

# Simulación Aplicada a la Logística

## Lectura 1

# Introducción a Simulación

**Profesor:**

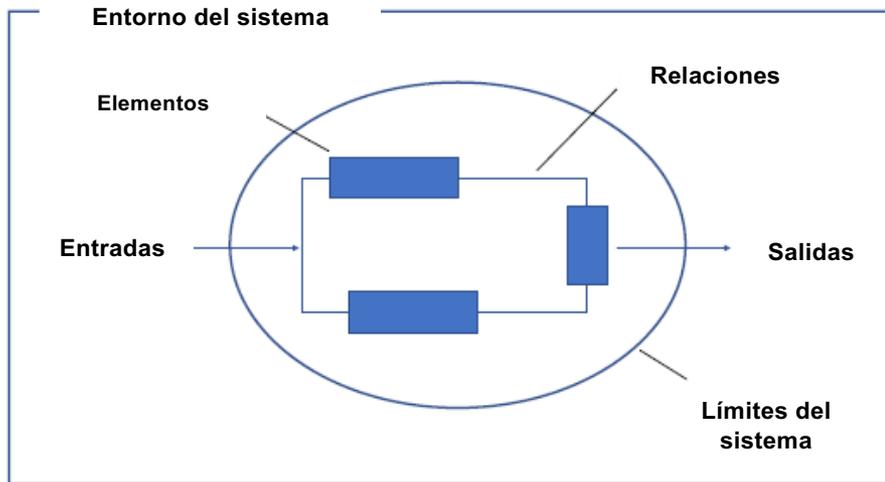
Ricardo Caballero, M.Sc.

✉ [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)

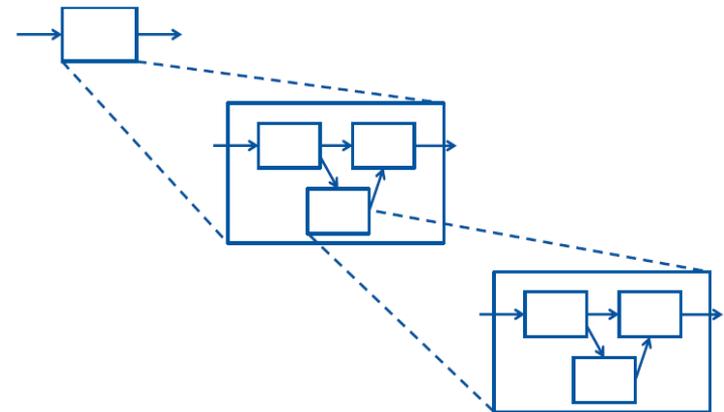


# Sistema

- Conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo.
- Los elementos también pueden considerarse como subsistemas compuestos de otros elementos.
- La parte más pequeña de un sistema es el elemento del sistema.
- Los sistemas están definidos por límites.



Representación de un sistema



Descomposición de elementos en subsistemas

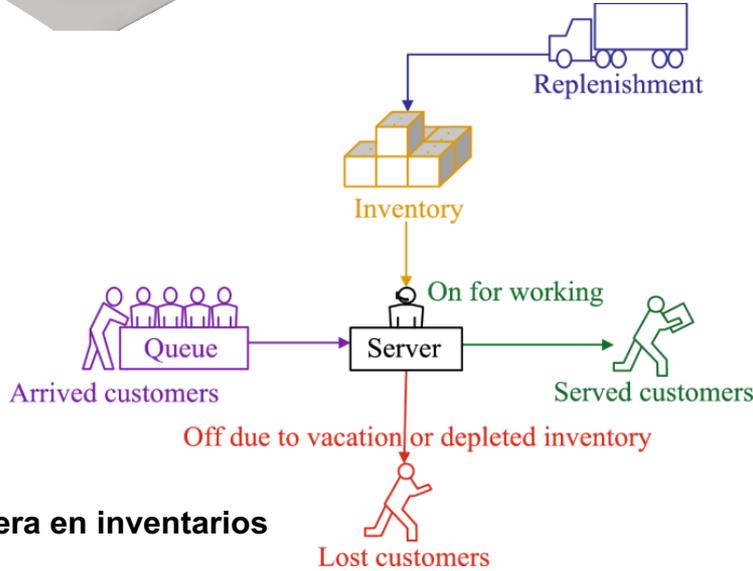
# Sistema



Filas de espera en bancos



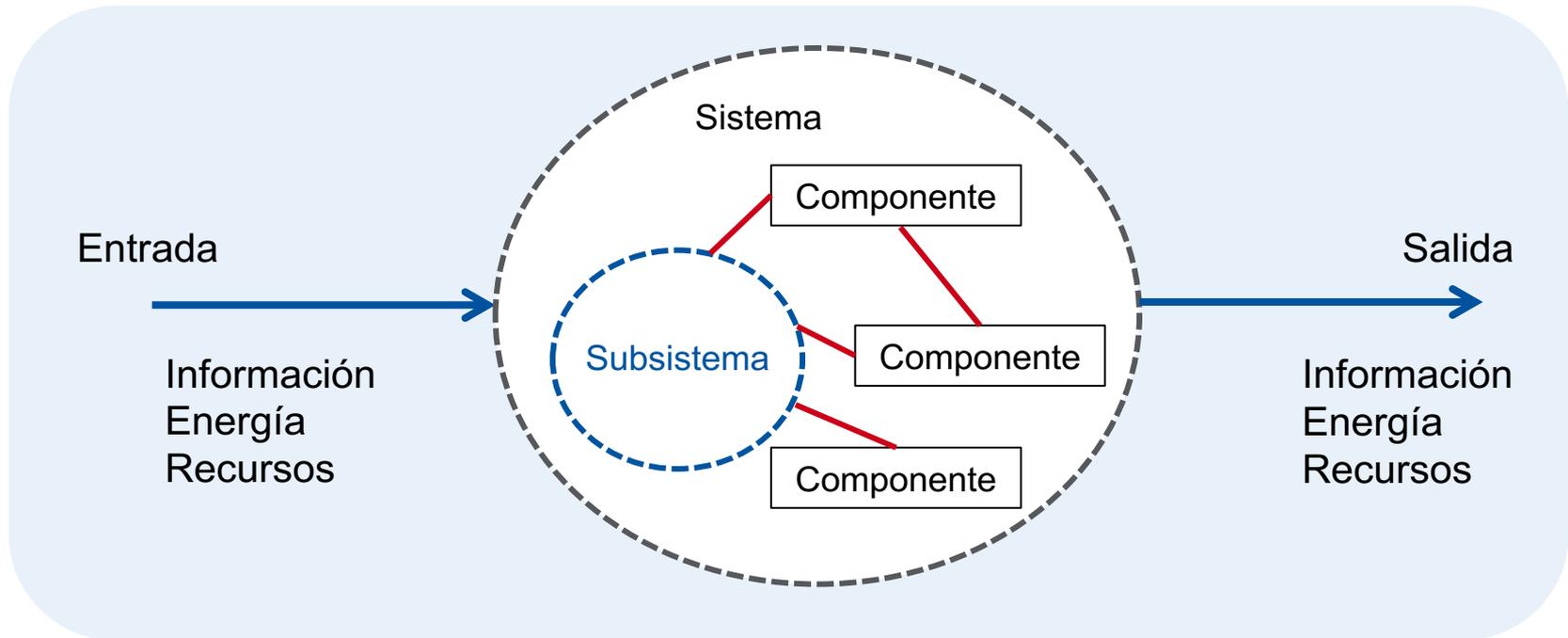
Filas de espera en supermercados



Filas de espera en inventarios

# Variables del sistema

- Las variables son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones.
- Las variables pueden ser de tipo continuas o discretas.
- Existen variables de entradas que afectan el comportamiento general del sistema.



