

SIMULACION DE SISTEMAS DE COLAS

Los retrasos en la ejecución de las actividades de negocios, son comunes, molestos y, a veces, costosos. Siempre que sea posible, se deben eliminar esos retrasos o, lo que es todavía mejor, se debe evitar que ocurran. Cuando los retrasos no se pueden evitar por completo, es preciso minimizar su número y duración hasta donde sea económicamente posible.

Para ilustrar el tipo de problemas que abordaremos en este capítulo, veamos el concerniente a determinar el número de cajas de salida que se deben instalar en un supermercado. Si el número de cajas es insuficiente para atender al volumen de clientes que desean pagar y salir, en cualquier determinado momento, se formarán largas colas lo que animará a los clientes a hacer sus compras en alguna otra tienda, en el futuro. Por otra parte, la instalación de suficientes cajas para reducir a cero el tiempo de espera en las líneas sería difícil de justificar teniendo en consideración el número de clientes a los que sirven diariamente los supermercados normales. Por consiguiente, nos enfrentamos al problema de encontrar un equilibrio entre el exceso o la insuficiencia de cajas.

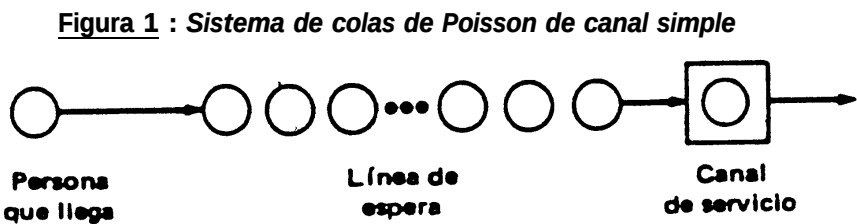
En cualquier problema de este tipo, la solución óptima puede encontrarse mediante la manipulación del sistema físico mismo buscando la mejor solución por medio de tanteos. Sin embargo, ese método de resolución podría ser extraordinariamente costoso y llevar mucho tiempo. Un método mejor sería el de desarrollar un modelo simbólico del sistema y, mediante su manipulación apropiada, determinar la solución óptima para el problema planteado por el sistema modelado.

En resumen podemos decir que existen tres formas de resolver el problema :

- a) **Método de prueba y error:** Método muy costoso y de larga duración. Es poco práctico aplicarlo a sistemas nuevos o sistemas con parámetros variables. No es necesario la modelización del sistema.
- b) **Método analítico:** No tiene las desventajas del método anterior. Consiste en modelar el sistema y resolverlo mediante expresiones matemáticas y estadísticas relativamente complejas. Permite evaluar rápidamente la influencia de los distintos parámetros que gobiernan el sistema. Está limitado a sistemas no muy complejos.
- c) **Método numérico:** No tiene las desventajas del método de prueba y error. Consiste en modelar el sistema y resolverlo mediante simulación numérica. La determinación de cómo afecta la variación de los diferentes parámetros al sistema no es tan evidente como con el método analítico. Permite evaluar cualquier tipo de sistema sin importar su complejidad.

COLAS DE POISSON DE CANAL SIMPLE

Iniciaremos nuestro estudio sobre la simulación de sistemas de colas, investigando el sistema de colas de Poisson para un canal simple. A continuación, construiremos un modelo de simulación de este sistema y analizaremos algunos de los aspectos que es preciso tener en consideración al diseñar un modelo de simulación. Luego, cambiaremos algunas de las condiciones del sistema para mostrar cómo se puede utilizar la simulación para el análisis de sistemas más avanzados. En la Figura 1 se ilustra el sistema en el que las unidades llegan a las instalaciones del sistema en busca de servicio. Si el canal o la instalación de servicio no está ocupada, la unidad entra y recibe atención. Si existe ya una unidad en el canal de servicio, la unidad que llega debe tomar su lugar en la línea de espera y aguardar su turno para recibir el servicio que se da por orden de llegada. Se atiende a las unidades sobre la base “*el primero que llega el primero que se sirve*”. La distribución del tiempo entre llegadas sucesivas al sistema, así como la distribución del tiempo necesario para servir a una unidad, se supone que siguen alguna ley de probabilidad (exponencial, normal, gamma, hiperexponencial, etc.). Este concepto de búsqueda de la distribución del tiempo intermedio resultará muy útil en la simulación de sistemas de colas.



El sistema de colas de canal simple suele presentarse mucho en la vida cotidiana. Cada vez que vamos al cine, entramos a un sistema de canal simple para adquirir nuestros boletos de entrada. Otro ejemplo de sistema de canal simple es un sistema de lavado automático de vehículos. Otro más es la cola de estudiantes, ante la oficina de matrículas o la línea de alumnos que esperan para ir al consejero de estudios.

