

# Conmutación de circuitos

# Traffic Analysis

Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios  
3º Ingeniería de Telecomunicación

# Temario

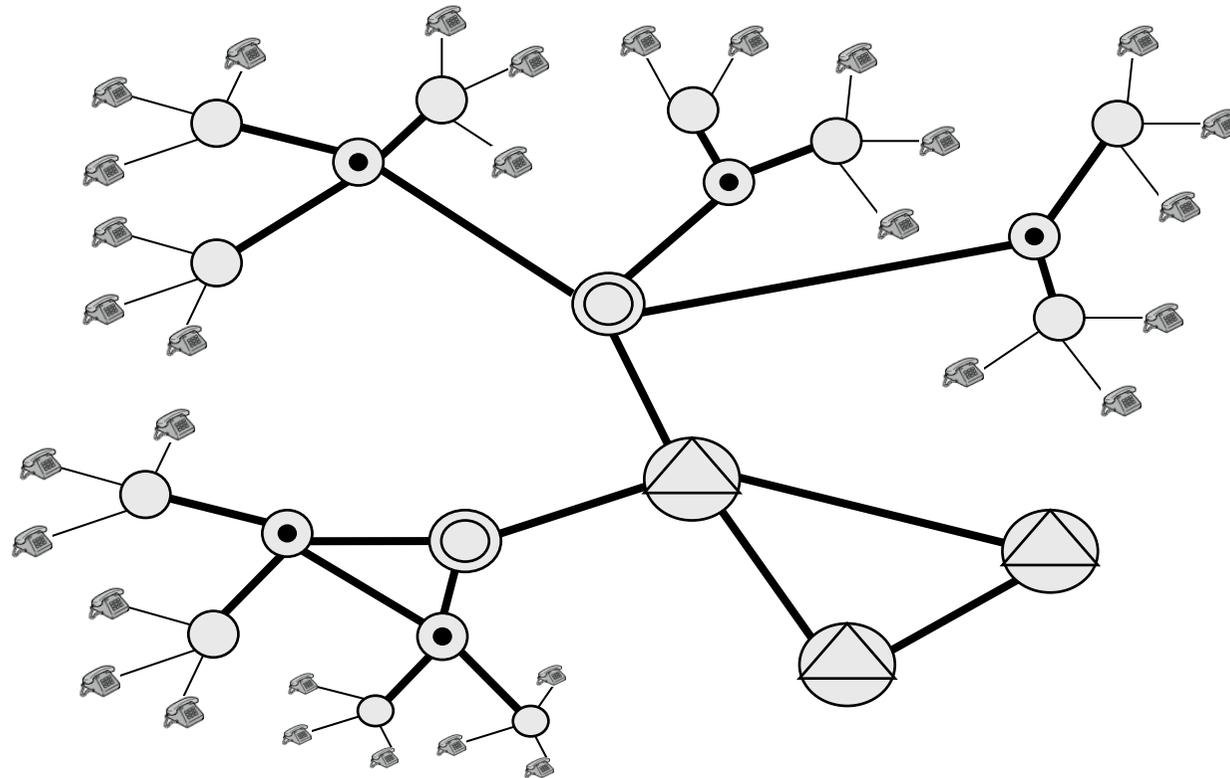
- Introducción
- Arquitecturas, protocolos y estándares
- Conmutación de paquetes
- Conmutación de circuitos
- Tecnologías
- Control de acceso al medio en redes de área local
- Servicios de Internet

# Temario

- Introducción
- Arquitecturas, protocolos y estándares
- Conmutación de paquetes
- Conmutación de circuitos
  - Principios básicos
  - Conmutadores, redes de Clos, T, S, TST...
  - **Prestaciones**
- Tecnologías
- Control de acceso al medio en redes de área local
- Servicios de Internet

# Hemos visto

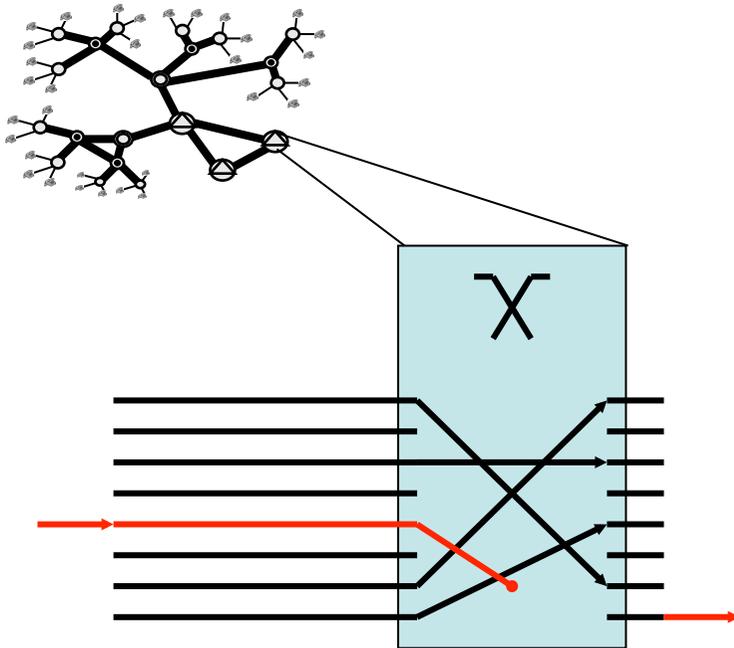
- Arquitectura de la red telefónica



# Hemos visto

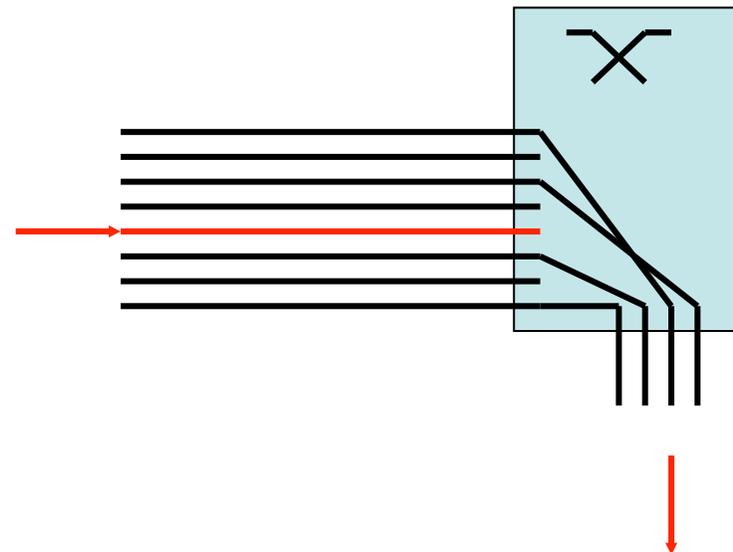
## Bloqueo interno

- El conmutador no tiene recursos para hacer llegar un circuito de la entrada a la salida



