

Improved Processes in a Canteens System Employing University Discrete Event Simulation

Eduardo Carbajal, Mag.¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract— This study uses as a tool a model of discrete event simulation in order to propose improvements to the current care system performance of a central dining hall. Through the simulation we seek to determine the optimal sizing of the resources involved in the processes of attention to students in the delivery of food and consumer attention in the local dining. The effectiveness of the improvement is measured by the reduction of queuing times at different stages throughout the system.

Keywords— Discrete event simulation, simulation-based optimization, engineering services.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.103>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic **ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6 **ISSN:** 2414-6668
DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.103>

Mejora de procesos en un sistema de comedores universitario empleando Simulación de Eventos Discretos

CARBAJAL, Eduardo, Magister in Statistics
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract— *El presente estudio emplea como herramienta un modelo de simulación de eventos discretos con el fin de proponer mejoras al desempeño actual del sistema de atención de un comedor central universitario. Mediante la simulación se busca determinar el dimensionamiento óptimo de los recursos involucrados en los procesos de atención a los alumnos en la entrega de los platos y la atención del consumo en el local del comedor. La efectividad de la mejora es medida a través de la reducción de los tiempos de espera en cola en las distintas fases a través del sistema.*

Keywords— *Simulación de eventos discretos, optimización basada en simulación, ingeniería de servicios.*

I. REGISTRO DE INFORMACIÓN

La primera fase de estudio se enfoca en la captura de datos necesarios para la construcción y posterior validación del modelo. Se enfoca el proceso de medición a las zonas de servicio al alumnado de los comedores en el horario de almuerzo. Dicho horario ha sido establecido en un rango de entre las 11:30 a.m. hasta las 2:30 p.m. incluyendo un rango de tiempo de media hora previo y posterior al horario crítico comúnmente observado.

El interés del estudio se sitúa en poder medir el desempeño en el proceso de servicio desde la llegada del alumno del comedor con la intención de compra de un plato básico hasta que este tiene su bandeja con el plato básico. Por tanto se identifican los cuatro siguientes tiempos que componen el tiempo total en este periodo:

1. Tiempo 1:Tiempo de espera en la cola de caja de venta de plato básico
2. Tiempo 2:Tiempo de compra de ticket en la caja de venta de plato básico
3. Tiempo 3:Tiempo de espera en la cola de la zona de despacho del plato básico
4. Tiempo 4:Tiempo de despacho del plato básico

Se definirá una metodología que permita medir cada uno de dichos tiempos, con la cantidad de observaciones necesarias para cumplir un nivel de error mínimo. Una vez registradas dichos tiempos se analizarán los tiempos y se procederá a

hacer una comparación con los resultados del estudio de previo de comedores en los ítems compatibles para poder concluir si las mejoras implementadas a partir del presente semestre lograron reducir los tiempos de espera. Finalmente se darán algunas mejoras sugeridas para lograr una reducción en zonas que sean identificadas como críticas dentro del proceso de atención actual.

De acuerdo a los objetivos planteados y lo solicitado en la propuesta los horarios de medición son los consignados en la Tabla 1. Este periodo se ubica dentro del rango del periodo de almuerzo considerando márgenes de 30 minutos previos y posteriores.

TABLA I
HORARIOS DE MEDICIÓN

Hora inicio de medición	Hora fin de medición
11:30 a.m.	2:30 p.m.

Las mediciones se desarrollan durante una semana regular completa, en días útiles. La medición inició el día jueves 14 de abril de 2014 y culminó el miércoles 20 de abril de 2013. En este periodo se registraron la cantidad necesaria de observaciones para poder estimar los promedios de cada uno de los tiempos descritos en los objetivos con un error menor al 3%.

Cabe mencionar que en el caso del segundo tiempo, que corresponde al tiempo promedio de servicio en caja, se emplea el registro de ventas de platos básicos del periodo de medición, es decir se cuenta con el detalle entero de todas las observaciones por lo que no es necesario calcular un tamaño de muestra al trabajarse con toda el conjunto de observaciones en el periodo definido. Los días entonces son los citados en la Tabla 2.

