

Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos

Recibido 10 de marzo de 2006, aprobado 20 de abril de 2007

Juan Fernando Pérez

Ingeniero Industrial, M.Sc. en Ingeniería Industrial. Estudiante Doctoral, Department of Mathematics and Computer Science, University of Antwerp. Antwerp, Belgium. fern-per@uniandes.edu.co

Germán Riaño

M.Sc. en Investigación de Operaciones y Ph.D. en Ingeniería Industrial. Profesor Asistente, Centro de Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA), Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia.
griano@uniandes.edu.co

RESUMEN En este artículo describimos la aplicación de simulación de eventos discretos para el análisis de colas en una cafetería estudiantil. A partir de este análisis, determinamos requerimientos cuantitativos para el diseño de la cafetería que tienen en cuenta la aleatoriedad de los procesos y su interacción. Además, el uso de herramientas gráficas permitió una fructífera colaboración con el equipo de arquitectos encargados del diseño arqui-

tectónico. Presentamos el proceso de construcción del modelo, los diversos escenarios analizados y la configuración seleccionada, la cual presenta fuertes ventajas frente al diseño actual.

PALABRAS CLAVE

Sistemas de servicios, modelaje estocástico, simulación de eventos discretos

Queuing Analysis for the Design of a Cafeteria Using Discrete-Event Simulation

ABSTRACT In this paper we describe the application of discrete event simulation for analyzing queues in a school restaurant. From these results we determine quantitative requirements for restaurant design including the randomness of each process and their interaction. Furthermore the use of graphic tools allowed a fruitful interaction with the team in charge of the ar-

chitectural design. We show the model construction process, the diverse scenarios analyzed, and the selected configuration, which shows strong advantages against the current design.

KEYWORDS

Service systems, stochastic modeling, discrete-event simulation

INTRODUCCIÓN

El modelaje de sistemas reales cuyo desempeño depende en gran medida de parámetros aleatorios, como la demanda o tiempos de servicio, es hoy día un amplio campo de investigación, tanto en cuanto a desarrollos teóricos como en cuanto aplicaciones. En particular, la simulación por computador ha sido empleada en diversas áreas, con especial énfasis en sistemas de manufactura [1] y de servicios [2]. Esta área ha tenido un especial desarrollo en los últimos años debido al progreso creciente en las herramientas de cómputo, los cuales han abierto la posibilidad de incluir información adicional que no se ajusta a los modelos tradicionales de teoría de colas [3]. Los modelos tradicionales usualmente suponen comportamientos que en muchos casos no se cumplen y pueden llevar a resultados erróneos en el análisis de medidas de desempeño, como niveles de servicio, costos, entre otros [1].

El funcionamiento de una cafetería estudiantil presenta varios retos en términos de modelaje: el arribo de clientes presenta una alta variabilidad, debido a llegadas de estudiantes en grupos, lo que puede incrementar el tamaño de las colas drásticamente en un pequeño intervalo de tiempo. Además, las características de los clientes pueden ser sumamente diferentes, ya que las edades de los estudiantes varían entre los 5 y los 18 años, lo que impide suponer un comportamiento homogéneo de los clientes atendidos [4]. Por estas razones las técnicas tradicionales de Teoría de Colas son difíciles de aplicar en este contexto, y se requiere el uso de simulación para obtener medidas de desempeño apropiadas. No tiene mucho sentido en un sistema como éste medir los promedios en estado estable.

En el presente estudio se describe el proceso de análisis de colas como apoyo al diseño de una cafetería estudiantil. En ésta, la incertidumbre acerca del tamaño de las colas en los diferentes procesos es una variable fundamental en su diseño, pues tiene implicaciones directas en la calidad del servicio prestado. Gracias

al análisis realizado, se obtuvieron distribuciones de probabilidad para representar los tiempos entre arribos, y los tiempos de servicio en cada una de las islas de atención. Esta representación ofrece mucha mayor información que un análisis a partir de promedios o cotas inferior y superior [5], lo que permite tener una mayor confianza en los resultados de los modelos desarrollados y las configuraciones analizadas.

