

Valoración del espectro por John Prince Rottman



La BDT y los aspectos económicos de la gestión del espectro

- En 2001, la CE 3 se remitió al Informe SM 2012 (UIT-R) e instó a la BDT a que organizase seminarios para abordar aspectos económicos de la gestión del espectro.

Primer objetivo:

- Elaborar métodos apropiados para velar por que los países en desarrollo obtengan recursos financieros adecuados que faciliten la gestión eficaz del espectro.

Importancia de los recursos financieros adecuados

- ☐ Facilitar nuevos servicios que utilizan el espectro
- ☐ Permitir que los servicios funcionen con niveles aceptables exentos de interferencia
- ☐ Velar por que no se impongan tasas innecesarias a la población, a fin de que los usuarios comerciales puedan trabajar.

Generalidades

- Fuerte crecimiento de la demanda de espectro para fines comerciales.
- En la Región, la demanda derivada de espectro comercial se debe principalmente al crecimiento de la demanda de servicios móviles y de las infraestructuras correspondientes (por ejemplo, enlaces terrenales fijos que necesitan espectro para facilitar la movilidad de los servicios).
- Con la posibilidad de acceder a Internet a través de teléfonos móviles y la evolución de la convergencia tecnológica, es evidente que aumentará la demanda de espectro comercial, incluso muy próximamente.

Desafío

El espectro es un recurso socioeconómico de altísimo valor comercial que debe gestionarse de forma que se garantice su utilización eficaz.

- Para aumentar la eficacia de la gestión del espectro es indispensable formular/adoptar/adaptar fórmulas de valoración económica del espectro que permitan una estimación razonablemente precisa del valor económico de las frecuencias, en particular en las bandas comerciales.

Métodos de valoración del espectro

- ❖ Desde que se empezaron a utilizar las frecuencias radioeléctricas como medio de comunicación en la América en desarrollo, los precios de las licencias de utilización del espectro se han determinado principalmente mediante dos métodos (ninguno de ellos basado en el valor económico del recurso), a saber:
 - a) Estructura tarifaria que consiste en facturar tasas anuales correspondientes a un porcentaje del beneficio bruto/neto.
 - b) Estructura tarifaria que permite cubrir sencillamente los gastos administrativos fijos.
- ❖ En estos sistemas, el acaparamiento de espectro es fácil e incita a introducir más espectro.

Valor marginal

- Según varios estudios, el espectro reservado para usos comerciales y no asignado al usuario que más lo va a aprovechar, es una atribución errónea del recurso, una decisión de inversión no óptima que beneficia al usuario a expensas de la economía general del país.
- Importante: siempre que un enlace radioeléctrico fijo de gran capacidad tiene un precio inferior al que le corresponde, suele resultar más económico para el operador no utilizar cable en su red medular.
- Quizá sea bueno para la economía del operador, pero no para la del país.

Costo de oportunidad

- La cuantía de la pérdida de ingresos generados por el espectro para un país depende de la valoración económica del espectro.
- Si el espectro está actualmente, o estará en el futuro, sujeto a una utilización en régimen de competencia, los precios deben basarse en su valor económico.
- En la medida de lo posible, los precios de utilización del espectro deben corresponder al costo de oportunidad del bien.
- La dificultad estriba en estimar/determinar el costo de oportunidad del espectro.
- Ninguna respuesta precisa; la valoración del espectro no es una ciencia exacta.

Demanda de espectro

- La demanda de espectro es demanda derivada.
- Correlación positiva entre la demanda de servicios facilitados por el espectro y demanda de espectro.
- La demanda de espectro para fines no comerciales como, por ejemplo, la seguridad nacional, no debe evaluarse como la demanda de espectro para uso comercial.

Metodologías de valoración

- a) Subasta: el mercado fija directamente los precios.
- b) Valoración/precios administrativos: precios fijados por el administrador/regulador del espectro sobre la base de una cesta de criterios económicos que suelen estar subordinados a mecanismos de mercado.

Por lo general, los conceptos de determinación administrativa de los precios se basan en los principios de Pareto.

Situación óptima: la valoración del espectro depende del factor de escasez y de la renta diferencial.

SUBASTA

- ☐ Atribución eficaz del espectro comercial, en la medida en que una subasta bien concebida es ideal para identificar al usuario que mejor sentido tiene del valor económico óptimo y que generará probablemente los beneficios económicos más elevados.
- ☐ El mercado fija el precio del espectro.
- ☐ Sistema de atribución transparente y justo.
- ☐ Menos desfavorable para los recién llegados al mercado.
- ☐ Inadaptado al espectro de bajo valor y alto volumen, por ejemplo, las radiocomunicaciones privadas utilizadas por los taxis.
- ☐ Ideal cuando la demanda de espectro es superior a la oferta.

