Simulación Aplicada a la Logística

Lectura 3

Simulación Monte Carlo

Profesor:
Ricardo Caballero, M.Sc.
ricardo.caballero@utp.ac.pa

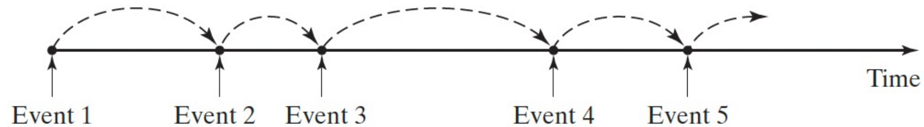
Simulación de eventos discretos

- Los modelos discretos se ocupan principalmente del estudio de las líneas de espera, con el objetivo de determinar medidas tales como el tiempo promedio de espera y la longitud de la cola.
- Estas medidas cambian únicamente cuando un cliente entra o sale del sistema.
- Los instantes en los que ocurren cambios tienen lugar en puntos específicos y discretos en el tiempo (eventos de llegadas y salidas), dando lugar al nombre de **simulación de eventos discretos.**

El objetivo final de la simulación es estimar algunas medidas deseables de rendimiento que describan el comportamiento del sistema simulado.

Elementos de simulación de eventos discretos

- Definición generica de eventos:



Describen situaciones de cola donde los clientes:

- **Llegan** para ser atendidos.
- **Esperan en una cola** si es necesario.
- **Reciben servicio** antes de abandonar la instalación.

Independientemente de la complejidad del sistema, se centran en dos eventos básicos:

- **Llegadas**
- **Salidas**

Ejemplo:

Un taller recibe dos tipos de trabajos: regulares y urgentes.
Todos los trabajos se procesan en dos máquinas consecutivas con amplias áreas de almacenamiento intermedio. Todos los trabajos se procesan en dos máquinas consecutivas con amplias áreas intermedias. Los trabajos urgentes siempresuponen prioridad preventiva sobre los trabajos regulares.

Los eventos pueden definirse como

A11: Un trabajo regular llega a la máquina 1.

A21: Un trabajo urgente llega a la máquina 1.

D11: Un trabajo regular sale de la máquina 1.

D21: Un trabajo urgente sale de la máquina 1.

A12: Un trabajo regular llega a la máquina 2.

A22: Un trabajo urgente llega a la máquina 2.

D12: Un trabajo regular sale de la máquina 2.

D22: Un trabajo urgente sale de la máquina 2.

llegada de un trabajo (nuevo) al taller
salida de un trabajo (completado)

Números aleatorios

Para poder realizar una simulación que incluya variabilidad dentro de sus eventos, es preciso generar una serie de números aleatorios

Los números aleatorios uniformes (0,1) desempeñan un papel clave en el muestreo de distribuciones

La única forma factible de generar números aleatorios (0,1) para usarlos en una simulación está basada en operaciones aritméticas o funciones de Excel o por softwares de simulación

.0589	.3529	.5869	.3455	.7900	.6307
.6733	.3646	.1281	.4871	.7698	.2346
.4799	.7676	.2867	.8111	.2871	.4220
.9486	.8931	.8216	.8912	.9534	.6991
.6139	.3919	.8261	.4291	.1394	.9745
.5933	.7876	.3866	.2302	.9025	.3428
.9341	.5199	.7125	.5954	.1605	.6037
.1782	.6358	.2108	.5423	.3567	.2569
.3473	.7472	.3575	.4208	.3070	.0546
.5644	.8954	.2926	.6975	.5513	.0305

Propiedades

- **Las secuencias deben ser no correlacionadas**. Esto significa que en una sucesión de números aleatorios, una subsecuencia no puede estar relacionada con ninguna otra.

- **Independencia estadística y aleatoriedad**. Esto implica que la probabilidad de que un número específico aparezca en la sucesión debe ser la misma para cada uno de los elementos del conjunto de los números aleatorios. La aparición de un número dentro de la sucesión no implica la aparición de otro.

- **Deben tener período máximo.** los generadores aleatorios son cíclicos, por lo cual es deseable que cada uno de los elementos aparezca una vez en la secuencia antes que la misma se repita

Generación de números aleatorios

- Actualmente, las computadores pueden generar una cantidad de números aleatorios para su uso al ejecutar la simulación
- También, existen tablas predeterminadas con números aleatorios entre 0 y 1
- Un **generador de números aleatorios** es un algoritmo que produce secuencias de números que siguen una distribución de probabilidad específi ca y tienen la apariencia de aleatoriedad.

Método congruencial para generar números aleatorios

- El **método congruencial mixto** genera una sucesión de números aleatorios enteros en un intervalo de 0 a m – 1 .
- Este algoritmo genera una secuencia de números enteros por medio de una ecuación recursiva

$$X_{i+1} = (aX_i + C) mod(m) \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots n$$

donde

$X_0 = semilla$
$a = constante\ multiplicativa$
$c = constante\ aditiva$
$m = módulo$

donde

$R = Número\ aleatorio\ generado$ $\quad R = \frac{X_i}{m-1}$

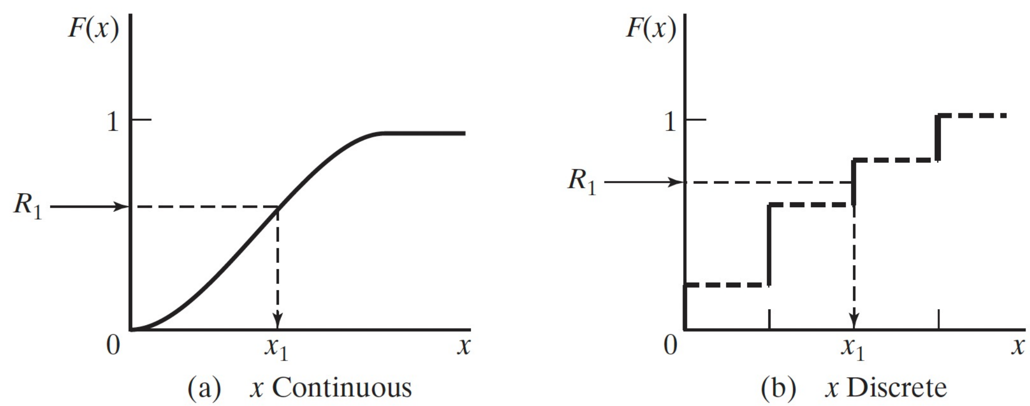
Generación de variables aleatorias

Muestreo de distribuciones de probabilidad

- La aleatoriedad en simulación surge cuando el intervalo, *t*, entre eventos sucesivos es probabilístico.

- Asumiremos que hay disponible una secuencia de números aleatorios y nos concentraremos en el tema de cómo transformarla para obtener una secuencia de variables aleatorias a partir de una distribución de probabilidad específicaF (x).

- Hay una serie de técnicas que se utilizan para la generación de varianbles aleatorias como:
  - Método de transformación inversa
  - Método de convolucón
  - Método de aceptación-rechazo

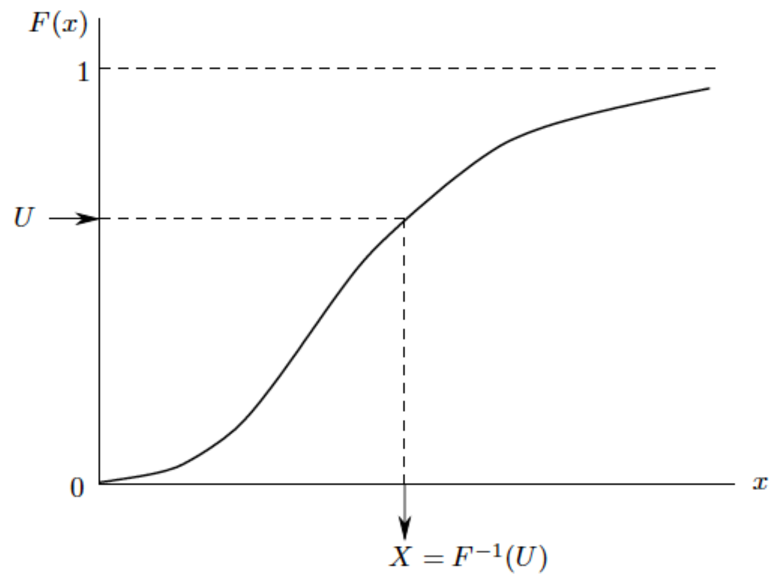


Método de la transformada inversa

El método de la transformada inversa puede utilizarse para simular variables aleatorias, lo cual se logra mediante la función acumulada $F(x)$ y la generación de números aleatorios $R(0\,,1)$.