Por otra parte, las directivas del colegio esperan un importante incremento en el número de estudiantes, lo que redundará en una mayor presión sobre el desempeño de la cafetería, al pasar de cerca de 500 estudiantes a más de 900. Otro de los aportes de estudio radica en el aprovechamiento de las capacidades gráficas de los paquetes de simulación para ilustrar el desempeño de las diferentes configuraciones propuestas al equipo de arquitectos encargados del proyecto. Este análisis de alternativas sería inviable si se realizara por ensayo y error sobre el sistema. Por esta razón, los modelos de simulación se convierten en una herramienta muy poderosa para el análisis de múltiples escenarios, contemplando como parámetros de entrada no sólo los relacionados con el número de servidores, sino con la distribución de éstos. El análisis de los modelos desarrollados permitió incluir gran cantidad de información adicional a la originalmente existente, asegurando un desempeño confiable. Naturalmente, esta nueva cafetería es una inversión significativa para el colegio y este análisis les permitió diseñarla sabiendo que se adecuará a las necesidades de funcionamiento en el futuro.

Estudios anteriores han demostrado la utilidad de la simulación para el diseño de restaurantes, en especial en el sector de comidas rápidas [2, 4]. En particular, esta herramienta ha sido utilizada para representar soluciones alternativas al problema de asignación de turnos en éste y otro tipo de restaurantes [6, 7]. Sin embargo, la aproximación de este trabajo no se encuentra relacionada con la asignación de turnos sino con el análisis de las colas y su efecto en el diseño del restaurante. También debe destacarse el uso intensivo

de elementos gráficos sobre el modelo de simulación [8, 9], lo que permite una mejor interacción con los agentes tomadores de decisiones, quienes usualmente no se encuentran familiarizados con este tipo de herramientas. En la realización de este proyecto, el uso de estas habilidades gráficas fue fundamental para la adecuada comunicación de los resultados del modelo como información adicional para el equipo de arquitectos encargados del diseño de la cafetería. Los autores no tienen conocimiento de casos similares en el país.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al momento de empezar el estudio, el colegio contaba con cerca de 500 estudiantes divididos en cuatro grupos: preescolar, primaria, básica y semestralizado (grados décimo y once). Debido a diversas condiciones internas del colegio, éste ha presentado un incremento en el número de estudiantes y espera seguir creciendo hasta alcanzar un número cercano a los 900 dentro de cinco a seis años. No obstante, el diseño de la cafetería actual ha mostrado serias deficiencias y ha resultado insuficiente para atender el creciente número de estudiantes. La cafetería se encuentra diseñada como un auto servicio, tal como se muestra en la Figura 1. Al llegar al sistema, un usuario recibe atención en la zona de Plato Principal, el cual se encuentra dividido entre Plato Caliente y Plato Especial. El primero hace referencia al menú central que se sirve a la mayoría de los estudiantes y el segundo es un servicio especial para aquellos que necesitan de una dieta especial que implica un proceso de cocción adicional, lo

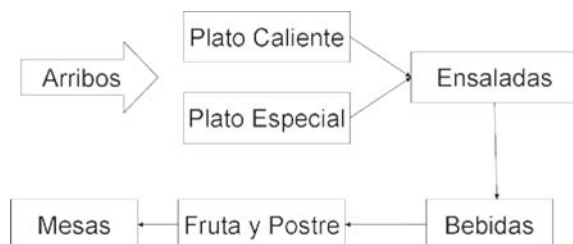


Figura 1. Representación del sistema de servicio de la cafetería.

que redundan en tiempos de servicio más prolongados. A continuación, el usuario se dirige a una barra de ensaladas con capacidad para atender hasta cuatro usuarios al mismo tiempo. Luego, los estudiantes toman la bebida de un dispensador, al igual que la fruta y el postre. Una vez terminado este proceso, los usuarios buscan una ubicación en las mesas de la cafetería que liberan al terminar de almorzar.