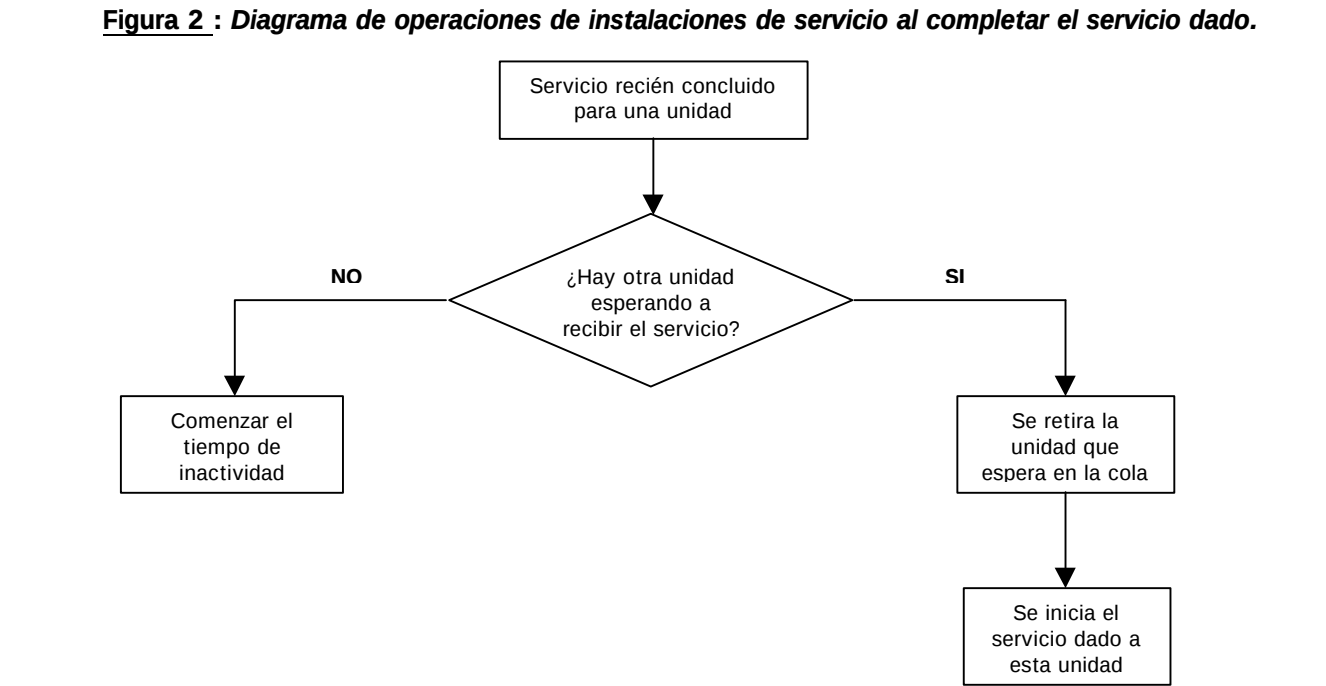
Así pues, nos ocuparemos a continuación de cómo construir un modelo de simulación de este sistema simple. Primeramente, debemos tener en consideración en qué consiste nuestro objetivo al estudiar este sistema. La formulación de objetivos no es tarea sencilla y puede variar de un problema a otro. Seguidamente se listan los más comunes:

- a) Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema y su distribución de frecuencias.

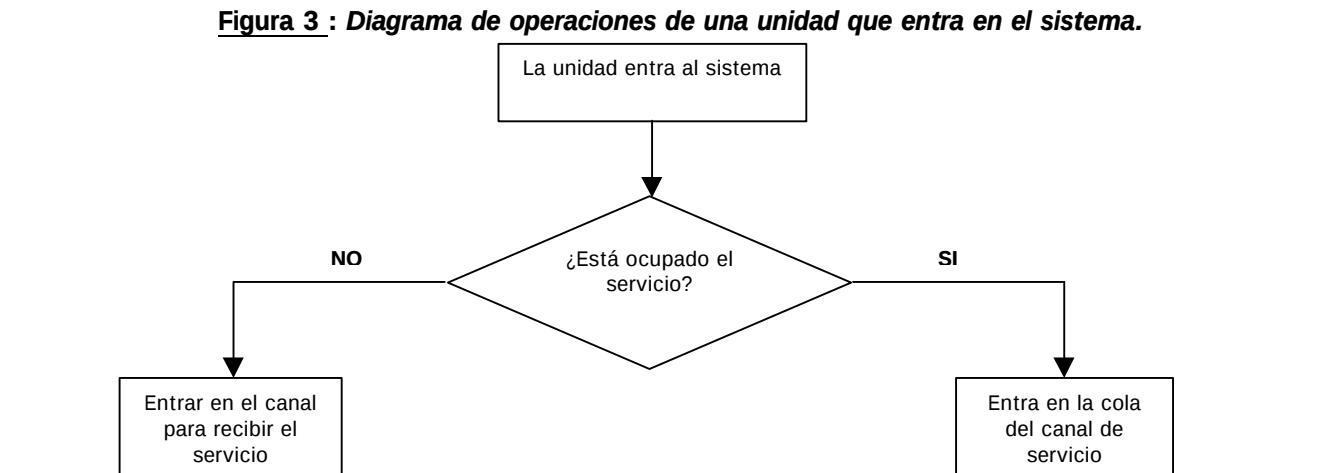
b) La utilización promedio de las instalaciones de servicio.

c) El número promedio de unidades en el sistema y su distribución de frecuencias.
- El objetivo final, como siempre, es lograr dimensionar el sistema para que cumpla con lo que se espera de él al mínimo costo posible.
- A este respecto, podemos decir que el objetivo de la simulación es proporcionar información respecto al funcionamiento de un sistema de colas de Poisson de canal simple. Por el momento, supondremos que esto es suficiente para permitirnos pasar a la construcción del modelo.

Ahora, vamos a ocuparnos del modelo real que construiremos para la solución del sistema de colas de canal simple. Nos enfrentamos a un sistema al que llegan las unidades en forma aleatoria a alguna instalación de servicio. Debemos ser capaces de "hacer" que suceda esto en el modelo usando alguna distribución de probabilidad. Además, el sistema debe servir a esas unidades sobre la base del orden de llegada. El tiempo de servicio de cada unidad dependerá también de una distribución de probabilidad, siendo esta ley no necesariamente igual a la usada para estimar los tiempos de llegada. Por lo tanto, es probable que algunas unidades se vean obligadas a esperar en la cola hasta que les llegue el turno para recibir el servicio. Examinaremos el sistema desde el punto de vista del análisis del "evento siguiente". De este modo, podemos comenzar a observar nuestro sistema en algún punto arbitrario del tiempo y tratar de descubrir lo que va a suceder. Así, lo que nos preguntamos es: ¿qué va a suceder?. En este sistema simple sólo hay dos posibilidades: una unidad puede entrar en el sistema de la misma manera que las instalaciones de servicio pueden poner fin a la atención prestada a una unidad. De este modo, simplificamos todavía más nuestro análisis, porque lo único que haremos a continuación es tomar una decisión respecto a lo que se debe hacer en caso de que ocurra alguno de esos eventos. Examinemos el esquema de la Figura 2 para ver qué debe realizar el simulador cuando se produce el segundo evento. Recuérdesse que nos interesa que sucede con las instalaciones de servicio al completarse el servicio.



Al examinar la Figura 2 podemos ver que las instalaciones de servicio tienen sólo dos estados: están ocupadas (el servicio a la siguiente unidad en espera comienza inmediatamente) o inactivas (ninguna unidad espera para recibir servicio). A continuación, veamos lo que ocurre cuando una unidad entra al sistema para recibir servicio (Figura 3).



