

Universidad Galileo  
Maestría en Investigación de Operaciones  
Modelación y Simulación I  
Ing. Carlos Zelada

**PROYECTO 1**  
**Simulación de Teoría de Colas en un Banco**

Moisés Eliú Imeri Higueros  
21000182

# Proyecto 1

El tiempo entre llegadas de un banco por día está en la siguiente tabla.

	Tiempo entre llegadas (Minutos)						
	0	1	2	3	4	5	6
Lunes	0.1	0.15	0.1	0.35	0.25	0.05	0
Martes	0.1	0.1	0.15	0.2	0.35	0.1	0
Miercoles	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.25	0.25
Jueves	0	0.15	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15
Viernes	0.15	0.15	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Sabado	0.2	0.15	0.1	0.5	0.05	0	0
Domingo	0.35	0.25	0.2	0.1	0.1	0	0

El banco abre entre las 10am y 6pm.

Hay  $n$  agentes trabajando en el banco. Cada uno de los agentes del banco tarda en promedio 8 minutos en atender a un cliente y tiene una desviación de 5 minutos(  $rnorm()$  ).

- Aplicar floor() al numero aleatorio

1. Haga una simulación para determinar el tamaño promedio de la cola por día cuando hay 1,2,3,4,5,6,7 servidores. (Cola Infinita)
2. Si no se quiere que un cliente esté más de  $Y$  minutos en cola, ¿cuántos agentes tiene que tener el banco? Considere  $n$  servidores (Cola infinita)
3. Como una restricción extra el banco no puede tener en cola más de  $K$  personas. Cuántas personas no son aceptadas en promedio por día al banco. Considere  $n$  servidores (Cola Finita)

La entrega la tiene que hacer por shiny app 100%.

Codigo 80%

Recuerde fundamentar todo su código y sus respuestas.

**[Extra Puntos - 25 puntos]**

En promedio un cliente solo está dispuesto a esperar  $t$  minutos en la cola y si la cola es mayor de  $n$  personas los clientes deciden no hacer cola e irse del banco. Simule con estas restricciones el banco y determine cuántos clientes abandonan la cola y cuantos deciden no entrar al banco. Suponiendo cola infita.

## Solución

Para poder resolver este problema se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Se crea una función en donde se detallan las probabilidades de llegada según los días y los horarios establecidos en el problema.

```
cajeros_tiempo <- function(N=20,k=2,dia=1) {  
  if (dia==1) p <- c(0.1,0.15,0.1,0.35,0.25,0.05,0)  
  if (dia==2) p <- c(0.1,0.1,0.15,0.2,0.35,0.1,0)  
  if (dia==3) p <- c(0,0.1,0.1,0.2,0.1,0.25,0.25)  
  if (dia==4) p <- c(0,0.15,0.2,0.2,0.15,0.15,0.15)  
  if (dia==5) p <- c(0.15,0.15,0.2,0.2,0.1,0.1,0.1)  
  
  entretiempos <- c(0,1,2,3,4,5,6)  
  
  #Tiempo que tardan los clientes en llegar  
  tiempodellegada <- sample(entretiempos,N,replace = T,prob = p)  
  
  llegadas <- cumsum(tiempodellegada)  
  
  # Tiempo de atención al cliente  
  tiempodeatencion <- ceiling(abs(rnorm(N,mean = 8,sd = 5)))  
  
  # Vectores de servicio  
  tiempoentreservicios <- rep(0,N)  
  tiempoatencion <- rep(0,N)  
  tiempodeservicio <- rep(0,N)
```

- ✓ Se establecen los tiempos de llegada de los clientes, así como el tiempo de atención de los clientes y los vectores de servicio.
- ✓ Por medio de esta función se recibe un número de clientes, el número de servidores y los días de la semana, devolviendo un dataframe

```
# Atención al cliente por cajero  
for (j in 1:k) {  
  tiempoentreservicios[j] <- llegadas[j]  
  tiempoatencion[j] <- tiempoentreservicios[j]+tiempodeatencion[j]  
}  
  
# Se ejecuta loop para los clientes pendiente de atención  
for (i in (k+1):N) {  
  tiempoentreservicios[i] <- max(llegadas[i],min(tiempoatencion[i-1],tiempoatencion[i-2]))  
  if (tiempoentreservicios[i]==tiempoentreservicios[i-1]) {tiempoentreservicios[i] <- max(tiempoatencion[i-3],tiempoatencion[i-2])}  
  tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
}  
  
tiempodeespera <- tiempoentreservicios - llegadas  
tiempototal <- tiempoatencion - llegadas  
  
df <- data.frame(clientesllegando=tiempodellegada,totalclientes=llegadas,tiempodeservicio=tiempodeatencion,inicioservicio=tiempoentreservicios,final=tiempoatencion)  
return(df)  
}
```

- ✓ El dataframe se corta cuando el tiempo de llegada cumple 480 minutos.