El método consiste en:

1. Generar un numero aleatorio $R(0\,,1)$
2. Calcular la muestra deseada $x = F^{-1}(R)$



Método inverso: Distribución exponencial

La función de densidad de probabilidad exponencial

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x > 0$$

representa el tiempo de llegadas x a una instalación con valor medio de $\frac{1}{\lambda}$

$$F(x) = \int_{0}^{x} \lambda e^{-\lambda x}\, dx$$

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \qquad x > 0$$

Estableciendo $R = F(x)$, podemos resolver x como:

$$x = -\frac{1}{\lambda}\ln(1 - R)$$

Podemos observar que $\ln(1 - R)$ puede ser reemplazado con $\ln(R)$ porque $1 - R$ es complemento de R

$$\boxed{x = -\frac{1}{\lambda}\ln(R)}$$

Método inverso: Distribución uniforme

Suponga la siguiente distribución uniforme

$$f(x) = \frac{1}{b-a}, \qquad a \le x \le b$$

Dado un número aleatorio R se puede determinar la siguiente expresión para x

$$F(x) = \int_a^b \frac{1}{b-a} dx$$

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a}, \qquad a \le x \le b$$

Estableciendo $R = F(x)$, podemos resolver t como:

$$\boxed{x = a + (b-a)R}$$

Ejemplo: Simulación con problemas de teoría de colas

- El tiempo entre llegadas de los clientes a la peluquería Rizos es exponencial con media de 15 minutos. La peluquería es atendida por solo un peluquero, y se lleva entre 10 y 15 minutos, distribuidos de manera uniforme, para realizar un corte de pelo Los clientes son atendidos con base en la disciplina primero en llegar, primero en salir (FIFO).

- El objetivo de la simulación es calcular las siguientes medidas de desempeño:
  - La utilizacion promedio de la peluquería
  - La cantidad promedio de clientes que esperan
  - El tiempo promedio que un cliente espera en la cola

La lógica del modelo de simulacion se puede describir en función de las acciones asociadas con los eventos de llegada y salida del modelo

Simular manualmente las primeras 5 llegadas

Ejemplo: Datos del problema

- Tiempo de llegadas
  → distribución exponencial
  → Media de 15 minutos

$$t = -15 \ln R$$

- Tiempo de servicio
  → distribución uniforme
  → Entre 10 a 15 minutos

$$t = a + (b - a)R$$
$$t = 10 + 5R$$

- Número de servidores
  → 1 peluquero

Ejemplo: Tabla de números aleatorios

.0589	.3529	.5869	.3455	.7900	.6307
.6733	.3646	.1281	.4871	.7698	.2346
.4799	.7676	.2867	.8111	.2871	.4220
.9486	.8931	.8216	.8912	.9534	.6991
.6139	.3919	.8261	.4291	.1394	.9745
.5933	.7876	.3866	.2302	.9025	.3428
.9341	.5199	.7125	.5954	.1605	.6037
.1782	.6358	.2108	.5423	.3567	.2569
.3473	.7472	.3575	.4208	.3070	.0546
.5644	.8954	.2926	.6975	.5513	.0305

Ejemplo: Llegada del cliente 1 en el instante t = 0

- Debido a que la instalación está ociosa en el instante t = 0, el cliente inicia el servicio de inmediato

- Genere la **llegada del cliente 2** en el instante

$$t = 0 + [-15 \ln R]$$

$$t = 0 + [-15 \ln(0.0589)]$$

$$\boldsymbol{t = 42.48\ minutos}$$

- La **salida del cliente 1** se calcula de la siguiente manera

$$t = 0 + (10 + 5R)$$

$$t = 0 + [10 + (5 \times 0.6733)]$$

$$\boldsymbol{t = 13.37\ minutos}$$

Ejemplo: Salida del cliente 1 y llegada de cliente 2

- Debido a que la cola esta vacía, la instalación se declara ociosa. Al mismo tiempo, registramos que la instalación ha estado ocupada entre t = 0 y t = 13.37 minutos

- Llegada del cliente 2 en el instante t = 42.48.
- El **cliente 3 llegara** en el instante

$$t = 42.48 + [-15 \ln R]$$

$$t = 42.48 + [-15 \ln(0.4799)]$$

$$\boldsymbol{t = 53.49\ minutos}$$

- Debido a que la instalación esta ociosa, el cliente 2 inicia el servicio y la instalación se declara ocupada.
- La **salida del cliente 2** se calcula de la siguiente manera

$$t = 42.48 + (10 + 5R)$$

$$t = 42.48 + [10 + (5 \times 0.9486)]$$

$$\boldsymbol{t = 57.22\ minutos}$$

Ejemplo: Llega cliente 3 en el instante t = 53.49

- El **cliente 3 llegara** en el instante t = 53. 49 minutos
- Debido a que actualmente la instalación esta ocupada hasta t = 57.22 minutos, el cliente 3 se coloca en la cola en el instante t = 53.49
- El **cliente 2 sale** en el instante t = 57.22. El cliente 3 se retira de la cola para iniciar el servicio.
- El **cliente 3 tiene un tiempo de espera de**

$$W_3 = 57.22 - 53.49 = 3.73\, minutos$$

Ejemplo: Llega cliente 4

- El **cliente 4 llegara** en el instante

$$t = 53.49 + [-15\ln(0.61.39)]$$

$$\boldsymbol{t = 60.81\ minutos}$$

- Debido a que actualmente la instalación esta ocupada, el cliente 4 se coloca en la cola

- El **cliente 3 sale** en el instante

$$t = 57.22 + [10 + (5 \times 0.5933)]$$

$$\boldsymbol{t = 70.19\ minutos}$$

Ejemplo: Llega cliente 5

- El **cliente 5 llegara** en el instante

$$t = 60.81 + [-15 \ln(0.9341)]$$

$$\boldsymbol{t = 61.83\ minutos}$$

- La simulación se limita a 5 llegadas, por consiguiente no se generan más. La instalación sigue ocupada porque el cliente se coloca en la cola
- Sale el cliente 3 en el instante t = 70.19, por consiguiente entra el cliente 4
- El **cliente 4 sale** en el instante