Al examinar la Figura 3 podemos ver también que una unidad que entre en el sistema estará también en uno de dos estados posibles: se encuentra en la línea de espera o recibe servicio.

Siguiendo con esta idea de análisis del evento siguiente, investigaremos cómo se puede modelar todo el sistema, que incluye las unidades en cola, la unidad que está recibiendo servicio y las instalaciones de servicio propiamente dichas. Vamos a ver que es posible incluir en el modelo la idea de los “estados” de una unidad dada o las instalaciones de servicio. En la Figura 4 se muestra una tabla de toma de decisiones para una unidad que acaba de entrar al sistema. Muestra las condiciones que pueden existir y los resultados para la unidad cuando existen los estados dados. En este caso, el criterio utilizado es el de decidir si la unidad entrará a la cola o si pasará inmediatamente al canal de servicio, lo que implica una cola de longitud cero.

En la Figura 4 se muestra que cuando una unidad entra en el sistema, irá inmediatamente al canal de servicio sólo cuando este último esté inactivo y no haya otras unidades en la cola por delante de ella.

Figura 4: Tabla de decisión para la posición de una unidad después de su entrada al sistema

Condición	Eventos al entrar una unidad en el sistema				Resultados para la unidad	
	Instalación de servicio		Cola		Entra en la cola	Entra en el servicio
	Ocupada	Inactiva	No vacía	Vacía		
A	✓			✓	✓	
B	✓		✓		✓	
C		✓		✓		✓

De la tabla anterior se deduce que existen dos estados posibles para la unidad: a) esperando en cola, o b) recibiendo servicio.

Al examinar una tabla similar para las instalaciones de servicio, nos interesaremos por las condiciones que deben existir para que las instalaciones de servicio estén ocupadas u ociosas después de concluir el servicio dado a una unidad. En la Figura 5 se ilustra esto. En ese caso, podemos ver que la instalación estará ocupada después de concluir un servicio a una unidad dada, sólo cuando la cola no esté vacía.

Figura 5: Tabla de decisión para los estados de la instalación después del servicio

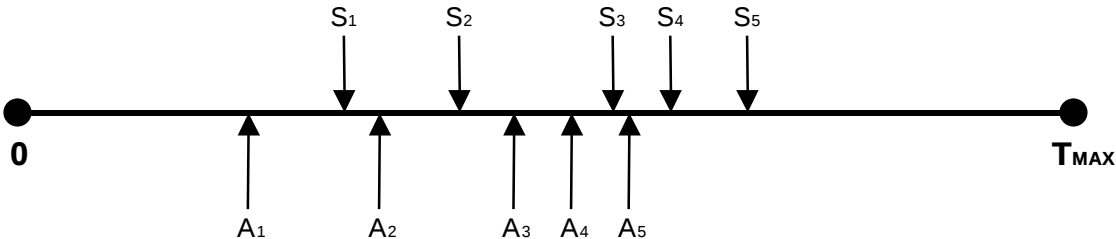
Condición	Situación de la Cola		Resultados para la Instalación	
	No vacía	Vacía	Ocupada	Inactiva
A	✓		✓	
B		✓		✓

Aquí se ve que para este caso los estados de la instalación también son dos: a) ocupada prestando servicio, o b) inactiva.

Hasta aquí hemos visto dos métodos de análisis para determinar lo que puede ocurrir a continuación en el sistema, según las condiciones dadas. La siguiente pregunta a la que nos enfrentamos es la de saber cómo podemos hacer que ocurran esos eventos en un tiempo simulado. Para este análisis, adoptaremos la idea de "relojes" para "vigilar" lo que debe ocurrir a continuación en el modelo. En la mayoría de los sistemas de colas, nos ocuparemos del tiempo como variable aleatoria. Lo que importa es cómo poder emplear esa idea del análisis del evento siguiente en beneficio propio, al construir un modelo. Afortunadamente tenemos sobre el analista del mundo real la ventaja de que sabemos de antemano lo que ocurrirá a continuación. Cuando un hombre comienza a lavar un automóvil en un servicio de lavado de vehículos, no sabe exactamente la cantidad de tiempo que necesitará para ello. De manera similar, la mujer que vende boletos de entrada en la taquilla de un cine no sabe cuándo llegará la persona siguiente para adquirir una entrada. Podemos estudiar los dos casos y proponer varias distribuciones de tiempo, pero, esencialmente, en el mundo real, los eventos no suelen ser determinísticos. No obstante, en un modelo sabemos cuándo se producirá la llegada siguiente y, asimismo, la duración de un servicio dado, por la sencilla razón de que podemos "generar" esos momentos en nuestro modelo.

Para entender cómo funciona un simulador de cola simple veamos lo siguiente. Supongamos que llamamos A_i a los momentos o instantes en que ingresan las unidades al sistema y S_i los instantes en que concluyen los servicios prestados. En la Figura 6 se puede observar un ejemplo de como se distribuyen los diferentes hitos a lo largo del tiempo.

Figura 6: Representación de la escala de tiempo del sistema de canal simple



El reloj que registra el tiempo simulado lo llamaremos Reloj Maestro (MCT). T_{MAX} es el tiempo máximo de simulación. En general, el tiempo entre llegadas de unidades al sistema está dado por $A_{i+1}-A_i$, **este valor es uno de los que generamos en forma aleatoria siguiendo alguna ley de probabilidad**. Además hemos supuesto, de manera inherente, que cuando llega una unidad al sistema pasa inmediatamente a las instalaciones de servicio, si no hay unidades en la cola antes que ella. Esto quiere decir que el servicio se inicia en A_i cuando la cola está vacía. Por consiguiente, el tiempo total que pasa que pasa la unidad en el sistema se puede expresar como S_i-A_i . Así, resulta evidente que **cuando hay unidades en la cola**, el tiempo de servicio para la i ésima unidad está dado por S_i-S_{i-1} . **Recordar que el tiempo de servicio es el otro valor que generamos en forma aleatoria**. No obstante, si no hay unidades en el sistema, la cantidad de tiempo de inactividad que tendrá el canal en cualquier punto, entre el servicio a la unidad i y a la $(i+1)$, está dado por $A_{i+1}-S_i$. Cuando se traza una flecha que sobrepasa el límite de la escala, la simulación estará terminada.

