Caso Integrador: Filas de Espera en Carrefour

Rodrigo Maranzana

Enunciado (1/5) introducción

Carrefour planea cambiar sus multiples filas de espera en área de cajas por una fila única.

Para la recolección de datos y prueba se seleccionó la sucursal Vicente López. Antes del cambio de sistema contaba con 20 cajas operativas; cada una con una fila propia, a la cual los clientes decidían ingresar.

Se trabaja en tres turnos de 4 horas cada uno, todos los días de la semana.

Enunciado (2/5) recolección de datos

Se hicieron mediciones en horas representativas de llegadas de clientes, resultando en un dataset A que contiene la hora de llegada de cada cliente.

El área de estudio de métodos y tiempos relevó datos de servicio de cuatro cajas representativas. El resultado fue un dataset B con tiempos de servicio de cada caja.

Enunciado (3/5) gestión de costos

Actualmente las cajas pertenecen a un centro de costos único: que recibe información de otros centros de costos específicos:

Centro de costos CAJA

____ *De: Centro de costos RRHH*

_______* Costo total por empleado (beneficios, sueldo bruto, cargas, seguros,…): $/mes 98.420

____ *De: Centro de costos Gastos Generales*

_______* Consumo de papelería, varios: $/mes 5.530

____ *De: Centro de costos Limpieza y Mantenimiento*

_______* Mantenimiento de cinta transportadora: $/mes 1.680

_______* Limpieza y reparaciones varias de área de trabajo: $/mes $530

Enunciado (4/5) procesos y postventa

El costo de oportunidad se estima en 38$/cliente.

La estimación surge de la suposición de pérdida de ventas diarias por tener el sistema cargado.

Por lo tanto, el número se obtiene de la correlación entre la cantidad de personas en el sistema y un coeficiente que mide la desaceleración en ventas.

Enunciado (5/5) alternativas de mejora propuestas

Alternativa #1: Agregar "N" cajas adicionales. Esto conlleva la siguiente inversión por caja:

_ Preparación total del espacio: $ 82.300

_ Equipos y tecnología de caja: $ 250.500

_ Actualización de procesos, calidad del sector: $ 25.600

La inversión se amortiza en 10 años.

El espacio del que se dispone permite agregar hasta 5 cajas adicionales.

Enunciado (5/5) alternativas de mejora propuestas

Alternativa #2: Cambiar el Sistema de cajas a una fila única que distribuya clientes de manera homogénea. Para lograrlo se necesita:

_Inversión de $ 75.600 en actualización del espacio de trabajo y procesos con una amortización de 10 años.

_Roles adicionales: cuatro personas encargadas de organizar y distribuir a los clientes en cada caja. El gasto adicional por mes impacta en dos centros de costos:

$/mes 80.300 adicionales por cada rol en centro de costos RRHH.

Un aumento del 10% en Centro de costos RRHH.

Ajuste de llegadas

Dataset A: horas de llegadas.

Suponiendo que los datos se distribuyen exponencialmente.

1) Calcular tiempo entre arribos.

2) Calcular solución analítica Máxima Verosimilitud para distribución exponencial:

$$\beta_{MLE} = \frac{1}{n}\sum_i X_i$$

3) Calcular: $\lambda = {}^{1}/_{\beta}$

*MLE: Maximum Likelihood Estimator

Dataset A

Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)
0	0.003901	**12**	0.023536	**24**	0.055728	**36**	0.086168
1	0.004268	**13**	0.024878	**25**	0.062244	**37**	0.090282
2	0.004272	**14**	0.026227	**26**	0.062387	**38**	0.093318
3	0.006435	**15**	0.026962	**27**	0.062389	**39**	0.095437
4	0.007569	**16**	0.029923	**28**	0.065519	**40**	0.097116
5	0.009741	**17**	0.034442	**29**	0.068953	**41**	0.097832
6	0.009818	**18**	0.034868	**30**	0.07154	**42**	0.100418
7	0.016306	**19**	0.035042	**31**	0.07299	**43**	0.100751
8	0.017514	**20**	0.036729	**32**	0.074813	**44**	0.10267
9	0.018026	**21**	0.039295	**33**	0.077081	**45**	0.102803
10	0.019699	**22**	0.043612	**34**	0.083548	**46**	0.103896
11	0.023112	**23**	0.04885	**35**	0.085569	**47**	0.105236