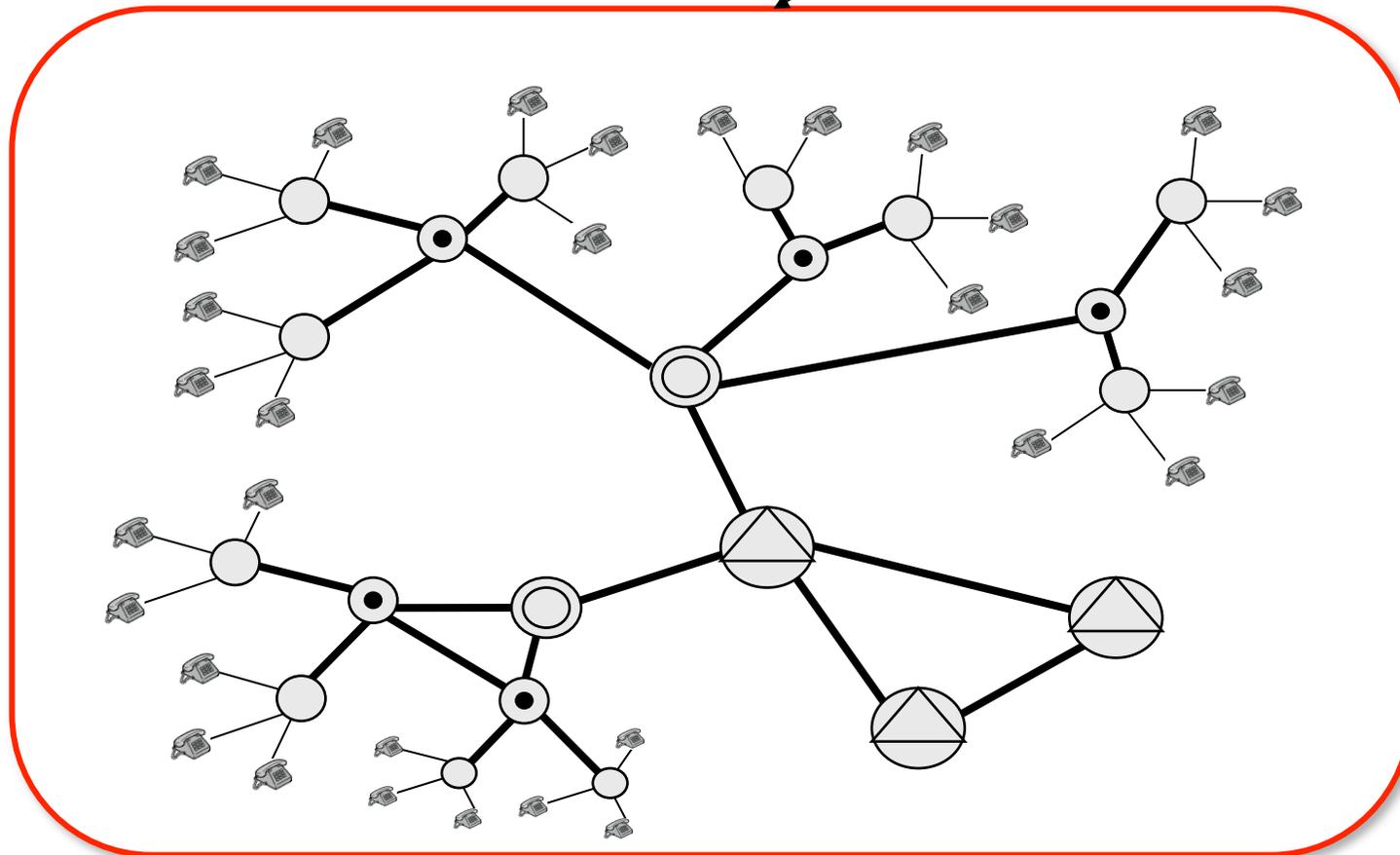
## Bloqueo externo

- El conmutador no tiene suficientes recursos de salida para cursar una nueva llamada



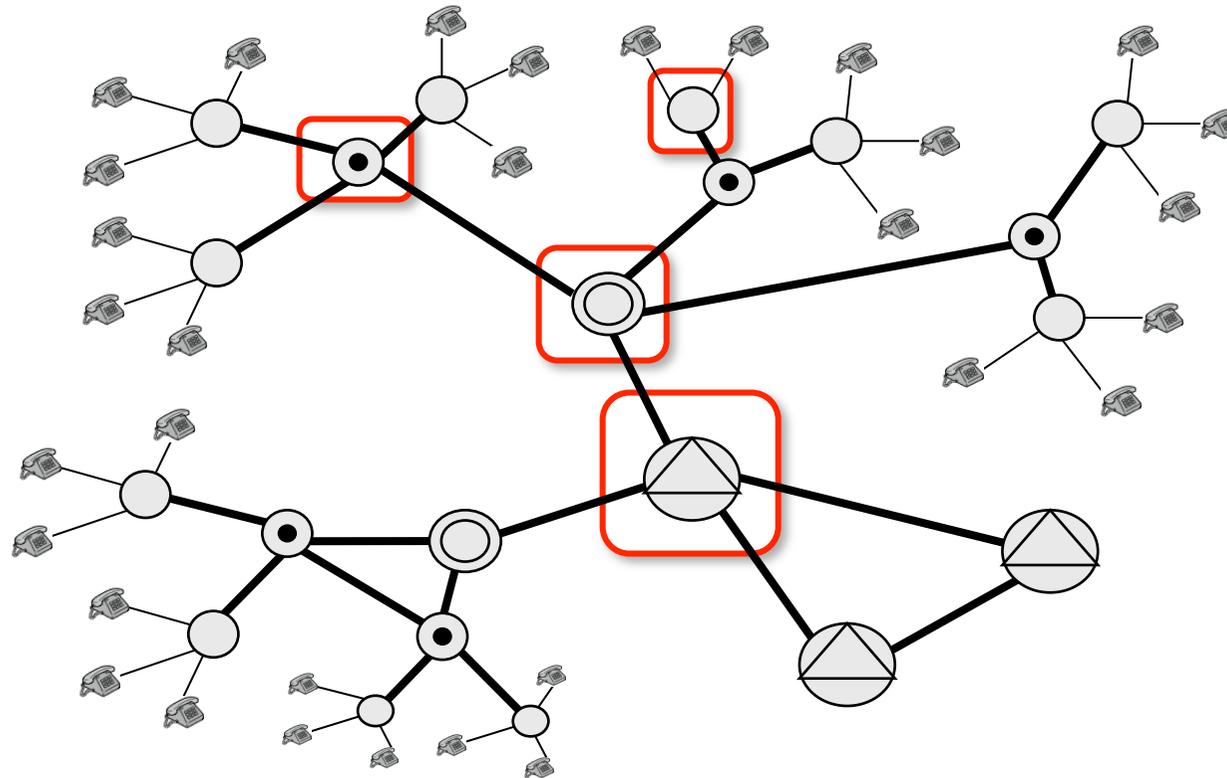
# Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)