$$t = 70.19 + [10 + (5 \times 0.1782)]$$

$$\boldsymbol{t = 81.08\ minutos}$$

Ejemplo: Sale el cliente 4, entra el cliente 5

- El **cliente 5 saldrá** en el instante

$$t = 81.08 + [10 + (5 \times 0.3473)]$$

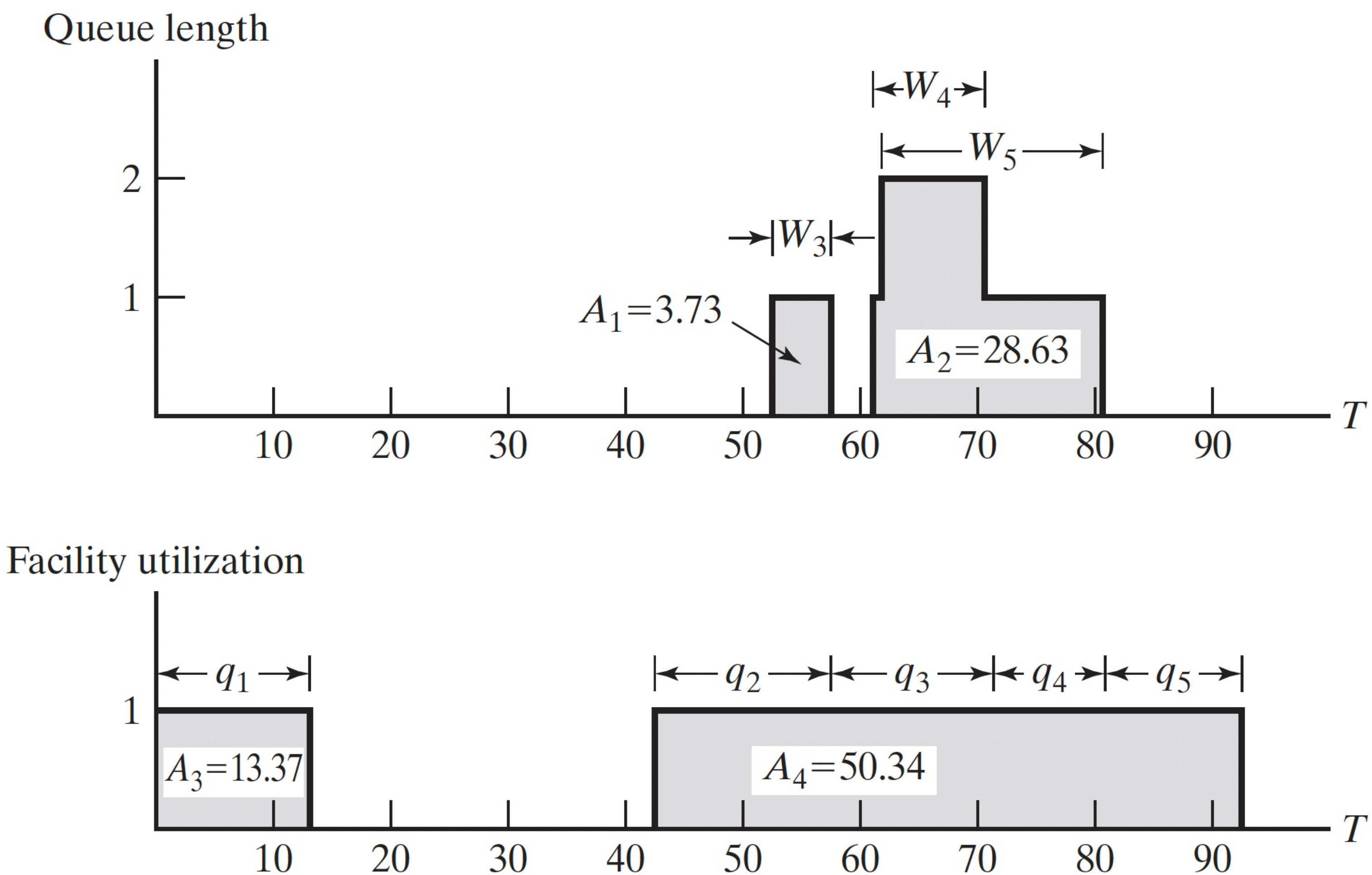
$$\boldsymbol{t = 92.82\ minutos}$$

- No hay más clientes en el sistema, la simulación termina.

Ejemplo: Lista de eventos

Tiempo (minutos)	Evento
13.37	Sale cliente 1
42.48	Llega cliente 2
53.49	Llega cliente 3
57.22	Sale cliente 2
60.81	Llega cliente 4
61.83	Llega cliente 5
70.19	Sale cliente 3
81.08	Sale cliente 4
92.82	Sale cliente 5

Ejemplo: Cambios en la longitud de la cola y de utilización de instalación como una función del tiempo de simulación T



Ejemplo: Características de operación

- La longitud de la cola y la utilización de la instalación se conocen como variables basadas en el tiempo porque su variación es una función del tiempo. Por consiguiente, sus valores promedios se calcula de la siguiente manera

$$\boxed{Valor\ promedio\ de\ una\ variable\ basada\ en\ el\ tiempo = \frac{área\ bajo\ la\ curva}{periodo\ simulado}}$$

- El tiempo de espera promedio en la cola es una variable basada en observaciones. Por consiguiente su valor promedio se calcula de la siguiente manera

$$\boxed{Valor\ promedio\ de\ una\ variable\ basada\ en\ observaciones = \frac{Suma\ de\ las\ observaciones}{Cantidad\ de\ observaciones}}$$

Ejemplo: Características de operación

$Longitud\ promedio\ de\ la\ cola$

$$L_q = \frac{área\ bajo\ la\ curva}{periodo\ simulado} = \frac{A_1 + A_2}{92.82} = \frac{32.36}{92.82} = 0.349\ clientes$$

$Utilización\ promedio\ de\ la\ instalación\ (\%\ de\ tiempo\ que\ el\ peluquero\ está\ ocupado)$

$$\rho = \frac{área\ bajo\ la\ curva}{periodo\ simulado} = \frac{A_3 + A_4}{92.82} = \frac{63.71}{92.82} = 0.686$$

$Tiempo\ de\ espera\ promedio$

$$W_q = \frac{Suma\ de\ las\ observaciones}{Cantidad\ de\ observaciones} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5}{5}$$

$$W_q = \frac{0 + 0 + 3.73 + 9.38 + 19.25}{5} = 32.36\ minutos$$

Resumen

Algunas funciones generadoras a partir de funciones discretas y continuas, donde Ri es un número aleatorio uniformemente distribuido entre (0,1)

Distribución uniforme

Sean a y b los límites de un conjunto de números distribuidos uniformemente, es posible generar un valor $\mathrm{a} \leq Ui \leq b$ en base a la siguiente función aleatoria

$$\boxed{t = a + (b - a)R}$$

Distribución exponencial

Sea $\frac{1}{\lambda}$ el número promedio de eventos por unidad de tiempo o espacio, se puede generar una variable aleatoria t tal que

$$\boxed{t = -\frac{1}{\lambda}\ln(R)}$$

Simulación Monte Carlo

- Cuando un sistema contiene elementos que exhiben azar en su comportamiento, se puede aplicar el ***método Monte Carlo de simulación.*** Se basa en la experimentación sobre los elementos posibles (o probabilísticos) mediante el muestreo aleatorio.

- Unos cuantos ejemplo de estas variables son: demanda de un inventario diario o semanal, el tiempo de entrega para las órdenes del inventario, los tiempos entre descomposturas de las máquinas, los tiempos entre llegadas a las instalaciones de servicio, los tiempos de servicio, los tiempos para terminar las actividades de un Proyecto, el número de empleados ausentes en el trabajo cada día.

- La técnica se compone de los siguientes pasos:

Establecer las distribuciones de probabilidad

Elaborar una distribución de probabilidad acumulada para cada variable

Establecer un intervalo de números aleatorios para cada variable

Generar números aleatorios.

Simular pruebas

Ejemplo 1

Una empresa vende todo tipo de neumaticos, pero hay un neumatico radial popular que representa gran parte de sus ventas totales. Como la empresa sabe que los costos de inventario pueden ser importantes con este producto, desea determiner una política para manejar su inventario. Para determinar como sería la demanda durante un periodo de tiempo, desea simular la demanda diaria durante varios dias

Demanda de llantas	Días
0	10
1	20
2	40
3	60
4	40
5	30

Ejemplo 1: **Solución**

Paso 1. Establecer distribuciones de probabilidad

- Examinar los datos históricos y calcular su probabilidad de ocurrencia

Demanda de llantas	Días	Probabilidad de ocurrencia
0	10	**0.05**
1	20	**0.10**
2	40	**0.20**
3	60	**0.30**
4	40	**0.20**
5	30	**0.15**

Ejemplo 1: **Solución**

Paso 2. Elaborar una distribución de probabilidad acumulada para cada variable

- Una probabilidad acumulada es la probabilidad de que una variable (demanda) sea menor o igual que un valor específico.