Dataset A: tiempo entre arribos

Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)	Cliente	t llegada (hr)
0	0.020098	**12**	0.01621	**24**	0.039626	**36**	0.026926
1	0.090122	**13**	0.174387	**25**	0.00244	**37**	0.035578
2	0.012716	**14**	0.047995	**26**	0.023686	**38**	0.10779
3	0.048911	**15**	0.013073	**27**	0.044251	**39**	0.051545
4	0.033713	**16**	0.022798	**28**	0.048729	**40**	0.012529
5	0.020321	**17**	0.032228	**29**	0.201396	**41**	0.093021
6	0.001145	**18**	0.034437	**30**	0.05535	**42**	0.035499
7	0.031287	**19**	0.010819	**31**	0.023669	**43**	0.017428
8	0.065304	**20**	0.025859	**32**	0.01401	**44**	0.076011
9	0.065948	**21**	0.042871	**33**	0.013241	**45**	0.048612
10	0.041741	**22**	0.030325	**34**	0.005174	**46**	0.028123
11	0.001567	**23**	0.014252	**35**	0.073669	**47**	0.030165

Ajuste de llegadas

Calcular solución analítica Máxima Verosimilitud para distribución exponencial:

β = 0,0022987 horas/cliente

Calcular: $\lambda = {}^{1}/_{\beta} = \boldsymbol{435,02\ clientes/hora}$

Dataset B

Medición	Caja 1	Caja 3	Caja 8	Caja 15
1	0.060362	0.286528	0.084048	0.002561
2	0.003269	0.006604	0.090437	0.078915
3	0.208016	0.039035	0.066531	0.411156
4	0.048318	0.067948	0.039585	0.021027
5	0.036399	0.012377	0.096102	0.002801
6	0.00575	0.023642	0.032269	0.021211
7	0.004595	0.039604	0.040963	0.067528
8	0.013923	0.093162	0.001389	0.000812
9	0.035173	0.017828	0.033295	0.003119
10	0.010986	0.030917	0.090451	0.022024
11	0.011174	0.021203	0.046138	0.062849
12	0.001271	0.011912	0.01223	0.086316

Ajuste de servicio

Dataset B: tiempos de servicio (“= entre arribos”).

El procedimiento es similar que para el dataset A.

1) Calcular solución analítica Máxima Verosimilitud para distribución exponencial: $\beta_{MLE} = \frac{1}{n}\sum_i X_i$

2) Calcular: $\mu = {}^{1}/_{\beta}$

Ajuste de servicio

Dataset B: ¿Cómo manejo distintas fuentes de medición (cajas)?

Teorema central del límite:

La distribución de parámetros p_i de distintas muestras es Normal

$$\boldsymbol{\mu_{MLE}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}} \sum_{\boldsymbol{i}} \boldsymbol{p_i}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{MLE}} = \sqrt{\frac{\sum_{\boldsymbol{i}} (\boldsymbol{p_i} - \boldsymbol{\mu})^2}{\boldsymbol{n}}}$$

Ajuste de servicio

Calcular solución analítica Máxima Verosimilitud para distribución exponencial:

- $\mu_{caja\ 1} = 27.72170075$ clientes/hora
- $\mu_{caja\ 3} = 25.7923063$ clientes/hora
- $\mu_{caja\ 8} = 22.00861832$ clientes/hora
- $\mu_{caja\ 15} = 21.30578266$ clientes/hora

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i} \mu_{caja\ i} = \frac{\mu_{caja\ 1} + \mu_{caja\ 3} + \mu_{caja\ 8} + \mu_{caja\ 15}}{\mathbf{4}} = \mathbf{24.21\ clientes/hora}$$

Datos sistema control

Sistema N x M/M/1, siendo N la cantidad de cajas.

