



# Introducción a los Modelos de Simulación

---

Estudio de Sistemas Dinámicos

**JAIME MIRANDA**

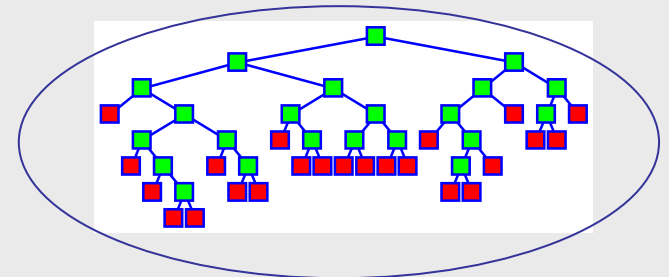
Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de Chile

## PRIMERA CLASIFICACION

- Modelos determinísticos v/s Modelos estocásticos
- Modelos estáticos v/s Modelos dinámicos

## SEGUNDA CLASIFICACION

- Modelos continuos v/s Modelos discretos.



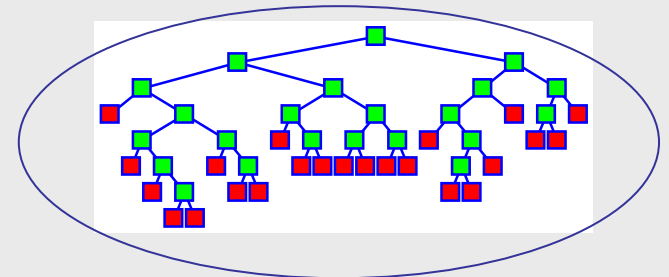
## PRIMERA CLASIFICACION

### → Modelos determinísticos

- Las variables no pueden variar al azar, no contienen probabilidades
- Se suponen relaciones exactas para las características de operación en lugar de una fdp
- La salida del modelo es determinada por las interrelaciones de las variables fijadas con anticipación

### → Modelos estocásticos

- Aquellos modelos en los que por lo menos una de las características de operación esta dada por una fdp
- La salida del modelo también es una variable aleatoria



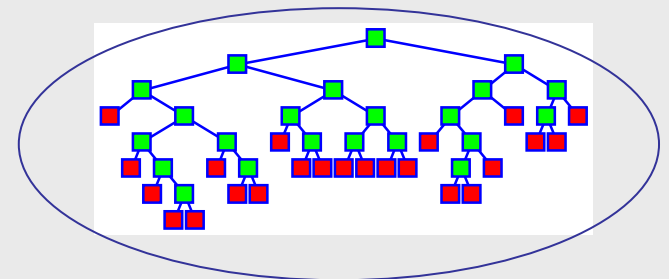
## PRIMERA CLASIFICACION

### → Modelos estáticos

- No tienen en cuenta, explícitamente, a la variable tiempo
- Representación en un momento particular del tiempo

### → Modelos dinámicos

- Los modelos matemáticos que tratan de las interacciones que varían con el tiempo



