# PROYECTO DE SIMULACIÓN

## MANUAL DE USUARIO

### INICIAR LA APLICACIÓN

La simulación fue implementada utilizando HTML y Javascript. Para abrir el sitio web es necesario utilizar un servidor web, de lo contrario abrir directamente el HTML con un navegador puede dar errores de presentación.

Si se tiene instalado Python 3 se puede crear fácilmente un servidor usando los siguientes comandos desde una terminal de Linux:

```
cd directorioProyecto
python3 -m http.server
```

o bien en una terminal de Windows (como PowerShell):

```
cd directorioProyecto
python.exe -m http.server
```

Luego se puede abrir un navegador con la dirección que indicó el script anterior, normalmente http://localhost:8000/.

Además el proyecto se encuentra disponible en las siguientes direcciones:

- http://proyectoio2013.estebarb.tk
- http://pacific-lowlands-9599.herokuapp.com

El programa descarga Angular.js, jQuery y Twitter Bootstrap, por lo que requiere conexión a internet. Si no se utiliza un servidor para proveer el HTML al navegador entonces se requiere utilizar Firefox, ya ni Chrome ni Internet Explorer permiten que los scripts accedan a archivos en file://.

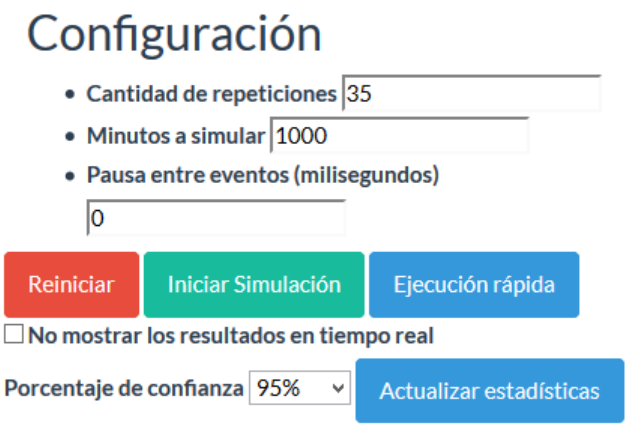
El funcionamiento del programa (utilizando las URLs anteriores) ha sido comprobado los siguientes navegadores:

1. Google Chrome (Ubuntu 13.04 y Windows 8)
2. Mozilla Firefox (Ubuntu 13.04 y Windows 8)
3. Internet Explorer 10 (Windows 8)

El código fuente también está disponible en https://github.com/estebarb/pio13.

## USO DE LA SIMULACIÓN

El programa permite configurar la cantidad de veces que se ejecutará la simulación, la cantidad de minutos a simular y la pausa (en milisegundos) entre cada paso de tiempo. También permite especificar si se desea que se actualice la GUI en tiempo real o bien si se actualiza hasta el final (esto a veces es útil por motivos de rendimiento).




Para iniciar la simulación hay dos opciones:

- **Iniciar Simulación**: En este modo la simulación será ejecutaba paso a paso, con una pausa entre cada paso de la simulación. El estado de la simulación y las estadísticas acumuladas serán actualizadas instantáneamente en la pantalla.
- **Ejecución Rápida**: En este modo el sistema no hará pausas entre cada paso de la simulación, por lo que es el modo ideal para correr simulaciones que en el otro modo tardarían demasiado. Sin embargo, las estadísticas y los datos de la simulación actual solo se actualizan al final de cada simulación.

Para borrar los datos acumulados o detener una simulación se puede presionar el botón **Reiniciar**.

Una vez iniciada la simulación se pueden ver los datos de la simulación actual:

- El reloj actual
- Nombre y descripción del evento que se está procesando
- Cantidad de mensajes enviados
- Cantidad de mensajes rechazados
- Estado de ocupación de cada servidor y cantidad de mensajes en cola

Estos datos son actualizados en de forma instantánea según se va dando la simulación (pero no en el modo de ejecución rápida).

## Simulación Actual

- Reloj: 25.045180767510328
- Evento: C atendió un mensaje:C atendió un mensaje
- Mensajes enviados: 118
- Mensajes rechazados: 217

| Servidor | Estado | Mensajes en cola |
|---|---|---|
| Servidor 1 | Ocupado | 1 |
| Servidor 2.1 | Ocupado | 0 |
| Servidor 2.2 | Ocupado | |
| Servidor 3 | Ocupado | 0 |

## Simulación Actual

- Reloj: 61.23769948930322
- Evento: C recibe un mensaje:Se ha creado un mensaje nuevo para que sea recibido por C
- Mensajes enviados: 311
- Mensajes rechazados: 517

| Servidor | Estado | Mensajes en cola |
|---|---|---|
| Servidor 1 | Libre | 0 |
| Servidor 2.1 | Ocupado | 0 |
| Servidor 2.2 | Ocupado | |
| Servidor 3 | Ocupado | 0 |

## Simulación Actual

- Reloj: 95.8423365019832
- Evento: A atendió un mensaje:A atendio un mensaje
- Mensajes enviados: 482
- Mensajes rechazados: 810

| Servidor | Estado | Mensajes en cola |
|---|---|---|
| Servidor 1 | Ocupado | 2 |
| Servidor 2.1 | Ocupado | 1 |
| Servidor 2.2 | Ocupado | |
| Servidor 3 | Ocupado | 4 |

## Simulación Actual

- Reloj: 758.9083833693967
- Evento: B recibe un mensaje:Se ha creado un mensaje nuevo para que sea recibido por B
- Mensajes enviados: 3817
- Mensajes rechazados: 6534

| Servidor | Estado | Mensajes en cola |
|---|---|---|
| Servidor 1 | Ocupado | 3 |
| Servidor 2.1 | Ocupado | 1 |
| Servidor 2.2 | Ocupado | |
| Servidor 3 | Ocupado | 1 |

Además, de forma simultánea a la simulación también se actualizan las estadísticas acumuladas del sistema. Estas estadísticas incluyen:

## Rendimiento del sistema

| | | Mensajes | | | % ocupación | | | | % ocupación rechazados | | % mensajes rechazados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Simulación | Reloj (minutos) | Enviados | Rechazados | Total | PC 1 | PC 2.1 | PC 2.2 | PC 3 | PC 1 | PC 3 | |
| 1 | 9,999.9702 | 50682 | 85694 | 136376 | 71.9873% | 81.6525% | 73.1746% | 70.9930% | 9.5763% | 63.0339% | 62.8366 |
| 2 | 9,999.9347 | 50759 | 85708 | 136467 | 71.7270% | 81.3173% | 73.1020% | 71.5351% | 9.7915% | 63.5554% | 62.8049 |
| 3 | 9,999.9899 | 50904 | 85547 | 136451 | 71.3770% | 80.9930% | 72.9104% | 71.3285% | 9.6278% | 63.3294% | 62.6943 |
| 4 | 9,999.9890 | 50805 | 85590 | 136395 | 71.7771% | 81.3700% | 73.0604% | 70.9849% | 9.6724% | 62.9605% | 62.7516 |
| 5 | 9,999.9764 | 50659 | 85756 | 136415 | 71.5458% | 81.5167% | 73.3719% | 71.7620% | 9.4155% | 63.7668% | 62.8641 |
| 6 | 9,999.9775 | 50719 | 85731 | 136450 | 72.0452% | 81.5290% | 73.3386% | 71.5265% | 9.4292% | 63.4789% | 62.8296 |
| 7 | 9,999.9722 | 50591 | 85818 | 136409 | 71.8971% | 81.3965% | 73.3200% | 71.3215% | 9.6737% | 63.5141% | 62.9123 |
| 8 | 9,999.9979 | 50795 | 85631 | 136426 | 71.1482% | 81.1511% | 72.9665% | 71.5718% | 9.6326% | 63.5748% | 62.7674 |
| 9 | 9,999.9991 | 50781 | 85480 | 136261 | 71.1154% | 81.2327% | 73.0712% | 71.1826% | 9.5296% | 63.1860% | 62.7326 |
| 10 | 9,999.9822 | 50625 | 85796 | 136421 | 70.9925% | 81.0320% | 72.6251% | 71.4349% | 9.3073% | 63.6041% | 62.8906 |
| Promedio total | 9,999.9789 | 50,732.0000 | 85,675.1000 | 136,407.1000 | 71.5613% | 81.3191% | 73.0941% | 71.3641% | 9.5656% | 63.4004% | 62.8084 |
| Intervalo de confianza: | [9,999.9657, 9,999.9922] | [50,663.9977, 50,800.0023] | [85,596.0893, 85,754.1107] | [136,365.5062, 136,448.6938] | [71.2863%, 71.8362%] | [81.1632%, 81.4749%] | [72.9313%, 73.2569%] | [71.1826%, 71.5456%] | [9.4612%, 9.6700%] | [63.2114%, 63.5894%] | [62.7575, 62.8593] |

- Reloj del último evento simulado (en minutos)
- Cantidad de mensajes enviados, rechazados y procesados en total
- Porcentaje de ocupación en cada CPU
- Porcentaje de ocupación con mensajes que al final son rechazados
- Porcentaje de mensajes rechazados

Además, se incluye las siguientes estadísticas, para los mensajes rechazados, aceptados y ambos:

- Promedio de devoluciones desde la computadora 1 hasta la 2 o la 3.
- Tiempo promedio por mensaje en el sistema, en colas o en transmisión
- El porcentaje de tiempo en procesamiento por mensaje (no en colas o en transmisión).

**Mensajes rechazados**

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en Sistema | Colas | Trans. | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.11133 | 13.7849s | 6.1405s | 2.5605s | 63.8259% |
| 2 | 0.11308 | 14.0073s | 6.2718s | 2.6009s | 63.1016% |
| 3 | 0.11300 | 13.8345s | 6.1185s | 2.5991s | 63.5453% |
| 4 | 0.11050 | 13.7379s | 6.1047s | 2.5416s | 64.0068% |
| 5 | 0.11001 | 13.8566s | 6.2061s | 2.5302s | 63.3026% |
| 6 | 0.11099 | 13.9195s | 6.2642s | 2.5527s | 63.3319% |
| 7 | 0.11089 | 13.8022s | 6.1349s | 2.5504s | 63.6337% |
| 8 | 0.11136 | 13.8273s | 6.1365s | 2.5613s | 63.3904% |
| 9 | 0.11210 | 13.8804s | 6.1982s | 2.5782s | 63.4604% |
| 10 | 0.10918 | 13.8685s | 6.2585s | 2.5111s | 63.4153% |
| Promedio total | 0.11124 | 13.8519s | 6.1834s | 2.5586s | 63.5014% |
| Intervalo de confianza: | [0.11036, 0.11213] | [13.7982s, 13.9056s] | [6.1372s, 6.2296s] | [2.5383s, 2.5789s] | [63.3122%, 63.6906%] |