# Otras definiciones relacionadas al concepto de sistema

**Entidad:** representación de los flujos de entrada y salida en un sistema.

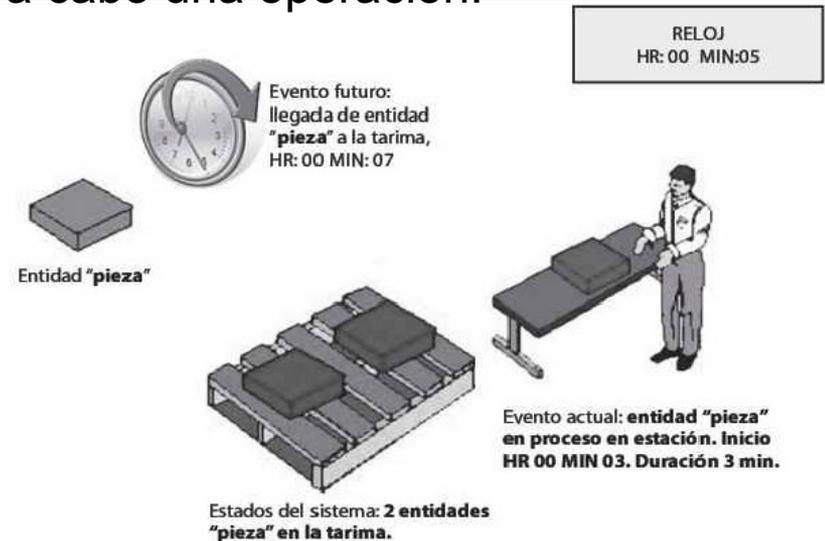
- *Clientes*
- *Piezas*

**Atributo:** característica de una entidad.

- *Color*
- *Tamaño*
- *Peso*

**Recursos:** Dispositivos necesarios para llevar a cabo una operación.

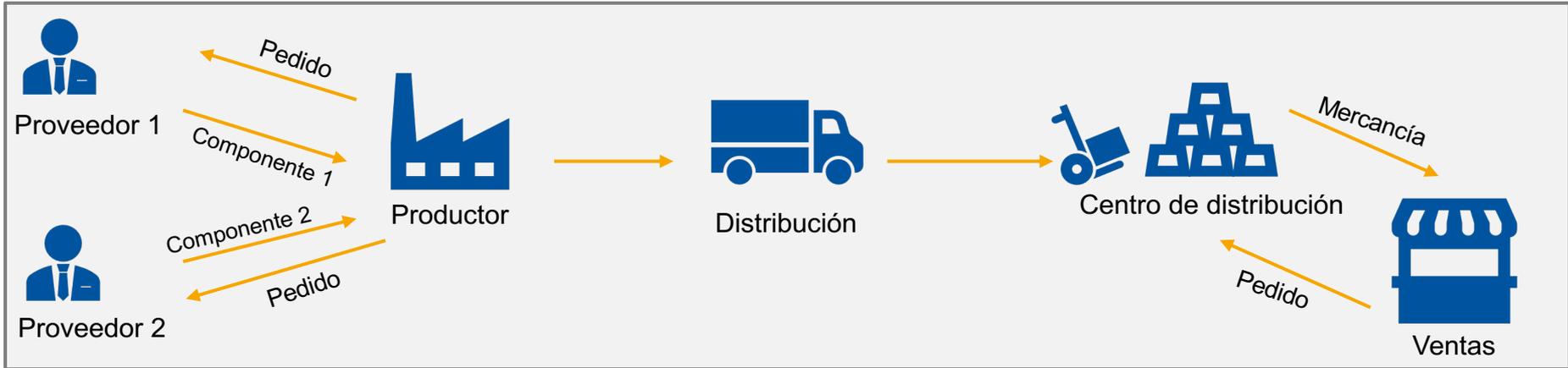
- *Montacargas*
- *Herramientas*
- *Maquinarias*



Los **atributos** de una **entidad** definen su **estado** y los estados de las entidades más importantes definen el **estado del sistema**.

# La perspectiva de la cadena de suministro vista como un sistema

- Permite entender qué es una variable, en qué debo basar mi decisión, cuáles son mis limitaciones o restricciones
- Permite entender que se puede controlar y que puede ser complejo.



Dentro del análisis de la cadena de suministro cómo un sistema se pueden encontrar los siguientes desafíos:

## ▪ Métricas

*¿Cómo se medirá este nuevo sistema?*

## ▪ Políticas

*¿Quién gana y quién pierde influencia, y cuáles son los efectos?*

## ▪ Visibilidad

*¿Dónde se almacenan los datos y quién tiene acceso?*

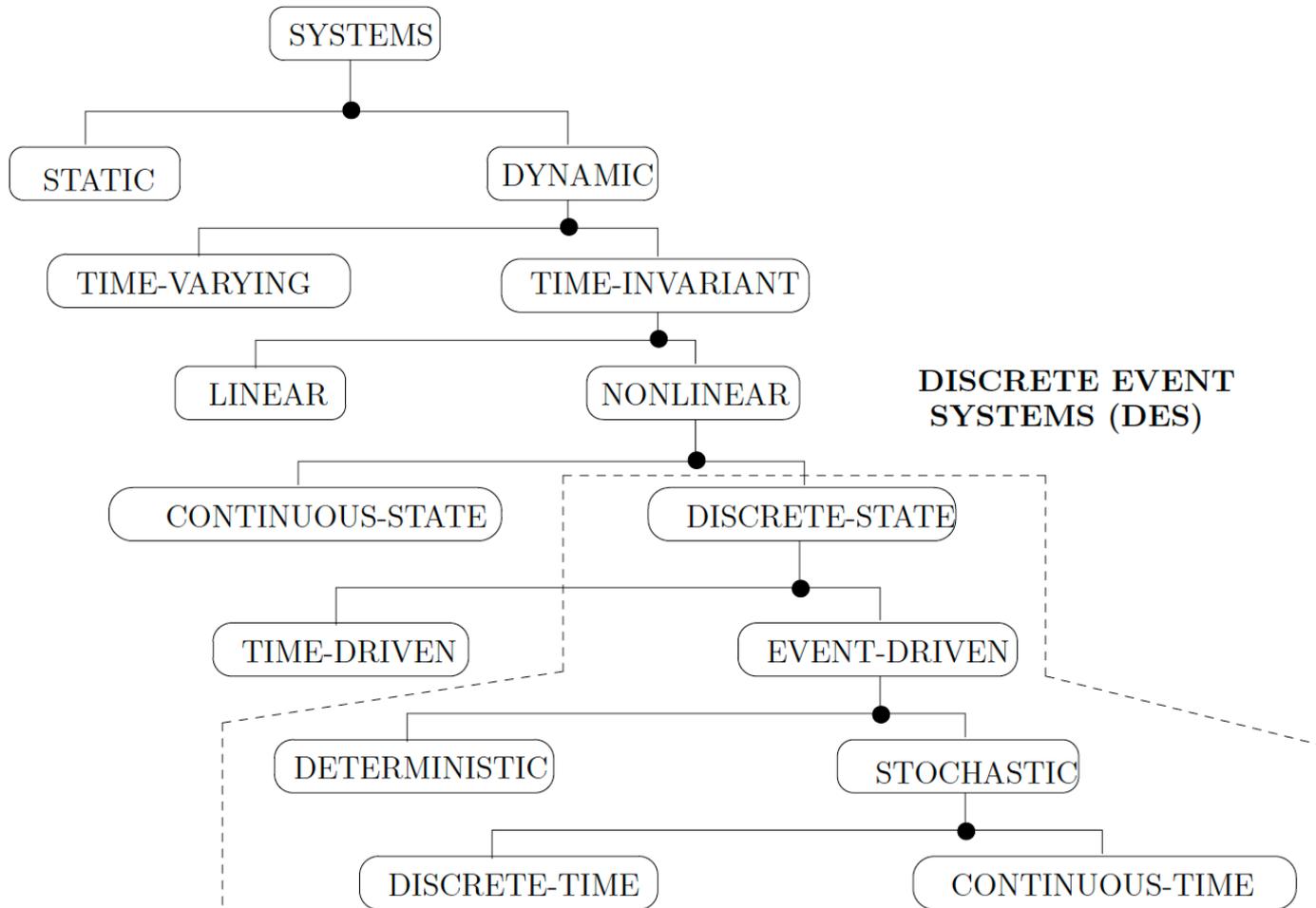
## ▪ Incertidumbre

*Factores como plazos de entrega, demanda de clientes y rendimiento*

## ▪ Operaciones globales

*Muchas empresas abastecen y venden en todo el mundo*

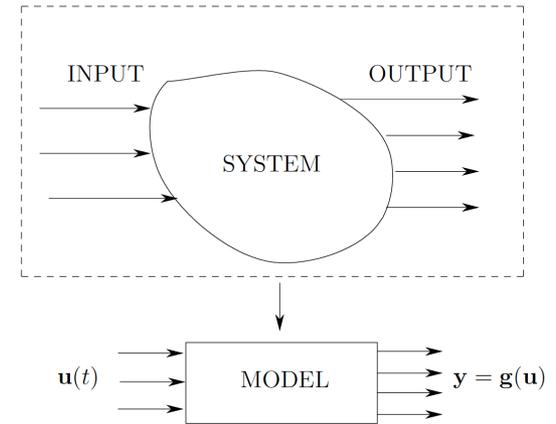
# Clasificación de los sistemas



# Modelo

Un modelo válido es aquel que representa de manera aproximada pero representativa las características más importantes del sistema o problema a analizar.

