

DOC. 089/95

SUSANA LÓPEZ ARES

SIMULACIÓN DE FENÓMENOS DE ESPERA DE
CAPACIDAD LIMITADA CON LLEGADAS Y NÚMERO
DE SERVIDORES DEPENDIENTES DEL TIEMPO
CON HOJA DE CÁLCULO

SIMULACION DE FENOMENOS DE ESPERA DE CAPACIDAD
LIMITADA CON LLEGADAS Y NUMERO DE SERVIDORES
DEPENDIENTES DEL TIEMPO CON HOJA DE CALCULO

Susana López Ares

Métodos Cuantitativos para la Economía

Fac. de CC. Económicas y Empresariales

Universidad de Oviedo

SIMULACION DE FENOMENOS DE ESPERA DE CAPACIDAD LIMITADA CON LLEGADAS Y NUMERO DE SERVIDORES DEPENDIENTES DEL TIEMPO CON HOJA DE CALCULO

1. INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo consiste en la simulación del funcionamiento de fenómenos de espera no estacionarios con capacidad limitada, los cuales resultan extremadamente complejos para ser abordados exclusivamente por procedimientos matemáticos.

En el análisis se han considerado dos situaciones distintas, en la primera de ellas se considera implícitamente que un cliente que entra en el sistema no saldrá de él hasta que le haya sido suministrado el servicio, sea cual sea el tiempo que haya permanecido en línea de espera, mientras que en la segunda se realiza el estudio considerando esta posibilidad, es decir, si en un determinado momento un cliente que se encuentra esperando para recibir el servicio considera que ha permanecido demasiado tiempo en cola podrá renunciar al servicio.

La simulación se ha llevado a cabo utilizando hojas de cálculo programadas con macros, ya que aunque su elaboración entraña una mayor dificultad que la ocasionada por un lenguaje específico de simulación, permite una mayor accesibilidad e interactividad para el usuario. Asimismo, presenta la ventaja de que puede ser utilizado con fines docentes al permitir observar lo que está teniendo

lugar en el sistema en los diferentes momentos de tiempo en los que se suministra servicio.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS OBJETO DE ESTUDIO

Los modelos analizados en este trabajo, se caracterizan por (Figura 1):

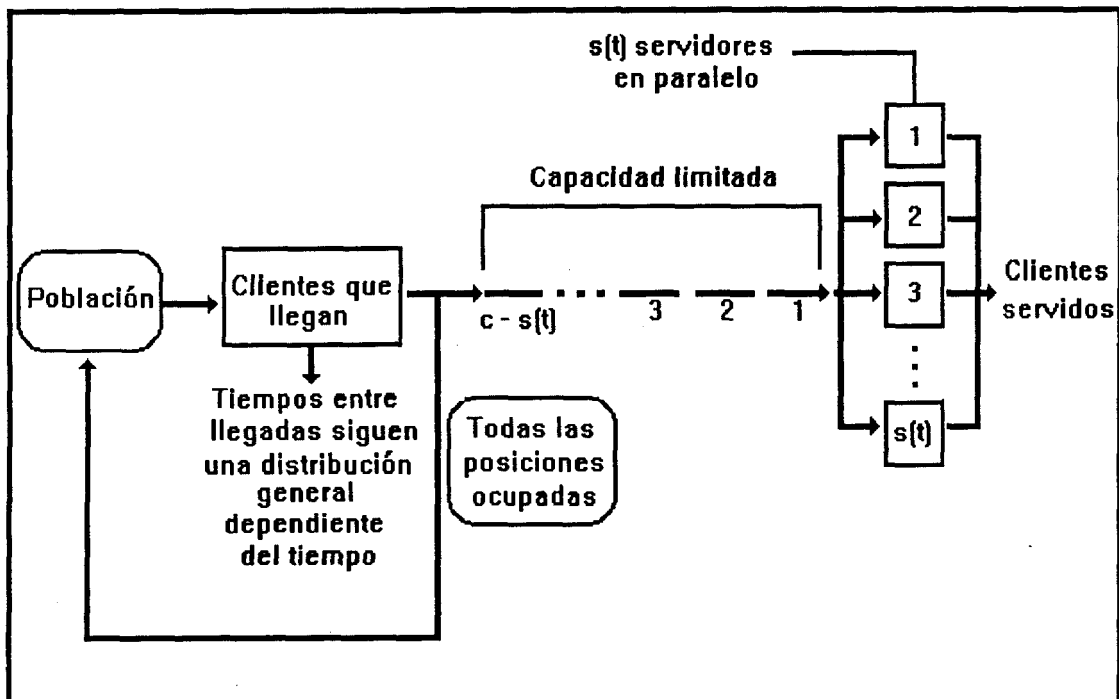


Figura 1. Características generales de los sistemas analizados. Fuente: Elaboración propia.

1.- El tamaño de la población de la cual parten los clientes es ilimitado, al ser lo suficientemente grande como para que la tasa a la cual la fuente de entrada genera nuevos clientes no se vea afectada de forma significativa por los que ya se encuentran dentro del sistema.

2.- La capacidad del sistema es limitada de tal forma que si en el momento en el que se produce una llegada todas las posiciones están ocupadas el cliente no podrá entrar en él.

3.- Modelo de llegada de los clientes al sistema: consideraremos que los tiempos entre las entradas de dos clientes sucesivos siguen una distribución general dependiente del instante del día considerado.

4.- La disciplina de servicio es FCFS, es decir, los clientes serán atendidos en función del instante en que se produjo la entrada en el sistema de tal forma que el primer cliente que entre será el primero al que se le suministrará el servicio.

5.- El servicio es suministrado por $s(t)$ servidores en paralelo. Para determinar cual es el agente que atenderá a cada cliente les fijaremos a estos últimos una posición de tal forma que los clientes les serán asignados en función de la misma, es decir, si en un determinado instante de tiempo se encuentran tres agentes en el sistema, a, b y c , siendo una, dos y tres las posiciones respectivas, el primer cliente que entre en el sistema será asignado al servidor a , el segundo al b , el tercero al c , el cuarto al a , salvo que estuviese ocupado en cuyo caso sería atendido por el b y si este no estuviese disponible, el servicio le sería suministrado por el c y así sucesivamente. En el caso de que todos los servidores estuviesen ocupados el cliente entraría a formar parte de la línea de espera.

6.- Para los tiempos de servicio consideraremos una distribución general.

7.- Nuestro estudio se centrará en el análisis de sistemas en los que no se presta servicio sin interrupción como puede ser el servicio de urgencias de un

hospital, sino que este se comienza a suministrar en un momento del día y se finalizará en otro instante del mismo, de tal forma que en el inicio no hay ningún cliente en el sistema y no será atendida ninguna llegada que se produzca con posterioridad al momento de finalización, es decir, analizaremos con un tipo especial de simulación conocida como "terminating simulation" que se caracteriza porque tiene una duración determinada T_E , donde E es un evento o serie de eventos en los cuales finaliza la simulación. El análisis de estos sistemas es sencillo desde el punto de vista estadístico, ya que después de cada replicación obtendremos resultados independientes e idénticamente distribuidos.

Esta última característica nos llevará a realizar la simulación de periodos de servicio completos, de tal forma que el inicio de la simulación será el momento en que se comience a suministrar servicio, la longitud será el número de entradas que se hayan producido hasta el instante en que se deja de atender clientes y el número de bloques será determinado con posterioridad cuando se haya diseñado totalmente el sistema.

3. SIMULACION DE SISTEMAS CON CAPACIDAD LIMITADA CON LLEGADAS Y NUMERO DE SERVIDORES DEPENDIENTE DEL TIEMPO SIN ABANDONOS

La simulación para estos sistemas la realizaremos como mostramos en la Figura 2; es decir, generaremos los instantes entre llegadas sucesivas al sistema de acuerdo con la distribución a las que se ajuste esta variable aleatoria, a continuación los instantes de llegada de cada cliente se calcularán sumando ese tiempo entre llegadas al instante de llegada del cliente anterior, para la primera llamada se le sumará al instante de tiempo en que se comienza a prestar servicio.

Una vez que hemos determinado el instante en que se ha producido la llegada nos cuestionaremos si es válido, es decir, si en ese instante de tiempo hay menos de c clientes en el sistema. La razón de que nos hagamos esta pregunta viene ocasionada por el hecho de que en un determinado momento de tiempo no puede haber más clientes que posiciones existentes. En el caso de que todas las posiciones estén ocupadas generaremos otro instante de llegada.

Una vez que ha entrado, analizaremos si el número de clientes en el sistema es mayor o igual que el número de agentes que están suministrando servicio. Si este hecho es cierto, el cliente entrará a formar parte de la línea de espera de la que saldrá en el momento en el que algún servidor quede desocupado, es decir, suponemos que no existen abandonos. En este caso, el tiempo de espera en cola será igual al instante en que el agente quede disponible menos el momento en que se produjo la entrada.

Si en el instante en que se produce la entrada hay algún agente desocupado el cliente comenzará a ser atendido en ese mismo momento de tiempo. Los tiempos de servicio serán generados de acuerdo con la distribución a la que se ajuste esta variable.

El tiempo que permanece un cliente en el sistema se obtendrá sumándole al instante de entrada, el tiempo en línea de espera y el tiempo de servicio.

Posteriormente, se recogerán en una tabla las medidas de efectividad del sistema, número medio de clientes en el sistema, número medio de clientes en cola, tiempo medio en línea de espera, tiempo medio en el sistema, probabilidad de esperar y porcentaje de tiempo que cada servidor ha permanecido desocupado.

