

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COLAS DEL COMEDOR

JORGE CATRIEL LÓPEZ *jlopez@alumnos.exa.unicen.edu.ar*

NATALIA SEVERINO *nseverino@alumnos.exa.unicen.edu.ar*

Facultad de Ciencias Exactas - Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires

1. RESUMEN

A lo largo de los años se ha observado que en el comedor de la universidad en Tandil los tiempos de espera para la compra de menús han ido aumentando, llegando a casos donde un alumno puede estar esperando durante más de una hora para poder almorzar.

A su vez, la gran congestión de gente genera una presión adicional sobre el personal encargado de producir y distribuir los menús, provocando muchas veces resultados en la cocina poco favorables.

Mediante el siguiente trabajo se analizan los resultados de proponer dos soluciones: la implementación de turnos para almorzar por facultad, y turnos por cantidad de personas en un determinado intervalo. Estos dos escenarios más la situación actual fueron simulados. En los tres casos se pueden modificar distintos parámetros y luego ver gráficamente una comparación entre las simulaciones efectuadas.

2. PALABRAS CLAVE

Colas - Simulación - Comedor - Tiempo de espera - Optimización - Turnos

3. ABSTRACT

Over the years it has been noted that the waiting times for the purchase of a meal in the dining hall of the university in Tandil has gone up significantly, having cases where a student may be waiting for over an hour to be able to have lunch. At the same time, the large congestion of people results in an additional pressure to the staff in charge of the cooking and distribution of the meals, which generates less than favorable results in the kitchen.

Through the next work the results of two potential solutions are analyzed: the implementation of shifts by departments of the university, and shifts by an amount of people in a certain interval of time. These scenarios plus the current situation were simulated. In the three cases is possible to modify different parameters and then get a graphically comparison between the simulations made.

4. KEY WORDS

Queue - Waiting time - Simulation - Optimization - Dining Hall

5.INTRODUCCION

Para el desarrollo del trabajo se planteó la implementación de tres simulaciones de eventos discretos:

- Una simulación reflejando el comportamiento del comedor normalmente. Esto implica la generación de alumnos según una distribución que se ajuste a lo que vemos reflejado en las transacciones del día a día durante los horarios de 11:00hs a 15:00hs.
- Una simulación donde se implementen turnos por facultad. Esto significa que, en un determinado horario, solamente habrá en el comedor alumnos de una determinada facultad.
- Una simulación donde los turnos se implementan por cantidad de personas. Esto significa que se determina un tope de personas a las cuales se les puede servir el almuerzo en un tiempo determinado.

Estas simulaciones fueron implementadas en Python, y se presentan los resultados en un dashboard implementado en R.

Para poder desarrollar el estudio, se debe primero definir algunos conceptos claves:

5.1 Modelo de colas

La teoría de colas es el estudio de la espera en las distintas modalidades. Utilizan los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera que surgen en la práctica (Hillier et al., 2011). Es decir, un modelo de colas es una representación de una *fila de espera*, y la teoría de colas estudia el comportamiento de estas. En un proceso básico, los *clientes* que requieren un servicio se generan en una *fuentes* de entrada. La ocurrencia de un evento es independiente de la ocurrencia de otro. Entran al *sistema* y se unen a una cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola para proporcionarle el servicio mediante alguna regla conocida como *disciplina de la cola*. Algunas de estas disciplinas pueden ser *first-come-first-serve (FCFS)*, aleatoria o por *prioridad*. Se lleva a cabo el servicio que el cliente requiere mediante un *mecanismo de servicio*, durante el cual se consume alguno de los recursos del sistema por parte del cliente, y después el cliente sale del sistema. (Hillier et al., 2011).

En el trabajo se estudian las tres colas que se producen en el comedor:

- La primer cola se produce desde la entrada hasta que el cliente interactúa con el personal en una de las cajas disponibles. En ese momento el cliente solicita su producto, y se dirige a la siguiente cola.
- En la segunda cola, la cual inicia inmediatamente al final de la primera, dura hasta que el cliente recibe su compra de manos del personal de la zona de servicio.
- Al recibir su compra, el cliente se dirige a un asiento disponible, teniendo que esperar si no se encuentra ninguno disponible. En general, esta cola de espera es inexistente, no suele ocurrir que no haya un asiento

disponible. Si pasa en la realidad que se vean clientes esperando para sentarse: esto se debe a que muchos clientes llegan y almuerzan en grupo, lo cual hace que encontrar varios asientos contiguos disponibles sea más complejo. Como esta cola es la menos influyente en el problema estudiado, se tuvo en cuenta un modelo más simple donde cada cliente almuerza individualmente.