No obstante, debido a las características de los usuarios, en su mayoría niños menores de 12 años, el proceso no se realiza en un orden estricto y se presentan comportamientos especiales como usuarios que sólo entran a tomar dos y tres bebidas, sin entrar en el circuito completo, u otros que al completar la bandeja salen del sistema y toman su almuerzo sin utilizar las mesas de la cafetería. Este tipo de comportamientos le imprimen al sistema una variabilidad adicional que suele ser difícil de cuantificar y puede tener importantes consecuencias en el desempeño del sistema.

Actualmente, el sistema cuenta con dos servidores en la zona de Plato Caliente y uno en la de Plato Especial. Sin embargo, el servidor de plato caliente se divide realmente en tres servidores que adicionan al plato del usuario diferentes componentes de su almuerzo. Además, el servidor de plato Especial puede preparar entre tres y cuatro pedidos al mismo tiempo, gracias a la utilización de dispositivos especiales para este propósito. En la nueva cafetería se plantea el aumento en el número de servidores de Plato Principal, a fin de poder atender un mayor número de estudiantes. Aunque la pregunta natural a responder es cuántos servidores son suficientes para prestar un adecuado servicio y cómo debe ser su disciplina de atención.

Por otro lado, es muy importante para la correcta representación del sistema incluir las particularidades del proceso de arribos, que se deben principalmente a los horarios que se encuentran determinados para el almuerzo de los estudiantes de los diversos grados. Cada uno de los grupos mencionados tiene una franja horaria de almuerzo que encuentran distribuidas entre las 12:10 p.m. y la 1:50 p.m., con una duración

	Plato Caliente	Plato Especial	Ensaladas	Bebidas	Postres	Mesas
Preescolar	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)
Primaria	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Horizontal	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)
Básica	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Vertical	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)
Semestralizado	Vertical	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)	Vertical	Diagonal (top-left to bottom-right)	Diagonal (top-left to bottom-right)

Tabla 1. Resultados de pruebas de Homogeneidad de Kruskal-Wallis.

entre 40 y 60 minutos. Naturalmente, los niños de menor edad tienen un mayor espacio para almorzar, por lo que estas franjas se traslapan; luego, en un mismo instante del tiempo, puede haber más de un grupo haciendo cola para almorzar. Además, los niños de preescolar y algunos cursos de primaria salen a almorzar en grupo en compañía de un profesor, por lo que uno o varios grupos llegan a la cafetería en un intervalo de tiempo muy corto, haciendo que las colas lleguen a tener más de 100 estudiantes a los pocos minutos de haber iniciado el horario de almuerzo. Por su parte, los demás cursos toman el descanso y deciden el momento de ir a almorzar individualmente, por tanto sus arribos se encuentran más dispersos a lo largo de su franja de almuerzo.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Para iniciar la construcción del modelo, fue necesario realizar una amplia toma de datos acerca de los tiempos de servicio, el proceso de arribos y los porcentajes de usuarios que toman cada uno de los servicios. Además, se realizó una discriminación por día de la semana, a fin de determinar si existían comportamientos estadísticamente diferentes en cada uno de éstos. El análisis se realizó diferenciando los grupos de estudiantes, ya que las grandes diferencias de edades presuponen comportamientos diferentes en la realización de los procesos de autoservicio. Por esta razón, se tomaron datos haciendo una discriminación por grupos y días de la semana, y luego se realizaron pruebas de homogeneidad a fin de determinar si realmente existían diferencias o si en algunos casos los datos podían agruparse para su análisis. La prueba utilizada para este fin es la prueba no-paramétrica de

diferencia de N medias de Kruskal-Wallis [10], la cual identifica con un nivel de confianza, en este caso del 95%, si los conjuntos de datos tienen diferencias significativamente relevantes.