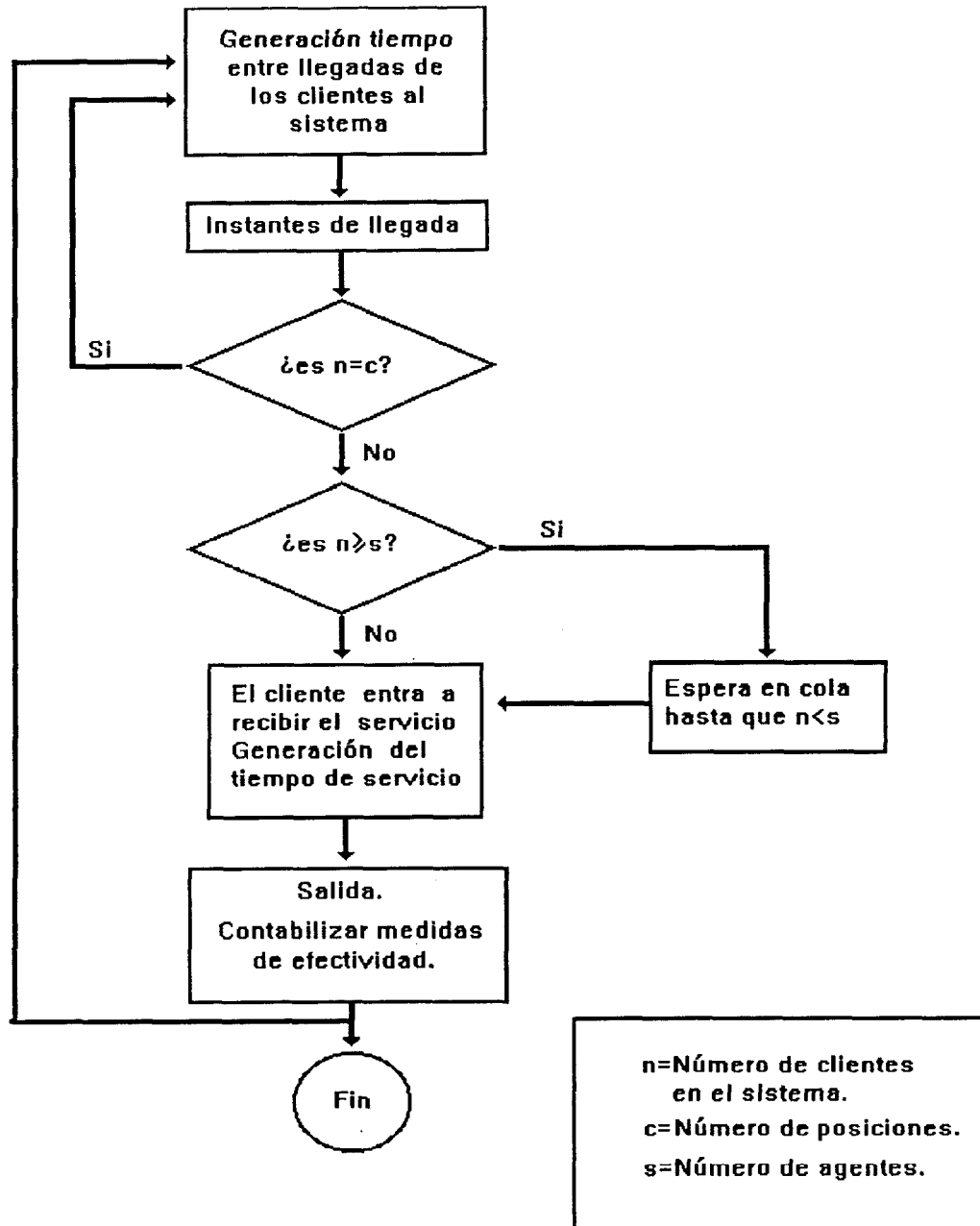


Figura 2. Diagrama del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

La simulación se ha llevado a cabo utilizando hojas de cálculo programadas con macros, determinándose los elementos que vienen recogidos en las Tablas 1a, 1b y 1c y que describimos a continuación:

Instantes de llegada: en primer lugar generaremos los tiempos entre llegadas sucesivas, dado que esta variable depende de la hora del día considerada, se utilizará una distribución u otra en función del instante de llegada del cliente anterior. Para el primer cliente del día determinaremos el instante de llegada sumándole al momento en que se comienza a suministrar servicio el tiempo generado para ese cliente y para los demás sumándole este mismo tiempo al momento en que se produjo la llegada del cliente anterior (columna C).

Servidor asignado: Como ya hemos mencionado, los clientes son asignados a los agentes en función de la posición que tenga asignada el agente por ello se consideraran dos columnas, en la B recogemos el agente que le correspondería por orden de entrada, mientras que en la F contabilizamos el que realmente le ha prestado servicio por encontrarse el anterior ocupado. Para determinar el valor correspondiente de esta última columna se irá analizando para cada cliente si agente que le corresponde está disponible, sino lo estuviese se analizaría el siguiente y así sucesivamente ($@\text{elegir}(bn-1, \$x\$5, \$y\$5, \dots)$), en caso de que todos estuviesen ocupados se determinaría el primero de ellos que quedase disponible ($\$ab\5), este proceso se recoge en la Tabla 1b.

Número de clientes en el sistema: en la columna D determinamos el número de clientes que se encuentran en el sistema en el momento en que se produce una nueva entrada. La causa por la que determinamos este elemento viene dada por que al encontrarnos con un sistema de capacidad limitada nunca podrá darse el caso de que en un instante de tiempo haya más de c clientes en el sistema. En el caso de que el cliente considerado sea el $c+1$ generaremos un nuevo tiempo entre llegadas de tal forma que para el nuevo instante alguna de las posiciones haya

quedado vacía al existir un cliente que ha dejado el sistema por haber sido completado su tiempo de servicio.

Tiempo en línea de espera: si en el momento en que se produce la entrada algún agente se encuentra desocupado el cliente pasará inmediatamente a recibir servicio siendo entonces el tiempo en cola igual a cero (colocaremos un cero en la columna K). En el caso contrario, colocaremos un uno y se determinará el tiempo en cola restándole al instante en el que un servidor queda desocupado el instante en el que se produjo la entrada del cliente en el sistema (columna E).

Tiempo de servicio: el tiempo de servicio se genera de acuerdo con la distribución a la que se ajuste esta variable. Este tiempo será asignado a la columna correspondiente al servidor que le a suministrado el servicio, considerando para ello tantas columnas como agentes se encuentren prestando servicio en el momento en que se produjo la llegada (columnas G, ... , I). Por otra parte se considerará una columna adicional (columna M) en la que se recogerá el tiempo de servicio independientemente del agente que lo halla prestado.

Instante de salida: para obtener este momento de tiempo le sumaremos instante en que ha producido la entrada, el tiempo que ha permanecido el cliente en línea de espera y el tiempo de servicio (columna J).

Tiempo en el sistema: este elemento se determinará restándole al instante en que se produjo la salida del cliente una vez recibido el servicio el momento en el que se produjo la entrada del mismo (columna L).

	Columna en la hoja de cálculo	Fila n en la hoja de cálculo
A	Número	$+(a_{n-1})+1$
B	Servidor asignado	$@si(cn-1 < \alpha, @si(bn-1=1,2,@si(bn-1=2,3,...)))$
C	Instante de llegada	$+cn-1+ @si(cn-1 < a, \text{generamos un número aleatorio y le asociaremos el valor correspondiente de la variable según la distribución a la que se ajusta en el primer subperiodo, } @si(cn-1 < b, \text{generamos un número aleatorio y le asociaremos el valor correspondiente de la variable según la distribución a la que se ajusta en el segundo subperiodo,...}))$
D	Número de clientes en el sistema	$@si(cn \leq \alpha, (\text{nº de servidores disponibles en el 1º subperiodo-aa}+ \text{capacidad en el 1º subperiodo-ak}4, @si(cn \leq \beta, (\text{nº de servidores disponibles en el 2º subperiodo-aa}+ \text{capacidad en el 2º subperiodo-ak}4, \dots)))$
E	Tiempo en cola	$@si(\$aa\$4=0, .\$aa\$5,0)$
F	Servidor asignado	$@si(\$en > 0, \$ab\$5, @elegir(bn-1, \$x\$5, \$y\$5, \dots))$
G	Tiempo de servicio con el agente 1	$@si(fn=1, \text{generamos un número aleatorio y le asociamos el valor de la variable según la distribución a la que se ajuste, " "})$
H	...	
I	Tiempo de servicio con el agente S	$@si(fn=s, \text{generamos un número aleatorio y le asociamos el valor de la variable según la distribución a la que se ajuste, " "})$
J	Instante de salida	$+cn+@sum(gn.. n)+en$
K	¿Formó parte de la cola? (1=si,0=no)	$@si(en > 0, 1, 0)$
L	Tiempo en el sistema	$+jn-cn$
M	Tiempo de servicio	$+ln-en$

Tabla 1a. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia. (a, b, ...=extremos superiores de los intervalos en los que la distribución de los tiempos entre llegadas es estacionaria. α, β, \dots =extremos superiores de los intervalos en los que cambia el n° de servidores)

	W	X	Y	Z	AA	AB
1		Servidor 1	Servidor 2	...	@si(aa2=x2,1,@si(aa2=y2,2,3))	
2		@max(x7..x)	@max(y7..y)	...	@min(x2.. 2)	
3	@max(c1..ck)	\$w\$3-x2	@si(\$w\$3< α ,@w@3-y2,-1)	...		
4		@si(x3>0,1,0)	@si(y3>0,1,0)	...	@suma(x4.. 4)	
5		@si(x4=1,1,@si(y4=1,2,3))	@si(y4=1,2,@si(z4=1,3,4))	...	@si(aa4=0,@max(x3.. 3),0)	@si(aa5=x3,1,@si(aa5=y3,2,...))
6		Instante de salida del cliente atendido por el servidor 1	Instante de salida del cliente atendido por el servidor 2	...		
7		@si(gn<>0,jn,0)	@si(hn<>0,jn,0)	...		

