1. Productos

Clase de reserva	Tarifa [€]	Cambios permitidos	Sala Vip	Fast Track	Elección asiento
A	180	Sí	Sí	Sí	Sí
B	130	Solo 1 (penalización 25 €)	No	Sí	Sí
C	100	Solo 1 (penalización 60 €)	No	No	Sí
D	80	No	No	No	No
E	40	No	No	No	No

Tabla 1: Servicios y precio de cada clase.

Clase de reserva	μ	σ
A	?	?
B	87	8
C	89	9
D	?	?
E	60	9

Tabla 2: Proyección de demanda para cada clase. (Trayecto MAD - BIO)

$$\sigma_1 = e^{\mu/7} + 2 \tag{1}$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{10}\mu^3 - 20\mu + 20 \tag{2}$$

La tabla 2 y las ecuaciones (1) y (2) corresponden al trayecto MAD - BIO; las ecuaciones aplican a las clases A y D.

Sea el espacio de la solución:

$$\{5 \leq \mu \leq 35\}, \{1 \leq \sigma \leq 30\}$$

Según las figuras 1 y 2, la solución se encuentra en un entorno alrededor de $\mu \approx 14$.

2. Probabilidad EMSR

Para el cálculo de los EMSR(s), se requiere conocer la probabilidad de demanda; para lo cual el modelo toma los datos de demanda proyectados en

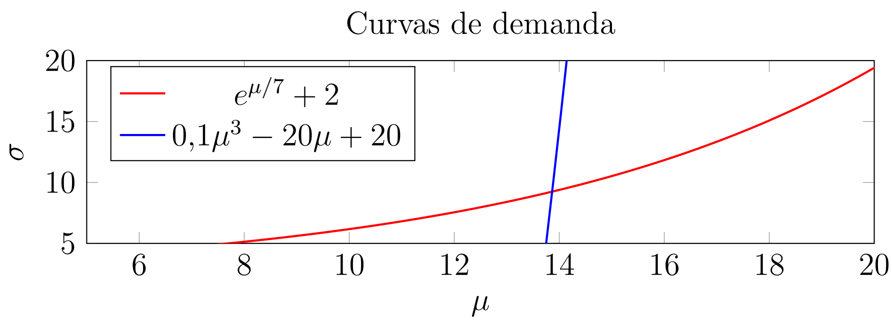

Figura 1: Representación de las ecuaciones (1) y (2)

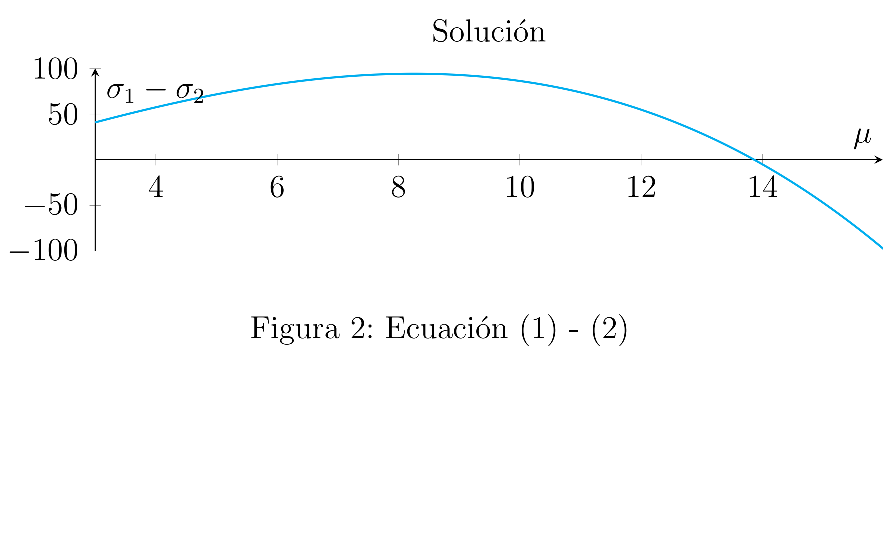

Figura 2: Ecuación (1) - (2)

Campana de Gauss

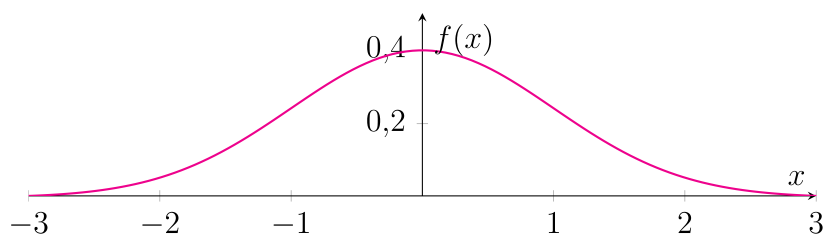

Figura 3: Ecuación $\underset{\mu=0,\,\sigma=1}{(3)}$

la tabla 2 y forma una distribución normal de probabilidades.

La distribución gaussiana:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \tag{3}$$

$$P(t) = \int_{-\infty}^{t} f(x)\,\mathrm{d}x \underset{t\to+\infty}{=} 1 \tag{4}$$

La integral (4) no se puede resolver de forma analítica, sino por aproximación por el *método del trapecio* y también por el método de Simpson.

Dado que la función (3) es simétrica, la integral $\underset{t=\mu}{(4)}$ es igual a $\frac{1}{2}$. Entonces no es necesario calcular entre $(-\infty, t)$, sino $\frac{1}{2}+\int_{\mu}^{t} f(x)\,\mathrm{d}x$ lo que alivia muchos recursos computacionales.

$$P(t) = \frac{1}{2} + \int_{\mu}^{t} f(x)\,\mathrm{d}x \tag{5}$$

3. Algoritmo EMSR-b

Consiste en proteger suficientes *asientos* de respectivas clases con tal de maximizar el ingreso total.