5.2 Simulación

Farahmand y Martínez definen la simulación como “el proceso de diseñar un modelo lógico-matemático de un sistema real y experimentar con el mismo en una computadora” (Farahmand, Martínez; 1996). La fase de experimentación permite obtener información sobre distintos comportamientos del sistema que no podrían medirse en la realidad, o por lo menos no podrían medirse sin caer en costos excesivos. Simular un ambiente virtual permite las variaciones del modelo de manera rápida y eficiente.

Los modelos de simulación pueden describirse en varias categorías (Jordan, 1977). Estas categorías no son mutuamente exclusivas:

Los modelos *empíricos* o *racionales*, diferenciados en que los primeros son descripciones matemáticas cuyas distribuciones se ajustan a información observable, mientras que los modelos racionales son modelos matemáticos causales obtenidos mediante el razonamiento de la estructura y comportamiento del sistema. Es decir, estos últimos incluyen las fuerzas y mecanismos internos del sistema para definir la interpretación de sus parámetros (Jordan, 1977).

Los modelos *estocásticos* o *determinísticos*. En un modelo determinístico, los resultados se expresan como funciones de variables particulares identificadas y parámetros asociados. Es un modelo donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. Es decir, solamente se incluyen los aspectos que pueden ser explicados en el modelo. En un modelo estocástico se tienen en cuenta aquellos aspectos que no pueden explicarse. (Jordan, 1977) Esto significa que subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios. El término estocástico se aplica a modelos en los que existe una secuencia cambiante de eventos a medida que pasa el tiempo.

5.3 Point of Sale data

El punto de venta (POS, por sus siglas en inglés) es el tiempo y lugar donde ocurre la transacción. En este caso, analizamos las transacciones registradas en las cajas del comedor. Esta información consiste en la fecha de la venta, el tipo de cliente y su facultad, el producto en cuestión y el monto correspondiente.

5.4 Medidas de *performance*

Al proponer dos posibles soluciones a la problemática del comedor, se deben definir ciertas métricas de comparación para poder definir si las soluciones son efectivas, y en qué medida. Estas son:

- **Tiempo de espera por persona:** Tiempo promedio en minutos en el que un cliente esta haciendo cola para cada servicio requerido.
- **Cantidad promedio de clientes atendidos por hora:** Cuántos clientes se atendieron en una hora.
- **Tiempo de respuesta:** Tiempo que un cliente estuvo en el sistema, desde que ingresa a este hasta su salida.
- **Porcentaje de tiempo útil:** Fracción de tiempo en la que el usuario no se encuentra esperando dentro del sistema.

Finalmente, los autores de este trabajo quieren destacar la ayuda recibida de parte de Sandra González Cisaro, Rafael Curtoni, Oscar Nigro, Leandro Gomes, Bernardo Troffer y Ariel Borthiry.

6.DESARROLLO

Como primer paso se realizó la recolección de datos, para esto se consultó con la Secretaria de Bienestar para obtener permiso para:

- Diagramar la disposición de los recursos del comedor del campus en Tandil
- Obtener acceso al historial de transacciones y cierta información de los clientes del comedor. Específicamente, se tuvo acceso a la facultad a la que un cliente pertenece, si es un alumno, visitante o profesor de la institución, que ítem del menú se pidió y el dinero involucrado en la compra. No se obtuvo información personal de ningún tipo de los clientes.
- Inicialmente, se requería la información de la llegada de los clientes al comedor y/o de los tiempos de espera en cada caja. Esta es información que al día de la fecha no es tenida en cuenta en el establecimiento, por lo que no se encuentra disponible. No se realizó tampoco una medición de estos tiempos, habiendo comenzado el estudio en el mes de Octubre, en una época del año donde se tienen pocos clientes y no sería representativa del periodo completo. Para poder realizar el estudio sin tener estos parámetros se propuso parametrizar la información. De esta forma, los datos de los cuales depende el trabajo pueden cambiarse en cada ejecución, y si en el futuro estos tiempos se midieran, pueden ser modificados de una manera sencilla.

