



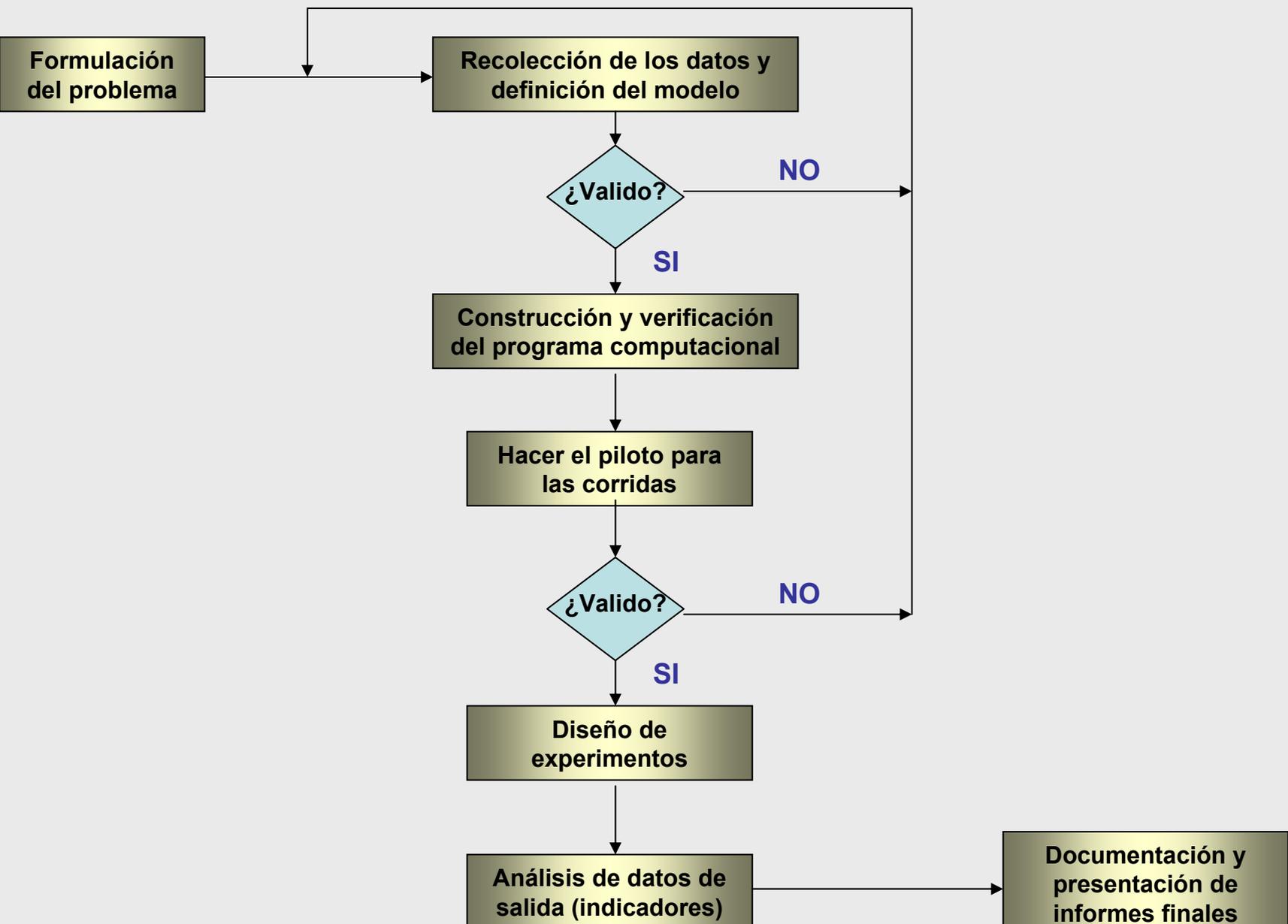
ETAPAS DE UN PROYECTO DE SIMULACIÓN

ESTUDIO DE SISTEMAS DINÁMICOS

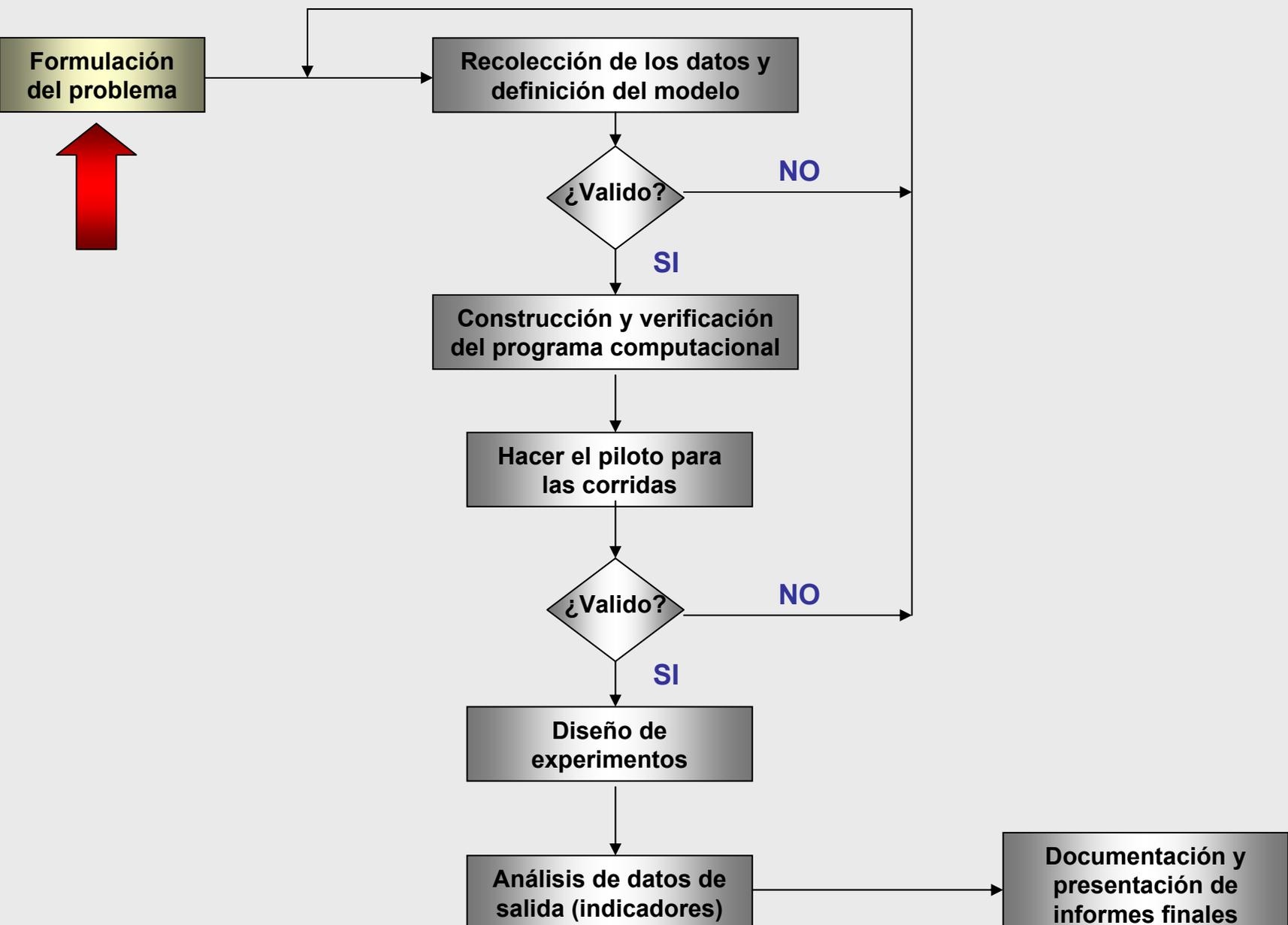
JAIME MIRANDA

Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Chile

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACION



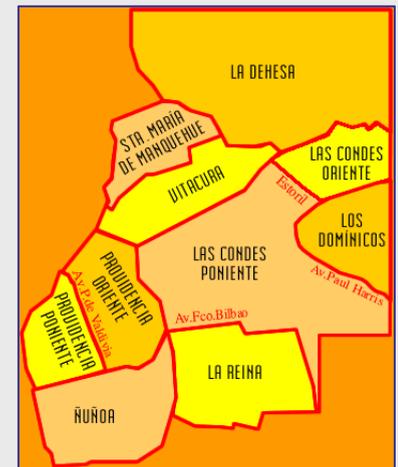
PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACION



UN EJEMPLO PRACTICO

SITUACION (Descripción del problema)

- Nombre de la empresa: MENU EXPRESS
- Negocio: Reparto de comida y souvenir variados
- Característica distintiva: Rapidez (50 min. o gratis)
- Productos
 - Menús de más de 40 restaurantes de Santiago.
 - Regalos variados.
 - Entradas a eventos.



UN EJEMPLO PRACTICO

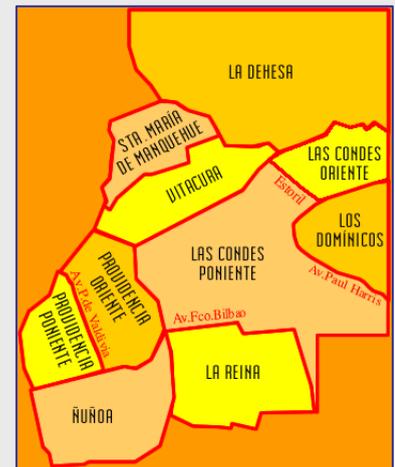
SITUACION (Descripción del problema)

→ Situación actual de operarios

- Dos turnos de trabajo (9:00-15:00 y 16:00-24:00).
- 7 y 25 chóferes el los turnos respectivamente.
- Una telefonista por turno.
- Un asignador de pedidos a chóferes.

→ Ubicación:

- Av. Fco. Bilbao 6407, Las Condes (10 comunas de cobertura).



Establecer Objetivos

Identificar y Priorizar Preguntas Claves

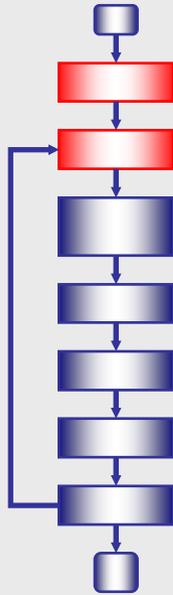
Salidas Requeridas para dar Respuesta Preguntas Claves

Establecer los Límites del Modelo y Restringir los detalles

Especificar las Entradas al Modelo

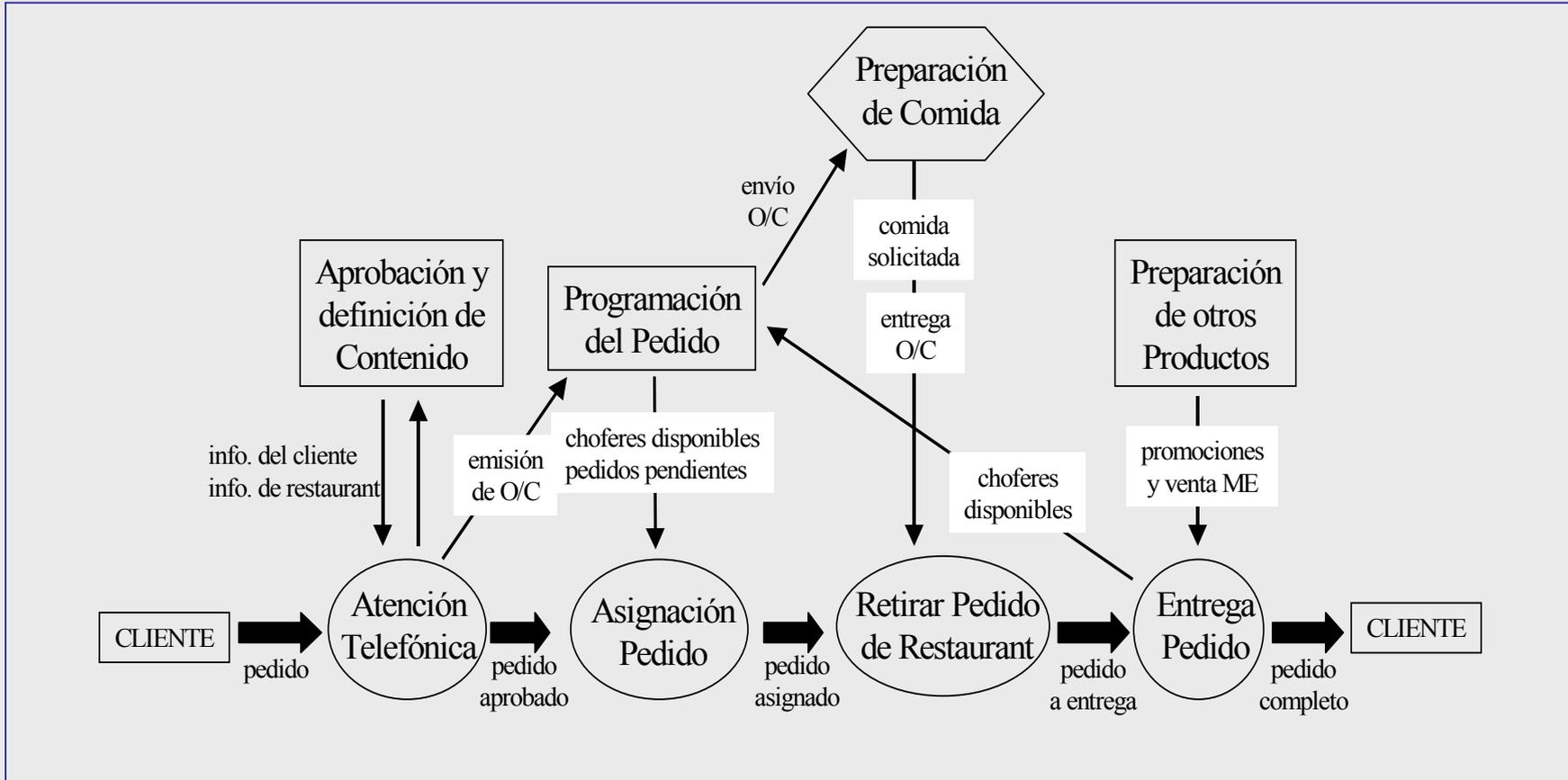
ESTUDIO CAPACIDAD DE CICLO PEDIDO-ENTREGA

- Se necesita estudiar situación actual del sistema.
- Estimaciones sobre la utilización de los recursos de la empresa.
- Búsqueda del número “óptimo” de operarios del sistema.
- Análisis de trade-off:
 - CALIDAD SERVICIO vs COSTOS
 - CALIDAD SERVICIO vs UTILIZACIÓN
- Calidad distintiva: **TIEMPO DE CICLO - 50 min.**
 - Si no se cumple la orden se da gratis.