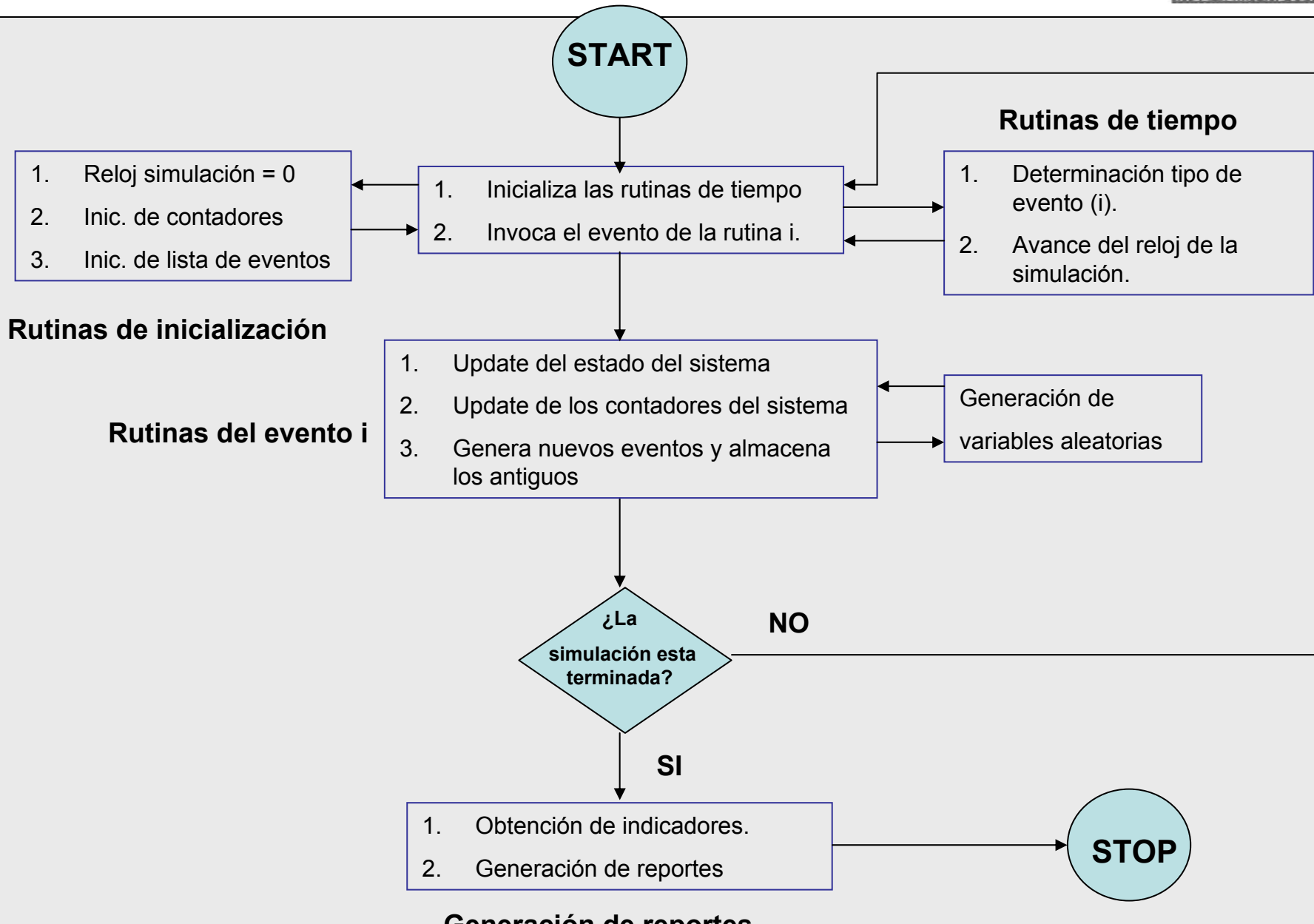
## SISTEMA DISCRETO

- Es un sistema en donde las variables de estado cambian solo en instantes específicos del tiempo
- En forma matemática se podría decir que las variables solo cambien un “número finito” de veces
- Un evento será definido como el instante en donde ocurre el cambio del estado del sistema
- Un ejemplo es la atención de clientes en una cola. El sistema sólo cambia cuando llega o es atendido un cliente

## SISTEMA CONTINUO

- Es un sistema en el cual las variables de estado cambian en forma continua en el tiempo

# ESQUEMA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS



## PRIMEROS SUPUESTOS

- Todos los cajeros poseen las mismas características de atención
- La política de atención es FIFO (“first in first out”)
- Los tiempos entre llegadas de clientes se distribuyen en forma exponencial
- Los tiempos de atención de los cajeros se distribuyen en forma exponencial
- Existe un solo tipo de clientes

**MODELO SIMPLIFICADO**



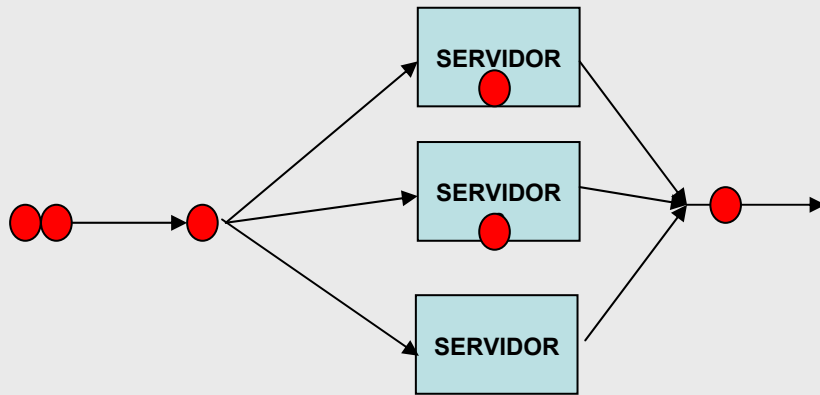
## PARÁMETROS DEL EJEMPLO ( Ejemplo 2 y 3)