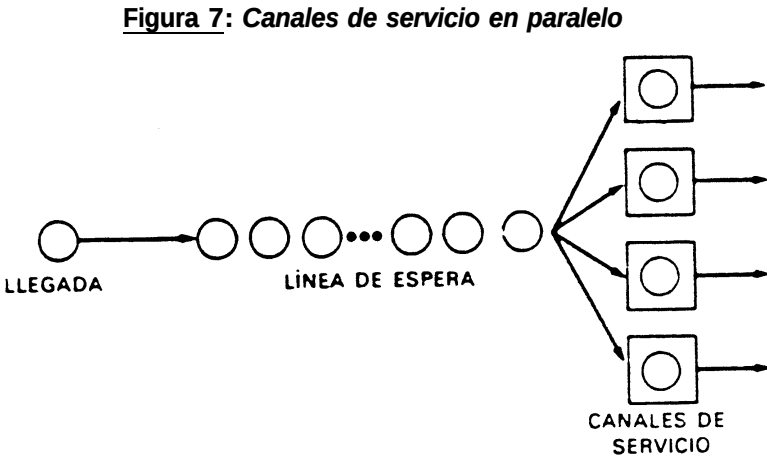
0. En resumen, se inicia la simulación con $MCT = 0$ sin clientes. Se genera la llegada de la primera unidad A_1 . Se adelanta el reloj maestro a A_1 .
1. Se genera la duración del servicio S_1-A_1 . Se genera la llegada del segundo cliente A_2 .
2. Nos hacemos la pregunta **¿Cuál es el siguiente evento y cuándo se producirá?**:
 - Si salida antes que llegada, se avanza el reloj y se desocupa el servidor.
 - Si llegada ocurre antes, se adelanta el reloj hasta hora de llegada y se incrementa la cola.
3. Se reinicia el ciclo a partir del punto 1 (incrementando en 1 el valor de los subíndices) y se sigue así hasta alcanzar el tiempo final de simulación T_{MAX} .

En muchos casos se limita la cola a una longitud máxima. Es decir no se permite el ingreso de una nueva unidad a la cola cuando ésta tiene su longitud máxima.

Un buen método para construir un modelo de computadora para este sistema de cola consiste en diseñar dos matrices básicas. La primera matriz la denominaremos “matriz unitaria”. Contiene la información pertinente sobre cada una de las unidades del sistema. La siguiente es la “matriz de evento siguiente” y contendrá esencialmente los relojes que gobiernan los tiempos de llegada y de servicio. Finalmente, mantendremos un reloj maestro T para la acumulación del tiempo total simulado.

CANALES MULTIPLES EN PARALELO

El sistema que nos interesa aquí es similar al que vimos antes, porque a medida que llegan las unidades, van tomando su lugar en la línea de espera, si no es posible obtener el servicio inmediatamente. No obstante, suponemos aquí que hay más de un canal disponible para el servicio. Este sistema se ilustra en la Figura 7. La primera unidad de la línea de espera entra en el canal de servicio que queda disponible.