Preparación de la subasta

- ✓ Una preparación científica, en particular la puja mínima, es fundamental para que la subasta cumpla su función en el mercado.
- ✓ El precio mínimo debe basarse en métodos cuantitativos, véase Apéndice.
- ✓ La dificultad en Latinoamérica y el Caribe consiste en generar precios de subasta que correspondan al mercado y, al mismo tiempo, no sean desproporcionadamente desfavorables para los recién llegados.

Subasta: Mitos

- ❖ **La subasta aumenta los costos para los operadores y, por consiguiente, el precio del producto final pagado por los consumidores.**
- Por lo general, la teoría económica del comportamiento del mercado y las pruebas empíricas no lo corroboran.
- ❖ **La subasta es un mecanismo para fabricar dinero.**
- En un mercado competitivo, el precio del producto final depende de las fuerzas del mercado.

Valoración administrativa

Utilización de métodos cuantitativos para estimar el valor económico del espectro, tomando en consideración factores tales como:

- a. Utilización eficaz del espectro
- b. Beneficios económicos
- c. Innovación tecnológica
- d. Competencia

Objetivos:

- ☐ Estimar el costo de oportunidad/rentabilidad económica del espectro.
- ☐ Estimar el costo total que representa la utilización del espectro.

Metodología de oportunidad de costos

- I. Elaborar una matriz de alternativas a la red actual (sistemas troncales, compartición más eficaz, reutilización, desplazamiento a otras bandas de frecuencias, etc.)
- II. Estimación de la vida útil del equipo y deducción de valores de depreciación.
- III. Obtención del precio de licencia anual inicial sobre la base de la alternativa de menor costo.
- IV. Aplicación de factores de ajuste, es decir, aproximaciones cuantitativas para tener en cuenta factores tales como competencia, calidad de servicio y limitaciones de utilización del espectro que dependen de las características de propagación.

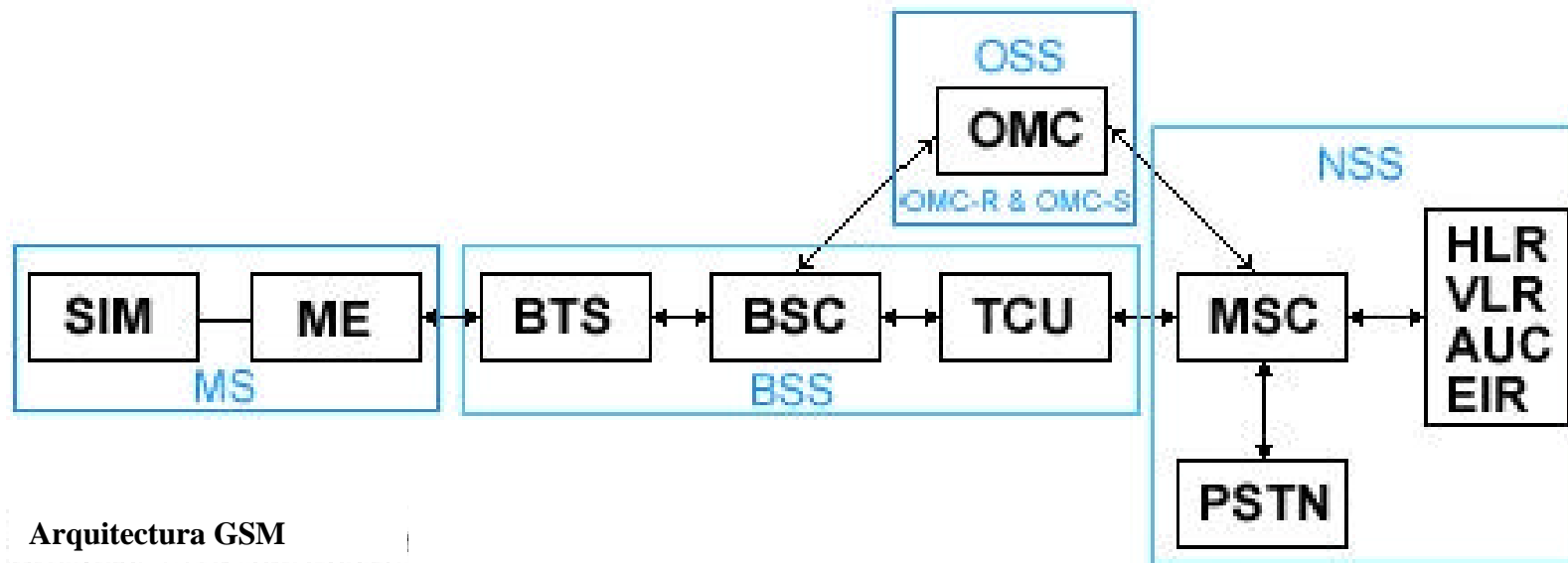
Costo de oportunidad, espectro celular

Elementos importantes:

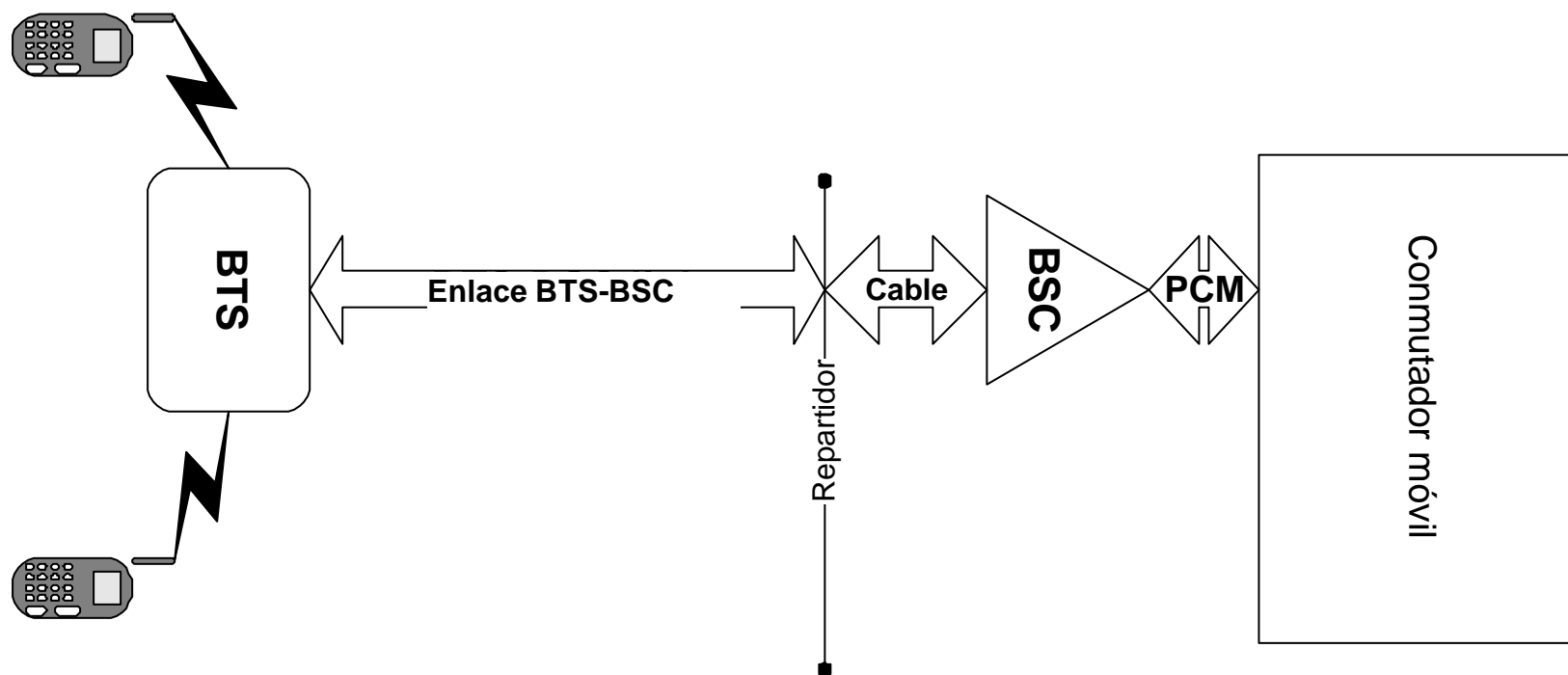
Suponiendo una utilización óptima del espectro por todos los operadores:

- El costo de oportunidad del espectro celular puede estimarse calculando las opciones de menor costo que se ofrecen al operador de red si no se dispone de espectro para ampliar la red.
- Se pueden efectuar modificaciones cuando esa hipótesis no sirva.

Red GSM básica



Red GSM básica



Estructura modelo

1. Estructura de la red actual.
2. Estructura de expansión de la capacidad de red actual en función del cambio de la demanda de servicios.
3. Estructuración de la expansión de la red con células más pequeñas dentro del mismo espectro utilizado por la red actual.
4. Estructuración de la expansión de la red suponiendo que se dispone de espectro adicional.

Metodología de costos

- Costo estimado (Z) de la red actual.
- Costo estimado (C1) de la expansión de la red utilizando células más pequeñas.
- Costo estimado (C2) de la expansión de la red utilizando espectro adicional.
- Si (βf) indica el espectro adicional necesario, el costo de oportunidad de espectro (C!) se estima mediante:
- $C! = (C1 - C2) / \beta f$

Importancia de las hipótesis

- Hipótesis de planificación de células.
- Hipótesis de disponibilidad de espectro.
- Hipótesis de depreciación.
- Hipótesis de competencia.
- Hipótesis tecnológicas y socioeconómicas.