Se otorgó una copia de la base de datos del comedor en PostgreSQL, a la cual se realizaron distintas consultas con el objetivo de poder analizar y graficar la situación del comedor.

La configuración del comedor cuenta con dos cajas con una cola compartida, como se especifica en la FIGURA 1, y una caja automática con una cola aparte. Cada comida se prepara en una cocina conectada a la *zona de servicio* desde la cual el personal del comedor distribuye cada orden.

Para analizar la frecuencia de compras en el comedor, primero se definieron ciertas limitaciones:

- Las transacciones principales para el desarrollo del trabajo son aquellas que ocurren entre las 11:00 hs y las 15:00 hs, horarios en los cuales se sirve el almuerzo.
- Solamente se tienen en cuenta las transacciones referidas a productos de almuerzo: menú del día, pizzas, tartas, empanadas, tostados, entre otros. Es decir, todo producto que requiera un tiempo de elaboración en la cocina e implique un cliente más para la cola de la zona de servicio.
- No se tienen en cuenta tampoco las transacciones que ocurran fuera de los días de semana. Los fines de semana no aportan datos significativos, ya que el nivel de clientes es considerablemente menor (FIGURA 2).

Estas condiciones surgen de analizar la cantidad de transacciones referidas a estos productos, según se puede ver en la FIGURA 3, de lo que se concluyó que las transacciones obviadas no son un factor determinante del problema en cuestión. Otro factor influyente en el volumen de transacciones es el menú del día. Por ejemplo, los días donde hay pasta como almuerzo concurre menos gente que los días que hay carne. Esto no se tuvo en cuenta en la simulación ya que no existe un registro del contenido del menú en las transacciones, ni se lleva un registro aparte dentro del establecimiento. Esto se debe a que el menú del día puede variar de un día a otro, dependiendo de los recursos disponibles para cocinar.

Viendo el volumen de transacciones (FIGURA 4) se puede concluir que durante el año lectivo (sin tener en cuenta Enero), los meses críticos son Abril y Mayo. En estos meses los tiempos de espera por compra pueden llegar a superar los sesenta minutos.

También se puede observar que la cantidad de alumnos por facultad es variable (FIGURA 5), teniendo a Exactas y Veterinarias como los principales clientes del comedor. Paralelamente a esto se puede apreciar la diferencia que existe en el volumen de gente que concurren en distintos horarios (FIGURA 6), existiendo un pico en la franja horaria de 12.00hs a 12.59hs.

6.1 Simulación

La simulación fue realizada en python mediante el uso de SimPy, un framework de simulaciones de eventos discretos basado en procesos. Los procesos en SimPy se definen por funciones generadoras de Python y pueden usarse, por ejemplo, para modelar componentes activos como clientes, vehículos o agentes. SimPy también provee varios tipos de recursos compartidos para modelar puntos de congestión con capacidad limitada, como por ejemplo servidores, cajas y túneles.

Estos recursos compartidos pueden clasificarse en:

- Recursos simples: Recursos que pueden ser utilizados por un número limitado de procesos al mismo tiempo.
- Contenedores: Recursos que modelan la producción y consumición de un volumen homogéneo e indiferenciado de producto. Este puede ser continuo (como el agua) o discreto (manzanas)
- Tiendas: Recursos que permiten la producción y consumición de objetos de python.

Dentro de los recursos modelados dentro de la simulación se encuentran:

- Caja: Recurso simple con cantidad ingresada por parámetro. Esta además cuenta con cierto tiempo de atención en minutos, también ingresada por parámetro.
- Caja Automatica: Recurso simple con cantidad ingresada por parámetro.
- Mozos: Recurso simple con cantidad parametrizada.
- Asientos: Recurso simple con capacidad dada por parámetro.
- Delivery: Contenedor donde se almacenan los menús producidos, para su pronta consumición.
- Pase: Contenedor con capacidad variable, elegida por parámetro. Se encarga de controlar la entrada de clientes al comedor. En la simulación por turnos por cantidad, la capacidad de este recurso limita la cantidad de personas que puede ingresar en un periodo.

