

## INTRODUCCION AL QSB

Entrar en D:\Programa\WinQsb. Aquí se encuentra el programa de Investigación Operativa QSB bajo Windows que utilizaremos en las prácticas de la asignatura. Este programa consta de una serie de módulos independientes que recogen los tópicos más importantes de Investigación Operativa.

Nosotros usaremos tres:

- Módulo de Cadenas de Markov de parámetro discreto (Mkp.exe)
- Módulo de Sistemas de Colas con solución analítica (Qa.exe)
- Módulo de Simulación de Sistemas de Colas (Qss.exe)

### 1.- MODULO DE CADENAS DE MARKOV DE PARAMETRO DISCRETO

En la barra de menú aparecen las opciones File y Help. En File permite definir un nuevo problema o bien, cargar los datos de uno previamente definido guardado en un fichero (extensión mkp). **¡Cuidado!** La opción de cargar un fichero que se tenga almacenado no funciona correctamente porque no carga los puntos decimales como puntos sino como comas. Esto se puede arreglar si en el Panel de control, elegimos dentro de Configuración regional el inglés de Estados Unidos.

Al seleccionar New problem, aparece una primera pantalla donde hay que dar nombre al problema y decir el número de estados del mismo. Se pasa a una segunda pantalla donde hay que introducir los datos del problema: matriz de probabilidades de transición, probabilidades iniciales y vector de costes. **¡Cuidado!** No admite fracciones.

- En la opción del menú Edit se puede cambiar el nombre de los estados, añadir un estado más o borrar un estado.
- En la opción del menú Solve and Analyze, permite:
  1. Resolver las probabilidades de equilibrio (Solve Steady State).
  2. Obtener las probabilidades de estado (Markov Process Step).

### ***PROBABILIDADES DE EQUILIBRIO***

Para obtener las probabilidades de equilibrio, simplemente resuelve el sistema  $q=qP$  con la condición  $\sum q_i = 1$  y devuelve la solución en caso de que este sistema tenga solución única, pero **no comprueba si se dan las condiciones para la existencia de probabilidades de equilibrio**, comprobación que deberá hacer previamente el usuario. También proporciona el tiempo medio de recurrencia.

En el caso de no existir solución del sistema anterior o de que ésta no sea única, el procedimiento no hace ningún cálculo. En esta situación, la manera de estudiar si las probabilidades de estado se van estabilizando en torno a algún valor es ir calculando las probabilidades de estado en etapas sucesivas.

### ***PROBABILIDADES DE ESTADO***

Hay que decirle la etapa para la cual se quieren obtener las probabilidades de estado (number of time periods from initial). Si se le ha pedido las probabilidades de estado en una etapa, se le pueden pedir las de la etapa siguiente (next period) pero para que las devuelva correctamente, hay que dar OK. También devuelve el coste esperado si en la pantalla inicial se han introducido costes.

En la misma pantalla se pueden pedir las probabilidades de equilibrio. En caso de que no existan, da un mensaje de no existencia de las mismas.

## 2.- MODULO DE SISTEMAS DE COLAS

El módulo a utilizar es Qa.exe. Este programa permite obtener la solución analítica del sistema para el caso en el que las distribuciones del tiempo entre llegadas y tiempo de servicio son exponenciales (sistemas M/M) y soluciones aproximadas para sistemas donde las distribuciones del tiempo entre llegadas y/o tiempo de servicio son de otro tipo (sistemas generales G/G).

Al abrir un nuevo problema hay que darle la unidad de tiempo en la que se va a trabajar (lo toma sólo como una etiqueta) y el tipo de sistema que queremos analizar: M/M o general.

1.-Si la elección es M/M, aparece una tabla donde hay que rellenar los datos necesarios: número de servidores, tasa de servicio, tasa de llegadas, capacidad de la cola (M para infinita) y tamaño de la población (M para infinita). Si la población es finita, la tasa de llegadas que hay que introducir es la tasa individual de llegadas.