Los resultados de estas pruebas, tal como se muestran en la Tabla 1, indican que los servicios de Plato Especial, Postres y Mesas se comportan de manera homogénea para todos los grupos. En los demás servicios se presentan comportamientos particulares a un solo grupo o a un subconjunto de éstos, tal como se aprecia en el caso de las Bebidas, donde los estudiantes de Preescolar y Primaria comparten un comportamiento homogéneo, mientras los de Bachillerato presentan un patrón similar.

En el caso de la caracterización de los arribos, éstos presentaron un mayor reto, pues los arribos sucedían en grupos de muy diversos tamaños, a causa de los comportamientos disímiles de cada uno de los grupos. Debido a la imposibilidad de representar el tiempo entre arribos, se decidió caracterizar la diferencia entre el momento en que inicia la franja horaria para el grupo respectivo y el momento efectivo de arribo del estudiante. Por ejemplo, si el grupo de Básica comienza su hora de almuerzo a las 12:50 p.m., y se presenta un arribo a las 12:58 p.m., el tiempo a almacenar y analizar son los 8 minutos de diferencia entre estos dos instantes. De esta manera, se logró capturar adecuadamente el proceso de arribos que, al realizar las pruebas de homogeneidad, arrojó que los comportamientos de los estudiantes de Preescolar y Primaria en este aspecto no presentan diferencias significativas, así como los de Básica y Semestralizado pueden entenderse como un solo grupo homogéneo.

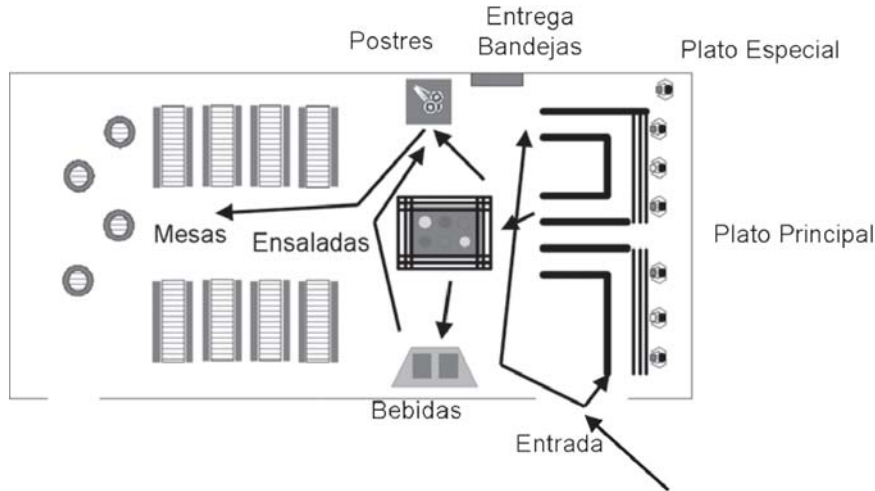


Figura 2. Representación de la cafetería actual.

Con esta información acerca de la dinámica del sistema, se realizó el ajuste de los datos a distribuciones de probabilidad, a través de pruebas de bondad de ajuste; en particular, la prueba Kolmogorov-Smirnov [11] para aquellos casos en que su versión corregida existe. En los otros casos, se utilizó la prueba Chi-cuadrado [12] al 95% de nivel de confianza. Los comportamientos encontrados se ajustaron en su mayoría a distribuciones Erlang y Gamma, y en otros casos a Weibull y Lognormal. Estas distribuciones sirvieron como parámetro de entrada al modelo de simulación, construido en el software ARENA 9.0 [13] y desarrollado por Rockwell Software. El modelo construido, cuya representación se muestra en la Figura 2, modela cada una de las estaciones de servicio como un nodo de una red, el cual cuenta con tiempos de servicio dependientes del tipo de cliente y una probabilidad de que ese cliente continúe su servicio en alguno de los otros nodos. En particular, el modelo contempla que todos los usuarios entran al sistema a través del servicio principal, ya sea Plato Caliente o Plato Especial, y luego, con una probabilidad dependiente del tipo de cliente, toman el servicio de ensalada. Después de éste, todos los clientes pasan a la isla de Postres y Bebidas y luego a las mesas. Al terminar el servicio en

las mesas, los clientes pasan por un punto de entrega de bandejas y abandonan el sistema.

