

# Modelo de Colas Utilizando Flexsim

---

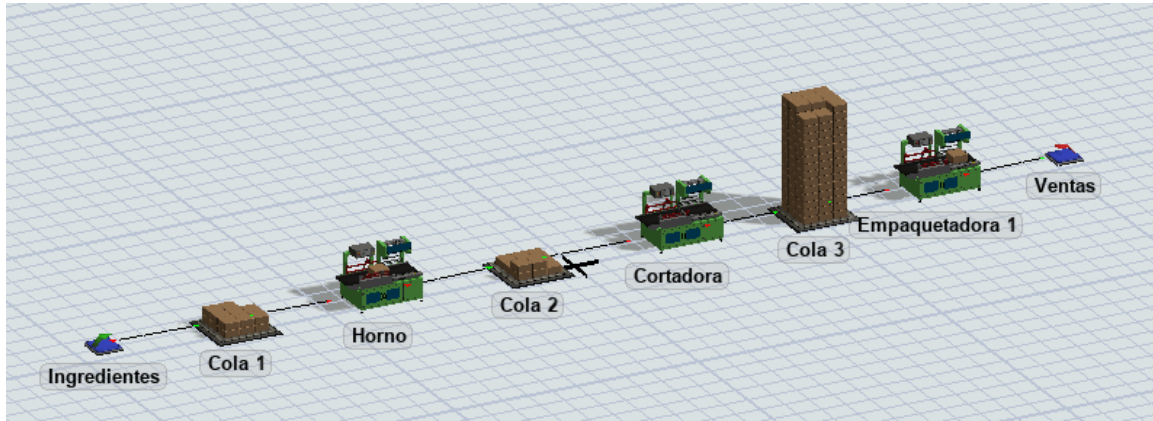
*Actividad 2 - Modelatge, simulació i optimització*

Aleix Martínez Pla, Marc Crespo Frago, Juan Pablo Guerrero López



## 1) Definición del Sistema actual

El sistema simulado representa una línea de producción de galletas compuesta por tres estaciones en serie: Horno, Cortadora y Empaquetadora. Cada estación se modela como una cola M/M/1 con una sola máquina (servidor) y una cola con capacidad máxima de 1000 lotes.



Tasa de llegada efectiva:  $\lambda = 100$  lotes/hora.

Datos analizados en el escenario inicial:

- Horno:
  - $\mu = 102$  lotes/hora
  - $\rho = \lambda / \mu = 0.981$  (Ro / Factor utilización)
  - $W_s = 1 / \mu - \lambda = 1/1.94 = 31$  min (Tiempo en el sistema)
  - $L_q = \lambda^2 / \mu (\mu - \lambda) \rightarrow 50.59$  lotes (Longitud de cola)
  - $L_s = \lambda / (\mu - \lambda) \rightarrow 50$  lotes (Longitud del sistema)
- Cortadora:
  - $\mu = 105$  lotes/hora
  - $\rho = \lambda / \mu = 0.952$  (Ro / Factor utilización)
  - $W_s = 1 / \mu - \lambda = 1/1.94 = 12.4$  min (Tiempo en el sistema)
  - $L_q = \lambda^2 / \mu (\mu - \lambda) \rightarrow 19.04$  lotes (Longitud de cola)
  - $L_s = \lambda / (\mu - \lambda) \rightarrow 20$  lotes (Longitud del sistema)
- Empaquetadora:
  - $\mu = 101$  lotes/hora
  - $\rho = \lambda / \mu = 0.99$  (Ro / Factor utilización)
  - $W_s = 1 / \mu - \lambda = 1/1.94 = 74.2$  min (Tiempo en el sistema)
  - $L_q = \lambda^2 / \mu (\mu - \lambda) \rightarrow 99$  lotes (Longitud de cola)
  - $L_s = \lambda / (\mu - \lambda) \rightarrow 100$  lotes (Longitud del sistema)

Configuración:

- Capacidad de cola: 1000 lotes por estación
- Tiempo de simulación: 6 meses

Como los lotes pasan en serie por Horno → Cortadora → Empaquetadora, el tiempo promedio total se obtiene sumando el tiempo del sistema de cada estación:

$W_{sh}$  = Tiempo en el horno

$W_{sc}$  = Tiempo en la cortadora

$W_{se}$  = Tiempo en la empaquetadora

$W_s(\text{todas las etapas}) = W_{sh} + W_{sc} + W_{se}$

$W_s(\text{todas las etapas}) = 31 \text{ min} + 12.4 \text{ min} + 74.2 \text{ min} = 117.6 \text{ min}$

## 2) Objetivo / Propósito de la simulación

El propósito de la simulación es evaluar el desempeño del sistema de producción de galletas con el objetivo de reducir el tiempo promedio de permanencia de los lotes en el sistema y detectar cuellos de botella, especialmente en la etapa de Empaquetado. Se busca comparar distintos escenarios modificando la capacidad de las colas y la cantidad de empaquetadoras para mejorar los indicadores claves como el tiempo total en el sistema y el número de lotes vendidos.

