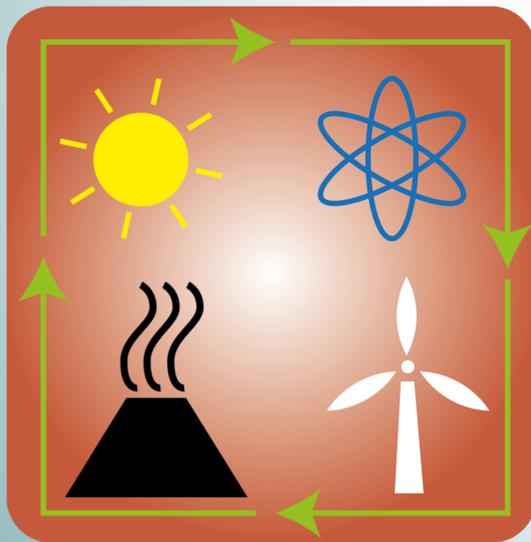


Dirección y Gestión de la Producción Minera/Energética

6. Listas de Espera



Noemí Barral Ramón
Raúl Husillos Rodríguez

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES Y TECNOLOGÍA DE
PROYECTOS Y PROCESOS

Este material se ofrece bajo licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



6.1.- Aspectos económicos de los problemas de espera

- Una de las áreas más importantes de la dirección de operaciones es conocer las líneas de espera o colas y aprender a administrarlas.
- En la vida cotidiana hacemos cola todos los días: semáforos en rojo, en el supermercado, incluso para pagar en las cajas.
- En las fábricas también hay colas: trabajos que esperan a ser realizados por distintas máquinas, las propias máquinas que esperan a la revisión para su mantenimiento...
- Siempre que existe más de un usuario de un recurso limitado se puede formar una cola o línea de espera.
- Cuando la cola se compone de objetos inanimados (materiales, componentes, impulsos eléctricos...) que esperan algún tipo de procesamiento (por ejemplo una máquina) el problema es básicamente económico: qué longitud debe de tener la cola, cuál es el nivel aceptable de inventario en curso, cuanto equipo hay que comprar, ...
- Si la cola está formada por personas que esperan un servicio, el problema tiene aspectos psicológicos además de económicos, que son más difíciles de cuantificar.

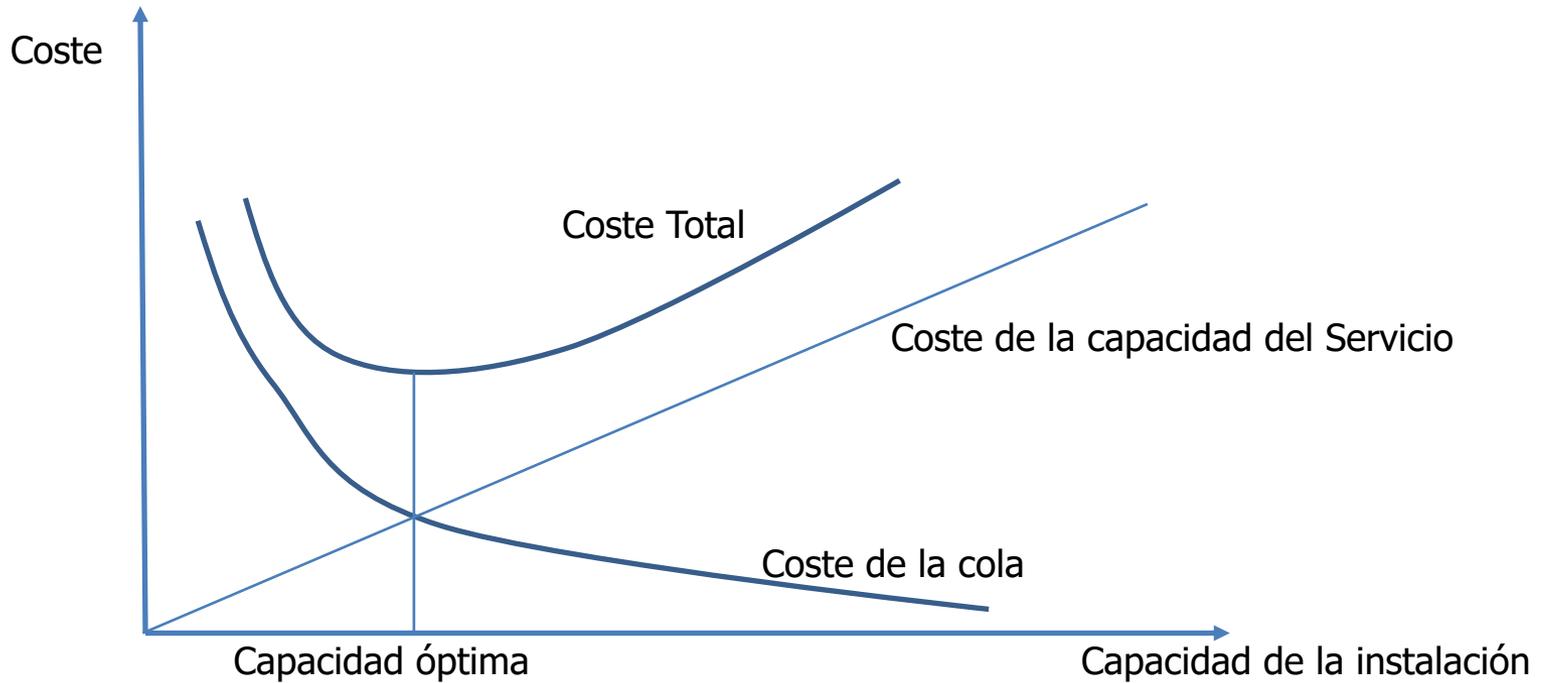
6.1.- Aspectos económicos de los problemas de espera