- ✓ Se realizaron 7 simulaciones en las cuales va variando la cantidad de cajeros que atienden la ventanilla para calcular el tiempo de atención según la cantidad de cajeros. Esta función recibe el día de la semana y con base a ello calcula la distribución de llegada.

```
Cajero1_tiempo <- function(dia=1) {  
  
  if (dia==1) p <- c(0.1,0.15,0.1,0.35,0.25,0.05,0)  
  if (dia==2) p <- c(0.1,0.1,0.15,0.2,0.35,0.1,0)  
  if (dia==3) p <- c(0,0.1,0.1,0.2,0.1,0.25,0.25)  
  if (dia==4) p <- c(0,0.15,0.2,0.2,0.15,0.15,0.15)  
  if (dia==5) p <- c(0.15,0.15,0.2,0.2,0.1,0.1,0.1)  
  if (dia==6) p <- c(0.2,0.15,0.1,0.5,0.05,0,0)  
  if (dia==7) p <- c(0.35,0.25,0.2,0.1,0.1,0,0)  
  
  entretiempos <- c(0,1,2,3,4,5,6)  
  
  llegadas <- 0  
  tiempollegada <- 0  
  k <- 1  
  
  llegadas[1] <- sample(entretiempos,1,replace = T,prob = p)  
  N <- 1  
  
  while (llegadas[N] < 480) {  
  
    N <- N + 1  
    tiempollegada[N] <- sample(entretiempos,1,replace = T,prob = p)  
    llegadas[N] <- llegadas[N-1] + tiempollegada[N]  
  }  
}
```

- ✓ Se calcula el número de clientes que llegan a la cola según la probabilidad de llegada

```
llegadas[1] <- sample(entretiempos,1,replace = T,prob = p)  
N <- 1  
  
while (llegadas[N] < 480) {  
  
  N <- N + 1  
  tiempollegada[N] <- sample(entretiempos,1,replace = T,prob = p)  
  llegadas[N] <- llegadas[N-1] + tiempollegada[N]  
}
```

- ✓ Se calculó el tamaño de la cola, por medio de un loop en el cual se revisa el servidor que está disponible.

```
for (j in 1:k) {  
  tiempoentreservicios[j] <- llegadas[j]  
  tiempoatencion[j] <- tiempoentreservicios[j]+tiempodeatencion[j]  
  server_time[j] <- tiempoatencion[j]  
}  
  
for (i in seq(from=(k+1), to=N, by=1)) {  
  
  if (llegadas[i] >= server_time[1]) {  
    tiempoentreservicios[i] <- llegadas[i]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[1] <- tiempoatencion[i]  
  } else if (server_time[1] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[1]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[1] <- tiempoatencion[i]  
  }  
}
```

- ✓ Se creó una función que revisa que cajero está desocupado al momento que ingrese un nuevo cliente.

```
  } else if (server_time[3] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[3]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[3] <- tiempoatencion[i]  
  } else if (server_time[4] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[4]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[4] <- tiempoatencion[i]  
  } else if (server_time[5] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[5]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[5] <- tiempoatencion[i]  
  } else if (server_time[6] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[6]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[6] <- tiempoatencion[i]  
  } else if (server_time[7] == min(server_time)) {  
    tiempoentreservicios[i] <- server_time[7]  
    tiempoatencion[i] <- tiempoentreservicios[i]+tiempodeatencion[i]  
    server_time[7] <- tiempoatencion[i]  
  }  
}
```

- ✓ Se genera la siguiente tabla en la cual se lleva el control del tiempo de servicio cuando hay un determinado número de cajeros, en este ejemplo para 4 cajeros atendiendo

```
> head(Cajero4_tiempo(),10)
```

	entre_llegadas	totalclientes	tiempo_servicio	inicio_servicio	finalizacion
1	0	0	7	0	7
2	3	3	7	3	10
3	2	5	3	5	8
4	4	9	10	9	19
5	3	12	2	12	14
6	3	15	8	15	23
7	4	19	2	19	21
8	3	22	12	22	34
9	3	25	13	25	38
10	5	30	15	30	45