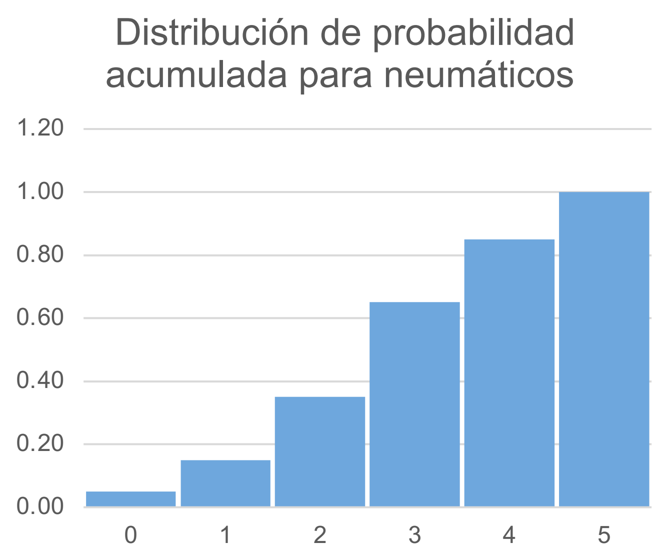
Demanda de llantas	Días	Probabilidad de ocurrencia	Frecuencia acumulada
0	10	0.05	**0.05**
1	20	0.10	**0.15**
2	40	0.20	**0.35**
3	60	0.30	**0.65**
4	40	0.20	**0.85**
5	30	0.15	**1.00**

Ejemplo 1: **Solución**

Paso 3. Establecer intervalos de números aleatorios

- Asignar un conjunto de números para representar cada valor o resultado posible.
  - Estos se conocen como ***intervalos de números aleatorios***.
  - Un ***número aleatorio*** es una serie de dígitos que han sido seleccionados por un proceso totalmente aleatorio.
  - El rango de los intervalos de números aleatorios corresponde ***exactamente*** con la probabilidad de los resultados como se muestra

Representación gráfica de la distribución de probabilidad acumulada para las llantas radiales



Ejemplo 1: Solución

Asignación de intervalos de números aleatorios para Auto Tire de Harry

Demanda de llantas	Días	Probabilidad de ocurrencia	Frecuencia acumulada	Intervalo de números aleatorios
0	10	0.05	0.05	**00 - 05**
1	20	0.10	0.15	**05 - 15**
2	40	0.20	0.35	**15 - 35**
3	60	0.30	0.65	**35 - 65**
4	40	0.20	0.85	**65 - 85**
5	30	0.15	1.00	**85 - 99**

Ejemplo 1: **Solución**

Paso 4. Generar números aleatorios

- Los números aleatorios se pueden generar de varias maneras.
- Si el problema es muy grande, se dispone de programas de software para generar los números aleatorios necesarios.
- El método manual más común es usar una tabla de números aleatorios.
- Porque todo es aleatorio en una tabla de números aleatorios, podemos seleccionar los números desde cualquier lugar de la tabla a utilizar en la simulación.

52	06	50	88	53	30	10	47	99	37	66	91	35	32	00	84	57	07
37	63	28	02	74	35	24	03	29	60	74	85	90	73	59	55	17	60
82	57	68	28	05	94	03	11	27	79	90	87	92	41	09	25	36	77
69	02	36	49	71	99	32	10	75	21	95	90	94	38	97	71	72	49
98	94	90	36	06	78	23	67	89	85	29	21	25	73	69	34	85	76
96	52	62	87	49	56	59	23	78	71	72	90	57	01	98	57	31	95
33	69	27	21	11	60	95	89	68	48	17	89	34	09	93	50	44	51
50	33	50	95	13	44	34	62	64	39	55	29	30	64	49	44	30	16
88	32	18	50	62	57	34	56	62	31	15	40	90	34	51	95	26	14
90	30	36	24	69	82	51	74	30	35	36	85	01	55	92	64	09	85
50	48	61	18	85	23	08	54	17	12	80	69	24	84	92	16	49	59
27	88	21	62	69	64	48	31	12	73	02	68	00	16	16	46	13	85
45	14	46	32	13	49	66	62	74	41	86	98	92	98	84	54	33	40
81	02	01	78	82	74	97	37	45	31	94	99	42	49	27	64	89	42
66	83	14	74	27	76	03	33	11	97	59	81	72	00	64	61	13	52
74	05	81	82	93	09	96	33	52	78	13	06	28	30	94	23	37	39
30	34	87	01	74	11	46	82	59	94	25	34	32	23	17	01	58	73
59	55	72	33	62	13	74	68	22	44	42	09	32	46	71	79	45	89
67	09	80	98	99	25	77	50	03	32	36	63	65	75	94	19	95	88
60	77	46	63	71	69	44	22	03	85	14	48	69	13	30	50	33	24
60	08	19	29	36	72	30	27	50	64	85	72	75	29	87	05	75	01
80	45	86	99	02	34	87	08	86	84	49	76	24	08	01	86	29	11
53	84	49	63	26	65	72	84	85	63	26	02	75	26	92	62	40	67
69	84	12	94	51	36	17	02	15	29	16	52	56	43	26	22	08	62
37	77	13	10	02	18	31	19	32	85	31	94	81	43	31	58	33	51

Ejemplo 1: **Solución**

Paso 5. Simulación del experimento

- Seleccionamos números aleatorios de la tabla
- El número que seleccione tendrá un rango correspondiente de la tabla
- Usamos la demanda diaria que corresponde a la gama de probabilidad alineada con el número aleatorio.

Simulación de 10 días de demanda de la llanta radial

SIMULACION DE DEMANDA DIARIA PARA 10 DIAS		
DIA	NÚMERO ALEATORIO	DEMANDA DIARA
1	52	**3**
2	37	**3**
3	82	**4**
4	69	**4**
5	98	**5**
6	96	**5**
7	33	**2**
8	50	**3**
9	88	**5**
10	90	**5**

Demanda de llantas	Intervalo de números aleatorios
0	00 – 05
1	05 – 15
2	15 – 35
3	35 – 65
4	65 – 85
5	85 – 99

Ejemplo 1: Solución

Demanda diaria promedio simulada

$$Demanda\ diaria\ promedio = \frac{demanda\ diaria\ total}{número\ de\ días} = \frac{39}{10} = \mathbf{3.9\ llantas}$$

Demanda esperada diaria

$$Demanda\ esperada\ diaria = \sum_{i=0}^{n} p(x_i)x_i$$

$$Demanda\ esperada\ diaria = (0.05)(0) + (0.10)(1) + (0.20)(2) + (0.30)(3) + (0.20)(4) + (0.15)(5)$$

$$Demanda\ esperada\ diaria = \mathbf{2.95\ llantas}$$

Si esta simulación se repite cientos o miles de veces, es más probable que la demanda simulada ***promedio*** sea casi la misma que la demanda ***esperada.***

Ejemplo 2

- Un propietario y director general de una ferreteria, quiere encontrar una política de inventarios buena y de bajo costo para un producto en particular: el taladro electrico modelo Ace. El director le gustaría simular la política de inventario en donde una cantidad de pedido de 10 con un punto de reorden de 5 para un tiempo de simulación de 10 días. Utilice los números de la segunda columna de números aleatorios

- Se cuenta con la siguiente información

.