- **Ejemplo:**
- En un pueblo hay dos supermercados. Uno proporciona a los clientes los mejores precios y calidades debido a que ha minimizado al máximo la mano de obra y sólo tiene dos empleados, uno para cobrar en la única caja del súper y otro que atiende todas las secciones del supermercado.
- A pesar de los bajos precios, el súper casi nadie quiere comprar allí debido a las colas que se forman en las secciones donde es necesario ser atendido (fruta, carne...) y a las de la caja en el momento de pagar.
- Enfrente hay otro supermercado más caro que el anterior, pero casi siempre lleno.
- Sin embargo también pierde dinero debido a la gran cantidad de sueldos que tiene que pagar a sus empleados (tiene 15 cajas atendidas por 15 empleados además de empleados en cada una de las secciones del súper).
- En ambos casos pierden dinero debido a que los dos trabajan con criterios extremistas.

6.1.- Aspectos económicos de los problemas de espera

- Representamos en un gráfico el coste que representa una línea de espera en función de la capacidad de la instalación.
- Con una capacidad de servicio mínima se formarán grandes colas, lo que implica un coste elevado.
- Al aumentar la capacidad del servicio, el coste disminuye debido a la reducción del tamaño de la cola, hasta que cuando la capacidad del servicio es muy elevada, se puede asegurar que no se van a formar colas y por lo tanto este coste prácticamente desaparece: exponencial negativa.
- Por otra parte, si representamos el coste de la capacidad del servicio vemos que aumenta linealmente según aumenta la capacidad.
- Sumando las dos funciones se obtiene el coste total.
- El mínimo de esta función será el que determine la capacidad de producción óptima.

