

MEDIDAS DE CALIDAD PARA EL SISTEMA DE OMNIBUS: UN ENFOQUE PRELIMINAR

Nicholas Tyler
Centre for Transport Studies
University College London
Gower Street
London WC1E 6BT
Telf: +44 171 391 1562
Fax: +44 171 391 1567

RESUMEN

Para mucha gente, el sistema de ómnibus presenta una imagen de pésima calidad y, por lo tanto, el analista de tales sistemas, debe imprescindiblemente trabajar para el mejoramiento del sistema. Lamentablemente, no existe un sistema aceptado para medir la calidad de un sistema de ómnibus. En otras palabras, no existe la posibilidad de determinar definitivamente la calidad del funcionamiento del sistema porque no tenemos las medidas cuantitativas apropiadas. Este artículo intenta explorar las posibilidades de cuantificar la calidad del sistema de ómnibus con el objeto de apoyar el mejoramiento de los diseños de infraestructura, de operaciones, y de comportamiento de las entidades en la industria de transporte público.

Usualmente, se piensa en el promedio para medir el rendimiento del sistema: ejemplos incluyen la velocidad comercial, la demora interna a un paradero, el tiempo de servicio de pasajeros. Sin embargo, un aspecto importante del sistema es su capacidad de tener un rendimiento confiable y predecible. Para evaluar las tentativas de alcanzar este objetivo, es necesario pensar, no solamente en el promedio, sino además en las medidas de difusión.

El artículo sugiere que "calidad" es un aspecto importante del sistema de ómnibus, y que es necesario medir el grado de calidad alcanzado por un sistema específico. Así es necesario definir una medida de calidad. El enfoque del artículo es examinar el concepto de una medida de calidad, y sugerir una medida posible.

Para indicar las posibilidades del uso de tal medida, se considera, como ejemplo, el cálculo del tiempo de servicio de pasajeros. Éste muestra que los sistemas operativos, y los diseños de ómnibus pueden influenciar la calidad del sistema. Se presenta además el corolario: con algunos diseños, será imposible mejorar la calidad por sobre cierto nivel limitado por dicho diseño.



1. INTRODUCCION

Se considera la cuestión de calidad para los sistemas de ómnibus en general, y para el sistema chileno específicamente. Si se quiere mejorar tales sistemas, es necesario definir los problemas actuales, y además, las medidas apropiadas de calidad. Así, se debe definir explícitamente qué se entiende por calidad.

En este artículo, la calidad significa un cierto nivel (la palabra calidad es a menudo usada con el significado de "buena", pero realmente, se necesita un adjetivo para decidir si el significado es "bueno" o "malo"). Si el término es un sustantivo que necesita un adjetivo para definirse, debería ser posible medir el grado de calidad. Se propone aquí un método para medir la calidad.

En la sección siguiente se discute el concepto de calidad y su medición. Después, unas posibilidades de medirla en la Sección 3. A esto sigue un ejemplo, para mostrar cómo funciona el concepto dentro el problema del tiempo de servicio de pasajeros. La Sección 4 termina con comentarios sobre el uso de tales medidas. Finalmente, la Sección 5 contiene conclusiones y sugerencias para continuar este línea de investigación.

2. EL CONCEPTO DE CALIDAD

2.1 TERMINOS GENERALES

Es importante clarificar algunas ideas clave: en este artículo, la palabra "calidad" no se usa en el sentido que se la da en frases como "la calidad de los asientos" o "la calidad de cargamento". El uso de esta palabra debe ser bien definido, y entendido desde el inicio. Este uso es importante, porque si podemos mejorar algo, debemos tener claro los aspectos a ser mejorados. Para esto, debemos tener una idea del estado actual.

En términos de un sistema, el estado actual está definido por el rendimiento de cada elemento, individualmente, y además, el de su combinación. Entonces, para mejorar el sistema, necesitamos conocer el rendimiento actual. A menudo, este conocimiento consta de dos partes: la parte que se puede medir, y la parte descrita. Los problemas de medición - problemas cuantitativos - son usualmente incorporados en la definición de la evaluación del sistema (capacidad, frecuencia, demoras, etc.), pero la otra parte es difícil de incluir explícitamente. Usualmente esto se realiza agregando palabras, o un término adicional (¿y arbitrario?) al final de la ecuación explicativa. Sin embargo, es útil considerar este concepto de calidad, porque es posible que nuestras definiciones de las normas del sistema actúen en sentido contrario a nuestro objetivo de mejoramiento: por ejemplo, aumentar la frecuencia, pero reduciendo la confiabilidad. Para estar seguro que un mejoramiento es real, es necesario definir una medida de calidad que pueda indicar el estado del sistema antes y después del cambio.