Los modelos se pueden clasificar en tres según su enfoque:



## Predictivo

Los modelos predictivos detectan patrones o relaciones en datos históricos y luego proyectan estas relaciones a futuro.

Regresión lineal  
Patrones de series de tiempo  
Promedios móviles  
Promedios móviles ponderados  
...

## Descriptivo

Este tipo de modelo analiza los datos que llegan en tiempo real y los datos históricos para obtener información sobre el estado actual de un sistema.

Medidas de tendencia central  
Medidas de dispersión  
....

## Prescriptivo

Estos modelos recomiendan una decisión óptima basada en la necesidad de maximizar (o minimizar) algún aspecto del rendimiento.

Programación Lineal  
Modelos de Redes  
Modelos de Transporte y Asignación  
Programación Entera  
....

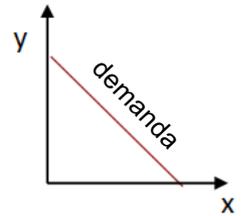
## Ejemplo 1: Función para calcular el precio de un producto

Una empresa manufactura el Artículo XYZ y desea **determinar que precio colocarle al producto**. Se cuenta con la siguiente información, los costos fijos de la empresa representan \$ 500,000 y el costo variable es de \$ 75

$$\text{costos totales} = CT(x) = \$500,000 + 75x$$

El comportamiento de la demanda viene representada con la siguiente función lineal de la demanda en función del precio

$$\text{unidades vendidas} = x(p) = 20,000 - 80p$$



Por consiguiente, la ecuación de ganancias se formula como

$$\text{Ingresos}(I) = \text{unidades vendidas} * \text{precio}$$

$$I = (20,000 - 80p)p = 20,000p - 80p^2$$

$$\text{Costos totales}(CT) = \text{costo fijo} + \text{costo variable} * \text{unidades vendidas}$$

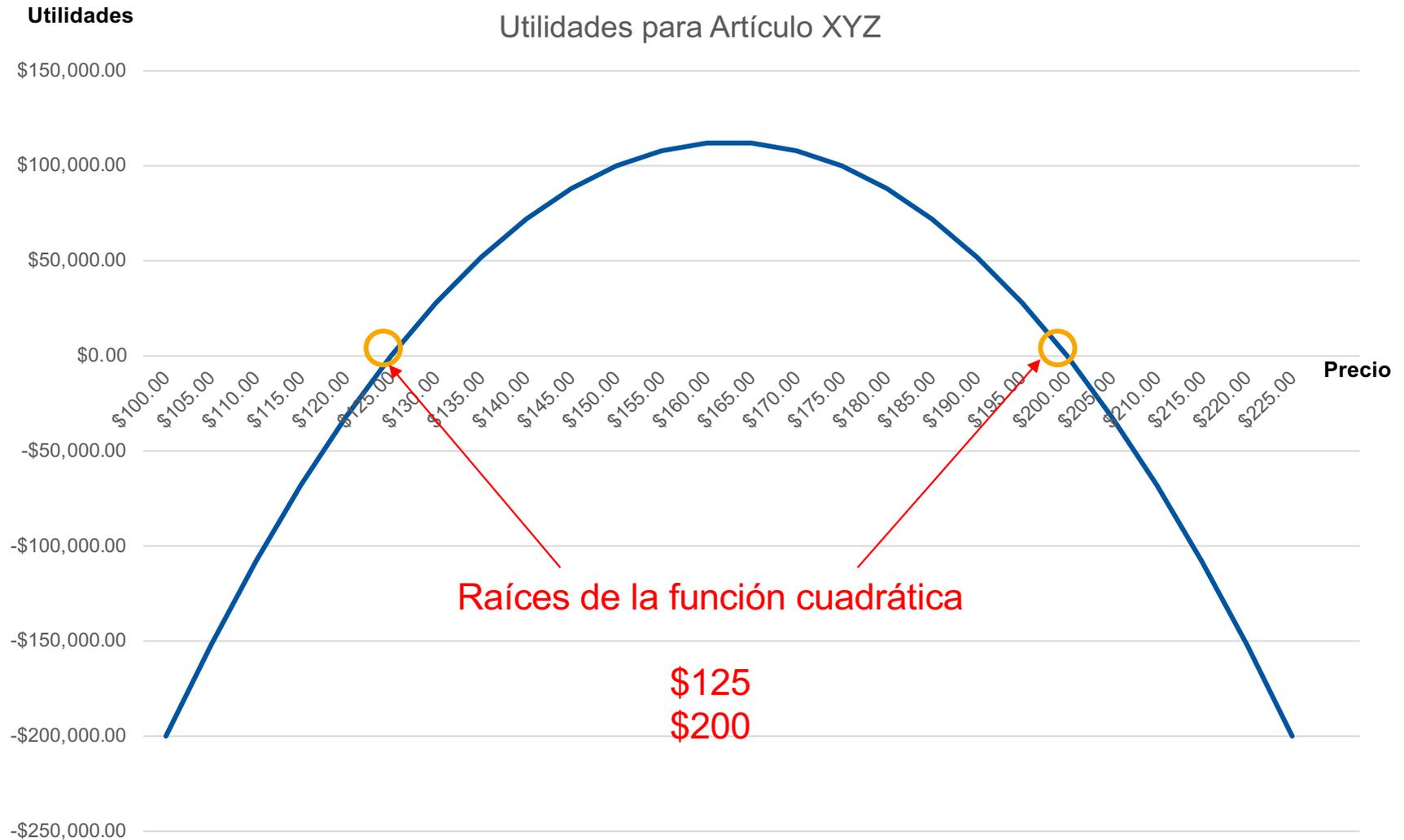
$$CT = 500,000 + 75(20,000 - 80p) = 2,000,000 - 6,000p$$