- Tiempos entre llegadas entre clientes: Exponencial de media 1 min.
- Atención de servidores exponencial de media 5 min.
- 4 servidores (situación actual)
- Disposición a esperar en cola de clientes 2 min.
- Todos los clientes son iguales
- Todos los servidores son iguales
- Posee capacidad infinita
- Colas FIFO
- Sin prioridad
- Horizonte 1 día (8 hrs.)



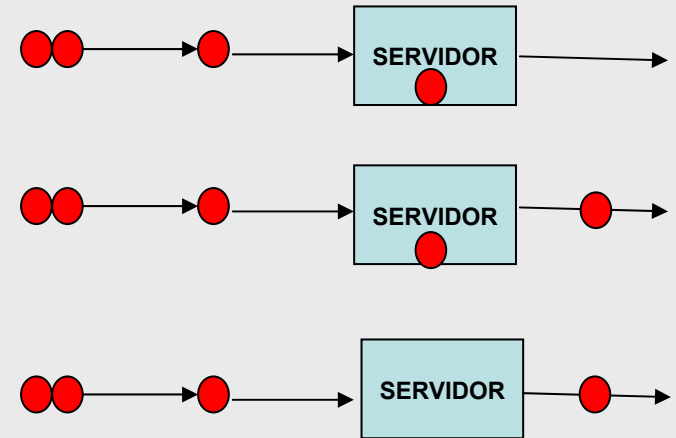


## ARQUITECTURAS BÁSICAS



### CASO 1:

UNA COLA Y  
VARIOS  
SERVIDORES



### CASO 2:

VARIAS COLAS Y  