Además, se pueden asignar costes por unidad de tiempo a una serie de situaciones. En este caso, al resolver el problema se nos devolverá el coste total del sistema por unidad de tiempo.

Una vez introducidos los datos, elegimos **Solve and Analyze** del menú y con la opción **Solve the performance**, obtenemos los parámetros usuales de rendimiento del sistema. En el menú **Results: Probability Summary**, nos muestra la probabilidad de que haya k clientes en el sistema.

En la opción **Perfom Sensitivity Analysis** del menú **Solve and Analyze** permite hacer un análisis de sensibilidad del sistema cuando uno de los parámetros de entrada varía. Se elige en ese caso el parámetro que se desea variar dando el intervalo de variación que se quiere estudiar y el paso. Como resultado nos muestra cómo cambian los principales parámetros de rendimiento del sistema de colas para los distintos valores del parámetro de entrada elegido. Si se quieren ver los resultados gráficamente, elegir **Results: Show Sensitivity Analysis-Graph** de la barra de menú.

En la opción **Perfom Capacity Analysis** del menú **Solve and Analyze** permite hacer un análisis de sensibilidad pudiendo variar dos parámetros: el número de servidores y la capacidad de la cola.

2.-Si el sistema que se desea estudiar verifica que o bien la distribución del tiempo entre llegadas o/y la distribución del tiempo de servicio **NO** son Exponenciales, al definir el problema elegiremos la opción **General Queuing System**. Aparece entonces una pantalla de introducción de datos similar a la de los sistemas M/M con la diferencia de que ahora se puede dar una distribución cualquiera para la llegada y el servicio (hacer doble clic con el botón izquierdo y elegir la distribución). Las distribuciones más usuales son:

1. **Exp/a/b**: Exponencial de media b, tomando valores para  $x > a$ . Normalmente,  $a=0$ .
2. **Gamma/a/b/c**: Gamma con parámetro de escala b, parámetro de forma (shape) c tal que media = bc y toma valores para  $x > a$ . Normalmente,  $a=0$ .
3. **Erlang/a/b/k**: Erlang con k entero,  $kb =$  media tomando valores para  $x > a$ . Normalmente  $a=0$ .
4. **Normal/ $\mu$ / $\sigma$** : Normal con  $\mu =$  media y  $\sigma =$  desviación típica.
5. **Constante**: no hace falta poner Constante, solo el valor de la constante.

Para más información sobre las distribuciones posibles que se pueden utilizar en QA, usar el **Help** del menú en *Search for help:Distribution:Probability distribution*.

Además, se puede dar un coeficiente de presión para los servidores (service pressure coefficient: los servidores trabajan más rápido cuantos más clientes hay), un coeficiente disuasorio para las llegadas (arrival discourage coefficient: se producen menos llegadas cuanto más cargado está el sistema) y una distribución para el número de clientes que llegan en cada grupo (Batch size distribution. Por defecto los clientes llegan de uno en uno al sistema).

Una vez introducidos los datos, elegimos **Solve and Analyze** del menú y al elegir la opción **Solve the performance**, como en muchos casos no existe solución analítica, permite resolver el problema de manera aproximada desde dos puntos de vista:

1. **Approximation by G/G/s**: aproximaciones numéricas a las fórmulas que existen para este tipo de sistemas.
2. **Monte Carlo Simulation**: aproximaciones a la solución mediante simulación (tema siguiente)

Se obtienen entonces aproximaciones a los valores reales de los parámetros más usuales de rendimiento del sistema. En el menú **Results: Probability Summary**, nos muestra estimaciones de la probabilidad de que haya  $k$  clientes en el sistema.

En las opciones **Perfom Sensitivity Analysis** y **Perfom Capacity Analysis** del menú **Solve and Analyze** permite realizar las mismas operaciones ya descritas con anterioridad para sistemas M/M.