$$\text{Utilidades}(U) = \text{Ingresos} - \text{Costos Totales}$$

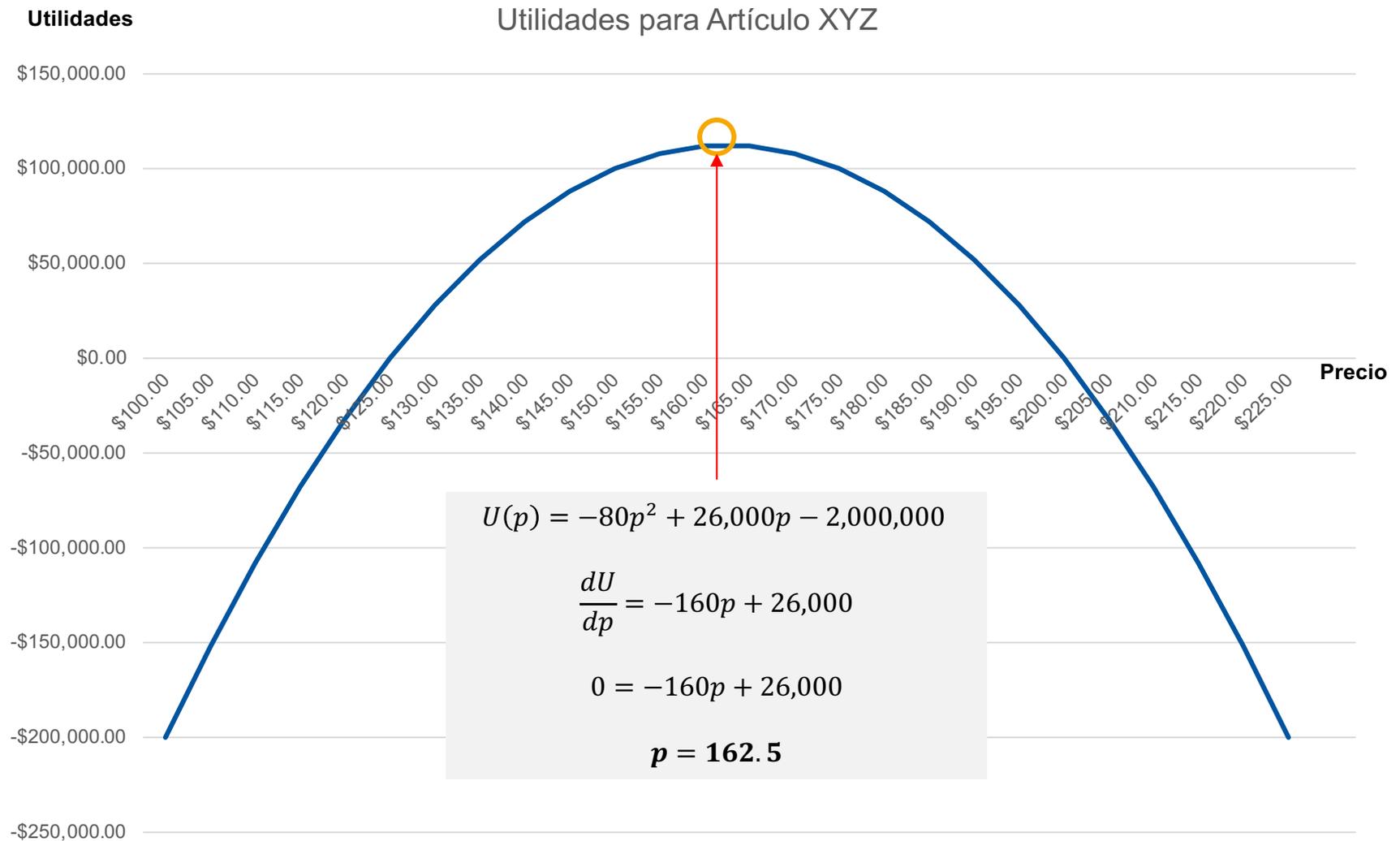
$$U = 20,000p - 80p^2 - (2,000,000 - 6,000p)$$

$$U(p) = -80p^2 + 26,000p - 2,000,000$$

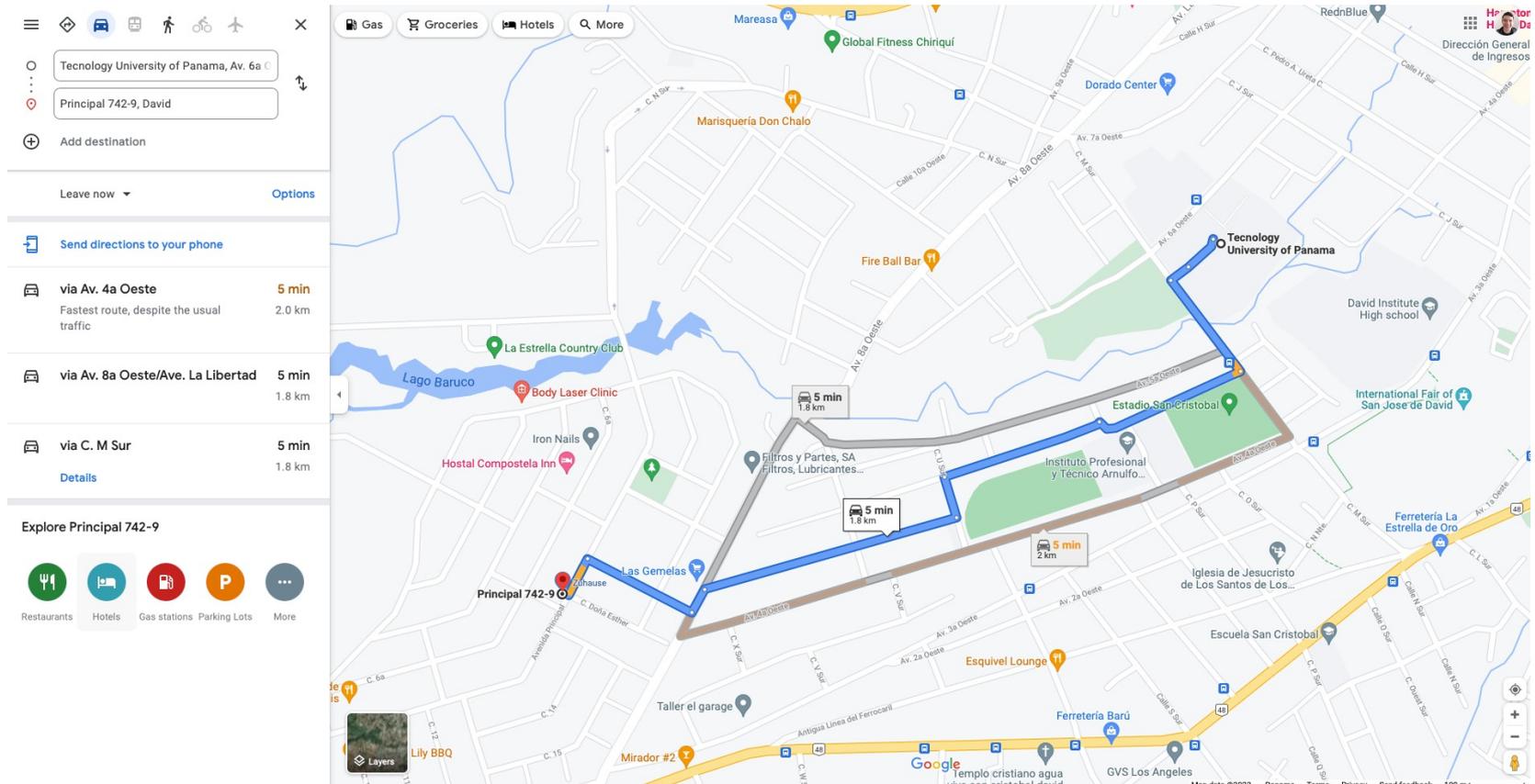
# Ejemplo 1: Función para calcular el precio de un producto



# Ejemplo 1: ¿A cuánto debe fijarse el precio del artículo para generar mayores utilidades?



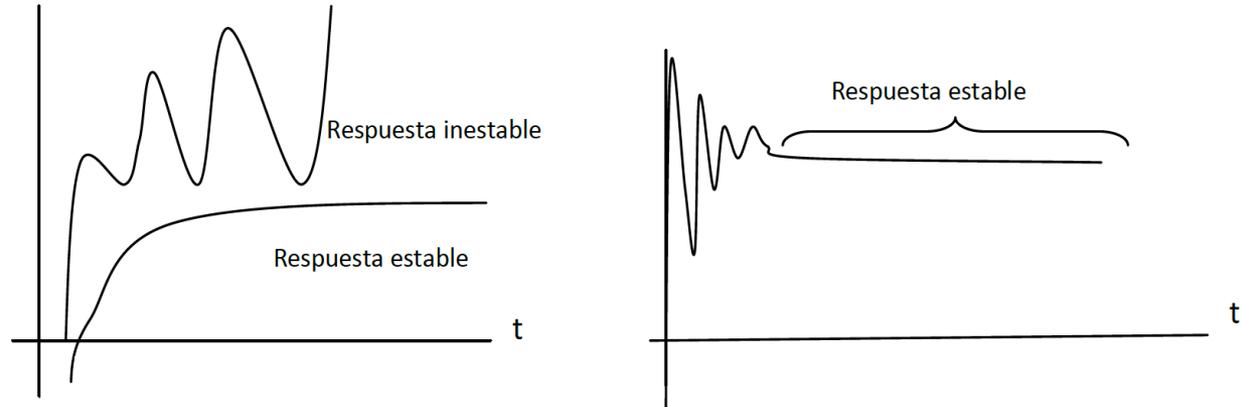
# Ejemplo 2: Modelado con grafos



- ¿Qué camino debo tomar?
- ¿Por dónde debo girar?
- ¿Cuánto demora llegar al destino?
- ¿Cuánto sería mi costo de combustible?

