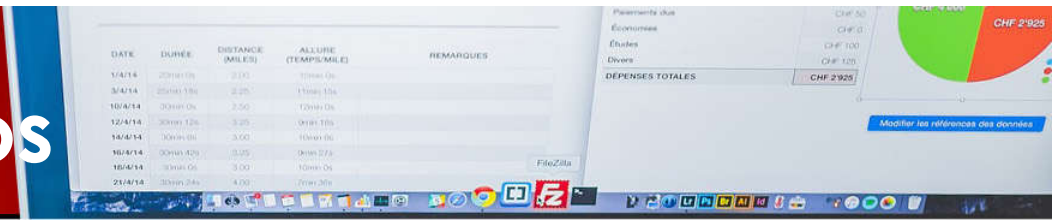


Simulación de Eventos Discretos



Números Aleatorios



- Elemento Central en la Simulación digital.
- Definición formal controvertida.
- Elemento esencial en muchas áreas del conocimiento Ingeniería, Economía, Física, Estadística, etc.
- Definición intuitiva: Una sucesión de números aleatorios puros, se caracteriza por que no existe ninguna regla o plan que nos permita conocer sus valores.
- Los números aleatorios obtenidos a través de algoritmos recursivos se llaman pseudoaleatorios.

Números Aleatorios

- DEF 1: Kolmogorov (1987) [Complejidad Algorítmica] Una sucesión de números es aleatoria si no puede producirse eficientemente de una manera más corta que la propia serie.
- DEF 2: L'Ecuyer (1990) [Impredicibilidad] Una sucesión de números es aleatoria si nadie que utilice recursos computacionales razonables puede distinguir entre la serie y una sucesión de números verdaderamente aleatoria de una forma mejor que tirando una moneda legal para decidir cuál es cuál.

Obs: Esta definición conduce a los denominados generadores PT-perfectos usados en Criptografía.

Números Aleatorios

A las propiedades estadísticas anteriores se deben agregar otras relativas a la eficiencia computacional:

- Velocidad de respuesta
- Consumo de memoria
- Portabilidad
- Parsimonia
- Reproducibilidad
- Mutabilidad
- Período

Métodos de Generación de Números Aleatorios

- 1.- Método de los cuadrados medios
- 2.- Métodos Congruenciales
- 3.- Método de registros desfasados

[Semilla - Algoritmo - Validación]

P_1 : Obtener semilla (valores iniciales)

P_2 : Aplicación de Algoritmos recursivos

P_3 : Validación del conjunto de datos generados (Test de Aleatoriedad)

Métodos de los cuadrados Medios

Consiste en que cada número de una sucesión es producido tomando los dígitos medios de un número obtenido mediante la elevación al cuadrado.

P_1 : Obtener semilla (valores iniciales 445)

P_2 : Aplicación de Algoritmos recursivos (elevar al cuadrado)

P_3 : Validación del conjunto de datos generados

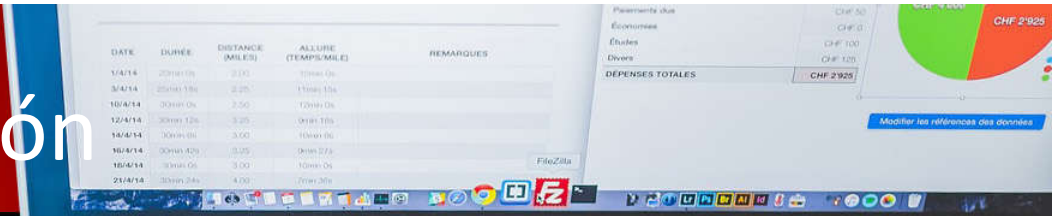
Métodos de los Cuadrados Medios

Ejemplo: Consideremos la semilla 445

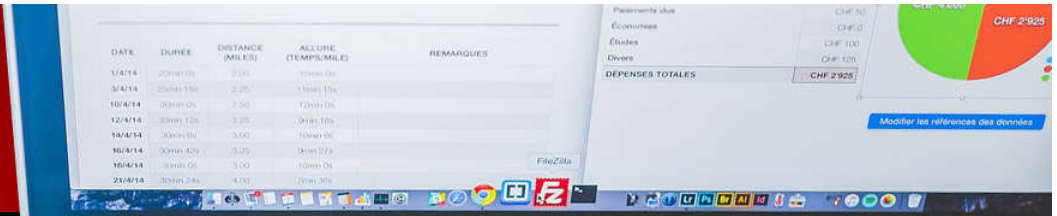
X	X ²	N° Aleatorio
445	1 9802 5	
0,9802		
9802	96 0792 04	
0,0792		
792	6 2726 4	0,2726
2726

Modelos y Simulación

- **Modelado.** Es un proceso de abstracción mediante el cual se representa cierto aspecto de la realidad. **Se estudia su validez**, es decir en qué medida el modelo representa la realidad.
- **Simulación.** Es el proceso de modelado de algún aspecto importante de un sistema en tiempo real, comprimido o expandido, mediante la construcción y experimentación con el modelo del sistema. **Se estudia la operación del sistema.**



Ejercicio 1



1. ¿Cuál es la diferencia entre modelado y simulación?