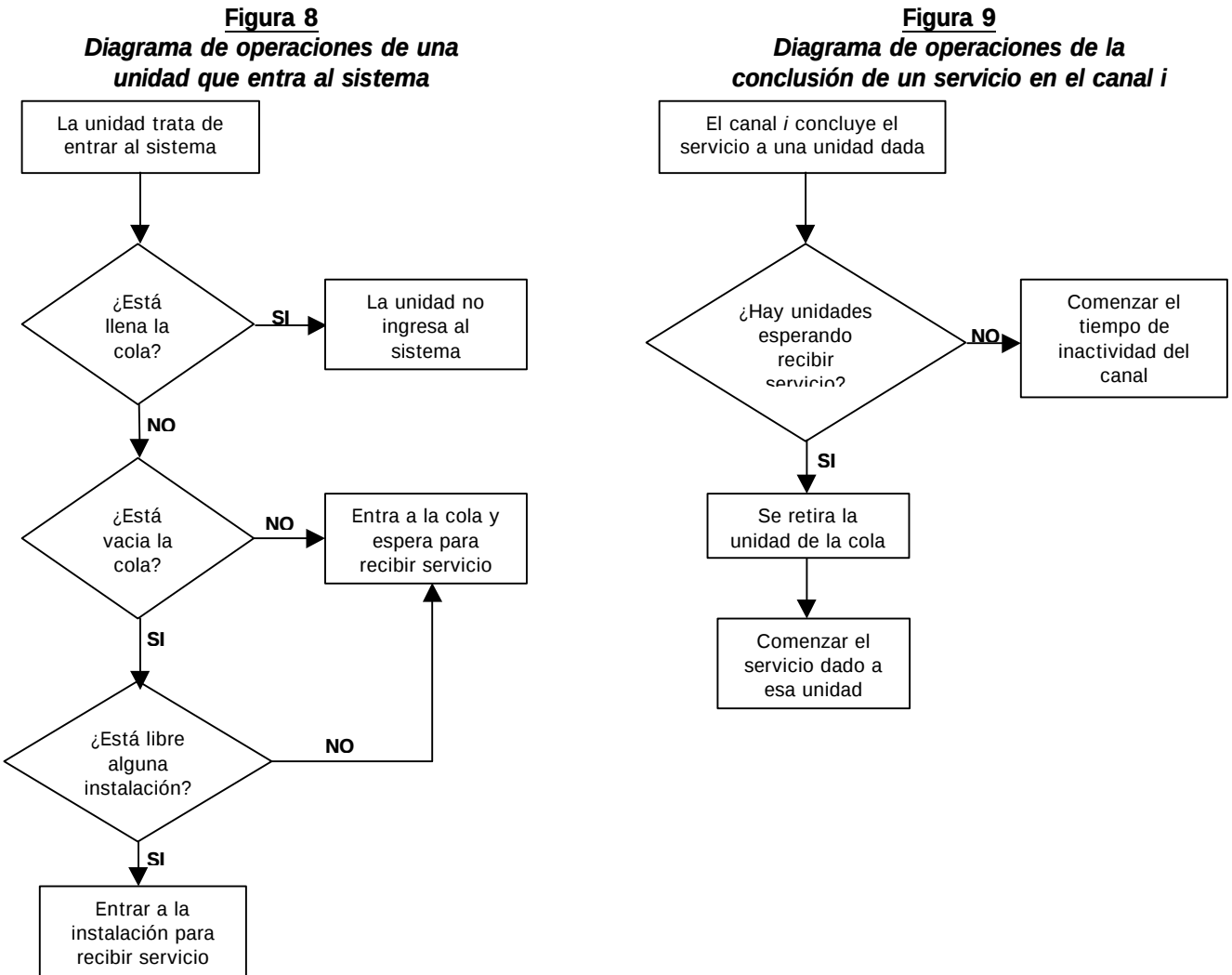


Con fines de análisis, utilizaremos las definiciones y los términos que siguen. El sistema consiste en N canales en paralelo. El i ésimo canal del sistema funciona con un índice medio de servicio de μ_i . La cola formada ante los N canales tendrá una longitud máxima de NQ . Una unidad que intente entrar en la cola cuando esté llena, tendrá que salir del sistema. En este caso, por definición, el sistema incluye a todas las unidades de la cola, así como también los N canales de servicio. Inicialmente, supongamos que la disciplina de la cola exige el servicio por orden de llegada con un tiempo medio entre llegadas de λ para las unidades que entran en el sistema.

Investigaremos este sistema como de costumbre, utilizando el análisis del evento siguiente. Como antes, se considera que las entidades de este sistema son las unidades y los canales de servicio. Para comenzar, examinaremos el sistema en un momento dado, cuando la i ésima unidad intenta entrar al sistema. En la Figura 8 se muestra un diagrama de operaciones de los resultados posibles para la unidad en este evento.

A continuación, examinaremos el i ésimo canal en un momento en que acaba de dar servicio a una unidad. Esto se muestra en la Figura 9.

Obsérvese la semejanza entre el funcionamiento que se muestra en la figura 9 y el diagrama de operaciones para el canal de servicio en el sistema de colas de canal simple (Figura 2). En realidad, desde el punto de vista de las instalaciones de servicio, los sistemas son casi idénticos. La única diferencia, en este caso, es que cada canal en paralelo debe “competir” para obtener unidades de la cola. Podría considerarse que el sistema de canal simple es un caso especial de este sistema; aunque no suele hacerse así.



Al construir tablas de decisión para el análisis de eventos y resultados para cada una de las entidades del sistema, vemos que para todos los fines prácticos, la tabla de decisión para una instalación dada es la misma que se muestra en la Figura 5. Además, la tabla de decisión para las unidades que entran al sistema no es muy diferente a la que aparece en la Figura 4. En la Figura 10 se ilustra la tabla de decisión para una unidad que trata de entrar al sistema. En esta figura se ilustra el hecho de que sólo cuando la cola está vacía y hay por lo menos un canal inactivo, entrará una unidad en el canal de servicio inmediatamente, en cuanto ingresa al sistema. Si existen otras condiciones, la unidad abandonará el sistema o entrará en la cola para esperar el servicio. Si se encuentra disponible más de un canal cuando la unidad se dispone a entrar al servicio, irá al primer canal disponible. Esto implica que no existe una relación de preferencia entre los canales y que la elección es suficientemente aleatoria. En realidad, pueden existir preferencias basadas, por ejemplo, en la rapidez del servicio; o sea la unidad irá al canal que tenga el menor tiempo esperado de servicio. No obstante, en la mayoría de los casos se puede pasar por alto ese efecto.

Figura 10: Tabla de decisión para el estado de una unidad al entrar al sistema

Condición	Eventos al entrar una unidad en el sistema					Resultados para la unidad		
	Instalación de servicio		Cola			Entra a la cola	Entra al primer canal libre	Sale del sistema
	Los N canales ocupados	Al menos un canal inactivo	Llena	No llena	Vacía			
A			✓					✓
B				✓		✓		
C	✓				✓	✓		
D		✓			✓		✓	

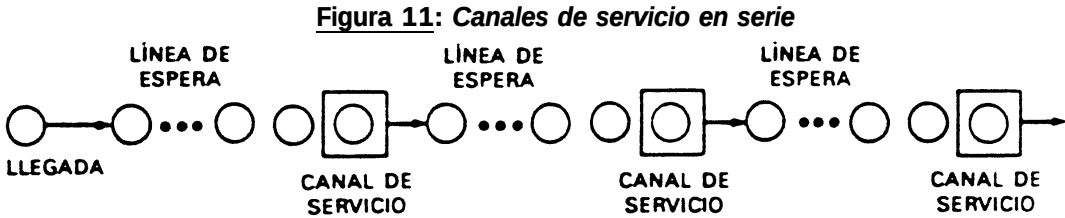
A partir de analizar la Figura 10 podemos suponer, por conveniencia, que una unidad dada se puede encontrar en cualquiera de uno de los (N + 1) estados posibles. El primer estado es el de estar en la cola y los últimos N estados indican en cuál de los N canales recibe servicio la unidad. Para ir de acuerdo a los análisis anteriores sobre los estados de una unidad, debemos entender que una cierta unidad se encuentra sólo en una de dos situaciones posibles en el sistema: a) en la cola, o b) en servicio. Sin embargo, es

mucho más fácil entender y posteriormente programar el modelo de simulación con la suposición de $(N + 1)$ estados.

La metodología para simular este sistema de canales en paralelo es exactamente la misma que se utilizó en el caso anterior. Obsérvese el modo en que podría “reducirse” este modelo al del sistema de canal simple.