### 3.- MODULO DE SIMULACION DE SISTEMAS DE COLAS

**QSS** es un simulador que permite imitar un sistema de colas con múltiples servidores, diversos tipos de clientes y varias colas. Cada tipo de clientes puede tener distintos tipos de llegadas y tiempos de servicio que habrá que especificar.

Cuando un cliente sale de un servidor, éste pasa a la siguiente cola o servidor o acaba el servicio. Si la cola está llena, el cliente se queda en el servidor que está hasta que haya espacio. Si el cliente se va a unir a otra cola, se le puede asignar un tiempo fijo de llegada a esa cola (tiempo de transferencia).

**QSS siempre supone que la población es infinita, por tanto, no permite simular situaciones donde la población se finita.**

Al ejecutar **Qss.exe** se accede al procedimiento de simulación de sistemas de colas. En la barra de menú aparece la opción **File** donde se puede abrir un problema nuevo o cargar los datos de uno que se tenga definido con anterioridad.

Al abrir un nuevo problema, aparece una pantalla donde hay que dar **el número total de componentes del sistema de colas** ( $n^\circ$  de tipos de clientes +  $n^\circ$  de colas +  $n^\circ$  de servidores) y la unidad de tiempo en la que se va a trabajar. **Introduciremos los datos en un formato de matriz (Spreadsheet).**

En la siguiente pantalla, para cada componente del sistema hay que decir de qué tipo es:

- C = cliente
- S = servidor
- Q = cola

También se pueden asignar nombres a los distintos componentes del sistema.

A continuación aparece una matriz donde hay que introducir los datos del sistema de colas, por columnas. **Es conveniente hacer un gráfico del funcionamiento del sistema antes de comenzar a introducir los datos.**

- **1ª columna:** Tipo de componente, que ya se ha rellenado en la pantalla anterior.
- **2ª columna (Immediate follower)** El formato completo de esta columna es: Immediate follower/Prob/transfer time. Lo primero que hay que indicar para cada componente del sistema es el siguiente componente al que éste se encuentra conectado. Prob se utiliza sólo cuando los componentes del sistema están conectados con cierta probabilidad. Si no es así, dejar en blanco (//). El tiempo de transferencia es el tiempo que se tarda en llegar de un componente al siguiente. Si éste se considera despreciable, no hay que indicar nada.
- **3ª-4ª columnas (Input rule-Output rule):** Solo hay que rellenarlas en caso de que se puede acceder a un servidor desde varios componentes (Input) o la salida de un servidor se puede dirigir a varios componentes (Output). Como reglas de selección para una situación dada, QSS utiliza las siguientes:

1. Random: elección aleatoria (es la establecida por defecto)
2. Probability: Se elige basado en una regla de probabilidad
3. RoundRobin: Se elige en orden round robin
4. Assembly: el servidor elige un individuo de cada cola a la vez. Hay que esperar a que todas las colas tengan al menos un cliente.
5. DisAssembly: Cuando un servidor acaba el servicio, manda un cliente a cada una de las colas.
6. LongestQueue: Se elige la cola más larga
7. ShortestQueue: Se elige la cola más corta
8. MaxQueueCapacity: Se elige la cola con mayor capacidad  
MinQueueCapacity: Se elige la cola con menor capacidad

Se pueden escribir solo las tres primeras letras.

- **5ª columna (Queue discipline):** Solo se rellena para las componentes tipo cola y nos indica con qué regla los clientes de una cola van a pasar al servidor. Las reglas que están implementadas en QSS son:
  1. FIFO: Se sirve primero al que llegó primero a la cola
  2. LIFO: Se sirve primero al último que llegó a la cola
  3. Random: Se sirve de manera aleatoria
  4. PriorityIndex: Se sirve primero a los clientes en cola que tengan un índice de prioridad mayor.
  5. SPT: Se sirve primero a los clientes que necesiten menor tiempo de procesamiento.
  6. LPT: Se sirve primero a los clientes que necesiten un mayor tiempo de procesamiento.
  7. MaxWorkDone: Se sirve primero al que mayor tiempo de procesamiento total lleva.
  8. MinWorkDone: Se sirve primero al que menor tiempo de procesamiento total lleva.