## 3) Escenarios a estudiar / experimentos

Se analizaron los siguientes escenarios durante una simulación de 6 meses cada uno:

1. Cola máx. 1000 - 1 Empaquetadora (Escenario inicial)
2. Cola máx. 1000 - 2 Empaquetadoras
3. Reducción de  $\lambda$  de origen al 95%
4. Reducción de  $\lambda$  de origen al 98%

La elección de estos escenarios responde a dos decisiones estratégicas clave:

- Incrementar la cantidad de Empaquetadoras: En el escenario base, se identificó que esta estación tenía la mayor tasa de utilización (99.2%) y el mayor tiempo de espera en el sistema (117,6 min), lo que la convierte en el principal cuello de botella. Agregar una segunda Empaquetadora busca reducir los tiempos de espera y mejorar el flujo general del sistema.
- Reducir la tasa de llegada ( $\lambda$ ) al sistema: En lugar de limitar la capacidad de la cola, se optó por reducir el ritmo de llegada de lotes al sistema al 95% y 98% de su valor original. Esta medida tiene como objetivo disminuir la saturación en las estaciones intermedias, especialmente la Empaquetadora, reduciendo así los

tiempos de permanencia y permitiendo un procesamiento más fluido, aunque pueda implicar una menor cantidad de lotes vendidos.

Estos cambios permiten analizar el equilibrio entre eficiencia operativa (menor tiempo en el sistema) y productividad (cantidad de lotes vendidos), en función de los ajustes realizados en la configuración del sistema.

#### 4) Análisis de resultados obtenidos

Escenario	Tiempo en el sistema (min)	Lotes vendidos	Ocupación (empaquetadora)
1 Empaquetadora	117,6	442.330	E1 = 99.2%
2 Empaquetadoras	41,75	441.217	E1 = 58.0% / E2 = 59%
Lambda origen al (95%)	23,07	419.647	E1 = 94%
Lambda origen al (98%)	32,09	428.407	E1 = 95.8%

El escenario base presenta el mayor tiempo de permanencia en el sistema, con un total de 117,6 minutos, y una utilización del 99,2% en la Empaquetadora, confirmando que esta estación es el cuello de botella del sistema.

La incorporación de una segunda Empaquetadora en el Escenario 2 permite reducir el tiempo en el sistema a 41,75 minutos, una mejora significativa, con una ocupación equilibrada entre ambas máquinas (58% y 59%). Sin embargo, el número de lotes vendidos (441.217) se mantiene muy similar al escenario base (442.330), lo que sugiere que, aunque mejora el tiempo de procesamiento, no hay un aumento sustancial en la producción total debido a la misma tasa de entrada.

Los escenarios 3 y 4 introducen una reducción en el lambda de llegada, lo que implica una menor cantidad de lotes ingresando al sistema. Esta estrategia logra una mejora aún más significativa en los tiempos de permanencia, con 23,07 minutos (al 95%) y 32,09 minutos (al 98%), respectivamente. No obstante, como era de esperarse, esto también reduce la cantidad total de lotes vendidos: 419.647 y 428.407, respectivamente.

La ocupación de la Empaquetadora en estos escenarios se mantiene alta (94% y 95.8%), lo que indica que, a pesar de la menor carga, la estación sigue trabajando cerca de su capacidad máxima, lo que puede reflejar un mejor aprovechamiento del recurso, pero también un límite en términos de capacidad.

En conjunto, estos resultados muestran que reducir la tasa de llegada puede ser más efectivo que duplicar recursos si el objetivo principal es disminuir los tiempos en el sistema. Sin embargo, esto tiene un costo en términos de producción total.

## 5) Conclusiones

El análisis muestra que la Empaquetadora sigue siendo el punto más crítico del sistema, con una ocupación cercana al 100% y tiempos de espera elevados en el escenario base.

Se evaluaron dos estrategias para mejorar su desempeño:

- **Agregar una segunda Empaquetadora**  
Esta medida reduce considerablemente el tiempo en el sistema sin sacrificar la cantidad de lotes vendidos. Sin embargo, no aumenta la producción total, lo que indica que el cuello de botella se ha desplazado hacia otras etapas anteriores del proceso.
- **Reducir la tasa de llegada ( $\lambda$ ) al sistema**  
Disminuir el ritmo de entrada al sistema (al 95% y 98%) genera una reducción aún mayor en los tiempos de permanencia. Aunque esta estrategia conlleva una menor cantidad de lotes vendidos, permite un funcionamiento más fluido y evita la saturación del sistema. La Empaquetadora sigue operando a alta capacidad, lo que demuestra una buena utilización del recurso con menor sobrecarga.

Ambas estrategias son efectivas en reducir los tiempos en el sistema, pero con objetivos distintos:

- Si el objetivo es **reducir tiempos sin sacrificar ventas**, la duplicación de Empaquetadoras es más adecuada.
- Si el objetivo es **maximizar eficiencia y estabilidad del sistema**, la reducción de  $\lambda$  puede ser preferible, aunque implique menor ventas.