Además de estos recursos, se utilizó una función “kitchen” en la que cada cierto intervalo de tiempo ingresado por el usuario, se generan una cantidad parametrizada de almuerzos y la función “door” para restablecer la capacidad del Pase por hora.

Comenzando con la simulación, para los arribos se decidió utilizar una distribución poisson ya que representa el número de eventos independientes que ocurren a un tiempo constante, por lo que “es el principal modelo de probabilidad empleado para analizar problemas de líneas de espera” (Canavos, 1988). Se obtuvo un promedio de alumnos por facultad que concurren por día para cada mes como este número de eventos. Con esta información y considerando una distribución exponencial para los intervalos de llegada, se determinó utilizar el método inverso para generar muestras aleatorias sucesivas. Taha describe al método inverso como “particularmente adecuado para funciones de densidad de probabilidad analíticamente solubles, como la exponencial y la uniforme” (Taha, 2012).

Estos arribos dan el inicio de la trayectoria del alumno (FIGURA 7), el cual seguidamente se acerca a una caja a comprar un menú. Como existen dos tipos de cajas distintas, con sus respectivas colas, se propuso otorgarle una probabilidad de 0.65 a la caja común y de 0.35 a la caja automatica, situación similar que ocurre en el comedor actualmente ya que pocos usuarios utilizan la tarjeta. Luego si la caja elegida se encuentra en uso, el alumno ingresa a la

cola esperando al servicio, la cual sigue la disciplina FCFS. El número de cajas varía de acuerdo a los parámetros ingresados, al igual que el tiempo de atención, lo que modifica ampliamente el tiempo de espera en esta primer etapa.

Luego de obtener acceso al recurso y de realizar la compra, el alumno se une a la cola para esperar la entrega del menú. Paralelamente, como suele ocurrir en la realidad, se une a otra cola para conseguir un asiento que luego utilizará cuando le entreguen el menú; se consideró esta situación para poder apreciar la espera que se realiza para conseguir este recurso, a pesar de poder no aportar a la suma del tiempo total de espera. La entrega de menús la realizan una cantidad parametrizada de personal encargado, cada cual se considera que otorgan de a dos menús al mismo tiempo, lo cual no es inusual.

Ellos mismos también deben esperar cierto tiempo a que se generen los menús, los cuales están parametrizados también, con cierta cantidad de menús por intervalo. La comida preparada es colocada en un contenedor del cual luego puede obtenerse para su entrega.

A continuación de que un alumno recibe su almuerzo, este se sienta si ya adquirió un asiento, de lo contrario continúa la espera. Se tuvo en cuenta como tiempo de almuerzo un tiempo aleatorio entre 30 minutos y una hora. Seguido de esto, el alumno libera el asiento y se retira del comedor.

6.1.1 Analisis

Se analizaron diferentes casos para esta primera simulación, utilizando el caso A como base, y los siguientes casos con modificaciones a este :

- Caso A:
 - 1 caja con 0.5 min de tiempo de atención
 - 1 caja automatica
 - 2 mozos
 - 45 menus cada 15 min
 - 350 asientos
- Caso B:
 - 2 cajas
- Caso C:
 - 0.3 min de tiempo de atención
- Caso D:
 - 3 mozos
- Caso E:
 - 50 menus cada 10 min
- Caso F:
 - 2 cajas
 - 50 menus cada 10 min

Los resultados se pueden apreciar en la TABLA 1, donde se puede observar que:

- En primer lugar, agregar una caja extra (Caso B) genera un menor tiempo promedio en la cola de esta, pero aumenta significativamente el tiempo promedio de la cola de entrega de menús. Esto también causa un mayor tiempo de espera total, pero un mayor número de gente es atendida
- Un caso similar ocurre con el caso C, donde solo se disminuye el tiempo de atención en las cajas, y como consecuencia la zona de delivery se convierte en el cuello de botella.
- Por otra parte, centrándose en la cola de entrega, se decidió agregar un nuevo mozo en el caso D, lo que no generó cambio alguno.
- Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió modificar la frecuencia y cantidad de menús cocinados. Esto generó un gran cambio, haciendo cero al tiempo promedio de espera de entrega. A partir del caso E, es posible entender que en el caso anterior, el tiempo de espera invariante depende más de la cantidad de menús cocinados por intervalo que de la cantidad de personal responsable de entregarlo. Igualmente, se entiende que la cocción de estos menús posee un tiempo mínimo para producir comidas de calidad, lo que genera una limitación en la simulación.
- Por consiguiente, el caso F engloba las soluciones parciales encontradas, obteniendo un mínimo tiempo de espera total, un tiempo promedio de espera en las colas de caja y entrega por debajo de los 5 minutos. Asimismo, el número promedio de alumnos atendidos es el mayor de todos los casos.

