

## ***TÉCNICAS DE SIMULACIÓN***

**2025**

### **EJERCICIOS PROPUESTOS DE SIMULACIÓN**

**Resuelva los siguientes ejercicios de Simulación y exponga su solución en Arena. Presentar el informe según las indicaciones de la tarea del aula virtual.**

1. Se pretende simular el comportamiento del flujo de clientes durante la cena en un restaurante. Los clientes arriban en grupos de 2, 3, 4 y 5 clientes con probabilidad de 0.4, 0.3, 0.2 y 0.1 respectivamente. El restaurante tiene 50 mesas y en cada una se pueden sentar 2 clientes. Las mesas se unen cuando los grupos son mayores de 2 personas. Al arribar cada grupo de personas hacen una cola para entrar al restaurante, pero si ya hay 5 grupos esperando se desaniman y se marchan. Después de estar sentados el tiempo para ser servidos sigue una distribución uniforme entre 15 y 20 minutos, y el tiempo que toma el grupo para comer sigue una distribución normal con media de 20 minutos y desviación de 2 minutos. Cuando el grupo termina de comer va hasta el cajero y paga su cuenta tomando esto un tiempo al cajero de distribución uniforme entre 1.5 y 3 minutos. Dado que el tiempo entre arribo de los clientes sigue una distribución exponencial con media de 1.6 minutos, simule este sistema una semana funcionamiento con siete días y 8 horas diarias para obtener los siguientes resultados:
  - a. Cantidad de clientes servidos y cantidad de clientes no servidos.
  - b. Cantidad de grupos atendidos.
  - c. Tiempo promedio que pasa un cliente en el restaurante cuando es atendido.
  - d. Utilización de los recursos y tamaño de las colas.
2. Una empresa cuenta con una unidad móvil especial para atender los ponches que sufren los buses durante su recorrido. De acuerdo a la estadística disponible se conoce que el tiempo entre ponches Pegasus sigue una distribución uniforme entre 2 y 4 horas, mientras que la frecuencia de ponches para los buses Volvo es también uniforme entre 6 y 10 horas. La unidad móvil demora exactamente 2 horas en reparar el ponche de un Pegasus y 4 horas en el caso de un Volvo, siendo prioritario la reparación de estos. Una vez que los buses son reparados los envían a un taller en donde se encuentra un empleado de la empresa, el mismo que realiza un cierto mantenimiento. La transportación desde el lugar del ponche al taller se demora un tiempo exponencial con media 30 minutos para los Volvos y media de 45 minutos para los Pegasus. El empleado demora una hora aproximadamente en realizar el mantenimiento. Haga la simulación de 5 días de trabajo con 24 horas por día, para determinar:
  - a. Tiempo en el sistema de los Pegasus y de los Volvos.
  - b. Tiempo de espera de los Volvos para la unidad móvil.
  - c. Longitud de la cola del taller.
  - d. Utilidad de los recursos.
3. La dirección de abastecimiento de una industria dispone de dos oficinas donde se atienden las solicitudes de diversos productos de las empresas de una provincia. El tiempo de atención en cada oficina es como promedio de 2/3 de semana por solicitud según una exponencial. En la dirección de abastecimiento, una de las dos oficinas se dedica a atender las solicitudes de 4 empresas priorizadas, teniendo en cuenta que el flujo de solicitudes a esta es de 3 solicitudes por mes. La otra oficina se dedica a atender las restantes empresas, pero teniendo en cuenta que si una empresa hace una solicitud y existen dos solicitudes que aún no han sido atendidas, no podrá ser atendida por esta oficina, lo que provocaría afectaciones en su labor productiva; el flujo de solicitudes a esta oficina sería de 4 por mes. Una vez que se hayan atendido las solicitudes de las empresas, estos se dirigen hacia el almacén de la dirección, para empaquetar los productos solicitados, en este sector existe un

empleado que realiza este trabajo, el mismo que lo desarrolla en dos días, dándole mayor prioridad a las empresas priorizadas. Una vez atendidos las solicitudes en el almacén son enviados los productos a la respectiva empresa usando uno de los dos camiones disponibles para este fin, los mismos que se demoran 6 horas como promedio en realizar el viaje de ida y de regreso. Desarrolle la simulación de un mes de funcionamiento de la dirección, para obtener los siguientes resultados:

- a. Cantidad de pedidos atendidos y no atendidos.
  - b. Tiempo promedio que pasan en ser atendidos completamente los pedidos de las empresas más importantes.
  - c. Utilización de todos los recursos.
4. En el almacén de una empresa sideromecánica se reciben camiones con equipos pesados. Actualmente estos son descargados mediante una grúa, no permitiéndose la estancia de más de dos camiones esperando en el patio del almacén. El tiempo que demora un camión en ser descargado por la grúa es una variable aleatoria que sigue una distribución exponencial con media de 30 minutos. Los camiones llegan al almacén a intervalos aleatorios, de acuerdo con una distribución de Poisson, a razón de cuatro por hora como promedio. Aquellos camiones que no puedan esperar en el patio del almacén deberán dirigirse a otro local en donde se encuentra una grúa menos eficiente, la misma que demora un tiempo exponencial con media de 45 minutos en realizar la respectiva descarga de los camiones, este local no tiene ninguna restricción en su área de espera, pero los camiones que son atendidos por esta grúa deberán pasar por una estación de verificación que se encuentra en el mismo local, en donde se toman algunos datos de estos, en esta estación se encuentra un empleado que demora en realizar dicha operación aproximadamente 2 minutos. Los camiones una vez que son descargados por las grúas deben dirigirse a la salida de la empresa, los mismos que demoran un tiempo exponencial con media 10 minutos en realizar este viaje. En la salida existe otro empleado que registra la salida de cada camión, demorándose un tiempo promedio entre 2 y 3 minutos según una distribución uniforme. Desarrolle un programa que simule la llegada de 10 camiones a la empresa para obtener lo siguiente:
- a. Cantidad de camiones que son atendidos por cada grúa.
  - b. Tiempo promedio que pasan los camiones en el local de descarga en donde se encuentra la grúa menos eficiente.
  - c. Utilización de ambas grúas.
  - d. Cantidad promedio de camiones que esperan en el patio del almacén.
5. El jefe de un almacén estima cada 5 minutos, según un proceso exponencial, la afluencia de sus clientes. Para el despacho de los productos, el almacén ocupa los servicios de un bodeguero, un practicante y un registrador. Un cliente que llega es atendido por el bodeguero en caso que este tenga un máximo de 1 usuario en espera, caso contrario es atendido por el practicante. Los tiempos de servicio son exponenciales con media de 3 y 6 minutos para el bodeguero y el practicante respectivamente. Una vez que el usuario es atendido, por el bodeguero o el practicante, se dirige a la sesión de registro, en donde el registrador demora aproximadamente 2 minutos, según un proceso Poisson, en realizar el proceso de verificación y registro del inventario. Si el almacén funciona 8 horas diarias, realice la simulación de 5 días laborables del funcionamiento del sistema de servicio para obtener lo siguiente:
- a. Número de usuarios atendidos por el bodeguero.
  - b. Número de usuarios atendidos por el practicante.
  - c. Tiempo promedio de estancia en el almacén de los clientes atendidos por el bodeguero.
  - d. Utilización de los recursos y tamaños de las colas.
6. El propietario de una farmacia estima en 60 personas por hora la afluencia de clientes en su establecimiento según un proceso de Poisson. Para el despacho de los medicamentos, la farmacia ocupa los servicios de un farmacéutico, un aprendiz y un cajero. Una persona que llega es atendida por el farmacéutico en caso que este tenga un máximo de 3 usuarios en espera, caso contrario es atendida por el aprendiz. Los tiempos de servicio son exponenciales con media de 3 y 6 minutos para el farmacéutico y el aprendiz respectivamente. Una vez que el usuario es atendido por el farmacéutico o el aprendiz se dirige a la caja a cancelar, en donde existe un empleado que demora aproximadamente 1 minuto, según una distribución exponencial, en realizar cobrar la cuenta y entregar los

medicamentos solicitados por el cliente. Si la farmacia funciona 8 horas diarias, realice la simulación de 5 días laborables del funcionamiento de la farmacia para obtener lo siguiente:

- a. Número de personas atendidas por el farmacéutico.
  - b. Tiempo promedio de espera por el farmacéutico.
  - c. Tiempo promedio de espera por el aprendiz.
  - d. Utilización de los recursos y tamaños de las colas.
7. En una fábrica existe una oficina de la Seguridad Social a la que los obreros tienen acceso durante las horas de trabajo. El jefe de personal, que ha observado la afluencia de obreros a la ventanilla, ha solicitado que se haga un estudio relativo al funcionamiento de este servicio. Del análisis de 100 periodos de 5 minutos se dedujo que el número medio de obreros que acudían a la ventanilla era de 1.25 por periodo y que el tiempo entre llegadas seguía una distribución exponencial. La duración de las conversaciones se distribuye exponencialmente con duración media de 3.33 minutos. El 30% de las solicitudes de los obreros corresponden a pedidos de carácter administrativo y el 70% restante a solicitudes médicas. Las solicitudes administrativas son atendidas posteriormente por la dirección administrativa que demora aproximadamente 5 minutos según un proceso Poisson y las solicitudes médicas generan una orden de atención en salud, las que requieren ser analizadas por auditoría médica, en donde labora una doctora que demora entre tres y cinco minutos según una distribución uniforme en atender la misma. El 80% de solicitudes que atiende auditoría médica resultan en pedidos que requieren ser atendidos por el IESS y las restantes deben ser atendidas por otros centros de salud. Realice la simulación de 480 minutos del funcionamiento del sistema, para obtener lo siguiente:
- a. Cantidad de solicitudes atendidas por la dirección administrativa.
  - b. Cantidad de solicitudes atendidas por auditoría médica.
  - c. Cantidad de obreros que serán atendidos por el IESS.
  - d. Tiempo en sistema de las solicitudes atendidas por auditoría médica.
  - e. Utilización de los recursos y tamaños de las colas.
8. Una compañía ferroviaria pinta sus vagones, según se vayan necesitando, en su propio taller donde se pinta a mano, de uno en uno, con una velocidad que se distribuye según una exponencial de media 4 horas. Se ha determinado que los vagones pueden llegar según un proceso de Poisson de media uno cada 5 horas. Una vez que los vagones son atendidos deben esperar en promedio 6 horas según una exponencial para el secado de la pintura; luego de transcurrido este tiempo, se requiere que los mismos sean verificados por un equipo de control de calidad los que demoran en realizar esta verificación alrededor de 45 minutos según un proceso Poisson; estadísticamente se tiene que el 30% de los vagones de los trenes especiales requieren nuevamente ser pintados y que el 80% de los vagones de los trenes básicos pasan satisfactoriamente el control de calidad; cuando un vagón requiere ser pintado nuevamente este proceso demora la mitad del tiempo de pintado inicial y tendrá prioridad sobre el resto de vagones; una vez que los vagones cumplan las exigencias de calidad son trasladados al patio de la compañía a través de una pequeña locomotora que se encuentra disponible para esta actividad, la que demora entre una y dos horas según un proceso uniforme en realizar este proceso y regresar al taller de pintura. Considere que el 40% de los vagones pertenecen a trenes especiales. El trabajo se considera ininterrumpido, esto es, se trabaja  $24 \times 365 = 8760$  horas anuales. Haga la simulación de un año de funcionamiento del sistema de pintado de vagones, desde que solicitan el servicio hasta ser trasladados al patio de la compañía, para obtener lo siguiente:
- a. Cantidad de vagones de cada tipo trasladados al patio de la compañía.
  - b. Tiempo promedio de espera por el taller de pintura de aquellos vagones que solicitan el servicio por primera vez.
  - c. Utilización de los recursos y tamaño de las colas.
9. Una compañía de telefonía móvil tiene un sistema de atención al cliente por medio telefónico, las 24 horas al día. El teléfono de atención al cliente está diseñado como una red con 3 nodos. Las llamadas llegan al nodo 1 según un proceso de Poisson de intensidad 33 clientes por hora. El tiempo que tarda el sistema en procesar esta llamada es una variable aleatoria exponencial de media 30 segundos. El sistema acepta a todos los clientes que llegan y se les entretiene la espera con música de fondo. Una vez atendida la llamada, el servicio se clasifica como de tipo 1 (quejas por averías) o de tipo 2 (información sobre nuevos servicios). El nodo que procesa las quejas está atendido por 3 servidores en paralelo con tiempo de

servicio exponencial de media 6 minutos. Se sabe que  $\frac{2}{3}$  de las llamadas son de este tipo. El nodo que procesa la información sobre nuevos servicios está atendido por 6 servidores en paralelo con tiempo medio de servicio 20 minutos según una exponencial. Un cliente que completa servicio en averías va al nodo de información con probabilidad 0.5 y un cliente que completa servicio en información va a averías con probabilidad 0.1; los demás finalizan su llamada. Realice la simulación de una semana de funcionamiento del sistema de atención al cliente, para obtener lo siguiente:

- Cantidad de llamadas que llegan a cada nodo.
- Número medio de llamadas esperando en cada nodo.
- Tiempo medio y tiempo máximo de permanencia en el sistema, de las llamadas clasificadas como tipo 1 por el primer nodo.
- Número medio de unidades ocupadas del nodo que atiende las quejas por averías.
- Cantidad de llamadas clasificadas como tipo 1 por el primer nodo que son atendidas por el nodo que procesa la información sobre nuevos servicios.

- En un servidor de la universidad se mandan programas de ordenador para ser ejecutados. Los programas llegan al servidor con una tasa de 10 por minuto. El tiempo medio de ejecución de cada programa es de 5 segundos y tanto los tiempos entre llegadas como los tiempos de ejecución se distribuyen exponencialmente. Una vez que el programa es atendido completamente por el servidor se desencadena la ejecución de un programa automático para realizar el registro de programa ejecutado en la base de datos del sistema, demorándose un tiempo estimado de 2 segundos según una exponencial el 50% de las ocasiones y 1.5 segundos según una exponencial el resto de las veces. El servidor funciona 24 horas al día. Haga la simulación de un día de trabajo del sistema, para obtener lo siguiente:

- Número de programas atendidos por el servidor.
- Tiempo promedio de estancia de los programas en el sistema.
- Utilización de los recursos.
- Tamaño de las colas.

- Una empresa está dividida en tres departamentos y en cada uno de ellos trabajan sus empleados. A cada departamento le ha sido asignada una mecanógrafa la cual puede escribir diez páginas en una hora. Los empleados en cada departamento elaboran ocho manuscritos por hora. Los manuscritos son de longitud diferentes, pero en promedio cuentan con 0.9 páginas por manuscrito. Los tiempos de llegada y de servicio son exponenciales. Una vez que los manuscritos son atendidos por la mecanógrafa, son archivados por un empleado que demora aproximadamente dos minutos según una exponencial en realizar dicha actividad, clasificando además los mismos en básicos y especiales, siendo estos últimos los más frecuentes, los que se elaboran el 70% de las ocasiones. Haga la simulación de 10 horas de funcionamiento de la empresa para determinar lo siguiente:

- Cantidad de manuscritos clasificados como básicos y como especiales.
- El tiempo medio que transcurre desde que se le entrega un manuscrito a una mecanógrafa, hasta que es archivado por el empleado.
- El número medio de manuscritos entregados por los empleados a cada mecanógrafa, que aún no se han comenzado a mecanografiar.
- Tiempo promedio de espera por cada mecanógrafa.