Tasa de arribos $\lambda = 435{,}02$ clientes/hora

Tasa de despachos (cada caja) $\mu = 24{,}21$ clientes/hora

Inversión = $/hora 0

Costos de operación =

CC RRHH: $/mes 98.420

CC Gastos Generales: $/mes 5.530

CC Limpieza y Mantenimiento: $/mes (1.680 + $530)

Costo total de operación = $/mes 106.160 = $/(hora*caja) 294.89 (12 hrs/día, 30 días/mes)

Datos alternativa #1

Sistema N x M/M/1, siendo N la cantidad de cajas.

Tasa de arribos $\boldsymbol{\lambda} = 435{,}02$ clientes/hora

Tasa de despachos (cada caja) $\boldsymbol{\mu} = 24{,}21$ clientes/hora

Inversión = $ 82.300 + $ 250.500 + $ 25.600 = $ 358.400

Inversión amortizada = $/año 35.840

= $/(hora*caja) 8.30 (12 hrs/día, 360 días/año, 10 años)

Costos de operación =

CC RRHH: $/mes 98.420

CC Gastos Generales: $/mes 5.530

CC Limpieza y Mantenimiento: $/mes (1.680 + $530)

Costo total de operación = $/mes 106.160

= $/(hora*caja) 294.89 (12 hrs/día, 30 días/mes)

Datos alternativa #2

Sistema M/M/N, siendo N la cantidad de cajas.

Tasa de arribos $\boldsymbol{\lambda} = 435{,}02$ clientes/hora

Tasa de despachos (cada caja) $\boldsymbol{\mu} = 24{,}21$ clientes/hora

Inversión = $ 75.600

Inversión amortizada = $/año 7.560

= $/(hora*caja) 1,75 (12 hrs/día, 360 días/año, 10 años)

Datos alternativa #2

Costos de operación por caja=

CC RRHH: \$/mes 98.420 * 1,10 = \$/mes 108.262

CC Gastos Generales: \$/mes 5.530

CC Limpieza y Mantenimiento: \$/mes (1.680 + \$530)

Costo de operación por caja = \$/mes 116.002

= \$/(hora*caja) 322,23 (12 hrs/día, 30 días/mes)