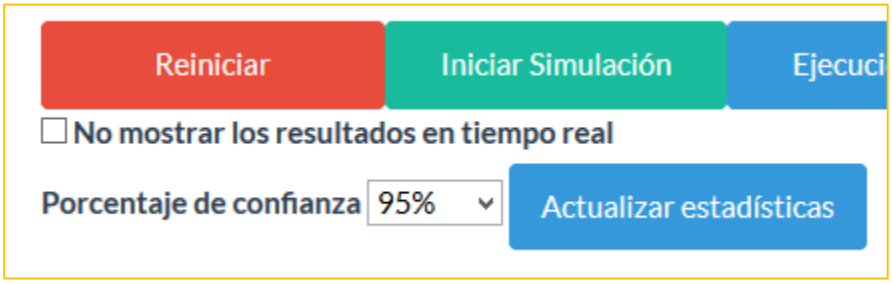
**Mensajes enviados**

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en Sistema | Colas | Trans. | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.22588 | 67.3839s | 15.5309s | 25.1952s | 40.0497% |
| 2 | 0.22024 | 66.6693s | 15.0888s | 25.0654s | 40.1731% |
| 3 | 0.21818 | 65.9061s | 14.5280s | 25.0180s | 40.3423% |
| 4 | 0.22081 | 66.7491s | 15.1535s | 25.0785s | 40.1868% |
| 5 | 0.22551 | 66.5713s | 14.7364s | 25.1867s | 40.3493% |
| 6 | 0.22502 | 67.0326s | 15.1783s | 25.1756s | 40.2058% |
| 7 | 0.22583 | 66.4551s | 14.6125s | 25.1941s | 40.3443% |
| 8 | 0.21866 | 65.4931s | 14.0497s | 25.0293s | 40.5487% |
| 9 | 0.22107 | 65.7390s | 14.2026s | 25.0845s | 40.4188% |
| 10 | 0.21963 | 66.1513s | 14.6520s | 25.0516s | 40.3308% |
| Promedio total | 0.22208 | 66.4151s | 14.7733s | 25.1079s | 40.2949% |
| Intervalo de confianza: | [0.21985, 0.22432] | [65.9914s, 66.8388s] | [14.4417s, 15.1048s] | [25.0565s, 25.1593s] | [40.1929%, 40.3970%] |

**Todos los mensajes**

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en Sistema | Colas | Trans. | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.15390 | 33.7041s | 9.6303s | 10.9723s | 54.9898% |
| 2 | 0.15294 | 33.5950s | 9.5513s | 10.9566s | 54.5733% |
| 3 | 0.15224 | 33.2602s | 9.2557s | 10.9626s | 54.8893% |
| 4 | 0.15159 | 33.4838s | 9.4752s | 10.9362s | 55.1342% |
| 5 | 0.15290 | 33.4327s | 9.3739s | 10.9439s | 54.7787% |
| 6 | 0.15337 | 33.6618s | 9.5776s | 10.9617s | 54.7359% |
| 7 | 0.15352 | 33.3300s | 9.2791s | 10.9484s | 54.9962% |
| 8 | 0.15131 | 33.0639s | 9.0828s | 10.9267s | 54.8858% |
| 9 | 0.15271 | 33.2068s | 9.1812s | 10.9657s | 54.8734% |
| 10 | 0.15017 | 33.2703s | 9.3733s | 10.8757s | 54.8488% |
| Promedio total | 0.15246 | 33.4009s | 9.3780s | 10.9450s | 54.8705% |
| Intervalo de confianza: | [0.15164, 0.15329] | [33.2503s, 33.5514s] | [9.2488s, 9.5072s] | [10.9249s, 10.9651s] | [54.7598%, 54.9812%] |

En todas las tablas es posible modificar el porcentaje de confianza con que se desea calcular el intervalo de confianza. Basta con seleccionarlo de la lista y hacer clic en "Actualizar Estadísticas".




## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A SIMULAR

El enunciado del proyecto, incluidas las modificaciones, es el siguiente:

Suponga que hay una red de 3 computadoras cuyo único trabajo es el de encargarse de la recepción, distribución y envío de los mensajes electrónicos en determinada empresa. Esta red funciona así:

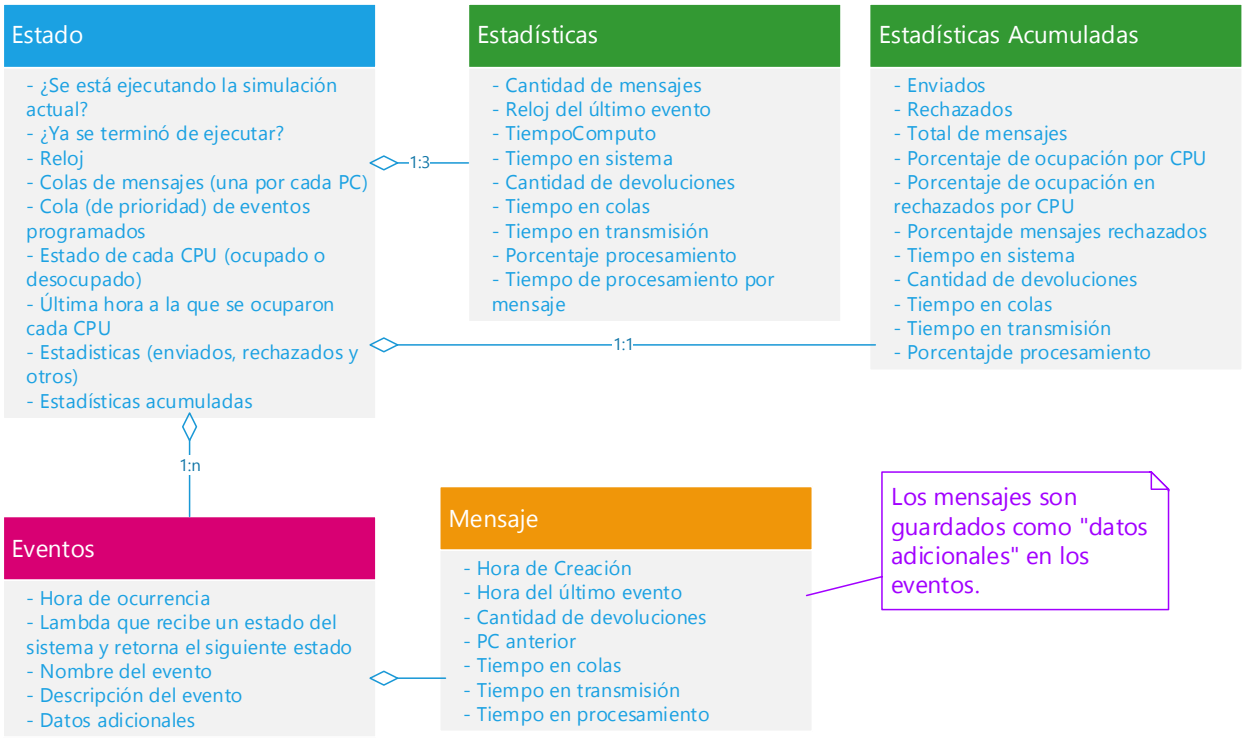
- La computadora No.1 es la única encargada de enviar los mensajes a su destino, pero ésta no los recibe directamente de los usuarios sino desde las otras 2 computadoras.
- La computadora No.2, que tiene 2 procesadores, recibe mensajes con una distribución para el tiempo entre arribos normal con una media de 15 segundos y una varianza de 1 segundo cuadrado. Esta computadora analiza y prepara cada uno de estos mensajes con alguno de sus dos procesadores (cada procesador tarda en promedio un tiempo con distribución uniforme entre 12 y 25 segundos, una vez analizado y preparado un mensaje, éste lo envía siempre a la computadora No.1. La computadora No. 1 usualmente le devuelve a esta computadora (la Núm 2) el 20% de los mensajes que recibe de ella para que los analice y prepare de nuevo pues llegaron con algún error. (Esto ocurre igual con los mensajes que llegan por primera vez a la computadora 1 desde la 2 o con los que llegan por n-ésima vez).
- La computadora No. 3 recibe mensajes con distribución de tiempo entre arribos con densidad igual a $f(x) = x/24$ con x entre 4 y 8 segundos. Esta máquina solo cuenta con 1 procesador y tiene el mismo trabajo que se describe para la computadora 2: analiza y prepara cada mensaje para ser