DESCRIPCION DEL PROBLEMA (2)

EN DETALLE...



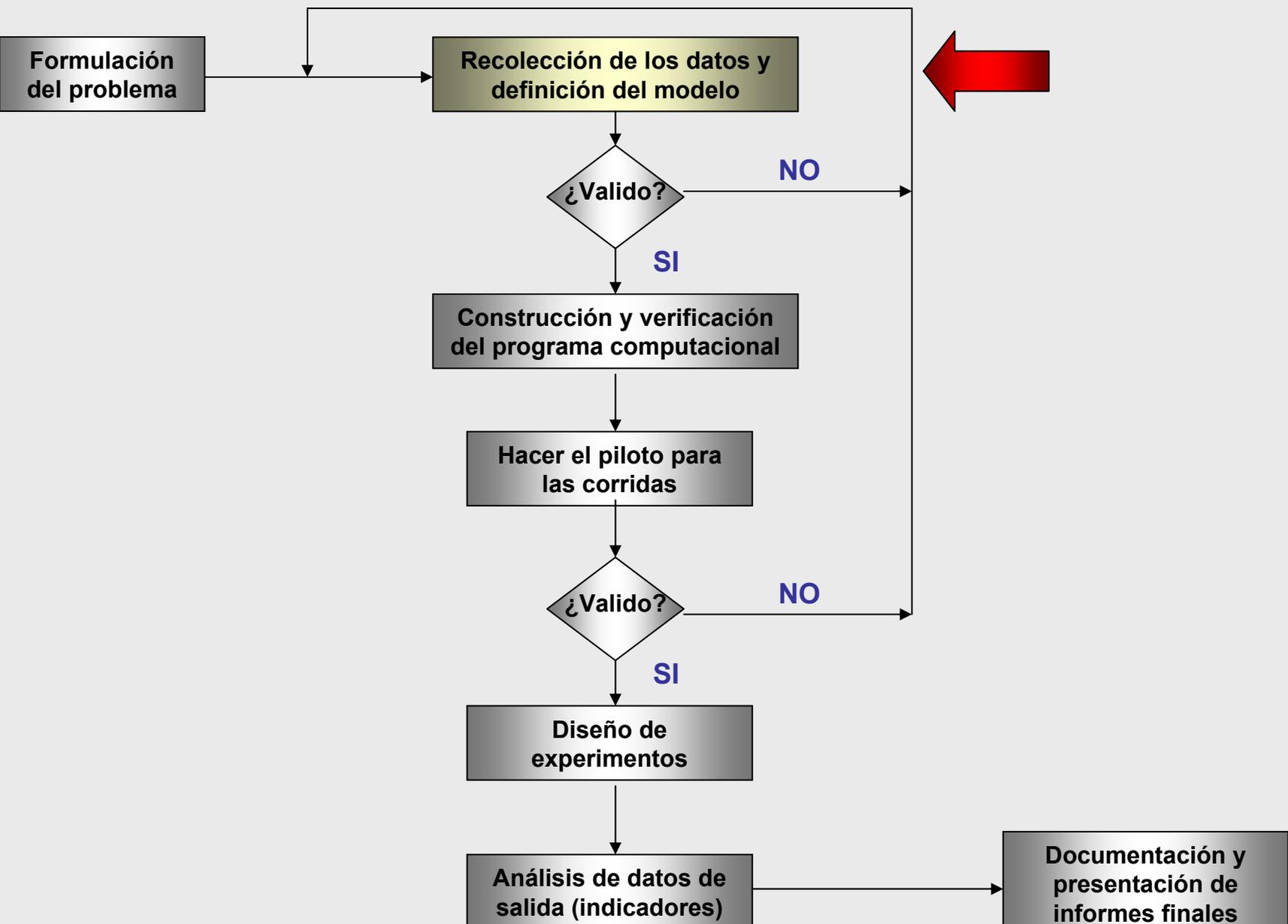
GENERAL

- “Desarrollar un modelo de simulación que permita optimizar el ciclo Pedido-Entrega, realizando con esto una planificación de los recursos productivos de manera optima”

ESPECIFICOS

- Estimar la demanda de pedidos
- Determinar distribuciones que serán de usadas como entradas a los modelos.
- Estimar las variables a usar en el estudio.
- Generar indicadores de desempeño.
- Analizar el trade-off cantidad o uso de los recursos v/s calidad de servicio.
- Proponer mejoras a la Gestión de Operaciones.

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACION



ESTUDIO CAPACIDAD DE CICLO PEDIDO-ENTREGA

- Tiempo de llegada de los pedidos
 - Identificación de la demanda del servicio.

- Ubicación geográfica de los clientes
 - Identificación de zonas geográficas de demanda (ALTAS-MEDIAS-BAJAS)

- Ubicación geográfica de los restaurantes pedidos por los clientes
 - Identificación geográfica de la demanda por restaurantes.

- Tiempo de atención telefónica
 - Depende del tipo de cliente: NUEVO-ANTIGUO.

- Tiempo de asignación de chóferes
 - Se asigna pedido a chofer dependiendo de disponibilidad y ubicación de los chóferes.

ESTUDIO CAPACIDAD DE CICLO PEDIDO-ENTREGA

- Tiempo de preparación de los pedidos por los restaurantes
 - Exógeno a la empresa.
 - Depende del tipo de comida preparada por cada restaurante.
 - Incidencia directa con el tiempo de ciclo.

- Tiempo de viaje del chofer hasta el restaurante
 - Desde la asignación del pedido hasta la llegada al restaurante por parte del chofer.

- Tiempo de viaje desde el restaurante hasta el cliente
 - Desde la salida del restaurante hasta la entrega del producto al cliente.



FUENTES DE INFORMACION

- Ordenes de compra o pedidos.
- Se analizaron 179 O/C.
 - Número de la O/C
 - Hora de Emisión
 - Hora de Entrega (estimada por ME)
- Referencia del Mapa (cuadrante asociado al cliente)
- Restaurante del pedido
- Experiencia de los operadores:
 - Tiempo de atención telefónica para clientes nuevos y antiguos.
 - Tiempo que tarda el restaurante en elaborar el pedido.
 - Tiempo que tarda el chofer en entregar el pedido al cliente.



SISTEMA GEOGRÁFICO UTILIZADO

Cuadrantes Menú Express

5	6	7
13	14	15
21	22	23
29	30	31

Sub-cuadrantes considerados

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Cuadrantes Agregados

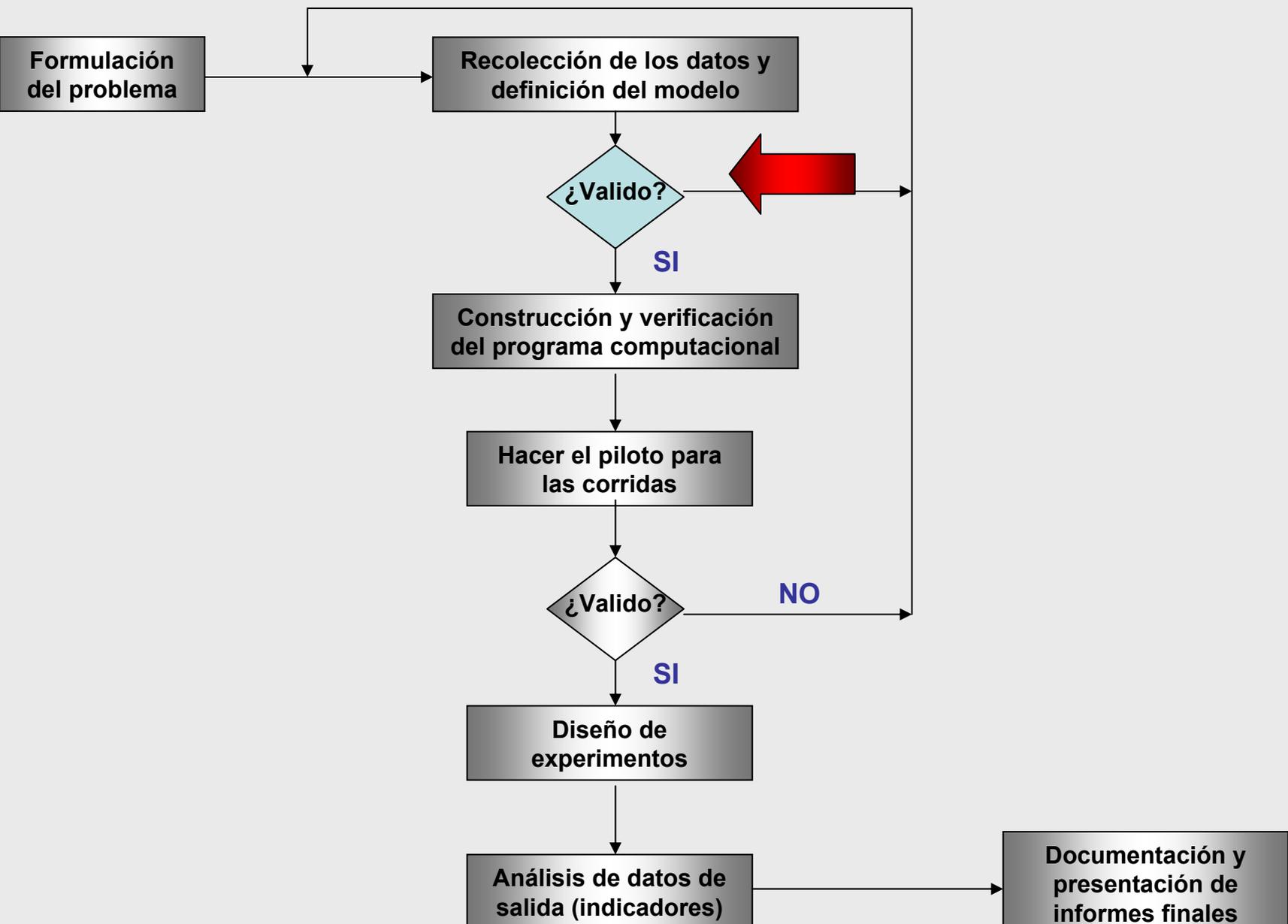
- Sólo estimaciones de los tiempos de viaje.
- Difícil de medir.
- Información geográfica en orden de compra.

Estimación del tiempo de viaje:

$$TV_{Ch-R} = \frac{D_{Ch-R}}{V}$$

$$TV_{R-Cl} = \frac{D_{R-Cl}}{V}$$

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACION



¿A QUÉ DISTRIBUCIÓN SE ASEMEJA?

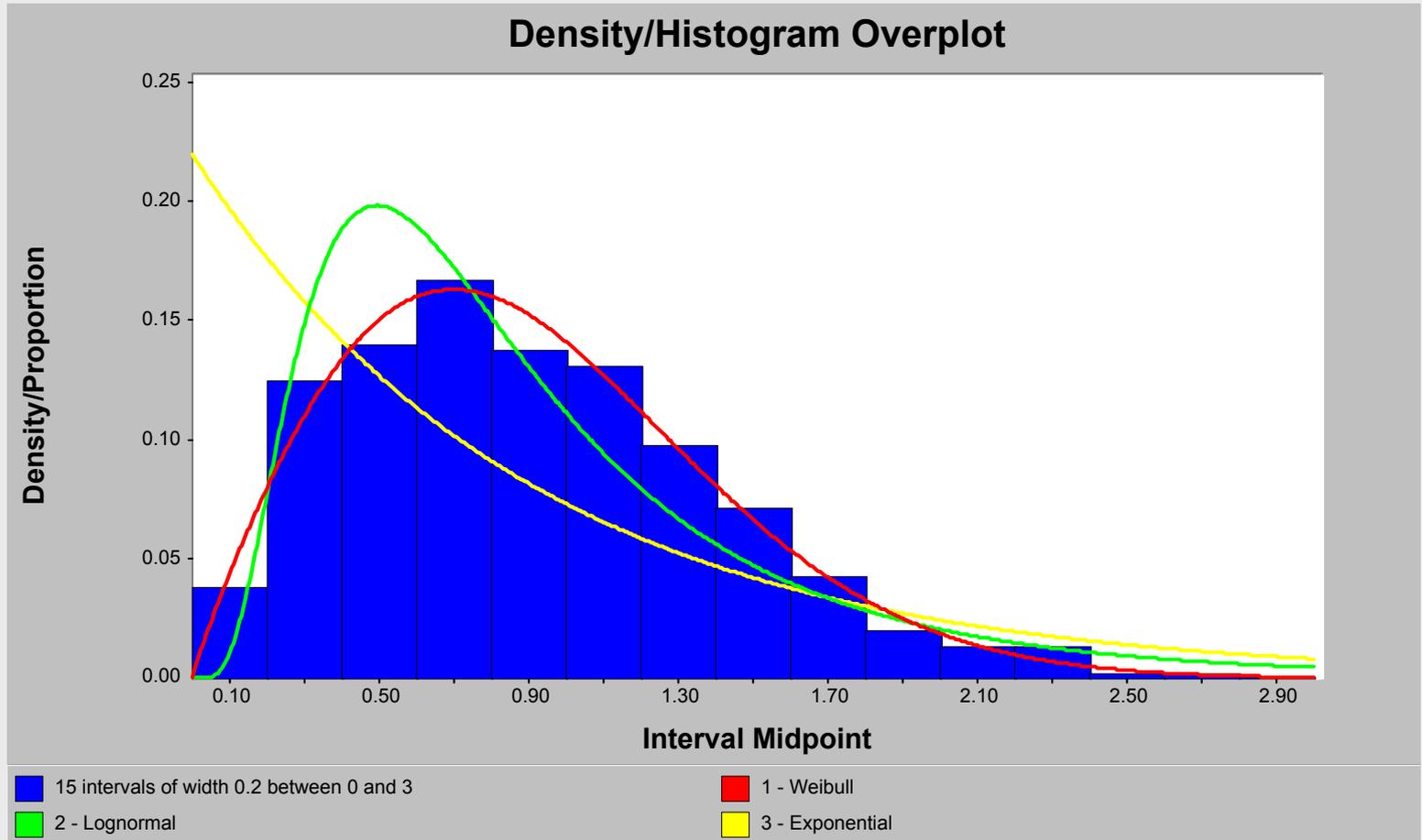


Figura 2. Histograma de densidad para datos de tiempos de servicio.