2. ¿Se puede modelar sin simular?

3. ¿Se puede simular sin modelar?

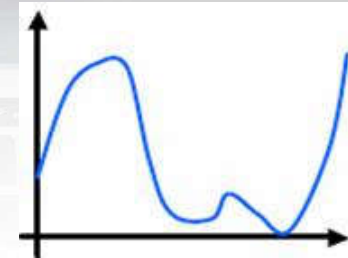
4. Indique que relación se cumple:

1. Modelado → Definición estructural
2. Modelado → Definición funcional
3. Simulación → Definición estructural
4. Simulación → Definición funcional

Tipos de Sistemas de Simulación

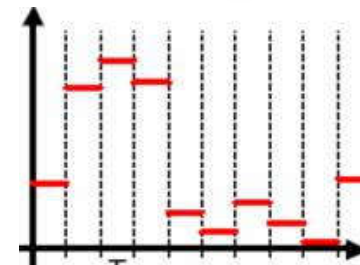
Sistemas Continuos.

- Contiene variables preponderantemente de tiempo-continuo (pueden cambiar en cualquier momento).
- Los cambios se expresan mediante ratios, uso de **ecuaciones diferenciales o de diferencias**.
- Uso de resultados en el largo plazo.

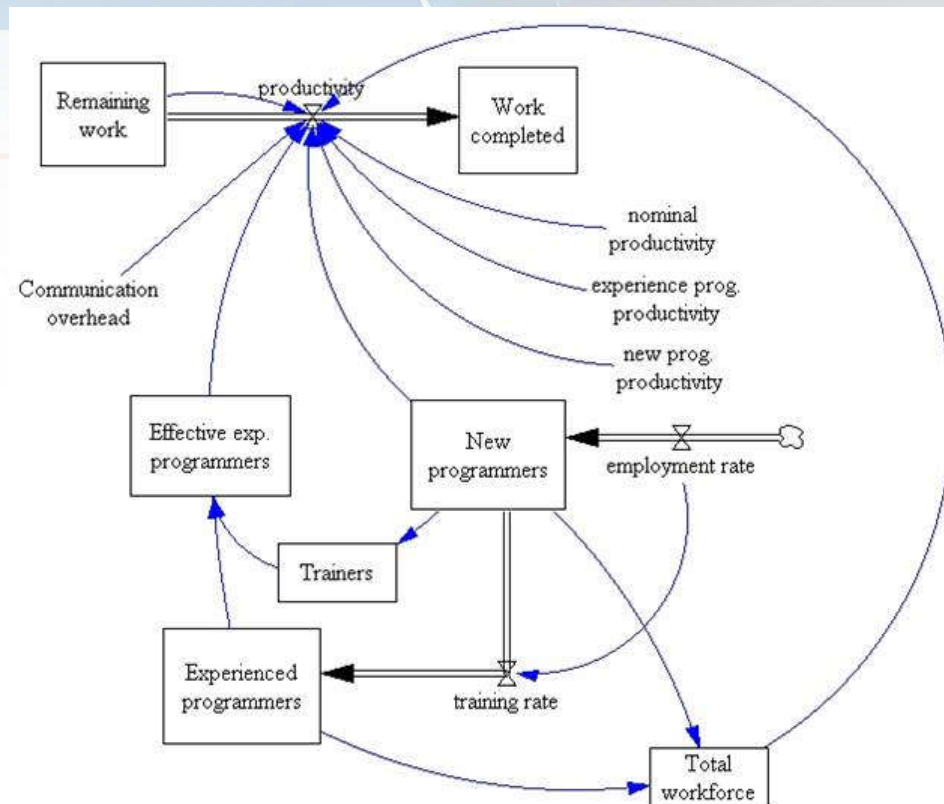


Sistemas Discretos (Eventos).