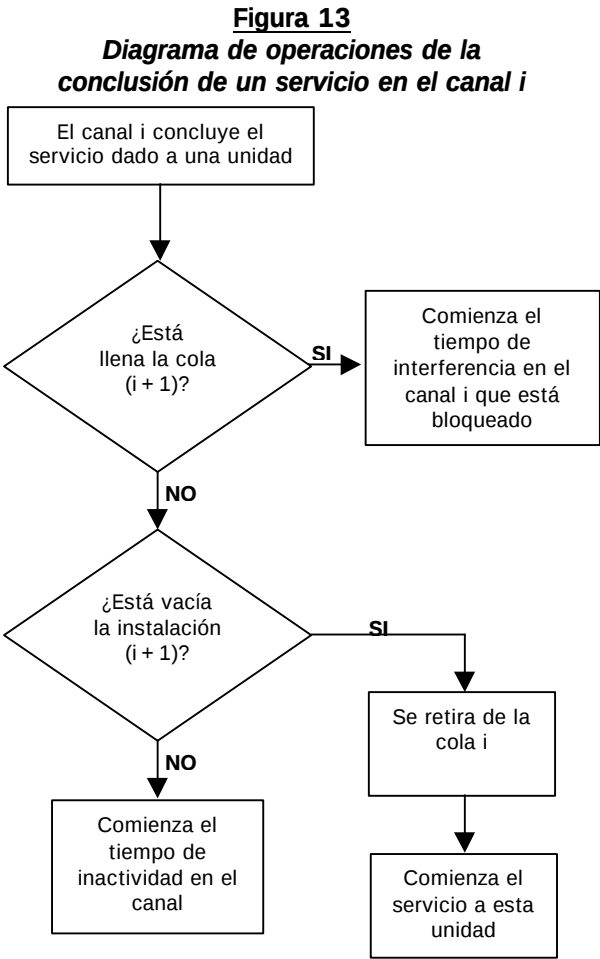
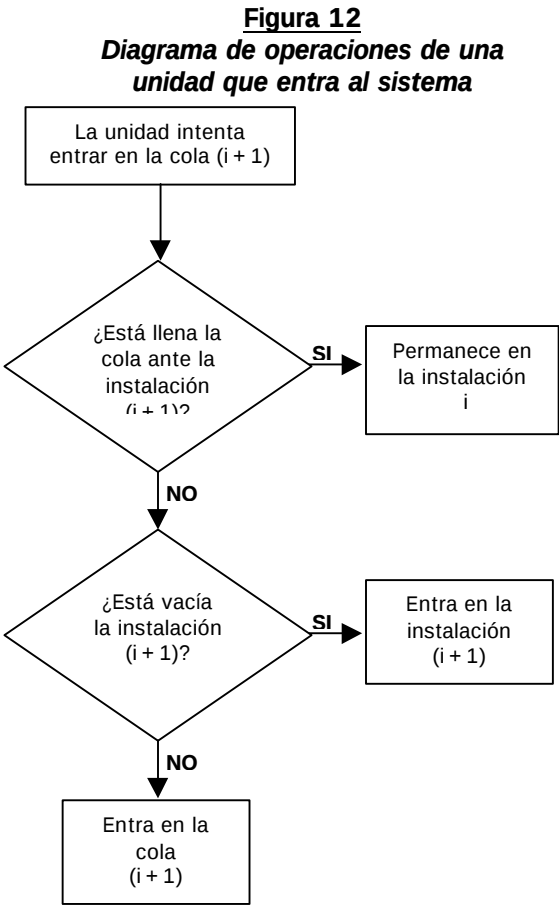
CANALES EN SERIE

A continuación examinaremos el análisis de la simulación de sistemas de colas que contienen canales múltiples en serie. En la Figura 11 se ilustra este tipo de sistema en el que cada unidad que llega al sistema debe pasar por cada canal de servicio.



Definiremos el sistema de colas para incluir N canales de servicio o instalaciones y, asimismo, N colas, una ante cada canal. La distribución del tiempo entre llegadas para unidades que entran en el sistema tiene una media l y se supone que el tiempo de servicio para cada canal tiene una media de $m_i (i = 1, 2, \dots, N)$. Además, cada cola del sistema tendrá una longitud máxima permisible, denominada $NQ_i (i = 1, 2, \dots, N)$. Una unidad que intente entrar en la cola inicial cuando esté llena será eliminada del sistema. Una unidad saldrá de cualquier canal de servicio sólo cuando la cola siguiente no esté llena. Si la cola que sigue está llena la unidad permanecerá en el canal de servicio hasta que pueda entrar en la cola siguiente, impidiendo en esa forma que el canal dé servicio. Supondremos que en todas las colas hay una disciplina de servicio por orden de llegada. Obsérvese que el proceso de llegada de las unidades a cada uno de los canales de los canales de 2 a N , está regido no sólo por el proceso de llegadas a la instalación inicial sino también por la distribución del tiempo de servicio de cada una de las instalaciones anteriores.

Para aplicar a este sistema nuestro concepto de análisis del evento siguiente, veamos lo que le puede ocurrir a cierta unidad en el momento en que termina el servicio que recibe en el i ésimo canal. En la Figura 12 se muestra un diagrama de operaciones con los resultados posibles. Además, veamos lo que pudiera ocurrir en el i ésimo canal al concluir el servicio dado a una unidad determinada. Esto se muestra en la Figura 13.



Como en el caso del canal simple, las entidades del sistema son las unidades y las instalaciones o los canales de servicio. Para cada entidad del sistema, los mencionados diagramas de operaciones ilustran el proceso de decisión de eventos y resultados. A continuación construiremos las tablas de decisión para esas entidades, tal y como se hizo antes. En la Figura 14 se muestra la tabla de decisión para una unidad que acaba de recibir el servicio en el *i*ésimo canal. Obsérvese la modificación pequeña de lógica que se requiere al analizar una unidad que trata de entrar en la primera cola.

Figura 14: *Tabla de decisión para una unidad que intenta salir del canal de servicio i*

Condición	Eventos que influyen en el intento de salir del canal de servicio i						Resultados para la unidad		
	Instalación de servicio			Cola			Se queda en el canal i	Entra en la cola (i + 1)	Entra al canal (i + 1)
	El canal (i + 1) está bloqueado	El canal (i + 1) está ocupado	El canal (i + 1) está inactivo	La cola (i + 1) está llena	La cola (i + 1) no está vacía	La cola (i + 1) está vacía			
A				✓			✓		
B		✓			✓			✓	
C		✓				✓		✓	
D			✓			✓			✓
E	✓				✓			✓	
F	✓					✓		✓	

A partir de la Figura 14 llegamos a la conclusión de que cualquier unidad que se encuentre en el sistema estará en uno de tres estados: a) bloqueada en el canal de servicio, b) recibiendo servicio en algún canal, o c) esperando en una cola. Si multiplicamos esto por N canales, el número total de estados por los que puede pasar cualquier unidad dada es 3N-1, puesto que la unidad no puede quedar bloqueada en el *N*ésimo canal.