enviado a la computadora 1, sin embargo se da el caso especial acá de que en promedio, el 80% de todos los mensajes que aquí llegan son rechazados totalmente como resultado del análisis por no cumplir con alguna especificación obligatoria. Los que no son rechazados son enviados a la computadora No.1. La computadora No. 1 usualmente le devuelve a esta computadora el 50% de todos los mensajes que recibe de ella (igual probabilidad para los mensajes nuevos y para lo que ya habían sido devueltos 1 o más veces). Estos mensajes devueltos se vuelven a analizar y preparar en la computadora No. 3, y corren igual suerte como si fueran nuevos: puede ser rechazado con la misma probabilidad. El procesador de esta máquina puede analizar y preparar (o rechazar) un mensaje en un promedio de 4 segundos, tiempo exponencial.

- La computadora No. 1, con un procesador, puede procesar un promedio de 10 mensajes por minuto (t. exponencial), ya sea enviándolos a su destino, o devolviéndolos a su computadora de origen por llegar con error. Cuando se devuelve un mensaje, ya sea a la computadora 2 o a la 3 el tiempo que tarda en llegar tiene distribución constante de 3 segundos.
- El tiempo que tarda en llegar un mensaje a la computadora 1 cuando es enviado desde la computadora 2 o desde la 3 siempre son 20 segundos (Suponga que no se usan las mismas líneas de transmisión y que las colisiones de arribos no son problema).
- En cualquier computadora el tiempo que se tarda en colocar un mensaje que llega en la cola, o en asignárselo a un procesador si éste está libre es 0 para efectos prácticos.

## DISEÑO DEL SIMULADOR

El simulador representa la simulación por medio de eventos que modifican el estado del sistema. El siguiente diagrama representa los tipos de objetos que representan la simulación:




Los conceptos fundamentales del simulador son los siguientes:

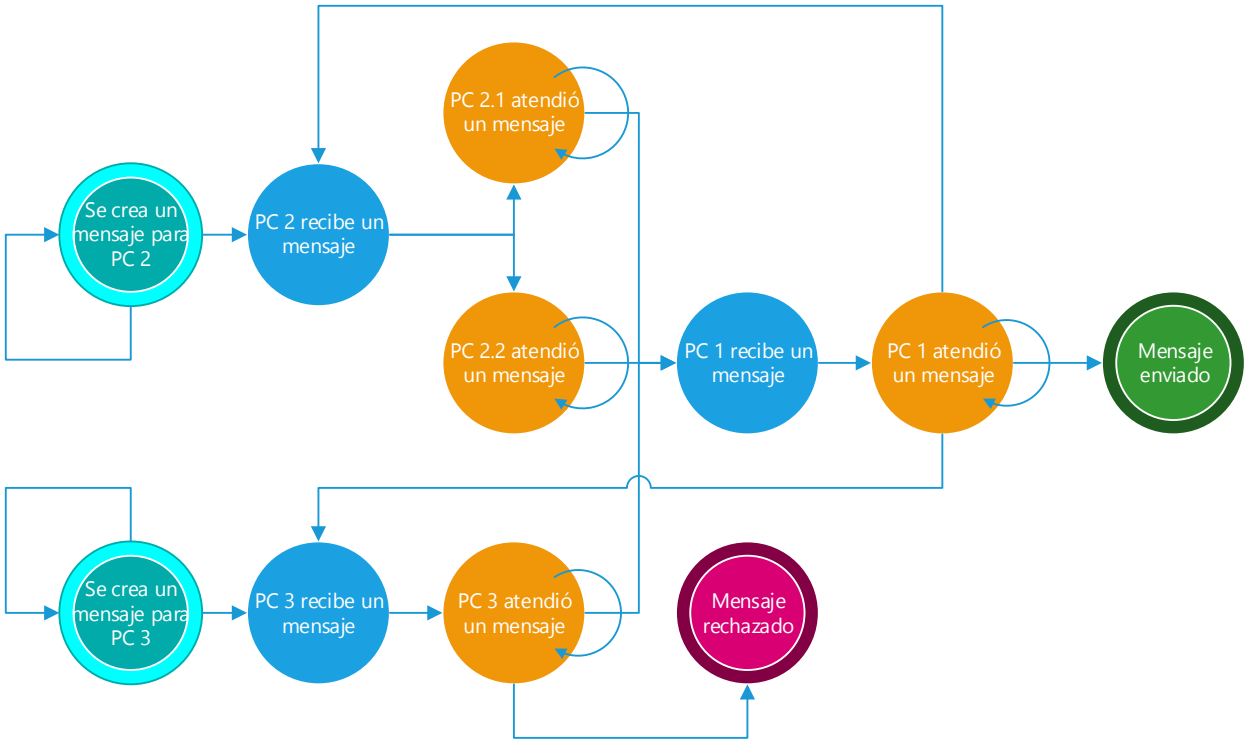
1. El estado del sistema está totalmente contenido en un objeto Estado.
2. Los eventos son representados por un objeto Evento que contiene los siguientes datos:
    a. Información sobre la instancia actual del evento (como la hora de ocurrencia o el mensaje asociado al evento).
    b. Una función lambda que transforma un Estado en el siguiente estado. Debido a que es una función pura (en el ámbito del simulador) se facilita enormemente ejecutar la simulación, pues cada evento puede ejecutar cualquier tipo de lógica, sin afectar la lógica del simulador.
3. Los eventos a ejecutar están en una lista, ordenada por el tiempo de ocurrencia del evento. Esto ofrece las siguientes ventajas:
    a. Como la lista está ordenada el próximo evento siempre será la cabeza de la lista.
    b. Programar nuevos eventos es trivial: simplemente se insertan a la lista de eventos. Como la lista se puede expandir para contener la cantidad de eventos que sea nunca van a suceder problemas como que no se pueda programar un evento porque hay otro del mismo tipo programado (o que le "caiga encima").
    c. Los eventos pueden programar nuevos eventos de una forma funcionalmente pura. Nunca modifican el estado del simulador. En particular, nunca hay mutación del estado de eventos previamente programados.
4. El simulador básicamente ejecuta pasos de la simulación hasta que la simulación se termine ($reloj \geq tiempo\ máximo$).