Parámetros tecnológicos

- ❑ Número de células
- ❑ Número de transceptores por célula
- ❑ Dimensiones de las células

Para:

- ❖ Red actual
- ❖ Expansión de la red utilizando células más pequeñas
- ❖ Expansión de la red utilizando espectro adicional

Elementos de costo

- ❖ Costos de equipo para células adicionales
- ❖ Costo de los transceptores adicionales
- ❖ Arrendamiento de emplazamientos para células adicionales
- ❖ Costo del enlace con la estación de base.

Parámetros de financiación

- Vida útil del equipo.
- Tasa de descuento para calcular el valor actual neto.
- Distribución de los gastos de capital durante el periodo X_i .
- Factor(es) de ajuste de costos.

Opciones de planificación de células

Expansión de la red:

1. Reducción de las células mediante el cambio de la potencia en transmisor.
2. División de células por sectores.
3. Adición de una capa de microcélulas encima de la estructura de células existente.

Nota: La expansión no debe llevarse a cabo en zonas en las cuales la congestión es escasa o nula.

Proyección de tráfico

Zona	Tráfico futuro mínimo (E/km ²)	Tráfico futuro máximo (E/km ²)
Urbana	60	90
Suburbana	40	70
Rural	2	5
Rural remota	1	3

Red de base

Zona	Tráfico actual (E/km ²)	Número de células	Portadora/ célula
Urbana	77	80	8
Suburbana	50	26	8
Rural	2,5	700	8
Rural remota	1,5	1000	8
Total		1806	

Hipótesis técnicas

- i. El espectro disponible es 2 x 24 MHz.
- ii. 8 pares de portadoras por células.
- iii. La expansión de la red mediante espectro adicional puede llevarse a cabo con un transceptor adicional por célula.
- iv. El mismo aumento de la capacidad de la red puede lograrse mediante la reducción de la dimensión de las células o añadiendo las células necesarias.
- v. Ninguna congestión de red en zonas rurales y rurales remotas.

Hipótesis de costos

- Costo de capital de la adición de nuevas células = 50 000 GBP, incluido el costo de dos transceptores.
- Costo anual de arrendamiento de instalaciones = 2 250 GBP por célula.
- Costo del enlace = 1 000 GBP por transceptor por año.
- Costo de capital de la adición de transceptores a la célula existente = 8 000 GBP.

Zona	Aumento de capacidad E/km ²	? Red (células más pequeñas)	Células portadoras	? Red (espectro adicional)	Células portadoras
Urbana	88	92	8	80	9
Sub-urbana	57	30	8	26	9
Rural	3	897	8	700	9
Rural remota	1,5	1000	8	1000	9
Total		1989		1806	

Hipótesis financieras

- ❑ Tasa de descuento (incluido el factor de ajuste) = 10%.
- ❑ Periodo de amortización del equipo 10 años.

- Expansión utilizando células más pequeñas

Costo total	105 663 000 GBP
Costo actual neto	86 828 762 GBP
Espectro necesario	2 x 24 MHz

Expansión utilizando espectro adicional

Costo total	65 700 000 GBP
Costo actual neto	53 190 935 GBP
Espectro necesario	2 x 27 MHz
Valor estimado del espectro	1 721 517 GBP por 2*1 MHz por año

Precios de las licencias sobre la base de los costos de utilización del espectro

Canon de usuario del espectro (T_{su}) = $f(K_{sm}, A_{sm})$

Siendo:

- K_{sm} los costos básicos anuales de gestión del espectro.
- A_{sm} los costos secundarios de utilización del espectro, determinados por:
 - i. Ancho de banda utilizado.
 - ii. Zona de cobertura y densidad demográfica de la zona.
 - iii. Utilización del espectro.
 - iv. Complejidad de la comprobación técnica del espectro.
 - v. Tipo de servicio.

Hipótesis

- ❖ Correlación positiva entre ancho de banda y valor del espectro.
- ❖ Correlación positiva entre la densidad demográfica en la zona de cobertura y el valor del espectro.
- ❖ Correlación positiva entre la complejidad de la comprobación técnica del espectro y el costo marginal de la administración del espectro.
- ❖ Correlación positiva entre la exclusividad de utilización y el pago.

Estimación de los costos de gestión del espectro

$$K_{sm} = (K_1, K_2),$$

siendo:

- K_1 los gastos públicos de gestión del espectro.
- K_2 los gastos colaterales de gestión del espectro.

Definición de K_1

$$K_1 = f(k_{i1}, k_{i2}, k_{i3})$$

Siendo:

- k_{i1} el gasto público de adquisición, instalación y mantenimiento del sistema y la infraestructura de gestión del espectro y, en particular, equipo de estación de comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas, radiogoniómetros, equipos y programas informáticos, amortización de edificios, etc.

Definición de K_1

- k_{i2} los costos públicos asociados con la investigación científica, la adquisición de publicaciones científicas, el análisis de la compatibilidad electromagnética, la asignación de frecuencias, la coordinación, etc.
- k_{i3} los sueldos del personal de gestión del espectro.

