

Redes de Petri estocásticas en el impacto de la capacidad en el servicio en restaurantes de producción masiva

Stochastic petri nets in the impact of the capacity in the service in mass-produced restaurants

Santiago Morales-González¹, Bryan Sandoval-Ferraro², Juan Pablo Orejuela-Cabrera³.
Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial, Santiago de Cali, Colombia.

¹ morales.santiago@correounivalle.edu.co

² bryan.sandoval@correounivalle.edu.co

³ juan.orejuela@correounivalle.edu.co

Resumen— El presente artículo presenta una metodología basada en redes de Petri estocásticas para valorar el impacto que causan las restricciones de capacidad de los factores productivos sobre el nivel de servicio en un restaurante de producción masiva. Se identifica el sistema objeto de estudio y se desarrolla un modelo de simulación discreta en Redes de Petri Estocásticas, que tiene en cuenta los componentes y características más representativas del sistema y sus interrelaciones. La prueba es realizada en un restaurante universitario que sirve más de 4.500 almuerzo por día, donde se pudo identificar el impacto causado en las etapas de producción y servicio, y se caracterizaron los más críticos y sus efectos.

Palabras Clave— Capacidad en servicios, Nivel de servicio, Redes de Petri Estocásticas, Restaurante de fabricación masiva.

Abstract— in the present paper, a methodology based on stochastic petri nets is proposed to measure the impact caused by the capacity constraints of productive factors on the level of service in mass-produced restaurants. The system under study is identified and a discrete simulation model based on Stochastic Petri Nets is developed, which considers the most representative components and characteristics of the system and the interrelations between them. The test is performed in a restaurant that serves more than 4,500 lunches on day, where the impact of the production and service stages can be identified and the most critical and its effects were characterized.

Keywords—Capacity in services, Service level, Stochastic Petri nets, Mass-Produced Restaurants.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la planeación de la capacidad es determinar el nivel general de los recursos que intervienen en la generación de bienes o servicios. Este proceso debe apoyar la estrategia competitiva a largo plazo de las compañías,[1].

En estas organizaciones las decisiones de capacidad se toman desde varias perspectivas estratégicas, como son la perspectiva

de mercadeo, en la que se espera que se establezcan el nivel de capacidad que puede asegurar una calidad y nivel de servicio altos; la perspectiva de las operaciones, que en restaurantes de comidas rápidas y proveedores del cuidado de la salud, se tiende a escoger un nivel de capacidad que minimice los costos del sistema sin disminuir los ingresos y la calidad en éste [2].

La determinación del nivel de capacidad en una organización de servicios tiene incidencia fundamental en el comportamiento real del sistema, puesto que de ella depende si se cumplen o no las expectativas que los clientes y administradores de la organización se han formulado. Sin embargo, dicha determinación debería estar acompañada por un análisis detallado de los factores que intervienen en el proceso productivo y que pueden modificar el comportamiento del sistema.

En este sentido, se hace necesario identificar las interrelaciones entre los factores y sus influencias en el nivel de servicio para tener un mejor control sobre el sistema; lo que permite obtener un enfoque de sistemas integrado más efectivo acerca de los factores en el frente de la casa (*front of the house*) y en la parte trasera de la casa (*back of the house*) [3]. Omitir dicho análisis podría llevar a que se presenten, en determinados períodos de tiempo, situaciones extremas, como holguras o saturaciones en el sistema, sin que los administradores lo prevean.

La simulación se presenta en la literatura como una herramienta ampliamente utilizada en la representación de sistemas dentro de sectores de producción y con especial presencia en servicios [4]. De acuerdo a [5], la simulación permite imitar la operación de un proceso o sistema completo y registrar el desempeño de la misma a través de varias alternativas de diseño o procedimientos de operación, lo cual posibilita evaluar y comparar dichas alternativas antes de elegir una.

Una de estas alternativas son las Redes de Petri (RdP), una herramienta de modelación de sistemas a eventos discretos, con

la cual es posible controlar, evaluar y optimizar diferentes procesos. Las RdP son grafos orientados, compuestos por lugares y transiciones que se encuentran unidos por arcos, donde los lugares representan los estados del modelo, los arcos indican la dirección de evolución de la RdP y las transiciones representan las entradas del sistema; de su activación o desactivación dependerá el funcionamiento de la red [6]. Un acercamiento al modelado mediante RdP puede verse en [7]. Algunos casos de la amplia aplicación de redes petri son presentados a continuación.

En [8] tratan el enfoque de las RdP en el control de la producción en tiempo real, plantean que al modelar un sistema de producción como RdP se puede analizar el comportamiento del controlador del sistema antes de que este sea implementado, presentan el enfoque y lo implementan en el laboratorio de manufactura automatizada, realizan la comparación entre los resultados obtenidos con RdP y el controlador lógico programable ya establecido.

Por su parte, [9] muestra que una estación de trenes se puede considerar como un sistema dinámico híbrido, ante lo cual, para representar las características principales de éste, construyen un modelo híbrido basado en RdP, para aclarar la metodología realizan la simulación de una estación de trenes, con lo cual, a partir de los datos obtenidos, encuentran que es posible evaluar el desempeño de la estación, además de identificar limitaciones estructurales y funcionales de la misma.

En [10] se analizan los sistemas de vehículos de guiado automatizado (AGV) mediante un enfoque de modelado en RdP, permitiendo considerar varios aspectos críticos de diseño como vehículos multicarga, estaciones de procesamiento multimáquina, capacidad finita de colas, y políticas de producto en proceso; este enfoque permite explorar ampliamente los sistemas AGV además de proporcionar resultados analíticos y simulados de dichos sistemas.