## EVENTOS

El sistema fue simulado utilizando los siguientes eventos:

1. Se crea un mensaje para PC 2
2. Se crea un mensaje para PC 3
3. PC 1 recibe un mensaje (de cualquier computadora)
4. PC 2 recibe un mensaje (de cualquier computadora)
5. PC 3 recibe un mensaje (de cualquier computadora)
6. Se atendió un mensaje en PC 1
7. Se atendió un mensaje en PC 2.1
8. Se atendió un mensaje en PC 2.2.
9. Se atendió un mensaje en PC 3
10. Metaeventos
    a. Se envió un mensaje
    b. Se rechazó un mensaje

La programación/creación de los eventos se da de la siguiente forma:




La lógica de los eventos es la siguiente[1]:

1. **Se crea un mensaje para PC2/PC3**: Este evento corresponde a la llegada/creación de un mensaje desde afuera del sistema.
    a. Se crea un nuevo mensaje (usando el reloj actual, etc).
    b. Se programa la recepción inmediata del mensaje en la PC correspondiente
    c. Se programa la creación de un nuevo mensaje en la PC correspondiente a futuro, según la distribución del tiempo entre arribos correspondiente por PC.
2. **Se recibe un mensaje en PC 1, PC2 o PC3:** Este evento corresponde a la llegada de un mensaje a una PC. El mensaje puede provenir de cualquier computadora (cada mensaje tiene información sobre su origen).
    a. Se actualiza el tiempo de transmisión del mensaje
    b. Se actualiza la hora de evento del mensaje
    c. Si hay algún CPU libre:
        i. Se marca el CPU como ocupado
        ii. Se actualiza la hora de ocupación del CPU
        iii. Se programa un nuevo evento "Mensaje atendido en PC#-#" a futuro, según la distribución del tiempo de atención correspondiente a cada PC/CPU.
    d. Sino:
        i. Se encola el mensaje en la PC correspondiente. Nótese que hay una cola por PC, no por CPU.

[1] La lógica de los eventos está en el archivo eventos.js

3. **Se atendió un mensaje en PC1, PC2.1, PC2.2 o PC3:** Este evento corresponde al momento en que se terminó de atender un mensaje en un determinado CPU. Los pasos "e" y "f" NO aplican para el PC 2, pues este nunca rechaza mensajes.
    a. Se actualiza el tiempo de procesamiento del mensaje y otras estadísticas
    b. Se actualiza la hora actual en el mensaje
    c. Se actualiza la PC anterior en el mensaje
    d. Se calcula la probabilidad de que el mensaje sea rechazado, usando la distribución de probabilidad de rechazo correspondiente a cada PC/CPU.
    e. Si debe ser rechazado entonces:
        i. Se programa un nuevo evento, según el PC, usando la distribución del tiempo de transmisión correspondiente para dicha ruta:
            1. PC 1: Se programa el evento "PC# recibe mensaje", según el mensaje venga de la PC 2 o la 3
            2. PC 3: Se programa el metaevento "Mensaje Rechazado"
    f. Sino:
        i. Se programa un nuevo evento, según el PC, usando la distribución de tiempo de transmisión correspondiente para dicha ruta:
            1. PC 1: Se programa el evento "Mensaje Enviado"
            2. PC 3: Se programa el evento "PC 1 recibe mensaje"
    g. Se libera el CPU
    h. Si hay mensajes en la cola del PC actual:
        i. Se marca el CPU como ocupado
        ii. Se actualiza la hora de ocupación del CPU
        iii. Se borra el mensaje de la cola
        iv. Se actualizan las estadísticas del tiempo en cola del mensaje y la hora actual.
        v. Se programa un nuevo evento "Se atendió mensaje en PC#", según la distribución del tiempo de servicio para el PC actual.
4. **Metaeventos:** No forman parte del sistema simulado, pero son convenientes porque representan momentos donde se desea recolectar estadísticas. Se tiene un metaevento para los mensajes enviados y otro para los mensajes rechazados. Su única función es actualizar las estadísticas acumuladas con las estadísticas del mensaje que está saliendo del sistema.

## ESTADÍSTICAS

Las estadísticas del sistema son recolectadas tanto en acumuladores globales (separados en mensajes rechazados y aceptados), los cuales son actualizados a partir de las estadísticas que carga cada mensaje al momento de salida del sistema (o por los CPU al terminar la simulación).

Los promedios entre simulaciones y los intervalos de confianza son calculados por la parte del programa que controla la GUI, no por el código de la simulación.

## EL SIMULADOR

Cada simulación es realizada en pasos discretos. El programa ejecuta un paso de la simulación hasta que el reloj del siguiente evento supere el tiempo máximo que se desea simular. A continuación se describe la forma en que se realizan las "mutaciones" al estado de una simulación.