Usualmente, el término "calidad" es entendido como concepto cualitativo. En el proceso de modelación, por ejemplo, el nivel de calidad se usa frecuentemente para describir ideas como "confiabilidad", o "comodidad". En algunos casos, se podría usar para describir aspectos más



cuantitativos como, por ejemplo, frecuencia. Sin embargo, para este artículo, el concepto de calidad está considerado como término general de confiabilidad del sistema general. En este enfoque, se utiliza la palabra "confiabilidad" para definir el grado al cual un aspecto del sistema a considerar puede ser garantizado. Usando esta definición, "calidad" es una medida de la diferencia entre la percepción de un cierto aspecto del sistema, y la realidad de su implementación: ¿Se puede garantizar que la frecuencia anunciada sea la frecuencia real? Una primera etapa en el análisis de calidad es, entonces, analizar el comportamiento del sistema en términos de su rendimiento real con respecto al deseado: la frecuencia de salida contra la frecuencia entregada, considerando así primero, el rendimiento operativo. El tratamiento de la percepción será considerado en otra parte. La misma pregunta puede hacerse acerca de otros elementos del sistema: por ejemplo, comodidad, confiabilidad. Así, la calidad es un término definido, cuantitativo, que define la diferencia entre la percepción y la realidad. En términos de segundo orden: es una medida de la variabilidad del rendimiento del sistema.

2.2 LOS SISTEMAS DE OMNIBUS

Considerando los sistemas de ómnibus, existen una cantidad de aspectos operacionales que pueden ser considerados como medidas de rendimiento: frecuencia, capacidad, velocidad, por nombrar solamente tres de ellos. Siguiendo los comentarios de la Sección 2.1, éstos son considerados acá como medidas descriptivas de rendimiento. Un sistema donde la frecuencia es 100 omnibuses por hora es (en términos operativos) funcionalmente distinto de un sistema con una frecuencia de 10 omnibuses por hora. La línea de polémica de este artículo es que, en términos de calidad no podemos determinar - de la información dada - cual sería mejor. Para identificar el mejor sistema, sería necesario medir el tamaño de la desviación del promedio para definir la calidad del sistema (en términos de su frecuencia). El tema importante para el diseñador de un sistema de transporte público es cómo establecer el nivel apropiado de calidad: ¿Es mejor diseñar el sistema para una frecuencia de 100 omnibuses por hora, con una desviación estándar pequeña (entonces, de alta calidad) o para una frecuencia de 150 donde el coeficiente de variación sea más grande (y de baja calidad)?

Así, el concepto de calidad es bien difícil: si es usado para definir consistencia, un sistema que siempre funciona mal (por ejemplo, uno que está siempre sobrecargado) tendría una medida más alta de calidad (en términos de este entendimiento del concepto de calidad) que un sistema que está sobrecargado sólo algunas veces. La clave es "*una medida* más alta de calidad". Esta medida mide la capacidad del sistema para mantener la consistencia de su rendimiento: los usuarios pueden saber el nivel de sobrecarga si esta característica tiene un valor consistente, y así, la calidad de tal sistema es alta. El caso contrario es el de uno donde el pasajero no sabe si el ómnibus estará vacío o completo. Tal sistema no tiene un rendimiento consistente, y entonces la calidad es baja. El problema de sobrecarga es un aspecto operativo, teniendo elementos de frecuencia, tamaño de vehículo, etc. Por otra parte, el problema de calidad es la consistencia de estos aspectos. En términos operativos, el objetivo del operador debería estar dirigido hacia dos aspectos: rendimiento y calidad. Para alcanzar ése, es necesario pensar en los elementos operativos de su operación: ¿existen algunos estilos de operación que hacen más probable un rendimiento poco confiable?. Como se verá más adelante, hay ejemplos de características que harán peor la calidad del sistema, y así serán éstas las candidatas a ser consideradas de nuevo.



2.3 EL CASO CHILENO

En muchos países latinoamericanos, el sistema de ómnibus está caracterizado por flujos altísimos de vehículos, demanda muy alta, redes complejas, carga muy alta (al menos, durante las horas de punta), pobre mantención del parque, malos choferes, una cobertura insuficiente de la ciudad (en tiempo y espacio). Aunque las ciudades principales chilenas generalmente no tengan problemas en su cobertura, el problema permanece: con todas estas características, ¿cómo se puede hablar de calidad? El caso latinoamericano - y de Chile - es buen ejemplo, porque deberíamos enfocar el concepto de calidad de la manera sugerida en este artículo. Es necesario identificar y medir la inconsistencia del sistema antes de que sea posible mejorarlo. ¿Cuántos recursos son malgastados debido a la baja calidad? Por ejemplo, dos omnibuses corriendo juntos: ¿es un aumento, o una pérdida, de capacidad útil?

La consideración de calidad dentro este contexto es importante porque ayuda a identificar los problemas: una medida de calidad en términos de frecuencia, por ejemplo, identificaría el problema de la varianza de los intervalos entre los omnibuses, indicando entonces, la posibilidad de, por ejemplo, cambiar los métodos de control o los sistemas operativos. Adicionalmente, sería útil saber si una cierta característica operativa tiene una influencia importante en la calidad, aunque ella sea difícil (o imposible) de cambiar en el corto plazo (el diseño del vehículo, por ejemplo). En tal caso, sería posible definir los límites de la calidad, y así, dirigir al diseñador del sistema hacia otros mejoramientos posibles.