A continuación examinaremos la tabla de decisión para la *i*ésima instalación del sistema al concluir el servicio a determinada unidad. En la Figura 15 se ilustra la tabla de decisión para una instalación dada.

Figura 15: *Tabla de decisión para la instalación i, al concluir un servicio*

Condición	Eventos al concluir el servicio a una unidad dada				Resultados para la Instalación		
	La cola (i + 1) está llena	La cola (i + 1) no está llena	La cola i no está vacía	La cola i está vacía	Instalación bloqueada	Instalación inactiva	Instalación ocupada
A	✓		✓		✓	✓	
B	✓			✓	✓	✓	
C		✓	✓				✓
D		✓		✓		✓	

En este sistema hay tres estados en los que puede encontrarse una instalación (excepto la *N*ésima): a) bloqueada, por el hecho de que hay una cola completa ante la siguiente instalación de servicio, b) ocupada, dando servicio a una unidad, o c) inactiva.

El funcionamiento general del modelo de simulación para este caso es muy similar a los dos modelos presentados anteriormente.

OTROS SISTEMAS DE COLAS

Los tres sistemas analizados anteriormente son los considerados como básicos de los que se encuentran en la teoría de colas. Estos sistemas pueden considerarse como la estructura básica para la construcción de la teoría de colas, hasta el punto de que la mayoría de los sistemas de colas que se encuentran comúnmente se pueden desarrollar mediante la alteración de las condiciones que rigen a los sistemas básicos. Por lo común, las soluciones para esos sistemas modificados son más complejas que para los sistemas básicos.

El control de] funcionamiento de un sistema de servicio se rige por la distribución de las llegadas, el comportamiento de las llegadas individuales, el mecanismo de servicio, la disciplina de colas y la capacidad del sistema.

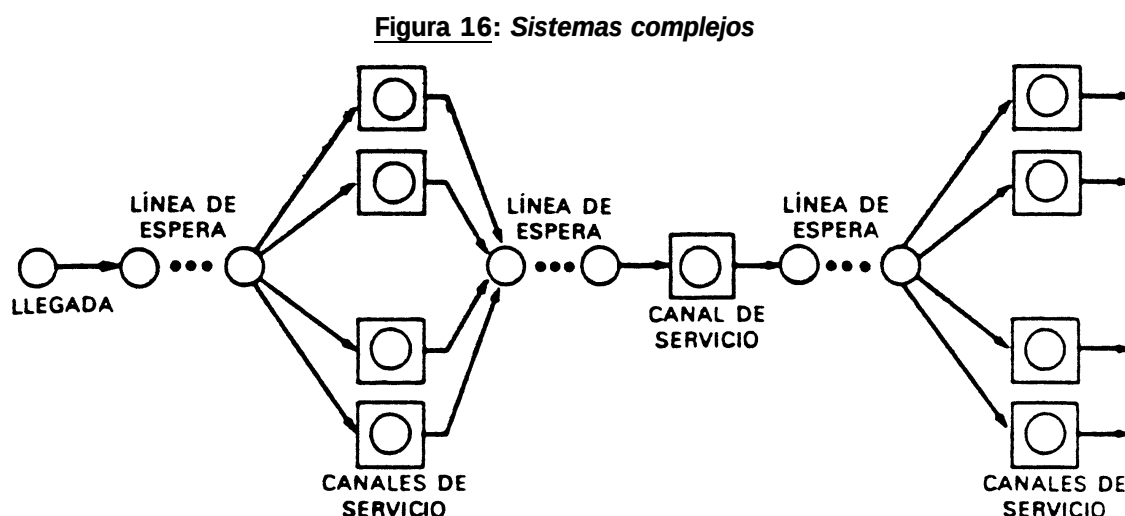
Cuando una llegada se presenta en el sistema puede comportarse de diverso modos. Puede decidir no entrar al sistema en absoluto debido a la longitud de la línea de espera. Esa conducta se denomina frustración. La llegada puede entrar al sistema y, luego, decidir abandonarlo (rechazo) o puede decidir salirse de una línea de espera del sistema para colocarse en otra. El denominador común de cada uno de esos modos de comportamiento es el de que la acción de la unidad que llega es completamente voluntaria.

El mecanismo de servicio en un sistema de colas se especifica por medio del número de canales de servicio, su disposición (en paralelo o en serie), y la distribución del tiempo de servicio en cada canal.

Mucha veces en el caso de sistemas que involucran secuencias de canales (simples o múltiples en paralelo) en serie, como sucede en el caso del sistema que se ilustra en la Figura 16, es imposible resolver el modelo utilizando el método analítico. No obstante, se puede encontrar una solución mediante la simulación utilizando los métodos numéricos similares a los que hemos visto.

La disciplina de colas de un sistema controla el orden en que se da servicio a las unidades que llegan. Por lo común se da servicio por orden de llegada; pero no son raros los servicios aleatorios y los de prioridad. Las prioridades son de derecho asegurado si una unidad que llega puede entrar al servicio inmediatamente, tanto si están dando servicio a otra unidad como si no es así. Esto quiere decir que si una unidad que llegue tiene una prioridad superior a la que esté recibiendo servicio, esa prioridad será de derecho asegurado cuando la unidad que esté recibiendo el servicio se vea remplazada inmediatamente por la que llega.

La capacidad de un sistema se determina por el número máximo de unidades que se permite en el sistema al mismo tiempo. Por lo común se considera que la capacidad es constante para un sistema; aunque hay situaciones en las que se puede considerar a la capacidad como variable aleatoria.



RESUMEN DE LA SIMULACION DE SISTEMAS DE COLAS

Hasta aquí hemos presentado los conceptos básicos de la simulación de sistemas de colas. En esta sección, revisaremos los temas presentados y analizaremos los aspectos del modelado de sistemas de colas.