# El concepto de “Estado”

- Condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento de tiempo determinado.
- El espacio de estado es el conjunto de todos los valores posibles que el estado puede tomar.



## Estado transitorio

- Se presenta al principio de la simulación
- Hay mucha variación entre los valores promedio de las variables de decisión del modelo
- Cuando una variable o variables de proceso se han cambiado y el sistema aún no ha alcanzado un estado estable
- Formular decisiones es complicado

## Estado estable

- Los valores de las variables de decisión permanecen muy estables
- Presentan variaciones poco significativas
- Las variables de estado que definen el comportamiento del sistema son invariables en el tiempo
- Respuesta que permanece constante
- Se pueden tomar decisiones confiables

# Simulación

---

Proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experimentos con este modelo con el propósito de comprender el comportamiento del sistema y sus casos subyacentes o de evaluar diseños serios de un sistema artificial o estrategias para la operación del sistema

*“...se refiere al uso de una computadora para llevar a cabo experimentos en un modelo de un sistema real.” Chase*

*“La idea básica de la simulación es la construcción de un dispositivo experimental, o simulador, que “actuará como” (simulará) el sistema de interés en ciertos aspectos importantes, de una manera rápida y redituable.” Eppen*

*“El acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa los procesos de dicho sistema.” Krajewski*

*“Método de aprender sobre un sistema real experimentando con un modelo que lo representa.” Anderson*



**La idea de la simulación es imitar una situación del mundo real con un modelo matemático que no afecte las operaciones**

# Tipos de simulación

---

Se requiere conocimiento sobre los tipos de simulación para modelar un sistema correctamente. Hay dos tipos de modelos de simulación: discretos y continuos.

**Modelo de simulación discreto** tiene algunas variables cuyos valores varían en puntos discretos en el tiempo.

Ejemplo:

- Sistemas bancarios
- Sistemas de reserva de trenes
- Sistemas de venta en cajeros de supermercados
- Sistemas de control de inventario
- Fabricación de productos unitarios

**Modelo de simulación continua** tiene variables que cambian continuamente con el tiempo. Por tanto, los resultados de tales sistemas se toman a intervalos fijos de tiempo después de que el sistema alcanza un estado estacionario.

Ejemplo:

- Producción de productos químicos
- Transporte por tubería de productos gaseosos
- Tiendas médicas abiertas las 24 horas

# La simulación puede utilizarse para los siguientes propósitos

---

- Permite el estudio y la experimentación del comportamiento de un sistema complejo.
- Se pueden simular cambios informativos, organizacionales y ambientales, y se puede observar el efecto de estas alteraciones en el comportamiento del modelo.
- Al cambiar las entradas de simulación y observar las salidas resultantes, se pueden obtener valiosos conocimientos sobre qué variables son más importantes y cómo interactúan las variables.
- Se puede utilizar para verificar soluciones analíticas.
- Al simular diferentes capacidades para una máquina, se pueden determinar los requisitos
- Los sistemas modernos son tan complejos que las interacciones solo pueden tratarse mediante simulación.

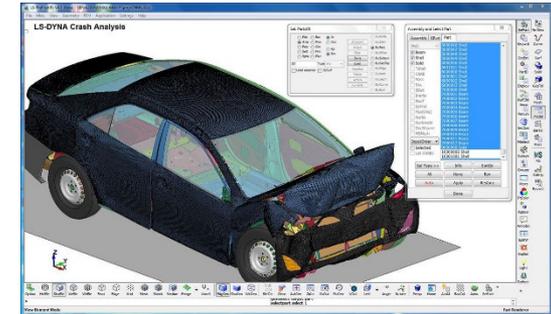
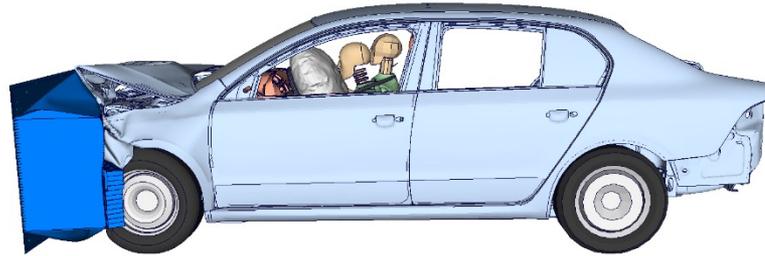
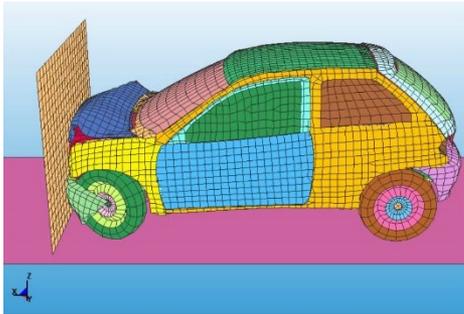
# Simulación: ventajas y desventajas

- Se pueden comparar diferentes escenarios en forma paralela.
- Los softwares hacen que los modelos sean fáciles de desarrollar
- Sirve para analizar situaciones grandes y complejas
- Permite formular preguntas tipo ¿Qué pasaría si...?
- Las simulaciones no interfieren con el sistema del mundo real (se pueden explorar nuevas políticas, procedimientos operativos, etc.)
- Un nuevo diseño puede ser probado sin comprometer recursos.
- Permite estudiar el efecto interactivo de componentes o variables individuales para determinar cuáles son importantes

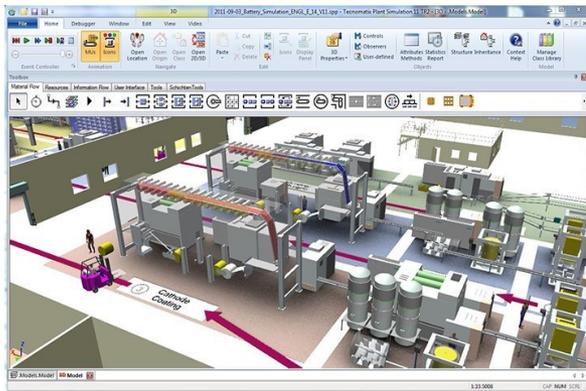
- Altos costos
- Desarrollar un modelo es un proceso largo y complicado (toman mucho tiempo)
- No genera soluciones óptimas a los problemas (enfoque de ensayo y error)
- Cada modelo es único
- Se requiere entrenamiento especial y experiencia.
- Un modelo siempre se basa en el conocimiento individual del modelador.
- Los resultados de la simulación pueden ser difíciles de interpretar