La varianza en los intervalos significa una pérdida de capacidad: llegadas juntas de dos vehículos, donde la demanda es más dispersa, implica que la capacidad ofrecida por segundo no es utilizada. Así, se debe definir cuidadosamente el concepto de capacidad, entre la capacidad total (la capacidad en términos de flujo de vehículos) y la capacidad efectiva (la capacidad que se puede utilizar para la demanda, en tiempo y espacio). En el caso de los dos vehículos que llegan juntos, la capacidad total sería de dos omnibuses, pero la capacidad efectiva tendrá un valor de una unidad. La pérdida de capacidad (entre las capacidades total y efectiva) implica que sería necesario ampliar la oferta para obtener una capacidad efectiva suficiente para la demanda.

Un ejemplo sirve para explicar el problema. Un servicio con intervalos de 5 minutos, donde los omnibuses llegan de a pares cada 10 minutos es, en efecto, un servicio con intervalos de 10 minutos. El corolario es que para tener una capacidad efectiva de seis omnibuses por hora sería necesario operar a una frecuencia de 12 por hora, y así la flota (con las implicancias para los costos asociados) sería más grande que la necesaria. De esta forma, los estudios de la calidad del sistema pueden identificar este tipo de problema y pueden apoyar el mejoramiento del uso efectivo de los recursos.

Si pensamos en la calidad en términos de la diferencia - o mejor dicho, la relación - entre la percepción y la realidad, es importante entender cómo medir ambos aspectos de la ecuación. Por esta razón, es necesario, antes de la exposición de un ejemplo, ampliar un poco el entendimiento de los conceptos de realidad y de percepción, en el caso del sistema de ómnibus - especialmente en el contexto chileno.

3. MEDIDAS

3.1 MEDIDAS DE REALIDAD

La medida de la realidad del sistema de omnibuses está establecida: podemos medir la frecuencia y obtener el promedio sobre el período de interés. Esta frecuencia está expresada como "omnibuses por hora", por ejemplo. Sin embargo, este promedio puede esconder la realidad. La frecuencia de 100 vehículos por hora no significa usualmente una llegada cada 36 segundos: significa que durante el período de una hora (la hora específica de interés), llegan 100 omnibuses. Los intervalos pueden ser muy diferentes, con períodos de unos minutos sin ningún ómnibus, y otros instantes con muchos vehículos. Así, es mejor medir la frecuencia en períodos más cortos, o calcular una medida de difusión, por ejemplo, la desviación estándar.

Igualmente, el tiempo de servicio de pasajeros dentro un paradero debe ser calculado en términos de las operaciones de embarque y desembarque, y las interacciones correspondientes. Gibson *et. al.* (1989) muestran que la demora de un ómnibus dentro de un paradero es muy sensitiva a factores como los mencionados, y a las llegadas exactas de los vehículos al paradero. Así, es imprescindible medir el sistema tal como es, y expresar las medidas en una forma realista. Solamente si medimos la realidad verdaderamente, podremos diseñar mejoramientos verdaderos.

Como ejemplo de este enfoque, Tyler (1995) estudió el proceso de embarque/desembarque para omnibuses distintos, con sistemas operativos distintos. Éstos incluyen sistemas de pago, sistemas de uso de las puertas e interacciones dentro del vehículo causadas por el encuentro de los pasajeros que embarcan y aquéllos que desembarcan. De este estudio se obtuvo una cantidad de modelos detallados para apoyar el análisis del tiempo de servicio de pasajeros. Usando éstos, es posible identificar los elementos del problema que requieren medición y los efectos que ciertos cambios en los sistemas producen en el tiempo de servicio de pasajeros. Dos ejemplos de estos modelos se consideran más adelante.

3.2 MEDIDAS DE CALIDAD

Usando la definición de calidad de este artículo, el tratamiento del tema de calidad en términos del rendimiento del sistema necesita cuatro elementos conectados entre sí:

- debe indicar la auto-consistencia del sistema
- debe permitir indicar la diferencia entre el rendimiento real y el diseñado
- debe permitir el análisis de la estabilidad del sistema con respecto a diferencias en dicho rendimiento
- debe permitir indicar los efectos en el sistema debido a cambios de calidad

Suponiendo que el objetivo sea alcanzar el promedio, el primer elemento sugiere una medida de difusión, que podría ser utilizada para comparar la varianza esperada del sistema, y aquella obtenida. No obstante, no sería suficiente considerar, por ejemplo, la desviación estándar sin el promedio. Entonces, sería mejor considerar las dos, posiblemente en la forma del coeficiente de variación.



Para enfocar los otros tres (segundo orden) elementos del problema, es necesario asegurar que la forma de la medida de calidad es suficiente para que tales análisis sean factibles. Para esto, sería necesario obtener valores equivalentes de los elementos distintos: por ejemplo, del rendimiento y el diseño, de puntos diferentes en espacio y tiempo, o antes y después de un cambio de servicio.

Para incluir las medidas de percepción dentro de este contexto, sería necesario obtener valores relevantes de grupos de gente y medir sus percepciones de los elementos de interés del sistema. Este proceso necesita técnicas de ciencias cognitivas, y está fuera del ámbito de este artículo.