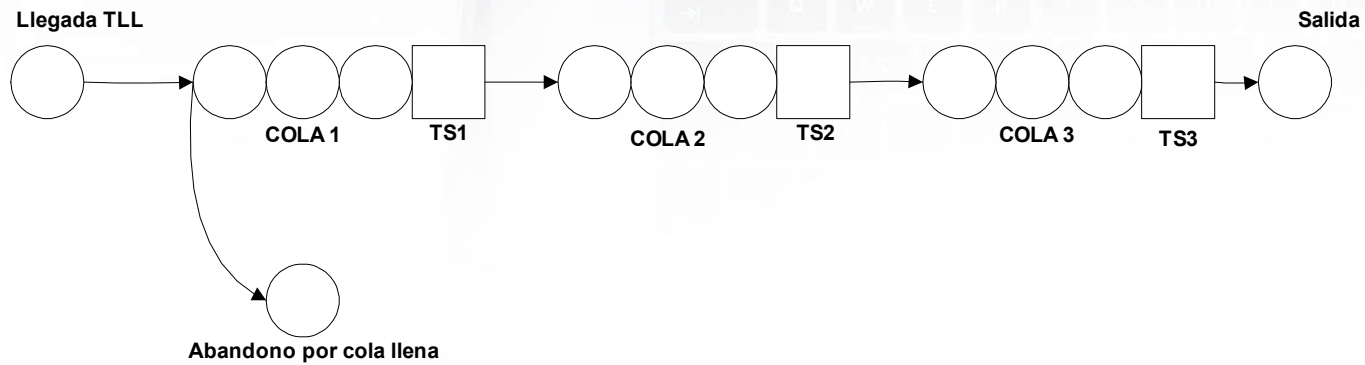
- Contiene variables preponderantemente de tiempo-discreto (pueden cambiar en momentos discretos del tiempo).
- Interesa el seguimiento de los cambios de estado del sistema como consecuencia de la ocurrencia de sucesos o eventos.
- Las ecuaciones del modelo son las relaciones lógicas que determinan la ocurrencia de un **suceso o evento**.



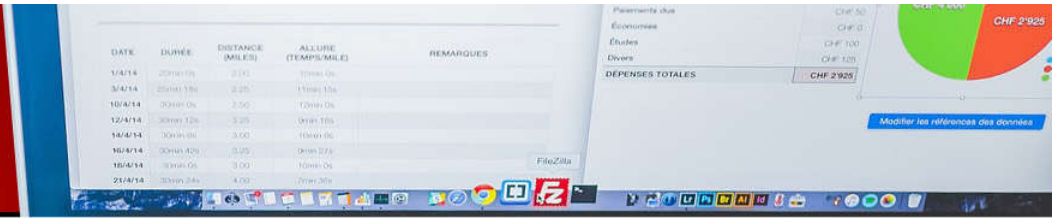
Ejemplo de Simulación Continua



Ejemplo de Simulación Discreta



Ejercicio 2

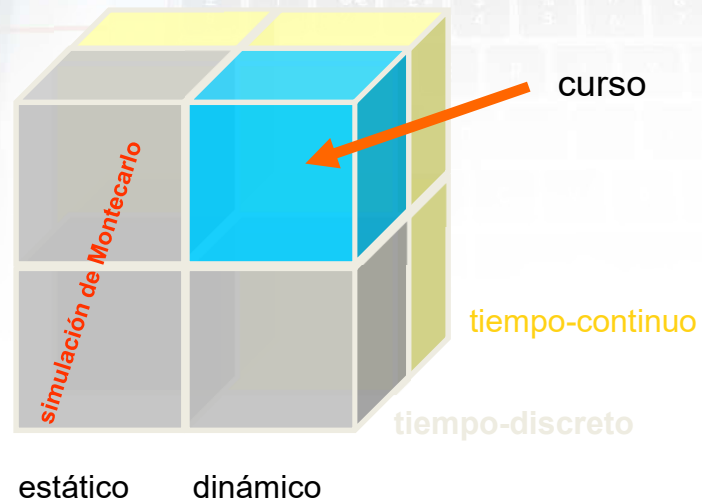


1. ¿Todos los sistemas dinámicos son continuos?
2. ¿Todos los sistemas estáticos son discretos?
3. ¿Los sistemas pueden ser continuos y discretos al mismo tiempo?
4. ¿Un sistema continuo no se puede estudiar como un sistemas discreto?