- Una empresa está dividida en cinco departamentos y en cada uno de ellos trabajan sus empleados. A cada departamento le ha sido asignada una mecanógrafa la cual puede escribir diez páginas en una hora. Los empleados en cada departamento elaboran ocho manuscritos por hora. Los manuscritos son de longitud diferentes, pero en promedio cuentan con 0.9 páginas por manuscrito. Los tiempos de llegada y de servicio son exponenciales. Una vez que los manuscritos son atendidos por la mecanógrafa, son revisados por un empleado que demora aproximadamente dos minutos según una exponencial en realizar dicha actividad, clasificando además los mismos en básicos y especiales, siendo estos últimos los más frecuentes, los que se elaboran el 70% de las ocasiones. El 20% de los especiales deben ser rectificadas, por lo que son devueltos a su mecanógrafa, quien se demora la mitad del tiempo en corregirlos y luego los archiva directamente sin ser revisados nuevamente por el empleado. El resto de manuscritos son archivados directamente por el empleado que los revisa. Haga la simulación de 12 horas de funcionamiento de la empresa para determinar lo siguiente:

- a. Cantidad de manuscritos clasificados como básicos y como especiales.
  - b. Tiempo promedio que pasan en el sistema los manuscritos que no son devueltos a su mecanógrafa.
  - c. Cantidad de manuscritos especiales que son devueltos a su mecanógrafa.
  - d. Tamaño de las colas.
  - e. Utilización de los recursos.
13. Una empresa está dividida en cinco departamentos y en cada uno de ellos trabajan sus empleados. A cada departamento le ha sido asignada una mecanógrafa la cual puede escribir diez páginas en una hora. Los empleados en cada departamento elaboran ocho manuscritos por hora. Los manuscritos son de longitud diferentes, pero en promedio cuentan con 0.9 páginas por manuscrito. Los tiempos de llegada y de servicio son exponenciales. Una vez que los manuscritos son atendidos por la mecanógrafa, son archivados por un empleado que demora aproximadamente dos minutos según una exponencial en realizar dicha actividad, clasificando además los mismos en básicos y especiales, siendo estos últimos los más frecuentes, los que se elaboran el 70% de las ocasiones. Haga la simulación de 10 horas de funcionamiento de la empresa para determinar lo siguiente:
- a. Cantidad de manuscritos clasificados como básicos y como especiales.
  - b. El tiempo medio que transcurre desde que se le entrega un manuscrito a una mecanógrafa, hasta que es archivado por el empleado.
  - c. El número medio de manuscritos entregados por los empleados a cada mecanógrafa, que aún no se han comenzado a mecanografiar.
  - d. Tiempo promedio de espera por cada mecanógrafa.
  - e. Utilización de cada mecanógrafa.
14. Los clientes de un supermercado llegan a razón de 60 por hora según una distribución Poisson. El 40% de los usuarios adquieren no más de 10 productos, los que se demoran un tiempo exponencial con media de 15 minutos en la selección de los mismos, mientras que el resto de usuarios lo hacen en un tiempo exponencial de media 45 minutos. El supermercado tiene dos cajas, una express para atender a los usuarios que adquieren no más de 10 productos, la que demora 1 minuto según una exponencial en la atención; la otra caja atiende al resto de usuarios, demorándose entre 3 y 7 minutos según una distribución uniforme en la atención de los mismos. Todos los clientes que llegan al supermercado toman un carrito de los 80 que se encuentran disponibles y los ocupan hasta que son atendidos por la caja. Si no hay carritos disponibles deberán esperar hasta que haya alguno disponible para proceder a seleccionar sus productos. Realice la simulación de un día de trabajo de diez horas para obtener lo siguiente:
- a. Tiempo estimado que pasan en el supermercado los clientes que escogen no más de 10 productos.
  - b. Cantidad de usuarios atendidos por cada caja.
  - c. Número promedio estimado de carros siendo ocupados por los usuarios.
  - d. Número estimado de usuarios esperando por cada caja.
15. En una planta de fabricación en serie, las piezas llegan a la cola de la primera máquina según una exponencial de media 5 minutos. En todas las máquinas existentes, el tiempo medio de procesado de cada pieza se distribuye exponencialmente con una media de 3 minutos. Existen 3 montacargas para trasladar las piezas de la máquina 1 a la 2 en 2 minutos y de la máquina 2 a la 3 en 3 minutos. Luego de que las piezas son atendidas por la última máquina, se verifica su condición de calidad a través de un inspector que realiza la inspección entre 2 y 3 minutos según un proceso uniforme. Estadísticamente se tiene que el 90% de las piezas cumplen las condiciones de calidad, las que son empaquetadas por el empleado que realiza esta actividad en 5 minutos según una exponencial. Las piezas que no cumplen las condiciones de calidad son contabilizadas y enviadas a chatarrización, donde son registradas en dos minutos según una exponencial. La planta de fabricación funciona 12 horas diarias. Haga la simulación de un día laborable para determinar lo siguiente:
- a. Cantidad de piezas empaquetadas y cantidad enviadas a chatarrización.
  - b. Tiempo promedio que pasan las piezas completamente en el sistema de las máquinas.
  - c. Número promedio de piezas esperando en cada cola.
  - d. Utilización de los recursos.