6.1.- Aspectos económicos de los problemas de espera

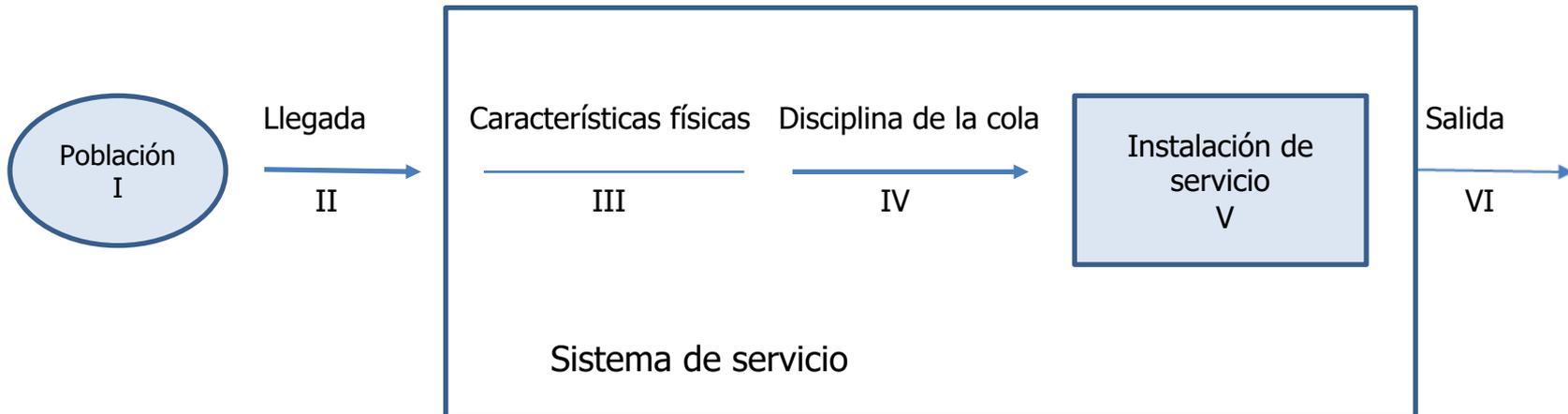


6.1.- Aspectos económicos de los problemas de espera

- La moderna teoría de líneas de espera tiene dos objetivos:
 1. Caracterizar cuantitativamente y cualitativamente a una cola.
 2. Determinar los niveles adecuados de ciertos parámetros del sistema que equilibran el coste de la espera con el coste asociado a la capacidad del servicio.
- La cuantificación de una línea de espera se puede hacer a través de un análisis matemático o un proceso de simulación.
- El primer enfoque produce resultados óptimos pero requiere de suposiciones muy estrictas respecto a la naturaleza de las llegadas de los clientes, el tipo de servicio y la estructura general del sistema.
- El proceso de simulación tiene una aplicación más general que el análisis matemático, ya que se puede utilizar para cualquier sistema.
- Su desventaja es que no produce valores óptimos y es mucho más costosa.

6.2.- Estructura básica de una línea de espera

- Se compone de seis elementos principales: la fuente de población, la manera en la que llegan los clientes a la instalación del servicio, las características de la cola que se forma, el modo en que se seleccionan los clientes de la cola, las características de la instalación de servicio y la condición de salida del sistema por parte de un cliente (¿regresa o no a la fuente de población?).



6.2.- Estructura básica de una línea de espera

I. Población fuente

- Puede ser de dos tipos:
- **Población finita:** grupo limitado de clientes que representa la fuente que formará la cola. Cuando un cliente deja su posición como miembro de la población (por ejemplo se estropea la máquina y requiere mantenimiento) se reduce en una unidad el tamaño del grupo de usuarios, lo cual disminuye la probabilidad de aparición de la siguiente avería. Por el contrario al finalizar un cliente, éste regresa al grupo de usuarios potenciales lo que implica un aumento en la población y de la probabilidad de que un usuario requiera de servicio. Ejemplo: 6 vehículos en reparación.
- **Población infinita:** no existe la población infinita, pero se podrá considerar infinita cuando tiene el tamaño suficiente en comparación con el sistema del servicio, para que los cambios ocasionados por disminuciones o adiciones no afecten de manera sustancial a las probabilidades del sistema. Ejemplo: 10.000 paciente potenciales/hospital.