Esta caracterización del sistema actual permitió determinar la capacidad del modelo de capturar la dinámica del sistema real, lo que es fundamental para corroborar la validez del mismo. Se determinaron como medidas de desempeño relevantes para la validación el tiempo total en el sistema y el tiempo en cola. Para este fin, se entregó a los estudiantes de los grados superiores (Básica y Semestralizado) un pequeño formato en el que señalaron su hora de llegada a la cafetería, el momento en que empezaban a ser atendidos efectivamente y el momento en que se retiraban de la mesa. A partir de esta información, se obtuvieron intervalos de confianza para los tiempos reales en cola y en el sistema. Al correr el modelo de simulación, se calcularon estas medidas de desempeño como resultado y se contrastaron con las reales. Los valores obtenidos en los dos casos no resultaron ser significativamente diferentes; luego, se puede afirmar que el modelo representa adecuadamente la situación real y, por ende, es válido para probar modificaciones al sistema, partiendo del supuesto de que el comportamiento de los clientes y los servidores no se modificará en cuanto a los procesos básicos del servicio.

	Plato Caliente	Plato Especial	Ensaladas	Bebidas	Postres	Mesas
# Actual	2	1	4	4	2	180
# Máximo	6	3	8	6	4	360

Tabla 2. Escenarios analizados en función del número de servidores.

ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Una vez construido y validado el modelo inicial, se empezaron a diseñar diferentes escenarios que debían ser probados a través del modelo de simulación. Estos escenarios pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- **Modificaciones en número de servidores:** a partir del modelo original y contemplando el crecimiento en el número de estudiantes, se adicionaron servidores en cada nodo de la red para calcular medidas de desempeño y realizar un análisis comparativo. Los escenarios analizados se resumen en la Tabla 2 que muestra, para cada uno de los servicios, el número actual de servidores y el número máximo analizado. Para todos los escenarios se calculó el tiempo en cola promedio y máximo, así como el número de estudiantes en cola promedio y máximo. También se registraron las utilidades de los servidores, con particular interés en las mesas ya que éstas ocupan una amplia porción del espacio de la cafetería.
- **Modificaciones en la disciplina de las colas:** la cafetería actual cuenta con dos colas asociadas a cada uno de los servidores principales, que luego desembocan en la barra de ensaladas. A pesar de ser un diseño cómodo para los estudiantes, este sistema presenta serias deficiencias, ya que las colas no son visibles por todos los usuarios al ingresar; luego, ocurre con frecuencia que uno de los servidores de plato principal tiene una cola significativa mientras el otro se encuentra libre. Sobre esta situación se plantearon diversas alternativas, entre las que se encuentran: establecer una fila única para todos los clientes que alimente a todos los servidores, sin importar su número; establecer filas para subconjuntos de los servidores, por ejemplo, se pueden tener dos filas que alimenten a 6

servidores, tres cada una. Así mismo, se propuso la posibilidad de partir las colas de manera que una parte de los estudiantes esperaran dentro de la cafetería y otros en la parte exterior. Estas posibilidades fueron analizadas teniendo en cuenta la dimensión ocupada por cada uno de los estudiantes y el espacio disponible en la cafetería, tanto en el área interna como externa.