16. El terminal de facturación de Comercial Kywi dispone de dos operarios que atienden a los clientes que llegan según una distribución Poisson de media ochenta clientes por hora, los que esperan en una única cola hasta que alguno de los operarios esté libre. El 70% de los clientes pagan su cuenta con tarjeta de crédito, demorándose en realizar esta actividad un tiempo exponencial de media 1,1 minutos, mientras que el resto lo hace en efectivo quienes se demoran un tiempo exponencial de media 1,2 minutos. Luego de cancelar la cuenta, una vez concluida la atención en el terminal de facturación, la mitad de los clientes culminan su atención en el comercial y se marchan; el 10% son atendidos por un empleado que realiza el chequeo de funcionamiento de los equipos adquiridos por el cliente, demorándose en esta actividad un tiempo uniforme entre 2 y 3 minutos; y, el 40% restante debe trasladarse a la bodega que se encuentra en la planta baja del comercial a retirar su mercancía, demorándose en el traslado un tiempo exponencial de media 10,5 minutos. En la bodega se encuentra un bodeguero que entrega los productos a los clientes en un tiempo normal de media 5 y desviación 1 minutos. Por fallas en el funcionamiento de los equipos, en el 15% de las ocasiones se le debe cambiar a los clientes algún producto adquirido por otro que se encuentre en el comercial; en esta situación, el tiempo de atención por el empleado a los clientes, para el canje y chequeo de funcionamiento del nuevo equipo, se extiende un tiempo exponencial de media 5 minutos. El comercial labora ocho horas diarias. Desarrolle un programa que simule 5 días de funcionamiento del comercial para determinar lo siguiente:
- Cantidad de clientes que cancelan su cuenta con tarjeta de crédito y cantidad que cancelan en efectivo.
  - Cantidad de clientes con fallas en el funcionamiento de algún equipo.
  - Tiempo estimado de los clientes en el terminal de facturación.
  - Utilización de los recursos.
  - Tamaño de las colas.
17. Una base aérea dispone de un taller de mantenimiento de aviones y recursos para revisar únicamente un motor de avión a la vez. Por tanto, para devolver los aviones lo antes posible, la política que se sigue consiste en aplazar la revisión de los motores de cada avión. En otras palabras, solamente se revisa un motor del avión cada vez que un avión llega a la base. Con esta política, los aviones llegan según una distribución exponencial de media cada dos días. El tiempo requerido para revisar un motor (una vez que se empieza el trabajo) tiene una distribución exponencial de media 1 día. El 20% del tiempo, el taller de mantenimiento presta sus servicios a otras aeronaves que no pertenecen a la base aérea, las que arriban a razón de una cada tres días según una distribución poisson. Una vez que los aviones, que pertenecen o no a la base, son atendidos por el taller de mantenimiento, estos son trasladados a un taller de prueba, a través de un tractor de remolque para aviones disponible en la base, que demora aproximadamente 15 minutos según una distribución exponencial en realizar dicha actividad. La atención en el taller de mantenimiento brinda mayor prioridad a los aviones propios de la base. Luego de llegar al taller de prueba, son atendidos por un equipo especializado, demorándose un tiempo exponencial de media 10 minutos en el caso de aviones propios de la base y 15 minutos para el caso de aviones externos. El 25% de los aviones de la base y el 30% de los externos requieren ser atendidos nuevamente por el taller de mantenimiento, los que son regresados utilizando el mismo tractor de remolque disponible en la base aérea. Los aviones de la base que cumplen satisfactoriamente el control de calidad son enviados autónomamente a la nave principal, demorándose un tiempo exponencial de media 10 minutos en este traslado, mientras que los externos son trasladados a la pista principal por medio del tractor de remolque disponible en la base, en 20 minutos según una exponencial. La base trabaja todos los días del año, 8 horas diarias. Haga la simulación de un mes de funcionamiento de la base aérea para determinar lo siguiente:
- Cantidad de aviones de la base y cantidad de aviones externos atendidos completamente.
  - Utilización de los recursos.
  - Tamaño de las colas.
  - Tiempo promedio que pasan los aviones externos en la base aérea.
  - Tiempo promedio de espera por el tractor diferenciado por cada tipo de avión.
  - Cantidad de aviones que superan el control de calidad en la primera ocasión.
18. Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento de un taller dedicado al ensamblaje y pintado de piezas de madera. Las piezas llegan desmontadas, en grupos de 4 o de 6 piezas. El tiempo que transcurre entre la llegada de dos grupos consecutivos está