En [11] se presenta el desarrollo de un modelo de RdP para el control de un sistema de manufactura flexible de automóviles para modelar y analizar el problema de programación de taller, por lo cual, ellos desarrollan un enfoque de RdP para evaluar el rendimiento e implementar eficientemente el control de la producción, y encuentran que el problema del rendimiento puede ser reducido a un problema de programación lineal.

En [12] desarrollan un modelo de red de colas para evaluar los tiempos de espera de los clientes de un restaurante, lo consideran como una herramienta de gran utilidad debido a que permite determinar cuáles son los recursos cuello de botella del sistema además permite clasificarlos para tomar decisiones que mejoren la experiencia del cliente.

De los artículos consultados se encuentra que la simulación y las RdP pueden jugar un papel fundamental en la forma como se entienden los sistemas productivos y de servicios. Estas herramientas permiten abordar la complejidad que los sistemas traen implícitamente debido a las interrelaciones de sus elementos, lo cual posibilita realizar análisis completos, evaluar

el desempeño, identificar limitaciones y tomar decisiones más efectivas.

Por lo tanto, la presente investigación define una propuesta metodológica, basada en RdP, que permite a los administradores de restaurantes tomar decisiones efectivas, con relación al establecimiento de los niveles de capacidad, de manera que se ajusten a las necesidades de la organización y procuren tanto la satisfacción del cliente como la consecución de los objetivos de la empresa.

Como herramienta de análisis se desarrolló un modelo de simulación discreta en RdP, en el que se identificó el impacto que tiene sobre el nivel de servicio los cambios conjuntos en la etapa de producción (*back of the house*) y en la etapa de servicio (*front of the house*). La propuesta es aplicada en un restaurante que sirve más de 4500 almuerzos por día.

A. Descripción del problema

Existen diferentes sistemas en los que, al mismo tiempo, se presta el servicio y se produce el bien asociado al mismo, es decir, la fase de producción está inmediatamente relacionada con la fase de prestación del servicio, lo cual hace que se presente mayor interdependencia entre los factores productivos y el nivel de servicio ofrecido. Este es el caso de los restaurantes de fabricación masiva, en el que la afectación de la capacidad de los factores productivos en la cocina genera problemas, tales como demoras en la prestación del servicio, largas filas y pérdida de clientes.

En los sistemas de fabricación masiva es común que el proceso de pre-producción o de alistamiento de los productos, se realice previo al inicio del servicio, ya que generalmente la demanda se concentra en unas pocas horas. La pre-producción busca que se realicen pocas operaciones una vez el cliente ha realizado el pedido, y con esto brindar tiempos de entrega más cortos. Sin embargo, en los restaurantes de fabricación masiva la elegibilidad en el menú por parte del cliente es poca o nula, con lo cual, en la etapa de pre-producción se puede realizar la fabricación de inventario del bien final y con esto separar temporalmente la producción y el servicio.

La separación temporal ayuda a que se brinde un mejor nivel de servicio en los restaurantes de producción masiva. Como ya se mencionó, la demanda se concentra en unas pocas horas, ocasionando que, por lo general, la tasa de demanda supere la tasa de servicio. Así, el nivel de inventario se acumula mientras no hay demanda, y una vez inicia la demanda el inventario decrece rápidamente hasta que la tasa de demanda se ve obligada a igualarse a la tasa de producción.

Un elemento importante en estos restaurantes es la definición del nivel inventario antes del inicio de la demanda, lo que es equivalente a determinar el momento en que debe iniciarse la fase producción. En [13] se desarrolla un modelo lineal de optimización para definir dicho nivel de inventarios, no obstante, se omite el comportamiento estocástico de la

demanda y de los diferentes factores que inciden el proceso de manufactura.

Por otro lado, la relación resultante entre el nivel de servicio, la presencia de inventario temporal y los diferentes factores productivos, genera una complejidad en el sistema que hace que sea difícil identificar a simple vista los efectos en el nivel de servicio, asociados a las decisiones de corto plazo de capacidad de los factores productivos. En ese sentido, la presente investigación busca dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cómo medir el impacto de los cambios en los niveles de capacidad sobre el nivel de servicio, teniendo en cuenta la complejidad del sistema?

II. METODOLOGÍA

Para medir el impacto de los cambios en los niveles de capacidad en el nivel de servicio, teniendo en cuenta las complejidades del sistema, se propone la siguiente metodología basada en redes de Petri estocásticas, a continuación, se describen cada uno de los pasos.

A. Identificación del sistema.

Para identificar el sistema se describen los componentes representativos de su proceso productivo, enfatizando en los factores productivos. Adicionalmente, es importante identificar o, si es necesario, definir qué medidas de desempeño del sistema son de interés para la correcta valoración del impacto generado por los factores productivos sobre el nivel de servicio.

B. Recolección de información y formulación del modelo.

La recolección de los datos claves para realizar una simulación dispone de tres métodos principales que buscan obtener mayor exactitud en el desempeño del sistema simulado:

- 1) **Observación directa:** Se realiza cuando se dispone de una versión existente del sistema bajo estudio, o un sistema similar. Si la recolección de datos es por éste método, inicialmente se debe estimar la distribución de probabilidad a la que se asemejan los datos y luego generar una serie de observaciones aleatorias.
- 2) **Estudios de tiempo:** Esta fuente es utilizada cuando no se dispone de un sistema similar al que se pretende simular, pero se dispone de información sobre trabajos de análisis en la fabricación de productos o prestación servicios similares al que el sistema simulado desarrollará.
- 3) **Entrevistas con expertos:** A través de la experiencia obtenida por personas que han realizado o tenido relación con sistemas u operaciones similares, se puede recolectar una cantidad suficiente de información que permita alimentar el modelo del sistema simulado.