# Algunos ejemplos de simulaciones

## Simulación de choque automovilístico



## Simulación de instalaciones de producción



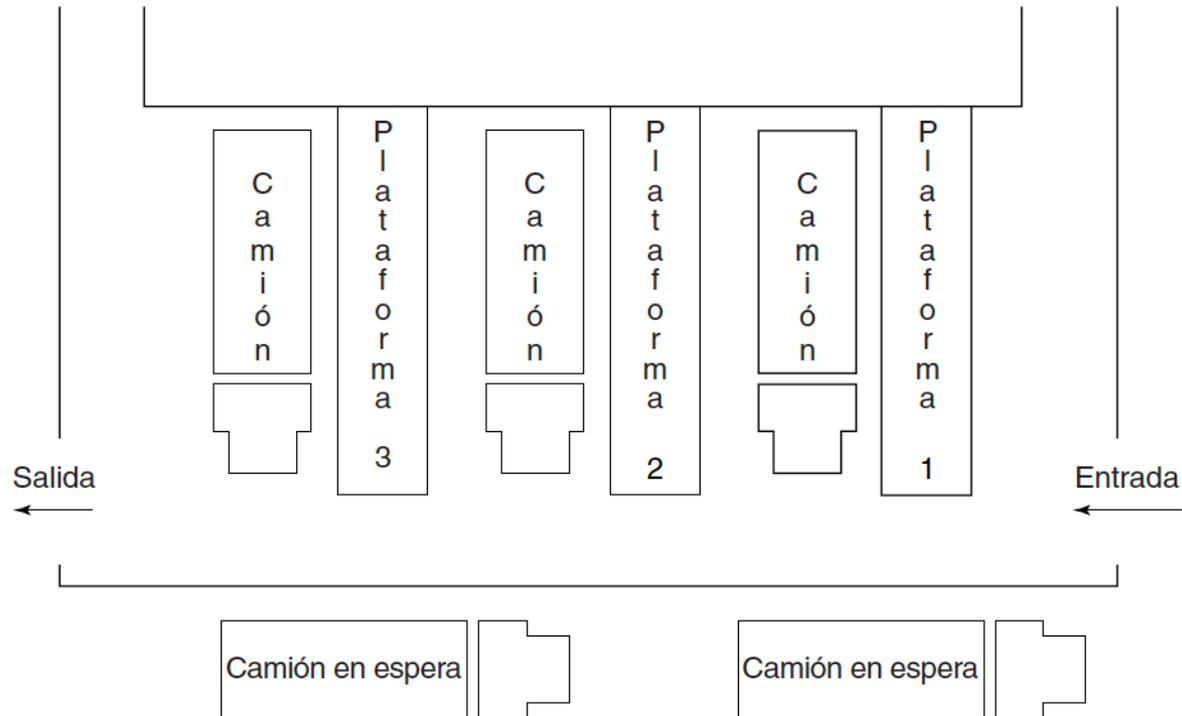
## Simulador de vuelo



**! Una investigación sobre el sistema real llevaría demasiado tiempo, sería demasiado costosa, éticamente inaceptable o demasiado peligrosa**



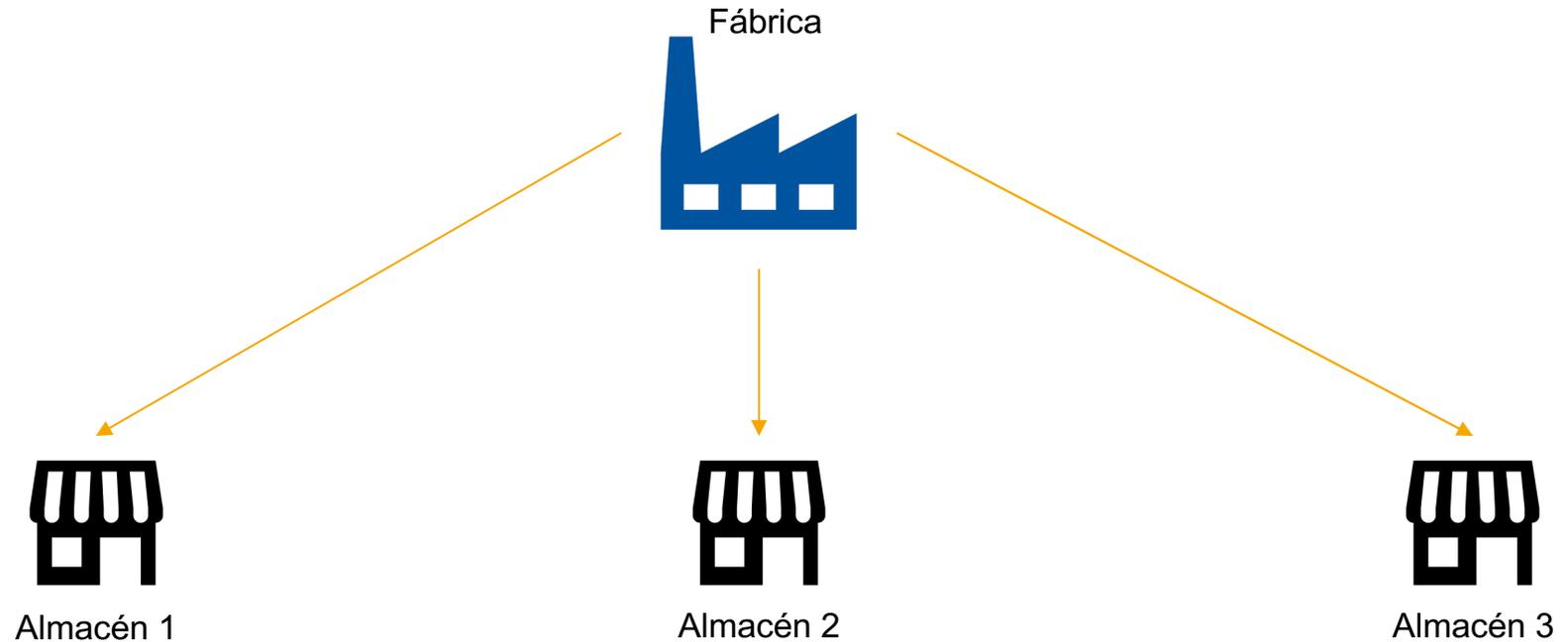
## Ejemplo 3: Diseño de instalaciones para descarga



- ¿Cuántas plataformas se deben construir?
- ¿Qué tipo y cantidad de equipo para manejo del material se requiere?
- ¿Cuántos trabajadores se requieren y en qué periodos?

## Ejemplo 4: Determinación de políticas de control de inventario

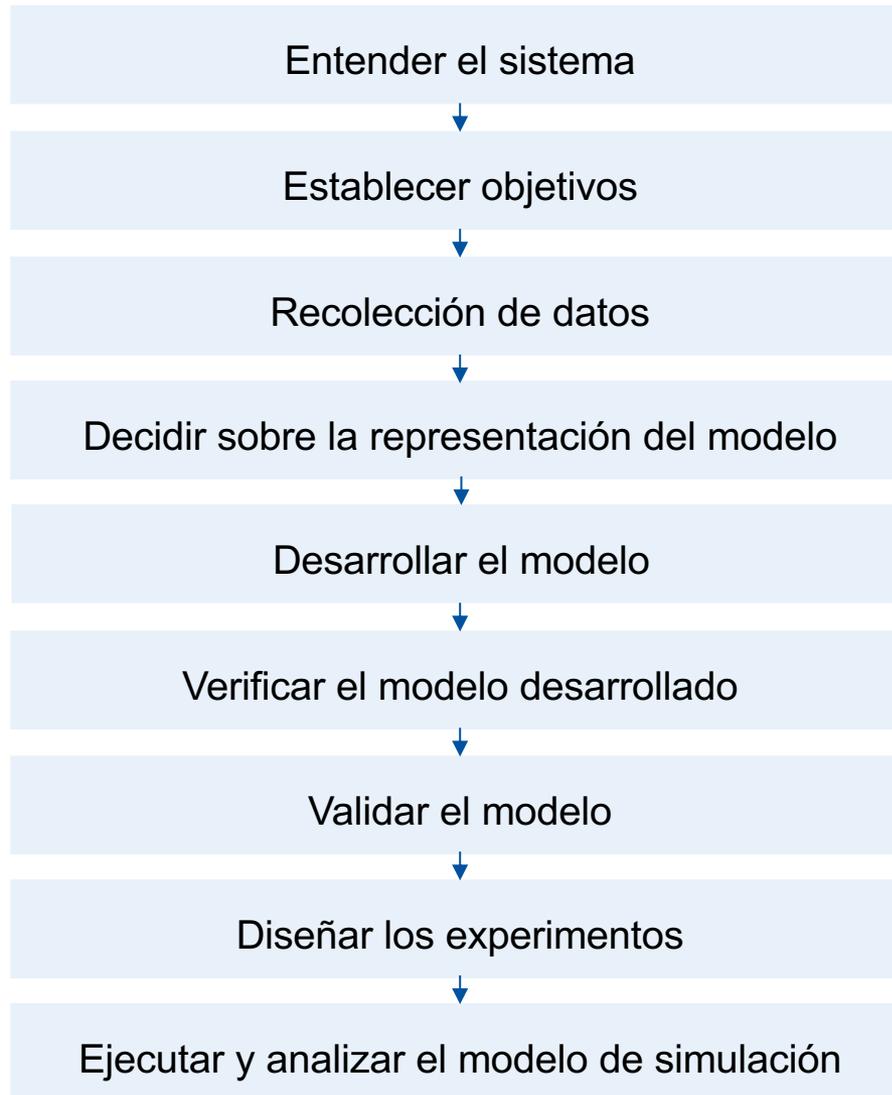
---



- ¿Cuándo debe un almacén emitir una reorden a la fábrica, y por cuánto?
- ¿Qué existencias debe mantener la fábrica para satisfacer las órdenes de los almacenes?