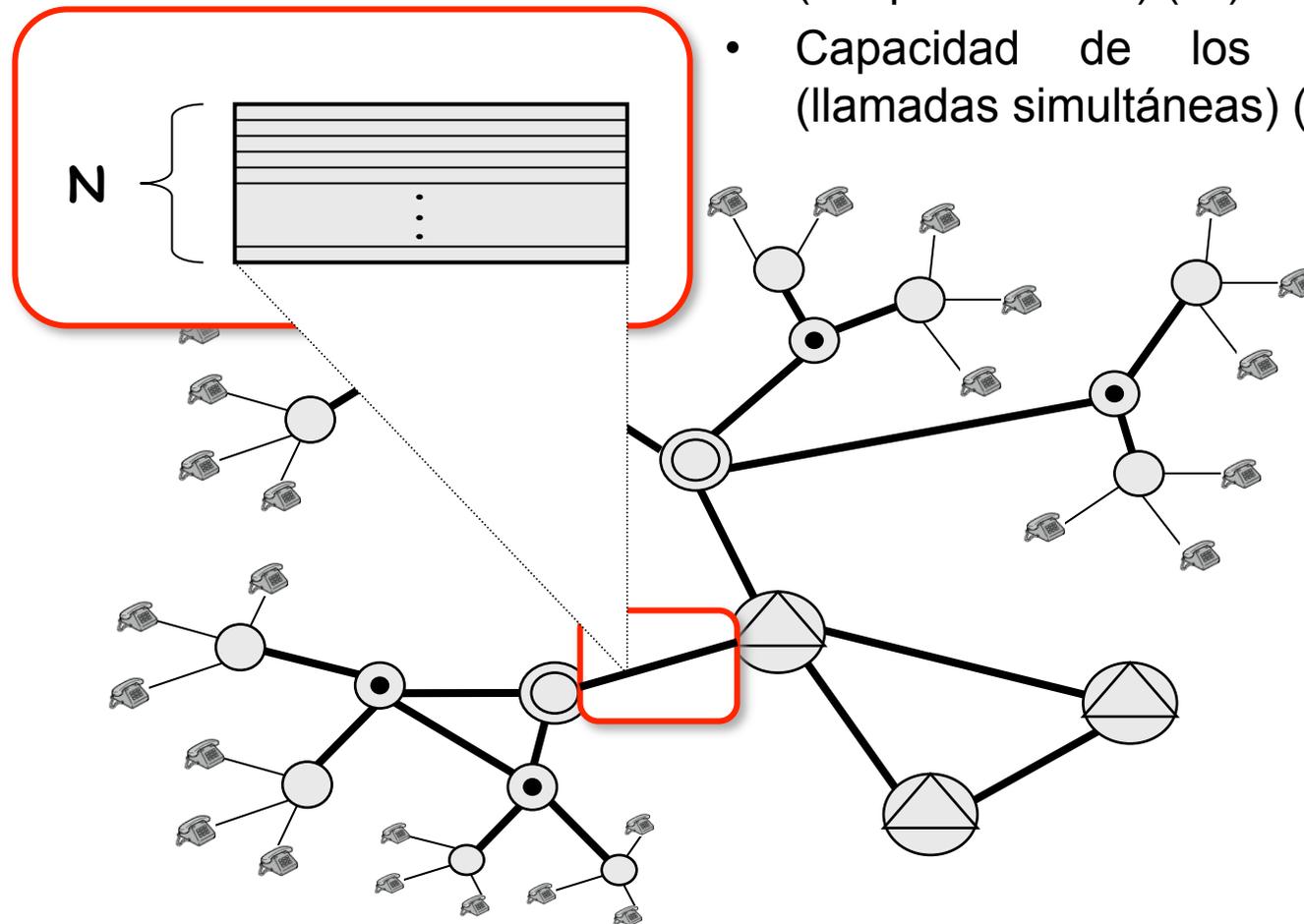
# Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)
- Capacidad de conmutación interna de las centrales (bloqueo interno) (...)



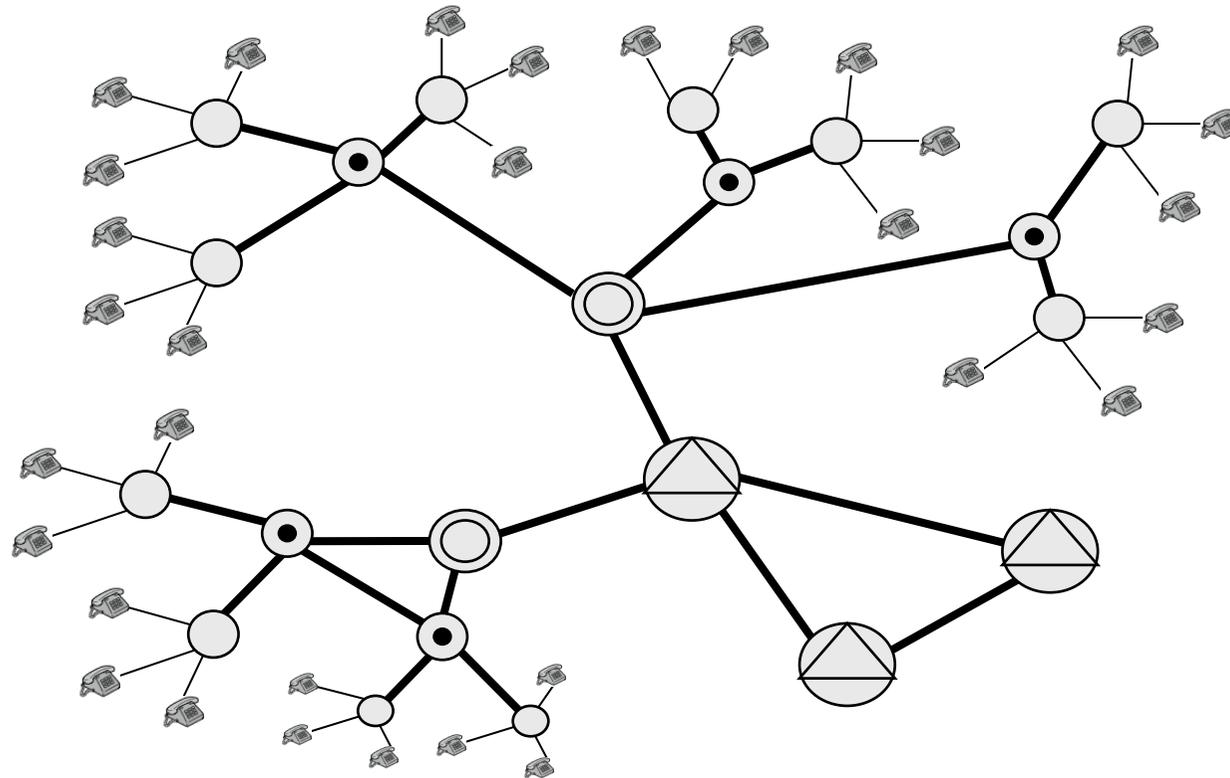
# Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)
- Capacidad de conmutación interna de las centrales (bloqueo interno) (...)
- Capacidad de los enlaces (llamadas simultáneas) (...)