Costo operación adicional para CC RRHH = \$/(mes*rol) 80.300 * 4 roles

= \$/mes 321.200

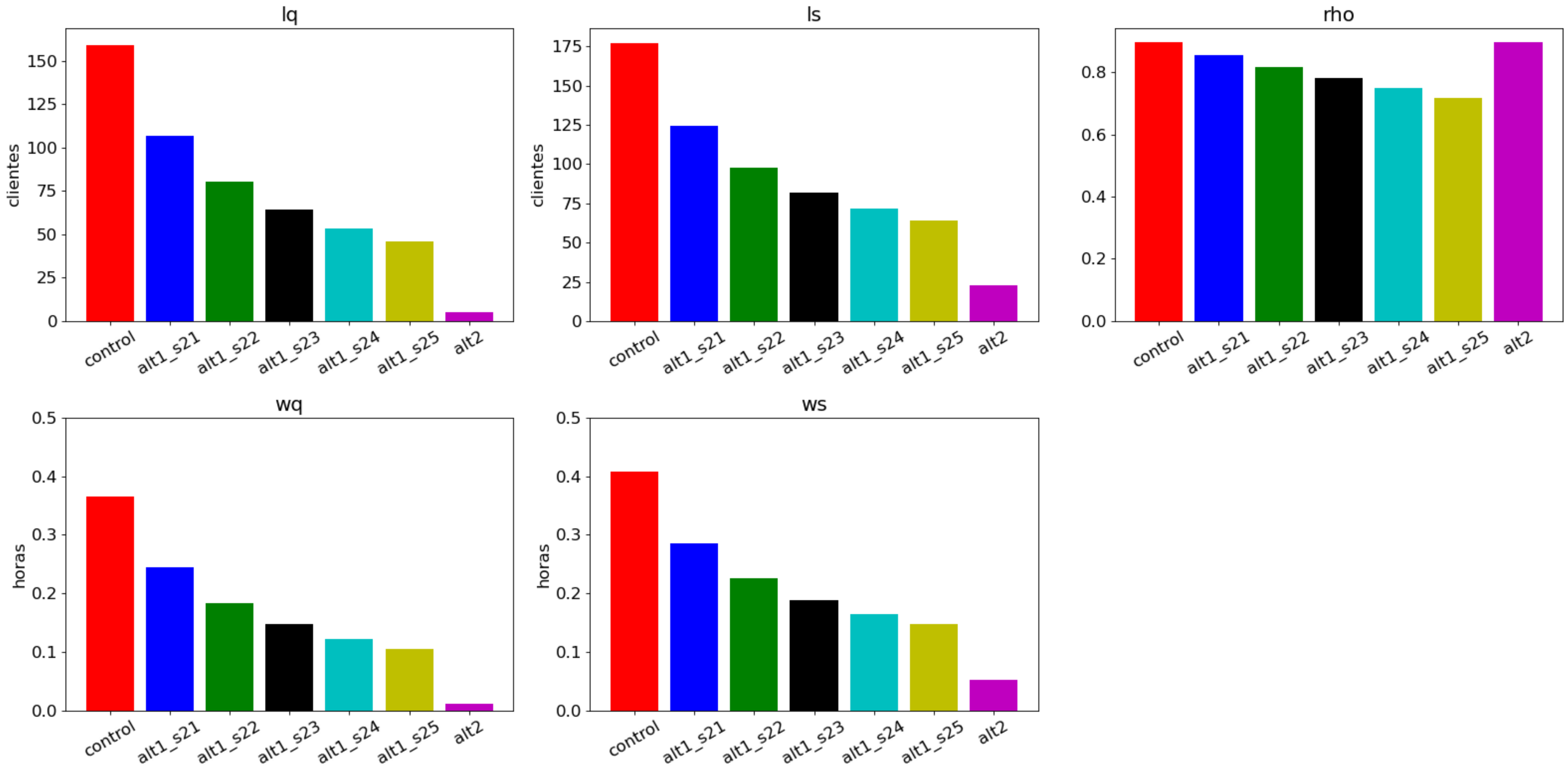
= \$/(hora) 892,22 (12 hrs/día, 30 días/mes)

Costo de operación total = Costo por caja x N + Costo adicional

Resumen de datos

Proyecto	Sistema de filas	Cajas (N)	Tasa λ	Tasa μ	Costo Ope. (Cm)	Costo Ope. Adicional (Ca)	Inversión amortizada (Ci)	Costo Opo. (e)
			clientes/ hora	clientes /hora	$/(hora*caja)	$/(hora)	$/(hora*caja)	$/cliente
Control	N x M/M/1	20	435,02	24,21	294,89	0,00	0,00	38
Alt. #1	N x M/M/1	21 – 25	435,02	24,21	294,89	0,00	8,30	38
Alt. #2	M/M/N	20	435,02	24,21	322,23	892,22	1,75	38