Sin embargo, es posible ver cómo funciona la parte de calidad definida por el rendimiento del sistema y seguir los efectos a través de los cuatro elementos definidos anteriormente.

4. UN EJEMPLO

4.1 TIEMPO DE SERVICIO DE PASAJEROS

Para mostrar cómo funciona este modelo de calidad, consideremos un ejemplo sencillo, pero que incluye un nivel suficientemente complejo. El ejemplo a usar es el tiempo de servicio de pasajeros.

El cálculo del tiempo de servicio de pasajeros es usualmente considerado como un producto del tiempo marginal de embarque y la cantidad de pasajeros embarcando (Cundill & Watts 1973). En algunos casos se incluyen los pasajeros desembarcando. Yorke (1993) incluye un elemento de complejidad porque trata el tiempo marginal como variable binaria, para representar la diferencia en tiempo marginal entre los pasajeros que pagan al chofer durante el proceso de entrar al ómnibus y los otros que no deben pagar. Sin embargo, el proceso general es similar.

La realidad en la calle, no obstante, es algo distinta: hay interacciones entre los pasajeros que embarcan y los que desembarcan, hay sistemas distintos para pagar por un viaje, hay diseños distintos de vehículo. Todo esto afecta el tiempo total de servicio de pasajeros. Es posible considerar hipótesis en las cuales estos sistemas y diseños distintos tienen valores distintos de tiempo de servicio de pasajeros, pero existen preguntas importantes para los diseñadores de sistemas de transporte público: ¿Cuál sistema y diseño sería el más rápido? ¿Cuál sistema sería el más confiable? ¿Qué acciones serían necesarias/factibles para mejorar el rendimiento? y ¿Cuánta mejora se obtendría de tales acciones?

Para responder este tipo de preguntas, University College London ha estado investigando estos temas. Se han desarrollado modelos detallados de tiempo de servicio de pasajeros, y se han comparado los resultados. Los detalles de dicho trabajo están fuera del ámbito de este artículo (ver Tyler 1995), pero el método de análisis es utilizado para evaluar calidad en este artículo.

Este artículo compara la calidad de dos tipos de ómnibus. El primero tiene dos puertas y los pasajeros pueden embarcar y desembarcar simultáneamente por cada puerta. No es necesario pagar por el viaje durante la entrada, tampoco durante el desembarque. El segundo también tiene dos puertas, pero ellas son estrechas y, por lo tanto, es posible sólo embarcar o sólo desembarcar por



cada puerta. Adicionalmente, es necesario pagar al chofer durante el embarque, así que es necesario entrar el vehículo por la puerta de adelante. El diseño del sistema implica que es necesario desembarcar por la puerta de atrás, pero muchos pasajeros desembarcan también por la puerta de adelante. Debido a lo estrecho de las puertas, el desembarque debe ocurrir antes que el embarque, mientras los pasajeros que quieren embarcar deben esperar. Este sistema es una representación del sistema chileno. Al primer sistema le llamaremos sistema "metro", porque es similar (en términos de embarque/desembarque) al sistema de trenes (en nuestro ejemplo hay solamente dos puertas, pero el modelo se puede ampliar para incluir más puertas si es necesario).

La primera parte del análisis considera la forma de los modelos relevantes, y muestra los resultados en términos de los tiempos promedios de servicio de pasajeros en cada caso. Para ser simples, el tiempo para embarcar está definido en todos casos como 3.5 segundos, y el tiempo de desembarque está supuesto a ser 2 segundos. En realidad existe la posibilidad que haga una diferencia entre los tiempos dependiendo del sistema adoptado (secuencial o paralelo), pero para este análisis, el supuesto sencillo sirve para demostrar el problema.

La segunda parte del análisis intenta mostrar los efectos que tienen las varianzas entre los números de pasajeros que usan omnibuses sucesivos en una secuencia sobre la distribución de tiempos de servicio de pasajeros. Esto muestra la importancia del análisis de calidad, especialmente en la comparación entre modelos diferentes. Para alcanzar este objetivo, secuencias de 100 omnibuses se desarrollaron usando una simulación Monte Carlo, para valores distintos de intervalo, entre 2 y 10 minutos. El coeficiente de variación fue predeterminado como 0.667, y se probó las salidas del promedio y del coeficiente de variación para estar seguros de que cada secuencia que resultaba mantenía estas características.