Tabla 1b. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	AC	AD	AE	AF	AK
1	Posición 1	Posición 2	Posición 3	...	
2	@max(ac6..ac)	@max(ad6..ad)	@max(ae6..ae)	...	
3	+\$w\$3-ac2	+\$w\$3-ad2	+\$w\$3-ae2	...	
4	@si(ac3>0,1,0)	@si(ad3>0,1,0)	@si(ae3>0,1,0)	...	
5	Instante de salida del cliente n si ha entrado en cola	Instante de salida del cliente n+1 si ha entrado en cola	@suma(ac4.. 4)
6	@si(\$e\$3n<>0,cn+en,0)	@si(\$e\$3n+1<>0,(cn+1)+(en+1),0)	...		

Tabla 1c. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que ha sido simulado el sistema para el periodo en el que se presta servicio, y se ha determinado cada uno de los elementos descritos con anterioridad para cada cliente, se calcularan de forma automática, para el periodo completo y para cada uno de los subperiodos en los que el sistema es estacionario, los valores descritos en la Tabla 2.

Número de clientes que han entrado en el sistema: este valor está recogido en la última fila de la columna A de la Tabla 1a.

Número de clientes que han entrado en la línea de espera: obtendremos este valor sumando el número de veces que aparece un uno en la columna K de la Tabla 1a, vendrá recogido en la columna O de la Tabla 2.

Tiempo total en el sistema: sumaremos los tiempos que han permanecido los clientes en el sistema, los cuales vienen recogidos en la columna L de la Tabla 1a (columna P, Tabla 2).

Tiempo total en cola: sumaremos los tiempos en que han permanecido en línea de espera los clientes que han esperado antes de recibir el servicio, es decir, sumaremos la columna E de la Tabla 1a (columna Q de la Tabla 2).

Tiempo de servicio: obtendremos esta medida sumando el tiempo que se ha tardado en prestar el servicio a los diferentes clientes, para ello sumaremos la columna M de la Tabla 1a (columna R de la Tabla 2).

Tiempo total que permanecen los servidores desocupados: para determinar este elemento restaremos al tiempo total que están disponibles los servidores para atender a los clientes el tiempo total de servicio (columna S de la Tabla 2).

	N	O	P	Q	R	S
1	Nº sistema	Nº cola	T. sistema	T. cola	T. servicio	T. desocupados
2	@max(a1..a)	@suma(k1..k)	@suma(l1..l)	@suma(e1..e)	@suma(m1..m)	+T. total disponibles- r2

Tabla 2 Medidas contabilizadas. Fuente: Elaboración propia.

Al estar trabajando con un sistema que no es estacionario las medidas anteriormente obtenidas al ser contabilizadas para cada uno de los periodos en los que el sistema es estacionario deberán ser corregidas para cada cliente que llega en un periodo y parte en otro diferente. Para cada uno de ellos restaremos al instante de salida de los mismos el momento en que se produce el cambio de periodo con el fin de determinar cual es el porcentaje de los diferentes tiempos que corresponde a cada intervalo en el que el sistema es estacionario. Diferenciaremos entonces dos tipos de clientes: los que pasaron directamente a recibir servicio y los que entraron a formar parte de una línea de espera por encontrarse en el momento de su llegada al sistema con todos los agentes ocupados.

Para el primer tipo de clientes, sumaremos al tiempo total de servicio y al total en el sistema, del periodo en que se produjo la salida, el intervalo de tiempo anteriormente determinado, restándoselo a los mismos conceptos correspondientes al periodo en el que se produjo la entrada, mientras que para el segundo tipo de clientes deberán ser corregidos, además de los ya mencionados, los tiempos en la línea de espera, de tal forma, que si la diferencia entre el instante de salida y el del cambio de periodo es mayor que el tiempo de servicio del cliente correspondiente corregiremos el tiempo en cola por la parte en que el de servicio es superado, siguiendo el mismo método que el llevado a cabo para los anteriores.

Una vez que han sido recogidas y corregidas todas las magnitudes anteriormente mencionadas nos encontramos en disposición de determinar las medidas de efectividad del sistema tanto para el periodo completo como para cada uno de los subperiodos en los que el sistema es estacionario. Estas medidas vienen descritas a continuación, siendo,

$x_i \rightarrow$ Tiempo de servicio del cliente C_i .

$w_i \rightarrow$ Tiempo de espera en cola para el cliente C_i .

$s_i \rightarrow$ Tiempo en que permanecerá en el sistema el cliente C_i .

$h \rightarrow$ Tiempo total de servicio disponible.

$n \rightarrow$ Número total de clientes que han entrado en el sistema.

Donde i toman los valores: $i = 1, 2, \dots, n$;

Tiempo medio en el sistema:

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}$$

Tiempo medio en cola:

$$W_q = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}$$

Probabilidad que tiene un cliente de esperar:

$$\frac{\text{Número de clientes que esperan}}{n}$$

Probabilidad de que un servidor esté desocupado:

$$\frac{h - \sum_{i=1}^n x_i}{h}$$

Número medio de clientes en el sistema:

$$L_s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{h}$$

Número medio de clientes en la línea de espera:

$$L_q = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{h}$$

4. SIMULACION DE SISTEMAS CON CAPACIDAD LIMITADA CON LLEGADAS Y NUMERO DE SERVIDORES DEPENDIENTE DEL TIEMPO, CON ABANDONOS

En este epígrafe nos plantearemos la simulación de sistemas con las mismas características que los ya analizados, salvo que en este caso admitiremos la posibilidad de que un cliente que ha entrado en la línea de espera, por encontrarse en el momento de su entrada en el sistema con todos los agente ocupados, renuncie a recibir el servicio por considerar que ha permanecido demasiado tiempo en cola, es decir, suponemos que existen clientes que abandonan. Para determinar la forma en que los clientes abandonan se tendrá en cuenta, por un lado, el porcentaje de clientes que renuncian (tasa de abandonos), y el tiempo de espera antes de abandonar, por otro. Para la obtención de la tasa de abandonos se

considerará que el número que renuncia en un determinado periodo de tiempo es proporcional al número de clientes que se encuentran en línea de espera en ese mismo periodo.

En este caso, analizaremos los sistemas en los que la tasa de abandonos y el tiempo entre dos renunciaciones consecutivas son dependientes del tiempo. Suponiendo que esta última variable aleatoria se ajusta a una distribución general. Las características de estos fenómenos de espera vienen recogidas en la Figura 3.

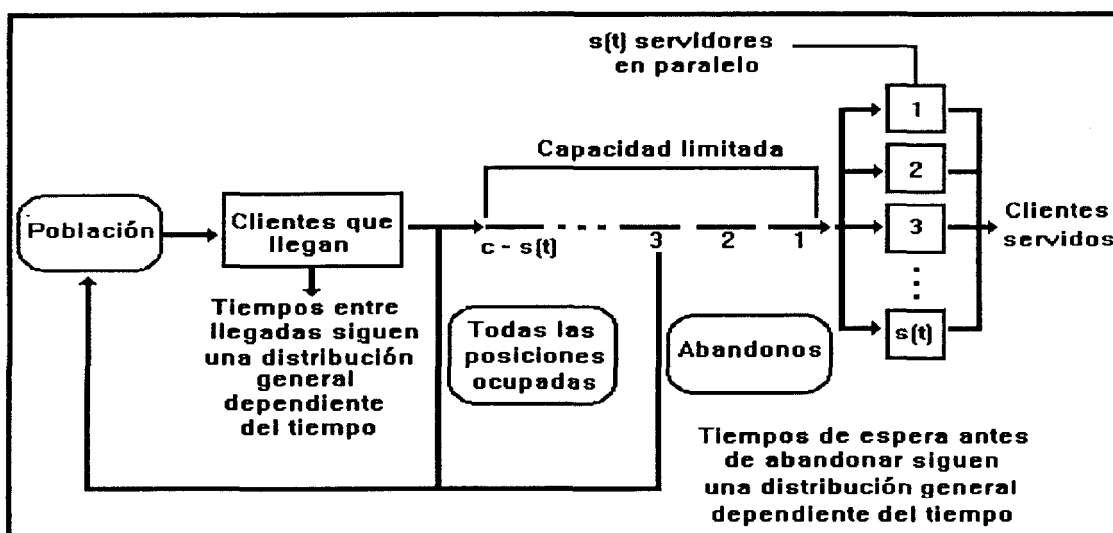


Figura 3. Características generales de los sistemas analizados. Fuente: Elaboración propia.

La simulación para estos sistemas la realizaremos como mostramos en la Figura 4. Si comparamos el diagrama del proceso de simulación con el epígrafe anterior, Figura 2, podemos observar que, una vez que el cliente ha entrado a formar parte de la línea de espera determinaremos si abandonará antes de que un servidor quede desocupado o por el contrario esperará hasta este momento. Para determinar en cual de las dos situaciones nos encontramos generaremos un número aleatorio, de tal forma que si el número generado es menor que la tasa individual de abandono, el cliente renunciará a recibir el servicio, en otro caso no saldrá del sistema hasta que éste le haya sido suministrado. El instante de

salida para los clientes que abandonan lo determinaremos sumándole al instante de llegada el tiempo de espera antes de renunciar, el cual generaremos a partir de las distribuciones genéricas a las que se ajusta esta variable.