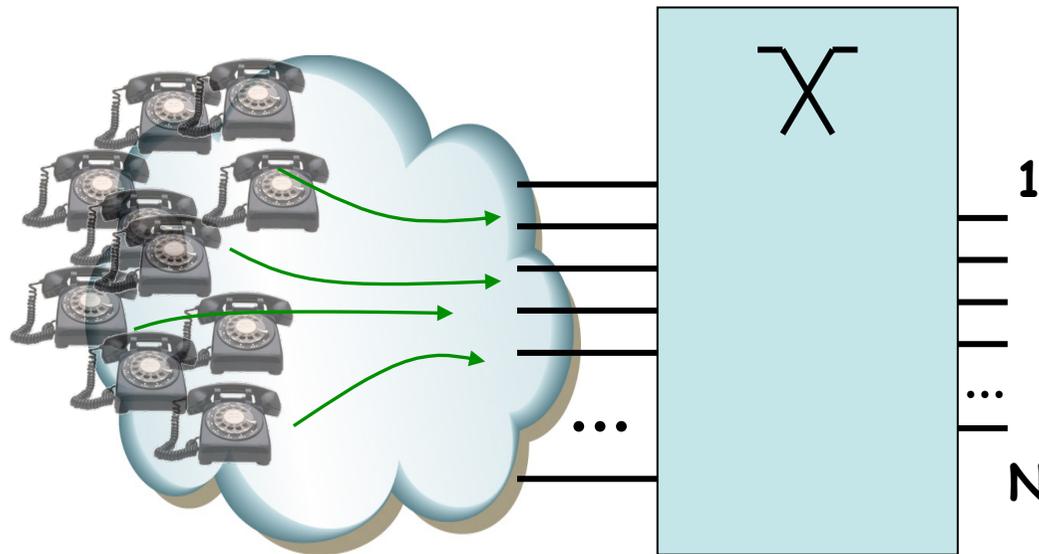
# Objetivo: Diseño

- Normalmente equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Objetivos de calidad:
  - Ej: número de llamadas que no se pueden cursar
  - La calidad de las llamadas garantizada por la tecnología



# Problema tipo a resolver

- Conmutador con líneas de entrada y de salida
- Entradas usuarios finales o troncales: lo que nos importará es la cantidad de llamadas que llegan al conmutador
- Salidas troncales (máximo N llamadas simultáneas salen)
- Decidir N para poder cursar las llamadas con una probabilidad de bloqueo objetivo
- o decidir la cantidad de llamadas que puede cursar para un N



# Definiciones

## Capacidad

- Recursos de un sistema para dar un servicio, número de líneas de salida...
- Ej: nuestra centralita tiene 5 líneas para llamadas salientes

## Carga (Intensidad de tráfico)

- Cantidad de servicio demandada al sistema, medida como cantidad de recursos necesarios en un determinado momento
- Ej: nuestra centralita tiene en media 3.2 llamadas salientes

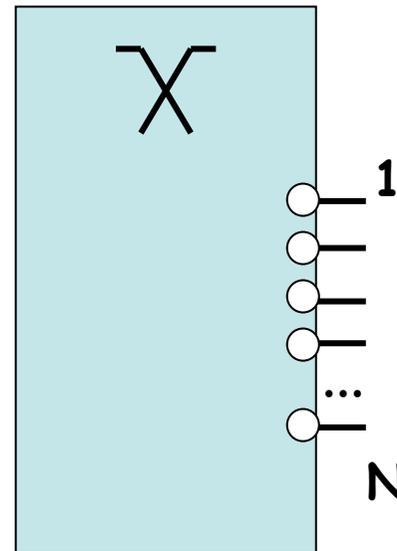
## Calidad de servicio

- Medida del servicio obtenido del sistema
- Ej: nuestra centralita con las líneas de entrada que tenemos y la carga típica que soporta pierde menos del 0.1% de las llamadas

**A continuación en más detalle...**

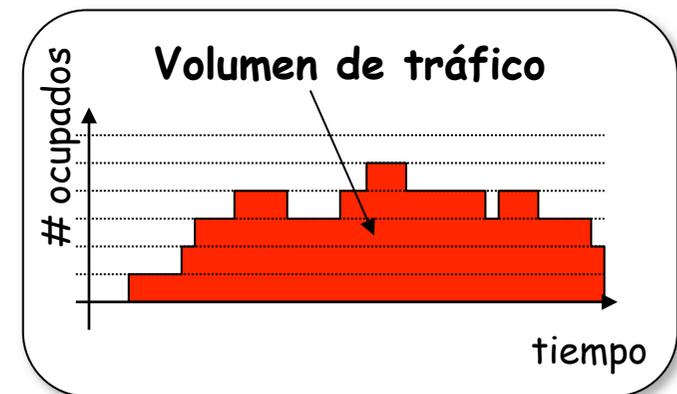
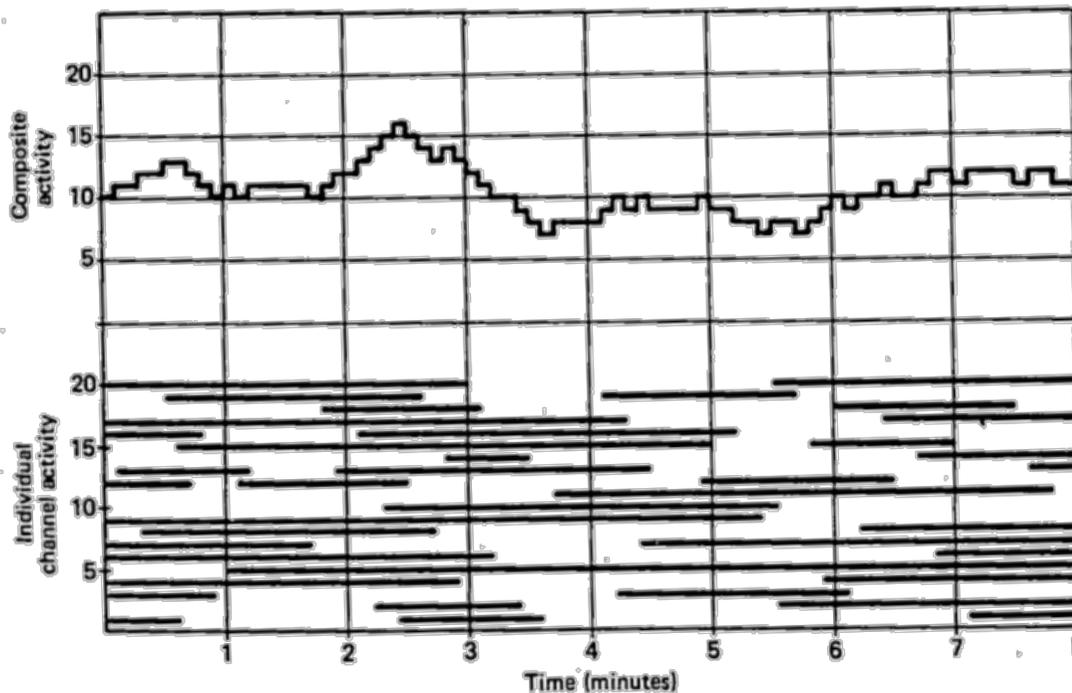
# Capacidad