4.2 EL CASO "METRO"

Para este caso, el vehículo tiene dos puertas, con ancho suficiente para permitir a los pasajeros embarcar y desembarcar simultáneamente por cada puerta. Los pasajes se compran independientemente del embarque (ya sea antes del viaje, o dentro el vehículo). Los pasajeros están distribuidos entre las puertas, en base a una proporción del total que embarca y desembarca por la puerta de adelante, expresándose esto por medio de pesos diferentes para embarque y desembarque (W_e y W_d respectivamente)¹. Así, el tiempo de servicio de pasajeros es el máximo de los tiempos máximos (sobre el tiempo de embarque y el tiempo de desembarque en cada puerta) sobre todas las puertas. Esto es representado por la Ecuación (1):

$$T = \max \left\{ \max(P_e T_e W_e, P_d T_d W_d), \max(P_e T_e (1 - W_e), P_d T_d (1 - W_d)) \right\} \quad (1)$$

¹ Los pesos W_e y W_d usados en todos cálculos ilustrativos para este artículo son 0.5 y 0.7 respectivamente, excepto en la amplificación del modelo mixto descrito en Sección 4.3.



donde

T	=	tiempo de servicio de pasajeros, en segundos
P_e	=	número de pasajeros embarcando
T_e	=	tiempo marginal de embarque, en segundos
W_e	=	proporción de pasajeros embarcando por la puerta de adelante
P_d	=	número de pasajeros desembarcando
T_d	=	tiempo marginal de desembarque, en segundos
W_d	=	proporción de pasajeros desembarcando por la puerta de adelante

La Ecuación (1) se puede adaptar para incluir vehículos con más de dos puertas, dando valores explícitos para W_e y W_d para cada puerta, reemplazando los términos $(1 - W_e)$ y $(1 - W_d)$ por aquellos valores, y tomando el máximo sobre todas puertas. Así, este modelo se puede utilizar para analizar los tiempos de servicio de pasajeros para vehículos donde el embarque (y el desembarque) es independiente de la compra de pasajes, y donde es posible embarcar y desembarcar simultáneamente por cada puerta. Ejemplos de tales vehículos son los trenes de metro y trenes lijeros rápidos.

Se puede ver que, para pesos dados de W_e y W_d , y para tiempos marginales de embarque y desembarque dados, el valor de T será determinístico: para cantidades dadas de embarques, y de desembarques, T tomará un valor fijo. Entonces se puede ver los resultados por cantidades de pasajeros. Una matriz, y el gráfico correspondiente, se muestran en Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1 Embarque/desembarque paralelo: el caso "metro"

		EMBARQUE										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	1	1.4	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	2	2.8	2.8	2.8	3	4	5	6	7	8	9	10
E	3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	5	6	7	8	9	10
M	4	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	6	7	8	9	10
B	5	7	7	7	7	7	7	7	7	8	9	10
A	6	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	9	10
R	7	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	10
Q	8	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
U	9	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
E	10	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Lo importante a observar es que existe una frontera, donde cambia la tasa de aumento de T . Esta frontera corresponde a la situación donde el tiempo determinante cambia desde el tiempo total de embarque al tiempo total de desembarque debido a un cambio en la cantidad de pasajeros asociados. Una vez que el número de uno u otro tipo de pasajero alcanza el máximo, T será constante, cualquiera sea el valor que toma el número del otro tipo.



La Tabla 3 muestra el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los tiempos de servicio de pasajeros obtenidos para secuencias derivadas con intervalos de entradas de 2 a 10 minutos. Como podría esperarse, los valores de T aumentan con el promedio. La desviación estándar aumenta también, más o menos linealmente con el aumento del intervalo entregado. La forma de la diferencia es visible por el coeficiente de variación que cambia casi aleatoriamente (otras secuencias tienen un patrón diferente - esto está bajo investigación actualmente). Estos datos se muestran en las Figuras 4, 5 y 6.

4.3 EL CASO "MIXTO"

El caso mixto se caracteriza por el uso de vehículos de dos puertas, donde la puerta de atrás se usa para desembarcar, y, oficialmente, la puerta delantera debería ser usada solamente para embarcar. Es necesario embarcar por la puerta delantera porque se debe comprar el pasaje al chofer durante el embarque. Sin embargo, la realidad es que existe una tendencia a desembarcar por la puerta delantera. Debido a lo estrecho de las puertas, no es posible embarcar y desembarcar simultáneamente por una puerta, entonces los pasajeros que embarcan deben esperar a los pasajeros que desembarcan por la puerta de adelante antes de que sea posible iniciar el embarque.

Esto está representado por la Ecuación (2):

$$T = \max\{P_e T_p + P_d T_d W_d, P_d T_d (1 - W_d)\} \quad (2)$$

donde

T_p = tiempo marginal de embarque, incluyendo la compra de pasaje, en segundos

En este caso, el peso W_e toma el valor 1, y el peso W_d mantiene su valor de 0.7 (indicando una tendencia revelada en Santiago que mostraba que hasta un 70% de los pasajeros bajan usando la puerta delantera, entonces representa el caso peor). Lo interesante acá es que tenemos dos tipos de proceso: el proceso paralelo, como se veía anteriormente en Ecuación (1), donde los procesos pueden continuar en cada puerta independientemente. Esto es representado por el proceso de maximización en la Ecuación (2). Sin embargo, el otro proceso - que ocurre solamente en la puerta delantera - es secuencial: primero, los pasajeros desembarcan, después, los otros embarcan: de esto, el referido "mixto". El resultado es un efecto curioso. Usando los pesos anteriores para W_e y W_d , el proceso en la puerta delantera es tan dominante que el proceso total parece secuencial (la característica del proceso secuencial es una superficie plana en la Figura 2, sin la frontera discernible en el caso paralelo (Figura 1). Cambiando los pesos para representar un caso ordenado (donde los pasajeros usan las puertas como pretendido), ($W_e = 1$, y $W_d = 0$) la frontera característica del proceso paralelo se hace visible. La Tabla 2 tiene la matriz del caso mixto, y la Tabla 3 muestra la matriz para el caso ordenado, mientras que la Figura 2 tenga los dos gráficos relevantes a esta comparación.