Definición de K_2

$$K_2 = f(k_{z1}, k_{z2},)$$

- Siendo:

- k_{z1} las tasas impuestas por el Estado sobre los equipos de gestión del espectro, edificios, etc.
- k_{z2} es aplicable si el Estado exige un pago por la utilización inicial del espectro.

Definición de A_{sm}

$$A_{sm} = f(p_i, F_3, T)$$

Siendo:

- ❖ p_i el valor socioeconómico del recurso frecuencia utilizado para la i -ésima asignación de frecuencia;
- ❖ F_{n3} la zona utilizada para la i -ésima asignación de frecuencia;
- ❖ T el tiempo = un año.

Definición de p_i

$$p_i = \alpha f_i (a \beta_i)$$

- Siendo:

f_i la i -ésima frecuencia utilizada en una banda de frecuencias.

1) a_i el factor de exclusividad de utilización de la i -ésima frecuencia que adopta un valor ($0 < a_i \leq 1$)

2) β_i el factor que tiene en cuenta:

a) β_1 el valor comercial de la gama de espectro;

b) β_2 la complejidad de la gestión del espectro en la banda.

Definición de F_3

$$F_3 = f(D_i * P)$$

Siendo:

- D_i el coeficiente de densidad demográfica que adopta un valor entre baja (L_d) y alta (H_d) densidad.
- P es el lugar de coordinación situado en la zona de gran densidad demográfica.

La densidad demográfica de un país siempre es variable y los operadores, en particular los nuevos, tienden a preferir las zonas de gran densidad. En aras de la simplicidad, el modelo divide el país en zonas de baja densidad (L_d) y gran densidad (H_d).

- Por consiguiente, el valor de D_i puede variar entre 0,1 y 1.

Estimación del costo por licencia

El costo de la licencia (T_{sui}) es, por consiguiente:

$$\square T_{sui} = [(K_{sm,})/n + (A_{smi})]$$

- Siendo:

n el número total de licencias concedidas.

ANEXO

Determinación de la puja mínima

- **i) Número de estaciones de base (BS) en la red móvil en función del ancho de banda**
 - ☐ El primer grupo de datos básicos comprende los parámetros indicados en el Cuadro 1, que se utilizan para determinar los parámetros clave siguientes de la red de comunicaciones móviles:
 - ☐ N – dimensiones de la agrupación;
 - ☐ C – número de BS que se han de instalar en una ciudad;
 - ☐ n_c – número de canales telefónico.

Símbolo	Parámetro	Valor estimado
F	Ancho de banda para la red en la s/zona	2-25 MHz
$F_k = 25,00 \text{ y } 200 \text{ kHz}$	Ancho de banda de canal	0,2 MHz
$M = 6 \text{ para } \theta = 60^\circ$	Número de sectores servidos por célula	1-6

Símbolo	Parámetro	Valor estimado
$n_7 = 1,3$ y 8 respectivamente	Número de abonados que utilizan el canal simultáneamente	8
N_7	Número de abonados urbanos	10 000-150 000
β	Utilización en hora punta por abonado	0,025 Erlangs

$O = 4-10 \text{ dB}$	Variación aleatoria de la señal recibida	6 dB
P_{γ}	Probabilidad de bloqueo de llamada en la red	0,1
$\gamma_o = 18,9 \text{ y } 9 \text{ dB}$	Protección necesaria para los receptores	9 dB
P_t	% de la relación señal/interferencia recibida que queda por debajo de la relación de protección	10%

- 1) Número total de canales de frecuencia en una red móvil celular de una ciudad:
- $$n_k = \text{int}(F/F_k)$$
- siendo $\text{int}(x)$ la parte entera del número x .

- 2) Dimensión necesaria de la agrupación para valores dados de ρ_o y P_T :

$$p(N)=100 \frac{\int_0^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \frac{dt}{\sqrt{2p}}}{\frac{10 \lg(1/b_e) - r_o}{s_p}}$$

Siendo $p(N)$ el porcentaje de tiempo durante el cual la relación señal/interferencia en la entrada del receptor de la estación móvil cae por debajo de la relación de protección ρ_o . Los valores β_e y σ_ρ dependen de los parámetros $q = \sigma$ y M . El valor de $p(N)$ disminuye al aumentar N . Para valores dados de ρ_o , σ y $M = 1, 3$ y 6 , se calculan valores de $p(N)$ para determinados valores de N (es decir: q). El valor de N para el cual se cumple la condición $p(N) \leq P_t$ se toma como la dimensión de la agrupación para la red móvil.