- Medida de la habilidad del sistema para proporcionar servicio
- Típicamente se mide como el número de servidores (líneas de salida, puertos de un conmutador...)
- Variable de diseño del sistema
- Proporcional al coste
  - Más capacidad = más coste y más calidad de servicio



# Carga o Tráfico

- Medida de la demanda de servicio al sistema
- Agregación de todas las peticiones de servicio de los usuarios
- = recursos en uso del sistema bajo condiciones de servicio ideales
- **Variable aleatoria**
  - Peticiones de servicio llegan de forma aleatoria
  - Solicitan servicio durante una cantidad de tiempo no predecible
- Volumen de tráfico: suma de las duraciones de los servicios



# Carga o Tráfico

- Depende de
  - Número de usuarios ( $n$ )
  - Tasa a la que generan llamadas ( $\lambda_i$ )
  - Duración de las llamadas ( $s$ )
- El servidor no distingue el efecto del  $n$  o de  $\lambda_i$ 
  - Ej: 600 usuarios, cada uno con una petición por hora, es equivalente a 10 usuarios con una petición por minuto cada uno
- Se reduce a:
  - Tasa de generación de llamadas de todos los usuarios ( $\lambda$ )
  - Duración de las llamadas ( $s$ )
- El primer paso del análisis de tráfico es la caracterización de las llegadas de peticiones y la duración de las mismas

# Medida del Tráfico

- Intensidad de tráfico

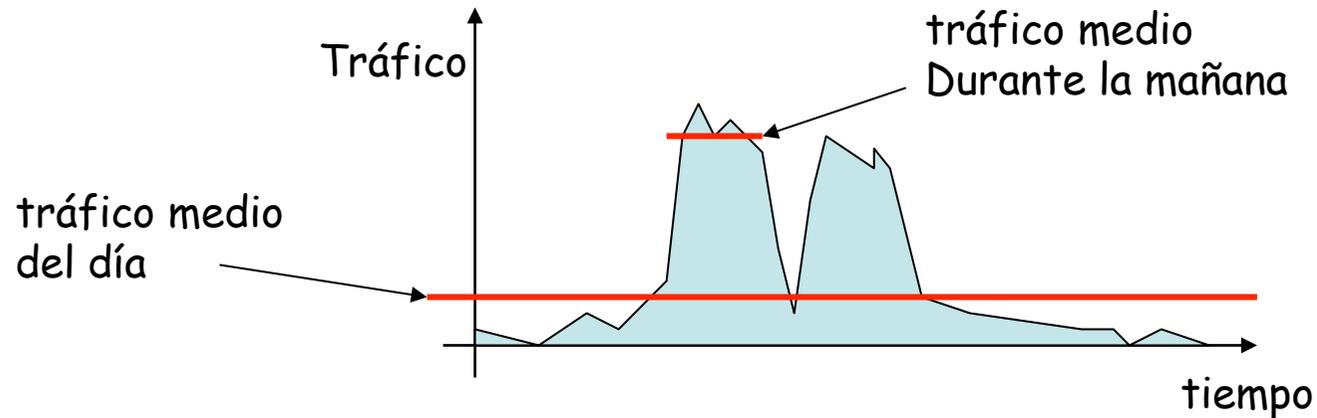
$$I = \frac{\text{Volumen de tráfico}}{\text{Tiempo de observación}} = \frac{\text{Tiempo acumulado de ocupación}}{\text{Tiempo de observación}}$$



- Sin unidades físicas. Se mide en *Erlangs (E)* (*Agner Krarup Erlang 1878-1929*)
- **1 Erlang** = el tráfico que mantiene ocupada completamente una línea durante el tiempo de observación
- Ejemplo:
  - 600 usuarios, cada uno en media hace 1 llamada por hora
  - El tiempo medio de duración de las llamadas es de 3 minutos
  - ¿Cuanto tráfico representan?
  - Tiempo observación: 60 minutos
  - T. acumulado de ocupación : 600llamadas x 3minutos/llamada = 1800min
  - 1800/60 = 30 Erlangs
  - ¿Significa esto que necesitamos 30 líneas?

# Medida del Tráfico

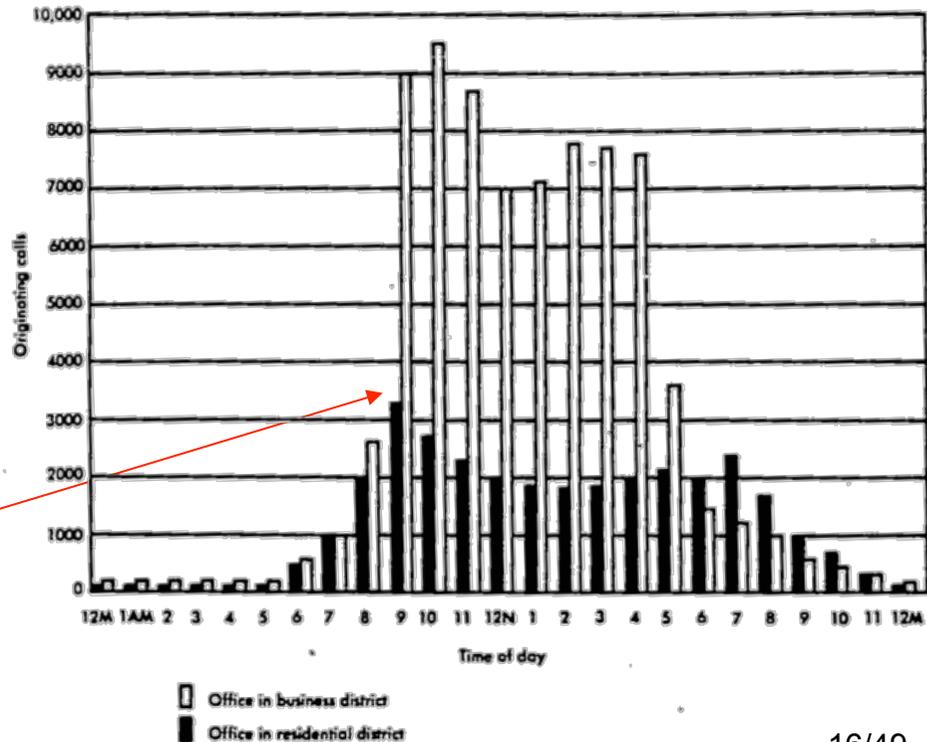
- Normalmente la intensidad del tráfico varía con el tiempo (no es un proceso estocástico estacionario) pero se puede considerar estable en un tiempo limitado