UN SERVIDOR POR  
COLA



# **SIMULACIÓN EJEMPLO PRACTICO**

---

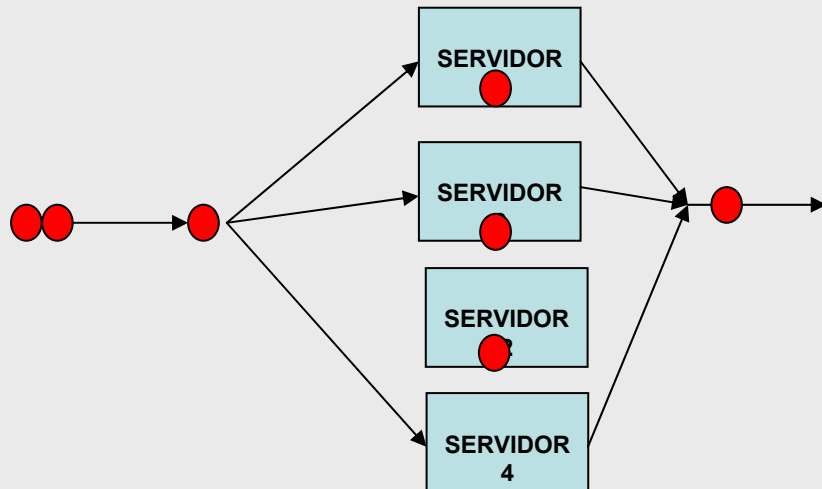
**PRIMEROS RESULTADOS**

**JAIME MIRANDA**

Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de Chile

## CASO 1

### SITUACION ACTUAL

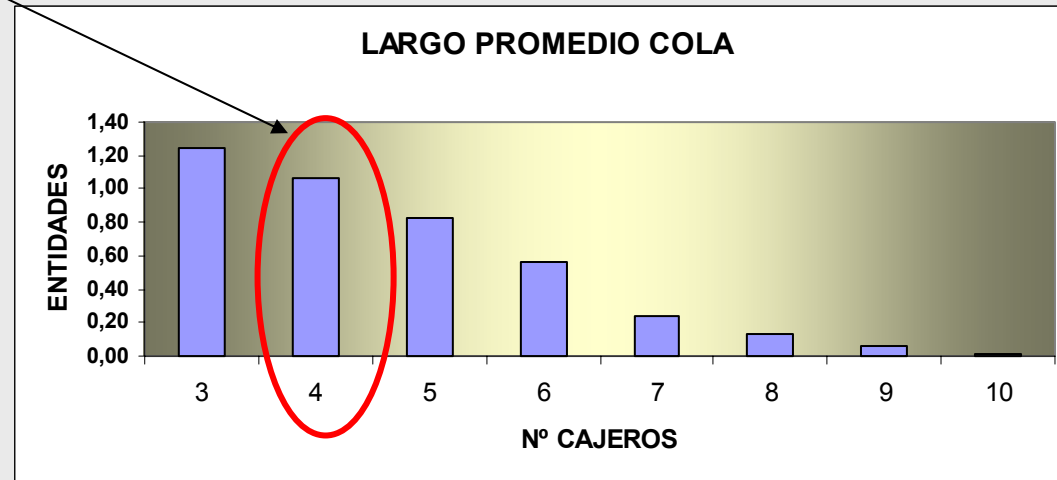
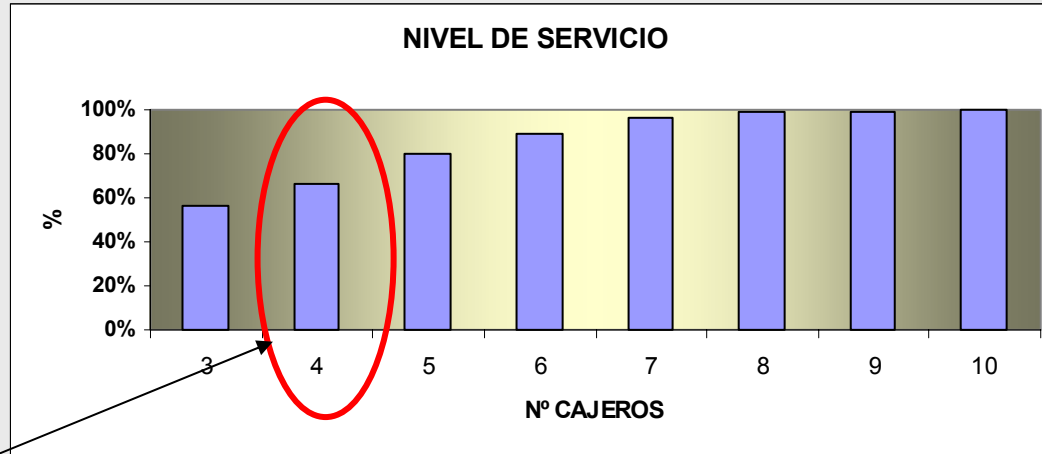


### Algunos indicadores

- Utilización de los servidores
  - 87,38%
- Tiempo promedio en cola
  - 47,8 minutos
- Largo promedio de la cola
  - 50,18 entidades