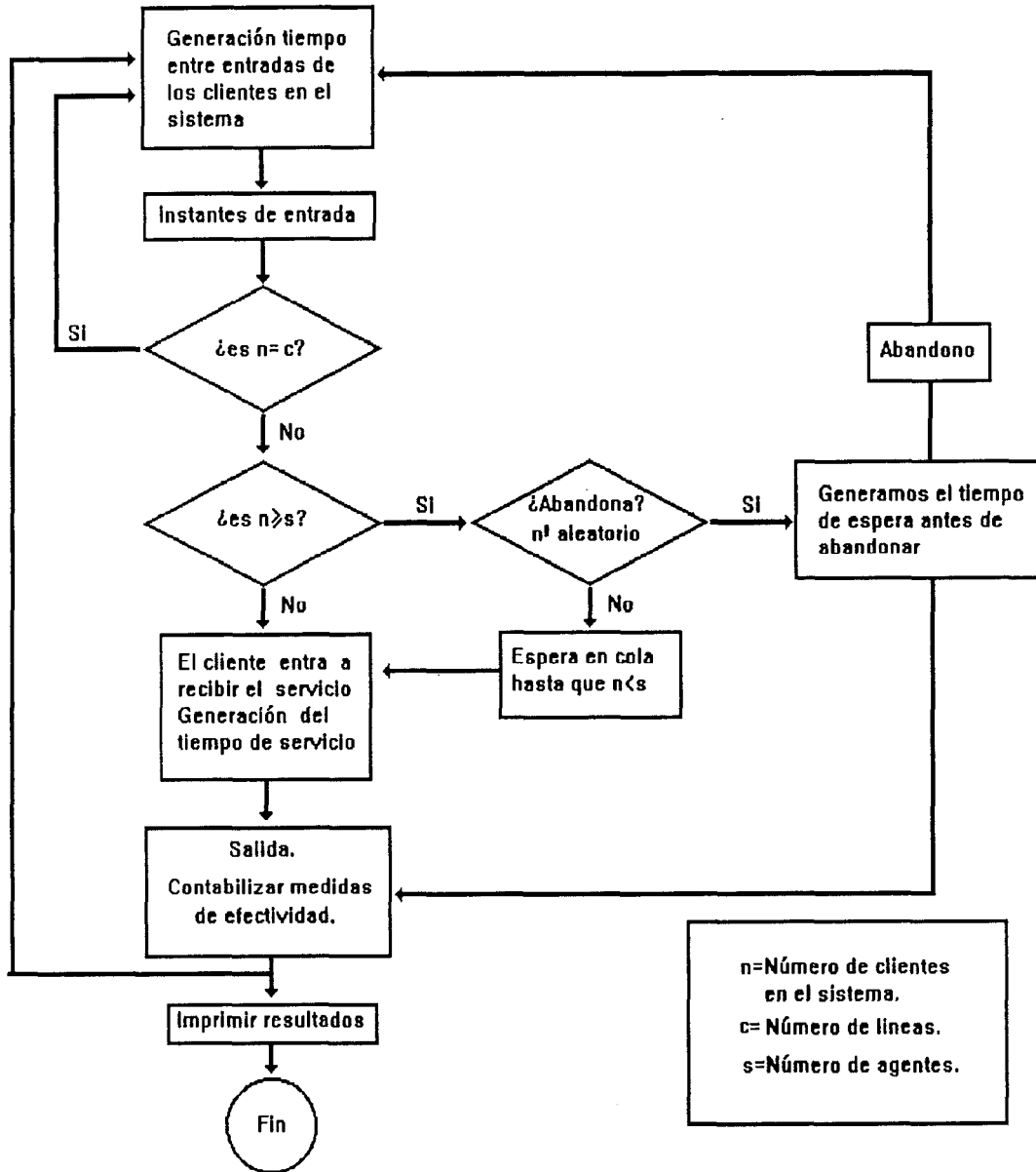


Figura 4. Diagrama del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

El hecho de que admitamos la posibilidad de que existan abandonos nos va a suponer que para llevar a cabo la simulación debamos considerar, además de los ya especificados, los elementos que describiremos a continuación (Tablas 3a, 3b y 3c).

Servidor asignado: Para este elemento procederemos de la misma forma que en los sistemas anteriormente simulados salvo en que en la columna F, de la Tabla 3a, colocaremos un cero cuando el cliente decida abandonar antes de recibir el servicio por considerar que ha permanecido demasiado tiempo en línea de espera, para ello generaremos un número aleatorio de tal forma que si es menor que la tasa de abandonos el cliente renunciará a recibir el servicio.

Tiempo en línea de espera: si en el momento en que se produce la entrada algún agente se encuentra desocupado el cliente pasará inmediatamente a recibir servicio siendo entonces el tiempo en cola igual a cero. En el caso contrario, se determinará el tiempo en cola restándole al instante en el que un servidor queda desocupado el instante en el que se produjo la entrada del cliente en el sistema (columna E, Tabla 3a). Para los clientes que abandonan, es decir cuando en la columna F (Tabla 3a) haya un cero, consideraremos el correspondiente a la columna K (Tabla 3a), tiempo de permanencia en el sistema antes de abandonar, el cual es generado a partir de las distribuciones de probabilidad a las que se ajusta esta variable aleatoria.

instante de salida: en este caso diferenciaremos:

a.- *Instante de salida de los clientes que reciben servicio,* para éste tipo de clientes determinamos el instante de salida sumándole al momento en que ha producido la entrada, el tiempo que ha permanecido la llamada en línea de espera y

el tiempo de servicio. Es decir, se obtiene sumándole el tiempo que el cliente se ha mantenido en el sistema (columna J, Tabla 3a).

b.- *Instante de salida de los clientes que abandonan*, obtenemos este momento del tiempo sumándole al instante de entrada de este tipo de clientes el tiempo de espera antes de abandonar, determinado anteriormente. En este caso el tiempo en el sistema coincidirá con el tiempo de espera antes de abandonar y con el tiempo en cola, ya que estos clientes no reciben servicio (columna L, Tabla 3a).

En la columna M de la Tabla 3a colocaremos un uno cuando el cliente haya entrado en la línea de espera y no haya decidido no abandonar, mientras que en caso contrario, renuncie a recibir el servicio, colocaremos un uno en la columna N.

Una vez que ha sido simulado el sistema para el periodo en el que se presta servicio, y se ha determinado cada uno de los elementos descritos con anterioridad para cada cliente, se calcularán para el periodo completo y para cada uno de los subperiodos además de las magnitudes ya descritas los siguientes valores (Tabla 4):

Número de clientes que reciben servicio: se calculará restando a la última fila de la columna A de la Tabla 3a el número de clientes que han abandonado (columna B, Tabla 4). Este valor está recogido en la columna D de la Tabla 4.

Número de clientes que esperan y no abandonan: sumaremos la columna M de la Tabla 3a (columna C de la Tabla 4).

	Columna en la hoja de cálculo	Fila n en la hoja de cálculo
A	Número	$+(an-1)+1$
B	Servidor asignado	$@si(cn-1 < \alpha, @si(bn-1=1,2, @si(bn-1=2,3,...)))$
C	Instante de llegada	$+cn-1+ @si(cn-1 < a, \text{ generamos un número aleatorio y le asociaremos el valor correspondiente de la variable según la distribución a la que se ajusta en el primer subperiodo, } @si(cn-1 < b, \text{ generamos un número aleatorio y le asociaremos el valor correspondiente de la variable según la distribución a la que se ajusta en el segundo subperiodo,...}))$
D	Número de clientes en el sistema	$@si(cn \leq \alpha, (\text{nº de servidores disponibles en el 1º subperiodo-aa4+capacidad en el 1º subperiodo-ak4, } @si(cn \leq \beta, (\text{nº de servidores disponibles en el 2º subperiodo-aa4+capacidad en el 2º subperiodo-ak4,...}))$
E	Tiempo en cola	$@si(\$aa\$4=0, \$aa\$5,0)$
F	Servidor asignado	$@si(\$en < 0, @si(cn-3 < 1, @si(\text{nº aleatorio generado} > \text{tasa individual de abandono 1º subperiodo, } \$ab\$5,0), @si(cn-3 < 2, @si(\text{nº aleatorio generado} > \text{tasa individual de abandono 2º subperiodo, } \$ab\$5,0),...))) , @elegir(bn-1, \$x\$5, \$y\$5, ...)$
G	Tiempo de servicio con el agente 1	$@si(fn=1, \text{ generamos un número aleatorio y le asociamos el valor de la variable según la distribución a la que se ajuste, " "})$
H	...	
I	Tiempo de servicio con el agente S	$@si(fn=s, \text{ generamos un número aleatorio y le asociamos el valor de la variable según la distribución a la que se ajuste, " "})$
J	Instante de salida para los que reciben servicio	$@si(fn < 0, +cn + @sum(gn.. n) + en, 0)$
K	Tiempo en cola para los que abandonan	$@si(fn=0, @si(cn < 1, \text{ generamos un número aleatorio y le asociamos el tiempo de espera antes de abandonar según la distribución a la que se ajusta el 1º subperiodo en el que es estacionaria, } @si(cn < 2, \text{ generamos un número aleatorio y le asociamos el tiempo de espera antes de abandonar según la distribución a la que se ajusta el 2º subperiodo en el que es estacionaria,...})), 0)$

L	Instante de salida para los que abandonan	@si(fn=0, kn+cn, 0)
M	¿Formó parte de la cola y no abandono? (1=si, 0=no)	@si(en<>0, #y#fn<>0, 1, 0)
N	¿Abandono? (1=si, 0=no)	@si(fn=0, 1, 0)
O	Tiempo en el sistema para los que reciben servicio	@si(fn<>0, +jn-cn, 0)
P	Tiempo en cola para los que no abandonan	@si(fn<>0, en, 0)
Q	Tiempo de servicio para los que no abandonan	@si(fn<>0, on-en, 0)

Tabla 3a. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia

(a, b, ...=extremos superiores de los intervalos en los que la distribución de los tiempos entre llegadas es estacionaria. α , β , ...=extremos superiores de los intervalos en los que cambia el n° de servidores. 1, 2, ...=extremos superiores de los intervalos en los que las tasas individuales de abandono y las distribuciones de tiempos de espera en cola antes de abandonar son estacionarias)

	W	X	Y	Z	AA	AB
1		Servidor 1	Servidor 2	...	@si(aa2=x2,1,@si(aa2=y2,2,3))	
2		@max(x7..x)	@max(y7..y)	...	@min(x2.. 2)	
3	@max(c1..ck)	\$w\$3-x2	@si(\$w\$3< α ,@w@3-y2,-1)	...		
4		@si(x3>0,1,0)	@si(y3>0,1,0)	...	@suma(x4.. 4)	
5		@si(x4=1,1,@si(y4=1,2,3))	@si(y4=1,2,@si(z4=1,3,4))	...	@si(aa4=0,@max(x3.. 3),0)	@si(aa5=x3,1,@si(aa5=y3,2,...))
6		Instante de salida del cliente atendido por el servidor 1	Instante de salida del cliente atendido por el servidor 2	...		
7		@si(gn<>0,jn,0)	@si(hn<>0,jn,0)	...		