- En telefonía se caracteriza por horas
- Varía entre meses, entre días y entre horas del mismo día (y dentro de la hora)
- Suele haber patrones semanales
- Días de fiesta, el clima, etc. afectan al patrón

# Hora cargada (“busy hour”)

- Periodo de 60 minutos consecutivos durante los cuales el volumen de tráfico es máximo
- Los análisis para dimensionamiento de equipos se efectúan siempre sobre la **hora cargada**
- Para determinarla se toman medidas en **intervalos de 15min** y entonces es el periodo de tiempo de 4 intervalos consecutivos con mayor volumen de tráfico
- Se calcula la hora cargada en un periodo largo (unas semanas) en la época del año de mayor tráfico
- Diferentes patrones usuarios residenciales y empresariales
- No es el volumen de tráfico mayor del año (nochevieja, día de la madre,...) pues llevaría a un sobredimensionamiento para la mayor parte del tiempo
- 1 teléfono en hora cargada approx. 0.05-0.1E y 3-4min duración

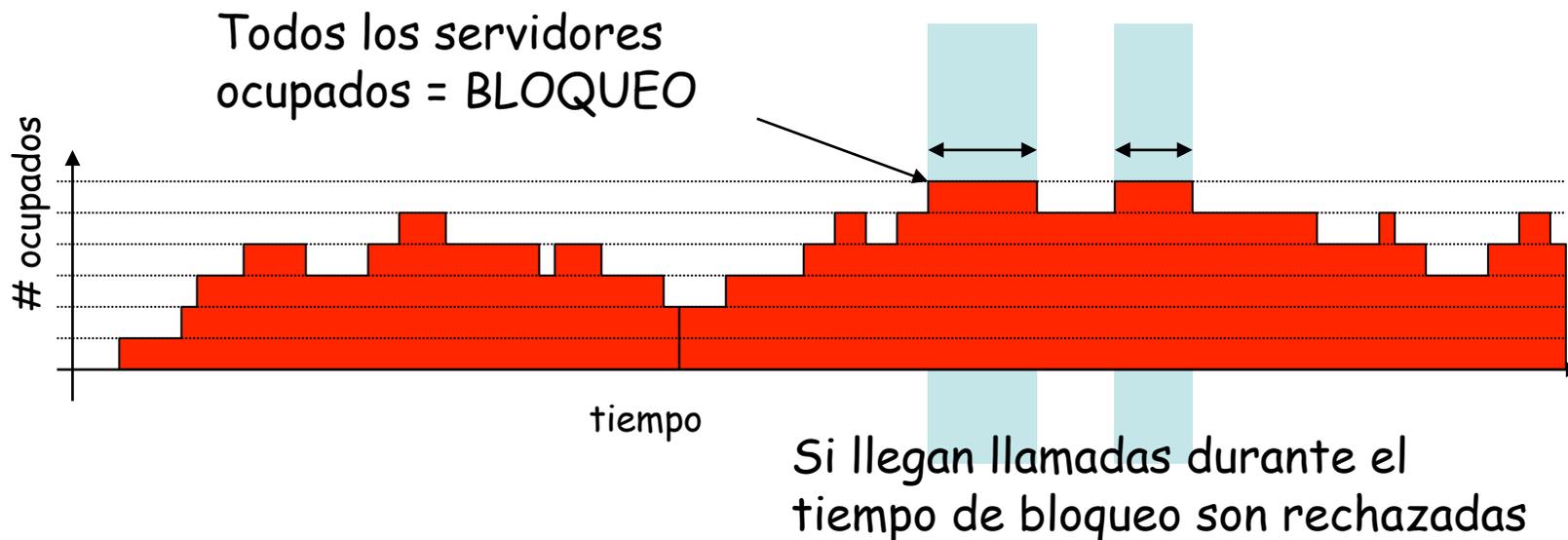


# Calidad de servicio

- Medida de la bondad del servicio proporcionado
- En telefonía:
  - Probabilidad de bloqueo = probabilidad de que el sistema no pueda aceptar una llamada entrante.
- En ese caso:
  - Se descarta: La llamada es rechazada y el usuario a veces no puede hacer una llamada → Menos calidad de servicio (*congestion theory*)
  - Se hace esperar la llamada hasta que se libere un servidor: El usuario a veces ve que sus llamadas tardan más en establecerse → Menos calidad de servicio (*queueing theory*)
- Requisito de diseño del sistema: probabilidad de bloqueo objetivo y dimensionar la capacidad para conseguirla
- Se suele distinguir:
  - Sistema en **situación de Bloqueo**  
Todos los recursos están ocupados y una llamada nueva que llegue será rechazada
  - Sistema en **situación de Congestión**  
Se han empezado a rechazar llamadas

# Tráfico ofrecido vs cursado

- Tráfico ofrecido: el tráfico total que sería cursado por una red que pudiera dar servicio a todas las peticiones
- Diseño (por economía) hace que en ciertas situaciones no se pueda cursar todo el tráfico (llamadas bloqueadas)
- Asumiremos que las llamadas bloqueadas se “pierden” (no hay reintento)
- El tráfico cursado es siempre menor o igual al ofrecido



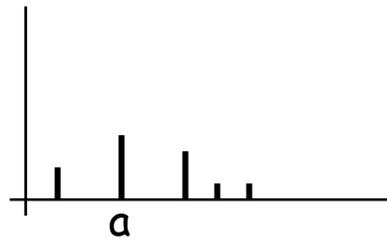
# Modelando la carga

## Variable aleatoria (V)

- No tiene un valor sino que describe el resultado de un experimento aleatorio
- Se caracteriza por la descripción de los posibles resultados que puede tomar en términos de probabilidad
- **Función de distribución / densidad de probabilidad**

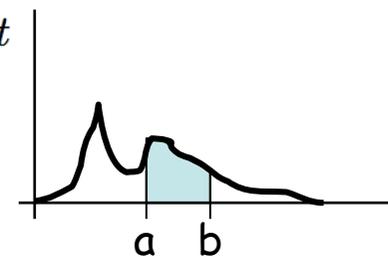
Variable discreta

$$p(a) = P[V = a]$$



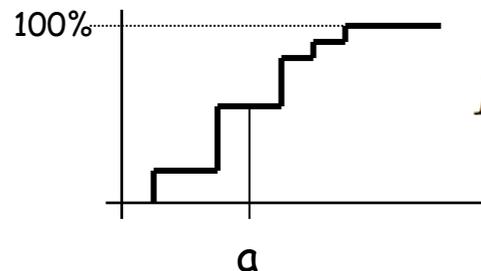
$$P[a < V < b] = \int_a^b p(t)dt$$

Variable continua



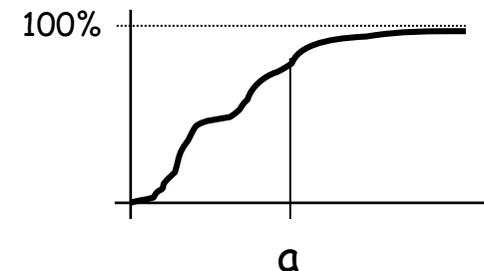
- **Función acumulada de probabilidad / distribución**