Ejercicio 2

estocástico

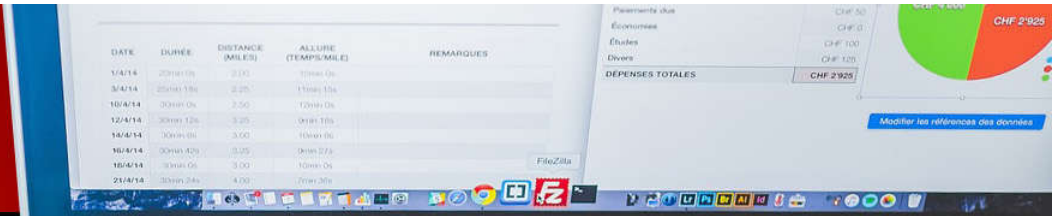
determinístico



Ejercicio 3

Diga a qué tipo de sistema de simulación corresponden los siguientes sistemas:

1. Cadena de producción.
2. Contaminación atmosférica.
3. Dinámica poblacional.
4. Entradas y/o salidas de una sala de emergencia.
5. Entradas y/o salidas de un almacén.
6. Flujo de caja.
7. Colas de un banco.
8. Sistema de transporte público.
9. Sistemas Epidemiológicos.



Etapas de un Proyecto de Simulación Discreta

S
I
M
U
L
A
C
I
O
N



I
M
P
L
A
N
T
A
C
I
O
N

1. EL PROBLEMA



The screenshot shows a laptop screen with a financial spreadsheet and a pie chart. The spreadsheet has columns for DATE, DUREE, DISTANCE (MILES), ALLURE (TEMPS/MILE), and REMARQUES. The pie chart shows a total of CHF 2'925, with a green section representing CHF 1'000 and a red section representing CHF 1'925. A button labeled 'Modifier les références des données' is visible at the bottom right of the chart area.

DATE	DUREE	DISTANCE (MILES)	ALLURE (TEMPS/MILE)	REMARQUES
1/4/14	20min 0s	2.00	30min 0s	
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s	
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s	
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 12s	
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
16/4/14	30min 42s	5.25	09min 42s	
18/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/4/14	30min 24s	4.00	10min 24s	

FileZilla

Payements due CHF 50
Economies CHF 0
Études CHF 100
Divers CHF 125
DEPENSES TOTALES CHF 2'925

CHF 2'925

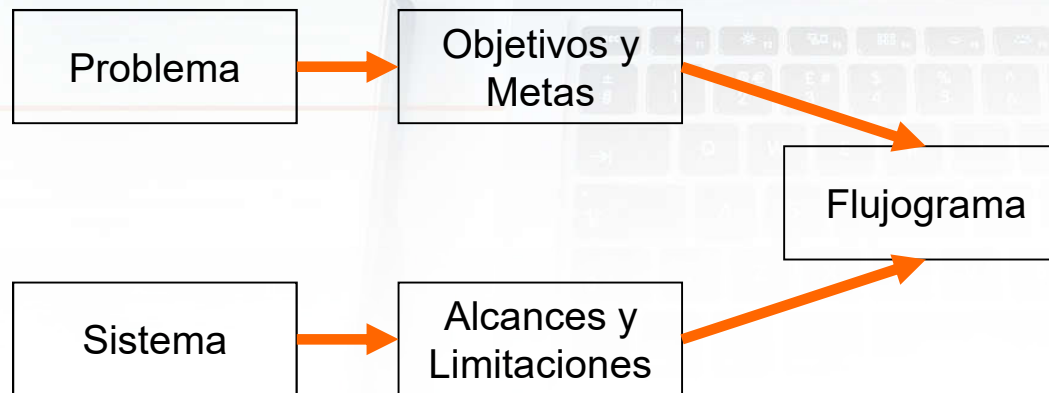
Modifier les références des données

Formulación y definición del sistema

Se inicia en la administración de la empresa. Quién sabe que **tiene un problema**, pero no sabe definirlo.

1. La formulación del **problema** no se hace una sola vez, se hace a través de todo el proyecto.
2. Se define los **objetivos** del estudio (objetivos y metas).
3. Se **define el sistema** a estudiar.
4. Se define los **límites** del sistemas , sus **alcances** y limitaciones (restricciones de la abstracción).
5. Se especifica el **diagrama de flujo** lógico.

Formulación y definición del sistema



Problemas, Objetivos y Metas

Problema.

- Alguna amenaza, incremento de costos, información desconocida, riesgos o contradicciones. Se plantea como un conjunto de síntomas, aún no se conoce las causas.

Objetivo.