Demanda diaria del taladro Ace

Demanda diaria de taladro	Días
0	15
1	30
2	60
3	120
4	45
5	30

Tiempo de entrega

Tiempo de entrega (días)	Pedidos
1	10
2	25
3	15

Ejemplo 2: Tabla de números aleatorios

52	06	50	88	53	30	10	47	99	37	66	91	35	32	00	84	57	07
37	63	28	02	74	35	24	03	29	60	74	85	90	73	59	55	17	60
82	57	68	28	05	94	03	11	27	79	90	87	92	41	09	25	36	77
69	02	36	49	71	99	32	10	75	21	95	90	94	38	97	71	72	49
98	94	90	36	06	78	23	67	89	85	29	21	25	73	69	34	85	76
96	52	62	87	49	56	59	23	78	71	72	90	57	01	98	57	31	95
33	69	27	21	11	60	95	89	68	48	17	89	34	09	93	50	44	51
50	33	50	95	13	44	34	62	64	39	55	29	30	64	49	44	30	16
88	32	18	50	62	57	34	56	62	31	15	40	90	34	51	95	26	14
90	30	36	24	69	82	51	74	30	35	36	85	01	55	92	64	09	85
50	48	61	18	85	23	08	54	17	12	80	69	24	84	92	16	49	59
27	88	21	62	69	64	48	31	12	73	02	68	00	16	16	46	13	85
45	14	46	32	13	49	66	62	74	41	86	98	92	98	84	54	33	40
81	02	01	78	82	74	97	37	45	31	94	99	42	49	27	64	89	42
66	83	14	74	27	76	03	33	11	97	59	81	72	00	64	61	13	52
74	05	81	82	93	09	96	33	52	78	13	06	28	30	94	23	37	39
30	34	87	01	74	11	46	82	59	94	25	34	32	23	17	01	58	73
59	55	72	33	62	13	74	68	22	44	42	09	32	46	71	79	45	89
67	09	80	98	99	25	77	50	03	32	36	63	65	75	94	19	95	88
60	77	46	63	71	69	44	22	03	85	14	48	69	13	30	50	33	24
60	08	19	29	36	72	30	27	50	64	85	72	75	29	87	05	75	01
80	45	86	99	02	34	87	08	86	84	49	76	24	08	01	86	29	11
53	84	49	63	26	65	72	84	85	63	26	02	75	26	92	62	40	67
69	84	12	94	51	36	17	02	15	29	16	52	56	43	26	22	08	62
37	77	13	10	02	18	31	19	32	85	31	94	81	43	31	58	33	51

Ejemplo 2: **Solución**

1. Identificar tipos de variables

- Cantidad de pedido y los puntos de reorden. (variables controlables)
- Demanda diaria y el tiempo de entrega variable. (variables incontrolables)

2. Convertir la frecuencia de datos históricos en distribuciones de probabilidad y distribuciones de probabilidad acumulada y delimitar los intervalos para los números aleatorios

Demanda diaria de taladro	Días	Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad acumulada
0	15	0.05	0.05
1	30	0.10	0.15
2	60	0.20	0.35
3	120	0.40	0.75
4	45	0.15	0.90
5	30	0.10	1.00
	300		

Tiempo de entrega (días)	Pedidos (unidades)	Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad acumulada
1	10	0.2	0.2
2	25	0.5	0.7
3	15	0.3	1
	50		

Ejemplo 2: **Solución**

3. Especificar valores de las variables a probar

- La primera política de inventarios de la ferretería quiere simular es una cantidad de pedido de 10 unidades con un punto de reorden de 5 unidades . Es decir, cada vez que el nivel de inventario disponible al final del día sea de 5 o menos, la ferretería llamará a su proveedor y realizara un pedido de 10 taladros más.

- Si el tiempo de entrega es de un día, el pedido no llegara a la mañana siguiente, sino al inicio del siguiente día laborable.

- Se tiene un inventario inicial de 10 unidades

- Tiempo de simulación = 10 días

Ejemplo 2: **Solución**

4. Proceso de simulación

Utilizando la tabla de números aleatorios, la simulación se realiza utilizando un proceso de cuatro pasos:

- Comenzar cada día verificando si acaba de llegar algún inventario ordenado. Si es así, aumentar el inventario actual en la cantidad de la orden.
- Generar una demanda diaria a partir de la distribución de probabilidad de la demanda, seleccionando un número aleatorio.
- Calcular el inventario final cada día. Si el inventario disponible es insuficiente para cumplir la demanda del día, satisfacer lo más posible y anotar el número de ventas perdidas.
- Determinar si el inventario al final del día ha llegado al punto de reorden. Si es necesario, colocar la orden.

Ejemplo 2: Solución

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Ejemplo 2: **Solución**

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2		9	63	3	6	0	NO		0
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Ejemplo 2: Solución

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2		9	63	3	6	0	NO		0
3		6	57	3	3	0	SI	2	1
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Ejemplo 2: **Solución**

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2		9	63	3	6	0	NO		0
3		6	57	3	3	0	SI	2	1
4		3	94	5	0	2	NO		2
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Ejemplo 2: **Solución**

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2		9	63	3	6	0	NO		0
3		6	57	3	3	0	SI	2	1
4		3	94	5	0	2	NO		0
5	10	10	52	3	7	0	NO		0
6									
7									
8									
9									
10									

Ejemplo 2: **Solución**

Primera simulación del inventario de la Ferretería

Dia	Unidades Recibidas	Inv. Inicial	R numero	Demanda	Inv. final	Desabasto	Pedido	R numero	Tiempo de entrega
1	0	10	6	1	9	0	NO		0
2		9	63	3	6	0	NO		0
3		6	57	3	3 a	0	SI	2 b	1
4		3	94 c	5	0	2	NO d		0
5	10 e	10	52	3	7	0	NO		0
6		7	69	3	4	0	SI	33	2
7		4	32	2	2	0	NO		0
8		2	30	2	0	0	NO		0
9	10 f	10	48	3	7	0	NO		0
10		7	88	4	3	0	SI	14	1

Ejemplo 2: Solución

a. Esta es la primera vez que el inventario cae por debajo del punto de reorden de 5 taladros. Debido a que no se realizo ningún pedido previo, se coloca una orden
b. Se genera el numero aleatorio 02 para representar el primer tiempo de entrega. Se extrae de la columna 2 de la tabla como el próximo de la lista a utilizar. Se podría haber usado una columna por separado para extraer números aleatorios del tiempo de entrega, de haberlo deseado así.
c. Se utilizo el numero aleatorio 02 para el tiempo de entrega. Así que el siguiente numero de la columna es 94
d. No se realiza ningún pedido en el día 4 porque hay una orden del día anterior que aun no ha llegado.
e. El tiempo de entrega para el primer pedido es de un día, pero como se ha señalado , una orden no llega a la mañana siguiente, sino hasta el inicio del siguiente día laborable. Por lo tanto, el primer pedido llega al inicio del día 5
f. Esta es la llegada del pedido realizado en el cierre de operaciones del día 6.

Ejemplo 2: Análisis de costos

Análisis de costos

- El objetivo es encontrar una solución de bajo costo, y determinar cuáles los costos .
- Se deben calcular indicadores para el análisis.

$$Inventario\ final\ promedio = \frac{Inventario\ total}{Tiempo\ de\ simulación} = \frac{41\ unidades}{10\ días} = 4.1\ unidades\ por\ día$$

$$Desabasto\ promedio = \frac{Desabasto\ total}{Tiempo\ de\ simulación} = \frac{2\ unid\ ventas\ perdidas}{10\ días} = 0.2\ undiades\ por\ dia$$

$$Promedio\ de\ órdenes = \frac{Total\ de\ órdenes\ colocadas}{Tiempo\ de\ simulación} = \frac{3\ órdenes}{10\ días} = 0.3\ pedidos\ por\ día$$

Ejemplo 2: Análisis de costos

- La ferretería está abierta 200 días al año. Se estima que el costo de colocar cada pedido es de $10. El costo por mantener en almacén es $6 por unidad al año, que también puede ser visto como 3 centavos por unidad por día (para un año de 200 días). Por último, se estima que el costo de cada escasez o venta perdida es de $8. ¿Cuál es el costo total del inventario diario total para la política de inventario con una cantidad de pedido de 10 unidades y un punto de reorden de 5.