Métricas control y alternativas



Cálculo de costos

M/M/N

$$Copo = \lambda * W * e$$
$$Cope = N * C_m + N * C_i + Ca$$

adicional

Inversión

funcionamiento

$$Ctot = Copo + Cope$$

N x M/M/1

$$Copo = N * \lambda_{caja} * W * e$$
$$Cope = N * C_m + N * C_i + Ca$$

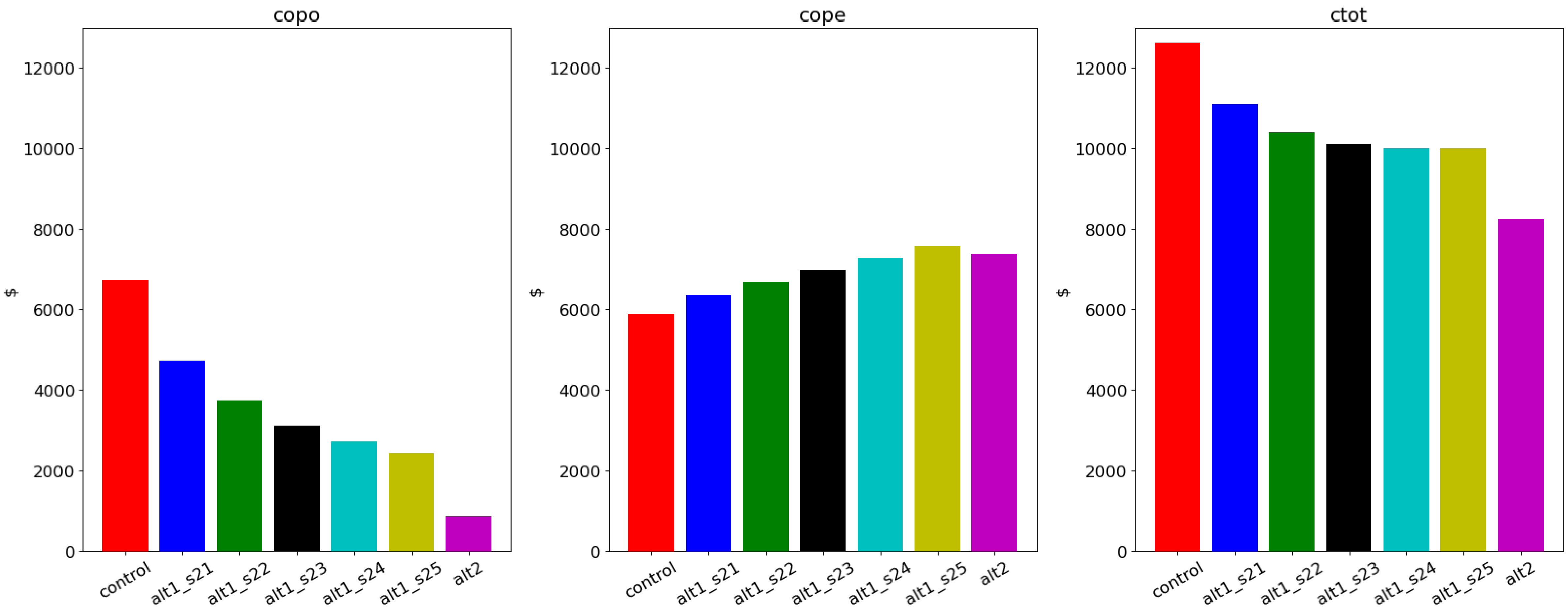
adicional

Inversión

funcionamiento

$$Ctot = Copo + Cope$$

Cálculo de costos



Conclusiones

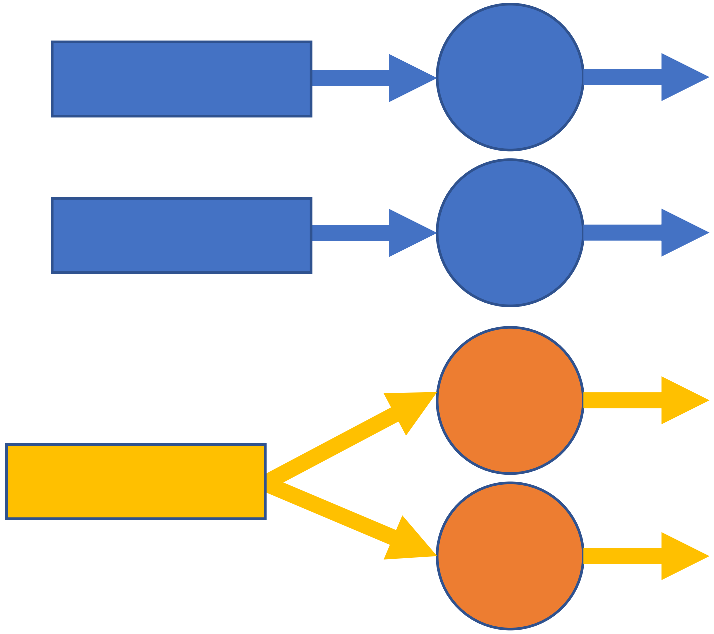
La alternativa #2 fue seleccionada,

Resultó la de menor costo total, pero mayor costo operativo.
Llevó a 0 la media de la fila