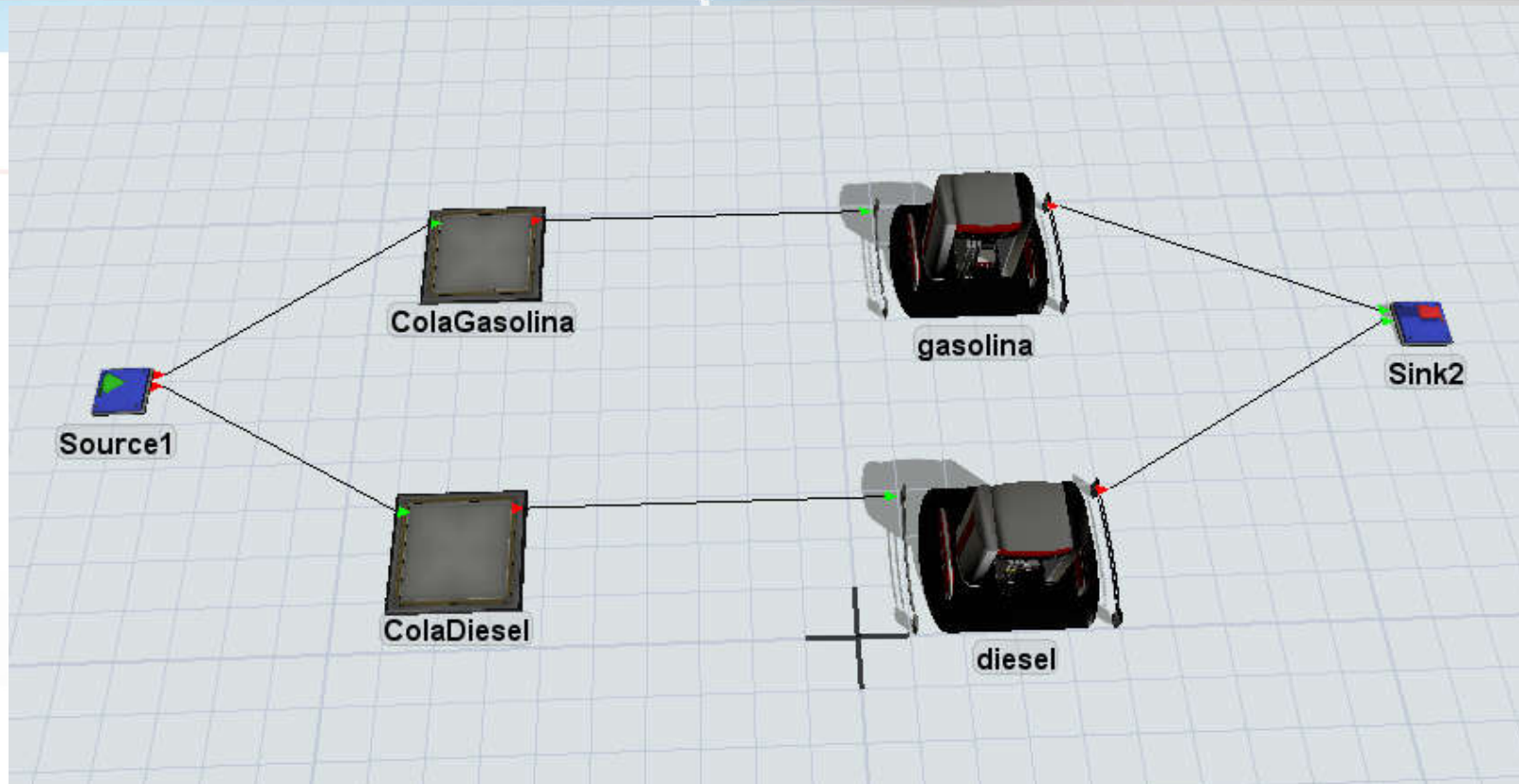
- Resolver el problema o cómo resolver el problema.
- El objetivo no es conocer las causas del problema.
- Se orienta a la solución del problema.