$$Costo\ diario\ por\ ordenar = (costo\ de\ colocar\ una\ orden) \times (número\ de\ órdenes\ colocadas\ por\ día)$$

$$Costo\ diario\ por\ ordenar = \$10\ por\ orden \times 0.3\ órdenes\ por\ día$$

$$Costo\ diario\ por\ ordenar = \$3$$

$$Costo\ diario\ por\ mantener = (costo\ por\ mantener\ una\ unidad\ por\ día) \times (inventario\ final\ promedio)$$

$$Costo\ diario\ por\ ordenar = \$0.03\ por\ unidad\ por\ día \times 4.1\ unidades\ por\ día$$

$$Costo\ diario\ por\ ordenar = \$0.12$$

Ejemplo 2: Análisis de costos

$$Costo\ de\ desabasto\ diario = (costo\ por\ venta\ perdida) \times (número\ de\ ventas\ perdidas\ por\ día)$$

$$Costo\ de\ desabasto\ diario = \$8\ por\ venta\ perdida \times 0.2\ ventas\ perdidas\ por\ dia$$

$$Costo\ de\ desabasto\ diario = \$1.60$$

$$Costo\ del\ inventario\ diario\ total = costo\ por\ \ pedido\ + costo\ por\ almacenamiento + costo\ por\ desabasto$$

$$Costo\ del\ inventario\ diario\ total = \$3.00 + \$0.12 + \$1.60$$

$$Costo\ del\ inventario\ diario\ total = \$4.72$$

Ejemplo 2: Análisis de costos

- Para el año, esta política costaría aproximadamente $944.
- Esta simulación realmente debería extenderse por muchos días más, tal vez 100 o 1,000 días.
- Incluso después de una simulación más grande, el modelo debe ser verificado y validado para asegurarse de que realmente representa la situación en la que se basa.
- Si estamos satisfechos con el modelo, se pueden realizar simulaciones adicionales utilizando otros valores para las variables.
- Después de simular todas las combinaciones razonables, la ferretería seleccionaría la política que dé como resultado el menor costo total.

Ejemplo 3

Por la noche, llegan a un puerto barcazas totalmente cargadas después de largos viajes por el río desde ciudades del medio oeste industrial. El número de barcazas que atracan en una noche cualquiera va de 0 a 5. Las probabildiades de 0, 1, 2, 3, 4 o 5 llegadas se muestra en la table. En la misma table, se establecen probabilidades acumuladas y los intervalos de números aleatorios correspondientes.

Un studio realizado por el superintendente del muelle revela que debido a la naturaleza de su carga, el número de barcazas descargadas también suele variar de un día a otro. El superintendente proporciona información de la que se puede crear una distribución de probabilidad para la variable llamada tasa de descarga diaria.

Las barcazas se descargan con una base del primero en llegar, el primero en salir. Cualquier barcaza que no sea descargada al día de su llegada tendrá que esperar hasta el día siguiente Atar una barcaza en el muelle es una propuesyas costosa, y el superintendente no puede ignorer las llamadas telefónicas de propietarios molestos en la línea de barcazas. Decide que antes de ir con el controlador del Puerto para solicitar cuadrillas de descarga adicionales, debe realizar un studio de simulación de las llegadas , las descargas y los retrasos. Una simulación de 100 días sería ideal; pero con fines de ilustración, el superintendente comienza con un análisis más corto de 15 días. Se extraen números aleatorios de la fila superior para generar las tasas de llegada y de la segunda fila para crear las tasas de descarga diaria.

Ejemplo 3: Tasas de llegadas de barcazas por la noche e intervalos de números aleatorios

Nr de llegadas	Probabilidad	Prob. acumulada	Intervalos de R
0	0.13	0.13	0 – 12
1	0.17	0.3	13 – 29
2	0.15	0.45	30 – 44
3	0.25	0.7	45 – 69
4	0.2	0.9	70 – 89
5	0.1	1	90 - 99

Ejemplo 3: Tasas de descargas e intervalos de números aleatorios

Nr de descargas	Probabilidad	Prob. acumulada	Intervalos de R
1	0.05	0.05	0 – 4
2	0.15	0.2	5 – 19
3	0.5	0.7	20 – 69
4	0.2	0.9	70 – 89
5	0.1	1	90 – 99

Ejemplo 3: Tabla de números aleatorios

Números aleatorios para la tasa de llegada

Números aleatorios para la tasa de descarga

52	06	50	88	53	30	10	47	99	37	66	91	35	32	00	84	57	07
37	63	28	02	74	35	24	03	29	60	74	85	90	73	59	55	17	60
82	57	68	28	05	94	03	11	27	79	90	87	92	41	09	25	36	77
69	02	36	49	71	99	32	10	75	21	95	90	94	38	97	71	72	49
98	94	90	36	06	78	23	67	89	85	29	21	25	73	69	34	85	76
96	52	62	87	49	56	59	23	78	71	72	90	57	01	98	57	31	95
33	69	27	21	11	60	95	89	68	48	17	89	34	09	93	50	44	51
50	33	50	95	13	44	34	62	64	39	55	29	30	64	49	44	30	16

Ejemplo 3: Solución

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: Solución

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: **Solución**

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3	0	50	3	3	28	3	3
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: Solución

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3	0	50	3	3	28	3	3
4	0	88	4	4	2	1	1
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: Solución

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3	0	50	3	3	28	3	3
4	0	88	4	4	2	1	1
5	3	53	3	6	74	4	4
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: Solución

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3	0	50	3	3	28	3	3
4	0	88	4	4	2	1	1
5	3	53	3	6	74	4	4
6	2	30	2	4	35	3	3
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Ejemplo 3: **Solución**

Día	Número de retrasos del día anterior	Número R	Número de llegadas nocturnas	Total a descargar	Número R	Número de descargas posibles	Descargados
1	0	52	3	3	37	3	3
2	0	6	0	0	63	3	0
3	0	50	3	3	28	3	3
4	0	88	4	4	2	1	1
5	3	53	3	6	74	4	4
6	2	30	2	4	35	3	3
7	1	10	0	1	24	3	1
8	0	47	3	3	3	1	1
9	2	99	5	7	29	3	3
10	4	37	2	6	60	3	3
11	3	66	3	6	74	4	4
12	2	91	5	7	85	4	4
13	3	35	2	5	90	5	5
14	0	32	2	2	73	4	2
15	0	0	0	0	59	3	0

Ejemplo 3: Solución

$$Número\ promedio\ de\ barcazas\ retrasadas\ para\ el\ dia\ siguiente = \frac{20\ retrasos}{15\ días} = 1.33$$

$$Número\ promedio\ de\ llegadas\ nocturnas = \frac{37\ llegadas}{15\ días} = \ \ 2.47$$

$$Número\ promedio\ de\ barcazas\ descargadas\ cada\ día = \frac{37\ descargas}{15\ días} = 2.47$$

Ejemplo 4: Modelo de simulación para una política de mantenimiento

La compañía de suministro de energía Three Hills Power ofrece electricidad a una área metropolitana grande mediante una serie de casi 200 generadores hidroeléctricos.
La compañía está preocupada por las fallas del generador porque una descompostura cuesta alrededor de $75 por generador por hora.

Sus cuatro reparadores ganan $30 por hora y trabajan rotando turnos de 8 horas.
La administración desea evaluar la:

1. El costo del servicio de mantenimiento
2. El costo simulado de la descompostura de la máquina
3. Los costos totales

Hay dos componentes importantes del sistema de mantenimiento:

- Tiempo entre averías sucesivas del generador que varía de 30 minutos a tres horas.
- El tiempo que toma reparar los generadores que va de una a tres horas en bloques de una hora

Se desea efectuar una simulación de 15 fallas.

