

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL ROSARIO

“SIMULACIÓN: SISTEMAS DE COLAS”

Integrantes:

Demaria, María Ayelén (ayedemaria@gmail.com)

Robaglio, Magdalena (robaglio.magdalena@gmail.com)

Docentes:

Flamini, Jorge

Torres, Juan

Comisión: 403

Año: 2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
DESARROLLO	2
ELEMENTOS DE UN MODELO DE COLA	2
Población de clientes	2
Proceso de llegada	3
Proceso de colas	3
Proceso de servicio	4
NOTACIÓN DE KENDALL	4
MEDIDAS DE RENDIMIENTO	5
RUTINAS DE CONTROL	6
SIMULACIÓN	8
Caso 1: Cola A con disciplina FIFO	10
Caso 2: Cola A con disciplina LIFO	13
Caso 3: Cola A con disciplina RANDOM	16
Caso 4: Cola A con disciplina PRIORIDAD	19
Caso 5: Caso 1 con única cola C	22
CONCLUSIONES	25
Mejora planteada	25
ANEXOS	29
Código Python	29
BIBLIOGRAFÍA	30

INTRODUCCIÓN

Muchas industrias de productos y de servicios tienen un sistema de colas, en el que los “productos” (o clientes) llegan a una “estación” esperan en una “fila” (o cola), obtienen algún tipo de “servicio” y luego salen del sistema, por ejemplo los clientes llegan a un banco, esperan en una fila para obtener un servicio de un de los cajeros, y después salen del banco.

Los problemas administrativos relacionados con tales sistemas de colas se clasifican en dos grupos básicos:

- **Problemas de análisis**, cuando el interés es saber si un sistema dado está funcionando satisfactoriamente. Para esto se necesitan responder preguntas como *¿cuál es el tiempo promedio que un cliente tiene que esperar en la fila antes de ser atendido?, ¿qué fracción del tiempo ocupan los servidores en atender a un cliente o en procesar un producto?, ¿cuáles son el número promedio y el máximo de clientes que esperan en la fila?, etc.*

Basándose en estas preguntas, los gerentes toman decisiones como emplear o no más gente, agregar una estación de trabajo adicional para mejorar el nivel de servicio, o si es necesario o no aumentar el tamaño del área de espera.

- **Problemas de diseño**, cuando se desea diseñar las características de un sistema que logre un objetivo general. Esto plantea preguntas como *¿cuántas personas o estaciones deben emplearse para proporcionar un servicio aceptable?, ¿deberán los clientes esperar en una sola fila (como se hace en muchos bancos) o en diferentes filas (como en los supermercados)? ¿qué tanto espacio se necesita para que los clientes o los productos puedan esperar?, etc.*

Estas decisiones de diseño se toman mediante la evaluación de los méritos de las diferentes alternativas, respondiendo a las preguntas de análisis y luego seleccionando la alternativa que cumpla con los objetivos administrativos.

DESARROLLO

Para analizar un sistema de colas, es mejor primero identificar las características importantes:

- **Una población de clientes**, que es el conjunto de todos los clientes posibles.
- **Un proceso de llegadas**, que es la forma en que llegan los clientes de esa población.
- **Un proceso de colas**, que está conformado por **(a)** la manera en que los clientes esperan para ser atendidos y **(b)** la disciplina de colas, que es la forma en que son elegidos para proporcionarles el servicio.
- **Un proceso de servicio**, que es la forma y la rapidez con la que es atendido el cliente.
- **Proceso de salida**, que son de los siguientes dos tipos:
 - 1) Los elementos abandonan completamente el sistema después de ser atendidos, lo que tiene como resultado un sistema de colas de un paso.
 - 2) Los productos, ya que son procesados en una estación de trabajo, son trasladados a alguna otra para someterlos a otro tipo de proceso, lo que tiene como resultado una red de colas.

ELEMENTOS DE UN MODELO DE COLA

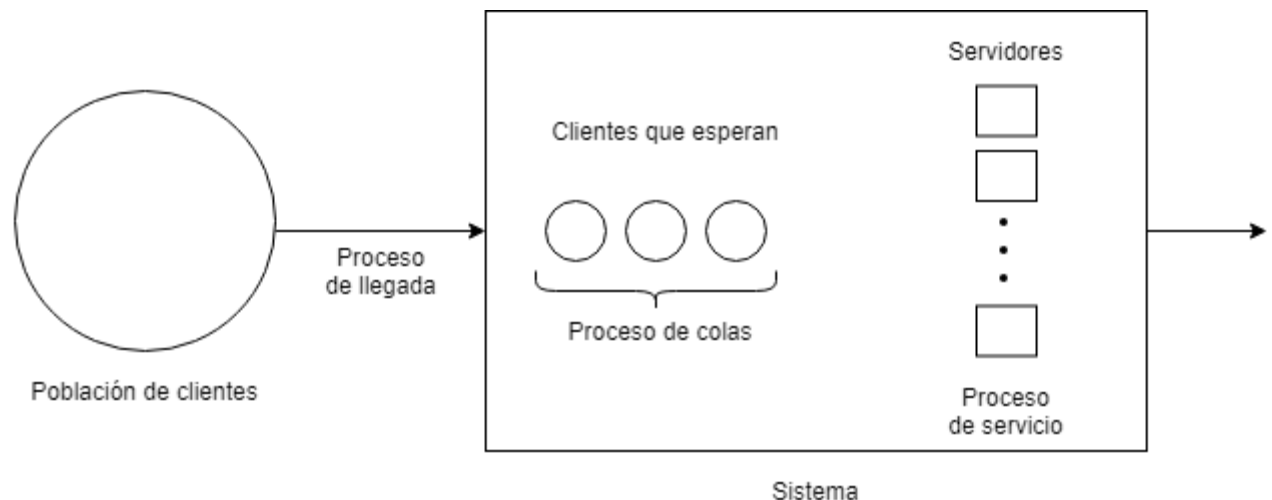


Figura 1: Elementos de un modelo de cola

Población de clientes

Al tomar en cuenta la base de clientes, la principal preocupación es el **tamaño de la población**. Para problemas como los de un banco, en donde el número de clientes potenciales es bastante grande (cientos o miles), el tamaño de la población se considera, para fines prácticos, como si fuera *infinita*.

Al contrario, si se considera una fábrica que tiene cuatro máquinas, que a menudo se descomponen y requieren servicio de reparación en un taller especializado, en este caso, las máquinas están en lugar de los clientes y el taller es el centro de servicio, y el tamaño de población de clientes es de solamente cuatro (*finita*).

Proceso de llegada

Es la forma en que los clientes llegan a solicitar un servicio. La característica más importante de este proceso es el **tiempo entre llegadas**, que es la cantidad de tiempo entre dos llegadas sucesivas. Este lapso es importante porque cuanto menor sea el intervalo de tiempo, con más frecuencia llegan los clientes, lo cual aumenta la demanda de servidores disponibles. Existen dos clases básicas de tiempos entre llegadas:

- **Determinístico**, en el cual clientes sucesivos llegan en un mismo intervalo de tiempo, fijo y conocido. *Ejemplo*: una línea de ensamblaje donde los artículos llegan a una estación en intervalos invariables de tiempo.
- **Probabilístico**, en el cual el tiempo entre llegadas sucesivas es incierto y variable. Los tiempos entre llegadas probabilísticos se describen mediante una distribución de probabilidad. La distribución exponencial ha probado ser confiable en muchos problemas prácticos.

Proceso de colas

Parte de este proceso tiene que ver con la **forma en que los clientes esperan para ser atendidos**. Los clientes pueden esperar en una sola fila, como en un banco, conocido como *sistema de colas de una sola línea*, o por el contrario, los clientes pueden elegir una de varias filas en la que deben esperar a ser atendidos, como en las cajas cobradoras de un supermercado, llamados *sistema de colas de líneas múltiples*.

Otra característica de este proceso es el **número de espacios de espera en cada fila**, es decir, en número de clientes que pueden esperar para ser atendidos en cada línea. En algunos casos como en un banco, ese número es bastante grande y no significa ningún problema práctico, y para cuestiones de análisis la cantidad de espacio de esperar se considera *infinita*. En contraste, un sistema telefónico puede mantener solamente un número *finito* de llamadas, después del cual las llamadas subsecuentes no tienen acceso al sistema. Las condiciones de análisis de espacio de espera infinito y finito requieren de análisis matemáticos diferentes.

Por último, otra característica de este proceso es la **disciplina de colas**, es decir la forma en que los clientes que esperan son seleccionados para ser atendidos. Las más comunes son:

- **Primero en entrar, primero en salir**: los clientes son atendidos en el orden en que van llegando a la fila. Los clientes de un banco y de un supermercado, *por ejemplo*, son atendidos de esta manera.
- **Último en entrar, primero en salir**: el cliente que ha llegado más recientemente es el primero en ser atendido. Un *ejemplo* de este caso se da en un proceso de producción en que los productos que llegan a una estación de trabajo son apilados uno encima de otro,

y el trabajador elige el producto que está en la cima de la pila, que fue el último que llegó para ser procesado.

- **Selección de prioridad:** a cada cliente que llega se le da una prioridad y se le elige según esta para brindarle el servicio. Un *ejemplo* de este caso son los pacientes que llegan a la sala de urgencias de un hospital, mientras más severo es caso, mayor será su prioridad.

Proceso de servicio

Este proceso define cómo son atendidos los clientes. En algunos casos puede existir más de una estación en el sistema en la cual se proporcione el servicio requerido. A esta estructura se la conoce como *sistemas de colas de canal múltiple*. En dichos sistemas, los servidores pueden ser idénticos, en el sentido de que proporcionan la misma clase de servicio con igual rapidez, o pueden ser no idénticos.

Al contrario de un sistema de canal múltiple, existen los *sistemas de colas de canal sencillo*, como por ejemplo un proceso de producción con una estación de trabajo que proporciona el servicio requerido, y todos los productos deben pasar por esta.

Otra característica de este proceso es el **número de clientes atendidos al mismo tiempo en una estación**. En los bancos y supermercados, solamente un cliente es atendido a la vez. Por el contrario, los pasajeros que esperan en una parada de autobús son atendidos en grupo.

Por último, otra característica del proceso de servicio es **si se permite o no la prioridad**, esto es ¿puede un servidor detener el proceso con el cliente que está atendiendo para dar lugar a un cliente que acaba de llegar? Por ejemplo, en una sala de urgencias, la prioridad se presenta cuando un médico, que está atendiendo un caso que no es crítico es llamado a atender un caso más crítico.

Cualquiera sea el proceso de servicio, es necesario tener una idea de cuánto tiempo se requiere para llevar a cabo el servicio. Esta cantidad es importante debido a que cuanto más dure el servicio, más tendrán que esperar los clientes que llegan.

Como en el caso del proceso de llegada, este tiempo puede ser *determinístico* o *probabilístico*. Con un tiempo de servicio determinístico, cada cliente requiere precisamente la misma cantidad conocida de tiempo para ser atendido. Con un tiempo de servicio probabilístico, cada cliente requiere una cantidad distinta e incierta de tiempo de servicio. Los tiempos de servicio probabilísticos se describen matemáticamente mediante una distribución de probabilidad. La distribución exponencial ha sido confiable en muchas aplicaciones.

Como se puede ver, las variaciones de los elementos de un caso de colas dan lugar a diversos modelos de colas.

NOTACIÓN DE KENDALL

Notación de Kendall: A / B / C / D / E / F

- **A:** la distribución de llegada.
- **B:** la distribución de servicio.
A y B pueden ser M, D o G:

- **M**: Distribución de Markov. La tasa de arribos es una variable de Poisson, el tiempo entre arribos es Exponencial.
 - **D**: Distribución determinística (un valor fijo).
 - **G**: General, es decir cualquier distribución de probabilidad, menos Poisson o Exponencial.
- **C**: entero positivo que denota el número servidores en paralelo.
- **D**: Cantidad máxima de clientes permitidos en el sistema. Si esta capacidad es superada se rechaza el arribo de un nuevo cliente.
- **E**: Política de atención de la cola:
 - **FIFO** (first in first out).
 - **LIFO** (last in first out).
 - **SIRO** (service in random order).
 - **Prioridad**.
- **F**: Tamaño de la población que ingresa al sistema. Infinita o un valor numérico.

MEDIDAS DE RENDIMIENTO

El objetivo de la teoría de colas consiste en responder cuestiones administrativas pertenecientes al diseño y a la operación de un sistema de colas.

Cualquier sistema de colas pasa por dos fases básicas:

- **Fase transitoria**: el periodo inicial de un sistema de colas en que se conservan los efectos de las condiciones iniciales.
- **Fase de estado estable**: condición del sistema después de que se han eliminado las condiciones iniciales.