El análisis de la varianza es también interesante. El caso actual tiene valores muy altos para el promedio - entre 31 segundos (intervalo de 2 minutos) y 145 segundos (intervalo de 10 minutos). Los resultados correspondientes de la Ecuación (1) son 10 y 43 segundos. Sin embargo, como se ve en la Tabla 4, diciendo relativamente, los coeficientes de variación son más o menos similares al otro modelo, porque las desviaciones estándares son más grandes. El efecto significativo es el cambio en los promedios obtenidos por los pesos inversos: la característica importante de estos resultados es que los promedios son mucho más bajos, el patrón del gráfico es similar a aquél de la Ecuación (1).

4.4 COMENTARIOS

En el contexto de este artículo, se consideró solamente dos modelos, y las conclusiones son correspondientemente limitadas. El trabajo más completo es Tyler (1995) donde se han considerado 13 modelos (incluyendo el caso mixto). Sin embargo, es posible comentar sobre las características del análisis.

Tabla 2 Embarque/desembarque "mixto"

		EMBARQUE										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	0	0	3.5	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
E	1	1.4	4.9	8.4	11.9	15.4	18.9	22.4	25.9	29.4	32.9	36.4
S	2	2.8	6.3	9.8	13.3	16.8	20.3	23.8	27.3	30.8	34.3	37.8
E	3	4.2	7.7	11.2	14.7	18.2	21.7	25.2	28.7	32.2	35.7	39.2
M	4	5.6	9.1	12.6	16.1	19.6	23.1	26.6	30.1	33.6	37.1	40.6
B	5	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35	38.5	42
A	6	8.4	11.9	15.4	18.9	22.4	25.9	29.4	32.9	36.4	39.9	43.4
R	7	9.8	13.3	16.8	20.3	23.8	27.3	30.8	34.3	37.8	41.3	44.8
Q	8	11.2	14.7	18.2	21.7	25.2	28.7	32.2	35.7	39.2	42.7	46.2
U	9	12.6	16.1	19.6	23.1	26.6	30.1	33.6	37.1	40.6	44.1	47.6
E	10	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35	38.5	42	45.5	49

Tabla 3 Embarque/desembarque: el caso "ordenado"

		EMBARQUE										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	0	0	3.5	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
E	1	2	3.5	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
S	2	4	4	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
E	3	6	6	7	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
M	4	8	8	8	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
B	5	10	10	10	10.5	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
A	6	12	12	12	12	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
R	7	14	14	14	14	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35
Q	8	16	16	16	16	16	17.5	21	24.5	28	31.5	35
U	9	18	18	18	18	18	18	21	24.5	28	31.5	35
E	10	20	20	20	20	20	20	21	24.5	28	31.5	35

Algunos sistemas parecen siempre tener valores promedios de tiempo de servicio de pasajeros más grandes que otros - y el sistema chileno tiene valores muy altos (solamente un modelo, entre los 13 investigados por Tyler (1995), es más alto que el modelo chileno). Esto implica que factores tales como la demora en el paradero y, por ello, la velocidad comercial, tendrían consecuencias que resultan del diseño de los vehículos y del sistema operativo.

Adicionalmente, algunos sistemas tienen valores de desviación estándar más grande que otros, y estos valores aumentan con el aumento del intervalo promedio. El chileno es el tercer-peor en esta medida (Tyler 1995). En términos del coeficiente de variación, el rendimiento del sistema chileno es mejor, pero se debe decir que será necesario considerar más experiencias para entender mejor las características del coeficiente de variación: actualmente, parece que tiene una variación propia que hace difícil el entender los resultados.

Tabla 4 Tiempos de servicio de pasajeros: análisis de los resultados de una secuencia de 100 omnibuses

intervalos	PROMEDIO		DESV. EST.		COEF.VAR.	
	"metro"	omnibus	"metro"	omnibus	"metro"	omnibus
2	9.52	30.77	5.57	16.87	0.59	0.55
3	14.71	44.96	8.98	28.88	0.61	0.64
4	18.38	60.45	10.98	37.24	0.6	0.62
5	22.75	76.27	14.75	49.28	0.65	0.65
6	28.02	91.38	16.52	54.87	0.59	0.6
7	31.54	103.4	19.25	65.39	0.61	0.63
8	36.6	121.48	24.93	76.79	0.68	0.63
9	39.59	128.54	25.43	78.06	0.64	0.61
10	42.76	144.69	26.28	86.68	0.61	0.6

5. CONCLUSIONES

Es importante definir "calidad": el uso de la palabra en este artículo implica la posibilidad de medir la consistencia del rendimiento del sistema.

El análisis de calidad es importante para saber los efectos - las pérdidas de eficiencia, los recursos adicionales - causados por una falla en el nivel de calidad en el sistema de ómnibus.