GENERACIÓN DE VARIABLES ALEATORIAS

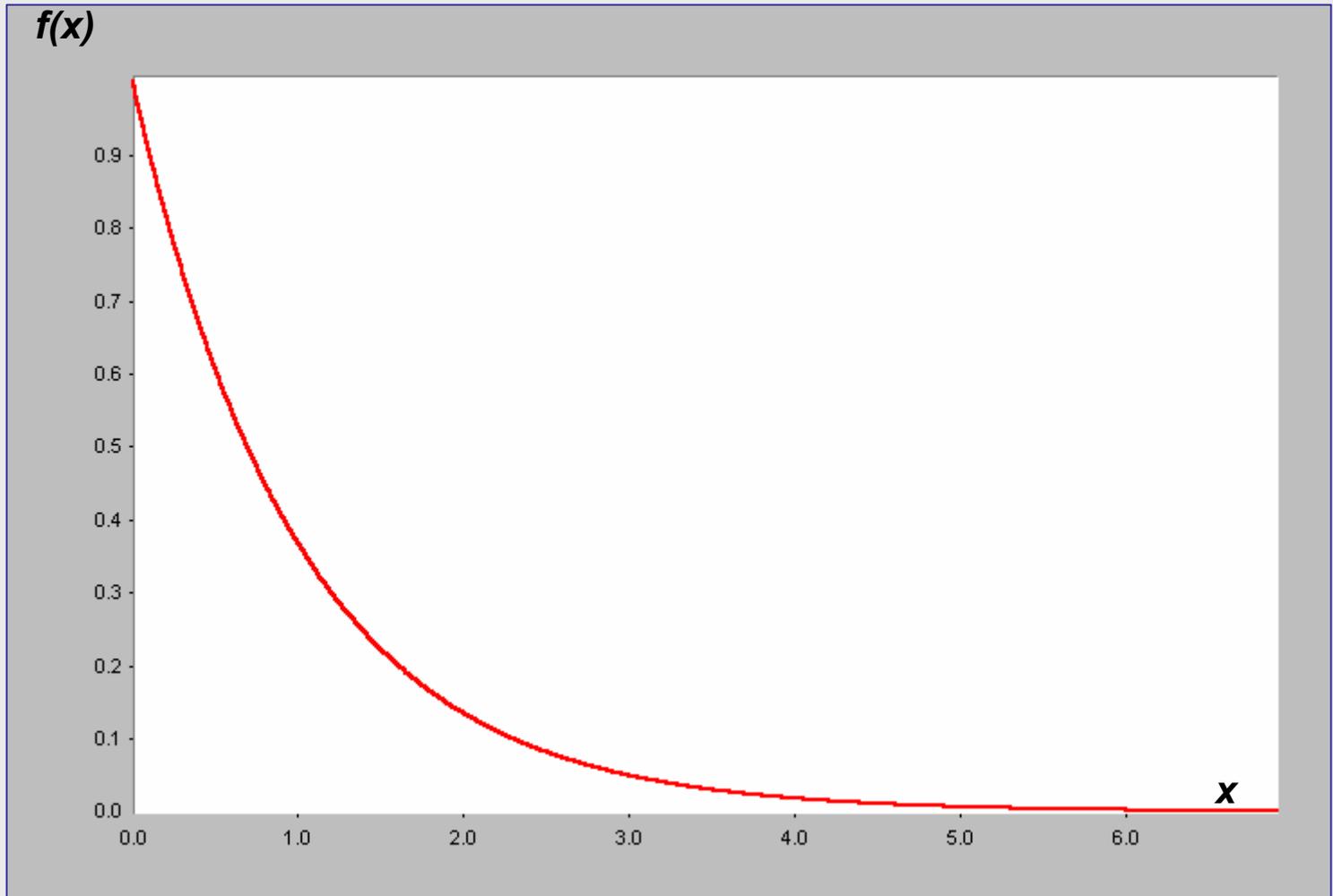
- Generadores de números aleatorios
 - Cuadrados medios
 - Fibonacci.

- Distribuciones clásicas
 - Exponencial
 - Normal
 - Weibull

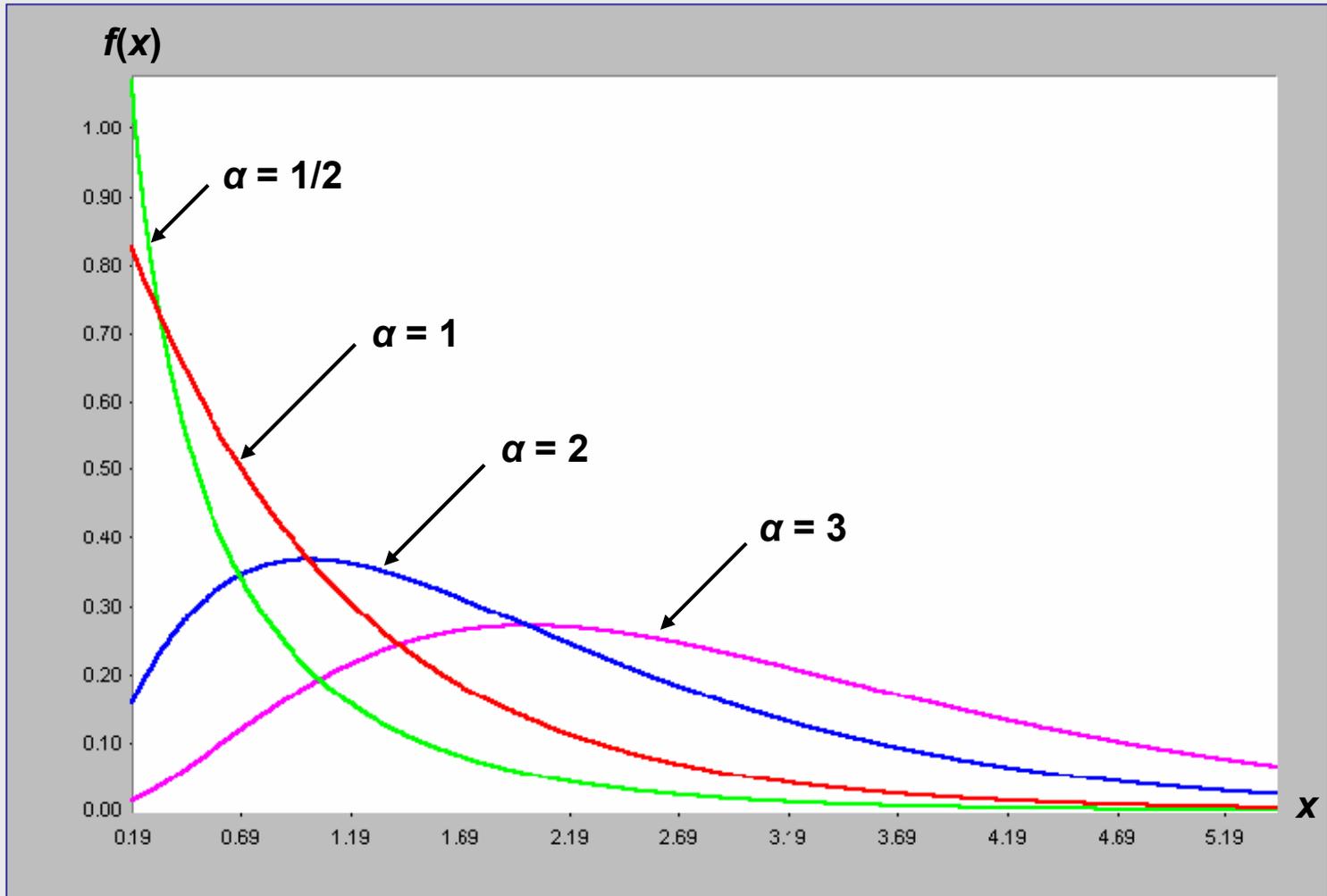
- Histogramas de pedidos en función del tiempo.
 - Determinación de peaks de demanda
 - Verificación de programación de turnos.

- Ajuste de distribuciones: **VARIABLES MEDIDAS**
 - Test Chi-cuadrado
 - Test de Kolmogorov-Smirnov

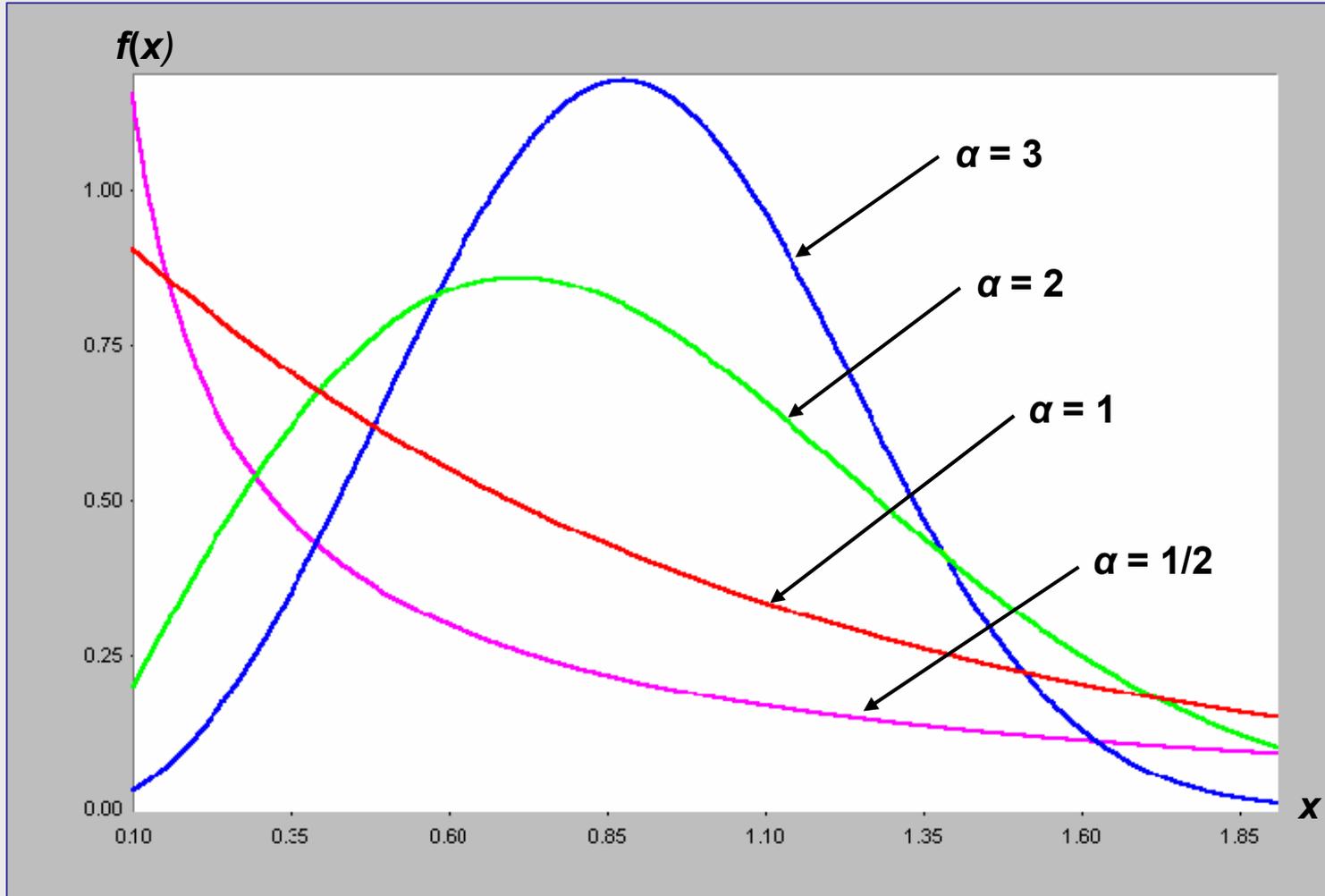
EXPONENCIAL - expo(β)