Meta

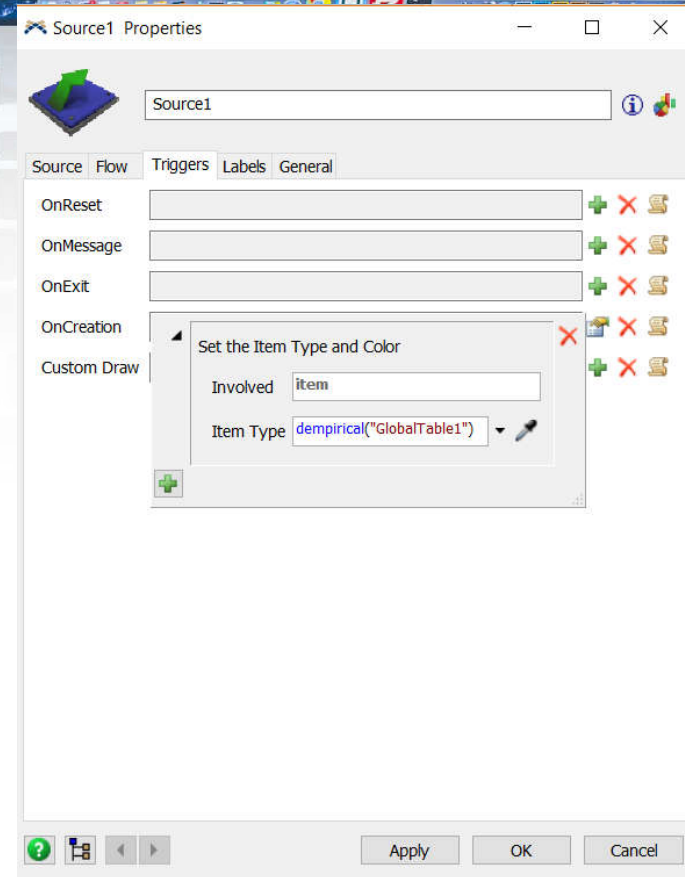
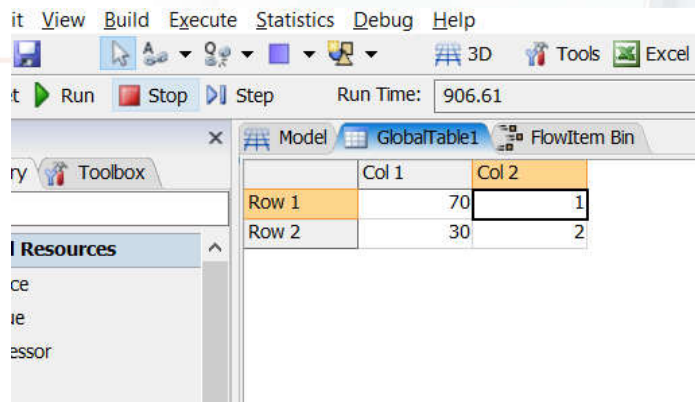
- Conjunto de actividades para lograr el objetivo planteado.
- Por lo general se puede medir.

Ejemplo Surtidor combustible

PRB	DATA	MOD	VERI	VAL	EXP	RES	DOC
DATE	DUREE	DISTANCE	ALL	REMARKS			
		(MILES)	(TEMP/M)				
1/4/14	20min 0s	2.00	11min 30s				
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 30s				
10/4/14	30min 0s	2.50	11min 30s				
17/4/14	30min 15s	2.25	11min 30s				
18/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
19/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
20/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
21/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
22/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
23/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
24/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				
25/4/14	30min 0s	2.00	11min 30s				



Ejemplo Surtidor combustible



Ejercicio 4

Todos los días de la semana a las 4:00 PM la cola del banco BNB se extiende fuera de los ambientes de la agencia, eventualmente el Gerente de agencia observa esta situación y le asigna a usted la labor de identificar el problema y resolverlo.

1. Identifique el problema.
2. Plantee objetivos.
3. Plantee metas.
4. Finalmente ¿Cuál es el problema?
5. ¿Es necesario conocer las causas del problema para saber cuál es el problema?
6. ¿Y para resolverlo?
7. ¿El problema es el mismo para todos?
8. Entonces ¿para quién va a resolver el problema?

Ejercicio Cajas de banco



El gerente de operaciones de una sucursal de banco, está en el proceso de configurar operaciones de sus cajeros. Actualmente algunas sucursales tienen una línea de cajero separada para los clientes que tienen solo una transacción, mientras otras sucursales no tienen líneas separadas.

El gerente quiere evitar quejas sobre, esperas largas que algunas sucursales han recibido. Como los datos demográficos cambian de acuerdo a la ubicación, un sistema que funciona en una sucursal no necesariamente funciona en otra.

El gerente ha obtenido datos de la sede central del banco y está listo para analizar las diferentes opciones para configurar sus operaciones.

En promedio, 80 clientes son atendidos durante el mediodía. El tiempo de atención promedio para clientes con una sola transacción es de 90 segundos, mientras el tiempo de tratamiento para clientes con múltiples transacciones es 4 minutos. Se espera que el sesenta por ciento de los clientes realicen múltiples transacciones.

Un horario importante es la hora de mediodía del viernes. El plan es tener a cinco cajeros disponibles.