Como anteriormente se había mencionado, cada evento contiene una función capaz de tomar un Estado del sistema y devolver el estado siguiente. Esto aprovecha la naturaleza funcional de Javascript, pues abstrae y encapsula la lógica de los eventos. A continuación se muestra el código que ejecuta un paso de la simulación:

```
// Archivo simulacion.js
// SimulationStep(estado)
// Ejecuta un paso de la simulación y devuelve el nuevo
// estado.
// Recibe:
// - estado: un estado de una simulación
// Retorna:
//   El siguiente estado de la simulación
function SimulationStep(estado){
    // Toma el evento más reciente
    var evento = PeekEvent(estado);
    // Y lo borra de la lista de eventos:
    estado = PopEvent(estado);

    // Actualiza el reloj:
    estado.Reloj = evento.Tiempo;

    // Y escribe cual evento se está
    // ejecutando ahora, para poder
    // hacer binding en la GUI.
    estado.Ejecutando = evento;

    // Ejecuta el evento actual y retorna
    // el nuevo estado del sistema.
    estado = evento.Lambda(estado, evento.Data);
    return estado;
}
```

Su funcionamiento es el siguiente:

1. PeekEvent retorna el siguiente evento programado en la simulación actual.
2. PopEvento borra el evento obtenido anteriormente de la lista de eventos.
3. Se actualiza el reloj de la simulación actual. El nuevo reloj corresponde a la hora del siguiente evento.
4. Se guarda en una variable cual es el evento que se está procesando. Esto es solamente para facilitar la interacción con la GUI
5. Se retorna el nuevo estado del sistema, que es evento.Lambda(estado, evento.Data)

a. La función evento.Lambda toma el estado actual del sistema y los datos del evento y retorna el siguiente estado del sistema.

El código de la interfaz gráfica hace otros cálculos, como manejar una lista con todas las simulaciones y calcular estadísticas, pero en general la única "mutación" al estado de la simulación es la función SimulationStep.

El uso de programación funcional y listas de eventos nos da los siguientes beneficios:

1. Implementar un evento es simple. Solamente hay que definir una función lambda que modifique el estado del sistema según la lógica que deseemos implementar.
2. No hay efectos secundarios dentro del ámbito de la simulación.
    a. Esto facilita probar y depurar el programa. Si cada función de evento es correcta y el estado inicial del sistema es correcto entonces, por inducción, el simulador solamente puede mostrar estados correctos del sistema, sin importar la cantidad de veces que se "mute" el estado del sistema.
    b. Usar una lista de eventos evita posibles errores a la hora de programar:
        i. Es imposible sobreescribir un evento. Las únicas operaciones válidas son insertar un evento (de forma ordenada) o sacar un evento para ejecutarlo.
    c. Es sencillo demostrar el funcionamiento correcto del programa. Se puede demostrar la correctitud de la composición de eventos dado que cumplan ciertos invariantes. Se podría demostrar la correctitud del código si se comprueba que este cumple los invariantes especificados anteriormente.
3. Permite hacer razonamientos y demostraciones sobre el funcionamiento esperado del código. Facilita comprobar que el código es acorde a la especificación.

## DEMOSTRACIONES SOBRE LA LÓGICA ESPERADA DEL PROGRAMA

A continuación se especifican condiciones esperadas del código del programa, y cómo estas condiciones bastan para garantizar ciertas invariantes sobre el sistema.

Supuestos:

1. La interfaz gráfica obtiene el siguiente Estado de la simulación llamando varias veces a SimulationStep. Nunca modifica el estado.
2. Las estadísticas del lado de la interfaz gráfica están implementadas de forma correcta.
3. La lógica de cada evento está programada de forma correcta.

En particular deseamos garantizar lo siguiente:

1. El estado de la simulación en la interfaz gráfica es correcto
2. El reloj de la simulación NUNCA se devuelve
3. Nunca se sobrescribe ningún evento
4. Los eventos serán ejecutados según su hora programada.

Sea $E = \{e_0, e_1, \dots, e_n\}$ el conjunto con todos los eventos posibles, y sea $S$ una sucesión de estados del sistema, donde $s_i$ representa el i-ésimo estado del sistema.

Defínase la función $e_i.\lambda: S \to S$, donde $e_i.\lambda(s_n) = s_{n+1}$.

Cada estado $s_i$ de la simulación tiene una lista de eventos $s_i.L$. Solamente es "modificada" por las siguientes funciones:

$PushEvent(evento, s_i)$: Inserta el evento en $s_i.L$ y retorna $s_i$ , manteniendo el orden de programación de eventos en $s_i.L$.

$PopEvent(s_i)$: Borra de $s_i.L$ el primer evento.

$PeekEvent(s_i)$: Retorna $s_i.L_0$.

Supóngase que $S_0$ es un estado correcto del sistema. Para efectos de nuestra simulación es necesario que $S_0$ contenga programados dos eventos: la llegada de mensajes a PC 2 y PC 3.

Dado $S_n$ el estado $S_{n+1}$ se obtiene de la siguiente manera (SimulationStep):

1. $S_{n+1} =$
    a. $S := S_n$,
    b. $e := PeekEvent(S)$,
    c. $S.Reloj := e.Hora$,
    d. $e.\lambda(S)$ En el programa lambda también recibe los datos extra del evento.

Si la función lambda está bien implementada entonces, por inducción, en este punto se puede garantizar que la simulación estaría correcta. Esto de ningún modo demuestra que el programa está implementado de forma correcta, pero demuestra que no es necesario comprobar que la composición de lambdas de eventos resulta en una simulación correcta, sino que basta con verificar y validar la función lambda y el estado inicial.

Para comprobar que nunca se sobrescriben o "pierden" eventos es suficiente comprobar que la función PushEvent solamente inserta eventos de forma ordenada, pero no sobreescribe o borra los que ya están. Esto garantiza que se puedan tener programados cualquier cantidad de eventos y de cualquier tipo. Esto permite, por ejemplo, tener un único evento "PC recibe mensaje", en lugar de "PC recibe de B1", "PC recibe de B2", "PC recibe de C". Tener menos eventos significa menos código y probablemente menos errores.

Como los eventos son insertados en la lista de eventos en orden (la lista luego de la inserción está ordenada por hora de ocurrencia del evento) entonces el primer elemento de la lista necesariamente será el siguiente evento (tiene el tiempo de ocurrencia menor de todos los eventos). Por lo tanto los eventos siempre son ejecutados en orden, sin importar en qué orden fueron insertados a la lista.