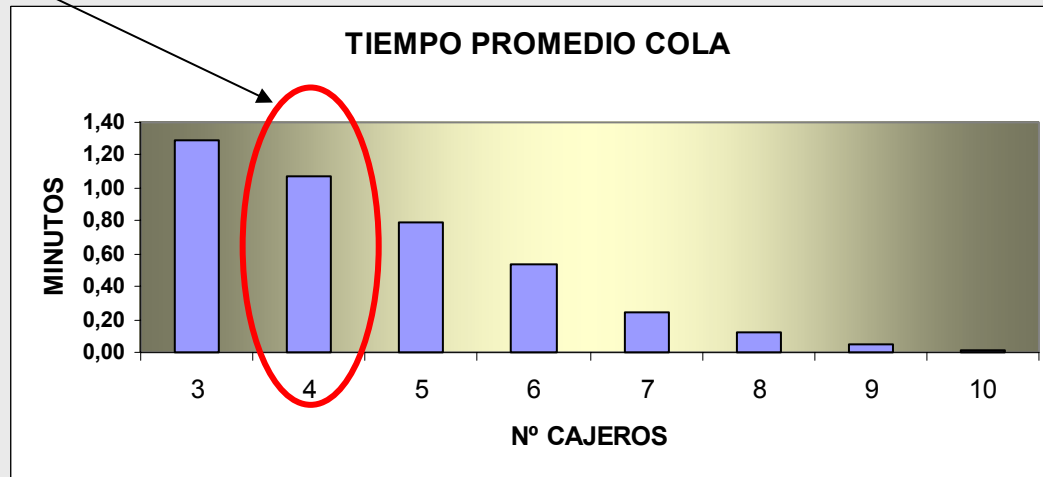
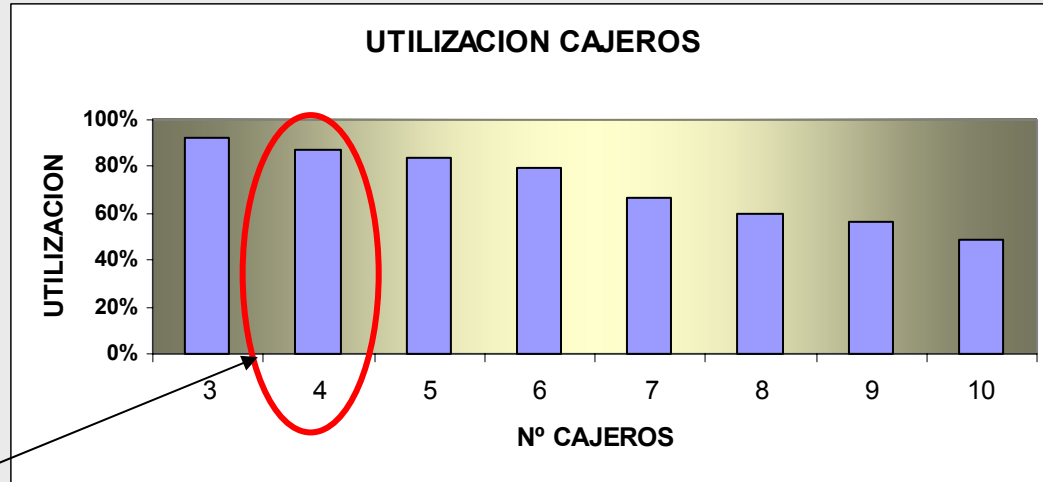
# AJUSTE DE CAJEROS: COMPARACIONES

**SISTEMA  
ACTUAL**



# AJUSTE DE CAJEROS: COMPARACIONES (2)

**SISTEMA  
ACTUAL**



## VENTAJAS

- Conduce a una mejor comprensión del sistema real
- El tiempo de los experimentos es flexible
  - Grado de precisión.
  - Recursos invertidos.
- No interrumpe las actividades en curso del sistema real
  - Se simula una situación artificial.
  - Es posible chequear artificialmente el sistema.
- Es mucho más general que los modelos matemáticos de optimización y puede utilizarse en condiciones no apropiadas para un análisis matemático típico
  - Fuerte trabajo estadístico y computacional.

## VENTAJAS

- Duplicación más realista del sistema
  - Es posible chequear supuestos.
  - Análisis de escenarios favorables y desfavorables.
- Puede utilizarse para situaciones pasajeras
  - Análisis de eventos furtivos
- Están disponibles muchos modelos de paquetes estándar
  - EXTEND
  - ARENA 7.0
  - Service Model

## DESVENTAJAS

- No existe garantía de que el modelo produzca buenas soluciones
  - Por lo general son soluciones sub-optimas.
  - No se resuelve un problema de optimización.
  - Es menos exacta.
- No hay manera de comprobar que el desempeño de un modelo sea completamente confiable.
- Los sistemas complejos pueden ser muy costosos y tomar mucho tiempo.
  - Simular una situación real en variados escenarios es costoso
- Para correr modelos complejos puede necesitarse una gran cantidad de tiempo y recursos.
- Carece de estandarización
  - Soluciones a la medida.