La formulación del modelo, regularmente se realiza de manera inicial a través de una representación gráfica en la que se pueda observar el enlace entre los componentes del sistema; herramientas útiles son los diagramas de bloques o diagramas de flujo.

C. Selección del software y desarrollo computacional.

Los software adecuados para desarrollar el modelo están diferenciados en cuatro clases: hojas de cálculo, lenguaje de programación de propósito general, lenguaje de simulación de propósito general y simuladores [5]; al tener en cuenta la complejidad de los restaurantes de fabricación masiva, como la necesidad de facilitar a los administradores la clara visualización del sistema simulado, la alternativa idónea para lograr los objetivos del proyecto son los simuladores.

D. Validación del modelo.

En la literatura encontrada se recomienda, como técnica más común de validación de un modelo de simulación, la comparación con el sistema existente a través del análisis de los valores de las medidas de desempeño definidas y el comportamiento real del sistema objeto de estudio. [14] hace referencia a una gran variedad de técnicas para lograr la validación de un modelo de simulación, lo que proporciona alternativas para comprobar la veracidad del modelo construido, de las cuales, la comparación con otro modelo de simulación y la animación fueron utilizadas para la validación del modelo de simulación desarrollado.

Luego de realizar la validación cualitativa del modelo, se procede a evaluar el procedimiento para realizar el análisis estadístico de los resultados que el modelo arrojó durante el período de simulación. Se tienen como elementos significativos la cantidad de réplicas necesarias para lograr una estimación precisa de cada medida de desempeño y la forma con la que se representarían dichas estimaciones.

De acuerdo a lo planteado por [15], los dos elementos anteriormente mencionados, se pueden abordar mediante el uso de la distribución *t-Student*, debido a que a través de ésta es posible el desarrollo de una expresión alternativa (respecto a la distribución normal) de un intervalo de confianza (IC), la cual se define en la ecuación (1), que permite una estimación del promedio (\bar{X}), con un 90% de confianza y una cantidad de réplicas $n = 10$ definidas *a priori*.

$$IC = \bar{X}(n) \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}} \quad (1)$$

III. DESARROLLO - CASO DE ESTUDIO

En la definición del problema se plantea que el sistema a estudiar es de producción masiva, es este caso, un restaurante

universitario. Se considera como un sistema de producción mixto en el cual se identifican dos áreas principales (Figura 1).

La primera es el área de producción (*back house*) del producto que se ofrece, donde se realiza la transformación de las materias primas y la elaboración de los componentes requeridos. La segunda, es el área de servicio (*front house*) donde llegan los usuarios a formar la respectiva fila de espera hasta que se les realiza la entrega del producto por parte de los servidores definidos por la administración del restaurante. En resumen, los factores más relevantes del sistema son:

- a. **Demanda:** de acuerdo al día de la semana y/o al menú que se programe por parte del restaurante, puede afectar de forma positiva o negativa tanto la producción como el servicio de los almuerzos.

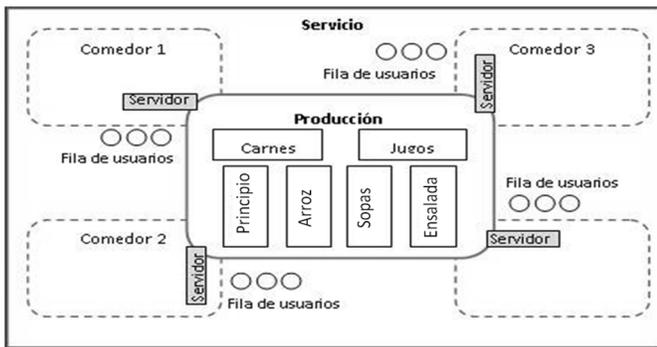


Fig. 1. Área de producción y de servicio del restaurante universitario.

- b. **Tipo de menú:** Para tratar la problemática relacionada con los 273 menús disponibles, Salcedo & Giraldo (2010) lograron la conformación de 5 menús-tipo mediante una estrategia combinada de análisis factorial y métodos de clasificación, de los cuales se escogió el menú-tipo con mayor demanda para esta investigación.
- c. **Maquinaria:** El área de producción (*back house*), cuya forma es rectangular, está subdividida en 6 zonas que se encargan de la producción de cada componente del almuerzo. Para la producción se tiene disponible una variedad de máquinas específicas distribuidas a lo largo de toda el área de producción, las cuales se diferencian por su cantidad, capacidad y prioridad de uso, contando además, con mano de obra que apoya el correcto funcionamiento de las máquinas.
- d. **Utensilios:** Para el consumo del almuerzo por parte del usuario se hace uso de utensilios como bandejas, cucharas, tenedores, cuchillos, tazas, platos y vasos, específicamente uno de cada uno; por lo que si llega a faltar uno de éstos para que el usuario reciba y consuma su almuerzo, el flujo de la cola se reduciría drásticamente y el sistema podría tener ociosidad en los respectivos servidores, aun cuando la cantidad de personas en cola seguirá aumentando.
- e. **Número de servidores:** El área de servicio del Restaurante (*front house*) tiene entre sus componentes la zona donde se entrega al usuario el almuerzo que se

ofrece. Ésta entrega ocurre de la misma manera como se produce el almuerzo, por componentes; y se desarrolla de forma secuencial. Al llegar, el usuario recoge los seis componentes paso a paso, aunque no realiza el mismo número de etapas debido a que él obtiene los componentes servidos en tres recipientes distintos.