Se pueden escribir solo las tres primeras letras. La opción por defecto es FIFO, en cuyo caso no hace falta rellenarlo.

- **6ª columna (Queue capacity):** QSS reserva, por defecto, un espacio de 50 clientes para el tamaño de las colas, pero es **imprescindible** introducir un número en la capacidad de cualquier cola.
- **7ª columna (Attribute value):** Solamente se rellena en las colas cuya disciplina sea Priority Index: se sirve primero al que mayor índice de prioridad tenga.

- **8ª columna (Interarrival Time distribution):** Distribución del tiempo entre llegadas consecutivas de los clientes al sistema. La más habituales son:
  6. **Exp/a/b:** Exponencial de media b, tomando valores para  $x > a$ . Normalmente,  $a=0$ .
  7. **Erlang/a/b/k:** Erlang con k entero,  $kb=$  media tomando valores para  $x > a$ . Normalmente  $a=0$ .
  8. **Normal/ $\mu$ / $\sigma$ :** Normal con  $\mu=$  media y  $\sigma=$  desviación típica (VER).
  9. **Constante:** no hace falta poner Constante, solo el valor de la constante.

Para más información sobre las distribuciones posibles que se pueden utilizar en QSS, usar el **Help** del menú en Search for help:Distribution:Probability distribution.

- **9ª columna (Batch size distribution):** Los clientes llegan al sistema solos o en grupo. Si la llegada es en grupo, el tamaño del grupo se considera una variable aleatoria discreta y hay que dar la distribución. Consultar la ayuda para ver que distribuciones discretas admite QSS y cómo se introducen.
- **10ª columna (Service time distribution):** Para cada servidor hay que dar la distribución del tiempo de servicio. Puede ocurrir que un servidor tenga tiempos de servicio diferentes para clientes de distinto tipo. Entonces, se indicará la distribución del tiempo de servicio para cada cliente, separada por comas:  
cliente A/exp/0/0.3, cliente B/normal/1/5

Una vez introducidos los datos se pueden guardar desde el menú archivo. Es conveniente hacer un gráfico del funcionamiento del sistema para comprobar si ese sistema es el que se pretendía definir. En la opción del menú **Format, Switch to graphic model** nos dibuja el sistema tal y como nosotros lo hemos definido. Nuevamente en **Format: Switch to matrix form**, se puede ver la matriz de datos introducidos.

Para pasar a realizar la simulación, elegir del menú **Solve and Analyze. Perform Simulation**. Aparece una pantalla donde hay que introducir las condiciones de la simulación:

1. Semilla a utilizar para la generación de los números aleatorios.
2. Condición de parada: se puede dar en tiempo o en número de clientes que salen del sistema (Maximum number of data collection) y toma el mínimo entre ambos valores.
3. Longitud (en tiempo) del periodo transitorio.

Una vez relleno, pulsar **Simulate**. Realizará la simulación (**en caso de que no la realice, puede haber errores en la introducción de datos**) y una vez finalizada, se pueden observar los resultados (**Show Analysis**). La pantalla de resultados que muestra es general. Si se quieren ver resultados específicos para cada tipo de componentes del sistema, elegir **Results** del menú y mostrará un análisis para todos los tipos de clientes (Show customer analysis), para los servidores (Show server analysis) y para las colas (Show queue analysis).

También en el menú Results se puede seleccionar un análisis gráfico (Show graphic analysis). Se selecciona el tipo de componente para el que se quiere hacer el análisis gráfico (cliente, servidor, cola) y el parámetro que se quiere dibujar. Permite hacer algunos gráficos descriptivos, aunque no son de gran interés.