El modelo está simplificado:
Se puede extender con un modelo M/M/N/K
Se debe considerar estacionalidad: análisis de series de tiempo

Implementación real

Testeado primero en España y Argentina antes de 2012
Decisión de estandarizarla globalmente en 2016



N x M/M/1 vs M/M/N: Justificación matemática

Prueba $Ws_{M/M/N} \leq Ws_{N \times M/M/1}$

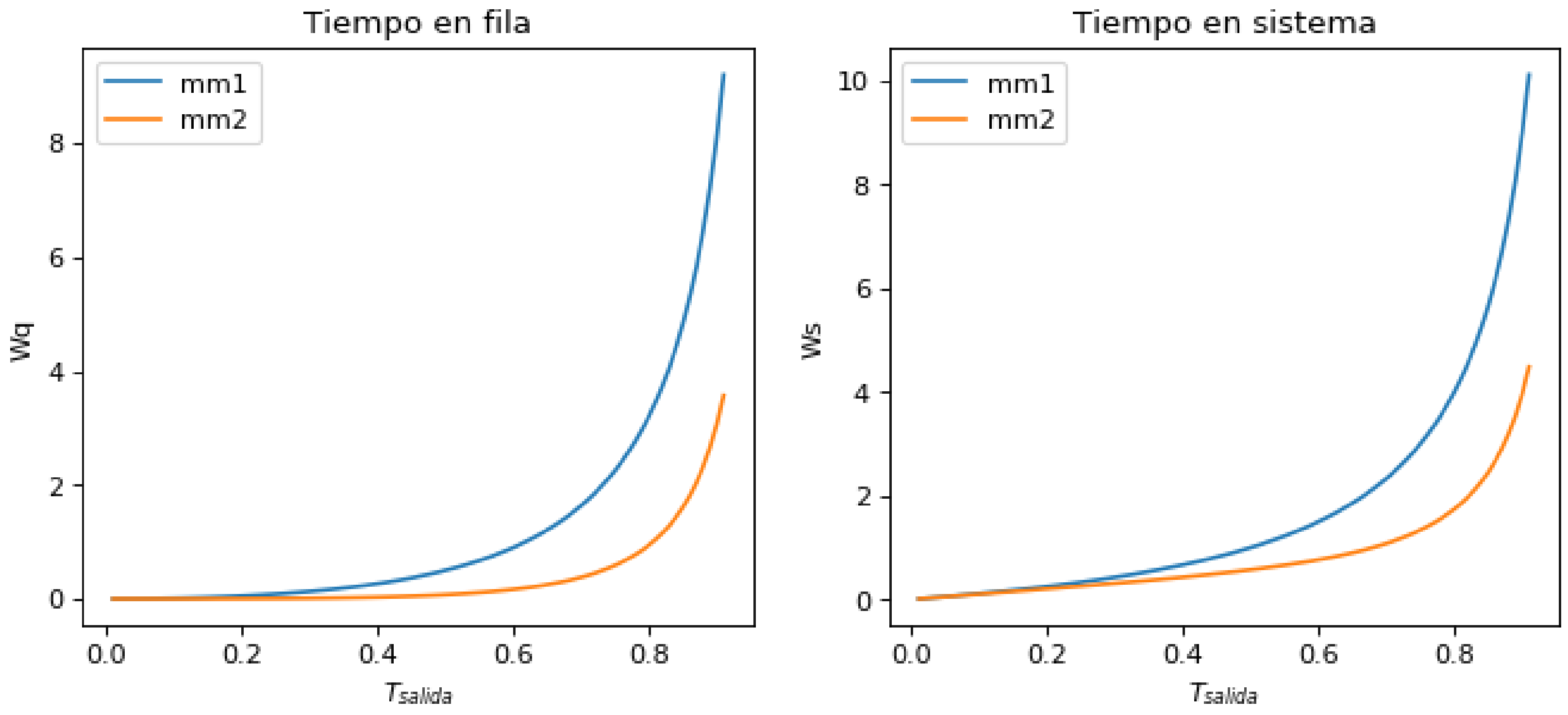
Resolvemos $Ws_{M/M/N}(T_{salida}) = Ws_{N \times M/M/1}(T_{salida})$
→Siendo $T_{salida} = 1/\mu$
Averiguar T_{salida} de intersección.