Debido a las singularidades del sistema objeto de estudio, y con base en la documentación de la literatura existente y en el análisis de investigaciones similares, las medidas de desempeño representativas que el sistema simulado debe proporcionar son:

- a. **Número promedio de usuarios en cola:** Es la cantidad media de usuarios que permanecen en cola en cada comedor durante el período de atención del sistema.
- b. **Tiempo promedio de espera en cola:** Representa el tiempo medio que los usuarios permanecen en cola a la espera de ser atendidos por los servidores disponibles en cada comedor.
- c. **Ocupación del comedor:** Expresa la proporción media de sillas que permanecen ocupadas respecto a la cantidad total de sillas en cada comedor durante el período de atención del sistema.
- d. **Utilización de los servidores:** Expresa en porcentaje el tiempo medio que permanecen los servidores de cada comedor realizando su actividad respecto al tiempo total destinado para esto.
- e. **Usuarios totales atendidos:** Es la cantidad final de usuarios que se atiende en cada comedor al finalizar el período de atención del sistema.
- f. **Hora de atención de último usuario:** Es el momento de tiempo en el que se atiende al último usuario en cola en cada comedor.

Luego de identificar el sistema se procede a recolectar la información que se obtuvo a través de los medios mencionados en la metodología, en donde los estudios de tiempos fueron a los que se recurrieron en mayor medida.

Se requirió información sobre el crecimiento de la demanda de almuerzos durante el período de simulación, tiempos de procesamiento de cada componente en las distintas máquinas, los tiempos de servicio de cada componente por parte de los servidores y el tiempo de lavado de los utensilios, capacidad de los almacenes temporales para cada uno de los componentes, cantidad de utensilios y asientos, y tasa de salida de personas del restaurante. Esta última se obtuvo a través del estudio realizado en [16].

Con esta información, se procedió a realizar una acotación de la magnitud del modelo a través de una representación del sistema con diagramas de bloques, lo que permitió la identificación de las zonas específicas donde se obtendrían las medidas de desempeño.

El modelo que imita el comportamiento en un día de servicio del Restaurante de la Universidad del Valle, corresponde a una

simulación de tipo terminal, es decir, se inicia la producción de componentes a las 7:30 h, el servicio a las 11:30 h, se cierran los comedores a las 14:30 h, pero se deja de servir hasta que el último usuario es atendido. Además, está estructurado en cuatro zonas principales entre las que se encuentran el área asociada a la producción de cada componente, los lugares de oferta del servicio y consumo del almuerzo, la demanda asociada al servicio, y una zona auxiliar donde está ubicada la máquina lavaplatos. En la figura 2 se presenta la RdP que representa el sistema de estudio.

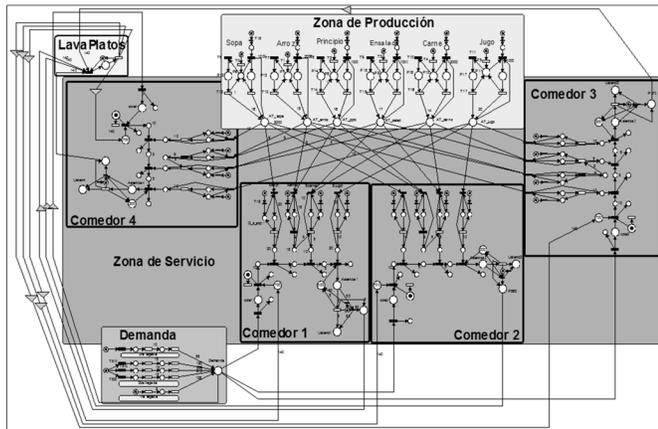


Fig. 2. Red de petri del modelo de simulación.

Para la elección del software de simulación, debido a que de los simuladores de sistemas industriales más comercializados presentan elevados costos por licencias de uso, y con base en la experiencia previa, por parte de los autores, se recurrió a un simulador gratuito llamado HPSim (http://www.winpesim.de/bin/hpsim1_1.zip) que utiliza las Redes de Petri (RdP) como representación del sistema a simular.

El desarrollo computacional se realizó bajo los siguientes supuestos:

- a. El menú producido es el correspondiente a un menú representativo seleccionado.
- b. La demanda representa una demanda promedio asociada al menú representativo seleccionado.
- c. La materia prima disponible de cada componente es suficientemente mayor para la producción máxima que se pueda presentar en un día de atención.
- d. El desplazamiento de los servidores hacia los almacenes temporales es despreciable, por tanto, sólo se tiene en cuenta un solo espacio donde se almacenan los componentes antes de ser servidos.
- e. La capacidad física y técnica de los 4 comedores del Restaurante es igual durante todo el período de atención.

Para valorar los impactos de cambios en el sistema se desarrollaron cinco escenarios, como se muestra en las tablas 1 y 2. Los escenarios se clasifican como de Eventos y de Parámetros. Los primeros hacen referencia a eventos que pudiesen ocurrir en el sistema que no son necesariamente

cambios en los parámetros. Por su parte los segundos hacen referencia a algunos parámetros que pueden variar, entendiéndolos como entradas del sistema.

La elección de cada escenario se basó en la literatura existente en la que se estudia las interacciones de diferentes aspectos de restaurantes, como afirman [2]: recursos humanos, configuración de los asientos, distribución física de los restaurantes; enfatizan el hecho de que un enfoque de sistema integrado que capture todos los tipos de recursos podría ser más efectivo.

También se habla de recursos interrelacionados como clientes y tecnología, el área de espera y de comidas, la cocina, entre otros [3]. Adicionalmente, poder identificar qué recursos son críticos y cuáles no permiten descartar análisis posteriores y enfocarse en otros. En cuanto a los escenarios clasificados como Eventos, se realizaron para mostrar la capacidad de la metodología de abordar situaciones excepcionales que pudiesen ser muy costosas o perjudiciales para el sistema y así dar una idea del abordaje de este tipo de situaciones en el futuro.