# Pasos para realizar un estudio de simulación según Bandyopadhyay, S. et al.

---



# Las técnicas de simulación para SCM: Criterios de selección para analistas (Felki, 2022)

## Simulación de eventos discretos

Simulación de flujo de materiales en una fábrica, por ejemplo: para comparar distribuciones y controlar la logística  
Simulación de procesos de la cadena de suministro, por ejemplo: red de entrega con distribución y entrega  
Simulación de equipos de manipulación de materiales, por ejemplo: simulación de AGV en una fábrica  
Logística de procesamiento de colas de trabajos, por ejemplo: en una celda de fabricación

## Simulación basada en agentes

Formación de precios en una economía de mercado (o cualquier otro tipo de negociación entre agentes)  
Análisis de congestión de tráfico  
Simulación de robot autónomo, por ejemplo: interacción de robot autónomo en una fábrica  
Formación de opinión relacionada con la marca

## Simulación de sistemas dinámicos

Impacto del tiempo de entrega en los niveles de existencias en una cadena de suministro  
Tiempo de aviso de pedido y su impacto en los niveles de stock en una cadena de suministro  
Alcance de mercado de un producto y ciclo de vida de ventas en un mercado  
Análisis del desarrollo demográfico en, por ejemplo, país o región de interés

## Simulación Monte Carlo

Método de pronóstico de referencia para, por ejemplo, precios de acciones, materias primas y encuestas (utilizado para derivar el riesgo)  
Evaluación de riesgos para los niveles de inventario, para tasas de disponibilidad  
Evaluación de riesgos para plazos de entrega

## Simulación basada en hojas de cálculo

Herramientas de pronóstico interactivas, a menudo compartidas entre entidades y departamentos.  
Simulaciones de escenarios de programación de trabajos  
Tiempos de ciclo de equipos y maquinaria  
Evaluaciones de rendimiento de los sistemas de manejo de materiales

## Juegos

Eventos de formación y comunicación.  
Juego de roles y mapeo de procesos para comprender los procedimientos, las responsabilidades y el impacto de los cambios  
Análisis de escenarios (como parte de eventos de intercambio de ideas o también de evaluaciones de riesgos)  
Simulacros, por ejemplo: emergencia

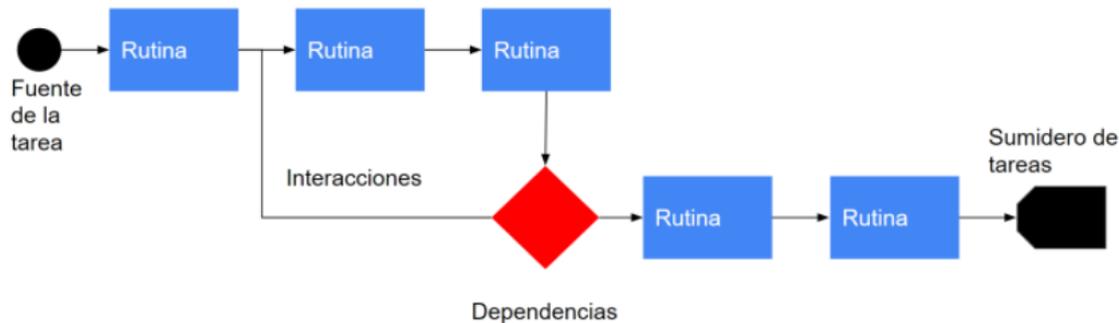
<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación para SCM: Criterios de selección para analistas (Felkl, 2022)



<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación para SCM: Simulación de eventos discretos (Felkl, 2022)



## Ventajas

- Eficiencia computacional
- Buen enfoque para analizar comportamiento estocástico
- Apropiado para cualquier sistema
- Usado para analizar sistemas determinísticos

## Desventajas

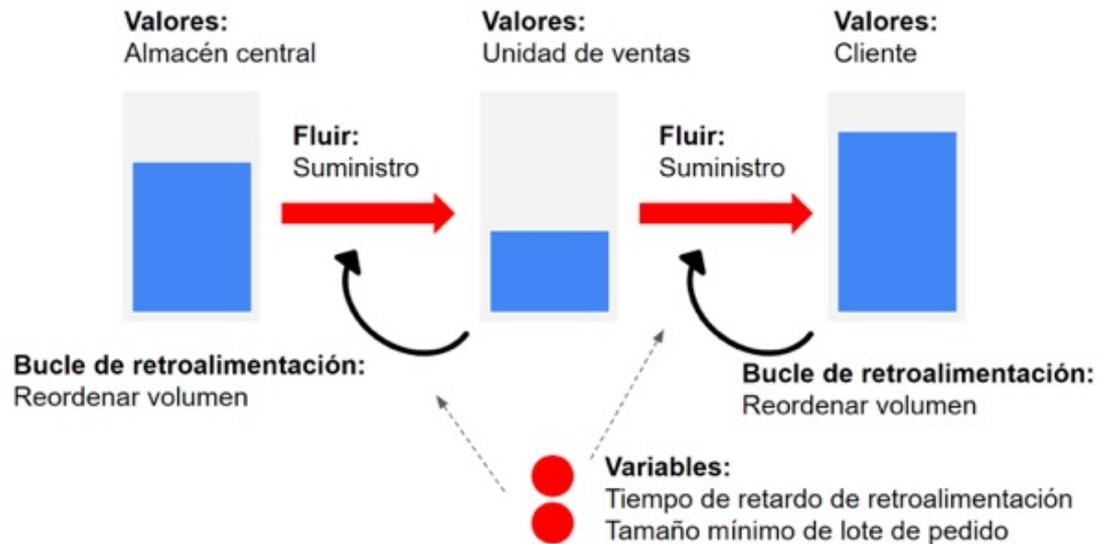
- No es adecuado para análisis sociales ni políticos

Una **simulación de eventos discretos** a menudo se usa para investigar las interdependencias del sistema en trabajos de ensamblaje, sistemas de manejo de materiales, centros de trabajo, centros de llamadas, almacenes, sistemas de transporte, operaciones mineras, hospitales y muchos más.

Una simulación de eventos discretos salta de un evento a otro, y cada evento está marcado por cambios en al menos un estado del sistema

<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación para SCM: La dinámica de sistemas como enfoque de simulación (Felkl, 2022)



## Ventajas

- Adecuado para modelar sistemas complejos (comportamiento macroscópico)
- Adecuado para abordar cuestiones abstractas y consideraciones sociales así como políticas

## Desventajas

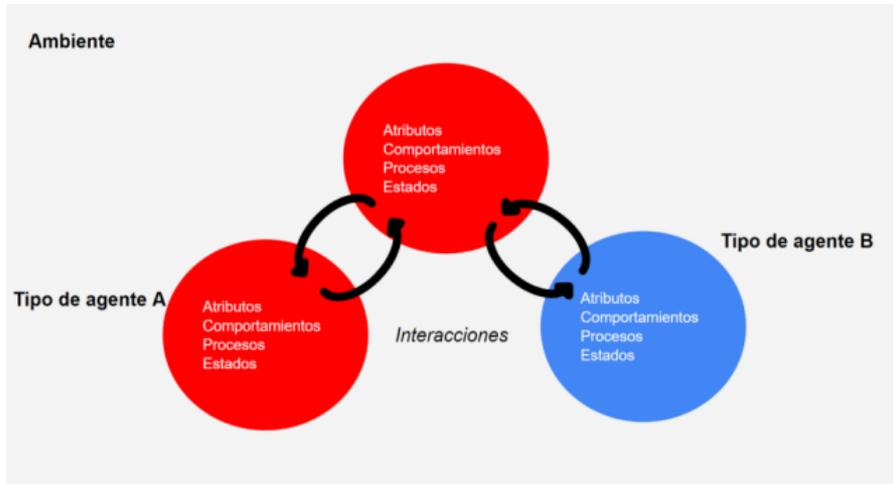
- No es bueno para aspectos detallados del sistema

La **dinámica del sistema** es un enfoque de modelado que se utiliza para modelar sistemas complejos basados en un marco de modelado compuesto por existencias, flujos, variables y ciclos de retroalimentación.