$\therefore T_{salida} \rightarrow 0$ y es único,
$Ws(T_{salida})$ es una función monótona creciente.

Se comprueba la hipótesis.

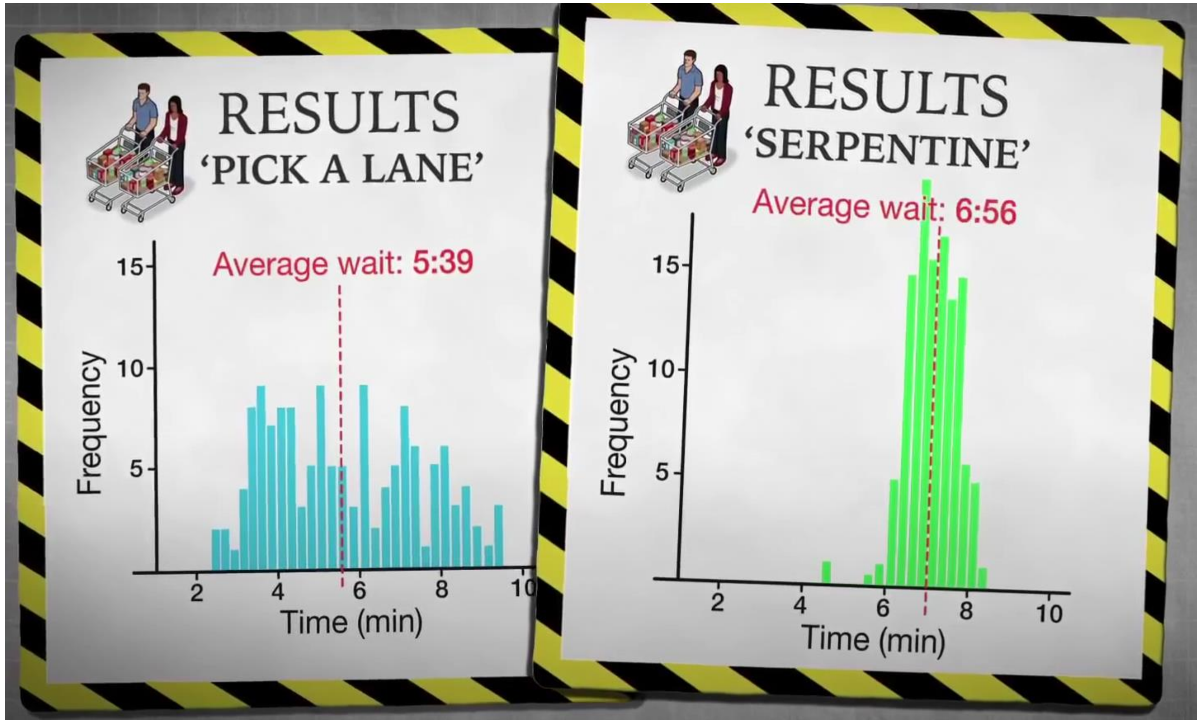
N x M/M/1 vs M/M/N: Justificación matemática

Ejemplo 2 x M/M/1 vs M/M/2



Mythbusters Episodio 5, Temporada 13

Testean empíricamente que:
"N x M/M/1 MEJOR que 1 x M/M/N"