Escenario	Evento	Descripción
1	Cierre de un comedor	Se cierra del comedor 4 a las 13:30 hrs
2	Avería de una máquina de preparación de carne	Se detiene a la mitad de la jornada (9:30/t180) la producción de una máquina de sopa, principio y carne.

Tabla I. Escenarios de simulación de acuerdo a establecimiento de eventos.

Escenario	Parámetros	Descripción
3	Aumento de Tasa de producción (componente/min)	Se aumenta y disminuye en 50% la tasa de producción de cada componente
4	Disminución 1 de la Tasa de servicio (componente/min)	Se disminuye en 1 y 2 puntos la tasa de servicio de cada componente en el comedor 4
5	Nivel de servidores en CARNE	Se aumenta en 1 el número de servidores del componente CARNE en el comedor 1

Tabla II. Escenarios de simulación de acuerdo modificación de parámetros.

IV. RESULTADOS

Debido a que los intervalos de confianza tienen una utilidad primordial en la observación del cambio de las medidas de desempeño ante distintos escenarios que ocurren en el sistema,

se procedió a realizar un análisis detallado en cada uno de los comedores, de las seis medidas de desempeño definidas. Se identifican diferencias en los resultados obtenidos de cada comedor, aun cuando todos tienen la misma capacidad técnica y física. Esto es debido a que la aleatoriedad de la demanda y los comportamientos de servicio de los servidores dan singularidad a cada comedor.

Comedor 1: Durante el período comprendido entre las 11:15 h y 11:30 h la cantidad de usuarios en cola se incrementa de forma particular, generándose el primer pico, debido a que los servidores no están atendiendo y por tanto no hay salida de usuarios (Ver Figura 3). Por otra parte, el tiempo de espera asociado a los usuarios que llegan durante éste período decrece, lo que es razonable ya que quienes llegan a las 11:25 h esperan menos que quienes llegaron a las 11:15 h. El segundo pico en la cantidad de usuarios en cola, mayor y más amplio, se genera durante el período que presenta mayor demanda, en promedio entre las 12:00 h y 13:15 h. Sin embargo, el máximo de usuarios promedios en cola llega a ser igual a 172 usuarios y ocurre a las 12:52 h, durante la mayor congestión que presenta el sistema, entre las 12:40 h y la 13:05 h.

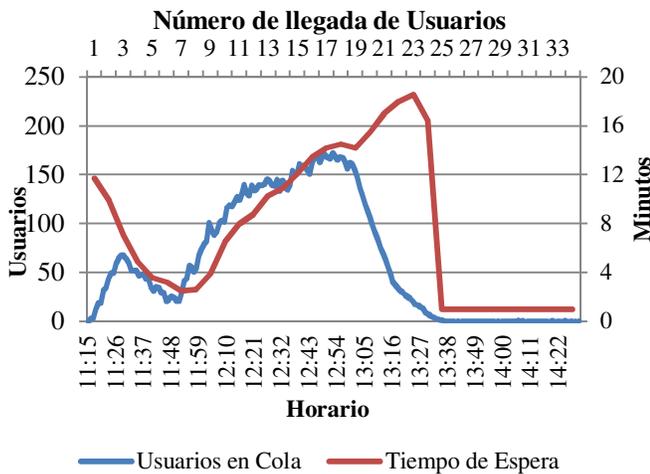


Fig. 3. Promedio de usuarios en cola y tiempo de espera en el comedor 1.

El tiempo promedio de espera máximo de un usuario ocurre en promedio a las 13:12 h y tiene una duración promedio de 18,6 minutos; ocurre debido a que en dicho momento la cantidad de usuarios en cola disminuye porque la tasa de llegada decrece y no porque la tasa de servicio aumente (la tasa de servicio durante el período de atención es exponencial con media igual 1), por tanto esos usuarios que llegan deben esperar a que esa gran cola que lo antecedía sea atendida.

La última sección de la Figura 3 ilustra que, tanto los usuarios en cola como el tiempo de espera presentan descensos acelerados ya que la tasa de servicio supera a la tasa de llegada de la demanda hasta que finaliza el período de atención, convirtiéndolo en un momento de “holgura” en el sistema.

Es posible concluir que existe una relación directa entre el número de usuarios en cola y el tiempo de espera, pero dicha

relación tiene un desfase temporal, es decir, que los usuarios llegan justo en el momento máximo de la cola no son los que más esperan pero sí lo hacen quienes los preceden.

En cuanto al comportamiento promedio de usuarios en cola y la ocupación del comedor 1, se identifica que existe un pico inicial en la ocupación, el cual no es precedido por un incremento en el número de usuarios en cola, esto sucede porque en promedio durante los primeros 15 minutos (11:30 h -11:45 h) de atención del comedor, la tasa de salida de usuarios es cercana a cero; por lo que la acumulación de sillas ocupadas es unilateral (Ver Figura 4). Sin embargo, la máxima ocupación durante dicho período de tiempo es de 39%, lo cual no es suficientemente significativo para un análisis mucho más detallado.

Adicionalmente, el comportamiento de ambas medidas de desempeño también evidencia que el período de mayor congestión en la cola conlleva al período de mayor ocupación en el comedor siendo la máxima el 52% del total de las sillas disponibles. Esto permite concluir también que la cantidad de usuarios en cola puede considerarse como una referencia de la ocupación del comedor en un período de tiempo próximo.