Tabla 3b. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	AC	AD	AE	AF	AK
1	Posición 1	Posición 2	Posición 3	...	
2	@max(ac6..ac)	@max(ad6..ad)	@max(ae6..ae)	...	
3	+\$w\$3-ac2	+\$w\$3-ad2	+\$w\$3-ae2	...	
4	@si(ac3>0,1,0)	@si(ad3>0,1,0)	@si(ae3>0,1,0)	...	
5	Instante de salida del cliente n si ha entrado en cola	Instante de salida del cliente n+1 si ha entrado en cola	@suma(ac4.. 4)
6	@si(en<>0#y#fn<>0,cn+en,@si(en<>0#y#fn=0,l5,0)		

Tabla 3c. Descripción del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

Número de clientes que abandonan: en este caso determinaremos este valor sumando, bien el número de veces que en la columna F de la Tabla 3a nos encontramos con un cero, o bien, sumando la columna N de la misma tabla (columna B de la Tabla 4).

Número total de clientes que esperan: para su obtención sumaremos al número de clientes que esperan y reciben servicio el número de ellos que abandonan, valores que ya han sido determinados con anterioridad (columna A de la Tabla 4).

Tiempo total en el sistema de los clientes que no abandonan: sumaremos los tiempos que han permanecido en el sistema los clientes que han recibido servicio, es decir, la columna O de la Tabla 3a (columna H de la Tabla 4).

Tiempo en el sistema de los clientes que si abandonan: se obtendrá sumando los tiempos en el sistema de estos clientes (columna K, Tabla 3a), no debemos olvidar que estos coincidirán con sus tiempos en la línea de espera (columna F de la Tabla 4).

Tiempo en cola de los clientes que reciben servicio: sumaremos la columna P de Tabla 3a (columna G de la Tabla 4).

Tiempo total en cola: sumaremos los tiempos en cola tanto de los clientes que reciben servicio como los de los clientes que renuncian a ello, es decir, sumaremos las dos últimas magnitudes determinadas (columna E de la Tabla 4).

Tiempo que permanecen los agentes desocupados: le restaremos al tiempo total disponible para suministrar servicio el tiempo que han permanecido ocupados (columna Q, Tabla 4), recogeremos este valor en la columna I de la Tabla 4.

Al igual que en los sistemas anteriormente analizados estas medidas deberán ser corregidas para cada cliente que llega en un periodo y parte en otro diferente. En este caso, además de los mencionados corregiremos los tiempos en el sistema y los de espera antes de abandonar de los clientes que renuncian a recibir el servicio por considerar que han permanecido demasiado tiempo en línea de espera (no debemos olvidar que ambos coinciden).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nº Total que esper.	Nº Total que aband	Nº Total que esper. y no aband.	Nº Total Servid.	T.total en cola	Tiempo total en el sistema para los que aband.	Tiempo total en cola para los que no aband.	Tiempo total en el sistema para los que no aband.	Tiempo total que los servidor. están desocup.	Tiempo total de servic.
2	=b2+c2	@suma (n1..n)	@suma (m1..m)	@max(a1 ..a)-b2	=f2+g2	@suma (k1..k)	@suma (p1..p)	@suma (o1..o)	T. Total- j2	@suma (q1..q)

Tabla 4. Valores contabilizados. Fuente: Elaboración propia

Una vez que han sido recogidas y corregidas todas las magnitudes anteriormente mencionadas nos encontramos en disposición de determinar las medidas de efectividad del sistema tanto para el periodo completo como para cada uno de los subperiodos en los que el sistema es estacionario. A continuación describiremos aquellas medidas que difieren, al aceptar la existencia de clientes que abandonan, de las ya determinadas, siendo:

$x_i \rightarrow$ Tiempo de servicio del cliente C_i .

$w_i^e \rightarrow$ Tiempo de espera en cola para el cliente C_i siendo este un cliente que ha recibido servicio.

$w_j^a \rightarrow$ Tiempo de espera en cola para el cliente C_j , siendo este un cliente que ha abandonado. Este tiempo coincidirá con el total en el sistema.

$s_i^e \rightarrow$ Tiempo en que permanecerá en el sistema el cliente C_i , siendo un cliente al que se le ha suministrado servicio.

$h \rightarrow$ Tiempo total de servicio disponible.

$n \rightarrow$ Número total de clientes que han entrado en el sistema.

$p \rightarrow$ Número total de clientes que han abandonado.

$m \rightarrow$ Número total de clientes que reciben servicio.

Donde i y j toman los valores: $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, p$

Tiempo medio en el sistema:

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^m s_i^e + \sum_{j=1}^p w_j^a}{n}$$

Tiempo medio en el sistema para los que reciben servicio:

$$W_s^e = \frac{\sum_{i=1}^m s_i^e}{m}$$

Tiempo medio en cola:

$$W_q = \frac{\sum_{i=1}^m w_i^e + \sum_{j=1}^p w_j^a}{n}$$

Tiempo medio en cola para los clientes que no abandonan:

$$W_q^e = \frac{\sum_{i=1}^m w_i^e}{m}$$

Tiempo medio en cola para los clientes que abandonan:

$$W_q^a = \frac{\sum_{j=1}^p w_j^a}{p}$$

Tiempo medio de servicio:

$$\frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

Probabilidad que tiene un cliente al que le es suministrado el servicio de esperar:

$$\frac{\text{Número de clientes que esperan y reciben servicio}}{m}$$

Probabilidad de que un servidor esté desocupado:

$$\frac{h - \sum_{i=1}^m x_i}{h}$$

Número medio de clientes en el sistema:

$$L_s = \frac{\sum_{i=1}^m s_i^e + \sum_{j=1}^p w_j^a}{h}$$

Número medio de clientes en el sistema que reciben servicio:

$$L_s^e = \frac{\sum_{i=1}^m S_i^e}{h}$$

Número medio de clientes en la línea de espera:

$$L_q = \frac{\sum_{i=1}^m w_i^e + \sum_{j=1}^p w_j^a}{h}$$

Número medio de clientes en la línea de espera de los que reciben servicio:

$$L_q^e = \frac{\sum_{i=1}^m w_i^e}{h}$$

Número medio de clientes en la línea de espera de los que abandonan:

$$L_q^a = \frac{\sum_{j=1}^p w_j^a}{h}$$

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Para finalizar mostramos los resultados obtenidos a partir de la simulación del funcionamiento de un sistema con las características presentadas, a través del procedimiento descrito, en primer lugar suponiendo implícitamente que todos los clientes que entran en el sistema esperan hasta que les haya sido completado el servicio (Tablas 8a, 8b y 8c) y en segundo lugar admitiendo la posibilidad de que un cliente decida abandonar por considerar que ha permanecido demasiado tiempo en línea de espera (Tablas 9a, 9b y 9c).

En ambos casos hemos supuesto que: (a) el número de servidores que suministran servicio en los diferentes momentos de tiempo son los recogidos en la Tabla 5; (b) los periodos de tiempo en los que las distribuciones a las que se ajusta la variable "tiempo transcurrido entre dos llegadas sucesivas" son estacionarias se recogen en la Tabla 6; (c) los intervalos de tiempo en los que la tasa individual de abandono es constante y las distribuciones a las que se ajustan los tiempos de espera en cola antes de renunciar a recibir el servicio son estacionarias, se muestran en la Tabla 7.

Periodo horario	Número de servidores
9:00-15:00	3
15:00-19:00	2
10:00-22:00	1

Tabla 5. Número de servidores. Fuente: Elaboración propia.

Número de tramo	Tramo horario
Primero	09:00:00 - 09:59:59
Segundo	10:00:00 - 10:59:59
Tercero	11:00:00 - 13:59:59
Cuarto	14:00:00 - 14:29:59
Quinto	14:30:00 - 14:59:59
Sexto	15:00:00 - 17:29:59
Séptimo	17:30:00 - 18:59:59
Octavo	19:00:00-19:29:59
Noveno	19:30:00 - 19:59:59
Décimo	20:00:00 - 20:59:59
Onceavo	21:00:00 - 21:59:59

Tabla 6. Periodos en los que las distribuciones de los tiempos entre entradas son estacionarias. Fuente: Elaboración propia.

Número de tramo	Tramo horario
Primer	09:00:00 - 10:59:59
Segundo	11:00:00 - 14:29:59
Tercero	14:30:00 - 14:59:59
Cuarto	15:00:00 - 17:29:59
Quinto	17:30:00 - 19:59:59
Sexto	20:00:00 - 21:59:59

Tabla 7. Periodos en los que las tasas de abandonos son constantes y las distribuciones de los tiempos de espera antes de abandonar son estacionarias.