TABLA II
PERIODO DE MEDICIÓN

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Jueves 14 de abril	Viernes 15 de abril	Lunes 18 de abril	Martes 19 de abril	Miércoles 20 de abril

Los tiempos que debían registrarse eran los citados en los objetivos del presente documento. De éstos cuatro tiempos, el segundo se estima en función al registro de ventas diario proporcionado en el periodo de medición. Por tanto se establecieron posiciones de medición los tres tiempos restantes. Los tiempos que se obtienen por medición son entonces:

- Tiempo 1: Tiempo de espera en cola de caja de venta de platos básicos
- Tiempo 3: Tiempo de espera en la cola de la zona de despacho del plato básico
- Tiempo 4: Tiempo de despacho del plato básico

Para registrar el Tiempo 1, se emplearon dos personas una que registraba los instantes de ingreso a la cola y otra que registraba el instante en el cual la persona llegaba a la caja. Para el Tiempo 1 se asignó a 1 persona para registrar el tiempo de ingreso a la cola de despacho y el instante en el cual la persona llegaba finalmente a coger la bandeja en el área de despacho del plato básico. Para el Tiempo 4 una persona registraba el instante en el cual cada persona cogía su bandeja, y luego el instante en el cual la persona abandonaba el despacho con su palto básico servido. Por diferencia entre los instantes mencionados se calculan los tiempos de espera y de servicio registrados. Se definieron entonces las cuatro siguientes posiciones por cada uno de los cuatro Comedor en el campus cada uno de los días de medición.

1. Posición CI: Registra el instante de tiempo en que cada persona ingresa a la cola de caja de venta de platos básicos.
2. Posición CF: Registra el instante de tiempo en que cada persona llega finalmente a la caja y hace su pedido.
3. Posición CD: Registra el instante de tiempo en que una persona llega a la cola de despacho y el instante en que toma la bandeja
4. Posición D: Registra el instante de tiempo en que una persona toma la bandeja y el instante de tiempo en que dicha persona sale con el plato servicio hacia las mesas

Los formatos empleados en cada una de las posiciones descritas se adjuntan en los Anexos. Las personas en las posiciones CI y CF coordinan sus tiempos mediante tarjetas, entregando una tarjeta numerada a cada persona que llegaba a la cola de caja. Si en la posición CF se observa una persona sin tarjeta se asume que esta persona no ingreso por el inicio de la cola, sino que se "coló" en alguna posición intermedia. Asimismo las tarjetas numeradas que no son registradas en la posición Cf se consideran abandonos de la cola.

En el caso de las posiciones CI y CF se registran todas las observaciones ocurridas. En el caso de las posiciones CD Y D por el volumen de personas en la cola de despacho se efectúa un proceso de muestreo tratando de incluir al mayor número posible de observaciones para cumplir con el tamaño de muestra especificado cuando la cola es larga. En periodos de flujo bajo se registran todas las observaciones.

II. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Para validar la distribución de los datos en este etapa, se procedió a validar la hipótesis nula mediante las pruebas propuestas, las pruebas de Chi cuadrado y K-S. A priori se podría validar con ambas pruebas ya que la variable con la que se está trabajando (tiempo entre llegada de camiones) es del tipo continua; sin embargo, el número de muestra al ser < 90 , la única prueba a analizar es la K-S. De lo anterior se procede a verificar que el p- value de esta prueba ($>.15$) para estos datos es $>$ a 5%, por lo que se cumple otra condición para no rechazar la hipótesis nula.

Cabe señalar que el software hace el cálculo de varias distribuciones y la que mejor ajusta a los datos es la distribución mostrada en la siguiente tabla; sin embargo, ello no asegura que realmente la distribución mostrada sea la mejor ajuste tenga con los datos. Por ello, al haber concluido que no se rechaza la hipótesis nula, se procedió a revisar los errores cuadráticos para determinar el mejor ajuste, la distribución con menor error cuadrático (0.00678) fue la Beta, con ello queda validada que la distribución con mejor ajuste para los tiempos entre llegadas de camiones es la Beta con parámetros $\alpha = 0.987$ y $\beta = 1.94$.