Los parámetros β_e y σ_p utilizados en la ecuación para $p(N)$ se determinan con las expresiones siguientes:

$$\sigma_p^2 = \sigma^2 + \sigma_e^2$$

$$s_e^2 = \frac{1}{I^2} \text{Ln} \left[1 + (e^{I^2 s^2} - 1) \frac{\sum_{i=1}^I b_i^2}{\left(\sum_{i=1}^I b_i \right)^2} \right]$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^{\lambda} \beta_i \right) \exp \left[\frac{\lambda^2}{2} (\sigma^2 - \sigma_e^2) \right].$$

En este caso, $\lambda = (0,1\text{Ln}(10))$ y los valores λ y β_i dependen de M y se pueden hallar con las siguientes fórmulas: si $M = 1$, entonces $\lambda = 6$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}; \beta_3 = \beta_4 = q^{-4}; \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4} \\ \text{si } M = 3, \text{ entonces } \lambda = 2 \\ \beta_1 = (q+0,7)^{-4}; \beta_2 = q^{-4}; \\ \text{si } M = 6, \text{ entonces } \lambda = 1 \\ \beta_1 = (q+1)^{-4}, \end{array} \right\}$$

siendo $q = \sqrt{3N}$

- 3) Número de canales de frecuencia (n_s) y telefónicos (n_c) utilizados para prestar servicio a los abonados en un sector de una célula:

$$n_s = \text{int}(n_k/MN)$$

$$n_c = n_s \cdot n_\alpha$$

- 4) Tráfico telefónico admisible en un sector de una célula (en Erlangs):

$$A = \begin{cases} n_c \left[1 - \sqrt{1 - \left(p_a \sqrt{\pi n_c / 2} \right)^{1/n_c}} \right] \bullet \text{para } p_a \leq \sqrt{2 / \pi n_c} \\ n_c + \sqrt{p / 2 + 2 n_c \text{Ln} \left(p_a \sqrt{\pi n_c / 2} \right)} - \sqrt{p / 2} \bullet \text{para } p_a > \sqrt{2 / \pi n_c} \end{cases}$$

- 5) Número de abonados que reciben servicio de una BS para un valor determinado de probabilidad de bloqueo:

$$N_{BS} = M \cdot \text{int} (A/\beta)$$

- 6) El número de BS en la red celular se determina como sigue:

$$C = \text{int} (N_\alpha/N_{BS}) + 1$$

Estimación del costo de establecimiento de una red móvil

Símbolo	Parámetro	Valor
K_h	Precio horario medio por instalación	3 (USD/hora)
K_{Bs}	Precio instalación SC/BS	230 000 USD
K_E	Costo unitario R/trans	11 000 USD
A_1	Costo fijo	351 USD/canal
A_2		176 USD/canal
B_1 y B_2	Costo variable	23-12 USD/canal/km

- Gastos =
- $$K_{\Sigma} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5$$
- Siendo:
- K_1 el costo del trabajo de construcción y ensamblado
- K_2 el costo de equipo de la BS
- K_3 el costo de establecimiento de un centro de conmutación (SC)
- K_4 el gasto de adquisición de programas informáticos e instalaciones técnicas para sistemas de facturación
- K_5 el costo de establecimiento de enlaces de comunicación entre BS y SC

- Los costos de construcción y ensamblado (K_1) se determinan sobre la base de datos estadísticos [1],[2] sobre el volumen de trabajo de las diversas etapas. Estos costos son proporcionales a C , que es el número de BS en la red móvil y pueden determinarse por la ecuación:
- Los costos de capital del equipo BS se determinan con la ecuación:
- $$K_2 = C \times [K_{BS} + (M \times n_s) \times K_E]$$
- siendo $(M \times n_s)$ el número de canales en una célula.
- El costo (K_3) de establecimiento del centro de conmutación (SC) de una red móvil se determina a partir de los datos del Cuadro 3 sobre la base del número de abonados en la red.

Número necesario de canales en la red	Centro de conmutación	Costo K_3 (USD)
	Analógico	Digital
$N_a \leq 500$	300 000	3 500 000
$N_a \leq 2\,000$	500 000	3 600 000
$N_a \leq 10\,000$	1 300 000	4 000 000
$N_a \leq 50\,000$	3 000 000	5 000 000

Tipo de sistema	Costo K ₄ USD	
Sistema simple para 5 000 abonados	130 000	
Sistema de facturación simple para 10 000 abonados	240 000	
Sistemas con características adicionales para 10 000 abonados	750 000	
Sistemas con características adicionales para 100 000 abonados	1 400 000	

- Los costos de los enlaces de comunicación (N_{ck}) necesarios para conectar una BS a una SC con una capacidad de 60 ó 30 canales telefónicos (con una velocidad de transmisión de 2 ó 4 Mbit/s). El número necesario de enlaces de comunicación con una capacidad de 30 canales telefónicos es el siguiente:
- $$N_2 = \text{int}((M \times n_c)/30)+1.$$
- Desembolso de capital eficaz para conexiones BS-SC, exige enlaces de conexión de tipo 1. El número de esos enlaces será:
- $$N_1 = \text{int}(N_{30}/2).$$