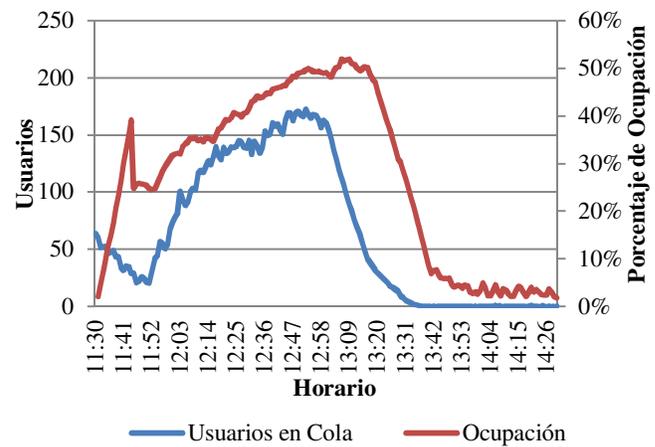


Fig. 4. Comportamiento de usuarios en cola y ocupación del comedor 1.

Comedor 2: debido a la interacción de sus elementos, presentó, durante el período de atención, un promedio máximo de 201 usuarios en la cola, ocurriendo en promedio a las 12:49 h. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de usuarios que llegan a estar en cola en el comedor 2, comparado con el comedor 1, el comportamiento del tiempo de espera promedio en cola de los usuarios no alcanza un máximo mucho mayor que el tiempo de espera en el comedor 1, siendo inclusive menor; 17,6 minutos en promedio (Ver Figura 5).

Por el contrario, se evidencia de forma representativa que la elevada cantidad de usuarios promedio en cola en el comedor 2 genera un impacto en la amplitud del rango del máximo tiempo promedio de espera. Con lo que resulta que los usuarios que llegan entre las 13:02 h y las 13:16 h sean los que en promedio tengan que realizar una espera mucho mayor que el resto.

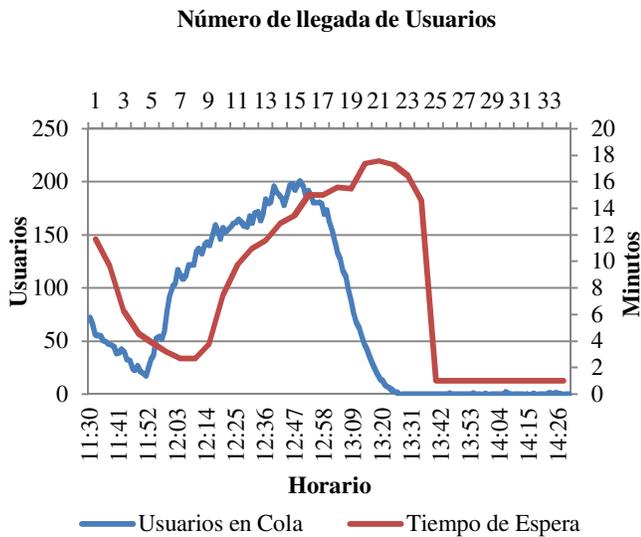


Fig. 5. Comportamiento usuario en cola y tiempo de espera comedor 2.

La ocupación máxima promedio que ocurre en el comedor 2 durante el período de atención es de 65,8 % y ocurre en promedio a la 13:10 h (Ver Figura 6). De igual forma se evidencia que el momento de tiempo donde se alcanza la máxima ocupación promedio está antecedido, en aproximadamente 20 minutos, por el momento donde se presenta la mayor cantidad de usuarios en cola.

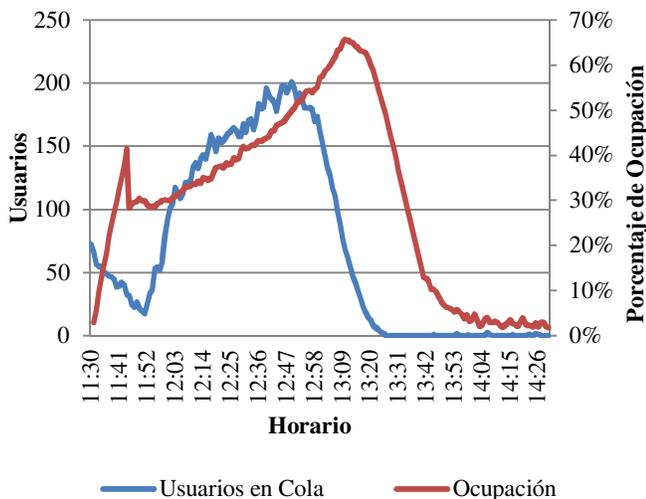


Fig. 6. Comportamiento Usuarios en Cola y Ocupación del Comedor 2.

Comedor 3: Los usuarios promedio en cola en el comedor 3 presentan un comportamiento similar al observado en el comedor 2, aunque la máxima cantidad de usuarios que están en la cola en promedio alcanza un valor de 216 usuarios a las 12:49 h aproximadamente (Ver Figura 7). Por su parte el tiempo de espera promedio máximo al que puede llegar a recurrir un usuario es de 19,3 minutos siendo mayor a los de los dos comedores previos.

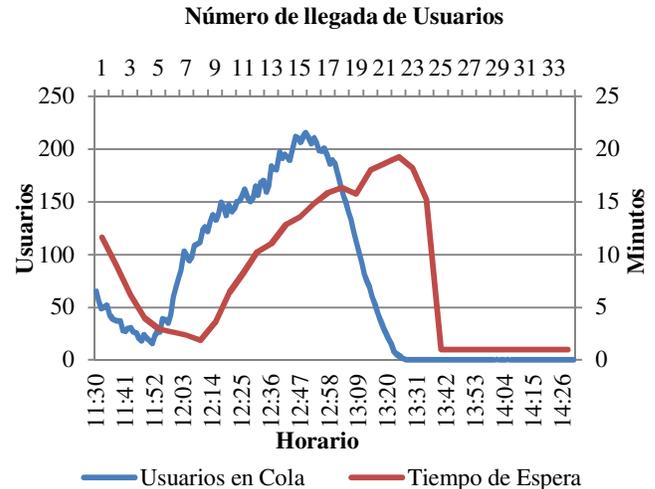


Fig. 7. Comportamiento usuarios en cola y tiempo de espera comedor 3.