distribuido exponencialmente, con media de 2 horas para los grupos de 4 piezas y con media de 3 horas para los grupos de 6 piezas. Cada pieza desmontada se pone individualmente en una de las dos colas FIFO existentes para el proceso de ensamblaje, que es realizado por 5 carpinteros. Tres carpinteros atienden a las piezas que vienen en grupos de 6 y los demás atienden a las piezas que vienen en grupos de 4. El ensamblaje consiste en repasar el corte de cada una de las piezas de madera y pegarlas entre sí. Los carpinteros trabajan independientemente los unos de los otros, procesando las piezas de principio a fin y de uno en uno. Se estima que el tiempo que emplea cualquiera de los carpinteros en ensamblar una pieza está distribuido exponencialmente con media de 1 hora. Una vez finalizado el ensamblaje de una pieza, ésta se entrega a un almacén en el cual permanecerá durante 24 horas. El propósito es permitir que el pegamento se seque completamente. Transcurridas estas 24 horas, la pieza es puesta en la cola FIFO del proceso de pintado. El taller tiene una única máquina de pintura, que procesa las piezas de una en una. El tiempo que dura el proceso de pintado está distribuido uniformemente, con rango de 10 a 20 minutos. Una vez pintada, la pieza pasa un proceso de inspección. Se estima que el 90 % de las piezas superan con éxito la inspección y el resto deben ser retrabajadas. El proceso de retrabajado consiste en eliminar la pintura, de modo que la pieza quede en condiciones de volver a ser pintada. El retrabajado se realiza en la máquina de eliminar pintura, frente a la cual hay una cola con disciplina FIFO. La máquina de eliminar pintura procesa las piezas de una en una, estando el tiempo de proceso distribuido exponencialmente con media de 30 minutos. Una vez que se ha eliminado la pintura de la pieza, ésta es puesta de nuevo en cola de la máquina de pintura. El proceso de pintado al que se someten las piezas retrabajadas, así como la posterior inspección, tienen las mismas características que los procesos a los que se someten las que llegan al almacén. Las piezas que superan la inspección se ponen en la cola FIFO del proceso de embalaje. Este proceso se realiza en una única máquina empaquetadora, que procesa las piezas de una en una. El tiempo de proceso está distribuido uniformemente, con rango de 10 a 15 minutos. El taller funciona 24 horas diarias. Haga la simulación de 8760 horas de funcionamiento del taller para determinar lo siguiente:

- a. Cantidad de piezas empaquetadas clasificadas según su grupo de llegada.
  - b. Tiempo promedio que pasan las piezas completamente en el subsistema de ensamblaje, clasificadas según su grupo de llegada.
  - c. Tiempo promedio que pasan las piezas en el taller.
  - d. Número promedio de piezas esperando en cada cola de los carpinteros.
  - e. Utilización de los carpinteros.
19. Al sistema de cobro del peaje de la autopista Panamericana ubicado en la ciudad de Machachi llega un vehículo cada 10 segundos según una distribución exponencial en dirección Sur-Norte, mientras que en dirección Norte-Sur arriban con igual distribución, pero cada 8 segundos. En cada dirección existen 3 cabinas disponibles y destinadas para el cobro manual y una cabina específica para el cobro mediante el sistema de telepeaje. Cuando un vehículo ingresa al inicio del sistema de cobro del peaje, en cualquier dirección, demora un aproximado de 8 segundos según una exponencial para decidir la cabina por la cual va a transitar. En ambas direcciones, se sabe que el 30% de los vehículos se deciden por la cabina de telepeaje y los demás vehículos escogen la cabina que esté disponible o se sitúan en la cabina cuyo número de vehículos en cola sea inferior. Si hubiese varias cabinas desocupadas o con igual número de vehículos al momento de la llegada, los vehículos siempre prefieren las cabinas del centro de la autopista. Cuando les corresponda el servicio, los vehículos demoran entre 8 y 12 segundos según un proceso uniforme en pagar manualmente el peaje y los que utilizan el sistema de telepeaje demoran la mitad del tiempo en hacer uso de la cabina y transitar. La atención en todas las cabinas del peaje es FIFO. Un 10% de los vehículos que pagan manualmente deciden recargar su TAG de telepeaje, demorándose un tiempo extra equivalente a 8 segundos en la atención de la cabina. El 10% de vehículos que se traslada en dirección Sur-Norte, luego de transitar por la cabina, decide aparcar en el estacionamiento que siempre está disponible; de estos, la mitad de propietarios realizan gestiones en el área administrativa de la empresa y la otra mitad descansa en el estacionamiento un tiempo aproximado de 15 minutos según una exponencial. En el área administrativa existe un empleado que atiende a los usuarios entre 5 y 10 minutos según un proceso uniforme. Una vez que los propietarios son atendidos o culminan su tiempo de descanso continúan su viaje y salen con su vehículo del sistema de peaje, al igual que lo hacen el resto de vehículos una vez que transitan por la cabina. Por el sistema de cobro del peaje transitan vehículos livianos, pesados y extra pesados, los que dejan un ingreso a la empresa de 1, 4 y 6 USD respectivamente; siendo que la probabilidad de llegada de livianos es del 50% y de los demás la misma para cada tipo. El sistema de cobro del peaje funciona

24 horas diarias. Todos los valores de tiempo del modelo deben ser establecidos en segundos, incluyendo la unidad de medida base. Se desea simular 4 horas de funcionamiento del sistema de cobro del peaje, para determinar lo siguiente:

- a. Cantidad de vehículos que llegan, por cada dirección (Sur-Norte y Norte-Sur).
- b. Tiempo promedio (segundos) que pasan los vehículos desde que llegan al sistema hasta que salen de la cabina de pago, por cada dirección (Sur-Norte y Norte-Sur).
- c. Número promedio de vehículos que esperan para ser atendidos en cada cabina de pago manual, por cada dirección (Sur-Norte y Norte-Sur).
- d. Tiempo promedio (segundos) que pasan los vehículos en el estacionamiento.
- e. Ingreso total de la empresa por el cobro del peaje.