Una sugerencia para medir calidad es el uso del análisis de las medidas de dispersión de las características correspondientes a los elementos interesantes de calidad en dicho sistema.



Usando este enfoque, es posible distinguir entre sistemas de buena calidad y aquéllos donde el sistema mismo empeora debido al diseño de los elementos (físicos - como el diseño del vehículo, y operativos - como el sistema de pago). La factibilidad de cambiar estos elementos implica la posibilidad de mejorar el sistema, y el uso de dicho enfoque en el análisis de calidad hace posible la medición de cada posibilidad de mejorar el sistema, y con ello, facilitar la definición de prioridades para mejoramiento.

Hay mucho trabajo a hacer: debemos mejorar estas medidas, y debemos considerar como incluir conceptos como percepción.

REFERENCIAS

CUNDILL M.A., P.F. Watts (1973) Bus boarding and alighting times. *Laboratory Report 521*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK

GIBSON J., I.BAEZA, L.G. WILLUMSEN (1989) Bus stops, congestion and congested bus stops. *Traffic Engineering and Control*. 30 (6), 291-296

YORKE I.O (1993) Factors affecting bus stop times. *Project Report 2*. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK

TYLER (1995) Passenger service times. Working Paper, Centre for Transport Studies, University College London

7. FIGURAS

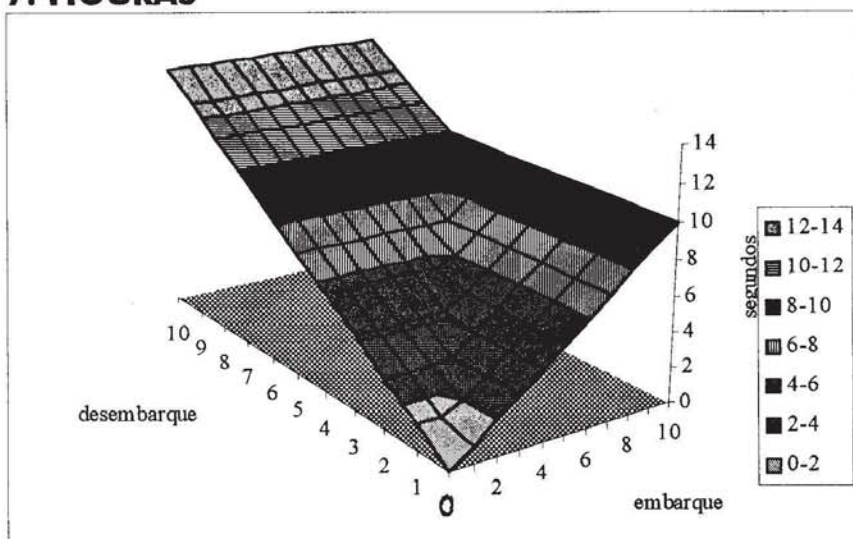


Figura 1 Tiempos de servicio de pasajeros: el caso "metro"

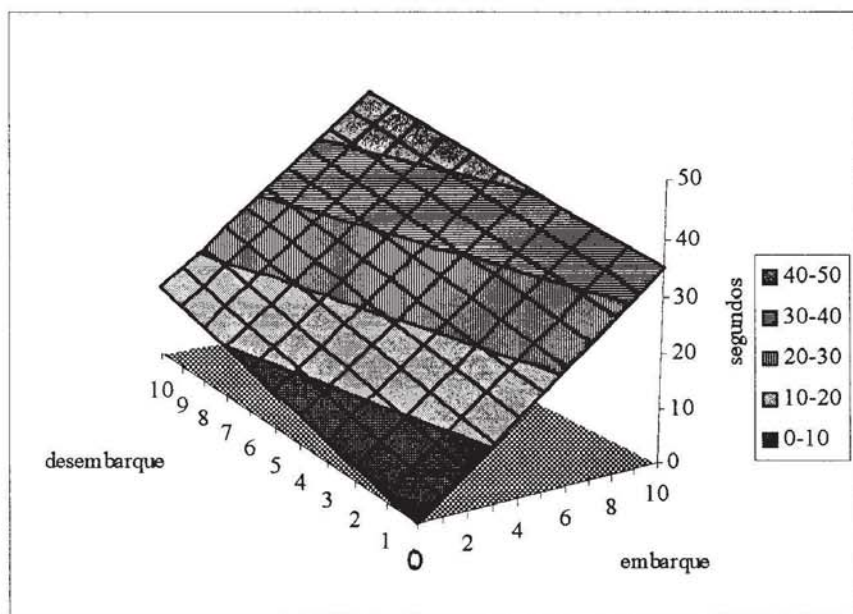


Figura 2 Tiempos de servicio de pasajeros: el caso "mixto"