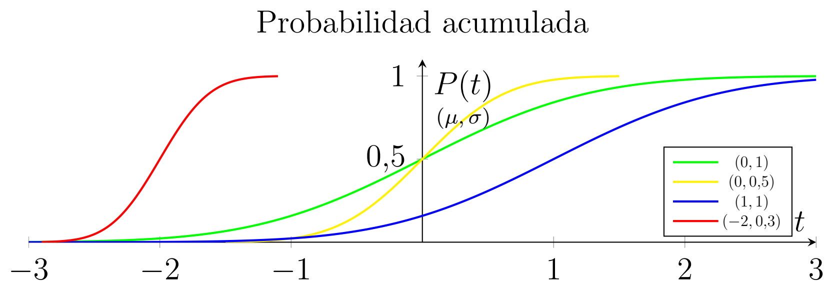

Figura 4: Probabilidad acumulada en función de t y $(\mu,\, \sigma)$ (5)

Se basa en la *Regla de Littlewood*:

Regla 1 *La razón entre las tarifas de respectivas clases ha de ser igual a la probabilidad de ser ocupado el asiento de la clase de la tarifa superior*

Ha de encontrarse el número de asientos protegidos (t) que satisfaga la probabilidad ($P(t)$) (5) de ser ocupados requerida por la razón de las respectivas tarifas.

Ampliamos la tabla 2 para calcular los parámetros relativos a los EMSR(s):

Clase_i	Tarifa_i	μ_i	σ_i	Tarifa media ponderada	$\sum \mu_i$	$\sqrt{\sum \sigma_i^2}$	Protección
A_1	180	?	?				
B_2	130	87	8				
C_3	100	89	9				
D_4	80	?	?				
E_5	40	60	9	-	-	-	-

Tabla 3: Valores EMSR-b

Según el algoritmo EMSR-b se comparan las clases en orden ascendente de precio. Se aplica la regla de Littlewood entre una clase y el resto cuál sea de mayor tarifa. i.e. la clase E ($i = 5$) se compara con el conjunto de las clases A, B, C y D; la clase C ($i = 3$) se compara con A y B etc.

Entonces se obtiene la tarifa media ponderada de un conjunto de clases como:

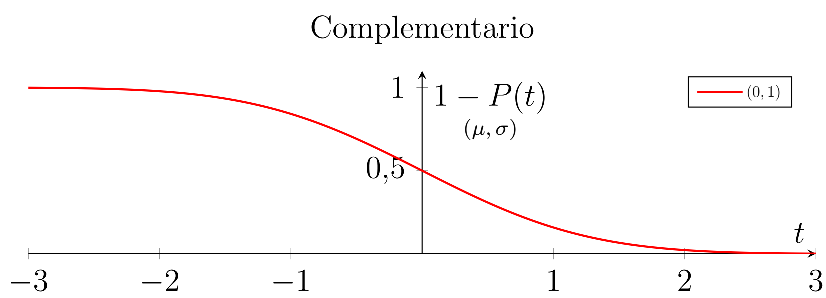

Figura 5: Complementario de CDF

$$\text{Tarifa media ponderada}_i \equiv \text{tmp}_i = \frac{\sum_{k=1}^{i} \text{tarifa}_k \cdot \mu_k}{\sum_{k=1}^{i} \mu_k} \tag{6}$$

Para el conjunto de demanda se agregan las demandas:

$$\sum_{k=1}^{i} \mu_k \tag{7}$$

Para la desviación conjunta se toma la raíz cuadrada del sumatorio de las varianzas:

$$\sqrt{\sum_{k=1}^{i} \sigma_k^2} \tag{8}$$

Dados estos parámetros conjuntos, se procede a aplicar la regla de Littlewood entre cada clase y el conjunto restante.

$$\frac{\text{tarifa}_{i+1}}{\text{tmp}_i} = P(x > \theta_i) \tag{9}$$

Ha de encontrarse un valor θ_i para cada conjunto de clase, que representa el número de asientos protegidos, para el cuál la probabilidad de que tantos sean ocupados sea igual a la razón de tarifas.

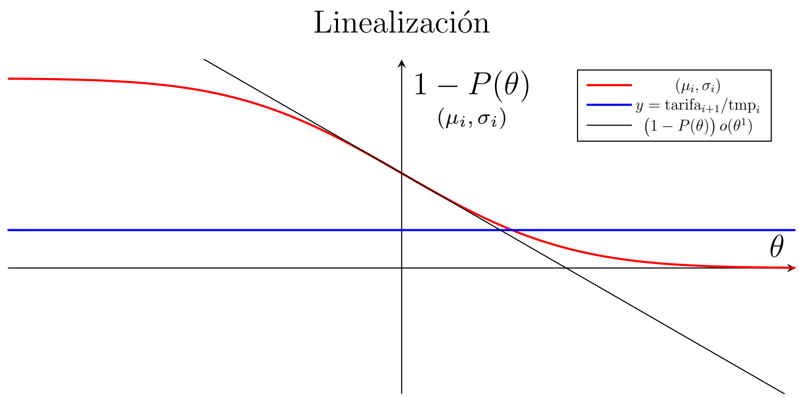

Figura 6: Resolución de (10)

$$g(\theta) = \int_{\mu_i}^{\theta_i} \underset{(\mu_i, \sigma_i)}{f(x)} \, \mathrm{d}x + \frac{\text{tarifa}_{i+1}}{\text{tmp}_i} - \frac{1}{2} = 0 \tag{10}$$

Se puede resolver por linealización, i.e. Newton.

Se resuelve para todos los valores EMSR y completa la tabla 3.