Ejemplo 4: Modelo de simulación para una política de mantenimiento

Se ejecuta la simulación seleccionando una serie de números aleatorios para generar tiempos simulados entre averías de generador (penúltima columna) y una segunda serie para simular los tiempos de reparación necesarios (ultima columna)

Números aleatorios para tiempos de reparación

52	06	50	88	53	30	10	47	99	37	66	91	35	32	00	84	57	07
37	63	28	02	74	35	24	03	29	60	74	85	90	73	59	55	17	60
82	57	68	28	05	94	03	11	27	79	90	87	92	41	09	25	36	77
69	02	36	49	71	99	32	10	75	21	95	90	94	38	97	71	72	49
98	94	90	36	06	78	23	67	89	85	29	21	25	73	69	34	85	76
96	52	62	87	49	56	59	23	78	71	72	90	57	01	98	57	31	95
33	69	27	21	11	60	95	89	68	48	17	89	34	09	93	50	44	51
50	33	50	95	13	44	34	62	64	39	55	29	30	64	49	44	30	16

Números aleatorios para tiempos entre averías de máquinas

Ejemplo 4: Tiempo entre fallas de máquinas registradas

Tiempo entre fallas (horas)	Número de observaciones	Prob. de ocurrencia	Prob. acumulada	Intervalos R
0.5	5	0.05	0.05	0 – 4
1	6	0.06	0.11	5 – 10
1.5	16	0.16	0.27	11 – 26
2	33	0.33	0.6	27 – 59
2.5	21	0.21	0.81	60 – 80
3	19	0.19	1	81 – 99

Ejemplo 4: Tiempos requeridos para la reparación

Tiempo de reparación (horas)	Número de observaciones	Prob. de ocurrencia	Prob. acumulada	Intervalos R
1	28	0.28	0.28	0 – 27
2	52	0.52	0.8	28 – 79
3	20	0.2	1	80 – 99

Ejemplo 4: Solución

Número de fallas	Número R	Tiempo entre fallas	Hora de la falla	Hora en que el reparador está libre para empezar esta reparacion	Número R	Tiempo de reparación requerido	Hora de finalización de reparación	Número de horas en que la máquina está descompuesta
1	57	2:00	2:00 AM	2:00 AM	7	1:00	3:00 AM	1:00
2	17				60			
3	36				77			
4	72				49			
5	85				76			
6	31				95			
7	44				51			
8	30				16			
9	26				14			
10	9				85			
11	49				59			
12	13				85			
13	33				40			
14	89				42			
15	13				52			

Ejemplo 4: Solución

Número de fallas	Número R	Tiempo entre fallas	Hora de la falla	Hora en que el reparador está libre para empezar esta reparacion	Número R	Tiempo de reparación requerido	Hora de finalización de reparación	Número de horas en que la máquina está descompuesta
1	57	2:00	2:00 AM	2:00 AM	7	1:00	3:00 AM	1:00
2	17	1:30	3:30 AM	3:30 AM	60	2:00	5:30 AM	2:00
3	36				77			
4	72				49			
5	85				76			
6	31				95			
7	44				51			
8	30				16			
9	26				14			
10	9				85			
11	49				59			
12	13				85			
13	33				40			
14	89				42			
15	13				52			

Ejemplo 4: Solución

Número de fallas	Número R	Tiempo entre fallas	Hora de la falla	Hora en que el reparador está libre para empezar esta reparacion	Número R	Tiempo de reparación requerido	Hora de finalización de reparación	Número de horas en que la máquina está descompuesta
1	57	2:00	2:00 AM	2:00 AM	7	1:00	3:00 AM	1:00
2	17	1:30	3:30 AM	3:30 AM	60	2:00	5:30 AM	2:00
3	36	2:00	5:30 AM	5:30 AM	77	2:00	7:30 AM	2:00
4	72				49			
5	85				76			
6	31				95			
7	44				51			
8	30				16			
9	26				14			
10	9				85			
11	49				59			
12	13				85			
13	33				40			
14	89				42			
15	13				52			

Ejemplo 5: Solución

Número de fallas	Número R	Tiempo entre fallas	Hora de la falla	Hora en que el reparador está libre para empezar esta reparacion	Número R	Tiempo de reparación requerido	Hora de finalización de reparación	Número de horas en que la máquina está descompuesta
1	57	2:00	2:00 AM	2:00 AM	7	1:00	3:00 AM	1:00
2	17	1:30	3:30 AM	3:30 AM	60	2:00	5:30 AM	2:00
3	36	2:00	5:30 AM	5:30 AM	77	2:00	7:30 AM	2:00
4	72	2:30	8:00 AM	8:00 AM	49	2:00	10:00 AM	2:00
5	85	3:00	11:00 AM	11:00 AM	76	2:00	1:00 PM	2:00
6	31	2:00	1:00 PM	1:00 PM	95	3:00	4:00 PM	3:00
7	44	2:00	3:00 PM	4:00 PM	51	2:00	6:00 PM	3:00
8	30	2:00	5:00 PM	6:00 PM	16	1:00	7:00 PM	2:00
9	26	1:30	6:30 PM	7:00 PM	14	1:00	8:00 PM	1:30
10	9	1:00	7:30 PM	8:00 PM	85	3:00	11:00 PM	3:30
11	49	2:00	9:30 PM	11:00 PM	59	2:00	1:00 AM	3:30
12	13	1:30	11:00 PM	1:00 AM	85	3:00	4:00 AM	5:00
13	33	2:00	1:00 AM	4:00 AM	40	2:00	6:00 AM	5:00
14	89	3:00	4:00 AM	6:00 AM	42	2:00	8:00 AM	4:00
15	13	1:30	5:30 AM	8:00 AM	52	2:00	10:00 AM	4:30

Ejemplo 4: Solución

Total de horas que los generadores están fuera de servicio: 44
Total de horas de servicio del trabajador (desde las 2:00 am hasta las 10 am del día siguiente) : 32 horas
Costo de mano de obra: \$30/hora
Costo por inactividad de máquina: \$75/hora

$$Costo\ del\ servicio\ de\ mantenimiento = 32\ horas\ de\ mano\ de\ obra \times \$\ 30\ por\ hora\ de\ mano\ de\ obra$$

$$Costo\ del\ servicio\ de\ mantenimiento = \$960$$

$$Costo\ de\ máquina\ averaida = 44\ horas\ totales\ de\ avería \times \$\ 75\ perdidos\ por\ hora\ \ inactiva$$

$$Costo\ de\ máquina\ averiada = \$3{,}300$$

$$Costo\ total\ de\ mantenimiento = \$960 + \$3{,}300$$

$$Costo\ total\ de\ mantenimiento = \$4{,}260$$

Ejemplo 4: Simulación para establecer una política de inventario de un producto con demanda incierta

Butler Electrical Supply Company vende como producto principal un ventilador doméstico distribuido. Cada ventilador cuesta $75 y se vende en $125. Por lo tanto, Butler obtiene una utilidad de $50 por cada ventilador vendido.

La demanda mensual del ventilador está descrita por una distribución de probabilidad normal con una media de 100 unidades y una desviación estándar de 20 unidades. Butler recibe entregas mensuales de su proveedor y repone el inventario a un nivel de Q al principio de cada mes. Este nivel de inventario inicial se conoce como de reposición. Nivel de reposición de inventario son 100 unidades. (el inventario de cada mes es de 100)

Si la demanda mensual es menor que el nivel de reposición, se carga un costo de retención en el inventario de $15 a cada unidad que no se vende. Sin embargo, si la demanda mensual es mayor que el nivel de reposición, las existencias se agotan y se incurre en un costo de incumplimiento. Como Butler asigna un costo de plusvalía de $30 a cada cliente que se va, se carga un costo de incumplimiento de $30 por cada unidad demandada que no puede ser satisfecha.