Por ejemplo, cuando el banco abre en la mañana, no hay nadie en el sistema, de modo que el primer cliente es atendido de manera inmediata. Conforme van llegando más clientes, lentamente se va formando la cola y la cantidad de tiempo que tienen que esperar empieza a aumentar. A medida que avanza el día, el sistema llega a una condición en la que el efecto de la falta inicial de clientes ha sido eliminado y el tiempo de espera de cada cliente ha alcanzado un nivel bastante estable:

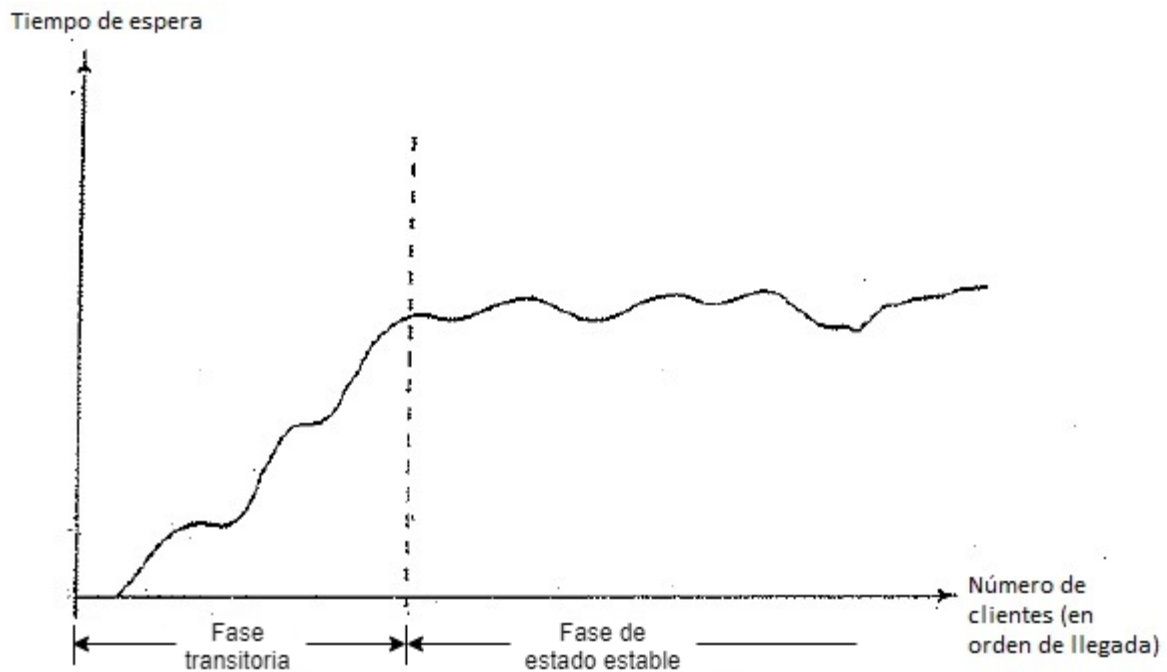


Figura 2: Las fases de estado transitorio y estado estable

Una medida de rendimiento es un valor numérico que se utiliza para evaluar los méritos de un sistema de colas en estado estable.

Existen muchas medidas de rendimiento diferentes que se utilizan para evaluar un sistema de colas. Por lo general, los administradores se preocupan por el nivel de servicio que recibe un cliente, así como el uso apropiado de las instalaciones de servicio de la empresa. Algunas medidas que podemos nombrar son:

- **Tiempo promedio de espera:** tiempo promedio que un cliente que llega tiene que esperar en la cola antes de ser atendido.
- **Tiempo promedio en el sistema:** tiempo promedio que un cliente invierte desde su llegada hasta su salida de un sistema de colas.
- **Longitud media de la cola:** número promedio de clientes que se encuentran esperando en la fila para ser atendidos.
- **Número medio en el sistema:** número promedio de clientes que se encuentran en el sistema en cualquier tiempo dado.
- **Utilización:** fracción de tiempo, en promedio, que un servidor está ocupado.
- **Probabilidad de bloqueo:** probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar a ser atendido.

RUTINAS DE CONTROL

Rutina de inicialización

Contendrá la definición e inicialización de:

- Una estructura de datos para mantener la información de los clientes que están en cola.

- Una estructura de datos para mantener información de los eventos a agendar a futuro y procesar. La llamaremos Lista de Eventos.

- Los contadores estadísticos necesarios para cada variable de respuesta:
- Demora promedio por cliente.
- Acumulador de demoras individuales.
- Cantidad de clientes que completaron demora.
- Número promedio en el tiempo de clientes en cola.
- Área bajo $Q(t)$.
- Tiempo final de la simulación (Reloj al ejecutar Reporte).
- Proporción que el servidor permanece ocupado.
- Proporción que el servidor permanece ocupado.
- Acumulador de tiempos de servicio.
- Una variable que contiene el instante del tiempo de la simulación.
- Una variable que contiene el instante del tiempo del último evento.

Rutina de Tiempos

Contendrá:

- La selección del próximo evento a procesar, como el más cercano en el tiempo.
- La actualización de la variable de tipo de evento al tipo de evento a ocurrir.
- La actualización de la variable Tiempo del último evento.
- La actualización de la variable Reloj con el instante en que ocurrirá el próximo evento.

Rutina de arribos / partidas

En la definición de la lógica de las rutinas que procesan eventos se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Por cada flecha llena (desencadenamiento obligatorio) que sale del evento en cuestión, se debe agendar a futuro el evento indicado como destino de la flecha.
- Por cada flecha punteada (desencadenamiento condicional) que sale del evento, se debe evaluar la condición (con un SI en pseudocódigo).

- Si es verdadera, generar a futuro el evento indicado como destino de la flecha.
- Si no lo es no generar el evento indicado como destino de la flecha.

En cada camino de la lógica evaluar lo siguiente:

- Qué variables de estado se deben actualizar.
- Por cada variable de respuesta, qué contadores estadísticos se deben actualizar.
- El orden en el que se actualizan estas variables deben asegurar el correcto cálculo de los contadores estadísticos relacionados a las variables de respuesta.

Rutina de Reportes

Se debe aplicar los siguientes criterios en la definición de la lógica de esta rutina:

- Dado que cada vez que se ejecuta esta rutina se obtiene una observación de cada variable de respuesta, es necesario guardar estas observaciones de manera que puedan ser utilizadas en el análisis de datos.

- Se debe reportar solamente aquellas variables de respuesta que han sido identificadas en el paso 1 de una experiencia de simulación.

- La cantidad de observaciones a generar va a depender del nivel de precisión con el que estarán estimados los valores reales de las variables. Dicha precisión estará dada por el nivel de error tolerado que será definido teniendo en cuenta el orden de magnitud de los valores que asume la variable de respuesta.

SIMULACIÓN

Realizamos la simulación de un sistema de colas, utilizando el lenguaje de programación Python.

En el presente trabajo evaluamos un sistema de colas conformado en una primera instancia por un sistema que cuenta con una sola cola (A) (*sistema de colas de una sola línea*) y 4 servidores (B1, B2, B3, B4) para brindar el servicio (*sistema de colas de canal múltiple con servidores idénticos*), y en una segunda instancia, el cliente que tiene su partida en B, pasa a un sistema en el que existen dos colas (C1, C2) (*sistema de colas de líneas múltiples*) y 2 servidores (D1, D2), generando una *red de colas*, ilustrado en la siguiente figura:

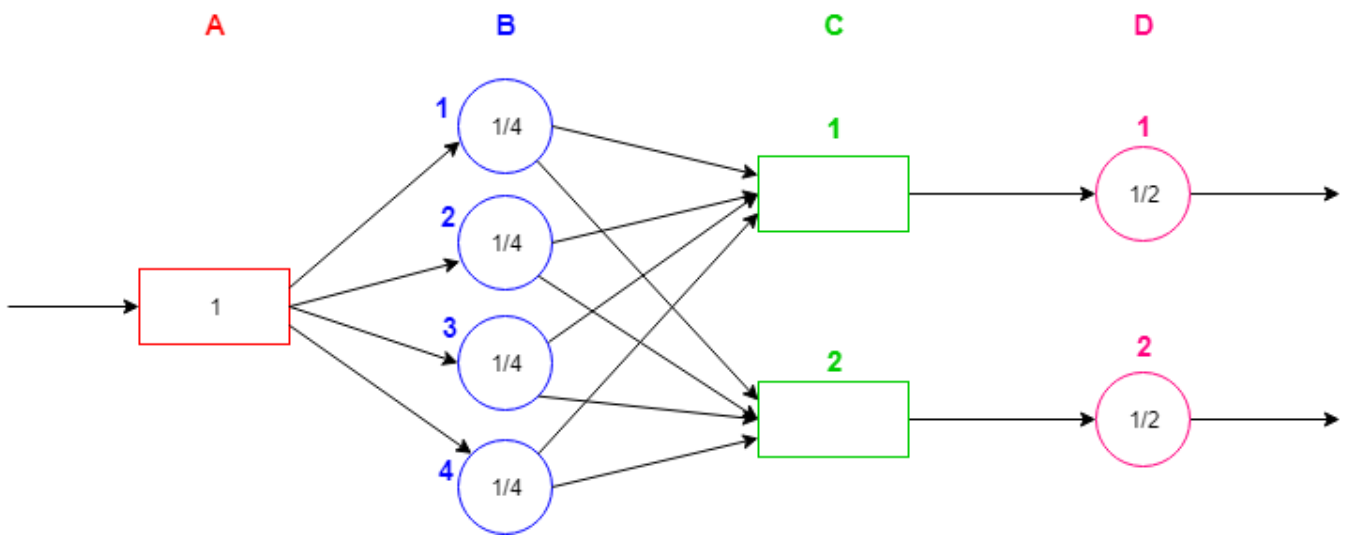


Figura 3: Red de colas en estudio

El tamaño de la población es *infinito*, y tanto el proceso de llegada como el tiempo de servicio son *probabilísticos*, ya que el tiempo entre llegadas sucesivas y el tiempo que tarda un cliente en ser atendido es incierto y variable. Además suponemos que en cada estación se atiende *un cliente a la vez*. Con respecto al proceso de colas, el número de espacio de espera en cada cola se supone *infinito*, y las disciplinas que evaluamos son:

Cola A:

- *FIFO*: primero en entrar, primero en salir.
- *LIFO*: último en entrar, primero en salir.
- *RANDOM*: se elige al azar el cliente que va a ser seleccionado para el servicio.
- *POR PRIORIDAD*: cada arribo tiene una probabilidad de **0.05** de tener prioridad para ser atendido.

Con respecto a las colas C1 y C2, la política de atención que evaluamos fue *FIFO* y los clientes que tienen su partida en B, pasan a la cola (C1 o C2) de menor cantidad de clientes.

Con respecto a las variables estadísticas, establecimos el *tiempo medio de arribo en cola A* en **1**, el *tiempo medio de servicio en B* en **0.25** y el *tiempo medio de servicio en D* en **0.5**.

Para calcular el arribo de un cliente y la partida del mismo utilizamos la distribución exponencial.

Luego de analizar este sistema, evaluamos un quinto caso, donde las dos colas (C1 y C2) pasan a ser una sola cola C (*sistema de colas de una sola línea*), con política de atención FIFO tanto en la cola A como en la C, y manteniendo las demás características iguales, ilustrado en la figura:

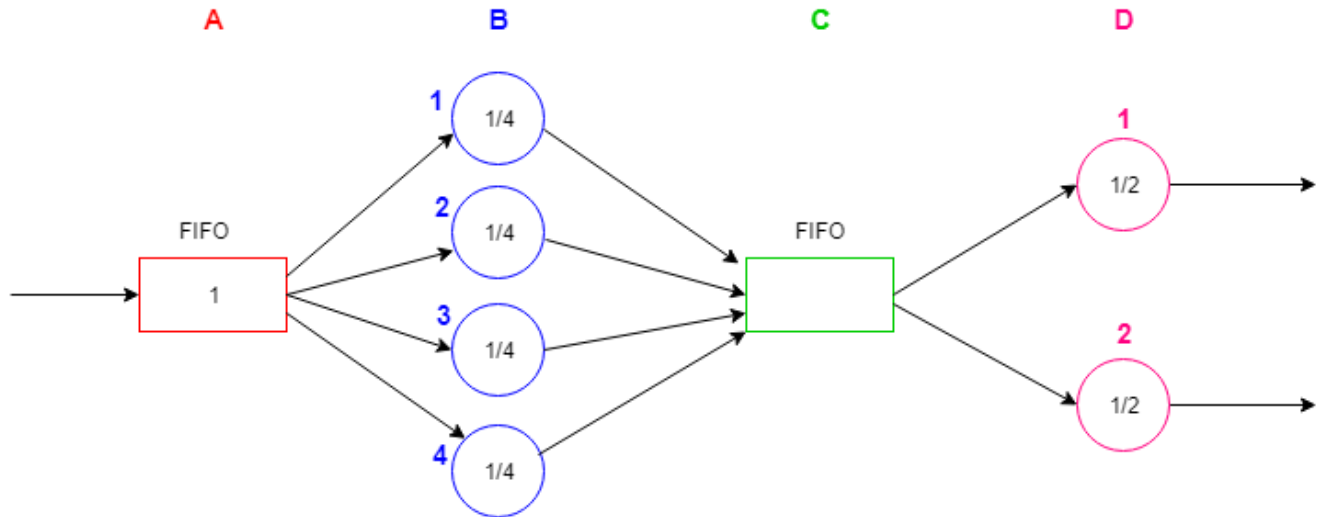


Figura 4: Red de colas con modificación en cola C

Realizamos la experiencia de simulación para un tiempo de simulación de **1000 u.t.**, y lo repetimos **1000 veces** para cada alternativa, logrando de esta forma llegar al **estado estacionario**.

Las medidas de rendimiento calculadas son: *demora promedio en cada cola*, *número promedio de clientes en cada cola* y *utilización promedio de cada servidor*.