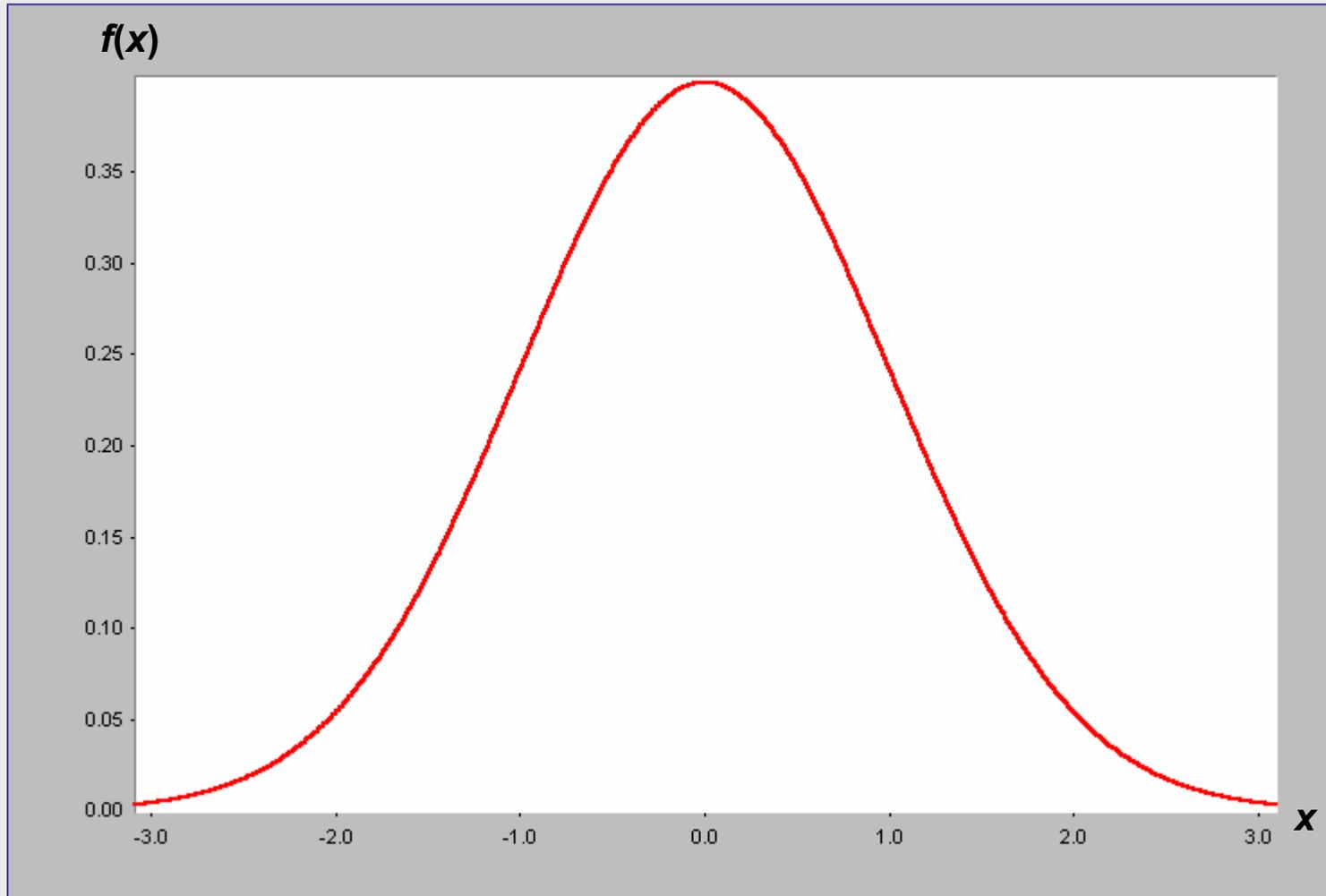
GAMMA - gamma(α , β)



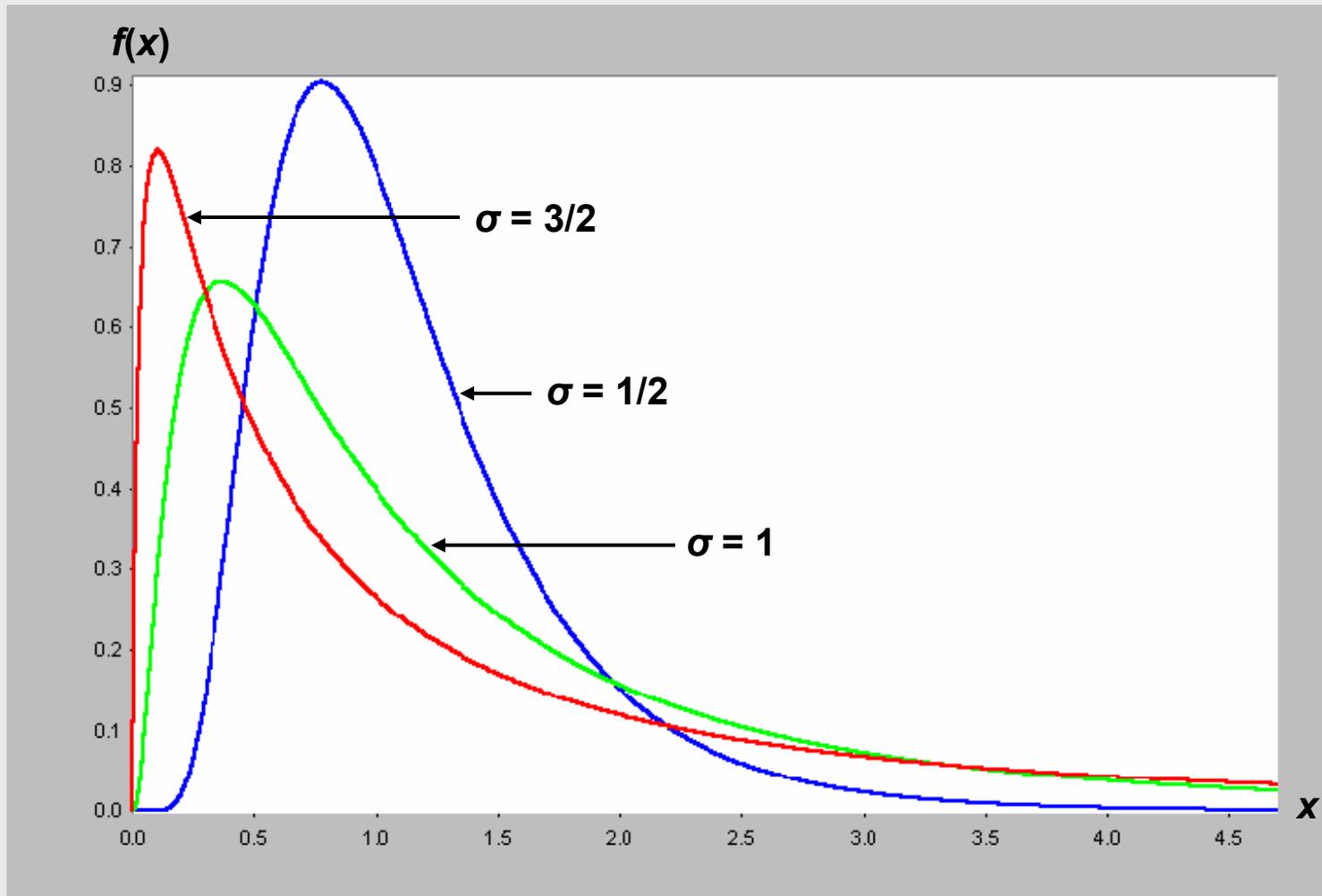
WEIBULL - Weibull(α , β)



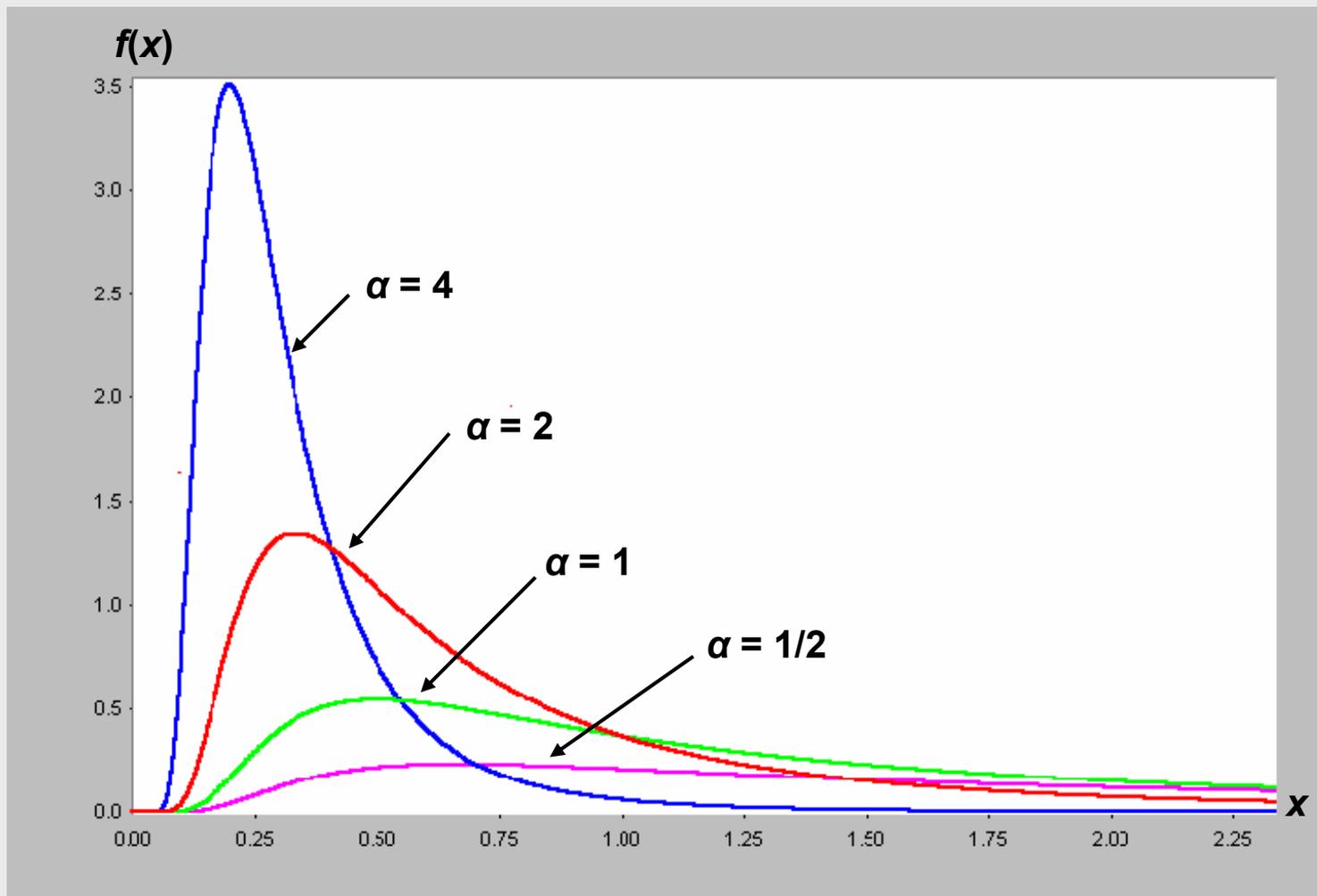
NORMAL - $N(\mu, \sigma^2)$



LOGNORMAL - LN(μ , σ^2)

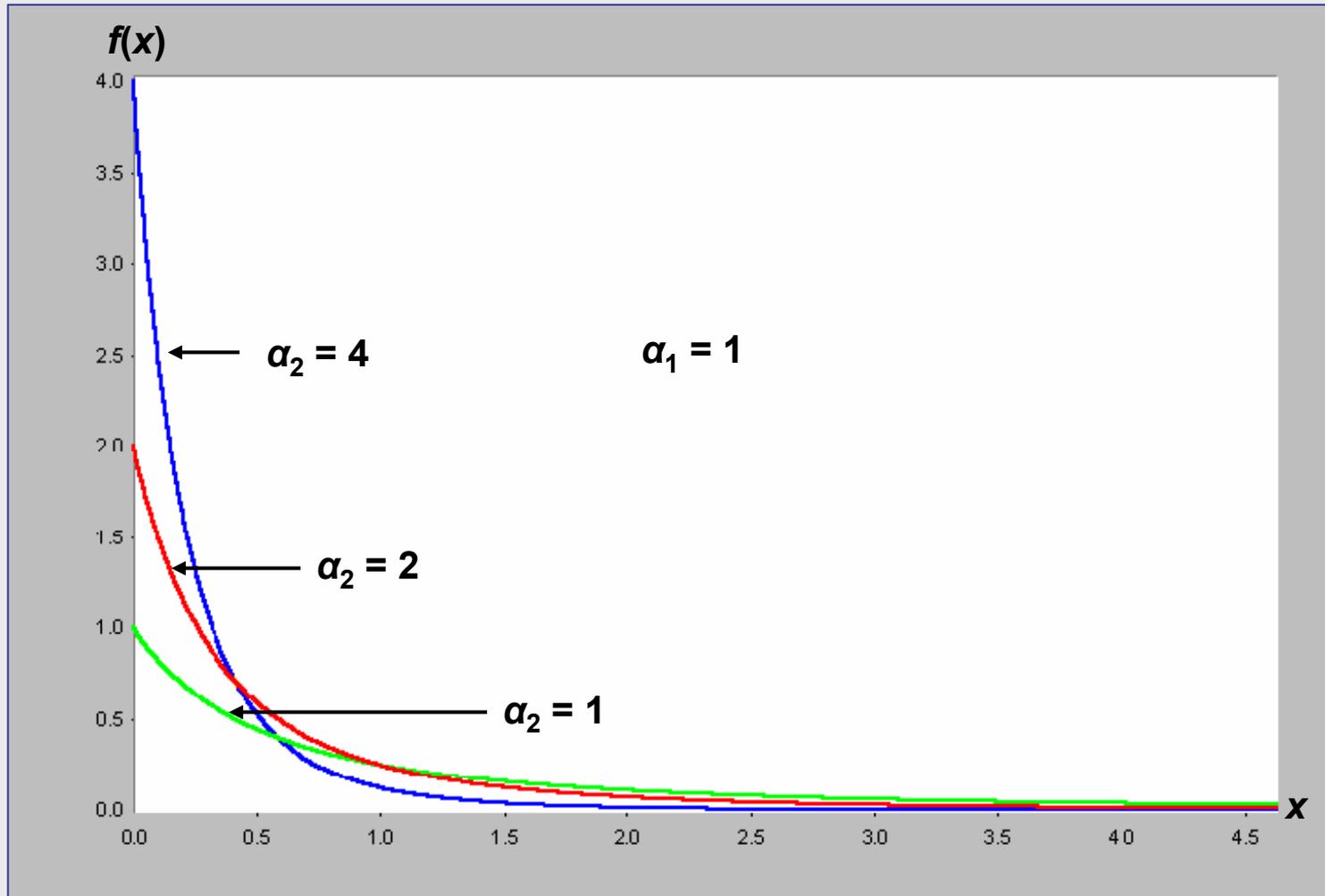


TIPO PEARSON V - PT5(α , β)