Aunque el comedor 3 es el comedor que en promedio tiene el máximo de usuarios en cola en un momento dado, la ocupación no se ve influenciada de forma significativa ya que su máximo promedio llega a ser 57,7 % de sillas ocupadas (Ver Figura 8); lo que es menor que el comedor 2 y mayor que el comedor 1. Esto se debe a que el comportamiento de la ocupación tiene hasta la 13:16 h un crecimiento con una pendiente más cercana a cero, en comparación a los dos comedores anteriormente analizados. Por consiguiente la utilización promedio de los servidores en el comedor es mayor a la utilización de los comedores 1 y 2, lo que causa que se atiendan en promedio durante aproximadamente los primeros 90 minutos más usuarios que en los otros comedores.

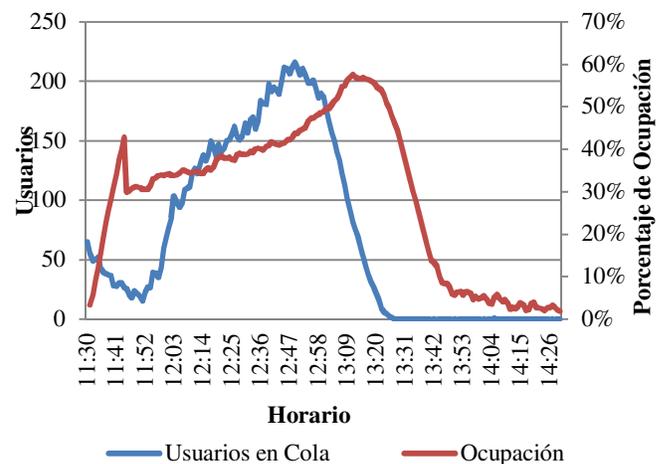


Fig. 8. Comportamiento usuarios en cola y ocupación del comedor 3.

Comedor 4: Presenta los menores niveles usuarios en cola y de tiempos de espera asociados durante el período de atención. La máxima cantidad promedio de usuarios que puede haber en la cola en un momento dado (en promedio a las 12:49 h) es 159 usuarios, y el máximo tiempo promedio de espera de cada usuario en la cola es 13,5 minutos

A pesar del reducido máximo valor promedio de usuarios en cola, la ocupación de las sillas del comedor 4 presenta un comportamiento muy similar en cuanto a magnitud y tendencia con respecto a los comedores 1 y 2, teniendo un máximo promedio de 64,7 % a la 13:09 h aproximadamente.

Número de llegada de Usuarios

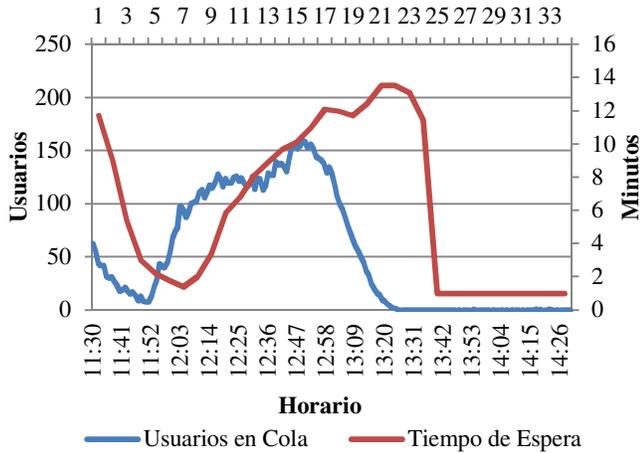


Fig. 9. Comportamiento usuarios en cola y tiempo de espera comedor 4.

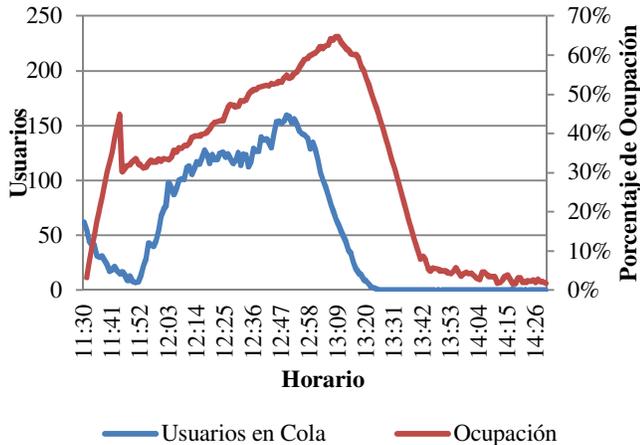


Fig. 10. Comportamientos usuarios en cola y ocupación del comedor 4.

Los comportamientos, para cada comedor durante el período de atención, de las 3 medidas de desempeño seleccionadas permitieron identificar los momentos de tiempo en donde el sistema presenta su mayor congestión, con la aclaración de cómo los comedores, aún con características muy similares, pueden gestionar de forma distinta una demanda asociada. Adicionalmente, a través de éstos análisis también se logró conocer que la capacidad de un factor táctico, como las sillas, satisfacen plenamente y durante todo el período de atención, las necesidades de demanda asociada al servicio del Restaurante en su conjunto.