Se tienen en consideración las opciones siguientes:

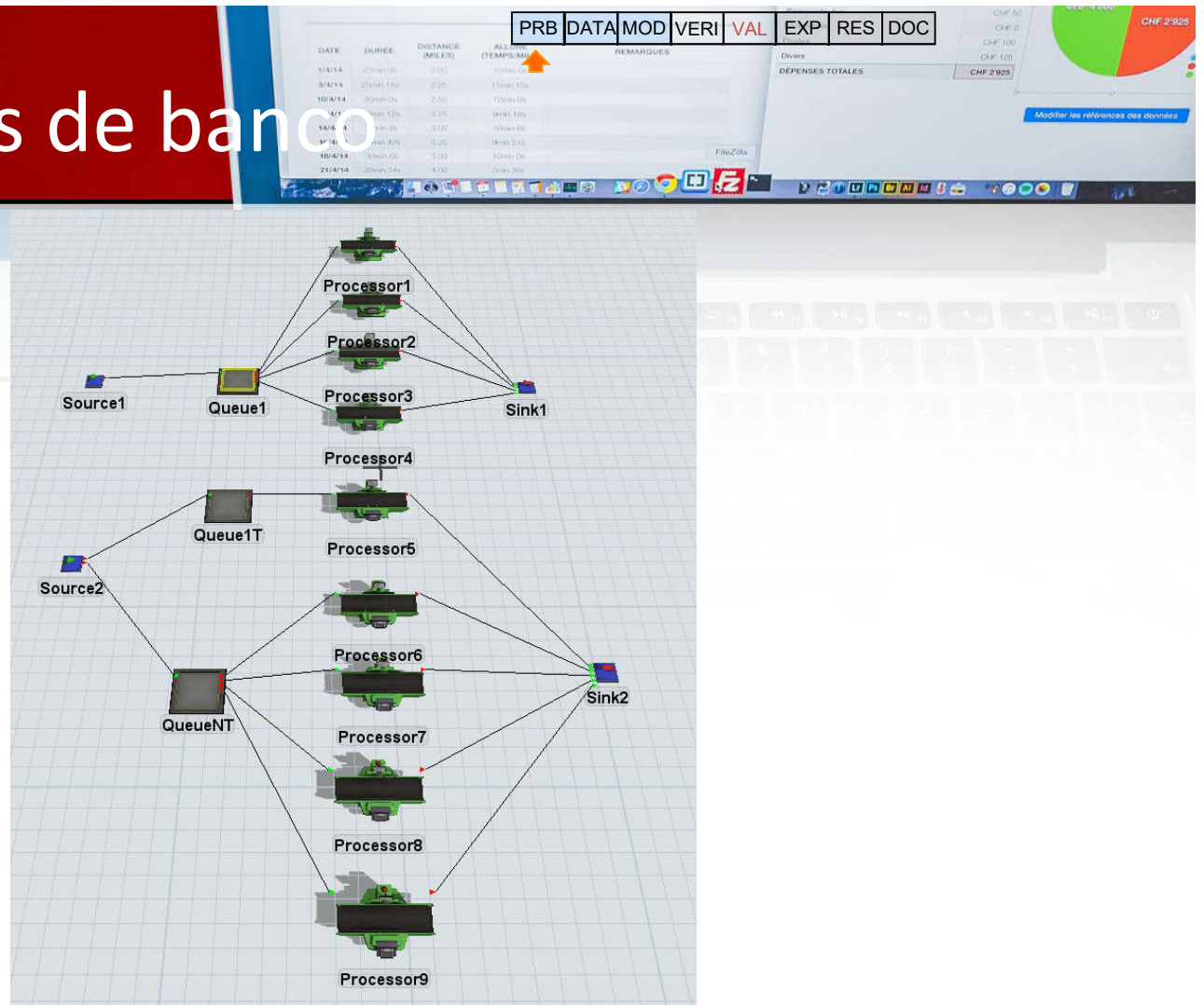
- Tener una línea de espera y que la primera persona en la línea vaya al primer cajero disponible.
- Tener dos líneas de espera: un cajero para los clientes que tienen una transacción sola y cuatro cajeros que manejarían a los clientes que tienen múltiples transacciones.

Preguntas:

¿Si usted fuera el gerente, cuál opción seleccionaría usted? ¿Por qué?

Explique la disparidad entre los resultados para las dos opciones. ¿Qué suposiciones realizó usted en su análisis?