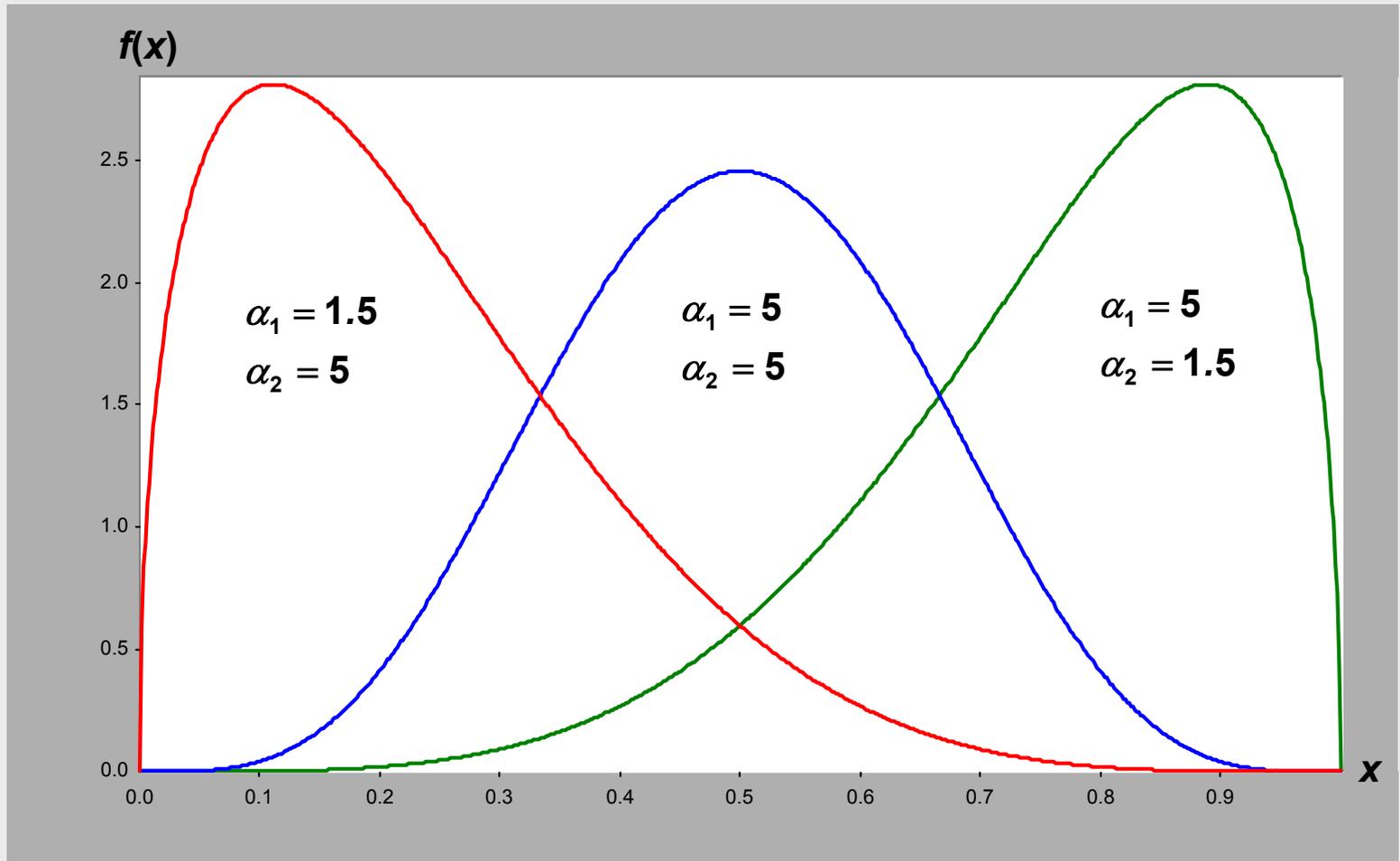


PT5(α , 1) funciones de densidad

TIPO PEARSON VI - PT6($\alpha_1, \alpha_2, \beta$)

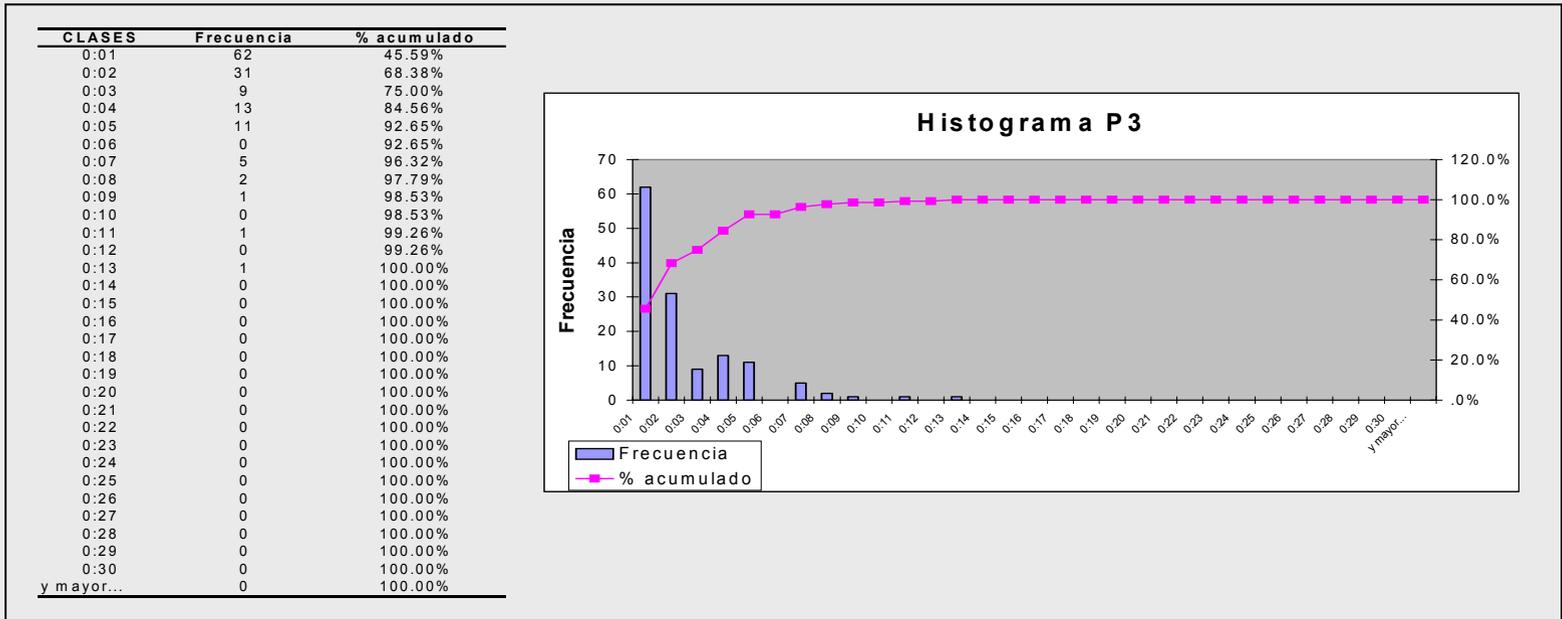


BETA - beta(α_1, α_2, a, b)



beta($\alpha_1, \alpha_2, 0, 1$) funciones de densidad

AJUSTE DE DISTRIBUCIONES: CASO PRACTICO



Hipótesis Ho: Distribución Exponencial con media 1,95 (minutos)

TEST DE AJUSTE DE DISTRIBUCION		
TEST	VALOR ESTADISTICO	VALOR CRITICO (95%)
Chi-cuadrado	25,30	124,34
K_S	1,05	1,09

VALOR ESTADISTICO < VALOR CRITICO



SE ACEPTA LA HIPÓTESIS Ho

AJUSTE DE DISTRIBUCIONES: CASO PRACTICO (2)

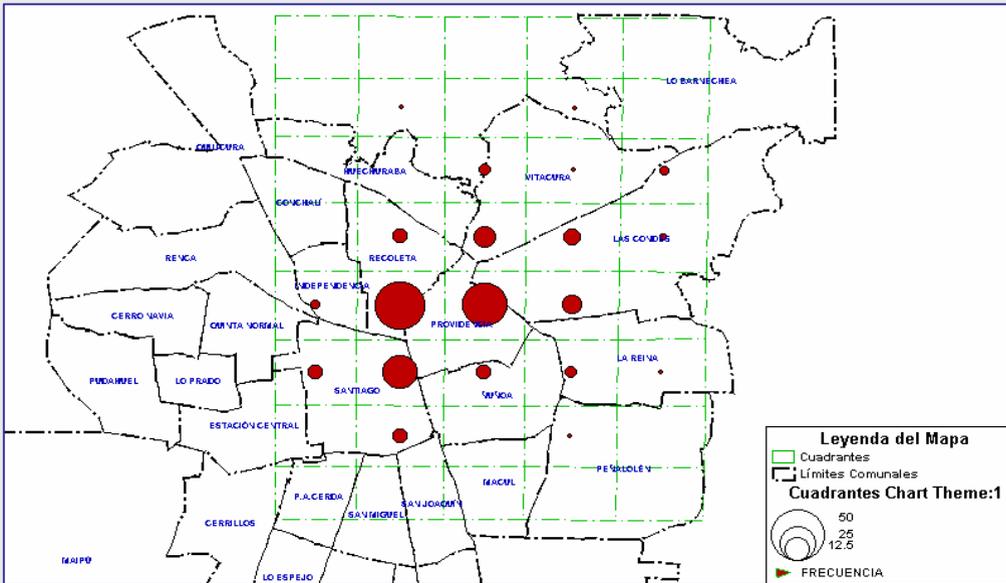
DISTRIBUCIONES EMPÍRICAS

Distribución Geográfica Clientes

$$P_{Ubicación-Cliente} = \frac{PedidosCuadrante}{PedidosTotales}$$

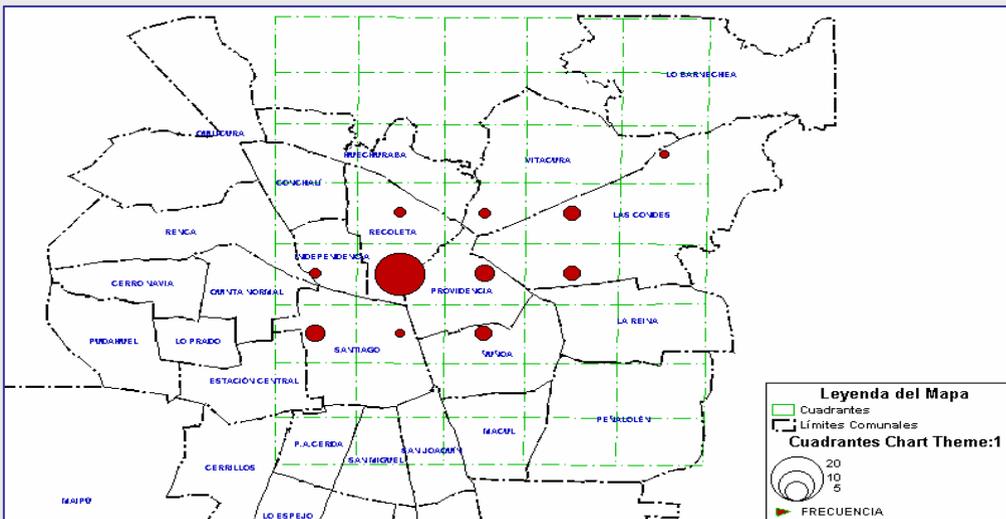
cuadrantes con cero pedido:

$$P = 1/10.000$$



Distribución Geográfica Restaurantes

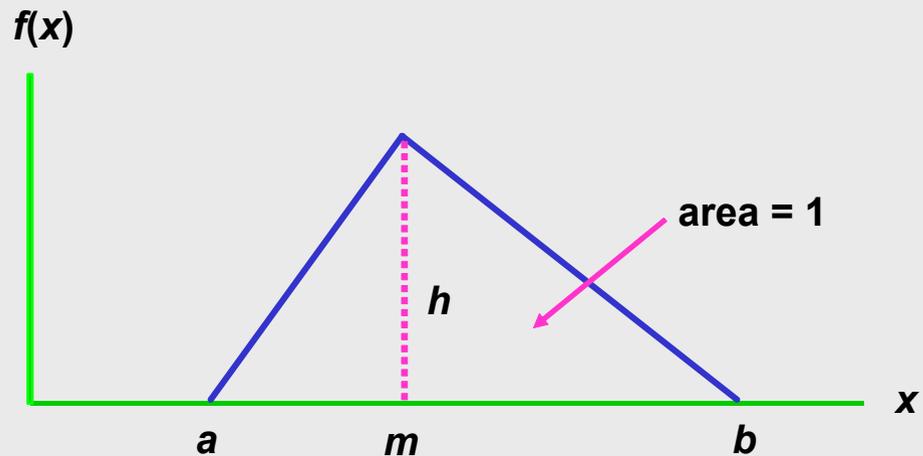
$$P_{restaurante} = \frac{PedidosRestaurante}{PedidosTotales}$$



ELIGIENDO UNA DISTRIBUCIÓN EN LA AUSENCIA DE DATOS

Asuma que la variable aleatoria X es continua y asigne un tiempo para la tarea.
Consulte con un experto en la materia para las siguientes estimaciones subjetivas:

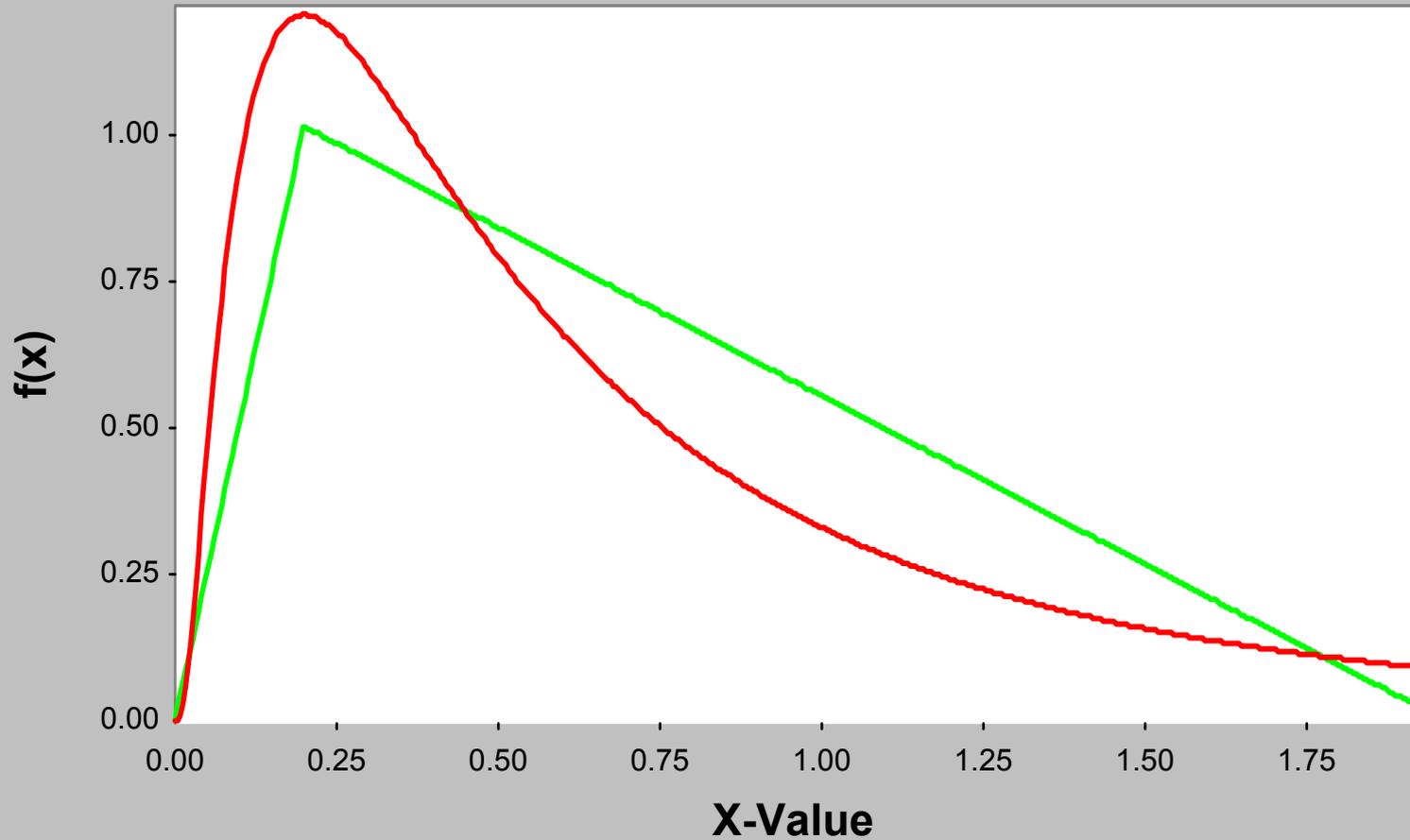
- a = tiempo mínimo de tarea
- b = tiempo máximo de tarea
- m = tiempo probable de tarea (modo)



DISTRIBUCIONES TRIANGULARES

TIEMPOS			
	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Tiempo Más Probable
TATelefN	5	15	11
TATelefV	1	12	5
TAPedidoCH	1	15	6
TRestRapido	10	15	12
TRestMedio	15	20	18
TRestLento	18	30	25
TChRest	3	5	4

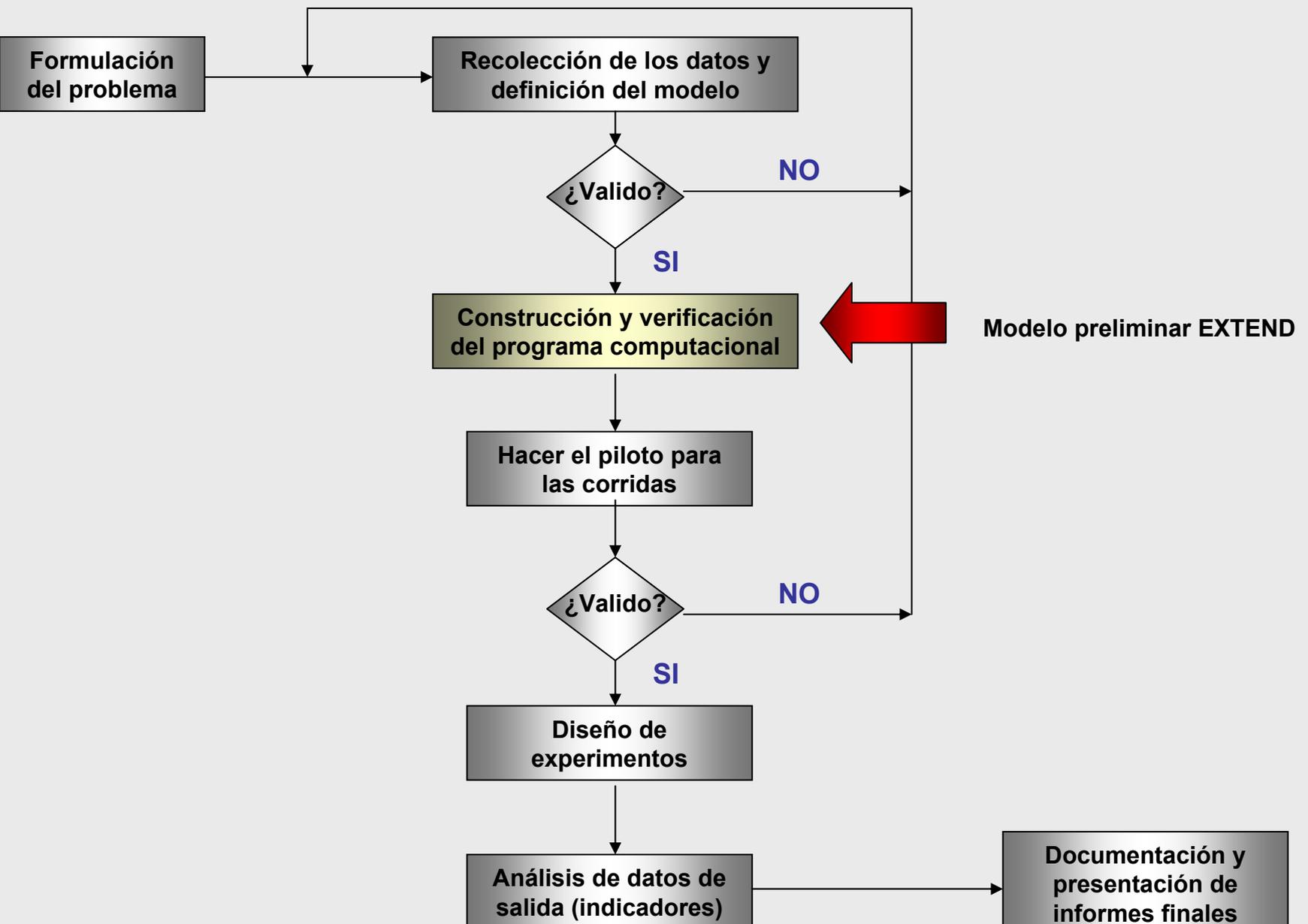
Density Function Plot



1 - Lognormal

2 - Triangular

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACION



El Modelo conceptual se traduce a un modelo computacional utilizando:

- Lenguajes de propósito general: Visual Basic, C++, Delphi.
- Paquetes comerciales de aplicación: Arena, ServiceModel, Extend y otros.

En el segundo caso se debe tener en cuenta que cada paquete de aplicación tiene su propia lógica o filosofía de construir un modelo de simulación aportando “constructos” ad-hoc



FOCO EN EL PROBLEMA

→ Construir el modelo no es la tarea principal; lo es encontrar la solución correcta.

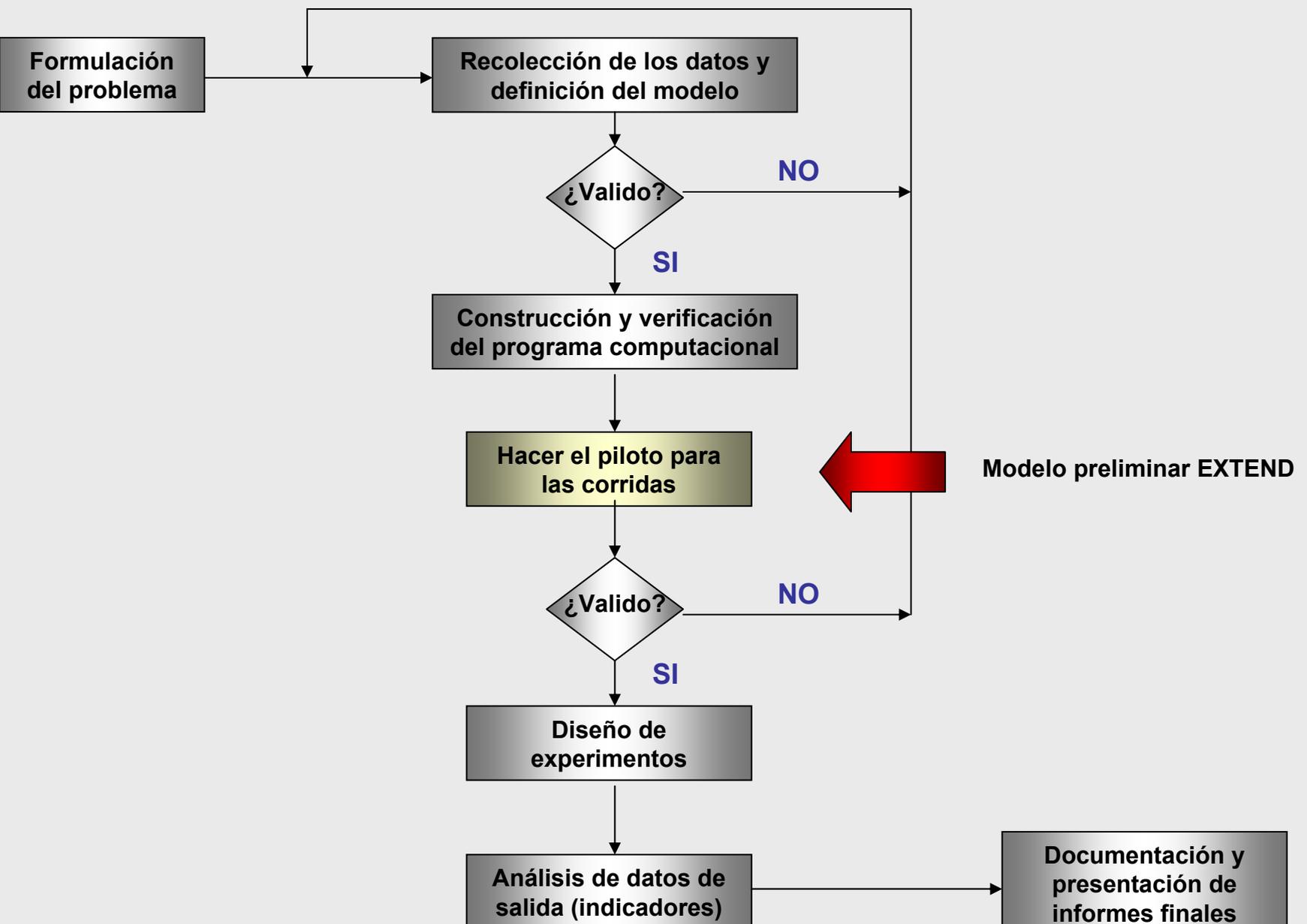
PARTIR CON UN MODELO SIMPLE

→ Agregar el detalle; no partir con él

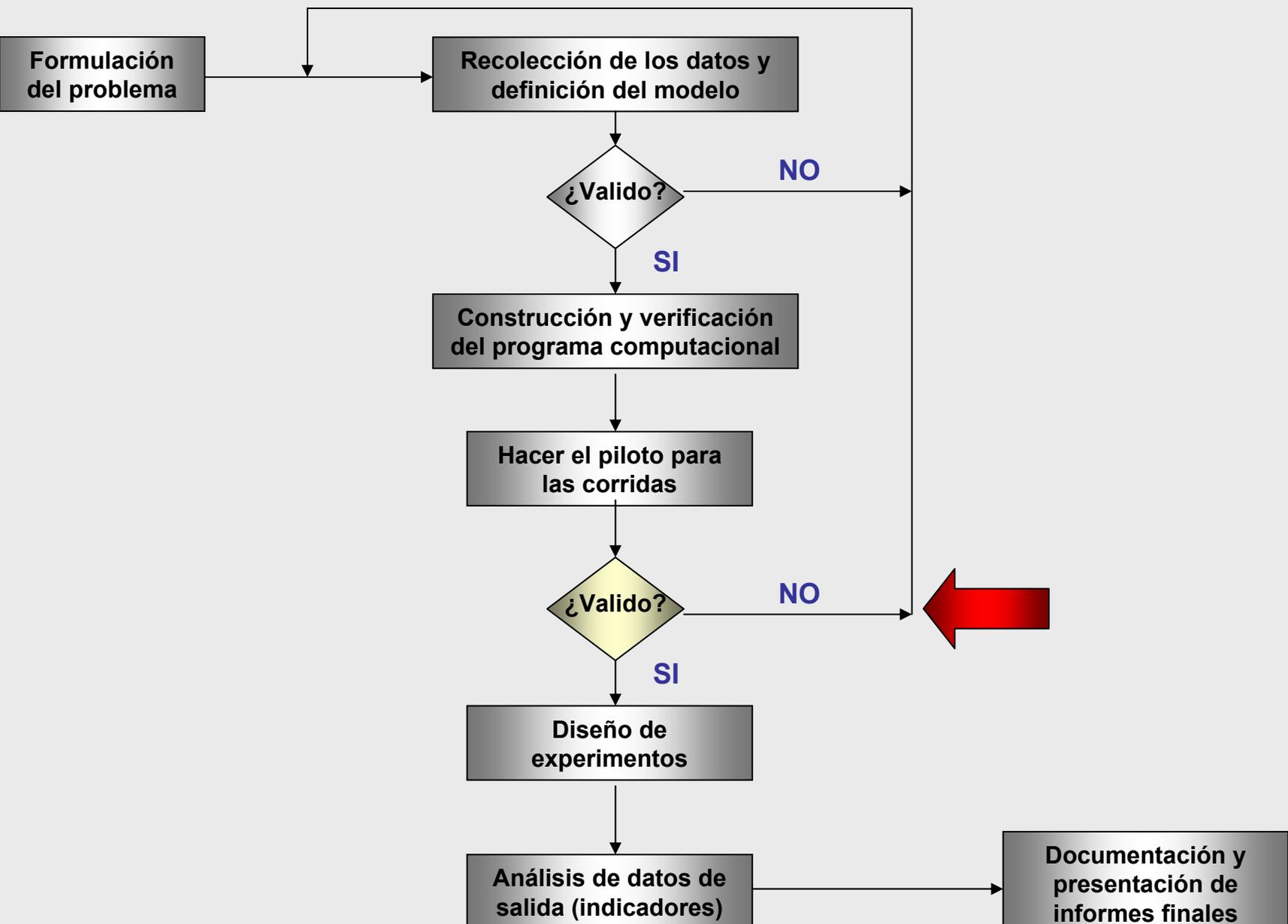
FRENAR LA COMPLEJIDAD

→ No permitir que el modelo se vuelva complicado compensando un mal diseño, o tan complejo que va más allá de la posibilidad de implantarlo

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN



PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN



¿El modelo computacional hace lo que realmente pensamos?