- **Modificaciones en disposición de puertas:** se plantearon diversas alternativas para la ubicación de accesos tanto múltiples como restringidos, a permitir sólo la entrada o salida de los usuarios. Este aspecto es de vital importancia, pues dependiendo de la dimensión de las colas puede ser necesario establecer los puntos de ingreso lejos del área en que se concentran las mesas, a fin de evitar cruces en los flujos y molestias a quienes ya se encuentran almorzando.
- **Modificaciones en flujos internos:** otro de los puntos a analizar fue la distribución de las islas de servicios complementarios (ensaladas, postres y bebidas), ya que su adecuada disposición puede evitar choques entre los usuarios, así como permitir que aquellos que se concentran en alguno de los servicios, e.g. bebidas, puedan hacerlo sin causar acumulaciones inapropiadas de estudiantes en alguno de los puntos de cruce de flujos, impidiendo la adecuada circulación.

Es claro que los escenarios analizados incluyen diversas modificaciones cuantitativas y cualitativas. A partir de un modelo base se diseñaron los escenarios a analizar como sucesivas modificaciones a modelos anteriores. Estas modificaciones surgieron a partir de las discusiones sostenidas entre los autores y el equipo de arquitectos encargados del diseño. En particular, los arquitectos encontraron en las simulaciones la posibilidad de observar y comparar el comportamien-

to del sistema ante cada uno de los cambios propuestos. Así, se pudieron analizar muchas alternativas que, sin el modelo de simulación, no habría sido posible evaluar. De esta manera, algunos cambios propuestos eran adecuados para un mejor desempeño del sistema, pero generaban cruces de flujos poco deseables. En otros casos, se plantearon alternativas que reducían la utilización de mobiliario pero generaban inconvenientes para quienes estaban haciendo uso de las mesas. Por último, debe observarse que el diseño debe tener en cuenta el potencial crecimiento de la población estudiantil. En algunos casos el desempeño del nuevo diseño era adecuado para la cantidad actual de estudiantes pero presentaba problemas con el número de estudiantes proyectado. Por lo tanto, el modelo de simulación sirvió para analizar los diseños propuestos sucesivamente permitiendo esclarecer posibles puntos débiles y sus soluciones.

RESULTADOS

Después de contrastar las medidas de desempeño de los diversos modelos probados y de discutir amplia-

mente con las directivas del colegio y el equipo de arquitectos, se decidió que el modelo a implementar, es decir, el nuevo diseño de la cafetería, cuenta con cuatro servidores de plato caliente y tres de plato especial, seis puestos para ensalada, seis dispensadores de bebidas, cuatro puntos de postres y 300 mesas. En la Figura 3 se puede observar un diagrama de este diseño, que cuenta además con accesos separados de entrada y salida, y una zona cubierta de espera adjunta a la cafetería. Se establecieron dos colas internas para acceder a los servidores de plato caliente y una cola central para los usuarios de plato especial.

Una ventaja clara de este sistema sobre el anterior, aparte del mayor número de servidores, es la manera en que los estudiantes acceden a las colas internas, pues desde la entrada contemplan la longitud de las colas y pueden escoger la más corta. Además, el control de las colas internas impide los cruces con otros usuarios del sistema, disminuyendo los riesgos para los estudiantes. En cuanto a las medidas de desempeño, en las Tablas 3 y 4 puede observarse el comportamiento de los tiempos *promedio* y *máximo* de espera en

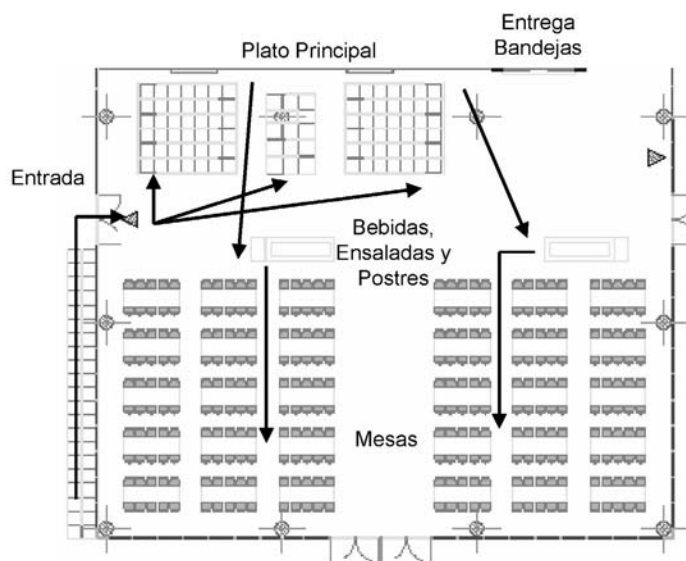


Figura 3. Representación del diseño a implementar para la cafetería.