- El costo medio de un canal telefónico con enlaces de tipo 1 o de tipo 2 de longitud L_i es:

$$T_{1i} = A_1 + B_1 \times L_i; \quad T_{2i} = A_2 + B_2 \times L_i$$
- Los coeficientes A_1 , B_1 , A_2 y B_2 corresponden a enlaces de cable, ópticos y de relevadores radioeléctricos:
- El costo de los enlaces de comunicación entre la i -ésima BS-SC es:
- $$K_{5i} = 60 \times N_1 \times T_{1i} + 30 \times N_2 \times T_{2i} = A + B \times L_i,$$
- siendo
- $$A = 60 \times N_1 \times A_1 + 30 \times N_2 \times A_2, \quad B = 60 \times N_1 \times B_1 + 30 \times N_2 \times B_2.$$

- El costo total de establecimiento de enlaces de comunicación para conectar todas las BS-ST
- siendo L_m la longitud media de todos los enlaces de conexión BS-SC. La longitud de esos enlaces puede ser de 5 a 25 km. Si se supone que la zona de cobertura de la red móvil es un círculo y que las estaciones de base están distribuidas uniformemente en toda la zona, entonces:
- $$L_m = 2 \times [25^3 - 5^3] / 3 \times 25^2 \cong 16,6 \text{ km.}$$

Ingresos descontados de la red

Símbolo	Parámetro	Valor
N_o	Número inicial de abonados	300
T_1	Tarifa por minuto en la red pública	0,05 USD
X	Proporción de llamadas en la red	0,7
K_{pH}	Proporción de llamadas en hora cargada	0,18
β	Actividad de los abonados en hora cargada	0,025
P_1	Tasa de conexión inicial media	200 USD
P_2	Suscripción mensual media	50 USD
P_3	Tarifa de llamada media	0,35 USD
n	Periodo de licencia	10 años
d	Progresión del impuesto sobre los beneficios	0,38
E_n	Tipo de interés bancario = tasa de descuento	0,1

- El número de abonados a la red $N_a(t)$ puede calcularse a partir de datos estadísticos basados en el desarrollo de las redes móviles, por medio de la fórmula siguiente:
- $$N_a(t) = \max\{N_0 \times \exp(v_k \times t), \text{siendo } (k-1) < t < k; N_\alpha\}.$$

Año	2003	2004	2005	2006	2007- 2012
k	0	1	2	3	4-11
$N_{ak} =$ $N_a(k)$	2×10^3	13×10^3	53×10^3	132×10^3	$N_{a11} =$ 2×10^6
V_k	0	1,87	1,48	0,92	0,34

- El gasto anual actual ($Z_{\Sigma k}$) es

$$Z_{\Sigma k} = Z_{1k} + Z_{2k} + Z_{3k}$$

siendo:

- Z_{1k} el gasto anual en explotación, amortización, mantenimiento, gastos administrativos, sueldos, costos de capital, arrendamiento del terreno. Sobre la base de los datos,

$$Z_{1k} = 805 \times N_{aki}$$

- Z_{2k} el gasto anual de mantenimiento del sistema de facturación:

$$Z_{2k} = \text{USD } 30\,000$$

- Z_{3k} , es el gasto anual de arrendamiento de canales de red pública por un año.
- $$Z_{3k} = 12 \times N_{ak} \times Y_M \times X \times T_1.$$
- El valor de Y_M , tráfico mensual de un abonado, es el número de minutos por mes durante los cuales un abonado ocupa un canal de comunicación, y viene determinado por la ecuación:
- $$Y_M = 30,4 \times \beta / K_{PH}$$

- Ingresos de la explotación de una red móvil durante k años:
- $$D_{\Sigma k} = D_{1k} + D_{2k} + D_{3k}$$
- siendo
- D_{1k} la tasa de conexión, el depósito de garantía, el número de acceso, la utilización de la línea del operador de red pública local, la publicidad para el equipo de abonado, como sigue:
- $$D_{1k} = N_{ak} \times P_1.$$
- D_{2k} es el ingreso generado por los cánones de suscripción mensual.
- D_{3k} es el ingreso generado por las tasas de llamada mensuales.

Utilizando la relación anterior $N_a(t)$, determinamos D_{2k} y D_{3k} como sigue:

- $D_{2k} = 12 \times P_2 \times \int_0^k N_{ak}(t)dt = 12 \times P_2 \times \{N_0 + \sum_1^k N_{ak} \times [1 - \exp(-v_k)] / v_k\}$
- $D_{3k} = 12 \times P_3 \times Y_m \times \{N_0 + \sum_1^k N_{ak} \times [1 - \exp(-v_k)] / v_k\}$

Para evaluar la eficacia económica de la explotación de una red móvil, se calcula el índice de ingresos descontados I_D , como la relación entre la suma del beneficio neto descontado del proyecto y el gasto de capital global.