Todos los sistemas de colas consisten en tres entidades básicas, unidades a las que se debe dar servicio, una o varias instalaciones para el servicio una cola para las unidades que esperan recibir servicio. Veamos cada una de esas entidades y resumamos las características que podemos desear incluir en un modelo de simulación en computadora. La mayoría de esas características se vieron ya antes. Las otras se incluyen para completar la exposición y no deben presentar grandes dificultades para insertarse en un modelo ya establecido.

Unidades

Las llegadas a un sistema de colas, llamadas unidades, poseen características o afectan al sistema en alguna forma. Esas características se dan a continuación:

1. Distribución del índice de llegadas o distribución del tiempo entre llegadas. Es un proceso al azar que rige el número de llegadas al sistema.
2. Prioridad -es una medida relativa del valor de una unidad para el sistema, en comparación con otras. En general, establece la rapidez con la que pasará una unidad por el sistema, en relación con otras.
3. Impaciencia -este factor indica el tiempo que permanecerá una unidad en el sistema sin recibir servicio. Puede describir condiciones sobre una unidad, denominadas "alejamiento", "abandono" o "cambio de línea". El alejamiento es la condición en la que una unidad se niega a entrar en una cola, debido a su longitud. Abandono es cuando una unidad sale de la cola, después de esperar cierta cantidad de tiempo. El cambio de línea es la condición en la que una unidad sale de una cola para entrar en otra.

Otra característica que incluimos (sólo con fines de simulación) como descripción de una unidad, era el tiempo de servicio en una instalación. En realidad, se trata de una función de] canal de servicio y la analizaremos aquí. La incluimos como información descriptiva sobre unidades en el sistema para normalizar el método y retirar los efectos de la generación de números aleatorios. Un aspecto final no analizado previamente, en relación con las llegadas es el de las "llegadas en grupo", que se pueden ilustrar

mediante el ejemplo de un ascensor. La llegada al sistema puede considerarse que es cuando el ascensor se detiene en un piso. Sin embargo, contiene varias unidades. Anteriormente, vimos sólo las llegadas de una sola unidad. Otro ejemplo de llegadas en grupo es el de una caja de piezas, a una máquina, para su labrado.

Canal de servicio

Las instalaciones para dar servicio a las unidades del servicio tienen varias características que tomamos en consideración y que son:

1. Proceso de servicio -se trata de la distribución del tiempo de servicio. Se considera como proceso conjetural, cuya variación es inherente de la instalación. En general, tendemos a asignar valores de ese proceso a las unidades que llegan al sistema.
2. Disposición de los canales -esto rige la configuración del sistema. Los canales se disponen en serie o paralelo o en alguna combinación en serie y paralelo.
3. Disciplina de servicio -esta característica de la instalación indica si puede o no interrumpirse cuando está en servicio. Las prioridades unitarias van de la mano con este aspecto. Las unidades de mayor prioridad pueden exigir que la instalación detenga su proceso actual para darles servicio. Esto se denomina procesamiento prioritario.

Otro aspecto del servicio se relaciona con las llegadas en grupo de unidades al sistema. Esto se conoce como servicio colectivo. En este caso, la instalación funciona sobre grupos de unidades al mismo tiempo.

Cola

La línea de espera ante las instalaciones de servicio ofrece el principal campo de estudio. La línea de espera para el modelo de simulación tiene las características siguientes:

1. Longitud -¿cuántas unidades pueden encontrarse en la línea de espera al mismo tiempo?
2. Disciplina de la cola -establece el método de disposición de las unidades de la cola. En general, consideramos que este aspecto depende de la cola; sin embargo, en realidad, depende generalmente de las unidades que hay en la cola. Existen varias posibilidades diferentes de disciplinas de colas. La más sencilla de todas es la de dar servicio según el orden de llegada.

Muchas investigaciones de colas giran en torno de la siguiente pregunta: “¿Qué sucedería si la disciplina de colas fuera... ?” En este aspecto de los sistemas, la cola misma ofrece la mejor oportunidad de estudio en un campo bajo el control de la administración. Con frecuencia es mucho más fácil establecer una nueva disciplina de colas que modificar un proceso con un promedio dado de servicio. Por consiguiente, muchos análisis se ocupan de la investigación de varias disciplinas de colas o “planes de prioridades”.

Finalmente, el sistema en su conjunto tiene ciertas características que no se pueden incluir en las tres entidades. Entre ellas se encuentran las limitaciones al número de unidades en el sistema y los períodos operacionales. La restricción del número de unidades en el sistema suele tener muchas veces una enorme importancia, porque representa una limitación de la capacidad. El período operacional de un sistema es la cantidad de tiempo que puede funcionar el sistema continuamente. Algunos sistemas pueden funcionar continuamente durante ciertos períodos de tiempo. En otros sistemas, ese período puede estar limitado a cierto tiempo máximo.

El análisis de un sistema dado de colas incluye la síntesis de las características descritas antes. A veces, se encuentran presentes todas esas características. En otras oportunidades, sólo se toman en consideración unas cuantas. Desde luego, el sistema mismo dicta, en gran parte, las características que existen. No obstante, los objetivos de un análisis o un experimento dado pueden dictar qué otras características se incluyen. Otra característica que podemos desear incluir es la información de costos.

Finalmente, es preciso desarrollar un sentido de conciencia hacia los problemas de la validez estadística de los modelos de simulación. Algunos aspectos a tener en cuenta son la validez de los generadores de números pseudoaleatorios y la cantidad y la calidad de la información que se debe recoger. Desde luego, deben desempeñar un papel importante en la simulación de cualquier sistema. Aunque no analizamos de manera detallada la formulación de objetivos para el análisis, esto afecta también nuestras consideraciones estadísticas.

La simulación de sistemas de colas tal y como se presentó en esta aquí incluía el concepto de análisis del evento siguiente. Evidentemente, hay otros modos de construir modelos de simulación de sistemas de colas. Sin embargo, los métodos presentados aquí proporcionan un método unificado para abordar los análisis de este tipo. Cualquier sistema de colas se puede dividir en las entidades componentes y se puede utilizar cada una de estas últimas, utilizando el método de la tabla de decisión.

Extraído del libro “Análisis y Simulación de Sistemas Industriales” de J.W. Schmidt y R.E. Taylor, Editorial Trillas, México 1979.