6.2 Soluciones propuestas

Las posibles soluciones que fueron analizadas en este trabajo se basan en la división de alumnos en turnos: por facultad o por capacidad. En ambos casos, los turnos son franjas horarias de una hora cada uno, teniendo 4 en total ya que el punto crítico del comedor es el horario de almuerzo, de 11.00hs a 15.00hs.

Analizando el volumen de transacciones por año se observó que este no aumenta anualmente de forma considerable, por lo que se concluyó que las congestiones del comedor se producen por la distribución de estas transacciones durante el día, no necesariamente por la cantidad. Por esta razón nuestras soluciones implican organizar a los alumnos de maneras distintas para optimizar los tiempos de espera.

6.2.1 Simulación de turnos por facultad

En esta simulación es necesario seleccionar en la aplicación que facultad se desea en cada turno, además de poder ajustar los parámetros iniciales como en la simulación anterior.

6.2.2 Simulación de turnos por capacidad

En este caso, es posible seleccionar la cantidad de gente máxima que se desea atender en cada turno. Esta capacidad es la misma para los cuatro turnos.

Al igual que en la simulación anterior, es posible ajustar los parámetros para generar nuevos escenarios.

6.3 Analisis comparativo

Se utilizó como base para la comparación el caso B del análisis anterior, el cual se encontró como el más similar a la situación real del comedor. En los resultados obtenidos (TABLA 2) se observa una mejora del 20% y 78% respectivamente en el tiempo de espera en las simulación en las que se implementaron turnos. En la simulación de turnos por facultad la mejora es menor, pero se atiende aproximadamente la misma cantidad promedio de clientes por hora (228 personas). En cambio, en los turnos por capacidad, mientras que el tiempo de espera promedio tiene una diferencia significativa, los clientes atendidos por hora son 30% menos. Por esto mismo se puede observar que el tiempo total que un usuario esta en el sistema es menor en el segundo caso, comparando 58 minutos contra 91 si se implementan turnos por facultad o 102 minutos en la simulacion basica.

Estas diferencias con el tiempo de espera de la simulación simple llevan a un diferente porcentaje de tiempo útil en los casos con turno, donde en la simulación simple y en la de turnos por facultad un alumno esta la mitad de su tiempo en colas, mientras que en la simulación de turnos por capacidad el usuario tiene un mejor aprovechamiento de su tiempo, estando menos de un cuarto de su tiempo esperando en colas.

7.CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió como la congestión del comedor depende, en una primera instancia, en mayor medida de la distribución de los clientes en las horas de atención que del volumen de personas que concurre.

También se analizó que el aumento de cajas no es una solución factible, ya que mejora el tiempo de espera de su propia cola, pero incrementa el tiempo de espera en la zona de entrega, empeorando el tiempo total promedio de espera. Por otro lado, sumar personal en la entrega de menús no genera cambio significativo en el tiempo de su cola. Si se observó que la cantidad y el ritmo de menús que se cocinan genera mejores tiempos, teniendo como limitación el tiempo mínimo requerido para la cocción de la comida y la disponibilidad limitada de recursos para la tarea.

Por otro lado, la división por turnos genera una diferencia positiva en los tiempos de espera, afectando a la cantidad de gente atendida en algunos casos. Los turnos por facultad atienden la misma cantidad pero con muy poca diferencia en el tiempo de espera promedio. A su vez, la segmentación en turnos por capacidad mejora especialmente el tiempo de espera promedio, atendiendo un menor número de gente por hora.

Se sabe que para el futuro se están planteando algunas posibles soluciones al problema del comedor, cómo convertir el sistema en un sistema tipo buffet, o el desarrollo de una aplicación móvil para conocer los tiempos de espera. Sin embargo, se debe considerar como primer medida un estudio de

monitoreo de los tiempos reales del comedor. Sin esta información se podría implementar una solución pero no sería una medida informada.