- Ver que el modelo de simulación este bien construido respecto a las situaciones simuladas.
- ¿Los datos de entrada y salida son representativos del sistema real?
- Algunas cosas a observar:
 - Entidades generadas.
 - Tiempos de ejecución de actividades.
 - Trayectorias y flujos de entidades.



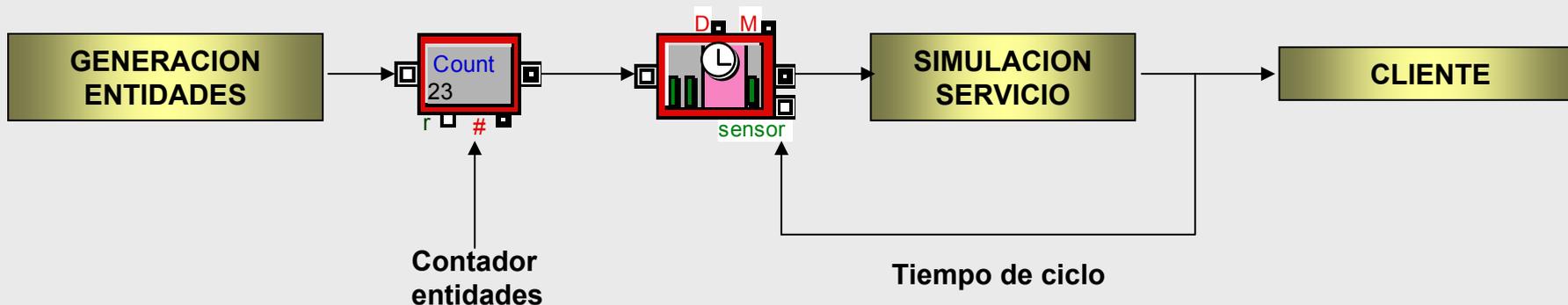
Algunas técnicas utilizadas son:

- Verificación por módulos (niveles jerárquicos).
- Incorporación de elementos de testeo al modelo computacional (count)
- Corrida de un modelo simplificado.
- Animación de la simulación.



En Menú Express:

- Verificar los tiempos de ciclo
 - ¿Se cumple la cualidad distintiva en el modelo? (menos de 50 minutos).
- Verificar flujos y trayectorias de pedidos
 - Filtros de entrada
 - Pedidos-Chóferes
- Verificar las entidades generadas
 - Contadores- distribuciones experimentales



¿El modelo de simulación representa la realidad del sistema?

- Trade-off: Complejidad vs. similitud a la realidad
 - Consideraciones difíciles de implementar
 - Tiempos designados (recurso limitado)
 - Solución demasiado trivial (M/M/1)

SOLUCIÓN

- Generación de indicadores de desempeño y medidas de control.
- Es posible calibraciones del modelo.

UTILIZACIÓN DE INDICADORES

- Control del comportamiento del sistema.
- Estimación de métricas importantes del estudio
 - % de utilización
 - Largos y tiempos promedios en cola.
 - Tiempos promedio de ciclo.



Algunos indicadores utilizados en Menú Express

INDICADORES USADOS	
NOMBRE	DESCRIPCION
Número de entidades atendidas	Cantidad de clientes atendidos por las telefonistas
Número de entidades "Renegadas"	Clientes que abandonan por no ser atendidos
Tiempos de ciclo	Tiempo promedio de ejecución de una tarea
Número de atrasos	Pedidos que sobrepasan los 50 min. De entrega
Utilizaciones	Utilización de los recursos del sistema

Se realizaron ajustes a través de la velocidad de los chóferes y la congestión vehicular

PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

→ Compara los datos de salida de los modelos vs. Datos reales del sistema

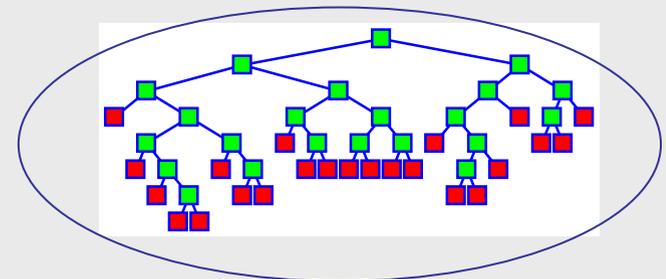
Métodos estadísticos “No formales”

→ Inspección.

- Frecuencias-Histogramas.
- Medias y varianzas muestrales.

→ Inspección correlacionada:

- Busca reemplazar las distribuciones experimentales con las llegas reales de las entidades al sistema.
- Analizar las diferencias entre ambos.



Métodos estadísticos “Formales”

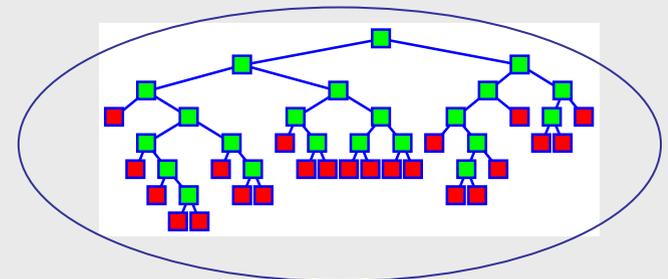
→ Intervalos de confianza

→ Más confiable-Necesita mucha información (datos).

→ Se comparan las medias de cada medición (real-simulada).

→ Si el valor 0 se encuentra dentro del intervalo construido la diferencia no es estadísticamente significativa.

→ En caso contrario la diferencia si es significativa estadísticamente, por lo que no representa al sistema real.



PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

→ Técnicas usadas:

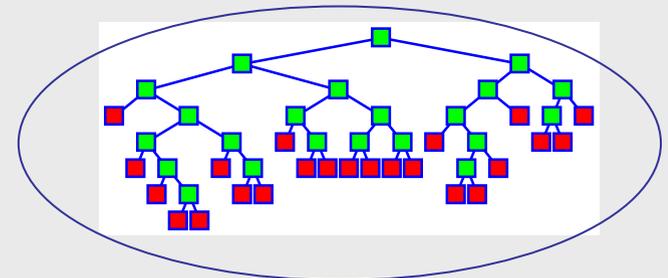
→ Series de tiempo (regresiones)

- Estudios supervisados.
- Se busca encontrar una función que describa el comportamiento de algún indicador (p.ej. % de renegados en del sistema).
- Se determinar relaciones entre el conjunto de variables del sistema.

$$Y = f(x)$$

→ Métodos de solución

- Modelos ARIMA (Box & Jenkins)
- Árboles de decisión.
- Redes neuronales artificiales.

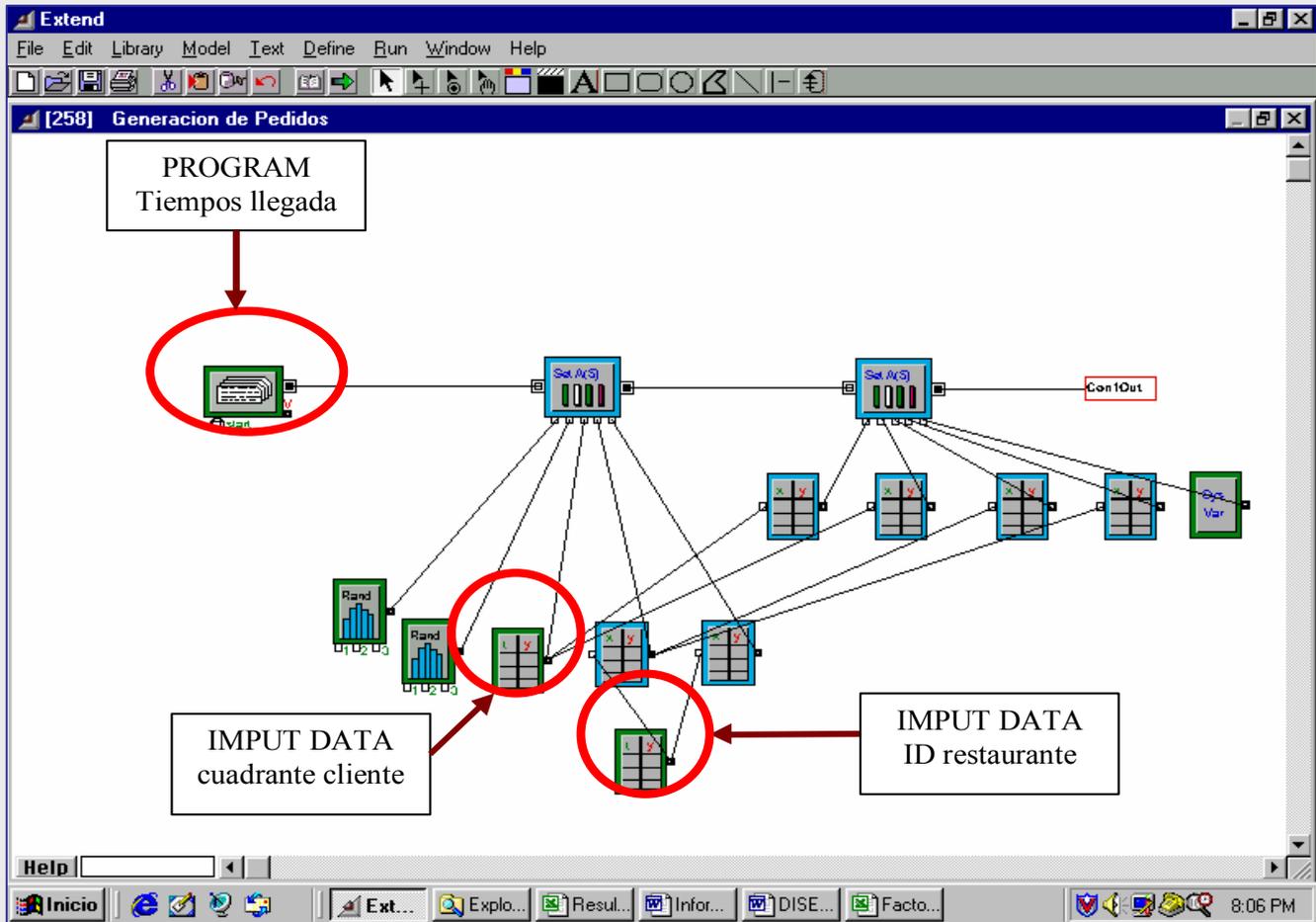


TECNICA UTILIZADA: INSPECCION CORRELACIONADA

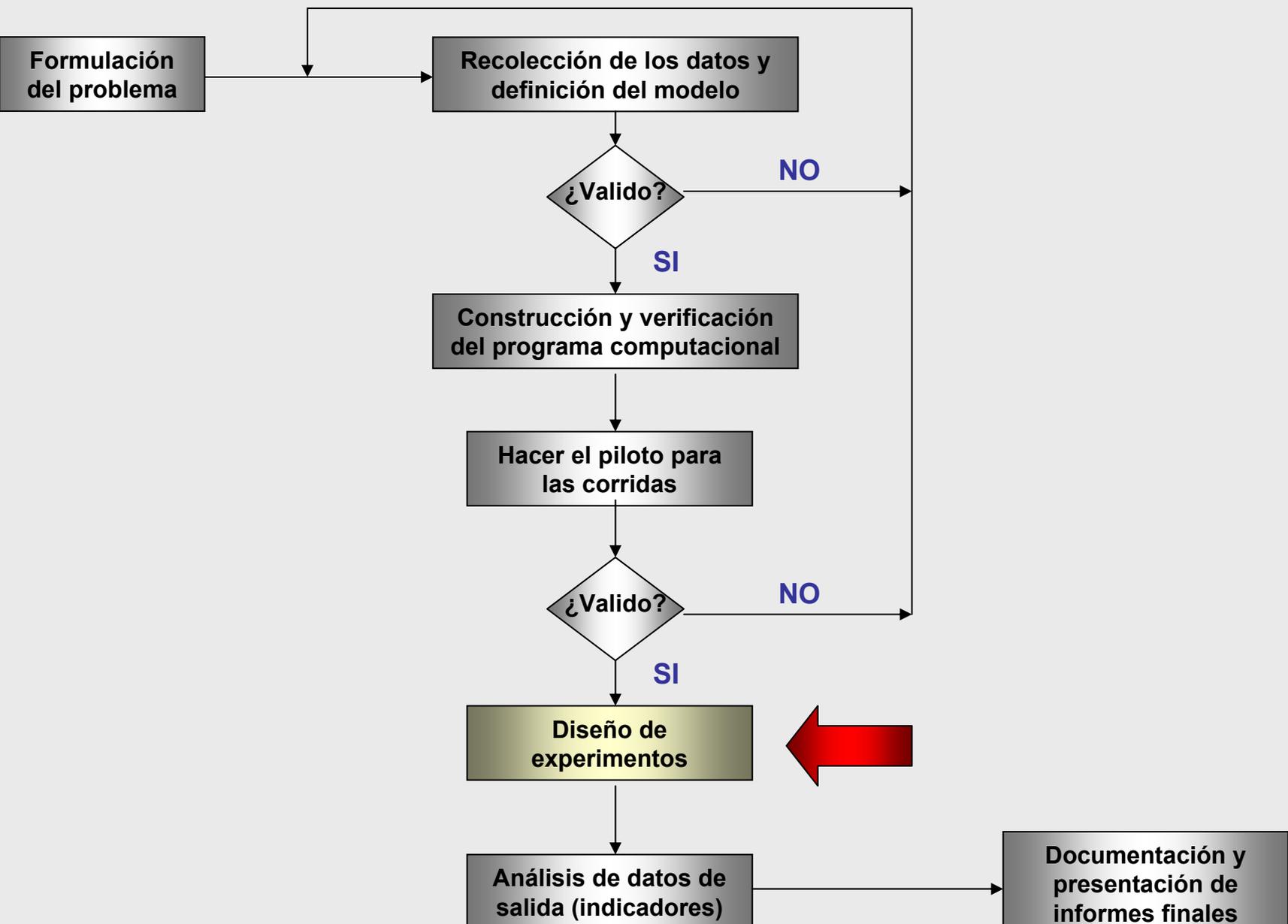
- Comparación entre los indicadores construidos
 - Modelos con llegadas de pedidos reales.
 - Modelo generado con distribuciones experimentales calculadas.
- Efectos en la modelación EXTEND
 - Cambio bloque: GENERATOR vs. PROGRAM

Se busca analizar si el modelo de simulación se comporta como en la realidad, basándose en los indicadores de desempeño.