Objetivo → comprender el comportamiento macroscópico del sistema a partir de bucles de retroalimentación anticipados o conocidos en un sistema

<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación para SCM: Simulación basada en agentes (Felkl, 2022)



## Ventajas

- Considera interacciones y propiedades detalladas de los agentes
- Enfoque flexible
- Permite modelos detallados

## Desventajas

- Es caro desde un punto de vista computacional
- No admite colas en el modelo
- No es adecuado para ningún tipo de proceso secuencial
- Menos utilizada

Los estudios de simulación que utilicen este enfoque se centrarán en comprender cómo ciertos comportamientos macroscópicos (por ejemplo, cambio de temperatura, ingresos totales por ventas generados, cantidad total de comercio que tiene lugar en una sociedad, etc.) de un sistema emergen de interacciones microscópicas de agentes individuales.

Esto puede ser relevante para los objetivos de gestión de la cadena de suministro especialmente estratégicos.

<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación para SCM: Simulación Monte Carlo como enfoque de simulación (Felkl, 2022)

---

La **dinámica del sistema** es un enfoque de modelado que se utiliza para modelar sistemas complejos basados en un marco de modelado compuesto por existencias, flujos, variables y ciclos de retroalimentación.

Objetivo → comprender el comportamiento macroscópico del sistema a partir de bucles de retroalimentación anticipados o conocidos en un sistema

## Ventajas

- Adecuado para modelar sistemas complejos (comportamiento macroscópico)
- Adecuado para abordar cuestiones abstractas y consideraciones sociales así como políticas

## Desventajas

- No es bueno para aspectos detallados del sistema

<https://www.supplychaindataanalytics.com/es/tecnica-de-simulacion-para-scm-criterios-de-seleccion-para-analistas-de-scm/>

# Las técnicas de simulación pueden resumirse en:

## Simulación Monte Carlo

- Simulaciones que experimentan con elementos probabilísticos de un sistema, generando números aleatorios para crear valores para esos elementos.
- Basada en el muestreo sistemático de variables aleatorias.

## Simulación por eventos discretos

- Se define el modelo cuyo comportamiento varía en instantes del tiempo dados.
- Los momentos en los que se producen los cambios son los que se identifican como los eventos del sistema o simulación.

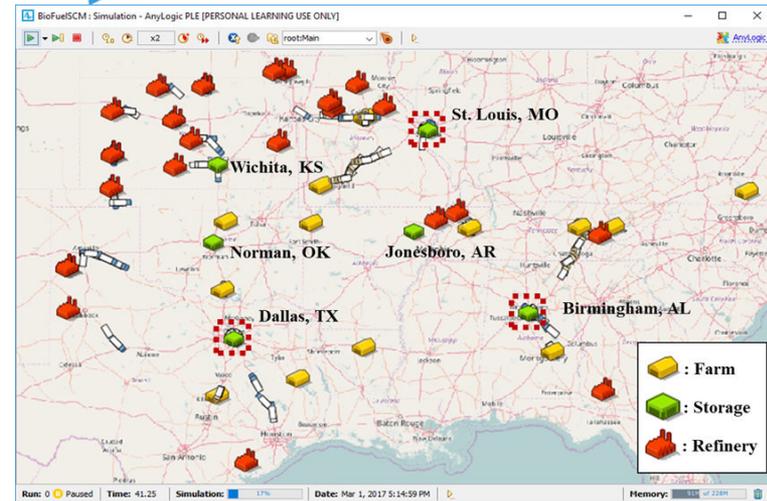
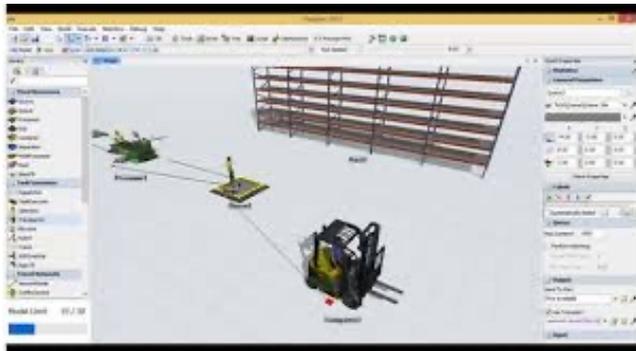
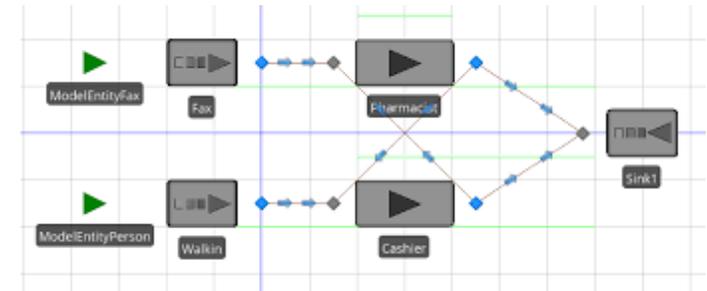
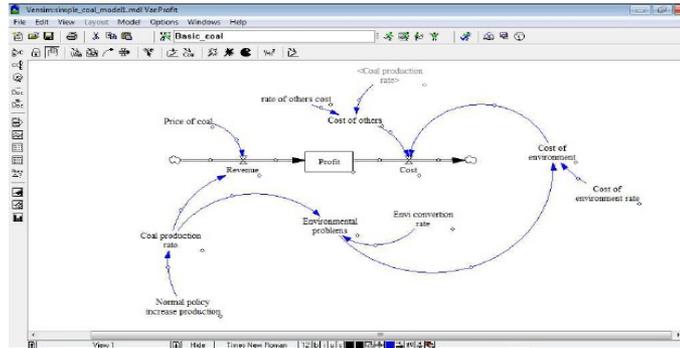
## Simulación continua

- Los estados del sistema cambian continuamente su valor. Estas simulaciones se modelan generalmente con ecuaciones diferenciales.
- Los cambios en el estado del sistema ocurren continuamente en el tiempo
- Ejemplo: simulación de vuelo

## Dinámica de sistemas

- Metodología para analizar y modelar el comportamiento de sistemas complejos a través del tiempo.
- Se basa en la identificación de bucles de realimentación entre elementos, flujos y retrasos de información y materiales dentro del sistema.

# Algunos simuladores más utilizados



## Libros de referencia

---

- 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.
- Render, B. (2016). *Métodos cuantitativos para los Negocios*. Editorial Pearson.
- Taha, H. (2011). *Investigación de Operaciones*. 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
- Hillier, F. & Lieberman, G. (2015). *Investigación de Operaciones*. McGraw-Hill
- Anderson, D. & Sweeny, D. (2019). *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. Cengage
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la Producción y las Operaciones*. McGraw-Hill
- Rees, M. (2015). *Business Risk and Simulation Modeling in Practice*. John Wiley & Sons Ltd
- Serman, J. (2000). *Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill
- Winston, W. (2017) *Microsoft Excel 2016 – Data Analysis and Business Modeling*. Microsoft press
- Slack, N., et al. (2016) . *Operations Management*. Pearson
- Stevenson, W. (2015). *Operations Management*. McGraw-Hill
- Alvarez, H. (2011). *Introducción a la Simulación*. Universidad Tecnológica de Panamá



Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Centro Regional de Chiriquí  
Universidad Tecnológica de Panamá

E-mail: [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)

<https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>