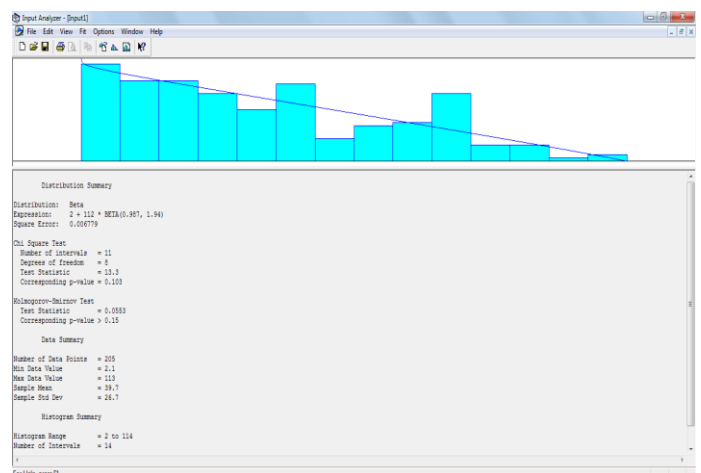


Fig. 1 Analizar de entradas: Histograma y Pruebas de Bondad de Ajuste

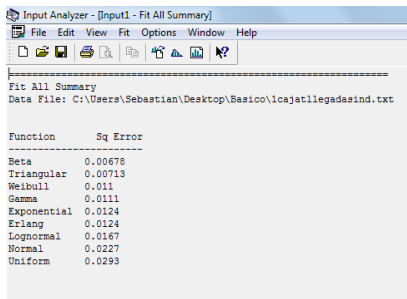


Fig. 2 Errores cuadráticos por distribución

Procedimiento análogo es seguido en el resto del modelo para determinar las variables aleatorias de entrada a ser empleadas. Se validó mediante un estudio muestral la cantidad adecuada de registros. En la Tabla III se detalla el resumen de resultados de tamaños muestrales obtenidos y las distribuciones de entrada de cada dato del modelo.

TABLA III
VARIABLES DE ENTRADA

		BÁSICO										
VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caja Individual Tiempo entre Registos					Despacho Individual Tiempo entre Registos	Despacho Grupo Tiempo entre Registos	Despacho Grupo Tiempo Grupo	Despacho Tiempo de Servicio	Despacho Utilización	En mesa dentro Tiempo de servicio	En mesa fuera Tiempo de servicio	
Tamaño de Muestra	205	145	52	58	165	136	31	27	14	89	80	
Distribución	Beta(1.587, 1.54)	Weibull(1.47, 1.13)	Poisson(3.5)	Weibull(23.3, 1.59)	Gamma(25, 1.4)	Gamma(1.07, 1.76)	Empirical	40-50*Beta(1.28, 1.11)	Empirical	720-Weibull(1.02=0.02, 1.24)	720-Gamma(85, 1.03)	

III. MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

El modelo de simulación se diseña en Rockwell Arena empleando los template de Block y Elements. El modelo representa las ubicaciones físicas de cada una de los comedores y las operaciones de compra de platos y consumo en las instalaciones. La figura 3 muestra la estructura del modelo.

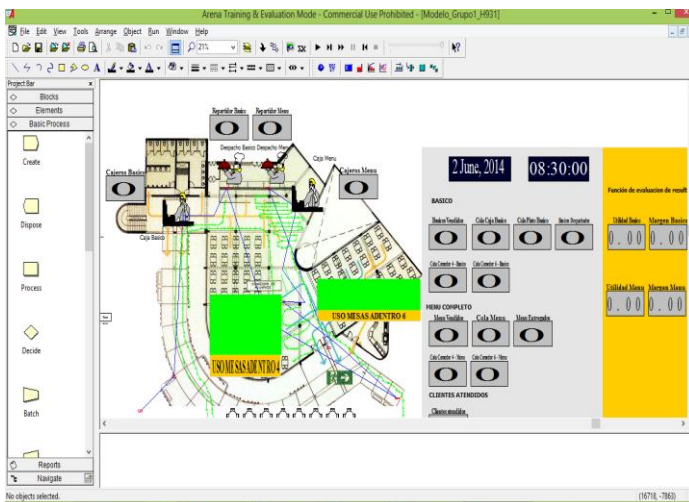


Fig. 3 Modelo en Arena

Este modelo está sujeto a los siguientes supuestos básicos de operación:

1. Los básicos tienen una producción constante de 1000 platos diarios, de igual manera los menús tienen una producción constante de 400 platos diarios.
2. Si el cliente llega a la cafetería y observa una cola mayor a 20 en el servicio de básico el 15% de clientes se retirará.
3. Si el cliente llega a la cafetería para consumir menú y observa una cola mayor 35 el 10% se retirará.
4. Se asume que todas las personas que compran en la cafetería, básico o menú consumirán sus alimentos en el recurso mesas de 4 o de 6 sillas (ubicadas tanto adentro como afuera del comedor).
5. Se asume que los clientes que compran su ticket antes del mediodía se retiran y regresan a partir del mediodía en adelante.
6. Se asume que los clientes que compran tickets pasado el mediodía ingresan directamente a pedir en la cola de servicio su plato y consumir su pedido.
7. Se asume que la decisión de los clientes acerca de comer afuera o adentro no se basa en preferencias personales, sino que elegirán el lugar más vacío.
8. Se asume que todos los clientes siguen el proceso descrito en el orden indicado, es decir, no consideramos los casos especiales de la gente que pueda tener derecho a un servicio gratis por practicar deportes.
9. Asumimos que las diferentes colas son ilimitadas, no contamos con ninguna capacidad de cola.
10. Se asume que los contómetros de las cajas de básico y menú solo imprimen 250 tickets y luego se tienen que proceder a cambiar y el cambio dura 20 segundos.
11. Se asume que en la zona de servicio de básico y menú cada 100 platos se acaba la comida para seguir atendiendo y se tiene que reponer desde la cocina, lo que demora 300 segundos en reabastecer.
12. Se asume que si bien existe menor número de repartidores la capacidad de dicho recurso está dada por la cantidad de platos disponibles para las entidades.
13. Se asume que existen personas que comen solas en un porcentaje menor al 5%; que dos personas que no se conocen se pueden juntar en una mesa de 4 sillas y el resto son grupos de conocidos que se sientan según tamaño de grupo y disponibilidad de mesas en mesas de 4 o 6 sillas.

IV. VALIDACION DEL MODELO

Inicialmente se ejecutaron diez réplicas del modelo descrito detallándose los principales indicadores seleccionados del modelo como se muestra en la Figura 4.

Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
CajeroBasico	1.65	0	0	1.65	1.65	10
CajeroMenu	2	0	0	2	2	10
ColaCajaBasicoDAVG	3.05	0.43	0.308	2.59	3.77	10
ColaCajaBasicoTAVG	93.2	13.2	9.41	79.3	115	10
ColaMenuDAVG	16.5	1.45	1.04	13.9	18.4	10
ColaMenuTAVG	1.26e+003	111	79.5	1.06e+003	1.4e+003	10
ColaPlatoBasicoDAVG	17.1	2.74	1.96	13.5	22.8	10
ColaPlatoBasicoTAVG	524	83.9	60	413	698	10
RepartidorBasico	10	0	0	10	10	10
RepartidorMenu	10	0	0	10	10	10
TEntregaMenu	1.43e+003	112	80.3	1.23e+003	1.57e+003	10
TSistCajaBasico	126	13.3	9.53	112	149	10
TSistColaPlatoBasico	568	84	60.1	456	742	10

Fig. 4 Resultados iniciales

Definiendo como criterio de dimensionamiento del halfwidth un 4% respecto a la media se obtuvo una cantidad de réplicas necesarias de 83, a las cuales se procedió nuevamente a correr el modelo previo a la fase de validación final. Los resultados se muestran en la Figura 5.

Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
CajeroBasico	1.65	5.89e-008	1.29e-008	1.65	1.65	83
CajeroMenu	2	0	0	2	2	83
ColaCajaBasicoDAVG	3.35	0.969	0.212	1.95	6.07	83
ColaCajaBasicoTAVG	102	29.7	6.48	59.8	186	83
ColaMenuDAVG	16.4	1.62	0.355	12.8	20.3	83
ColaMenuTAVG	1.25e+003	124	27.1	981	1.55e+003	83
ColaPlatoBasicoDAVG	18.4	3.41	0.745	9.04	24.6	83
ColaPlatoBasicoTAVG	564	104	22.8	277	752	83
RepartidorBasico	10	0	0	10	10	83
RepartidorMenu	10	0	0	10	10	83
TEntregaMenu	1.42e+003	123	26.8	1.15e+003	1.72e+003	83
TSistCajaBasico	135	29.8	6.51	91.9	219	83
TSistColaPlatoBasico	608	104	22.8	320	795	83

Fig. 5 Resultados con 83 réplicas

Los intervalos de confianza generados permiten validar el modelo a un 90% del total de indicadores propuestos, por lo que se procede con la fase de optimización.