En el análisis de escenarios se tuvo, para los indicadores definidos, los resultados presentados en la tabla 3. De los resultados obtenidos, se encuentra que el escenario más crítico con relación al nivel de servicio ofrecido por el restaurante, es el escenario 2, donde se presenta una avería de una máquina de preparación de carne, lo que resulta en mayor tiempo promedio de espera en cola, menor cantidad de usuarios atendidos y horario de atención último usuario más tarde.

Escenario	Promedio usuarios en cola	Tiempo promedio de espera en cola	Usuarios atendidos	Horario atención último usuario
Actual	64,1	7,7	4699	14:27
1	70,7	3,0	4921	14:29
2	93,5	13,8	4310	14:51
3	60,6	10,1	4692	14:29
4	92,7	10,9	4700	14:28
5	41,9	4,5	4452	14:24

Tabla III. Resultado de indicadores para los escenarios planteados.

V. CONCLUSIONES

Los diferentes enfoques en lo relacionado con la gestión de restaurantes, específicamente en el tema de la gestión de la capacidad, tienen una tendencia a involucrar aspectos tanto de operaciones como de mercadeo de manera conjunta. Esto significa, gestionar el sistema de forma tal que no sólo se minimicen los costos de producción, sino que también se tenga la satisfacción que el cliente desea.

Con relación con los resultados obtenidos de las medidas de desempeño, se encuentra que cada una de ellas y sus relaciones entre sí, permiten establecer juicios sobre el sistema en diferentes condiciones del mismo, es decir, permite evaluar el sistema en condiciones reales y artificiales. Además, al analizar estas relaciones entre las medidas de desempeño, se pueden comprender aspectos del sistema en su conjunto, y no solo desde una perspectiva reduccionista.

Técnicas como teoría de colas y cadenas de Markov, aunque brindan exactitud y rigurosidad, tienen el riesgo de omitir la dinámica en sistemas complejos. Por su parte, la simulación permite involucrar tanto la estructura como el comportamiento a lo largo del tiempo de un sistema. Esto hace que la simulación sea una técnica pertinente para el análisis de sistemas productivos, y en especial en restaurantes, que cuentan con este tipo de características.

Los procesos productivos son de naturaleza estocástica y generan una variabilidad en los sistemas, por lo que es muy razonable usar herramientas que involucren aspectos de la dinámica del sistema a un bajo costo, como lo hacen las RdP.

Desde el punto de vista metodológico, este proyecto presenta unos lineamientos exploratorios para el abordaje de la simulación de restaurantes masivos (denominados así por su

asignación casi exclusiva de toda la capacidad a un único ítem) con el objetivo de valorar el impacto de factores productivos asociados a la capacidad en el nivel de servicio.

Futuros proyectos tienen la posibilidad de explorar aspectos relacionados con la tecnología, habilidades de los empleados y fatiga, que no fueron tenidos en cuenta en este estudio, así como también otros que influyan en las mejoras del nivel de servicio.

REFERENCIAS

- [1] R. B. Chase, N. J. Aquilano, and F. R. Jacobs, *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*, 10th ed. McGraw-Hill, 2005.
- [2] J. Hwang, L. Gao, and W. Jang, “Joint demand and capacity management in a restaurant system,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 207, no. 1, pp. 465–472, Nov. 2010.
- [3] J. Hwang and C. U. Lambert, “The interaction of major resources and their influence on waiting times in a multi-stage restaurant,” *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 27, no. 4, pp. 541–551, Dec. 2008.
- [4] L. Aboueljinane, E. Sahin, and Z. Jemai, “A review on simulation models applied to emergency medical service operations,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 66, no. 4, pp. 734–750, Dec. 2013.
- [5] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Investigación de operaciones*, 10th ed. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2016.
- [6] J. Castellanos and L. Solaque, “Modelado con redes de Petri e implementación con GRAFCET de un sistema de manufactura flexible con procesos concurrentes y recursos compartidos,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 20, p. 61, 2010.
- [7] C. Castellanos, “Consideraciones para el modelado de sistemas mediante Redes de Petri,” *Cienc. e Ing.*, vol. 27, no. 2, pp. 49–58, 2006.
- [8] T. O. Boucher, M. A. Jafari, and G. A. Maeredith, “Petri net control of an automated manufacturing cell,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 17, no. 1–4, pp. 459–463, Jan. 1989.
- [9] F. Kaakai, S. Hayat, and A. El Moudni, “Simulation of Railway Stations based on Hybrid Petri Nets,” in *Analysis and Design of Hybrid Systems 2006*, Elsevier, 2006, pp. 50–55.
- [10] I. Castillo, S. A. Reyes, and B. A. Peters, “Modeling and analysis of tandem AGV systems using generalized stochastic Petri nets,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 20, no. 4, pp. 236–249, Jan. 2001.
- [11] Ö. Başak and Y. . Albayrak, “Petri net based decision system modeling in real-time scheduling and control of flexible automotive manufacturing systems,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 86, pp. 116–126, Aug. 2015.
- [12] D. Roy, A. Bandyopadhyay, and P. Benerjee, “A nested semi-open queuing network model for analyzing dine-in restaurant performance,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 65, pp. 29–41, Jan. 2016.
- [13] M. Salcedo and L. Giraldo, “Propuesta Metodológica para la Estimación de la Capacidad en un Restaurante de Fabricación Masiva,” Santiago de Cali, 2010.
- [14] A. M. Law, *Simulation Modeling & Analysis*, 4th ed. New York, New York, USA: MacGraw-Hill, 2007.
- [15] A. M. Law, *Simulation Modeling & Analysis*, 5th ed. Boston, MA., 2014.
- [16] D. Ruiz, “Análisis de la Capacidad Instalada del Servicio de Producción del Restaurante,” Santiago de Cali, 2007.