20. En un centro donde se realizan exámenes para licencias de conducir, se desea evaluar su operación para una mejora potencial. Los clientes que llegan entran al edificio y toman un ticket con un número que establece el orden en la línea de espera para el examen escrito, que es autoadministrado por uno de los cinco examinadores electrónicos. Los tiempos de la prueba se encuentran distribuidos como exponencial de media 10 minutos. Trece por ciento de los clientes fallan la prueba. Estos clientes se dirigen a una oficina donde se encuentra un empleado que les atiende, explicándole las fallas que tuvieron en el examen y les da un folleto de reglas estatales de manejo para su estudio posterior; luego salen del edificio. La atención del empleado es uniforme entre 5 y 10 minutos. Los clientes que pasan la prueba, seleccionan una de las 2 cabinas donde se les toma su fotografía y entregan documentos requisitos para la nueva licencia. Los tiempos de las cabinas fotográficas son distribuidos como un proceso triangular con valor mínimo 2.5, máximo 4.3 y valor más frecuente 3.6 minutos. Las cabinas para las fotos tienen colas separadas y los clientes entran a la línea con el menor número de clientes esperando en la cola, ignorando si alguna está en servicio; si las líneas son iguales entran en la cabina más cercana que es la 1. En cada cabina labora un empleado-fotógrafo que realiza esta actividad. Luego, estos clientes esperan en la sala un tiempo aproximado según un proceso normal de media 15 y desviación 5 minutos hasta que le entregan la licencia, para luego salir del edificio. El centro labora 8 horas diarias, pero acepta el ingreso de clientes solo en las primeras 6 horas; es decir, en las dos últimas horas los servicios continúan únicamente para satisfacer a los clientes que faltan por ser atendidos completamente y en este periodo todo cliente que llegue no podrá ser atendido. Se estima que los clientes llegan al centro cada 3 minutos según un proceso exponencial. El centro considera contar con un ingreso estimado de 50 dólares por cada licencia emitida. Simule un día completo laborable del centro para determinar lo siguiente:

- a. Cantidad de clientes no atendidos por el centro.
- b. Tiempo promedio (en minutos) que pasan los clientes en el centro cuando obtienen su nueva licencia.
- c. Tiempo promedio (en minutos) que deben esperar los clientes desde que aprueban la prueba escrita hasta que les entregan la nueva licencia.
- d. Número promedio de clientes que esperan por cada empleado-fotógrafo.
- e. Ingreso total diario por la emisión de nuevas licencias.

21. El jefe de un almacén estima cada 15 minutos, según un proceso exponencial, la afluencia de sus clientes. Para el despacho de los productos, el almacén ocupa los servicios de un bodeguero, un practicante, un registrador y tres camiones con su chofer. Un cliente que llega es atendido por el bodeguero en caso que en su proceso exista un número de usuarios igual o menor que en el del practicante, caso contrario es atendido por este último. Los tiempos de servicio son exponenciales con media de 5 y 6 minutos para el bodeguero y el practicante respectivamente. Una vez que el usuario es atendido, por el bodeguero o el practicante, se dirige a la sesión de registro, en donde el registrador demora aproximadamente entre 3 y 5 minutos, según un proceso uniforme, en realizar el proceso de verificación y registro del inventario. Un 20% de los usuarios que salen del registro deben regresar a la atención del bodeguero o del practicante, para ser atendidos nuevamente con mayor prioridad, los cuales luego siguen el curso normal explicado. Los productos entregados a los usuarios son transportados usando uno de los tres camiones disponibles para este fin, los que demoran 30 minutos según una exponencial como promedio en realizar el viaje de ida y de regreso, incluyendo la carga y descarga de los productos. El tiempo de espera de los usuarios en los servicios del bodeguero y del registrador le cuesta al almacén 0,50 usd/minuto, mientras que en el servicio del practicante costaría la mitad. El almacén funciona 24 horas diarias. Simule en la herramienta ARENA el funcionamiento del sistema, la llegada de 100 camiones al almacén. Considere que el tiempo de simulación inicia con la llegada del primer cliente.



Todos los resultados de tiempo en el reporte de salida deben mostrarse en minutos. Determine:

- a. Tiempo de simulación de funcionamiento del almacén.
  - b. Número de atenciones realizadas por el bodeguero.
  - c. Número de atenciones realizadas por el practicante.
  - d. Número de atenciones realizadas por el registrador.
  - e. Tiempo (minutos) promedio de espera por la atención en el registro.
  - f. Nivel de utilización (en porcentaje) del registrador en el proceso de registro.
  - g. Costo total estimado por la espera de los usuarios en los servicios del bodeguero, registrador y practicante.
  - h. Tiempo promedio que transcurre desde que los usuarios llegan al almacén hasta que son atendidos completamente por el registrador.
22. Al servicio de urgencias de traumatología de un hospital llegan pacientes cada cierto intervalo de tiempo, con una media de 2 minutos por paciente según una exponencial, para ser atendidos por uno de los 4 doctores de admisión. Estos doctores atienden a los pacientes en orden de llegada en un tiempo estimado de 5 minutos según una exponencial y los clasifican en tres categorías: graves al 20%, menos grave al 50% y leves al 30%, de los pacientes que llegan. Los enfermos leves, luego de ser atendidos en admisión, se marchan directamente a su casa. Los enfermos graves son atendidos por uno de los 5 doctores de urgencias, en un tiempo aleatorio entre 6 y 10 minutos según un proceso uniforme; un 75% de estos deben esperar para pasar a la única sala de radiografía y el resto son atendidos por una de las enfermeras del centro. Tras realizarse la radiografía, en un tiempo aleatorio de media 10 minutos y desviación 2 minutos según un proceso normal, el paciente vuelve a ser visto por un doctor de urgencias, teniendo prioridad para ser atendido sobre los pacientes que recientemente son admitidos, reduciéndose además el tiempo de atención a la mitad del tiempo original, para posterior ser asistido por una de las enfermeras del centro. Los enfermos menos graves pasan directamente a ser asistidos por una de las enfermeras del centro. El centro cuenta con 6 enfermeras disponibles para todas las atenciones de todos los casos, las que demoran un tiempo promedio de 15 minutos según una exponencial en realizar dicha actividad, luego de lo cual los pacientes se marchan a su casa. En el servicio de enfermería los pacientes graves cuentan con mayor prioridad sobre el resto. El servicio de urgencia labora 24 horas diarias. Los datos de tiempo en el reporte de salida deben expresarse en minutos. Haga la simulación en ARENA de un día de funcionamiento del servicio para determinar lo siguiente:
- a. Cantidad de radiografías tomadas en el servicio de urgencias.
  - b. Tiempo promedio (minutos) que pasan los pacientes graves desde que llegan al servicio de urgencias hasta que son atendidos por la enfermera.
  - c. Nivel de utilización (en porcentaje) de los doctores de urgencia.
  - d. Número promedio de pacientes esperando por la enfermera.
  - e. Número máximo de pacientes esperando en la sala de radiografía.
  - f. Número máximo de doctores de urgencia que se requieren para que estén ocupados al menos en un 50% del total.
23. Una empresa de reparación de ordenadores en promedio recibe una solicitud de reparación cada 50 minutos según un proceso aleatorio de distribución exponencial, los que son atendidos por un técnico especialista que tiene una capacidad para atender en promedio a 12 ordenadores en un periodo de 8 horas según un proceso poisson y tiempos de atención exponenciales. Luego de que el ordenador es atendido por el técnico especialista, se chequea su funcionamiento en una estación de control de la calidad, en donde existe un inspector que demora aproximadamente entre 15 y 30 minutos según un proceso uniforme. Culminado el control de calidad, si se detecta que algún ordenador necesita ajuste se envía, el mismo, a un puesto de ajuste donde luego de ajustado retorna a la estación de control para ser chequeado nuevamente, con mayor prioridad que los que recién ingresan. Los ordenadores que pasan satisfactoriamente el control de calidad son empacados por el bodeguero que demora un tiempo exponencial de media 10 minutos y puestos en la bodega a la espera que llegue el cliente para su retiro. Considere que el tiempo que toma el técnico del ajuste es normal de media 30 minutos y desviación 10 minutos. Estadísticamente se tiene que el 75% de los ordenadores necesitan algún ajuste. A la empresa también llegan individualmente un promedio de dos clientes cada hora y media de manera exponencial, que pasan directamente a la bodega para retirar su ordenador, los que también son atendidos por el bodeguero quien demora entre 5 y 10 minutos según un proceso uniforme en realizar esta

actividad, priorizando la atención de estos clientes en su atención. La empresa labora 8 horas diarias. Se conoce que la empresa puede contratar a varios técnicos especialistas de iguales condiciones al actual y que cada uno contaría con un salario equivalente a 50 dólares diarios; además, por cada hora que un ordenador pase en el subsistema del técnico especialista (siendo atendido o no) le cuesta a la empresa 5 dólares.

Aplicando la teoría de colas en el subsistema del técnico especialista, obtenga el número de técnicos especialistas que deben trabajar en la empresa para lograr minimizar los costos en el subsistema.

Desarrolle un modelo de simulación de toda la empresa en la herramienta Arena, utilizando la cantidad de técnicos especialistas obtenidos y simule un día de su funcionamiento para obtener lo siguiente:

- a. Tiempo (minutos) promedio que pasan en la empresa los ordenadores que requieren ajuste.
- b. Tiempo (minutos) promedio que pasan en la empresa los ordenadores que no requieren ajuste.
- c. Cantidad de ordenadores puestos en bodega que pasaron (al menos una vez) por el subsistema de ajuste.
- d. Cantidad de ordenadores puestos en bodega que pasaron varias veces por el subsistema de ajuste.
- e. Número promedio de ordenadores en espera por el inspector.
- f. Nivel de utilización (en porcentaje) de los técnicos especialistas.
- g. Tiempo (minutos) promedio de espera por la atención del bodeguero.

**Considere lo siguiente:**

- El primer ordenador arriba a la empresa en el momento de su apertura.
- El primer cliente para retirar su ordenador llega luego de una hora de iniciado las labores de la empresa.
- Los resultados de tiempo del reporte de salida deben presentarse en minutos