8.TABLAS/FIGURAS

FIGURA 1
COMEDOR

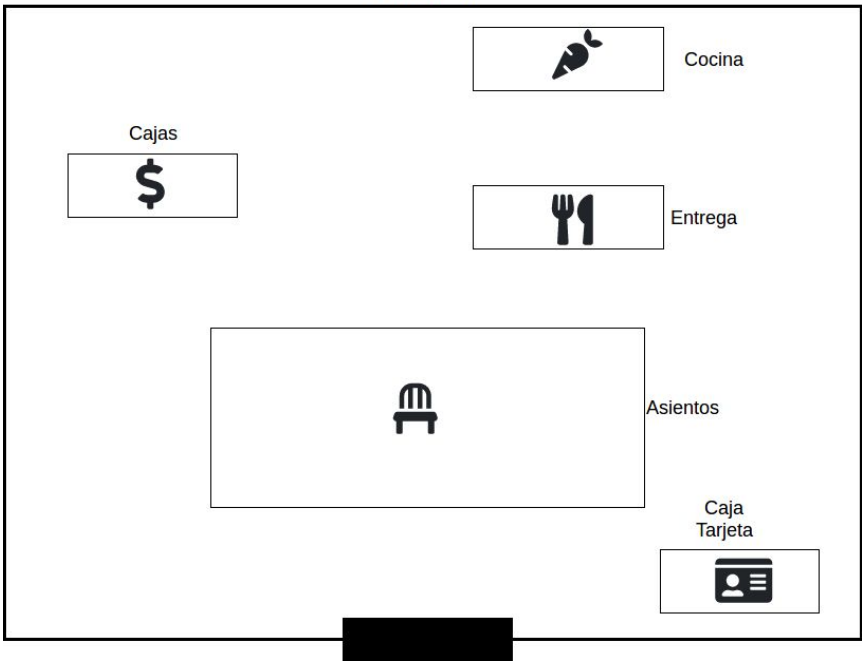


FIGURA 2 - Ventas promedio por día



FIGURA 3 - Porcentaje de productos vendidos en horario de almuerzo

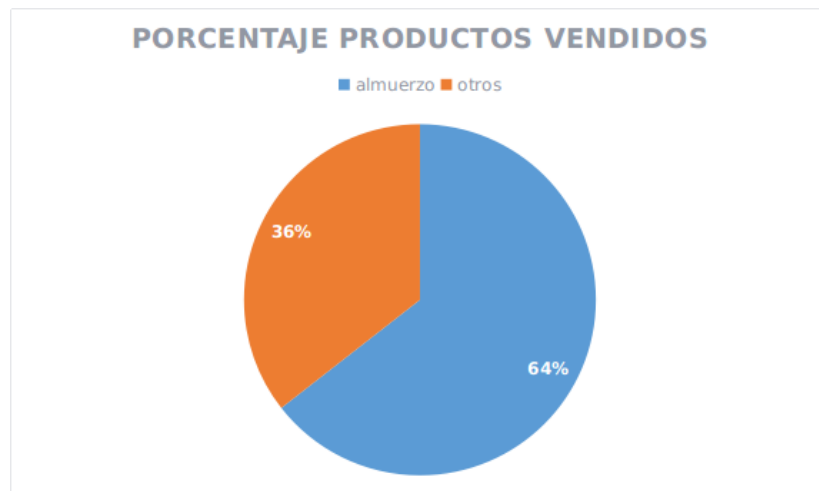


FIGURA 4 - Cantidad promedio de alumnos por mes

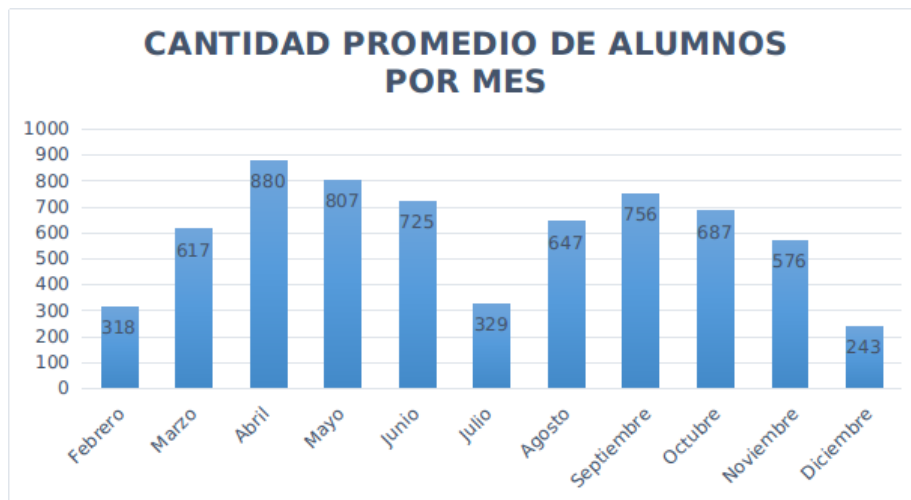


FIGURA 5 - Porcentaje de alumnos por facultad por día

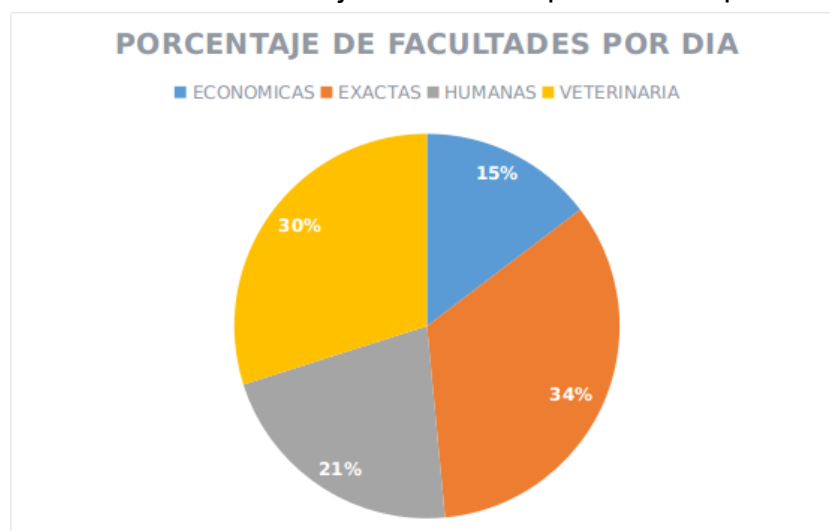


FIGURA 6 - Porcentaje de alumnos por franja horaria

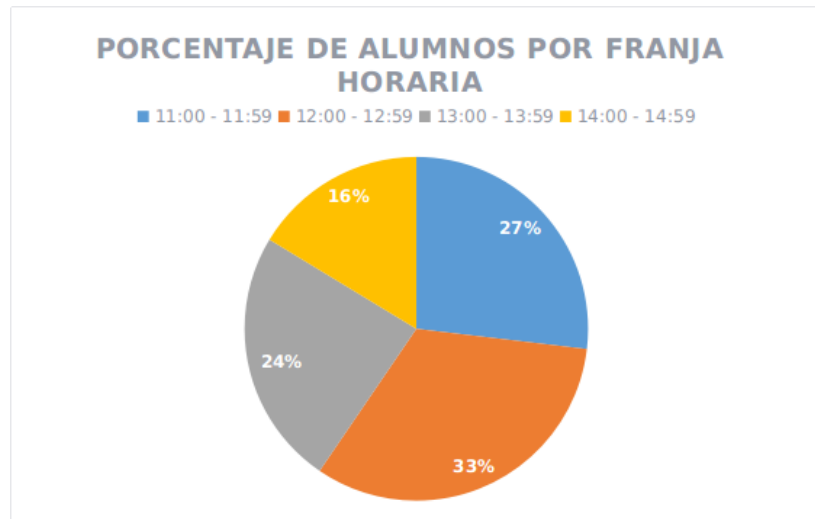


FIGURA 7 - Diagrama de trayectoria

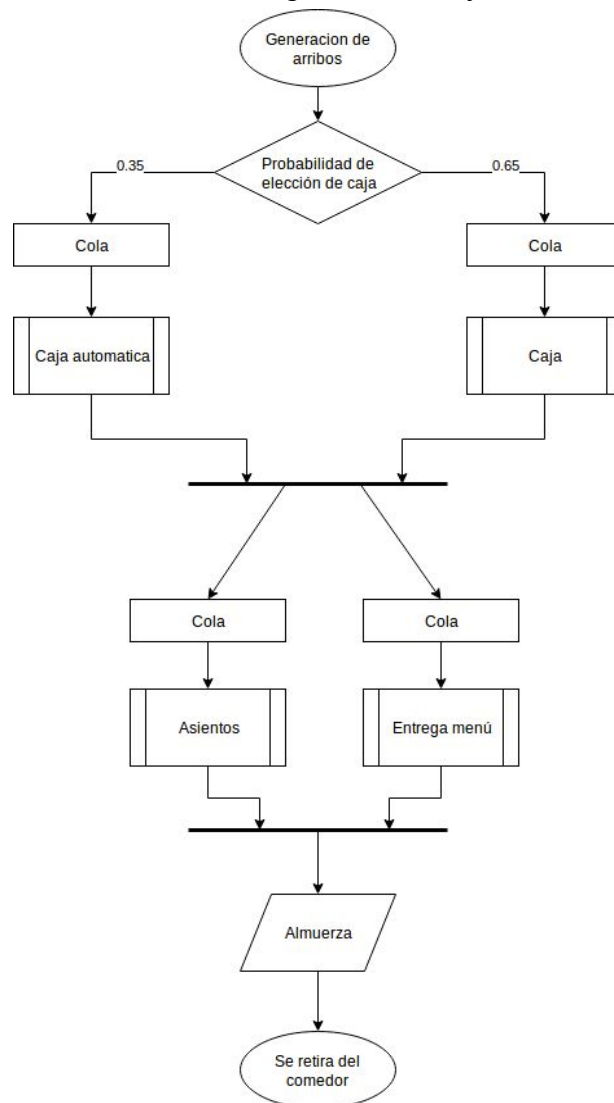


TABLA 1 - Análisis de simulación normal

	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D	Caso E	Caso F
Tiempo total de espera promedio	41,267 (en min)	57,365 (en min)	57,577 (en min)	41,024 (en min)	23,137 (en min)	6,912 (en min)
Tiempo promedio de espera en caja	23,038 (en min)	2,048 (en min)	6,619 (en min)	22,327 (en min)	23,022 (en min)	2,917 (en min)