A continuación mostramos en detalle los valores y las gráficas obtenidas:

Caso 1: Cola A con disciplina FIFO

El siguiente bosquejo representa este caso:

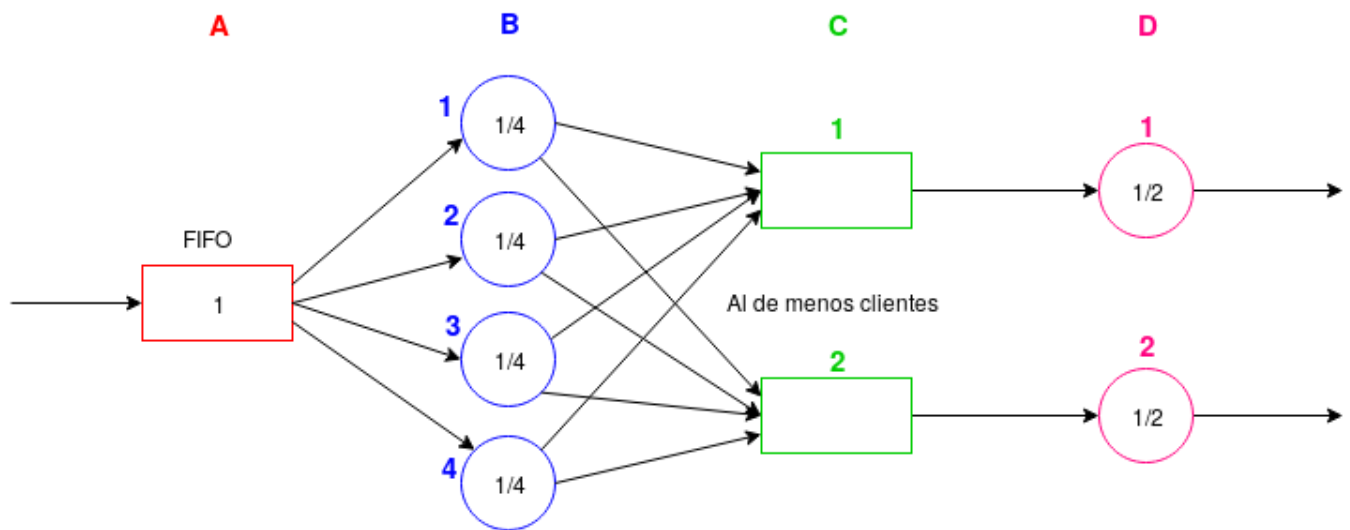


Figura 5: Caso 1

Demora promedio de los clientes en las colas:

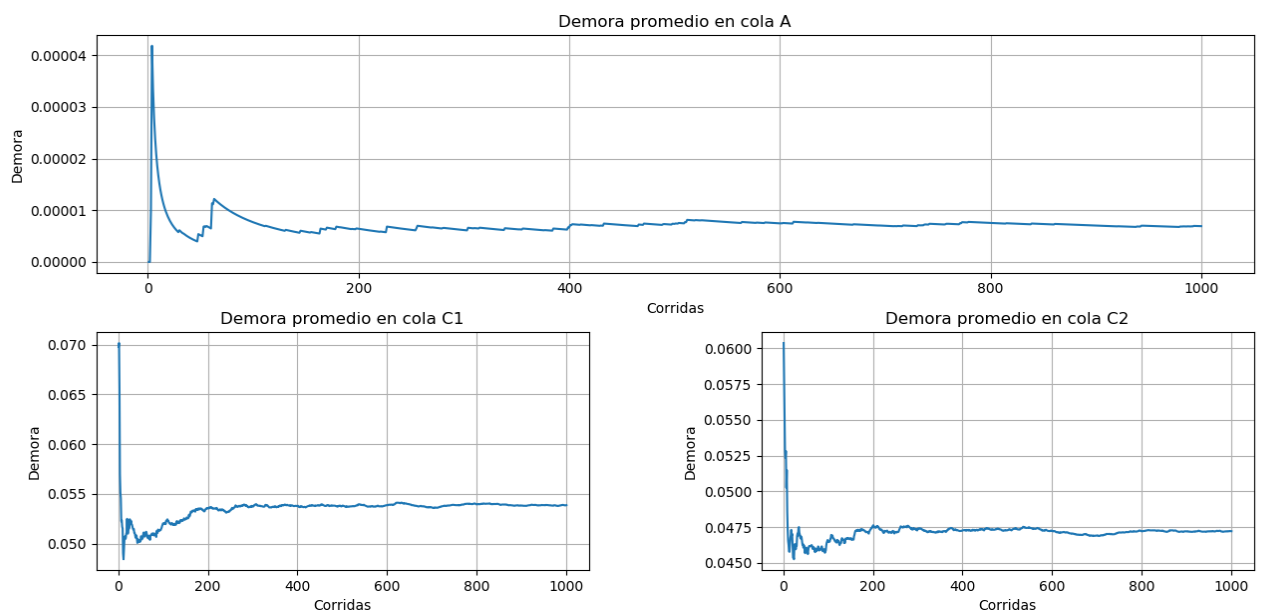


Figura 6: Demora promedio de los clientes en cola A, C1 y C2

Número promedio de clientes en las colas:

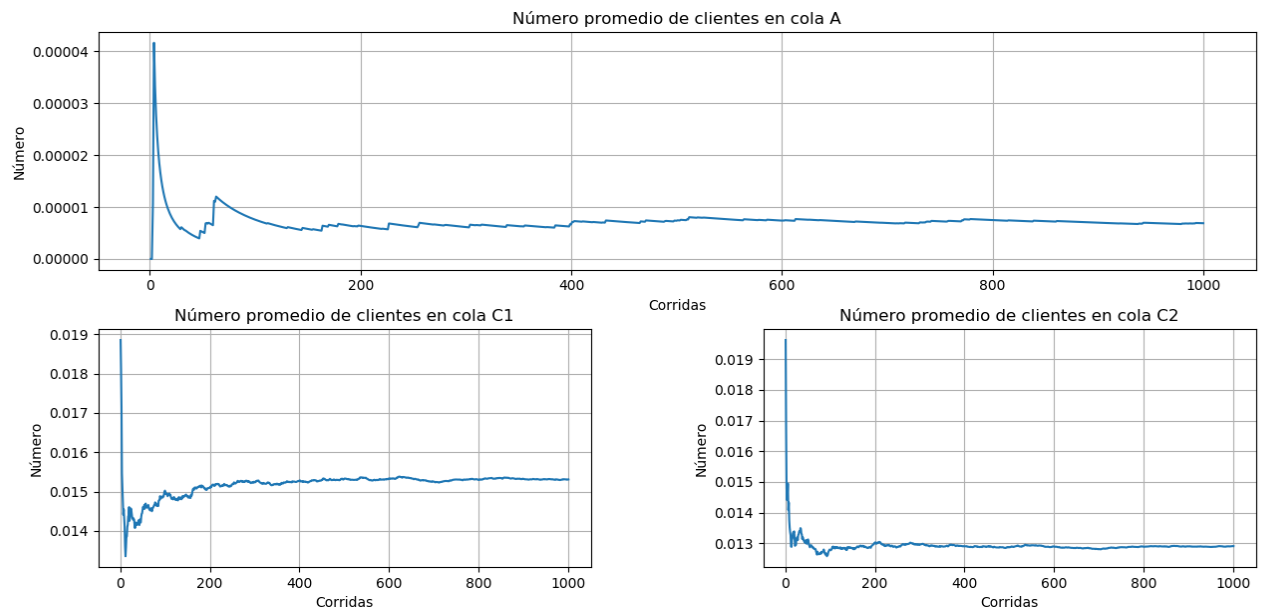


Figura 7: Número promedio de clientes en cola A, C1 y C2

Utilización promedio de los servidores:

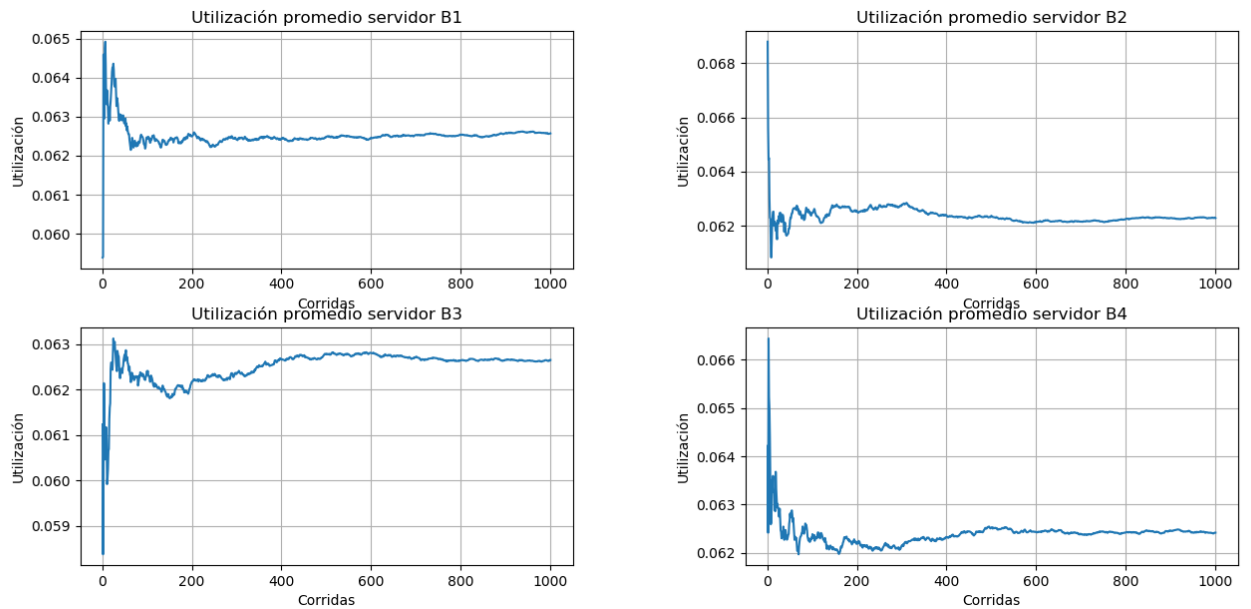


Figura 8: Utilización promedio de los servidores B

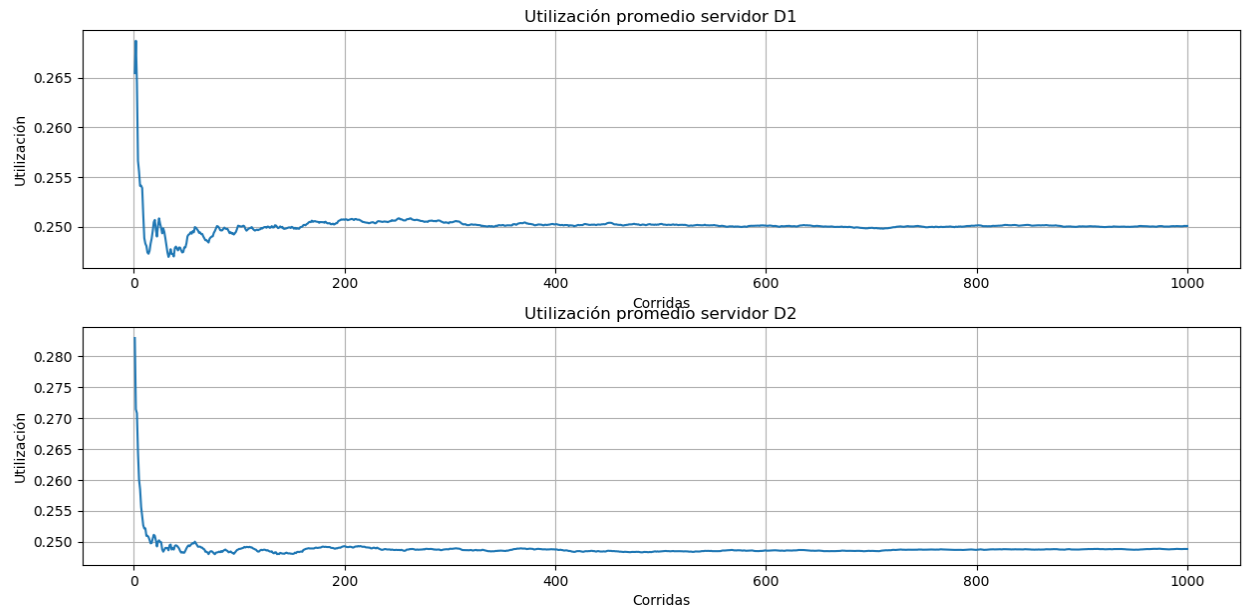


Figura 9: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.000007
Demora promedio en cola C1	0.053863
Demora promedio en cola C2	0.047215
Número promedio de clientes en cola A	0.000007
Número promedio de clientes en cola C1	0.015309
Número promedio de clientes en cola C2	0.012906
Utilización promedio del servidor B1	0.062572
Utilización promedio del servidor B2	0.062284
Utilización promedio del servidor B3	0.062655
Utilización promedio del servidor B4	0.062417
Utilización promedio del servidor D1	0.250077
Utilización promedio del servidor D2	0.248857

Cuadro 1: Medidas de rendimiento caso 1

Caso 2: Cola A con disciplina LIFO

El siguiente bosquejo representa el caso:

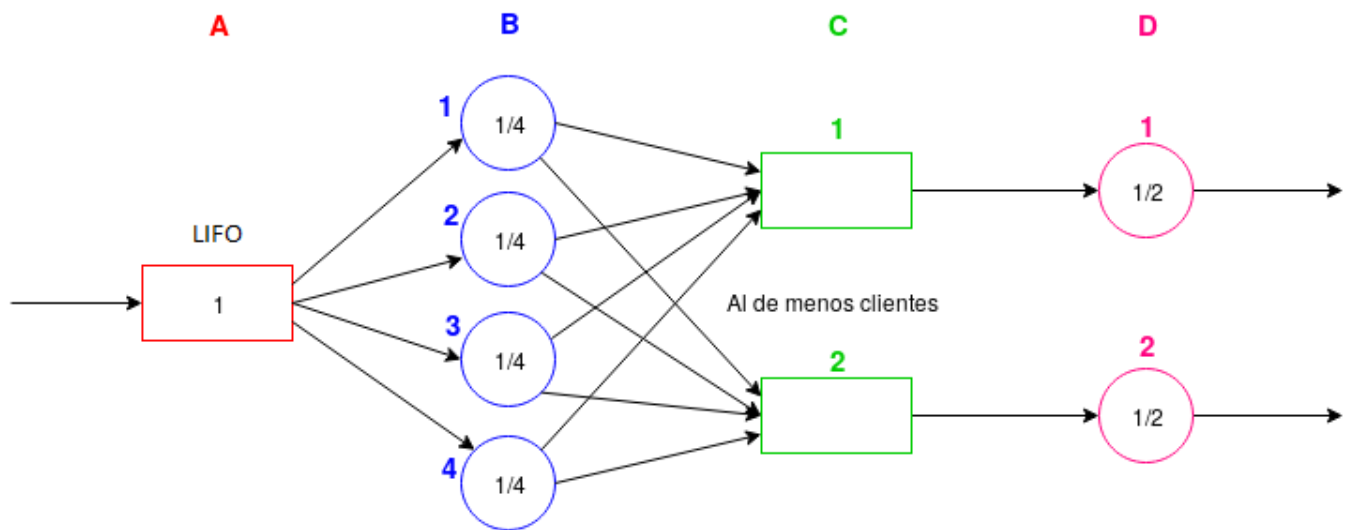


Figura 10: Caso 2

Demora promedio de los clientes en las colas:

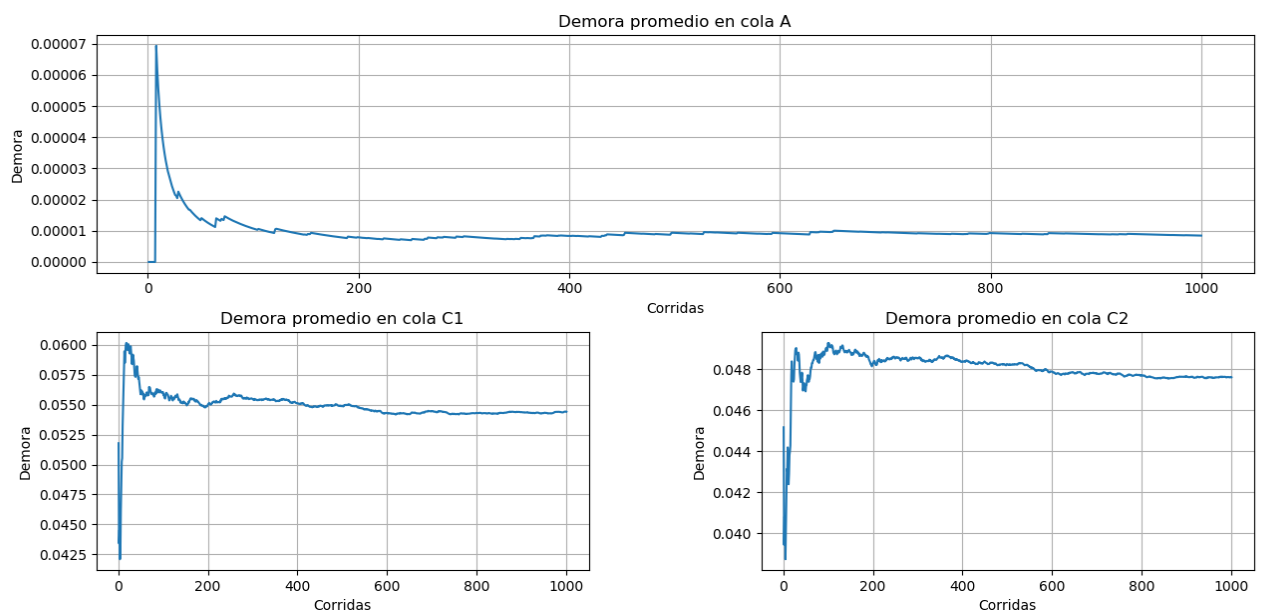


Figura 11: Demora promedio en cola A, C1 y C2

Número promedio de clientes en las colas:

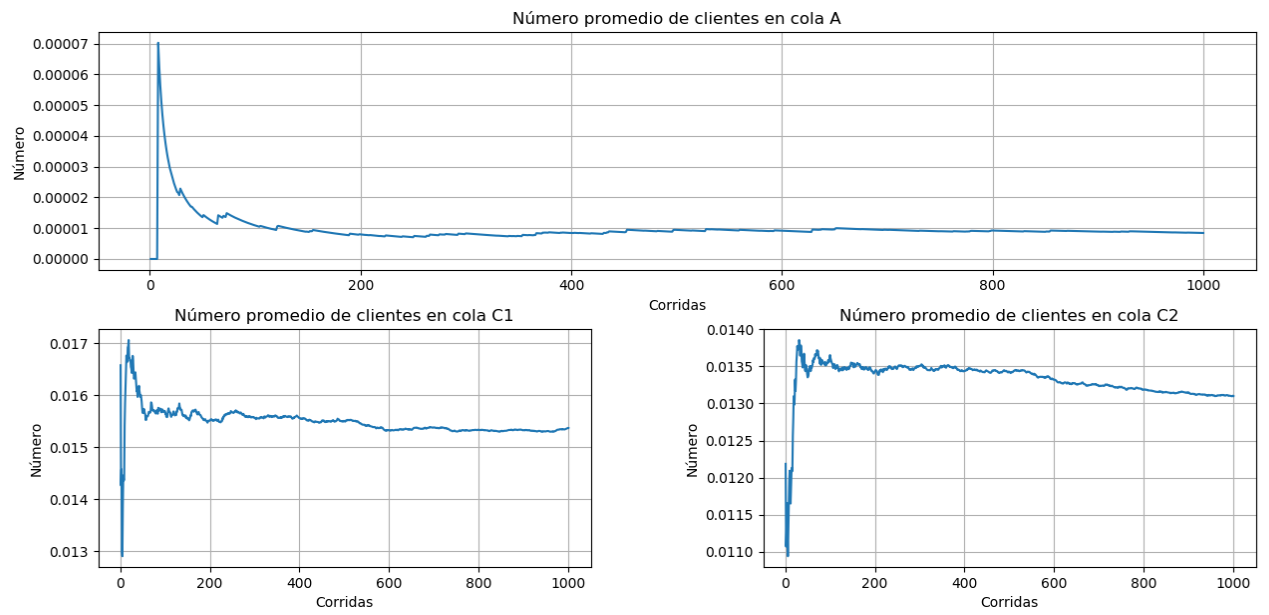


Figura 12: Número promedio de clientes en cola A, C1 y C2

Utilización promedio de los servidores:

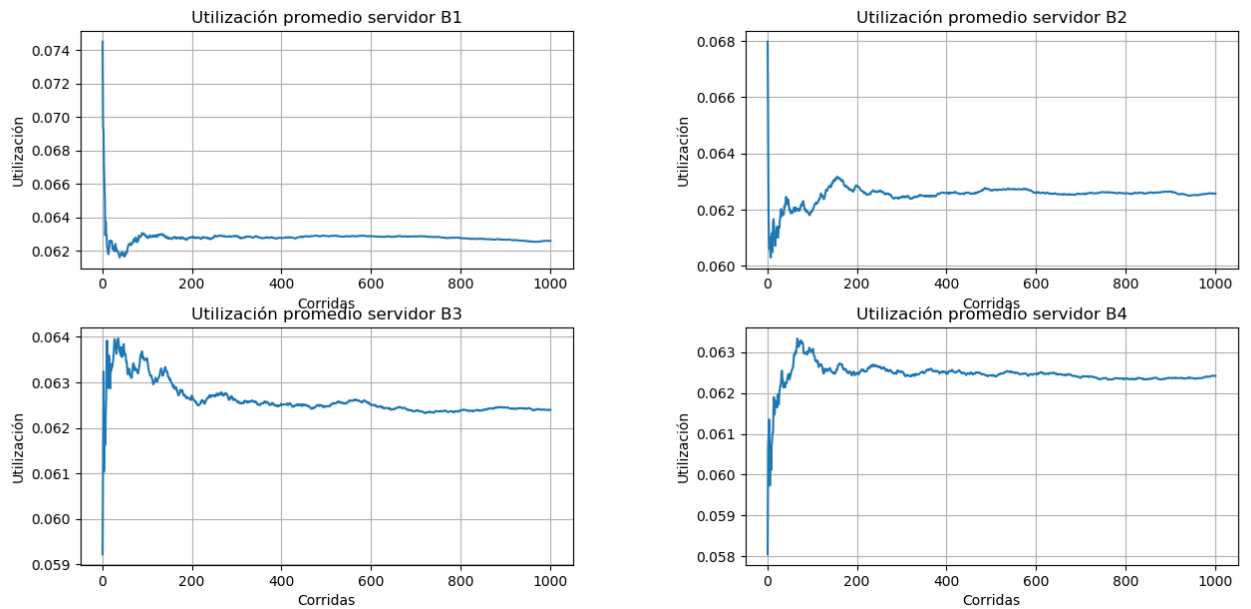


Figura 13: Utilización promedio de los servidores B

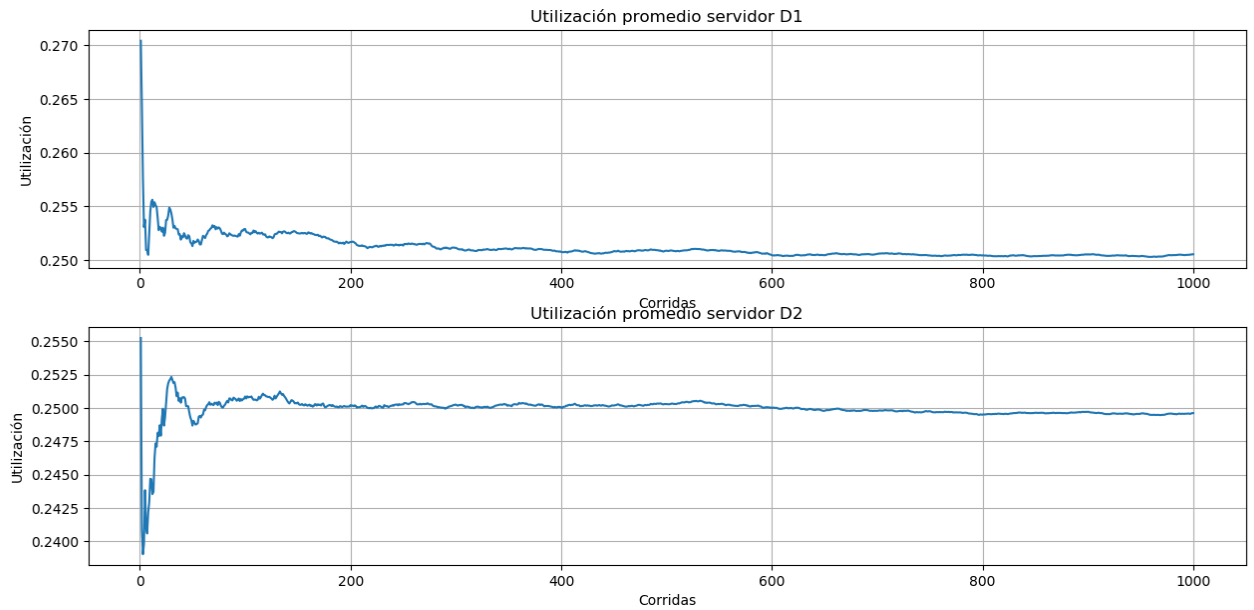


Figura 14: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.000008
Demora promedio en cola C1	0.054407
Demora promedio en cola C2	0.047597
Número promedio de clientes en cola A	0.000008
Número promedio de clientes en cola C1	0.015373
Número promedio de clientes en cola C2	0.013099
Utilización promedio del servidor B1	0.062586
Utilización promedio del servidor B2	0.062576
Utilización promedio del servidor B3	0.062397
Utilización promedio del servidor B4	0.062422
Utilización promedio del servidor D1	0.250536
Utilización promedio del servidor D2	0.249624

Cuadro 2: Medidas de rendimiento obtenidas en el caso 2

Caso 3: Cola A con disciplina RANDOM

El siguiente bosquejo representa el caso:

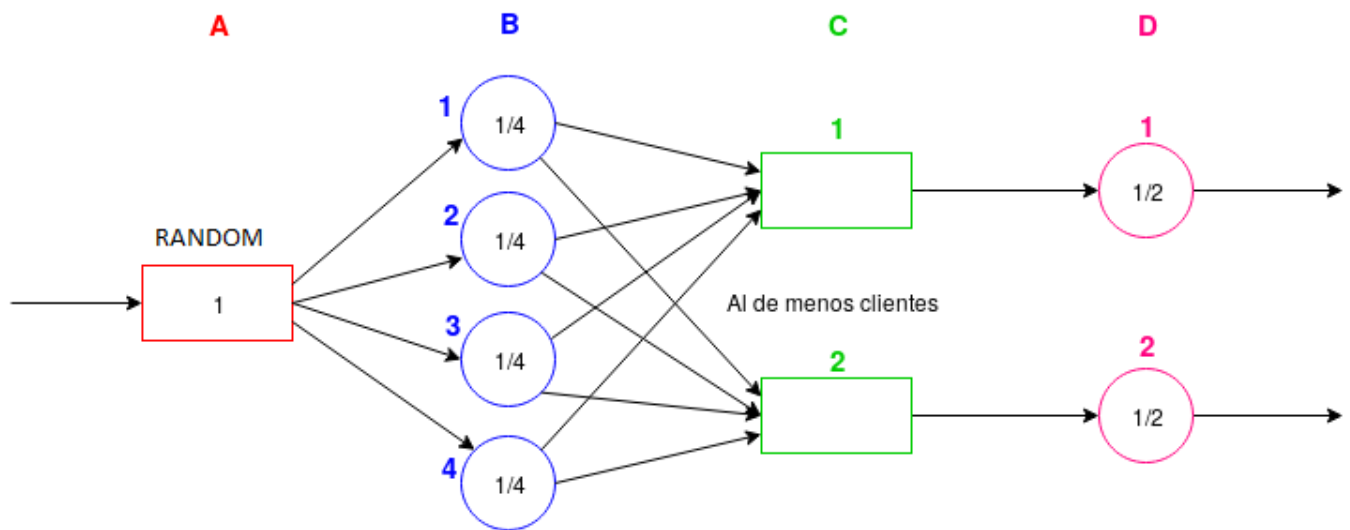


Figura 15: Caso 3

Demora promedio de los clientes en las colas:

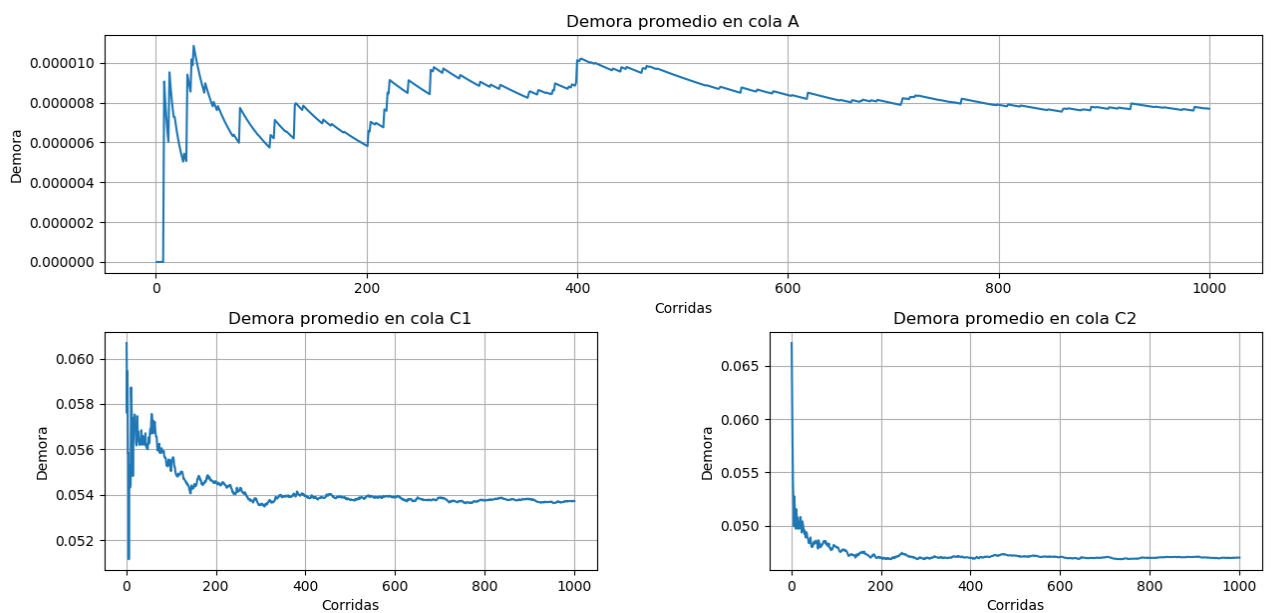


Figura 16: Demora promedio de los clientes en cola A, C1 y C2

Número promedio de clientes en las colas:

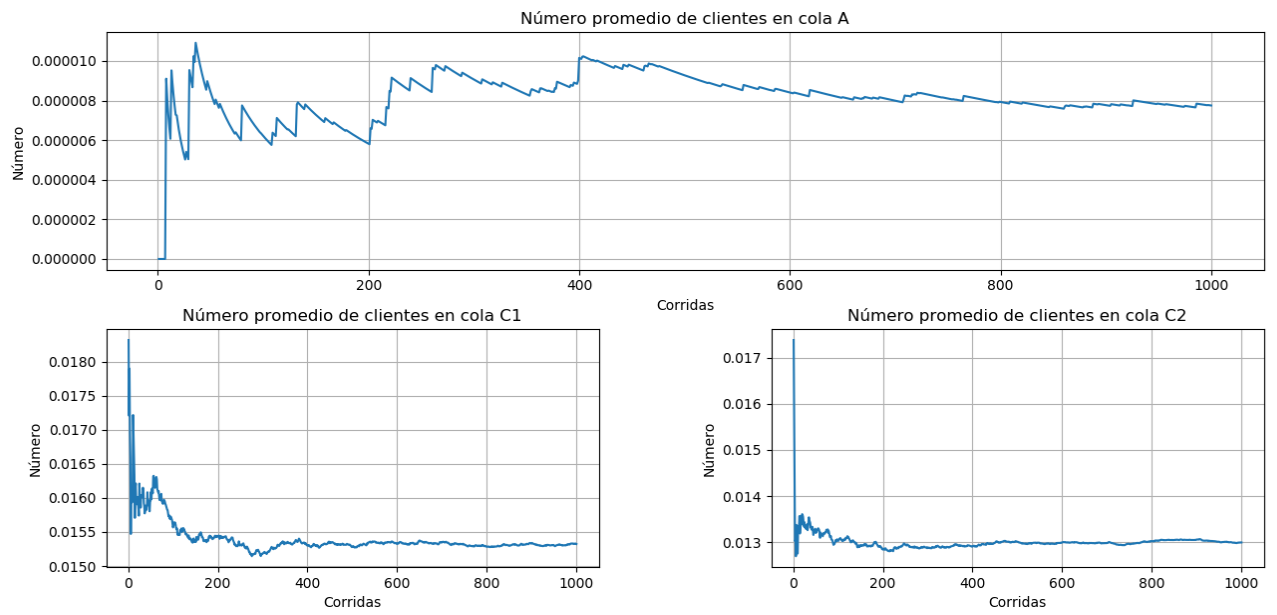


Figura 17: Número promedio de clientes en cola A, C1 y C2

Utilización promedio de los servidores:

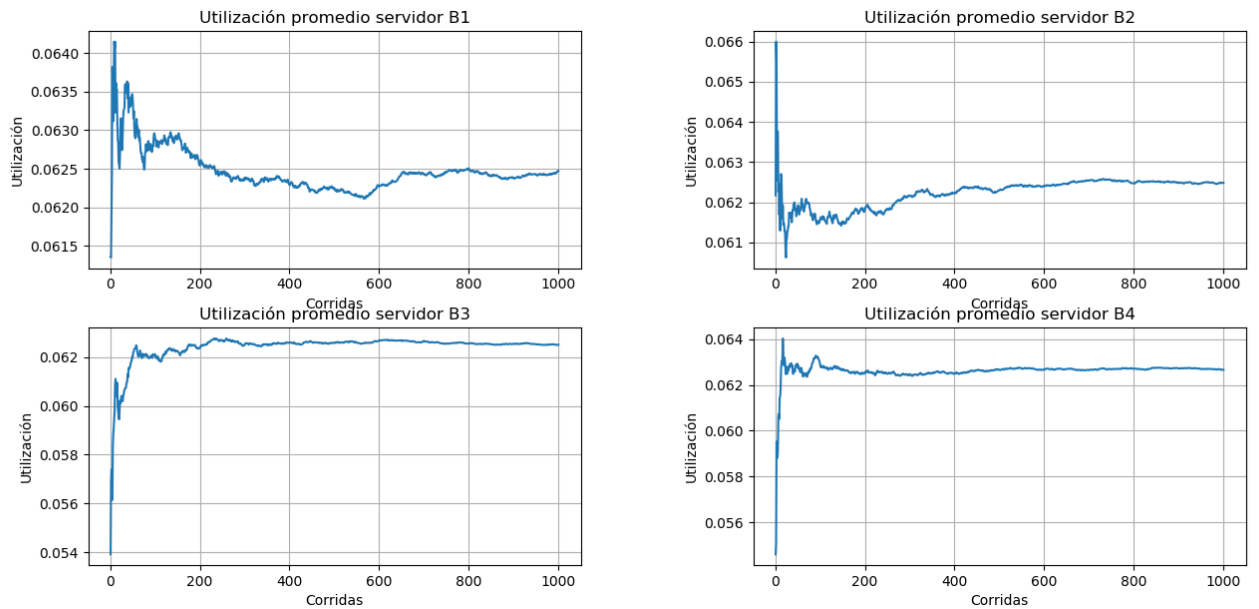


Figura 18: Utilización promedio de los servidores B

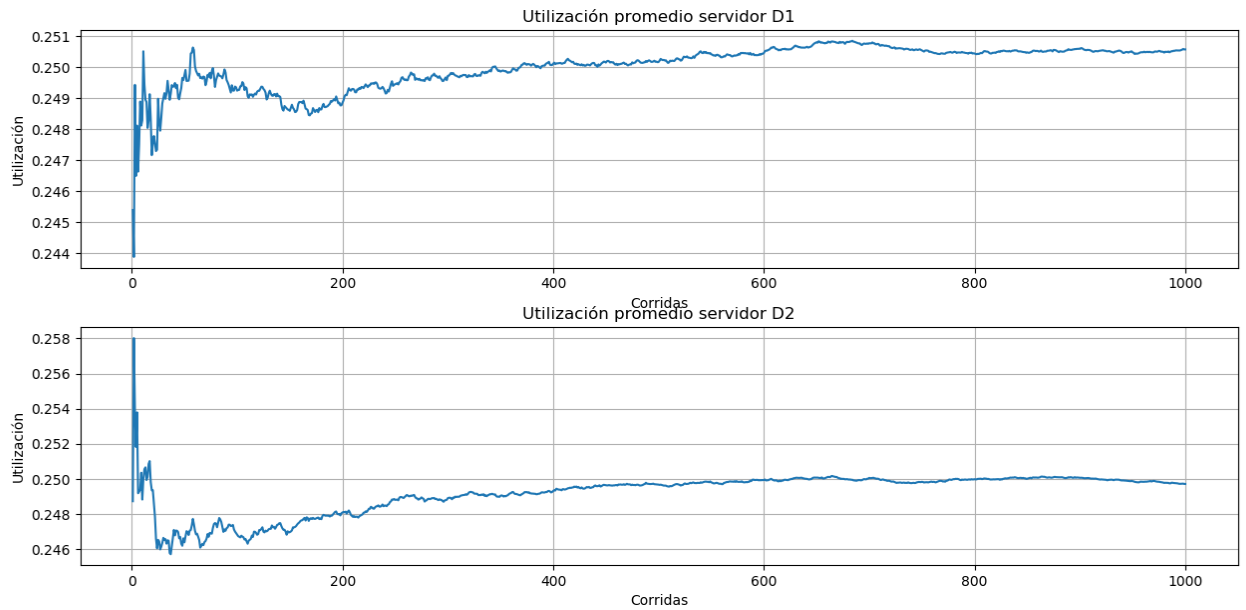


Figura 19: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.000008
Demora promedio en cola C1	0.053718
Demora promedio en cola C2	0.047012
Número promedio de clientes en cola A	0.000008
Número promedio de clientes en cola C1	0.015323
Número promedio de clientes en cola C2	0.012998
Utilización promedio del servidor B1	0.062472
Utilización promedio del servidor B2	0.062483
Utilización promedio del servidor B3	0.062507
Utilización promedio del servidor B4	0.062667
Utilización promedio del servidor D1	0.250569
Utilización promedio del servidor D2	0.249720

Cuadro 3: Medidas de rendimiento del caso 3

Caso 4: Cola A con disciplina PRIORIDAD

El siguiente bosquejo representa el caso:

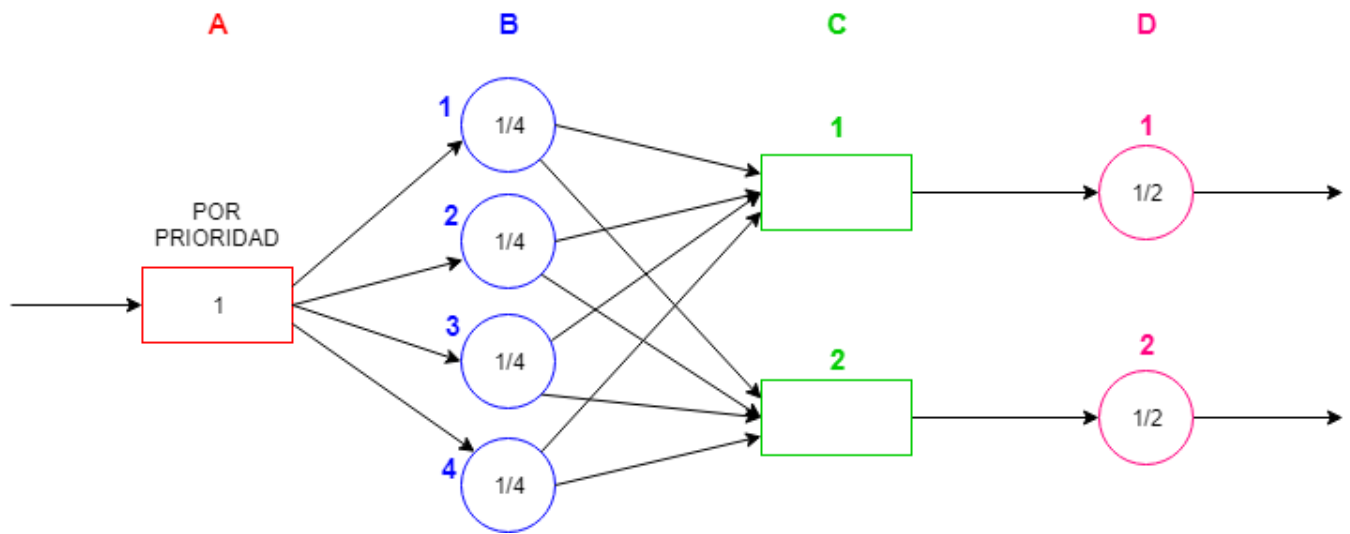


Figura 20: Caso 4

Demora promedio de los clientes en las colas:

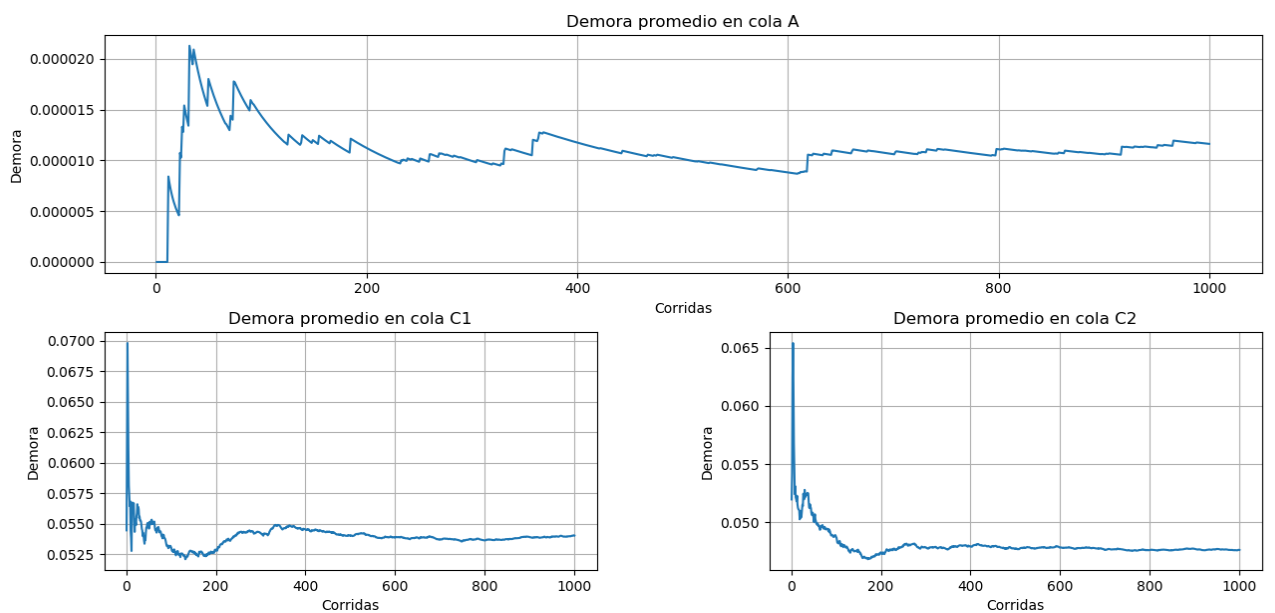


Figura 21: Demora promedio de los clientes en cola A, C1 y C2

Número promedio de clientes en las colas:

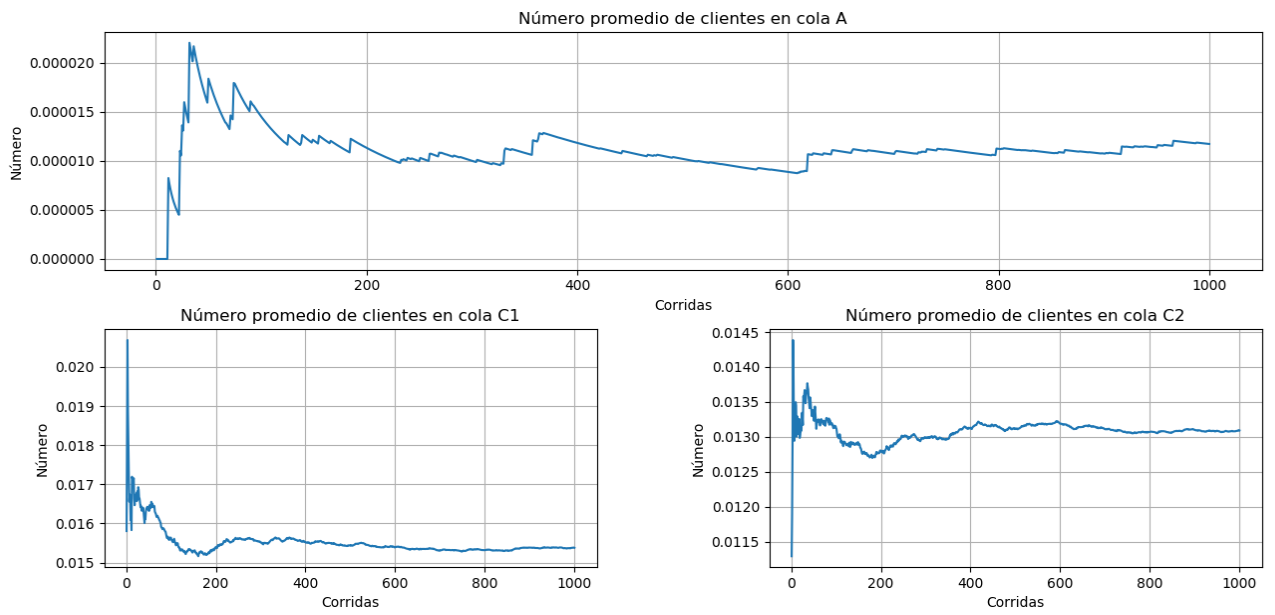


Figura 22: Número promedio de clientes en cola A, C1 y C2

Utilización promedio de los servidores:

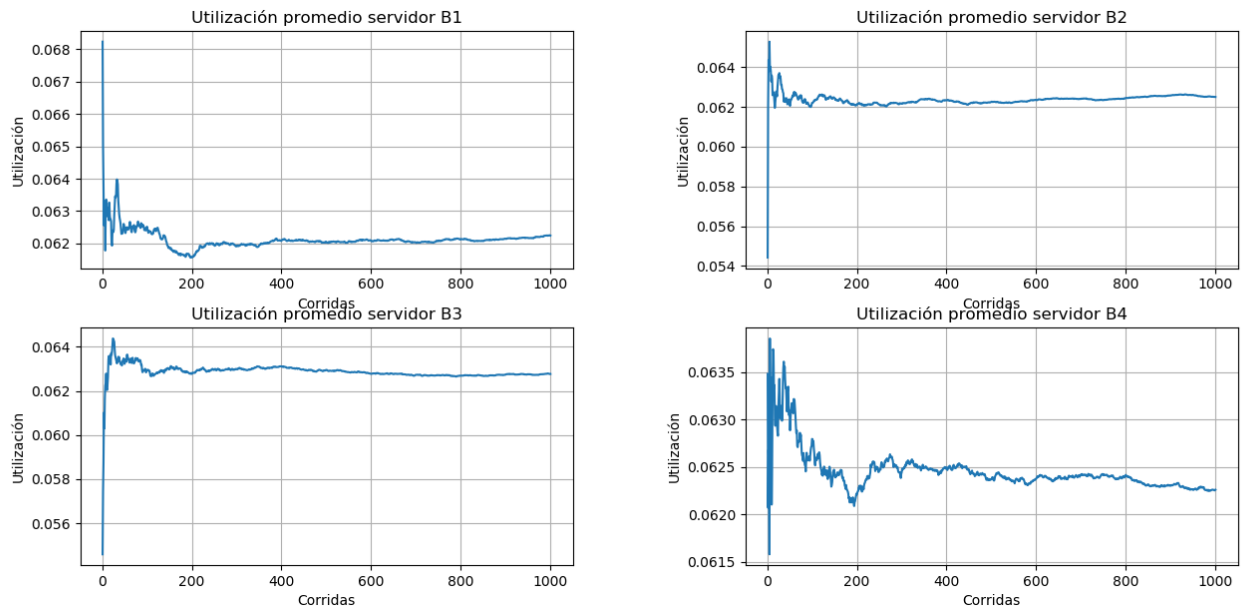


Figura 23: Utilización promedio de los servidores B

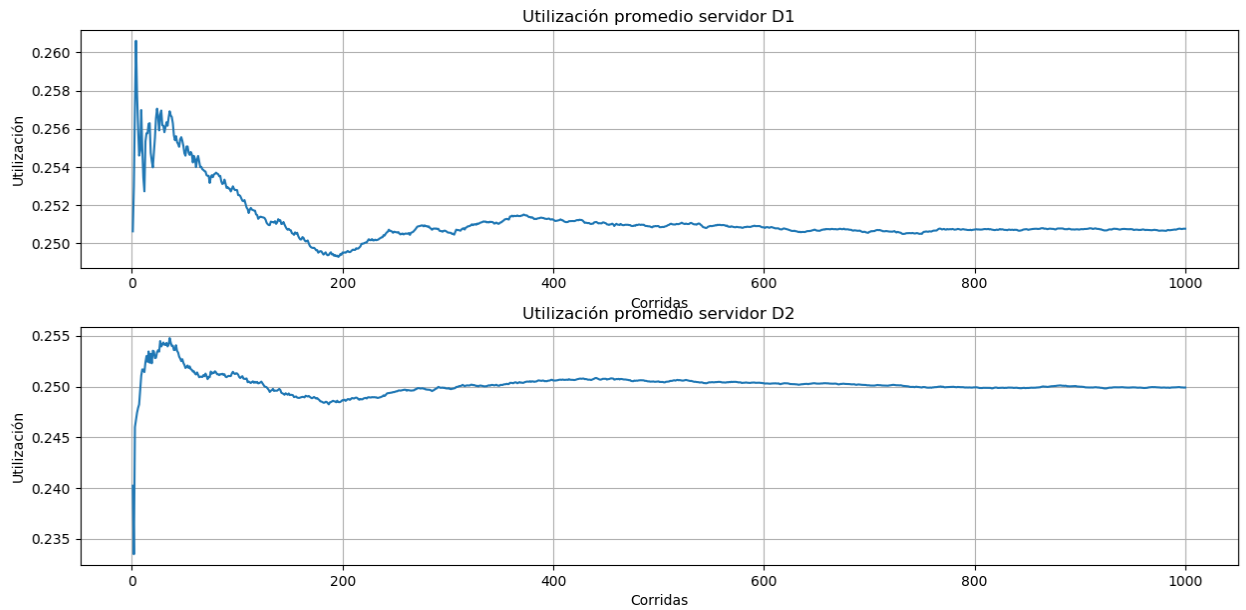


Figura 24: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.000012
Demora promedio en cola C1	0.054025
Demora promedio en cola C2	0.047608
Número promedio de clientes en cola A	0.000012
Número promedio de clientes en cola C1	0.015378
Número promedio de clientes en cola C2	0.013091
Utilización promedio del servidor B1	0.062242
Utilización promedio del servidor B2	0.062502
Utilización promedio del servidor B3	0.062772
Utilización promedio del servidor B4	0.062260
Utilización promedio del servidor D1	0.250773
Utilización promedio del servidor D2	0.249918

Cuadro 4: Medidas de rendimiento caso 4

Caso 5: Caso 1 con única cola C

El siguiente bosquejo representa el caso:

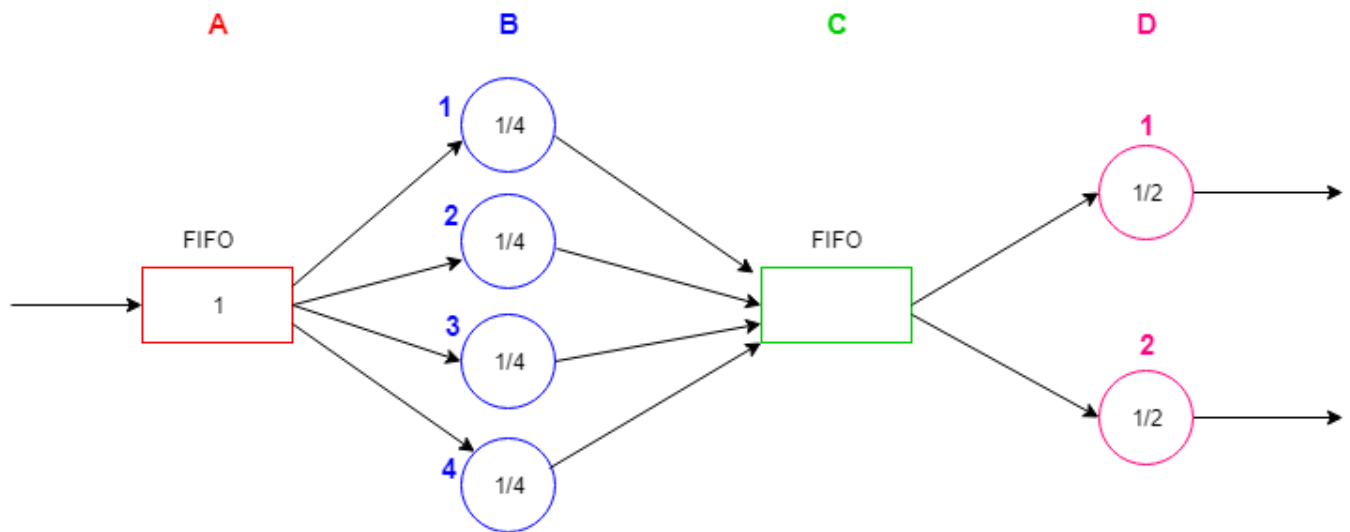


Figura 25: Caso 5

Demora promedio de los clientes en las colas:

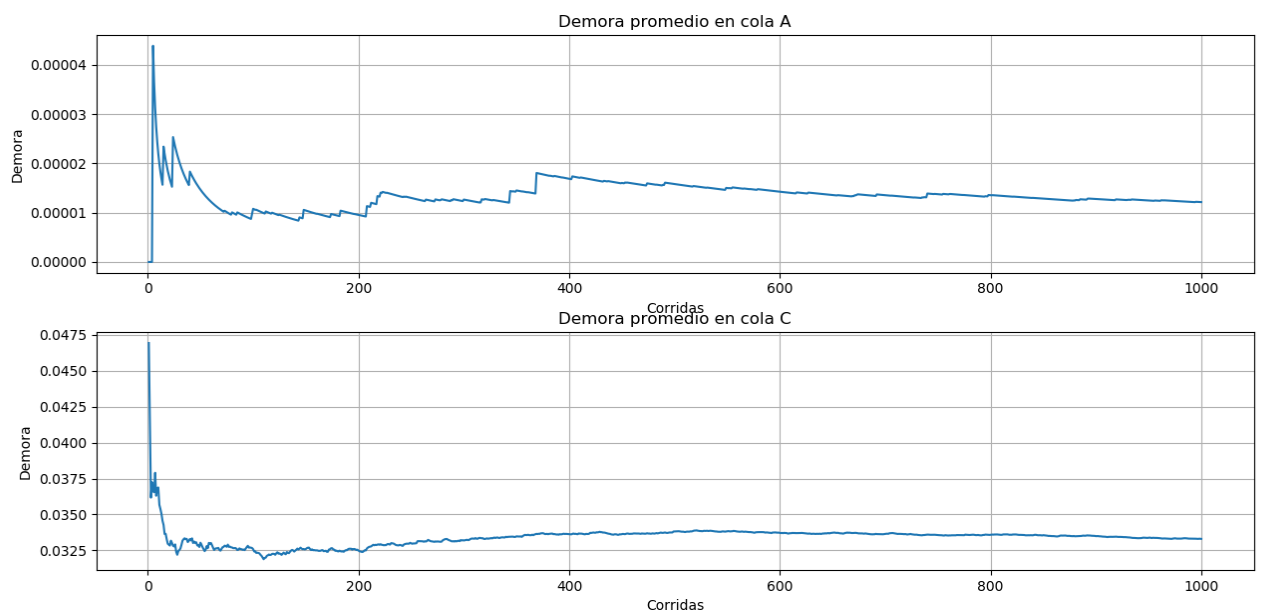


Figura 26: Demora promedio en colas A y C

Número promedio de clientes en las colas:

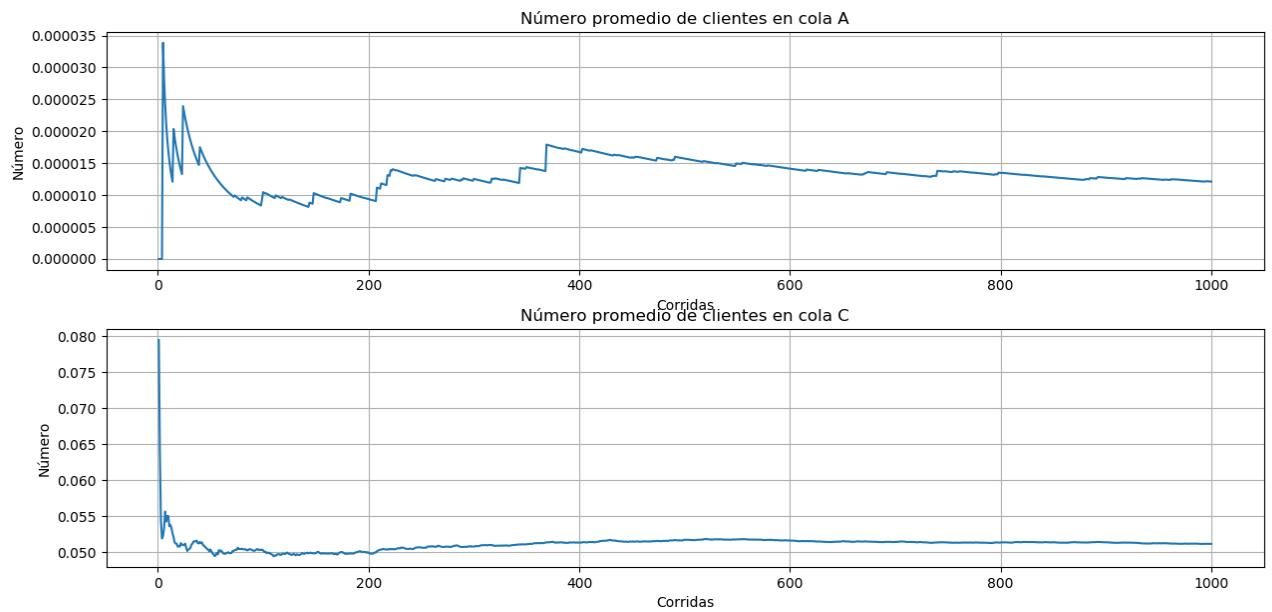


Figura 27: Número promedio de clientes en cola A y C

Utilización promedio de los servidores:

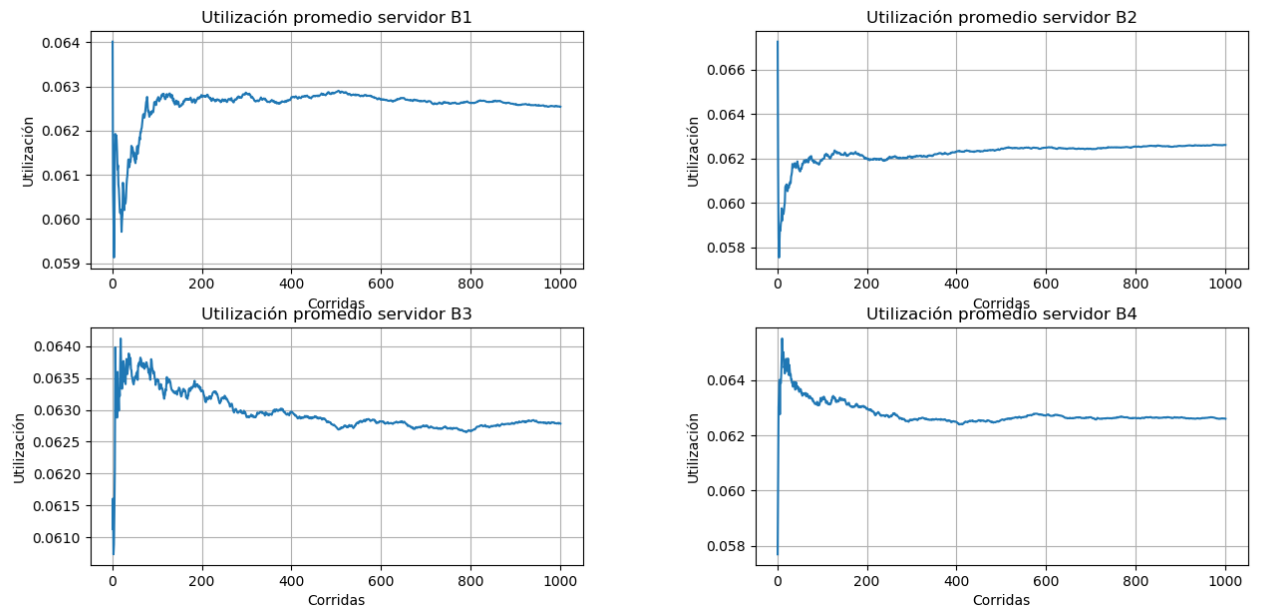


Figura 28: Utilización promedio de los servidores B

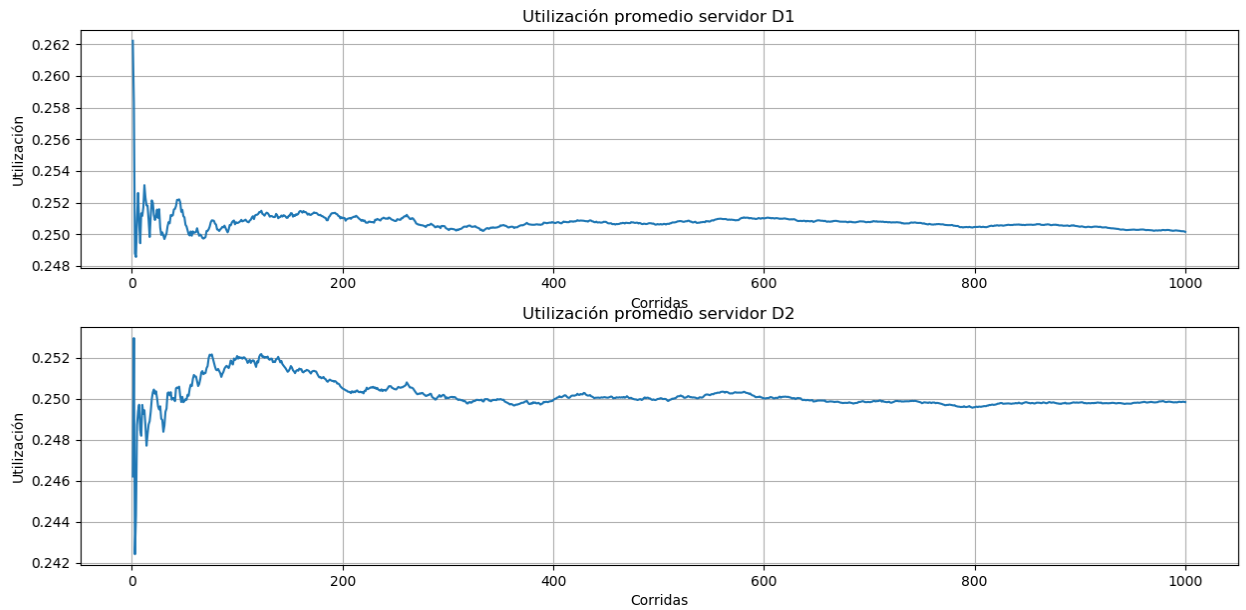


Figura 29: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.000012
Demora promedio en cola C	0.033298
Número promedio de clientes en cola A	0.000012
Número promedio de clientes en cola C	0.051127
Utilización promedio del servidor B1	0.062542
Utilización promedio del servidor B2	0.062605
Utilización promedio del servidor B3	0.062783
Utilización promedio del servidor B4	0.062604
Utilización promedio del servidor D1	0.250144
Utilización promedio del servidor D2	0.249835

Cuadro 5: Medidas de rendimiento del caso 5

CONCLUSIONES

Luego de realizar la simulación del sistema planteado y sus variaciones, podemos concluir que no hay grandes diferencias en el rendimiento del sistema en los distintos casos.

Analizando las tablas de resultados en cada caso, en promedio la utilización de los servidores B es de un 6 % , y en los servidores D de un 25 % .

Esto se debe a los valores con los que hemos trabajado. A la *cola A* llega **1 cliente por unidad de tiempo** y los *servidores B* atienden a una razón de **4 clientes por unidad de tiempo**, por lo tanto tenemos a los servidores ociosos gran parte del tiempo de la simulación y, además, el número de clientes esperando en cola tiende a cero. Por esto podemos concluir, que es innecesario contar con cuatro servidores ya que implican un gran gasto, además de requerir mantenimiento que también implica tiempo y costo.