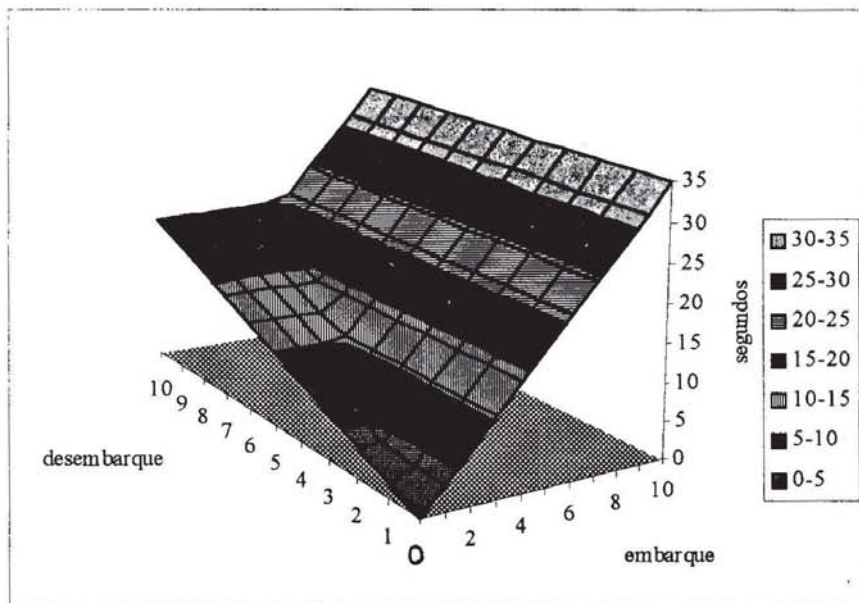


Figura 3 Tiempos de servicio de pasajeros: el caso "ordenado"

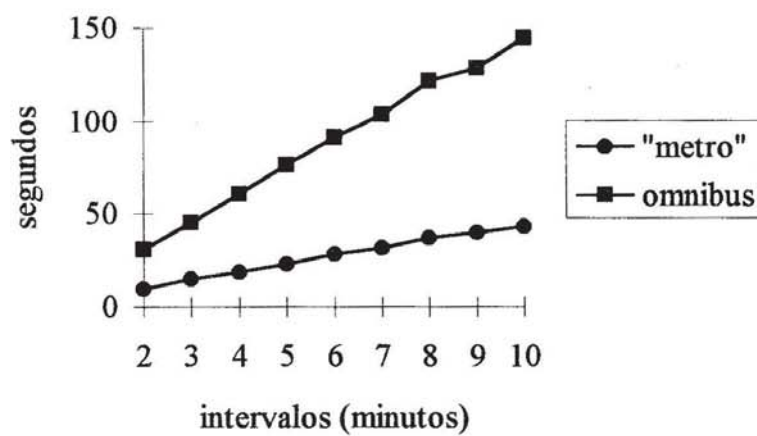


Figura 4 Tiempos de servicio de pasajeros: promedios obtenidos de una secuencia de 100 omnibuses

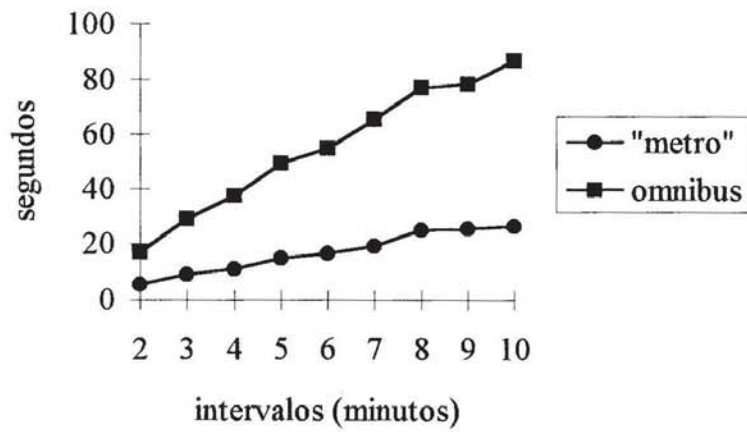


Figura 5 Tiempos de servicio de pasajeros: desviaciones estandares obtenidas de una secuencia de 100 omnibuses

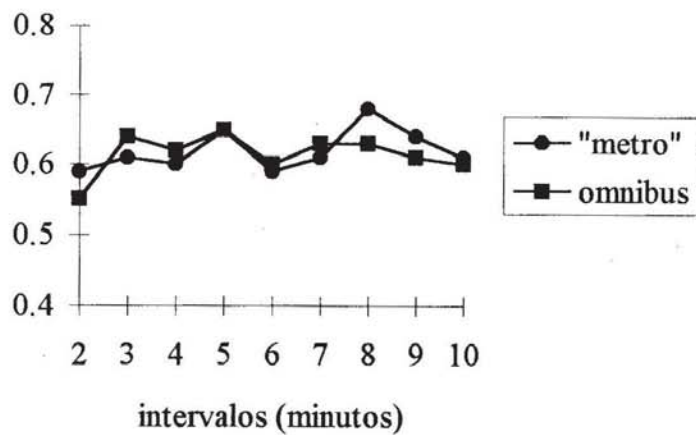


Figura 6 Tiempos de servicio de pasajeros: coeficientes de variación obtenidos de una secuencia de 100 omnibuses