Se le solicita utilizar un modelo de simulación para determinar la utilidad neta mensual promedio como resultado de usar un nivel de reposición particular. También se necesita contar con información sobre el porcentaje de la demanda total que será satisfecho. Este porcentaje se conoce como nivel de servicio. Simule la operación del inventario durante 300 meses

Generador de la demanda =NORM.INV()

Ejemplo 4: Solución en excel

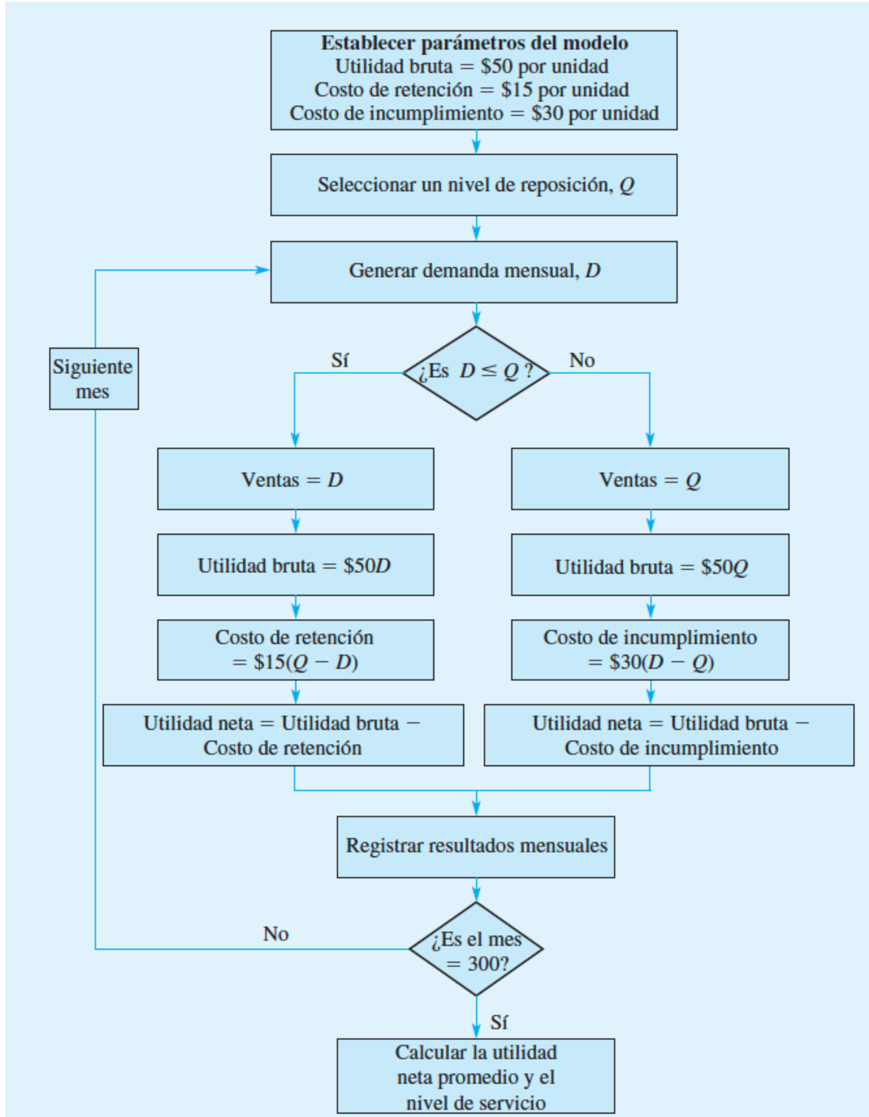
INVENTARIO		
Utilidad bruta por unidad		$50
Costo de mantener por unidad		$15
Costo por desabasto por unidad		$30
Nivel de reposición		100
Demanda (Distribución Normal)		
Media	100	
Desviación Estandar	20	

Simulación

Mes	Demanda	Ventas	Utilidad Bruta	Costo por mantener	Costo por desabasto	Utilidad neta
1	69	69	$3,451	$465	$0	$2,986
2	86	86	$4,315	$206	$0	$4,109
3	94	94	$4,694	$92	$0	$4,602
4	67	67	$3,342	$497	$0	$2,844
5	96	96	$4,788	$64	$0	$4,724
6	109	100	$5,000	$0	$267	$4,733
7	99	99	$4,966	$10	$0	$4,956
296	95	95	$4,774	$68	$0	$4,707
297	95	95	$4,743	$77	$0	$4,666
298	87	87	$4,349	$195	$0	$4,154
299	106	100	$5,000	$0	$167	$4,833
300	110	100	$5,000	$0	$302	$4,698
Totals	29,212	27,301		**Resumen**		
				Utilidad promedio		$4,224
				Desviación estándar		$750
				Utilidad mínima		$1,143
				Utilidad máxima		$4,998
				Nivel de Servicio		93.5%

Ver archivo en Excel

Ejemplo 4: Diagrama de flujo



Funciones útiles en excel

FUNCIÓN	USO	PARAMETROS
=VLOOKUP()	Utilizado cuando se necesite encontrar un valor en una tabla o un rango por fila.	=VLOOKUP(valor de búsqueda, rango que contiene el valor de búsqueda, número de columna en el rango que contiene el valor devuelto, coincidencia aproximada (VERDADERO) o coincidencia exacta (FALSO)).
=IF()	Permite hacer comparaciones lógicas entre un valor y lo que espera. Una declaración IF puede tener dos resultados. El primer resultado es si su comparación es verdadera, el segundo si su comparación es falsa.	=IF(condición, valor a devolver si se cumple condición, valor a devolver en caso de no cumplirse la condición).
=NORM.INV()	Devuelve el inverso de la distribución acumulativa normal para la media y la desviación estándar especificadas.	=NORM.NV(probabilidad, media, desviacion estandar).
=RAND()	Genera números aleatorios uniformes entre 0 y 1	=RAND()

Bibliografía

- Render, B. (2016). Métodos cuantitativos para los Negocios. Editorial Pearson.
- Gohout, W. (2013). Operations Research. Oldenbourg Verlag München
- Taha, H. (2011). Investigación de Operaciones. Editorial Pearson.
- Hillier, F. & Lieberman, G. (2015). Investigación de Operaciones. McGraw-Hill
- Winston, W. (2004). Operations Research Applications and Algorithms. Thomson Brooks/Cole
- Anderson, D. & Sweeny, D. (2019). Métodos Cuantitativos para los Negocios. Cengage
- Eppen, D. (2000). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Pearson
- García et al. (2013). Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel. Editorial Pearson.
- Srinivasan, G. (2010). Quantitative Models in Operations and Supply Chain Management. PHI Learning Private Limited
- Rardin, R. (2017). Optimization in Operations Research. Pearson
- Carter, M. et al. (2019). Operations Research A Practical Introduction. Taylor & Francis Group
- Aoroto Álvares, C., [et al] (2014) Operations research in business administration and managenent. Valencia: Universitat Politècnica de València
- Ravi Ravindran, A. (2008) Operations Research & Management Science Handbook. Taylor & Francis Group
- Rees, M. (2015). Business Risk and Simulation Modeling in Practice. John Wiley & Sons Ltd
- Sterman, J. (2000). Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill
- Winston, W. (2017) Microsoft Excel 2016 – Data Analysis and Busines Modeling. Microsoft press
- Schaffernicht, M. (2006). *Dinámica de Sistemas – Tomo 1: Fundamentos*.
- Alvarez, H. (2011). Introducción a la Simulación. Universidad Tecnológica de Panamá
- Cassandras & Lafortune. (2008). *Introduction to Discrete Event Systems*. Springer
- Bandyopadhyay, S. et al (2014). Discrete and Continuous Simulation: Theory and Practice. Taylor & Francis Group
- García et al. (2013). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*. Editorial Pearson.
- Schroeder et al. (2011). *Administración de Operaciones*. McGraw-Hill
- Render, B. & Heizer, J. (2014). *Principios de Administración de Operaciones*. Pearson
- Chase, R. & Jacobs, F. (2014). *Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministro.* McGraw – Hill
- Rees, M. (2015). *Business Risk and Simulation Modeling in Practice*. John Wiley & Sons Ltd
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill
- Winston, W. (2017) *Microsoft Excel 2016 – Data Analysis and Busines Modeling*. Microsoft press
- Slack, N., et al. (2016) . *Operations Management*. Pearson
- Stevenson, W. (2015*). Operations Management*. McGraw-Hill

Contacto

Ricardo Caballero, M.Sc.
Docente Tiempo Completo
Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica de Panamá | Centro Regional de Chiriquí

E-Mail: ricardo.caballero@utp.ac.pa
Social: LinkedIn | ResearchGate
Website: https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero

Project Manager
Giii Grupo de Investigación en Ingeniería Industrial

Website: www.giii.utp.ac.pa