Fuente: Elaboración propia.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
n	Sa	Instante Entrada	N Linea	Tiempo Cola	S	S1	S2	S3	Instante Salida	N Cola	Tiempo Sistema	Tiempo Servicio
1	1	09:00:00	1	00:00:00	1	00:02:20			09:02:20	0	00:02:20	00:02:20
2	2	09:03:40	1	00:00:00	2		00:04:17		09:07:57	0	00:04:17	00:04:17
3	3	09:03:40	2	00:00:00	3			00:00:10	09:03:51	0	00:00:10	00:00:10

32	2	10:27:20	7	00:05:14	1	00:03:24			10:35:57	1	00:08:37	00:08:37
33	3	10:30:18	6	00:02:43	2		00:03:50		10:36:51	1	00:06:33	00:06:33
34	1	10:33:17	4	00:01:39	3			00:03:39	10:38:35	1	00:05:18	00:05:18
35	2	10:35:30	4	00:00:27	1	00:03:50			10:39:46	1	00:04:17	00:04:17
36	3	10:38:28	3	00:00:00	2		00:05:22		10:43:50	0	00:05:22	00:05:22

Tabla 8a. Resultados obtenidos en el proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	N	O	P	Q	R	S
	Número	Nº esperan	T.T. Cola	T.T. Sistema	T.T. Servicio	T.T. Desocup.
9:00-9:59	18	1	00:00:11	01:14:30	01:38:13	01:29:09
10:00-10:59	25	7	00:18:19	01:50:54	02:05:29	01:27:29
11:00-13:59	77	7	00:09:51	04:58:50	01:52:31	07:39:00

Tabla 8b. Medidas obtenidas del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	T. M. Cola	T. M. Servicio	T. M. Sistema	P. Esperar	P. Desocup.	N. M. Sistema	N. M. Cola
10:00:00	00:00:13	00:03:34	00:03:47	15,00%	60,38%	0,4210	0,0248
11:00:00	00:00:10	00:02:54	00:03:04	10,71%	54,93%	0,4776	0,0270
14:00:00	00:00:40	00:03:35	00:04:15	26,14%	41,55%	0,6922	0,1077
14:30:00	00:00:16	00:02:07	00:02:23	25,00%	62,34%	0,4228	0,0462
15:00:00	00:00:20	00:04:43	00:05:03	16,67%	37,13%	0,6726	0,0439
17:30:00	00:00:24	00:03:43	00:04:06	16,00%	69,09%	0,3419	0,0328
19:00:00	00:01:32	00:03:03	00:04:34	43,33%	49,29%	0,7615	0,2544
19:30:00	00:02:05	00:07:40	00:09:45	50,00%	0,00%	1,2728	0,2728
20:00:00	00:00:00	00:01:51	00:01:51	0,00%	62,90%	0,3710	0,0000
21:00:00	00:01:19	00:04:21	00:05:39	40,00%	27,62%	0,9422	0,2184
22:00:00	00:00:00	00:03:54	00:03:54	0,00%	80,48%	0,1952	0,0000
	00:00:38	00:03:28	00:04:06	23,97%	51,77%	0,5700	0,0877

Tabla 8c. Medidas de efectividad obtenidas a partir del proceso de simulación.

Fuente: Elaboración propia.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
n	S	Instante de Entrada	N	Tiempo en línea de espera	S	Tiempo de servicio para el servid. 1	Tiempo de servicio para el servid. 2	Tiempo de servicio para el servid. 3	Instante salida para los que no aband.	Tiempo espera antes de aband.	Instante salida para los que aband.	A	C	Tiempo en el sistema para los clientes que esperan	Tiempo en cola para los clientes que esperan	Tiempo de Servicio
1	1	09:00:00	1	00:00:00	1	00:02:04			09:02:04	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:04	00:00:00	00:02:04
2	2	09:00:00	2	00:00:00	2		00:08:55		09:08:55	00:00:00	00:00:00	0	0	00:08:55	00:00:00	00:08:55
3	3	09:04:22	2	00:00:00	3			00:04:04	09:08:26	00:00:00	00:00:00	0	0	00:04:04	00:00:00	00:04:04
4	1	09:08:00	3	00:00:00	1	00:02:05			09:10:05	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:05	00:00:00	00:02:05
5	2	09:10:38	1	00:00:00	2		00:06:16		09:16:54	00:00:00	00:00:00	0	0	00:06:16	00:00:00	00:06:16

.....

122	2	11:57:44	5	00:01:34	0				00:00:00	00:01:15	11:58:59	1	0	00:00:00	00:00:00	00:00:00
123	3	11:58:51	6	00:00:27	2		00:01:12		12:00:31	00:00:00	00:00:00	0	1	00:01:39	00:00:27	00:01:12
124	1	12:00:21	4	00:00:09	0				00:00:00	00:00:08	12:00:30	1	0	00:00:00	00:00:00	00:00:00
125	2	12:02:14	3	00:00:00	2		00:02:49		12:05:03	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:49	00:00:00	00:02:49
126	3	12:03:44	4	00:00:03	0				00:00:00	00:00:01	12:03:45	1	0	00:00:00	00:00:00	00:00:00
127	1	12:04:51	2	00:00:00	1	00:01:58			12:06:49	00:00:00	00:00:00	0	0	00:01:58	00:00:00	00:01:58

.....

265	1	15:01:24	2	00:00:00	2		00:02:03		15:03:27	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:03	00:00:00	00:02:03
266	2	15:01:24	3	00:02:03	0				00:00:00	00:02:01	15:03:25	1	0	00:00:00	00:00:00	00:00:00
267	1	15:04:46	2	00:00:00	2		00:06:48		15:11:34	00:00:00	00:00:00	0	0	00:06:48	00:00:00	00:06:48
268	2	15:08:09	2	00:00:00	1	00:01:11			15:09:20	00:00:00	00:00:00	0	0	00:01:11	00:00:00	00:01:11
269	1	15:13:24	1	00:00:00	1	00:03:49			15:17:13	00:00:00	00:00:00	0	0	00:03:49	00:00:00	00:03:49

332	1	19:20:39	1	00:00:00	1	00:02:04			19:22:43	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:04	00:00:00	00:02:04
333	1	19:26:54	1	00:00:00	1	00:02:50			19:29:44	00:00:00	00:00:00	0	0	00:02:50	00:00:00	00:02:50
334	1	19:26:54	2	00:02:50	0				00:00:00	00:01:15	19:28:09	1	0	00:00:00	00:00:00	00:00:00
335	1	19:30:54	1	00:00:00	1	00:06:23			19:37:17	00:00:00	00:00:00	0	0	00:06:23	00:00:00	00:06:23

.....
Tabla 9a. Resultados obtenidos en el proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Nº Total que esper.	Nº Total que aband	Nº Total que esper. y no aband.	Nº Total Servidos	Tiempo total en cola	Tiempo total en el sistema para los que aband.	Tiempo total en cola para los que no aband.	Tiempo total en el sistema para los que no aband.	Tiempo total que los servidores están desocup.	Tiempo total de servicio
10:00:00	3	2	1	29	00:02:03	00:01:24	00:00:39	01:32:54	01:27:46	01:32:14
11:00:00	5	0	5	35	00:07:46	00:00:00	00:07:46	01:40:17	01:27:29	01:32:31
14:00:00	105	34	71	140	02:25:39	00:36:28	01:49:10	09:33:08	01:16:03	07:43:57
14:30:00	4	1	3	15	00:04:24	00:00:58	00:03:27	00:49:46	00:43:40	00:46:20
15:00:00	6	2	4	17	00:09:20	00:01:55	00:07:25	01:04:14	00:33:11	00:56:49
17:30:00	8	2	6	27	00:15:02	00:02:06	00:12:57	02:16:24	02:56:33	02:03:27
19:00:00	22	8	14	35	00:39:02	00:11:55	00:27:08	02:09:45	01:17:22	01:42:38
19:30:00	6	3	3	6	00:30:07	00:08:48	00:21:19	00:50:50	00:00:28	00:29:32
20:00:00	2	0	2	6	00:02:08	00:00:00	00:02:08	00:15:16	00:16:52	00:13:08
21:00:00	2	0	2	5	00:11:02	00:00:00	00:11:02	00:33:07	00:37:54	00:22:06
22:00:00	3	1	2	6	00:04:18	00:01:45	00:02:33	00:19:46	00:42:47	00:17:13

Tabla 9b. Medidas obtenidas del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

	Tiempo medio en cola. Total	Tiempo medio en cola. Reciben servicio	Tiempo medio en cola. Aband.	Tiempo medio de servicio	Tiempo medio en el sistema. Total	Tiempo medio en el sistema. Reciben servicio	Prob. de esperar. Reciben servicio	Prob. Desocup.	Número medio en el sistema. Total	Número medio en el sistema. Reciben servicio	Número medio en cola. Total	Número medio en cola. Aband.	Número medio en cola. Reciben servicio	Prob. de esperar. Total
10:00:00	0:00:04	0:00:01	0:00:42	0:03:11	0:03:03	0:03:12	3,45%	48,76%	0,5239	0,5161	0,0114	0,0078	0,0036	9,68%
11:00:00	0:00:13	0:00:13	0:00:00	0:02:39	0:02:52	0:02:52	14,29%	48,60%	0,5571	0,5571	0,0431	0,0000	0,0431	14,29%
14:00:00	0:00:50	0:00:47	0:01:04	0:03:19	0:03:30	0:04:06	50,71%	14,08%	1,1289	1,0614	0,2697	0,0675	0,2022	60,34%
14:30:00	0:00:17	0:00:14	0:00:58	0:03:05	0:03:10	0:03:19	20,00%	48,52%	0,5637	0,5530	0,0489	0,0107	0,0383	25,00%
15:00:00	0:00:29	0:00:26	0:00:58	0:03:21	0:03:29	0:03:47	23,53%	36,87%	0,7350	0,7137	0,1037	0,0213	0,0824	31,58%
17:30:00	0:00:31	0:00:29	0:01:03	0:04:34	0:04:47	0:05:03	22,22%	58,85%	0,4617	0,4547	0,0501	0,0070	0,0432	27,59%
19:00:00	0:00:54	0:00:47	0:01:29	0:02:56	0:03:18	0:03:42	40,00%	42,98%	0,7870	0,7208	0,2169	0,0662	0,1507	51,16%
19:30:00	0:03:21	0:03:33	0:02:56	0:04:55	0:06:38	0:08:28	50,00%	1,56%	1,9878	1,6944	1,0039	0,2933	0,7106	66,67%
20:00:00	0:00:21	0:00:21	0:00:00	0:02:11	0:02:33	0:02:33	33,33%	56,22%	0,5089	0,5089	0,0711	0,0000	0,0711	33,33%
21:00:00	0:02:12	0:02:12	0:00:00	0:04:25	0:06:37	0:06:37	40,00%	63,17%	0,5519	0,5519	0,1839	0,0000	0,1839	40,00%
22:00:00	0:00:37	0:00:26	0:01:45	0:02:52	0:03:04	0:03:18	33,33%	71,31%	0,3586	0,3294	0,0717	0,0292	0,0425	42,86%

Figura 9c. Medidas de efectividad obtenidas a partir del proceso de simulación. Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

ADAMIS, E. (1988): **Lotus 1-2-3 adaptado a la realase 2**. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia.