Podemos demostrar mediante simulación que con un único servidor B se obtiene un excelente rendimiento para el sistema en estudio. A continuación mostramos el bosquejo de la nueva distribución de servidores que planteamos y los resultados obtenidos luego de realizar la simulación del mismo:

Mejora planteada

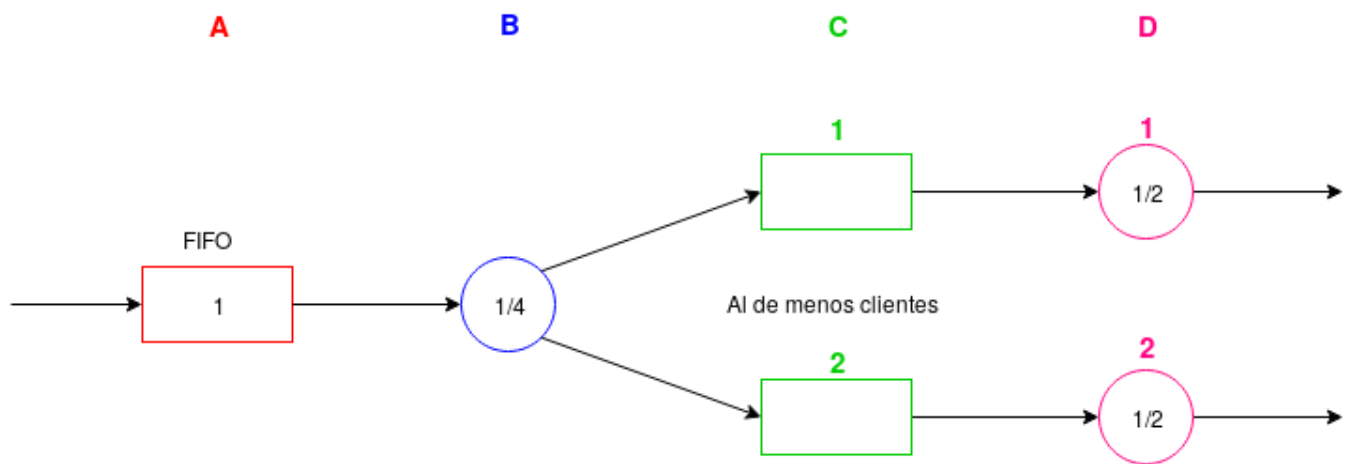


Figura 30: Mejora planteada

Demora promedio de los clientes en las colas:

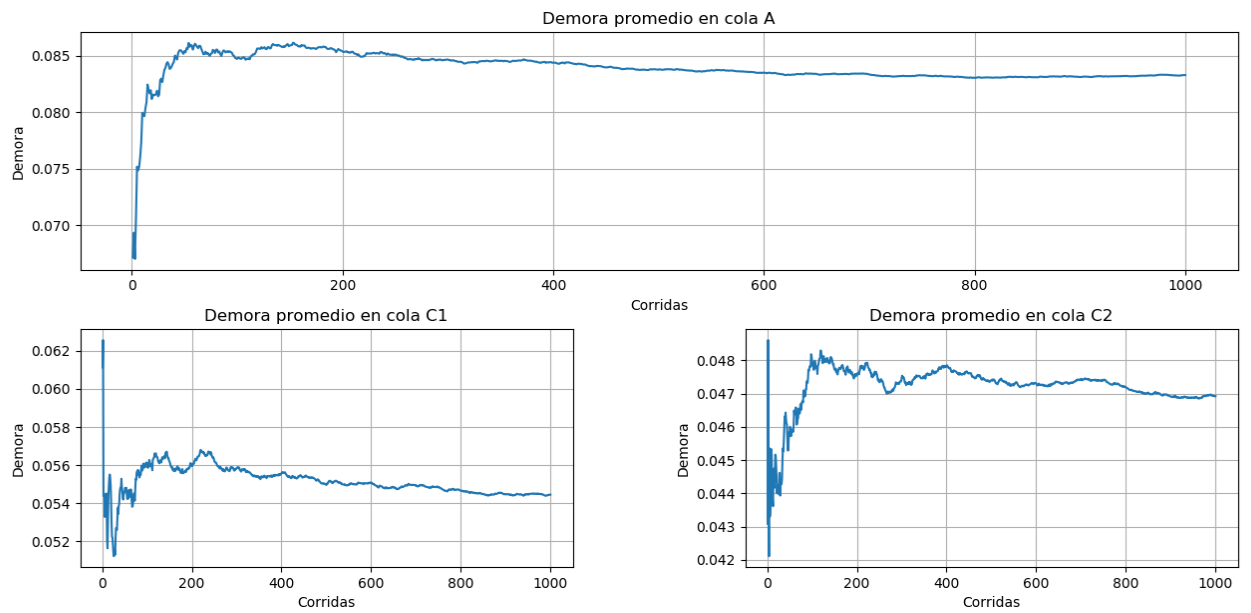


Figura 31: Demora promedio de los clientes en cola en la mejora

Número promedio de clientes en las colas:

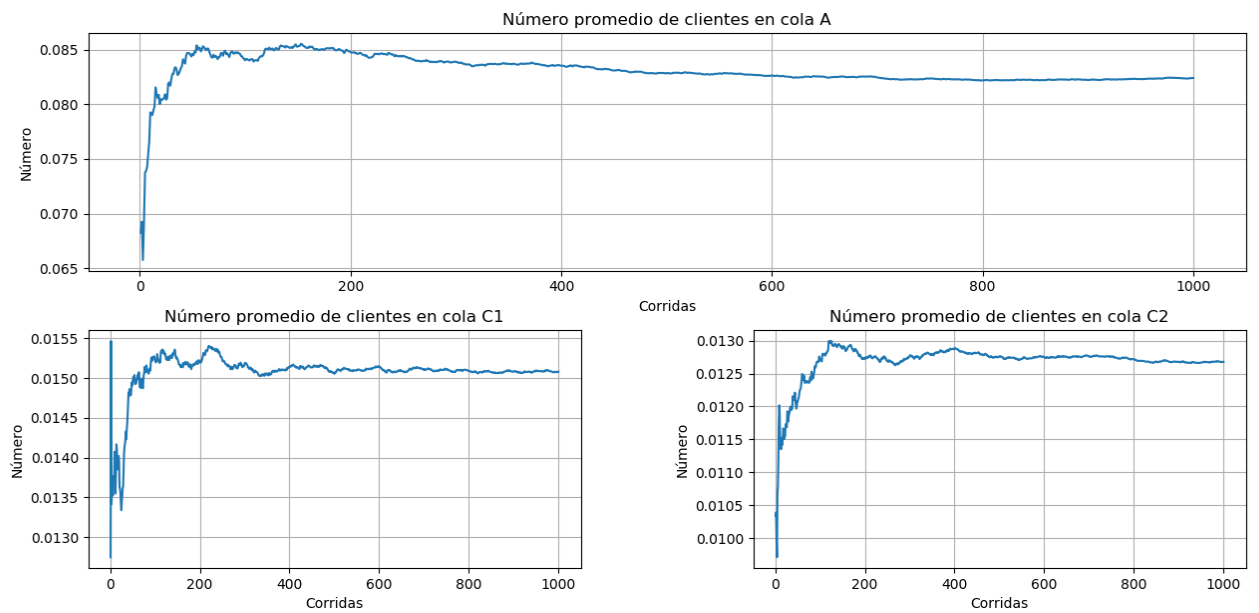


Figura 32: Número promedio de clientes en cola en la mejora

Utilización promedio de los servidores:

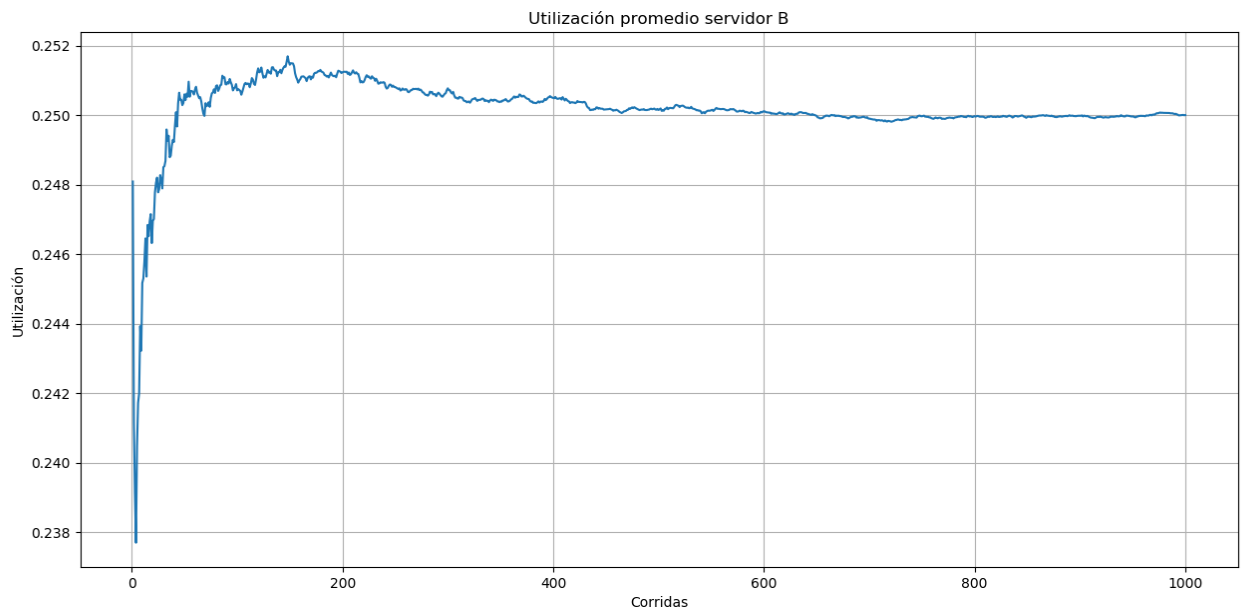


Figura 33: Utilización promedio del único servidor B

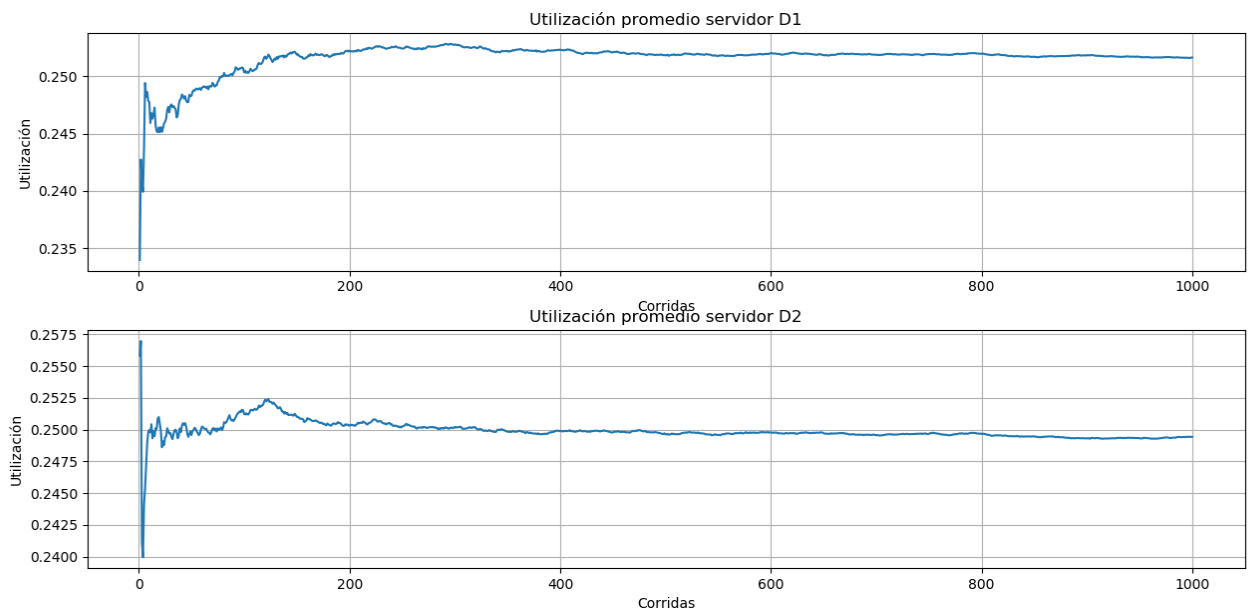


Figura 34: Utilización promedio de los servidores D

Tabla de valores obtenidos:

	Valores promedios obtenidos
Demora promedio en cola A	0.083284
Demora promedio en cola C1	0.054457
Demora promedio en cola C2	0.046922
Número promedio de clientes en cola A	0.082402
Número promedio de clientes en cola C1	0.015082
Número promedio de clientes en cola C2	0.012677
Utilización promedio del servidor B	0.250479
Utilización promedio del servidor D1	0.250012
Utilización promedio del servidor D2	0.249431

Cuadro 6: Medidas de rendimiento calculadas en la mejora planteada

Como puede verse en los resultados, con un solo servidor B obtenemos un promedio de utilización del **25 %** , el cual sigue siendo un número bajo, por lo que aunque el promedio de clientes y la demora promedio en cola A aumenta, el cambio no es significativo.

Con esta modificación se podría reducir en gran porcentaje el costo y mantenimiento del sistema y aún así brindar un buen servicio, en el que los clientes casi que no esperan en su paso.

ANEXOS

Código Python

El código python del presente trabajo se encuentra disponible en github:

https://github.com/robagliom/simulacion_sistemas_de_colas.

BIBLIOGRAFÍA

- Simulation, modeling and analysis - Law, Kelton.
- Capítulo 13 “Modelo de colas” del libro Investigación de Operaciones - Mathur y Solow - 1996.
- Presentaciones brindadas por la cátedra.