Finalmente se comprueba que el reloj nunca se devuelve. Para garantizar esto es necesario que se cumpla el siguiente supuesto: TODOS los eventos programados (por otro evento) ocurrirán a la hora $Reloj + r$, con $r \geq 0$. En el caso de nuestra simulación esto es fácil de comprobar, pues $r$ es un valor aleatorio generado con funciones de distribución de probabilidad que NUNCA retornan valores negativos:

Sea r un valor real aleatorio en el intervalo $[0,1[$:

1. Distribución uniforme entre a y b ($0 \leq a \leq b$):
    a. Se cumple que:
    b. $a \geq 0$
    c. $b - a \geq 0$
    d. $r \geq 0$
    e. $\therefore a + (b - a) * r \geq a \geq 0$ ■
2. Distribución exponencial con parámetro $\lambda, \lambda \geq 0$:
    a. $1 > r \geq 0$
    b. $0 < 1 - r \leq 1$
    c. $\ln 1 - r \ \leq 0$
    d. $\frac{\ln 1 - r}{-\lambda} \geq 0$
3. Distribución X/24 y X/600:
    a. Tienen la forma $c\sqrt{3r + 1}, con\ c > 0$. Siempre es positivo.
4. Distribución normal con media 15 segundos y varianza de 1s al cuadrado:
    a. Se calculó con software CAS (Wolfram Alpha) la integral desde menos infinito hasta o de la función acumulada de dicha distribución. El resultado es $\approx 0$ .
    b. La implementación de la distribución normal estándar usada utiliza 12 valores random que se suman y luego se les resta 6.
    c. La DistribuciónNormal(u, v) = $N\ v + u$ , con N un valor aleatorio que sigue una distribución normal estándar.
    d. $DistribucionNormal(15{,}1) = N * 1 + 15 < 0 \Leftrightarrow N < -15$. Pero, por la forma en que se calcula se cumple que $-6 \leq N < 6$. Por lo tanto, $N > -15$, lo que implica que la distribución normal con media 15 segundos y varianza 1s al cuadrado en este programa siempre da un número positivo.
        i. De hecho, solamente retorna valores entre 9 y 21.

Como los eventos siempre son ejecutados en orden y los eventos siempre son programados ahora o en el futuro es imposible que el reloj en algún punto de la simulación "se devuelva".

## ESTADÍSTICAS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA

A continuación se muestran los resultados de ejecutar la simulación diez veces durante 1000 minutos, usando un porcentaje de confianza del 95%.

### RENDIMIENTO DEL SISTEMA

| Simulación | Reloj (minutos) | Mensajes | | | % ocupación | | | | % ocupación rechazados | | % mensajes rechazados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Enviados | Rechazados | Total | PC 1 | PC 2.1 | PC 2.2 | PC 3 | PC 1 | PC 3 | |
| 1 | 999.9703 | 5038 | 8623 | 13661 | 70.9801% | 81.5587% | 73.1686% | 71.6409% | 9.4162% | 63.8840% | 63.1213 |
| 2 | 999.9898 | 5031 | 8591 | 13622 | 73.1505% | 81.3144% | 73.6530% | 71.6734% | 9.8018% | 63.7108% | 63.0671 |
| 3 | 999.9875 | 5056 | 8596 | 13652 | 68.5993% | 81.2862% | 73.2299% | 70.9265% | 8.4329% | 63.1635% | 62.9651 |
| 4 | 999.9593 | 5101 | 8527 | 13628 | 71.9728% | 81.5598% | 73.4986% | 71.5196% | 9.5489% | 63.7778% | 62.5697 |
| 5 | 999.9950 | 5047 | 8588 | 13635 | 71.7094% | 81.5126% | 73.0429% | 71.8082% | 10.1713% | 64.0695% | 62.9850 |
| 6 | 999.9559 | 4992 | 8655 | 13647 | 71.6318% | 81.9290% | 73.9681% | 70.9380% | 9.6381% | 63.8078% | 63.4205 |
| 7 | 999.9733 | 5016 | 8656 | 13672 | 70.1209% | 81.3812% | 72.4284% | 72.7521% | 9.8455% | 65.3881% | 63.3119 |
| 8 | 999.9964 | 5044 | 8615 | 13659 | 71.2851% | 80.4276% | 72.9695% | 72.8444% | 9.3089% | 64.7451% | 63.0720 |
| 9 | 999.9969 | 5038 | 8612 | 13650 | 70.6901% | 82.0284% | 73.8787% | 71.2798% | 9.3791% | 63.3384% | 63.0916 |

| Simulación | Reloj (minutos) | Mensajes | | | % ocupación | | | | % ocupación rechazados | | % mensajes rechazados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Enviados | Rechazados | Total | PC 1 | PC 2.1 | PC 2.2 | PC 3 | PC 1 | PC 3 | |
| 10 | 999.9701 | 5058 | 8589 | 13647 | 72.2071% | 80.7476% | 73.0652% | 70.5710% | 9.7471% | 62.5475% | 62.9369 |
| $\bar{X}$ | 999.9794 | 5,042.1000 | 8,605.2000 | 13,647.3000 | 71.2347% | 81.3746% | 73.2903% | 71.5954% | 9.5290% | 63.8433% | 63.0541 |
| Intervalo de Confianza | [999.9683, 999.9906] | [5,021.7407, 5,062.4593] | [8,578.5638, 8,631.8362] | [13,636.3006, 13,658.2994] | [70.3396%, 72.1298%] | [81.0271%, 81.7220%] | [72.9568%, 73.6238%] | [71.0630%, 72.1278%] | [9.1976%, 9.8604%] | [63.2754%, 64.4111%] | [62.8910, 63.2173] |