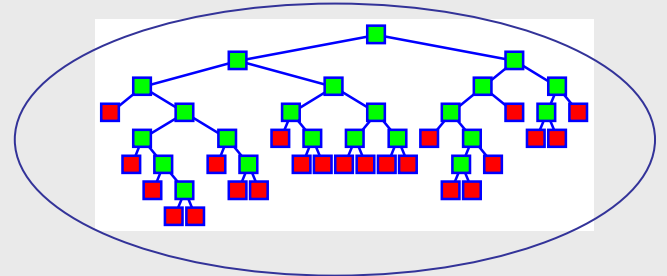


# Introducción a los modelos de simulación

- Definiciones
- Fundamentos básicos
- Propiedades y clasificación de modelos

# Metodología de un estudio de simulación

- Etapas
- Diagramas de flujo





# Introducción a los Modelos de Simulación

---

Estudio de Sistemas Dinámicos

**JAIME MIRANDA**

Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de Chile



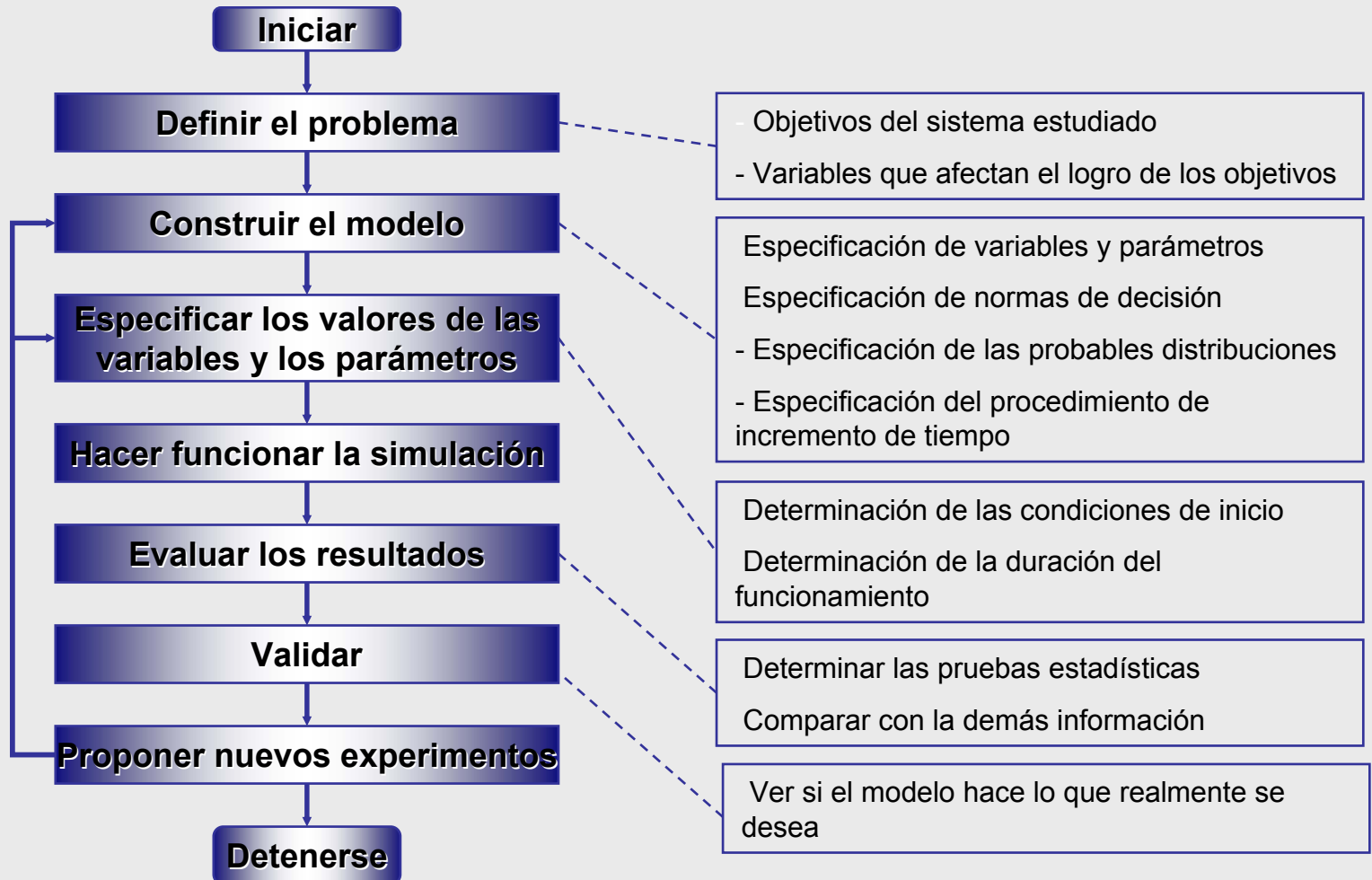
# METODOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO DE UN PROBLEMA DE SIMULACIÓN

---

Estudio de Sistemas Dinámicos

**JAIME MIRANDA**

Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de Chile

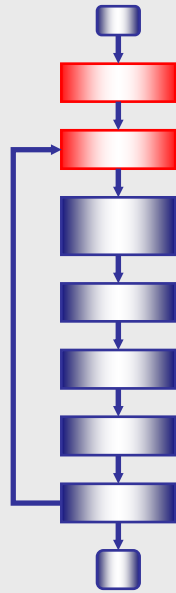


## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

- Especificación de los objetivos y la identificación de las variables pertinentes controlables e incontrolables del sistema en estudio.