- ✓ Una vez hecha la simulación según el número de cajeros, se utilizó una función para poder determinar los parámetros de rendimiento de las simulaciones.

```
resumenparametros <- function(x=Cajero2_tiempo()) {

  c <- 0

  N <- length(x$totalclientes)
  tiemposervicio <- rep(0,N)

  tiempodeespera <- x$inicio_servicio-x$totalclientes # tiempo de espera en la cola
  tiempototal <- x$final-x$totalclientes # tiempo total en el banco
  tiempodeatencion <- x$final-x$inicio_servicio # tiempo de atencion al cliente
  tiempo llegada <- x$entre_llegadas # tiempo entre la llegada de cada cliente
  llegadas <- x$totalclientes # numero de clientes
  tiempoatencion <- x$finalizacion # Se termina de atender al cliente
  tiempoentreservicios <- x$inicio_servicio # Empieza a atender al cliente

  # Calculos de medias

  mediaespera <- mean(tiempodeespera)
  mediat tiempo <- mean (tiempototal)
  mediaatencion <- mean(tiempodeatencion)

  # Cantidad de personas que hacen cola
  for (k in 1:N) {
    if (llegadas[k] == tiempoentreservicios[k]) {c <- c + 1}
  }

  probabilidad1 <- 1- (c/N)
  pclientes <- round(N*probabilidad1, digits = 0) # Promedio de personas que hacen colas

  df2 <- data.frame(promediodeespera=mediaespera,probdecola=probabilidad1,promediodeatencion=mediaatencion,promedioenbanco=mediatiempo,promediodellegada=mediallegada,clientesenla
  return(df2)
}
```

- ✓ Para poder responder la pregunta 1, se realizó una simulación de cada semana por todo un año, permitiendo calcular el tamaño de la cola para 1 semana de trabajo.

```

#Tamaños promedio por ventanillas
ventanilla1 <- 0
for (k in 1:52) {
  x <- 0
  for (i in 1:7) {
    x <- Cajero1_tiempo(i)
    ventanilla1 <- rbind(ventanilla1,x)
  }
}

ventanilla2 <- 0
for (k in 1:52) {
  x <- 0
  for (i in 1:7) {
    x <- Cajero2_tiempo(i)
    ventanilla2 <- rbind(ventanilla2,x)
  }
}

ventanilla3 <- 0
for (k in 1:52) {
  x <- 0
  for (i in 1:7){
    x <- Cajero3_tiempo(i)
    ventanilla3 <- rbind(ventanilla3,x)
  }
}

```

- ✓ Posteriormente se procedió a calcular el tamaño de la cola según el número de cajeros que atienden en el banco.

```

#Funcion que determina los tiempos promedio por ventanilla dependiendo la cantidad de servidores
resumenparametros <- function(x=Cajero2_tiempo()) {

```

```

  c <- 0

```

```

  N <- length(x$totalclientes)
  tiemposervicio <- rep(0,N)

```

```

  tiempodeespera <- x$inicio_servicio-x$totalclientes # tiempo de espera en la cola
  tiempototal <- x$final-x$totalclientes # tiempo total en el banco
  tiempodeatencion <- x$final-x$inicio_servicio # tiempo de atencion al cliente
  tiempollegada <- x$entre_llegadas # tiempo entre la llegada de cada cliente
  llegadas <- x$totalclientes # numero de clientes
  tiempoatencion <- x$finalizacion # Se termina de atender al cliente
  tiempoentreservicios <- x$inicio_servicio # Empieza a atender al cliente

```

## Resultados

1. Haga una simulación para determinar el tamaño promedio de la cola por día cuando hay 1,2,3,4,5,6,7 servidores. (Cola Infinita)