Variable discreta



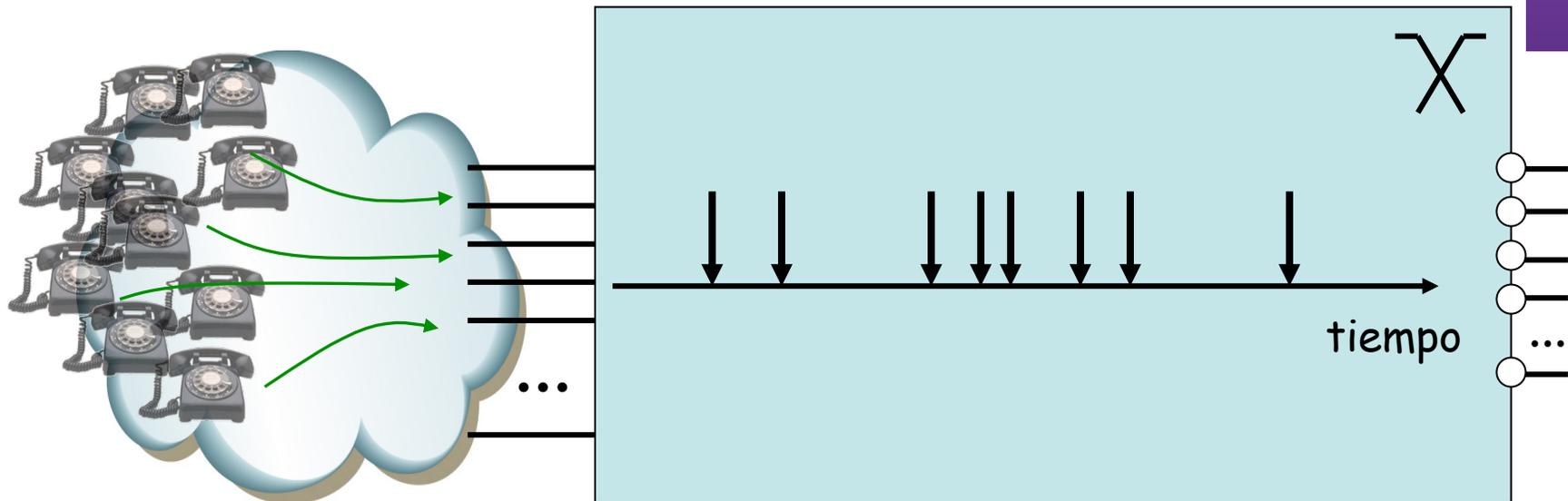
$$P[V \leq a] = F(a)$$

Variable continua



# Proceso de llegadas

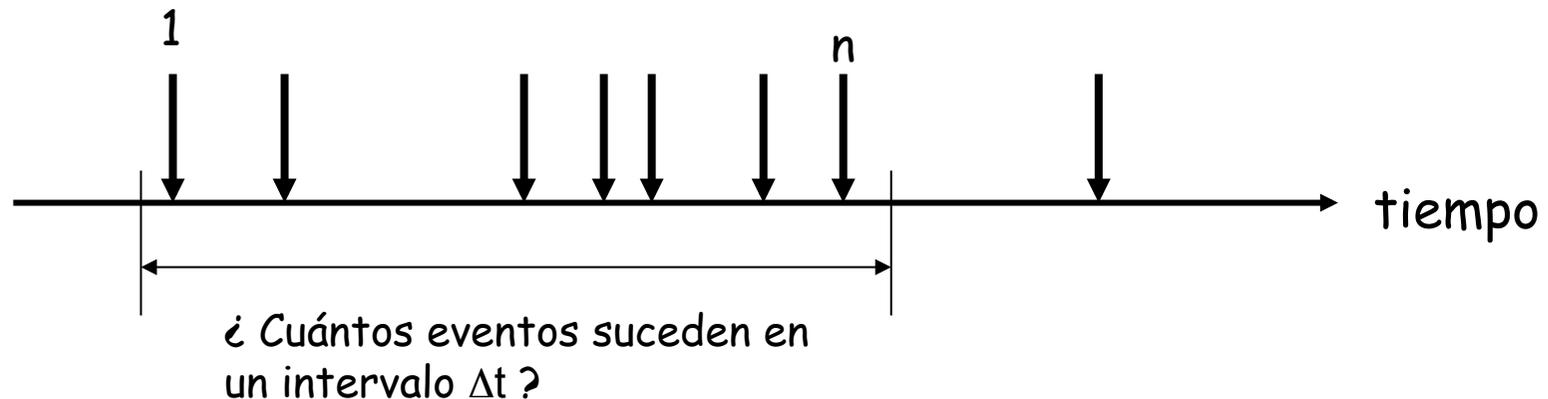
- Hipótesis fundamental en teoría clásica: llegadas independientes
- Tasa media de llegadas de llamadas de una gran población de fuentes (usuarios) independientes:  $\lambda$



# Número de Llegadas

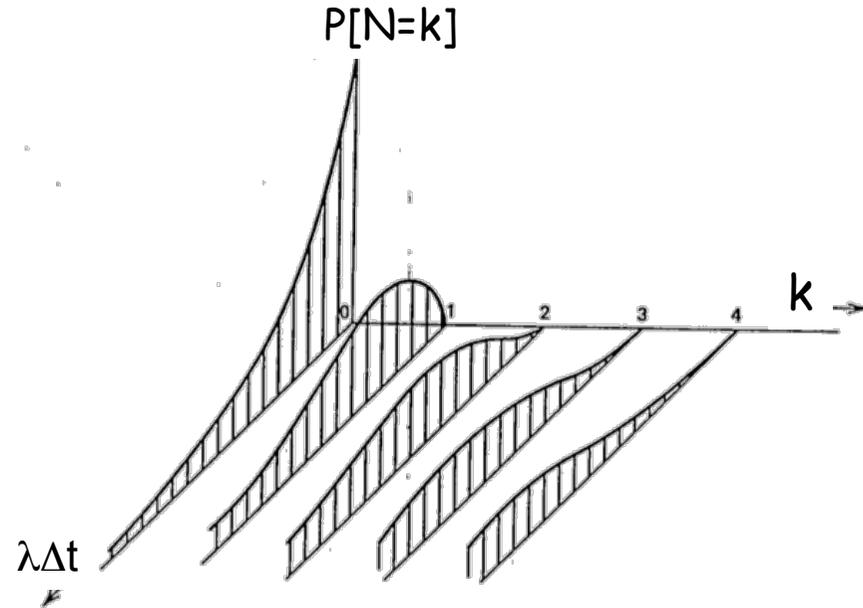
- Hipótesis:
  - En un intervalo suficientemente pequeño solo puede producirse una llegada
  - La probabilidad de una llegada en un intervalo suficientemente pequeño es directamente proporcional a la longitud del mismo (probabilidad  $\lambda\Delta t$ )
  - La probabilidad de una llegada en un intervalo es independiente de lo que suceda en otros intervalos
- Se demuestra que el número de llegadas en un intervalo sigue una distribución de Poisson

$$P_{\lambda\Delta t}[N = k] = \frac{(\lambda\Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda\Delta t}$$