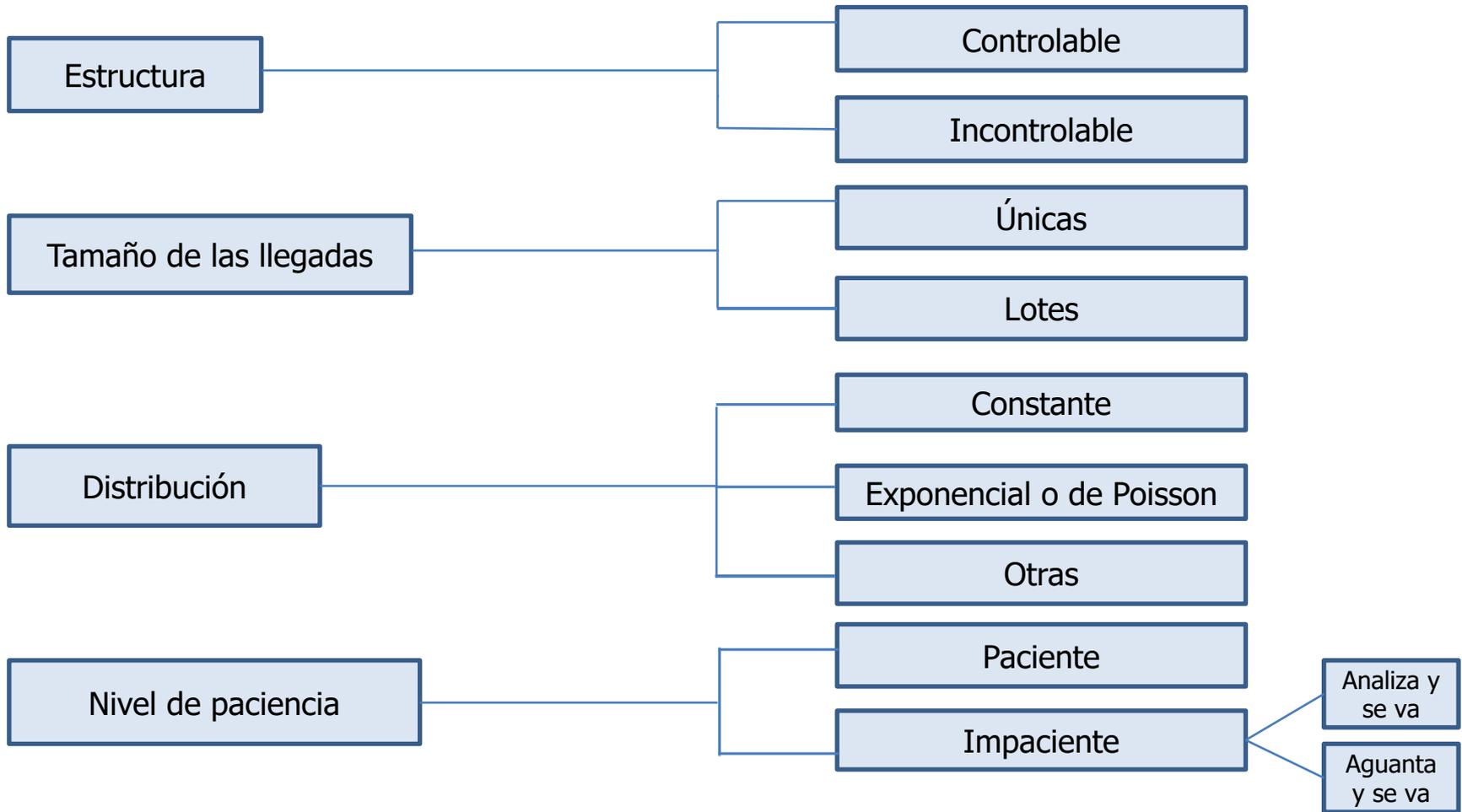
6.2.- Estructura básica de una línea de espera

II. Características de las llegadas al sistema

- Existen 4 características que determinan el tipo de llegadas:
- **Estructura de las llegadas:** controlable o incontrolable.
- **Tamaño de las unidades de llegadas:** de uno en uno o en lote.
- **Patrón de la distribución:** tiempo entre llegadas constante o según una distribución estadística (Poisson, exponencial...).
- **Nivel de paciencia:** si la llegada permanece en la cola o se va.