**Según la simulaciones realizadas el tamaño de la cola diario es de:**

**Con 1 cajero : 195 personas al día**  
**Con 2 cajeros : 190 personas al día**  
**Con 3 cajeros : 160 personas al día**  
**Con 4 cajeros: 110 personas al día**  
**Con 5 cajeros : 74 personas al día**  
**Con 6 cajeros : 53 personas al día**  
**Con 7 cajeros : 34 personas al día**

```
## RESPUESTAS PREGUNTA 1
#El tiempo promedio de espera con 1 ventanillero es de 740.88 minutos, clientes en cola 71300 al año, 195 al día
resumenparametros(ventanilla1)

#El tiempo promedio de espera con 2 ventanillero es de 254.50 minutos, clientes en cola 70237 al año, 190 al día
resumenparametros(ventanilla2)

#El tiempo promedio de espera con 3 ventanillero es de 97 minutos, 160 clientes al día
resumenparametros(ventanilla3)

#El tiempo promedio de espera con 4 ventanillero es de 42 minutos, 110 clientes al día
resumenparametros(ventanilla4)

#El tiempo promedio de espera con 5 ventanillero es de 18 minutos, 74 clienes al día
resumenparametros(ventanilla5)
#El tiempo promedio de espera con 6 ventanillero es de 7 minutos, 53 clienes al día
resumenparametros(ventanilla6)
#El tiempo promedio de espera con 7 ventanillero es de 1.58 minutos, 34 clienes al día
resumenparametros(ventanilla7)

> ## RESPUESTAS PREGUNTA 1
> #El tiempo promedio de espera con 1 ventanillero es de 740.88 minutos
> resumenparametros(ventanilla1)
promediodeespera probdecola promediodeatencion promedioenbanco promediodellegada clientesenlacola
1 744.4627 0.9937005 8.750711 753.2134 2.428127 71300
> #El tiempo promedio de espera con 2 ventanillero es de 254.50 minutos
> resumenparametros(ventanilla2)
promediodeespera probdecola promediodeatencion promedioenbanco promediodellegada clientesenlacola
1 246.0273 0.9789402 8.737902 254.7652 2.428639 70237
> #El tiempo promedio de espera con 2 ventanillero es de 254.50 minutos, clientes en cola 70237 al año
> resumenparametros(ventanilla2)
promediodeespera probdecola promediodeatencion promedioenbanco promediodellegada clientesenlacola
1 246.0273 0.9789402 8.737902 254.7652 2.428639 70237
> #El tiempo promedio de espera con 3 ventanillero es de 97 minutos,
> resumenparametros(ventanilla3)
promediodeespera probdecola promediodeatencion promedioenbanco promediodellegada clientesenlacola
1 98.85284 0.8283548 8.697627 107.5505 2.432374 59316
```

2. Si no se quiere que un cliente esté más de 10 minutos en cola, ¿cuántos agentes tiene que tener el banco? Considere n servidores (Cola infinita)

**Según la función “resumenparametros” la cual determina el rendimiento de las colas, se determinó que si no se desea que un cliente esté mas de 10 minutos en cola es necesario colocar al menos 5 cajeros, ya que al colocar de 1 a 4 cajeros el tiempo promedio de cola es mayor a 10 minutos.**



3. Como una restricción extra el banco no puede tener en cola más de 20 personas. Cuántas personas no son aceptadas en promedio por día al banco. Considere n servidores (Cola Finita)

- ✓ Para responder esta pregunta se utilizaron funciones de restricción las cuales calculan la cantidad de personas sin atender según el número de cajeros asignados.
- ✓ Para ello se utiliza un dataframe con la cantidad de clientes que hicieron cola durante el día, según la cantidad de cajeros.
- ✓ El tamaño de cola se mide con base en la diferencia entre el inicio de atención a un cliente y la llegada del cliente.
- ✓ Se generó un vector con los tamaños de la cola antes de que el cliente 1 comience a ser atendido.
- ✓ Se utilizó una función que calcula el tamaño promedio de cola que excede 20 clientes, lo cual devuelve la cantidad promedio de clientes rechazados.

```
restriccioncajero5 <- function(d=Cajero5_tiempo()) {
  count <- rep(0,1000)
  for (k in 1:1000) {
    d <- Cajero5_tiempo()
    z <- which(d$inicio_servicio - d$totalclientes !=0)
    d <- d[z,] # Dataframe solo de los que hicieron cola

    a <- rep(1000000,5)
    d <- rbind(d,a)

    i <- 1
    j <- 0
    c <- rep(0,50)

    while (i < (length(d$totalclientes)-5)) {
      j <- j + 1
      flag <- 0
      minimo <- d$inicio_servicio[i]
      while (flag == 0) {
        if (d$totalclientes[i+1] < minimo) {
          c[j] <- c[j] + 1
          i <- i + 1
          flag <- 0
        }

        if (d$totalclientes[i+1] >= minimo) {
          c[j] <- c[j] + 1
          i <- i + 1
          flag <- 1
        }
      }
    }

    c <- c[-which(c==0)]
    c <- c[which(c-20>0)]

    count[k] <- sum(c)
  }

  return(mean(count))
}
```

- ✓ Si la cantidad límite de personas es 20 los resultados son los siguientes

**Si se tiene 1 cajero no se atienden a 163 personas**

**Si se tiene 2 cajero no se atienden a 137 personas**

**Si se tiene 3 cajero no se atienden a 22 personas**

**Si se tiene 4 cajero no se atienden a 0 personas**

**Si se tiene 5 cajero no se atienden a 0 personas**

**Si se tiene 6 cajero no se atienden a 0 personas**

**Si se tiene 7 cajero no se atienden a 0 personas**