# Distribución de Poisson

$$P[N = k] = \frac{(\lambda\Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda\Delta t}$$



- Es una función de distribución:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P[N = k] = \left( 1 + \lambda\Delta t + \frac{(\lambda\Delta t)^2}{2} + \frac{(\lambda\Delta t)^3}{6} + \dots \right) e^{-\lambda\Delta t} = e^{\lambda\Delta t} e^{-\lambda\Delta t} = 1$$

- Su valor medio es  $\lambda\Delta t$  :

$$\bar{N} = E[N] = \sum_{k=0}^{\infty} kP[N = k] = \left( 0 + \lambda\Delta t + (\lambda\Delta t)^2 + \frac{(\lambda\Delta t)^3}{2} + \frac{(\lambda\Delta t)^4}{6} \dots \right) e^{-\lambda\Delta t} = \lambda\Delta t e^{\lambda\Delta t} e^{-\lambda\Delta t} = \lambda\Delta t$$

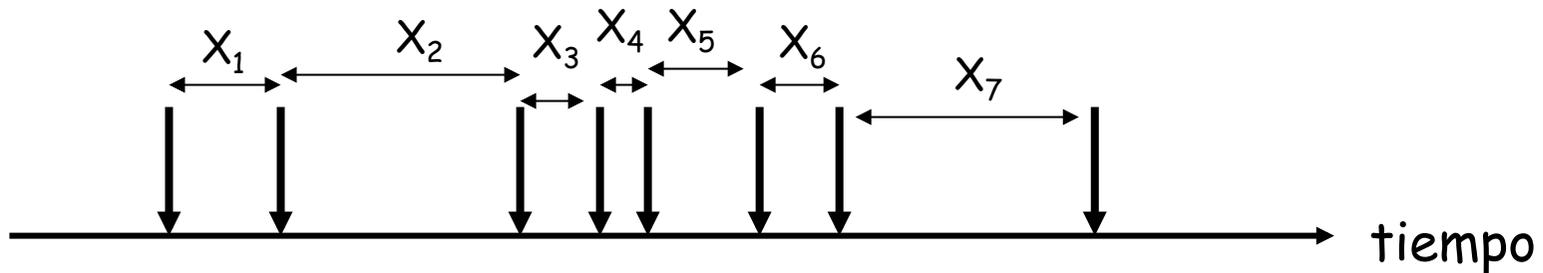
# Tiempos entre llegadas

- Se demuestra que: si el número de eventos que ocurren en un intervalo sigue una distribución de Poisson los tiempos entre llegadas de eventos siguen una distribución exponencial
- El tiempo entre llegadas sigue una v.a. exponencial de parámetro  $\lambda$
- $X_i$  variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.) ('X')

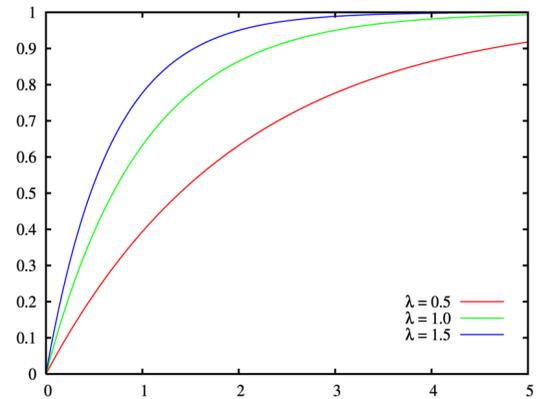
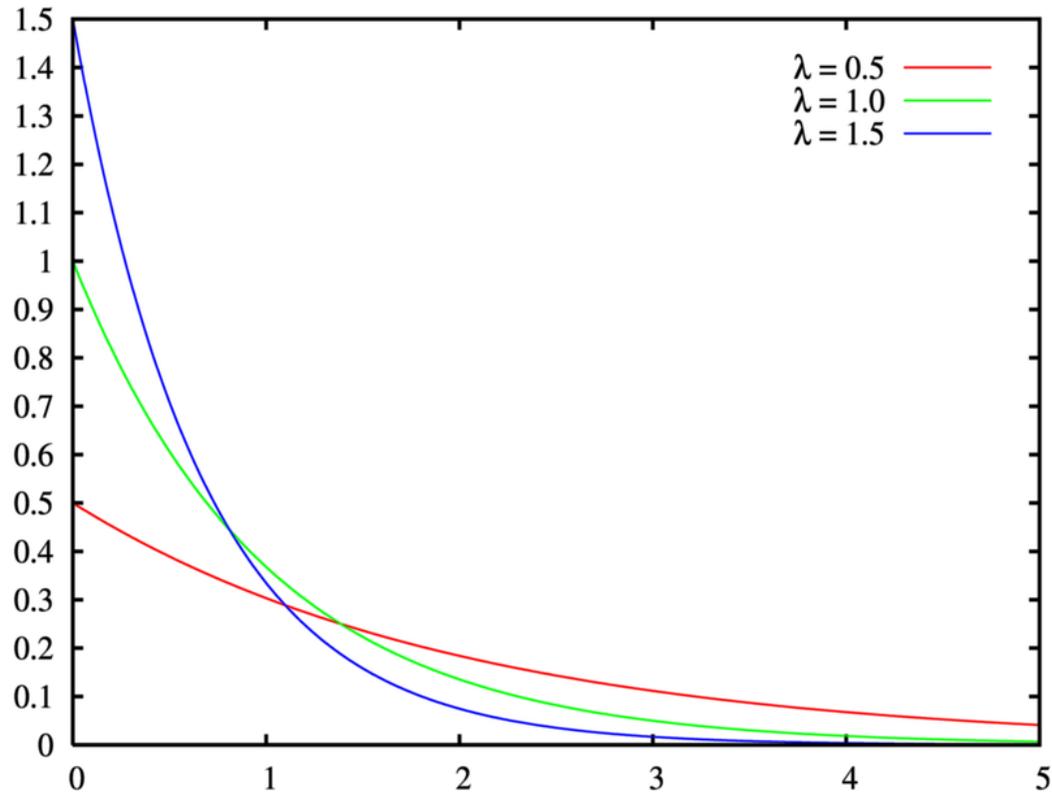
$$p_X(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0)$$

$$P[X < t] = 1 - e^{-\lambda t}$$

- Media:  $E[X] = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} = 1/\lambda$
- Tiempo medio entre llegadas  $1/\lambda \Rightarrow$  en media  $\lambda$  llegadas por segundo



# Ejemplo



# Ejemplo