BANKS, J. y CARSON, J. (1984): **Discrete-Event System Simulation**. New Jersey: Prentice-Hall.

BARBA-ROMERO CASILLAS, S. (1985): **Métodos de simulación**. Madrid: Instituto Nacional de Administración Pública.

BERNAL GARCIA, J. J. (1991): **Simulación de un modelo real de circulación de documentos administrativos**. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Murcia.

CAMPBELL, M. (1992): **1-2-3 Versión 3.1 Manual de referencia**. Madrid: Osborne McGraw-Hill.

- (1993): **1-2-3 para Windows. A su alcance**. Madrid: Osborne McGraw-Hill.

CUATRECASAS ARBOS, L. (1992): **Utilización eficaz y práctica del PC en la Administración y Gestión de Empresas. Tomo II: aplicaciones empresariales con WordPerfect 5.1, Lotus 1-2-3 vs. 2.2 y 3, y dBASE III Plus y IV**. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia.

DAVIS, R. (1994): "Simulation for Planning Services for Patients with Coronary Artery Disease". **European Journal of Operations Research**. Vol. 71, pp. 323-332.

ESCUADERO, L. (1973): **La simulación en la empresa**. Bilbao: Ediciones Deusto.

FISHMAN, G. (1973): " Statistical Analysis for Queueing Simulations". **Management Science**. Vol 20, Nº 3, pp. 363-369.

GORDON, G. (1980): **Simulación de sistemas**. Mexico: Editorial Diana.

HALL, R. (1991): **Queueing Methods for Service and Manufacturing**. New Jersey: Prentice Hall.

HARTNELL, T. (1985): **Simulaciones. Replica la realidad con tu ordenador**. Madrid: Ediciones Anaya.

LAW, A. y KELTON, W. (1991): **Simulation Modeling & Analysis. Second Edition.** New York: McGraw-Hill.

LOPEZ ARES, S. (1994): **Centros de recepción de llamadas y fenómenos de espera: modelización y simulación.** Tesis doctoral presentada en la Universidad de Oviedo.

McHANEY, R. (1991): **Computer Simulation. A Practical Perspective.** San Diego: Academic Press.

MEIER, R., NEWELL, W. y PAZER, H. (1975): **Técnicas de simulación en administración y en economía.** Mexico: Editorial Trillas.

NAYLOR, T. (1977): **Experimentos de simulación en computadoras con modelos de sistemas económicos.** México: Editorial Limusa.

NOSOTTI, A. (1989): **Previsión, simulación y planificación con Lotus 1-2-3.** Madrid: Grupo Editorial Jackson.

PARDO, L. y VALDES, T. (1987): **Simulación. Aplicaciones prácticas en la empresa.** Madrid: Ediciones Diaz de Santos.

PFLUG, G. y DIETER, U. (Ed.): **Simulation and Optimization.** Berlin: Springer-Verlag.

WHICKER, M. y SIGELMAN, L. (1991): **Computer Simulation Applications. An Introduction.** Newbury Park, California: Sage Publications.

WHIGHAM, D. (1992): **Business Applications for Lotus 1-2-3 Macros.** London: Academic Press.

WHITT, W. (1989): "Planning Queueing Simulations". **Management Science.** Vol 35, Nº 11, pp.1341-1365.

WIDMAN, L. y LOPARO, K. (1990): "Artificial Intelligence, Simulation and Modeling". **Interfaces.** Vol 20, Nº 2, pp. 48-66.

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
RELACION DE DOCUMENTOS DE TRABAJO:

- Doc. 001/88 JUAN A. VAZQUEZ GARCIA.- Las intervenciones estatales en la minería del carbón.
- Doc. 002/88 CARLOS MONASTERIO ESCUDERO.- Una valoración crítica del nuevo sistema de financiación autonómica.
- Doc. 003/88 ANA ISABEL FERNANDEZ ALVAREZ; RAFAEL GARCIA RODRIGUEZ; JUAN VENTURA VICTORIA.- Análisis del crecimiento sostenible por los distintos sectores empresariales.
- Doc. 004/88 JAVIER SUAREZ PANDIELLO.- Una propuesta para la integración multijurisdiccional.
- Doc. 005/89 LUIS JULIO TASCÓN FERNANDEZ; JOSE MANUEL DIEZ MODINO.- La modernización del sector agrario en la provincia de León.
- Doc. 006/89 JOSE MANUEL PRADO LORENZO.- El principio de gestión continuada: Evolución e implicaciones.
- Doc. 007/89 JAVIER SUAREZ PANDIELLO.- El gasto público del Ayuntamiento de Oviedo (1982-88).
- Doc. 008/89 FELIX LOBO ALEU.- El gasto público en productos industriales para la salud.
- Doc. 009/89 FELIX LOBO ALEU.- La evolución de las patentes sobre medicamentos en los países desarrollados.
- Doc. 010/90 RODOLFO VAZQUEZ CASIELLES.- Investigación de las preferencias del consumidor mediante análisis de conjunto.
- Doc. 011/90 ANTONIO APARICIO PEREZ.- Infracciones y sanciones en materia tributaria.
- Doc. 012/90 MONTSERRAT DIAZ FERNANDEZ; CONCEPCION GONZALEZ VEIGA.- Una aproximación metodológica al estudio de las matemáticas aplicadas a la economía.
- Doc. 013/90 EQUIPO MECO.- Medidas de desigualdad: un estudio analítico
- Doc. 014/90 JAVIER SUAREZ PANDIELLO.- Una estimación de las necesidades de gastos para los municipios de menor dimensión.
- Doc. 015/90 ANTONIO MARTINEZ ARIAS.- Auditoría de la información financiera.
- Doc. 016/90 MONTSERRAT DIAZ FERNANDEZ.- La población como variable endógena
- Doc. 017/90 JAVIER SUAREZ PANDIELLO.- La redistribución local en los países de nuestro entorno.
- Doc. 018/90 RODOLFO GUTIERREZ PALACIOS; JOSE MARIA GARCIA BLANCO.- "Los aspectos invisibles" del declive económico: el caso de Asturias.
- Doc. 019/90 RODOLFO VAZQUEZ CASIELLES; JUAN TRESPALACIOS GUTIERREZ.- La política de precios en los establecimientos detallistas.
- Doc. 020/90 CANDIDO PAÑEDA FERNANDEZ.- La demarcación de la economía (seguida de un apéndice sobre su relación con la Estructura Económica).

- Doc. 021/90 **JOAQUIN LORENCES.**- Margen precio-coste variable medio y poder de monopolio.
- Doc. 022/90 **MANUEL LAFUENTE ROBLEDO; ISIDRO SANCHEZ ALVAREZ.**- El T.A.E. de las operaciones bancarias.
- Doc. 023/90 **ISIDRO SANCHEZ ALVAREZ.**- Amortización y coste de préstamos con hojas de cálculo.
- Doc. 024/90 **LUIS JULIO TASCÓN FERNÁNDEZ; JEAN-MARC BUIGUES.**- Un ejemplo de política municipal: precios y salarios en la ciudad de León (1613-1813).
- Doc. 025/90 **MYRIAM GARCÍA OLALLA.**- Utilidad de la teorías de las opciones para la administración financiera de la empresa.
- Doc. 026/91 **JOAQUIN GARCIA MURCIA.**- Novedades de la legislación laboral (octubre 1990 - enero 1991)
- Doc. 027/91 **CANDIDO PAÑEDA.**- Agricultura familiar y mantenimiento del empleo: el caso de Asturias.
- Doc. 028/91 **PILAR SAENZ DE JUBERA.**- La fiscalidad de planes y fondos de pensiones.
- Doc. 029/91 **ESTEBAN FERNÁNDEZ SANCHEZ.**- La cooperación empresarial: concepto y tipología (*)
- Doc. 030/91 **JOAQUIN LORENCES.**- Características de la población parada en el mercado de trabajo asturiano.
- Doc. 031/91 **JOAQUIN LORENCES.**- Características de la población activa en Asturias.
- Doc. 032/91 **CARMEN BENAVIDES GONZÁLEZ.**- Política económica regional
- Doc. 033/91 **BENITO ARRUÑADA SANCHEZ.**- La conversión coactiva de acciones comunes en acciones sin voto para lograr el control de las sociedades anónimas: De cómo la ingenuidad legal prefigura el fraude.
- Doc. 034/91 **BENITO ARRUÑADA SANCHEZ.**- Restricciones institucionales y posibilidades estratégicas.
- Doc. 035/91 **NURIA BOSCH; JAVIER SUÁREZ PANDIELLO.**- Seven Hypotheses About Public Choice and Local Spending. (A test for Spanish municipalities).
- Doc. 036/91 **CARMEN FERNÁNDEZ CUERVO; LUIS JULIO TASCÓN FERNÁNDEZ.**- De una olvidada revisión crítica sobre algunas fuentes histórico-económicas: las ordenanzas de la gobernación de la cabecera.
- Doc. 037/91 **ANA JESUS LOPEZ; RIGOBERTO PÉREZ SUÁREZ.**- Indicadores de desigualdad y pobreza. Nuevas alternativas.
- Doc. 038/91 **JUAN A. VÁZQUEZ GARCÍA; MANUEL HERNÁNDEZ MUÑOZ.**- La industria asturiana: ¿Podemos pasar la página del declive?.
- Doc. 039/92 **INES RUBIN FERNÁNDEZ.**- La Contabilidad de la Empresa y la Contabilidad Nacional.
- Doc. 040/92 **ESTEBAN GARCÍA CANAL.**- La Cooperación interempresarial en España: Características de los acuerdos de cooperación suscritos entre 1986 y 1989.
- Doc. 041/92 **ESTEBAN GARCÍA CANAL.**- Tendencias empíricas en la conclusión de acuerdos de cooperación.
- Doc. 042/92 **JOAQUIN GARCIA MURCIA.**- Novedades en la Legislación Laboral.