INSPECCIÓN CORRELACIONADA EN EXTEND



PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN



OBJETIVOS:

- Acotar el número de configuraciones a ser analizadas.
- Identificar factores y efectos de estos en los resultados del modelo.

FACTORES

Nº Factor	Nombre Factor	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Actual
1	Nº Telefonistas T1	1	3	2
2	Nº Telefonistas T2	4	8	6
3	Nº Chóferes T1	7	13	10
4	Nº Chóferes T2	20	30	25
5	Asignación	T(1,2,6)	T(0.85,5.1,1.7)	T(1,2,6)
6	Tiempo Atención Telefónica (V)	T(1,5,10)	T(0.85,4.25,8.5)	T(1,5,10)
	Tiempo Atención Telefónica (N)	T(5,11,15)	T(4.25,9.35,12.75)	T(5,11,15)

Número de configuraciones distintas: $2^6 = 64$

Número de corridas por configuración: 100

DISEÑO DE EXPERIMENTOS : CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EFECTOS

Se calcularon efectos de 1er, 2do y 3er orden

Los efectos de 2do y 3er orden son despreciables frente a los de 1er orden.

Los indicadores con mayor variación en cada caso son:

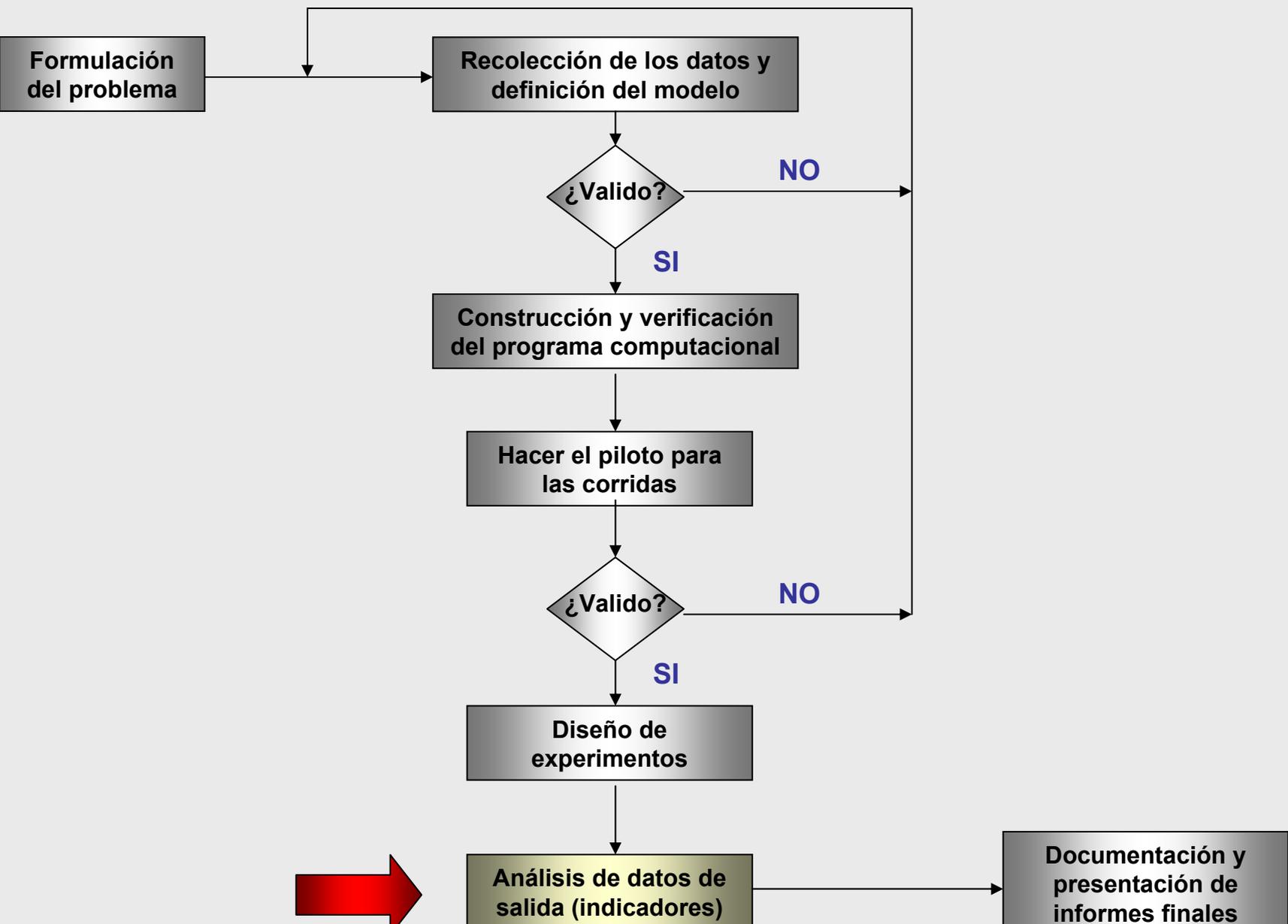
Nº Factor	Nombre Factor	Ciclo	Atrasos	No Atrasos	Renegados	Util. Tel.	Util. Asig.	Util. Chof.
1	Nº Telefonistas T1	x	x	x	x	x	x	x
2	Nº Telefonistas T2	x		x	x	x	x	x
3	Nº Choferes T1	x		x				x
4	Nº Choferes T2	x		x				x
5	Asignación	x					x	
6	Tiempo Atención Telefonica (V) Tiempo Atención Telefonica (N)	x	x	x	x			

Factores de Mayor Relevancia: 1, 2 y 6.

Factores 3 y 4 importantes dada la cantidad de recursos involucrados.

Se descarta del análisis el Factor 5.

PASOS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN



CONFIGURACIONES ALTERNATIVAS

ESCENARIOS ESCOGIDOS

Nº Factor	Nombre Factor	NIVELES						ACTUAL
		1	3	4	---	---	---	
1	Nº Telefonistas T1	1	3	4	---	---	---	2
2	Nº Telefonistas T2	4	5	7	8	---	---	6
3	Nº Choferes T1	3	4	5	6	---	---	7
4	Nº Choferes T2	10	13	16	19	22	---	25
6	Tiempo Atención Telefonica (V) Tiempo Atención Telefonica (N)	-10%	-15%	---	---	---	---	0%

RESULTADOS FACTOR 4 (Cho. T2):

# Choferes T2	Ciclo Total	Ciclo P3	% Util. T2	% Util. P3	Atrasados P2	Atrasados P3
10	47,161	50,565	94,9	99,6	0,851	69,168
13	38,337	39,084	90,2	93,7	0,881	15,139
16	36,713	36,959	77,3	80,9	0,844	7,365
19	36,330	36,533	66,9	69,0	0,542	6,740
22	36,601	36,832	59,1	60,4	0,656	7,563
25	36,567	36,788	52,2	52,9	0,729	7,448

Aumentan Ciclo, % Util y No. Atrasados.

Nivel aceptable en 16.

CONFIGURACIONES ALTERNATIVAS (2)

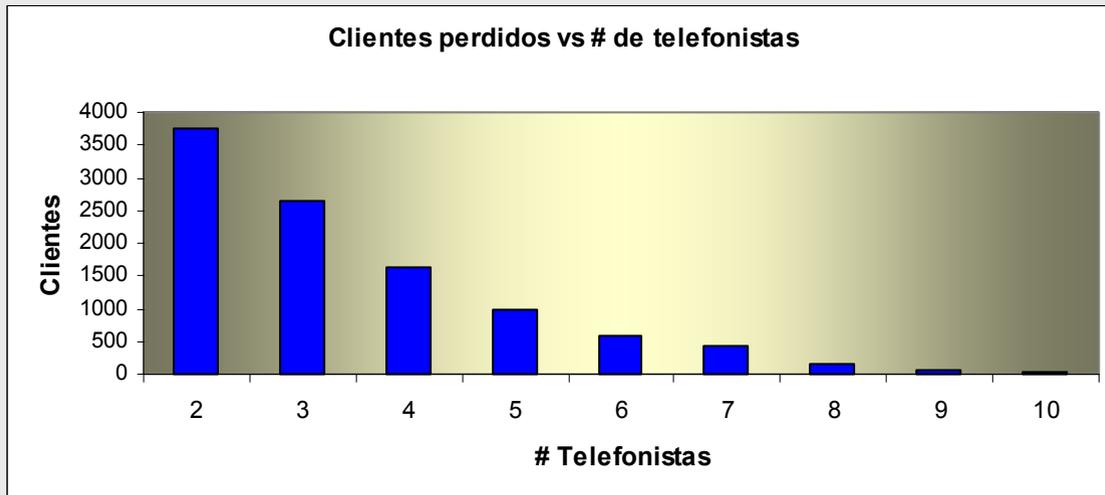
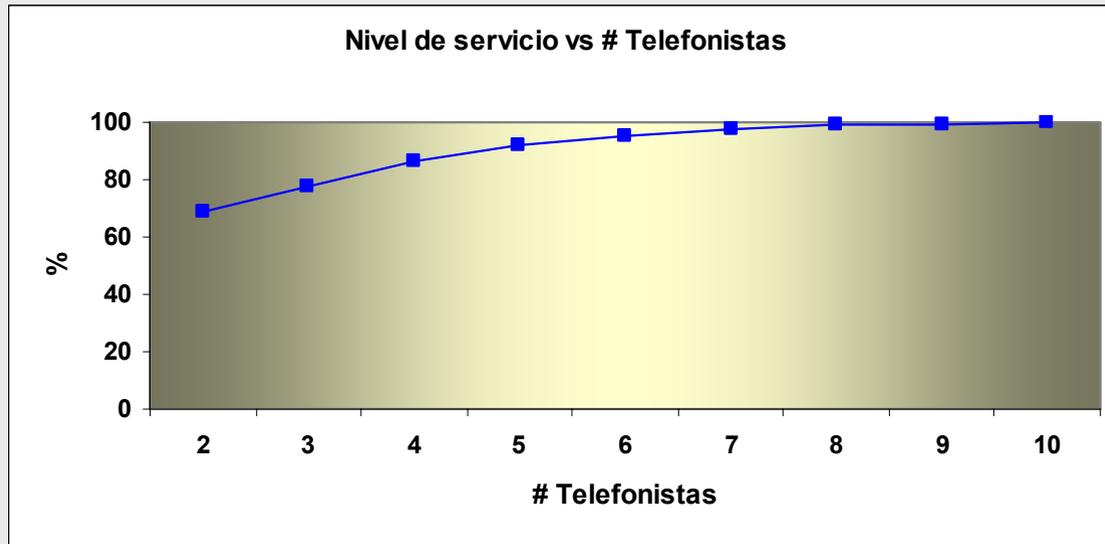
INTERVALOS DE CONFIANZA (95%):

Indicador	ACTUAL			
	Promedio	Desv Est	Inf 95%	Sup 95%
Ciclo Medio	36.42	0.47	36.33	36.51
Ciclo P1	35.47	1.16	35.24	35.70
Ciclo P2	35.79	1.53	35.49	36.10
Ciclo P3	36.68	0.56	36.57	36.79
Atrasados P1	0.36	0.61	0.24	0.48
Atrasados P2	0.58	0.83	0.42	0.75
Atrasados P3	6.89	2.55	6.38	7.40
U. Chofer P1	0.83	0.09	0.81	0.85
U. Chofer P2	0.38	0.06	0.37	0.39
U. Chofer P3	0.52	0.04	0.52	0.53
U. Chofer T1	0.55	0.06	0.54	0.56
U. Chofer T2	0.52	0.04	0.51	0.53

Indicador	PROPUESTA			
	Promedio	Desv Est	Inf 95%	Sup 95%
Ciclo Medio	36.84	0.91	36.66	37.02
Ciclo P1	35.46	1.36	35.19	35.73
Ciclo P2	36.30	1.69	35.96	36.63
Ciclo P3	37.16	1.17	36.93	37.40
Atrasados P1	0.26	0.61	0.14	0.38
Atrasados P2	0.74	0.87	0.57	0.91
Atrasados P3	8.07	4.58	7.16	8.98
U. Chofer P1	0.84	0.09	0.82	0.86
U. Chofer P2	0.37	0.06	0.36	0.38
U. Chofer P3	0.81	0.04	0.80	0.82
U. Chofer T1	0.55	0.07	0.53	0.56
U. Chofer T2	0.79	0.04	0.78	0.80

- **Beneficios v/s costos:**
- **Aumento de Tiempo de Ciclo Promedio Global en 1,2 min. y P3 en 28,8 segundos.**
- **Aumento en 0,57% del número de pedidos atrasados diarios.**
- **Aumento de un 50% a un 80% de utilización de la Flota en T2 y P3 (aprox.).**
- **Ahorro de \$2.000.000 mensuales (sueldo fijo 9 choferes).**

VARIACIÓN DEL # DE TELEFONISTAS



- Demanda observada v/s Demanda real.
- Parámetro de aburrimiento constante.
- Demanda constante en el tiempo.

- **Modelos de Simulación vs. Modelos Analíticos.**
 - **Analíticos:** permiten estudiar las relaciones entre las variables y su comportamiento en el límite.
 - **Simulación:** estudio de sistemas complejos
- **Facilidad de Comprensión por parte del Cliente.**
- **Proceso de Recolección de Información complicado.**
- **Importante acotar el detalle del modelo.**



ETAPAS DE UN PROYECTO DE SIMULACIÓN

ESTUDIO DE SISTEMAS DINÁMICOS

JAIME MIRANDA

Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Chile