Escenario	Media \pm Intervalo ¹
Actual	5.10 \pm 0.18
Nuevo Hoy	2.58 \pm 0.14
Nuevo Futuro	4.2 \pm 0.21

Tabla 3. Tiempo promedio en cola (minutos).

Escenario	Media \pm Intervalo
Actual	15.26 \pm 0.58
Nuevo Hoy	7.69 \pm 0.27
Nuevo Futuro	11.56 \pm 0.53

Tabla 4. Tiempo máximo en cola (minutos).

cola, para el escenario actual y el propuesto (Nuevo) con el número actual de estudiantes y el esperado en el futuro. Para el caso de los tiempos promedio en cola puede observarse una mejoría, ya que éstos presentan una reducción del 49% en la nueva cafetería con el número actual de estudiantes frente al escenario existente hoy día. Haciendo una comparación similar, el escenario futuro presenta una reducción del 18%. También es importante notar la reducción en los tiempos máximos en cola, mostrados en la Tabla 4. Allí se puede observar cómo el promedio del tiempo máximo en cola disminuye con la nueva cafetería 50% respecto a la actual. La reducción para el escenario futuro es del 24%, lo que permite esperar un mejor comportamiento de la nueva cafetería aún con el número total de estudiantes que se espera tenga el colegio en algunos años. Éste se verá reflejado en menores tiempos de espera para los niños, permitiendo que éstos utilicen mejor su tiempo de descanso en actividades no relacionadas con el proceso de almuerzo en la Cafetería.

El número de personas en cola (Tablas 5 y 6) es una importante variable para el análisis y diseño del sistema, pues éstas podrían llegar a cruzarse con las

mesas en caso de permitir que las colas funcionen normalmente. Como puede observarse en la Tabla 6, en el escenario futuro, con un mayor número de estudiantes, el número de personas máximo en cola es en promedio un 32% mayor que el existente actualmente. Por esta razón, es necesario adecuar en la parte exterior de la cafetería una cola con serpentines, que sólo permita el paso a las colas de servicio principal si existe espacio en los serpentines interiores. En caso de existir espacio interno, esta cola acumulará el número de estudiantes que sea necesario mientras el sistema atiende a algunos de los clientes que se encuentran en las colas internas, evitando así que las colas de los servicios principales se crucen con los flujos que se dirigen a las islas de servicios complementarios o a la zona de entrega de bandejas. No obstante, el número promedio de estudiantes en cola en el caso del escenario futuro presenta una disminución del 11% a pesar del mayor número de clientes a ser atendidos en el mismo intervalo de tiempo. Gracias a esto, la cola externa solo tendrá estudiantes en los casos en que se presentan arribos en grupo, cómo los causados por los estudiantes de Preescolar.

Escenario	Media \pm Intervalo
Actual	9.01 \pm 0.47
Nuevo Hoy	6.99 \pm 0.43
Nuevo Futuro	8.02 \pm 0.2

Tabla 5. Número de clientes promedio en cola.

Escenario	Media \pm Intervalo
Actual	72.74 \pm 3.13
Nuevo Hoy	61.38 \pm 1.46
Nuevo Futuro	96.3 \pm 2.26

Tabla 6. Número máximo de clientes en cola.

¹ Todos los intervalos reflejan una confianza del 95%.