- Doc. 043/92 **RODOLFO VAZQUEZ CASIELLES.**- El comportamiento del consumidor y la estrategia de distribución comercial: Una aplicación empírica al mercado de Asturias.
- Doc. 044/92 **CAMILO JOSE VAZQUEZ ORDAS.**- Un marco teórico para el estudio de las fusiones empresariales.
- Doc. 045/92 **CAMILO JOSE VAZQUEZ ORDAS.**- Creación de valor en las fusiones empresariales a través de un mayor poder de mercado.
- Doc. 046/92 **ISIDRO SANCHEZ ALVAREZ.**- Influencia relativa de la evolución demográfica en le futuro aumento del gasto en pensiones de jubilación.
- Doc. 047/92 **ISIDRO SANCHEZ ALVAREZ.**- Aspectos demográficos del sistema de pensiones de jubilación español.
- Doc. 048/92 **SUSANA LOPEZ ARES.**- Marketing telefónico: concepto y aplicaciones.
- Doc. 049/92 **CESAR RODRIGUEZ GUTIERREZ.**- Las influencias familiares en el desempleo juvenil.
- Doc. 050/92 **CESAR RODRIGUEZ GUTIERREZ.**- La adquisición de capital humano: un modelo teórico y su contrastación.
- Doc. 051/92 **MARTA IBAÑEZ PASCUAL.**- El origen social y la inserción laboral.
- Doc. 052/92 **JUAN TRESPALACIOS GUTIERREZ.**- Estudio del sector comercial en la ciudad de Oviedo.
- Doc. 053/92 **JULITA GARCIA DIEZ.**- Auditoría de cuentas: su regulación en la CEE y en España. Una evidencia de su importancia.
- Doc. 054/92 **SUSANA MENENDEZ REQUEJO.**- El riesgo de los sectores empresariales españoles: rendimiento requerido por los inversores.
- Doc. 055/92 **CARMEN BENAVIDES GONZALEZ.**- Una valoración económica de la obtención de productos derivados del petroleo a partir del carbón
- Doc. 056/92 **IGNACIO ALFREDO RODRIGUEZ-DEL BOSQUE RODRIGUEZ.**- Consecuencias sobre el consumidor de las actuaciones bancarias ante el nuevo entorno competitivo.
- Doc. 057/92 **LAURA CABIEDES MIRAGAYA.**- Relación entre la teoría del comercio internacional y los estudios de organización industrial.
- Doc. 058/92 **JOSE LUIS GARCIA SUAREZ.**- Los principios contables en un entorno de regulación.
- Doc. 059/92 **Mª JESUS RIO FERNANDEZ; RIGOBERTO PEREZ SUAREZ.**- Cuantificación de la concentración industrial: un enfoque analítico.
- Doc. 060/94 **Mª JOSE FERNANDEZ ANTUÑA.**- Regulación y política comunitaria en materia de transportes.
- Doc. 061/94 **CESAR RODRIGUEZ GUTIERREZ.**- Factores determinantes de la afiliación sindical en España.
- Doc. 062/94 **VICTOR FERNANDEZ BLANCO.**- Determinantes de la localización de las empresas industriales en España: nuevos resultados.

- Doc. 063/94 **ESTEBAN GARCIA CANAL.**- La crisis de la estructura multidivisional.
- Doc. 064/94 **MONTSERRAT DIAZ FERNANDEZ; EMILIO COSTA REPARAZ.**- Metodología de la investigación econométrica.
- Doc. 065/94 **MONTSERRAT DIAZ FERNANDEZ; EMILIO COSTA REPARAZ.**- Análisis Cualitativo de la fecundidad y participación femenina en el mercado de trabajo.
- Doc. 066/94 **JOAQUIN GARCIA MURCIA.**- La supervisión colectiva de los actos de contratación: la Ley 2/1991 de información a los representantes de los trabajadores.
- Doc. 067/94 **JOSE LUIS GARCIA LAPRESTA; M^a VICTORIA RODRIGUEZ URÍA.**- Coherencia en preferencias difusas.
- Doc. 068/94 **VICTOR FERNANDEZ; JOAQUIN LORENCES; CESAR RODRIGUEZ.**- Diferencias interterritoriales de salarios y negociación colectiva en España.
- Doc. 069/94 **M^a DEL MAR ARENAS PARRA; M^a VICTORIA RODRÍGUEZ URÍA.**- Programación clásica y teoría del consumidor.
- Doc. 070/94 **M^a DE LOS ÁNGELES MENÉNDEZ DE LA UZ; M^a VICTORIA RODRÍGUEZ URÍA.**- Tantos efectivos en los empréstitos.
- Doc. 071/94 **AMELIA BILBAO TEROL; CONCEPCIÓN GONZÁLEZ VEIGA; M^a VICTORIA RODRÍGUEZ URÍA.**- Matrices especiales. Aplicaciones económicas.
- Doc. 072/94 **RODOLFO GUTIÉRREZ.**- La representación sindical: Resultados electorales y actitudes hacia los sindicatos.
- Doc. 073/94 **VÍCTOR FERNÁNDEZ BLANCO.**- Economías de aglomeración y localización de las empresas industriales en España.
- Doc. 074/94 **JOAQUÍN LORENCES RODRÍGUEZ; FLORENTINO FELGUEROSO FERNÁNDEZ.**- Salarios pactados en los convenios provinciales y salarios percibidos.
- Doc. 075/94 **ESTEBAN FERNÁNDEZ SÁNCHEZ; CAMILO JOSÉ VÁZQUEZ ORDÁS.**- La internacionalización de la empresa.
- Doc. 076/94 **SANTIAGO R. MARTÍNEZ ARGÜELLES.**- Análisis de los efectos regionales de la terciarización de ramas industriales a través de tablas input-output. El caso de la economía asturiana.
- Doc. 077/94 **VÍCTOR IGLESIAS ARGÜELLES.**- Tipos de variables y metodología a emplear en la identificación de los grupos estratégicos. Una aplicación empírica al sector detallista en Asturias.
- Doc. 078/94 **MARTA IBÁÑEZ PASCUAL; F. JAVIER MATO DÍAZ.**- La formación no reglada a examen. Hacia un perfil de sus usuarios.
- Doc. 079/94 **IGNACIO A. RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE RODRÍGUEZ.**- Planificación y organización de la fuerza de ventas de la empresa.
- Doc. 080/94 **FRANCISCO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ.**- La reacción del precio de las acciones ante anuncios de cambios en los dividendos.

- Doc. 081/94 **SUSANA MENÉNDEZ REQUEJO.**- Relaciones de dependencia de las decisiones de inversión, financiación y dividendos.
- Doc. 082/95 **MONTSERRAT DÍAZ FERNÁNDEZ; EMILIO COSTA REPARAZ; M^a del MAR LLORENTE MARRÓN.**- Una aproximación empírica al comportamiento de los precios de la vivienda en España.
- Doc. 083/95 **M^a CONCEPCIÓN GONZÁLEZ VEIGA; M^a VICTORIA RODRÍGUEZ URÍA.**- Matrices semipositivas y análisis interindustrial. Aplicaciones al estudio del modelo de Sraffa-Leontief.
- Doc. 084/95 **ESTEBAN GARCÍA CANAL.**- La forma contractual en las alianzas domésticas e internacionales.
- Doc. 085/95 **MARGARITA ARGÜELLES VÉLEZ; CARMEN BENAVIDES GONZÁLEZ.**- La incidencia de la política de la competencia comunitaria sobre la cohesión económica y social.
- Doc. 086/95 **VÍCTOR FERNÁNDEZ BLANCO.**- La demanda de cine en España. 1968-1992.
- Doc. 087/95 **JUAN PRIETO RODRÍGUEZ.**- Discriminación salarial de la mujer y movilidad laboral.
- Doc. 088/95 **M^a CONCEPCIÓN GONZÁLEZ VEIGA.**- La teoría del caos. Nuevas perspectivas en la modelización económica.
- Doc. 089/95 **SUSANA LÓPEZ ARES.**- Simulación de fenómenos de espera de capacidad limitada con llegadas y número de servidores dependientes del tiempo con hoja de cálculo.
- Doc. 090/95 **JAVIER MATO DÍAZ.**- ¿Existe sobrecualificación en España?. Algunas variables explicativas.
- Doc. 091/95 **M^a JOSÉ SANZO PÉREZ.**- Estrategia de distribución para productos y mercados industriales.
- Doc. 092/95 **JOSÉ BAÑOS PINO; VÍCTOR FERNÁNDEZ BLANCO.**- Demanda de cine en España: Un análisis de cointegración.
- Doc. 093/95 **M^a LETICIA SANTOS VIJANDE.**- La política de marketing en las empresas de alta tecnología.
- Doc. 094/95 **RODOLFO VÁZQUEZ CASIELLES; IGNACIO RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE; AGUSTÍN RUÍZ VEGA.**- Expectativas y percepciones del consumidor sobre la calidad del servicio. Grupos estratégicos y segmentos del mercado para la distribución comercial minorista.
- Doc. 095/95 **ANA ISABEL FERNÁNDEZ; SILVIA GÓMEZ ANSÓN.**- La adopción de acuerdos estatutarios antiadquisición. Evidencia en el mercado de capitales español.
- Doc. 096/95 **ÓSCAR RODRÍGUEZ BUZNEGO.**- Partidos, electores y elecciones locales en Asturias. Un análisis del proceso electoral del 28 de Mayo.
- Doc. 097/95 **ANA M^a DÍAZ MARTÍN.**- Calidad percibida de los servicios turísticos en el ámbito rural.
- Doc. 098/95 **MANUEL HERNÁNDEZ MUÑIZ; JAVIER MATO DÍAZ; JAVIER BLANCO GONZÁLEZ.**- Evaluating the impact of the European Regional Development Fund: methodology and results in Asturias (1989-1993).