El valor actual de los futuros ingresos se determina por medio del índice de descuento $(1 + E_n)$, siendo el valor de E_n el tipo de interés bancario anual medio. Por consiguiente:

$$I_D = \frac{1}{K_\Sigma} \sum_{k=0}^n [(1 - \delta)(D_{\Sigma K} - Z_{\Sigma K})] \frac{1}{(1 + E_n)^k}$$

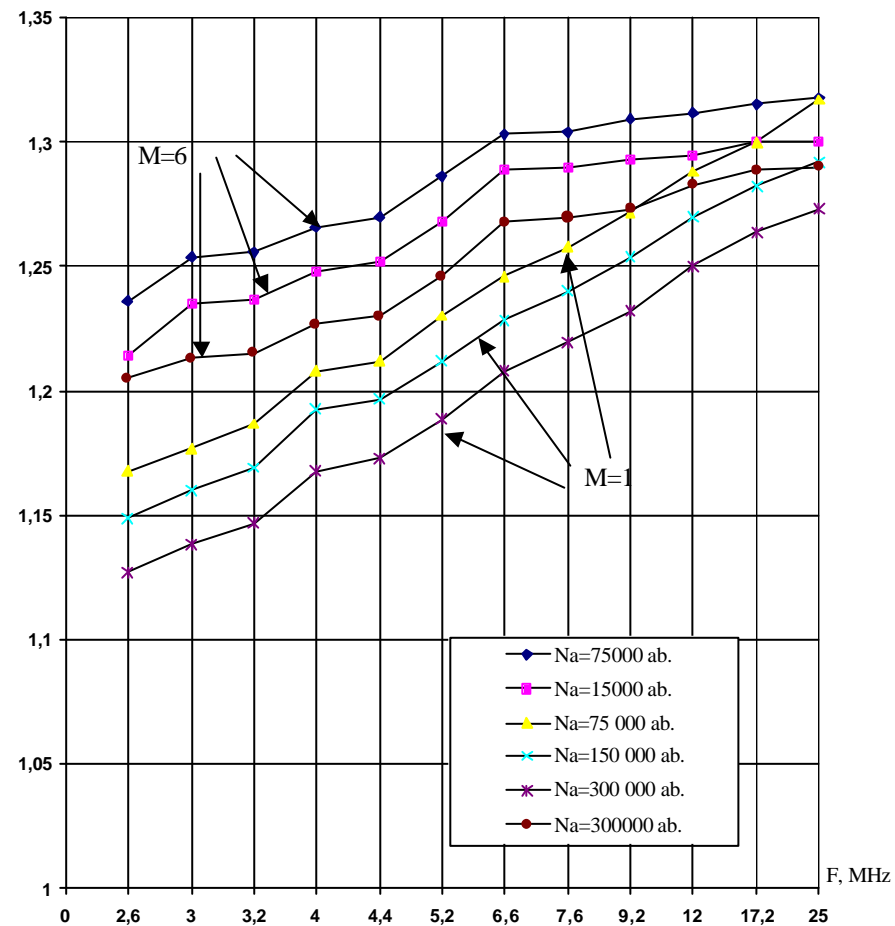
Sobre la base de los resultados obtenidos, la tasa de descuento del proyecto puede calcularse como sigue:

$$E_p = p\sqrt{I_D}$$

Los ingresos descontados se calculan como un importe anual con respecto a un dólar de inversión en el proyecto.

- En la Figura 1 se indica la relación entre el beneficio normalizado descontado de un operador de red móvil celular y el ancho de banda F , el número de abonados que reciben servicio N_a y el número de sectores que reciben servicio M . El gráfico indica que un operador puede realizar beneficios adicionales utilizando ancho de banda adicional. Al determinar la puja mínima, un principio fundamental debe ser dar a los operadores un incentivo para aprovechar más eficazmente el espectro de frecuencias radioeléctricas.

Figura 1



Puja mínima

- La puja mínima se calcula con la ecuación:
- $$T = (E_n - E_r) \times D_{pr} / n.$$
- siendo D_{pr} el beneficio neto del operador durante el periodo de la licencia.
- La norma de beneficio para un operador establecida por el Estado para empresas de comunicaciones móviles es E_r .

- Se observa que:
- 1) El número total de canales de frecuencia en una red móvil celular de una ciudad es:
- $$n_k = \text{int}(F/F_k)$$
- siendo $\text{int}(x)$ la parte entera del número x .
- 2) Dimensión de agrupamiento necesaria para valores determinados de ρ_o y P_T :
- siendo $p(N)$ el porcentaje de tiempo durante el cual la relación señal/interferencia en la entrada del receptor de la estación móvil cae por debajo de la relación de protección ρ_o . Los valores β_e y σ_p dependen de los parámetros $q = , \sigma$ y M . El valor de $p(N)$ disminuye al aumentar N . Para valores determinados de ρ_o , σ y $M = 1, 3$ y 6 , se calculan valores de $p(N)$ para determinados valores de N (es decir: q).

- El valor de N para el cual se cumple la condición $p(N) \leq P_t$ se toma como la dimensión de la agrupación para la red móvil.