Longitud promedio de cola en caja	118,665	10,815	31,004	114,691	117,253	13,489
Tiempo promedio de espera en caja automática	0,120 (en min)	0,106 (en min)	0,084 (en min)	0,111 (en min)	0,114 (en min)	0,094 (en min)
Longitud promedio de cola en caja automática	0,783	0,827	0,716	0,736	0,742	0,798
Tiempo promedio de espera en entrega	18,108 (en min)	55,210 (en min)	50,874 (en min)	18,585 (en min)	0	3,900 (en min)
Longitud promedio de cola en entrega	43,952	100,500	97,702	44,611	0	12,906
Tiempo promedio de espera en asientos	0,147 (en min)	15,355 (en min)	12,016 (en min)	0,061 (en min)	0	0,176 (en min)
Longitud promedio de cola en asientos	0,350	47,467	34,219	0,140	0	0,607
Promedio alumnos atendidos por día	762,99	912,90	918,48	765,44	762,27	938,08

TABLA 2 - Análisis comparativo de performance de soluciones

Simulación	Simple	Turnos por facultad	Turnos por capacidad
Tiempo de espera por persona	57,36	45,80	12,56
Promedio de clientes atendidos por hora	228,22	228,13	159,38
Tiempo de respuesta	102,94	91,24	58,09
Porcentaje de tiempo útil	44,27%	49,79%	78,37%

9.REFERENCIAS

CANAVOS G. C. (1988): Probabilidad y Estadística Aplicaciones y métodos. McGraw-Hill.

FARAHMAND K., MARTINEZ A. F. G. (1996): "Simulation and Animation of the Operation of a Fast Food Restaurant". Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference. Versión obtenida el 11/01/19.

<https://www.informs-sim.org/wsc96papers/181.pdf>

HILLIER F. (2011): Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill.

JORDAN S. R. (1977): "A Computer Simulation Model of the Service Component of a Fast Food Operation: Development, Validation, and Use." PhD diss., University of Tennessee. Versión obtenida el 11/01/19.

https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?&article=5526&context=utk_graddiss

TAHA H. (2012) Investigación de Operaciones. Pearson.