IV. RESULTADOS

Para poder analizar las mejoras en el modelo se ha utilizado el OptQuest, considerando los siguientes valores:

Controles:

- Cajeros Básico
- Cajeros Menú
- Repartidores Básico
- Repartidores Menú

Responses:

- Cantidad promedio de personas en Cola Caja Básico
- Tiempo promedio en Cola Caja Básico
- Cantidad promedio de personas en Cola Plato Básico
- Tiempo promedio en Cola Plato Básico
- Cantidad promedio de personas en Cola Menú
- Tiempo promedio en Cola Menú
- Tiempo de Entrega de Menú (consta de cola más entrega de plato)
- Tiempo de Sistema Caja Básico (consta de cola más atención en caja)
- Tiempo de Sistema Cola Plato Básico (consta de cola más entrega de plato)
- Utilidades Básico
- Utilidades Menú

Restricciones:

- Número de Cajeros Básico ≤ 4
- Número de Cajeros Menú ≤ 4
- Número de Repartidores Básico ≤ 15
- Número de Repartidores Menú ≤ 15
- Utilidades Básico ≥ 1500
- Utilidades Menú ≥ 1000

Función Objetivo:

Minimizar la suma de todos los tiempos (colas y demoras con recursos).

Min:

$[ColaCajaBasicoTAVG]+[ColaMenuTAVG]+[ColaPlatoBasicoTAVG]+[TEntregaMenuOUT]+[TSistCajaBasicoOUT]+[TSistColaPlatoBasicoOUT]$

Se han considerado los siguientes costos para las funciones utilidad:

CF Básico: 1500 Nuevos Soles

CF Menú: 1000 Nuevos Soles

Costo de personal: 4 Nuevos Soles por hora ocupada y 3 Nuevos Soles por hora ociosa.

Luego de correr la simulación se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 6

Best Solutions Optimal solution found.

Best Solutions								
Select	Simulation	Objective Value	Status	CajeroBasico	CajeroMenu	RepartidorBasico	RepartidorMenu	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	3454.305570	Feasible	2	3	11	11	
<input type="checkbox"/>	15	3557.989250	Feasible	2	3	11	10	
<input type="checkbox"/>	16	3675.002571	Feasible	2	2	11	10	
<input type="checkbox"/>	42	3725.390926	Feasible	2	2	11	10	
<input type="checkbox"/>	27	3841.347350	Feasible	2	3	11	10	
<input type="checkbox"/>	25	4007.735596	Feasible	2	2	11	10	
<input type="checkbox"/>	32	4044.385478	Feasible	2	3	11	10	
<input type="checkbox"/>	4	4102.173439	Feasible	2	2	11	10	
<input type="checkbox"/>	24	4167.437528	Feasible	2	3	11	10	
<input type="checkbox"/>	11	4192.952724	Feasible	2	3	11	11	

REFERENCES

El proceso de optimización dado el caso presentado se orientó a la disminución de tiempos para una mejor atención al cliente sin afectar de manera sustancial las utilidades reportadas por el servicio brindado. Como se puede observar la solución contempló el aumento de un cajero en la zona de Menú y un repartidor adicional para cada zona, es decir, aumentar el personal en 3 personas.

La implementación de estas mejoras se recomendó en el alcance de las mejoras a implementarse en el siguiente ciclo operativo de los comedores.

Optimization Completed Optimal solution found.

Minimize		
	Objective Value	Status
Best Value	3454.305570	Feasible
Current Value		

Total simulation Area 54

Best Simulation 3

Controls		
Control Name	Best Value	Current Value
CajeroBasico	2	
CajeroMenu	3	
RepartidorBasico	11	
RepartidorMenu	11	

Constraints		
Constraint Name	Type	Status
New Constraint	Linear	Feasible
New Constraint	Linear	Feasible
New Constraint	Linear	Feasible
New Constraint	Linear	Feasible
New Constraint	Non Linear	Feasible
New Constraint	Non Linear	Feasible

Objective Values

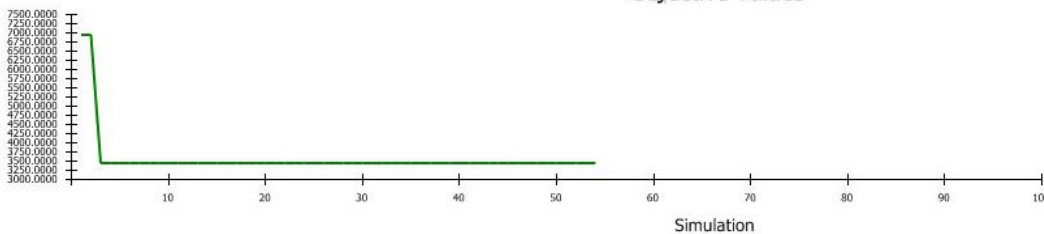


Fig. 6 Optimización