## MENSAJES RECHAZADOS

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en | | | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sistema | Colas | Trans. | |
| **1** | 0.10843 | 13.5158s | 5.9217s | 2.4939s | 63.9107% |
| **2** | 0.11675 | 14.3981s | 6.5787s | 2.6853s | 62.7924% |
| **3** | 0.09981 | 13.3081s | 6.0150s | 2.2957s | 64.5208% |
| **4** | 0.10930 | 14.0094s | 6.3361s | 2.5139s | 63.5875% |
| **5** | 0.11667 | 14.2520s | 6.3816s | 2.6835s | 62.7714% |
| **6** | 0.11473 | 14.0283s | 6.2981s | 2.6388s | 63.8058% |
| **7** | 0.11229 | 14.4022s | 6.6047s | 2.5827s | 61.9804% |
| **8** | 0.11120 | 14.1960s | 6.4808s | 2.5576s | 62.1034% |
| **9** | 0.10996 | 13.7611s | 6.1657s | 2.5291s | 63.5780% |
| **10** | 0.11259 | 13.8883s | 6.2487s | 2.5895s | 64.1780% |
| **Promedio total** | **0.11117** | **13.9759s** | **6.3031s** | **2.5570s** | **63.3228%** |
| **Intervalo de confianza** | **[0.10765, 0.11470]** | **[13.7147s, 14.2371s]** | **[6.1421s, 6.4641s]** | **[2.4759s, 2.6381s]** | **[62.7031%, 63.9426%]** |

## MENSAJES ENVIADOS

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en | | | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sistema | Colas | Trans. | |
| **1** | 0.22787 | 66.3629s | 14.4468s | 25.2410s | 40.5315% |
| **2** | 0.22739 | 68.0751s | 15.8714s | 25.2300s | 40.3132% |
| **3** | 0.21479 | 64.5414s | 13.2127s | 24.9403s | 41.0811% |
| **4** | 0.21819 | 66.2477s | 14.7602s | 25.0184s | 40.3519% |
| **5** | 0.21914 | 66.4889s | 14.8530s | 25.0402s | 40.2901% |
| **6** | 0.23137 | 68.3179s | 15.9733s | 25.3215s | 40.1874% |
| **7** | 0.21910 | 64.7784s | 13.2666s | 25.0393s | 41.0255% |
| **8** | 0.21372 | 65.2064s | 13.7564s | 24.9155s | 40.9286% |
| **9** | 0.23065 | 66.3063s | 14.1952s | 25.3049s | 40.5080% |
| **10** | 0.21945 | 67.3621s | 15.7197s | 25.0474s | 40.1095% |
| **Promedio total** | 0.22217 | 66.3687s | 14.6055s | 25.1099s | 40.5327% |
| **Intervalo de confianza:** | [0.21750, 0.22684] | [65.4468s, 67.2906s] | [13.8727s, 15.3384s] | [25.0024s, 25.2173s] | [40.2782%, 40.7872%] |

## TODOS LOS MENSAJES

| Simulación | Media rebotes en PC1 | T. promedio por mensaje en | | | % tiempo cómputo |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sistema | Colas | Trans. | |
| **1** | 0.15248 | 33.0051s | 9.0657s | 10.8827s | 55.2888% |
| **2** | 0.15761 | 34.2226s | 10.0108s | 11.0117s | 54.4902% |
| **3** | 0.14240 | 32.2823s | 8.6806s | 10.6821s | 55.8399% |
| **4** | 0.15006 | 33.5624s | 9.4893s | 10.9374s | 54.8904% |
| **5** | 0.15460 | 33.5875s | 9.5173s | 10.9589s | 54.4499% |
| **6** | 0.15740 | 33.8871s | 9.8372s | 10.9360s | 55.1663% |
| **7** | 0.15148 | 32.8843s | 9.0488s | 10.8216s | 54.2924% |
| **8** | 0.14906 | 33.0331s | 9.1676s | 10.8140s | 54.2840% |
| **9** | 0.15451 | 33.1547s | 9.1293s | 10.9353s | 55.0632% |
| **10** | 0.15219 | 33.7073s | 9.7589s | 10.9131s | 55.2575% |
| **Promedio total** | 0.15218 | 33.3326s | 9.3706s | 10.8893s | 54.9023% |
| **Intervalo de confianza:** | [0.14899, 0.15536] | [32.9273s, 33.7380s] | [9.0703s, 9.6708s] | [10.8217s, 10.9568s] | [54.5345%, 55.2700%] |

## ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema en general está en equilibrio. Sin embargo, se puede observar que mientras que los mensajes rechazados son rechazados muy rápidamente los mensajes que al final son enviados tardan mucho más.

La computadora 3 atiende los mensajes más rápido que los CPU de la computadora 2. Pero la computadora 3 pasa ocupada generalmente con mensajes que al final son rechazados. Si se desea reducir el tiempo que tardan los mensajes enviados en el sistema quizá sea mejor intercambiar los roles de la PC 2 y la PC3.

También es necesario mejorar la velocidad de la transferencia de datos. Los mensajes enviados tardan en promedio 25,1099 segundos en transporte. Eso es muchísimo tiempo, considerando que el ping entre mi computadora y servidores alejados en Japón o Rusia es menos de 0,5s. Aunque es posible que sean mensajes muy grandes.

# PROBLEMAS ENCONTRADOS

Se encontraron los siguientes problemas:

## RENDIMIENTO

Debido a la forma en que los navegadores implementan los motores de Javascript y la interacción con la interfaz gráfica hay que escoger entre actualizar la pantalla regularmente o hacer la simulación lo más rápido posible.

Para solucionar esta disyuntiva se optó por ofrecer dos modos de simulación: uno que actualiza la pantalla a cada paso y se espera cierta cantidad de milisegundos (pero es muy lento) y otro que actualiza la interfaz gráfica luego de terminar cada simulación. Estas dos opciones ofrecen un buen balance entre velocidad y visualización de la simulación.

## EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

Debido a las políticas de seguridad de los navegadores no es posible ejecutar cualquier código de forma local. Para solucionar esto se tomaron las siguientes medidas:

- Durante el desarrollo se utilizó un servidor local, específicamente el paquete http.server de Python 3.
- Para facilitar la ejecución por otras personas se desplegó la aplicación en un servidor público. La aplicación funciona sin restricciones en este entorno.
- Si ninguna de las opciones anteriores es posible de usar la alternativa sería correr el programa usando Firefox.