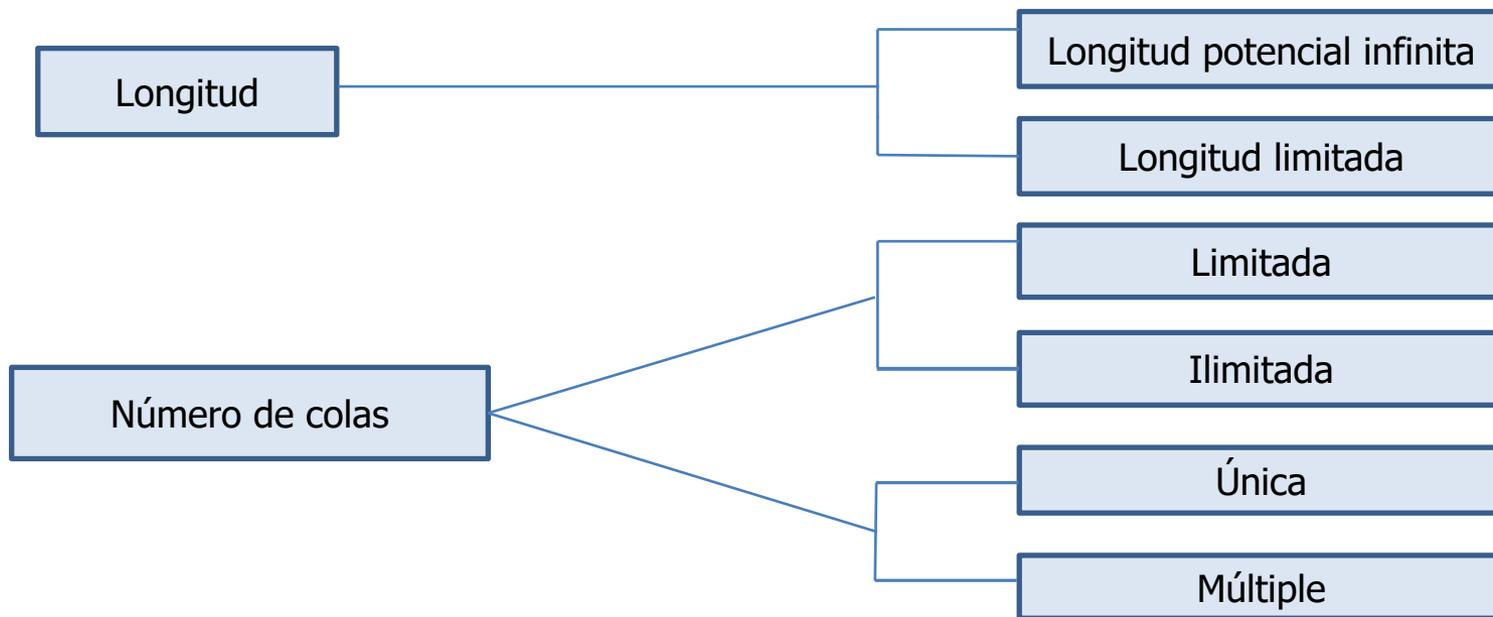
6.2.- Estructura básica de una línea de espera

II. Características de las llegadas al sistema



6.2.- Estructura básica de una línea de espera

III. Características físicas de las colas



6.2.- Estructura básica de una línea de espera

IV. Disciplina de la cola

- Establece una o más reglas de prioridades que van a determinar el orden en el que los usuarios acceden al servicio.
 - Primero en llegar, primero en ser atendido (FIFO).
 - Primero servir las reservas y las citas previas.
 - Primero servir los servicios de menor duración.
 - Primero servir las urgencias.
- **Prioridad absoluta:** es servido en el instante de la llegada.
- **Prioridad relativa:** se sitúa en la cabecera de la cola.

6.2.- Estructura básica de una línea de espera

V. Instalación de servicio

- **Un servidor, una fase:** operación en una única ventanilla de banco.
- **Servidores múltiples, una fase:** banco con múltiples ventanillas abiertas que atiendan una única línea de espera.
- **Un servidor, múltiples fases:** lavado de coches con varios servicios.
- **Servidores múltiples, múltiples fases:** dos líneas de ensamblaje en paralelo.
- **Combinación de las anteriores.**

6.2.- Estructura básica de una línea de espera

VI. Condición de salida

- Después de haber recibido el servicio existen dos posibilidades tras la salida del sistema:
- El usuario regresa a la fuente de población y de inmediato se convierte en candidato para un nuevo servicio, de forma que continúa siendo demandante potencial del servicio.
- Desaparece o existe una baja probabilidad de que el usuario demande otra vez el servicio.

6.3.- Modelos de colas

- Los modelos de colas nos proporcionan:
 - La probabilidad de que haya n unidades en el sistema.
 - Número medio de unidades en el sistema.
 - Tiempo medio de espera en el sistema.
 - Longitud media de la línea de espera.
 - Factor de utilización del servicio.

- La notación que emplean es:
 Proceso de llegada/ Proceso de servicio/ Número de servidores
 Ejemplos: $M/M/1$ $M/M/c$ (M se utiliza para indicar llegadas aleatorias).