CONCLUSIONES

Los cambios propuestos para el diseño de la cafetería en estudio permiten un mejor desempeño del sistema en cuanto a tiempos en cola, lo que redundará en menores tiempos de almuerzo para los estudiantes, permitiéndoles un mejor aprovechamiento del espacio del almuerzo en otras actividades. Además, el sistema ofrecerá un funcionamiento más seguro, en cuanto reduce drásticamente los cruces entre los flujos provenientes de los servicios a través del control de las colas y la regulación de los procesos de entrada y salida del sistema. En particular, la evaluación realizada permitió dimensionar adecuadamente las colas generadas en el sistema, adicionando información relevante para el diseño general de la cafetería. La idoneidad del diseño de la nueva cafetería se encuentra sustentada en un análisis riguroso de la aleatoriedad implícita en el sistema, lo que aumenta la confiabilidad en el diseño realizado y disminuye la probabilidad de tener que incurrir en costosos cambios en la disposición del sistema como resultado de un desempeño poco satisfactorio.

El valor agregado al diseño de la cafetería a través del estudio realizado se sustenta en la posibilidad de representar adecuadamente una amplia gama de posibles escenarios, obteniendo no solo medidas de desempeño sino también una representación gráfica adecuada para el entendimiento por parte del equipo de arquitectos y de las directivas del colegio. Sin las habilidades gráficas del modelo implementado, la interacción con los encargados del diseño arquitectónico no habría sido tan productiva y, probablemente, se habría limitado a un análisis cuantitativo del diseño. Por esta razón, el estudio realizado fundamenta su valor agregado en la interdisciplinariedad de sus participantes y muestra una aplicación de las herramientas de investigación de operaciones como instrumento articulador en la toma de decisiones de diversos agentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a las directivas del colegio y al equipo de arquitectos con quienes se realizó el presente estudio, pues fueron ellos quienes buscaron la ayuda de la Universidad de los Andes para solucionar el problema de diseño, y quienes brindaron toda la colaboración para realizar la toma de datos, validar los diversos modelos construidos y aportar muchas de las ideas clave en la evolución de este estudio.

REFERENCIAS

- [1] **M. Dong.**
Process Modeling, Performance Analysis and Configuration. Simulation in Integrated Supply Chain Network Design. Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.
- [2] **A.K. Kharwat.**
Computer Simulation: an important tool in the fast-food industry. Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, 1991.
- [3] **E. Williams, S. Khoubyari.**
Modeling issues in a shipping system. Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, 1996.
- [4] **S. Curin, J. Vosko, E. Chan, O. Tsimhoni.**
Reducing service time at a busy fast food restaurant on campus. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005.
- [5] **A. Law.**
How to conduct a successful simulation study. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003.
- [6] **S. Kwan, M. Davis, A. Greenwood.**
“A simulation model for determining variable worker requirements in a service operation with time-dependent customer demand”. *Queueing Systems.* Vol. 3, Num. 3, 265-275, 1988.

- [7] **A. Field, M. McKnew, P. Kiessler.**
“A simulation comparison of buffet restaurants applying Monte Carlo modeling”. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. Vol. 38, No. 6, 68-79, 1997.
- [8] **D. Brann, B. Kulick.**
Simulation of restaurant operations using the restaurant modeling studio. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 2002.
- [9] **K. Farahmand, A. Francisco, G. Martinez.**
Simulation and animation of the operation of a fast food restaurant. Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, 1996.
- [10] **W.J. Conover.**
Practical Nonparametric statistics. New York: John Wiley, 2000.
- [11] **A. Law; W.D. Kelton.**
Simulation, Modeling and Analysis. McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- [12] **J. Banks, J. Carlson, B. Nelson y D. Nicol.**
Discrete Event System simulation. Prentice Hall International Series, 2001.
- [13] **W.D. Kelton, R. Sadowski, D. Sturrock.**
Simulation with ARENA. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- [14] **W.D. Kelton.**
Experimental Design for Simulation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003.