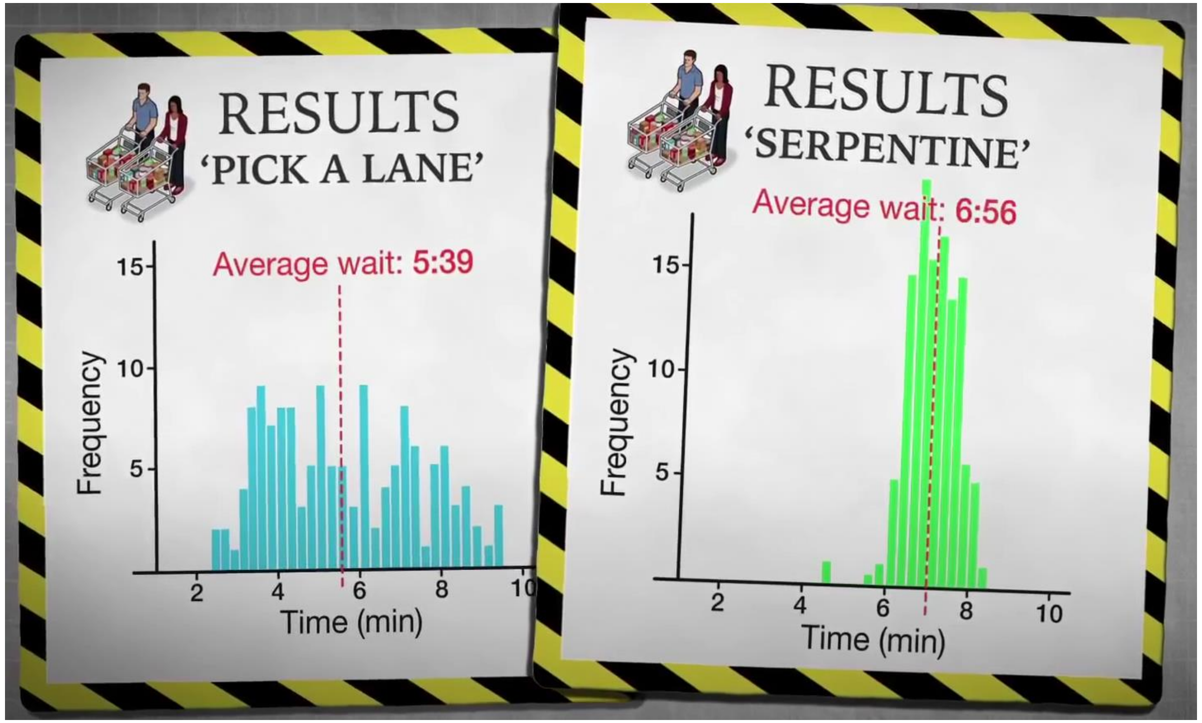


https://www.youtube.com/watch?v=91bd4CVkgQQ

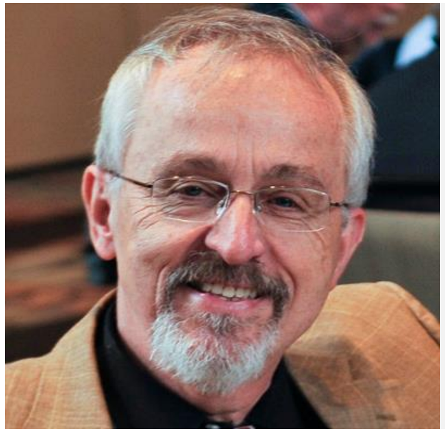
Mythbusters Episodio 5, Temporada 13

Factores que intervienen:

- Los servidores no tienen todos el mismo tiempo de servicio.
- El comportamiento humano no existe en las filas:
  - Cansancio.
  - Cadencia de la fila.
  - Distracciones.



Factores que alternan los modelos



"A veces, la psicología en las filas de espera es más imporante que la estadística propia de esperar."
Richard Larson "Dr. Queue" Profesor del MIT, Investigador.

- Psicología de filas
- "Justicia" en filas
- Ajuste cualitativo de modelos estadísticos