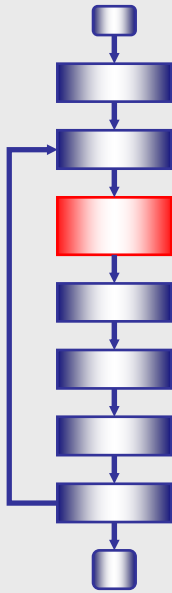
## CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO:

- Determinar qué propiedades del sistema deben ser fijas (parámetros) y cuáles pueden variar durante la simulación (variables).
- Especificación de las reglas de decisión.
- Especificación de las distribuciones de probabilidad.
- Especificación del procedimiento de incremento del tiempo.



## ESPECIFICACIÓN DE LOS VALORES DE VARIABLES Y PARÁMETROS

- Determinación de las condiciones de inicio.
- Determinación de la duración de la simulación.
  - Realizar la simulación hasta que se alcance el estado estacionario o de equilibrio.
  - Realizar simulación durante un período fijo y observar si las condiciones finales parecen razonables.
  - Realizar simulación hasta que se reúna una muestra suficientemente grande para efectos estadísticos.

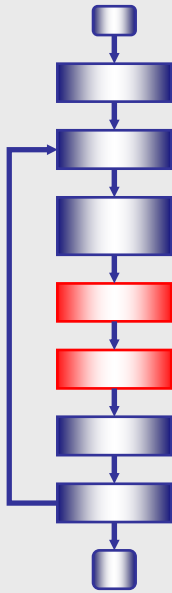


## EVALUACIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados se pueden comparar con datos operativos anteriores del sistema real, con datos operativos del desempeño de sistemas similares y el entendimiento propio del usuario del sistema.
- La única prueba verdadera es qué tan bien se desempeña el sistema después de la implementación de las decisiones tomadas.

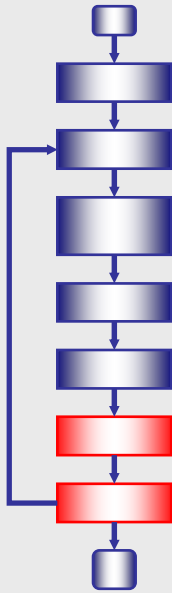
## VALIDACIÓN

- Probar si el programa garantiza que la simulación esté correcta.
- Verificar que el código sea la traducción del modelo de simulación desarrollado.



## PROPUESTAS DE NUEVOS EXPERIMENTOS

- En base a los resultados se pueden realizar nuevos experimentos con cambios en los siguientes factores:
- Parámetros.
  - Variables.
  - Reglas de decisión (mismos números aleatorios).
  - Condiciones de inicio (resultado de una simulación anterior).
  - Duración de la simulación (dos condiciones de estabilidad).



## PROGRAMACIÓN

- Selección del lenguaje de programación, gráficas del flujo, codificación, generación de datos, informes de salida y validación.



## OBSERVACIONES

- Para simular se pueden utilizar dos tipos de distribuciones: las de frecuencia empírica y las matemáticas.
- En un modelo de simulación, el tiempo puede avanzarse mediante dos métodos:
  - Incrementos de tiempo fijos: la simulación prosigue por intervalos fijos de un período de tiempo a otro. Por ejemplo: minutos, horas, días, etc. En cada intervalo se explora por si ocurren eventos.
  - Incrementos de tiempo variables: en este caso el reloj de tiempo se avanza la cantidad de tiempo requerida para que ocurra el siguiente evento.
  - La experiencia sugiere utilizar el primero cuando los eventos ocurren con regularidad o en gran número en el mismo período.



# METODOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO DE UN PROBLEMA DE SIMULACIÓN

---

Estudio de Sistemas Dinámicos

**JAIME MIRANDA**

Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad de Chile