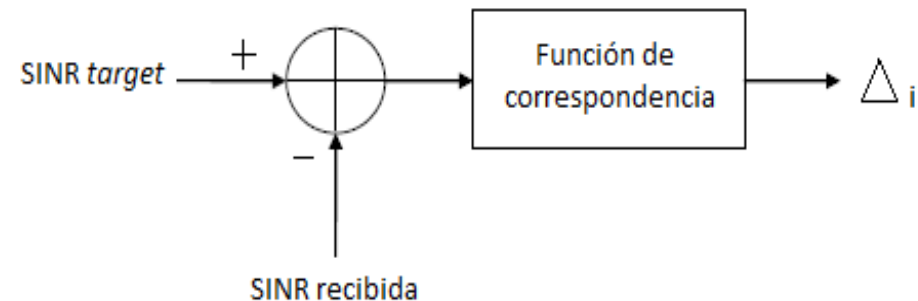


03. Los sistemas de control de potencia

→ Ajuste en lazo cerrado

Compuesto por dos factores:

- Ajuste del eNodo-B: Δ_i
 - Función de la SINR percibida y la deseada.
 - Correspondencia entre SINR y BLER.
 - Admite dos configuraciones diferentes
 - Modo Absoluto: $\{-4, -1, 1, 4\}$ dB
 - Modo Acumulativo: $\{-1, 0, 1, 3\}$ dB
- Ajuste por *Transport Format*: Δ_{MCS}
 - Depende del esquema de modulación y codificación empleado para transmitir.
 - El operador de red puede activarlo o desactivarlo.

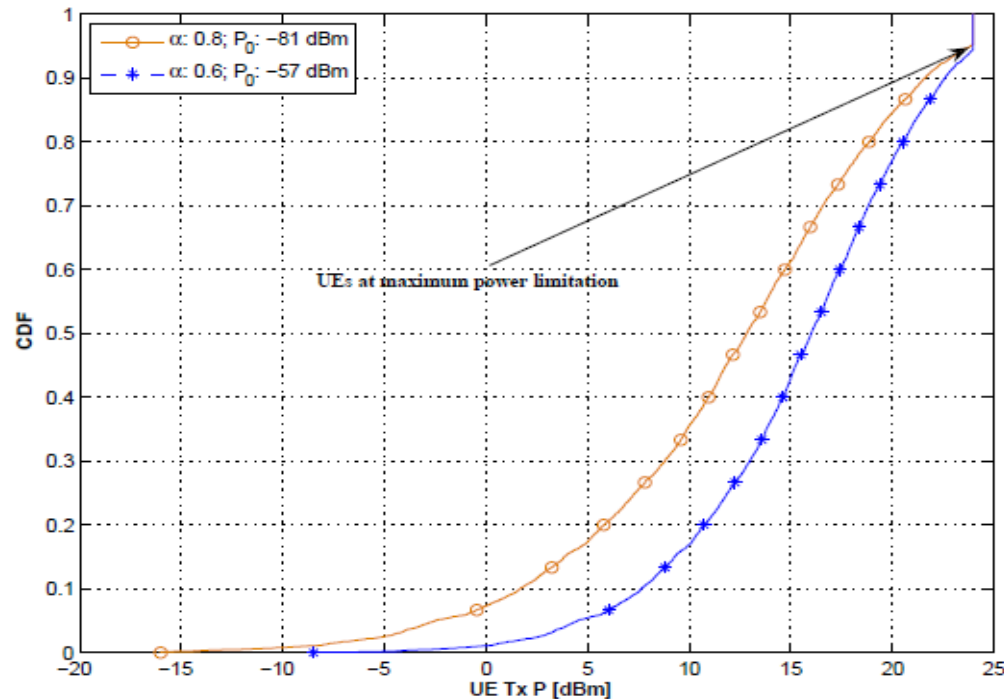




03. Los sistemas de control de potencia

→ Efecto del control de potencia

Distribución de la potencia de transmisión empleada por un terminal móvil, para dos configuraciones distintas de los parámetros de lazo abierto.

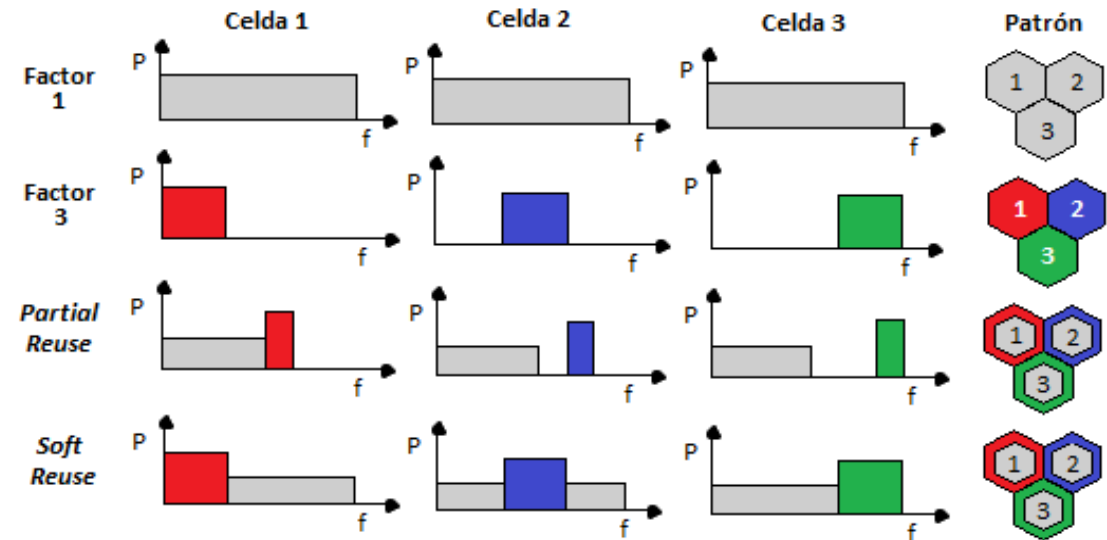




03. Los sistemas de control de potencia

→ Control de interferencias: ICIC

- Los sistemas LTE están libres de interferencia intracelular, pero no de la intercelular.
- Distintos métodos de reutilización de frecuencias:
 - *Partial-Frequency Reuse*
 - *Soft-Frequency Reuse*
- Se envían indicadores de interferencia por los enlaces ascendente y descendente:
 - RNTP, HII, OI, etc.





CONTROL DE POTENCIA EN REDES LTE

CONCLUSIONES

04 CONCLUSIONES

CONAMA2014



04. Conclusiones

→ Conclusiones

- Los sistemas de control de potencia empleados en las redes móviles son un mecanismo fundamental para la gestión de recursos radio. Con el tiempo han evolucionado (GSM -> LTE), aumentando su complejidad.
- Permiten fijar la potencia de transmisión según las condiciones del canal de propagación y reducir la interferencia entre equipos de la red.
- Suelen basarse en la combinación de dos métodos de control: en lazo abierto y en lazo cerrado, dependiendo de si existe o no realimentación por parte de la estación base.
- Su utilización conlleva un importante ahorro en el consumo energético (y por tanto, un aumento en la duración de la batería), al evitar transmitir siempre a la máxima potencia del dispositivo, regulándola conforme a la normativa.