Ejercicio Cajas de banco



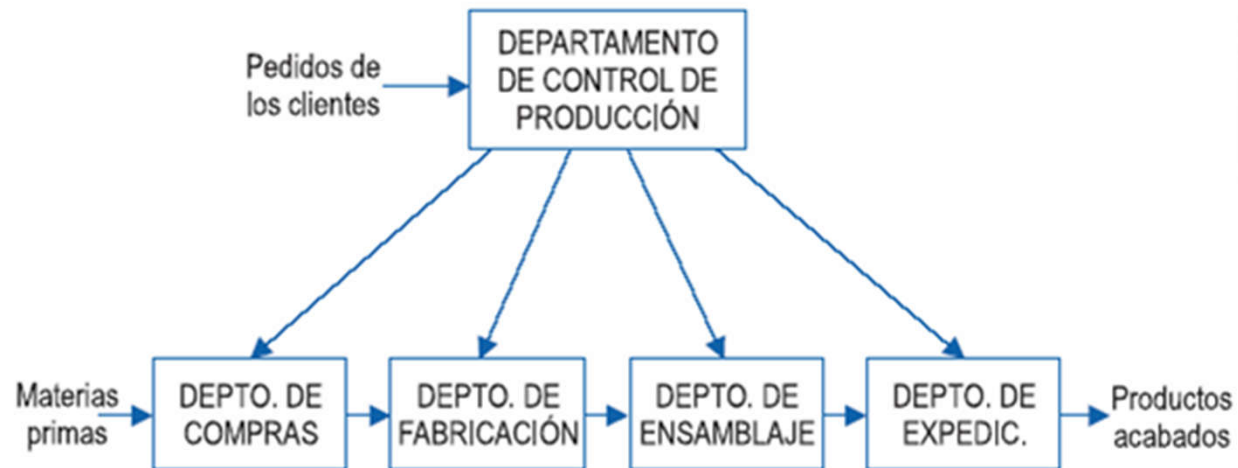
Sistema



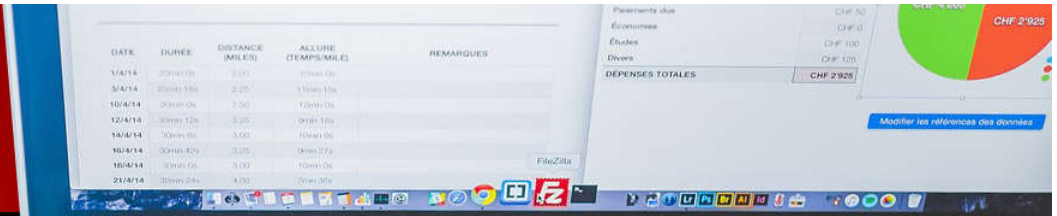
- Identificar el entorno de actividad.
- Identificar entidades (Pedidos, Piezas, Tipos de Pieza y Productos)
- Identificar atributos por entidad (Cantidad de Pedidos, tipos de pieza, tipo de máquina)
- Identificar variables y parámetros de entrada.
- Identificar relaciones entre variables y parámetros.
- Identificar variables de estado
- **Alcances y Limitaciones.** Corresponde a los límites del estudio, límites internos o externos.

Ejemplo (1)

- Sistema.



Ejemplo (1) - (Sistema)



- El departamento de fabricación consta de un taller en el que hay diferentes conjuntos de máquinas del mismo tipo, que realizan distintas **operaciones** sobre las piezas que se fabrican, de manera que la mismas materias primas sometidas a diferentes procesos pueden dar lugar a diferentes productos.
- Lo que diferencia un producto de otro es la secuencia de **operaciones**.

COMPOSICIÓN DE LOS GRUPOS DE MÁQUINAS DEL TALLER		
Grupo Número	Tipo de Máquinas	Número de Máquinas
1	Fundición y Moldeo	14
2	Tornos	5
3	Cepilladoras	4
4	Fresadoras	8
5	Prensas de Estampación	16
6	Pulidoras	4

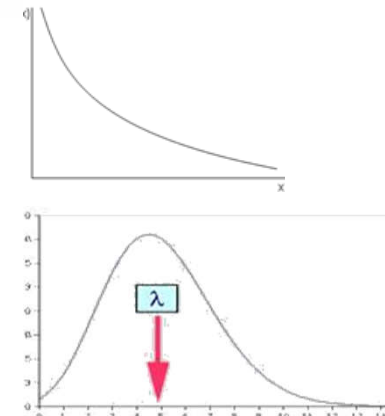
Ejemplo (1) - (Sistema)

Tipo de producto	Número total de máquinas a usar	Secuencia de utilización	Tiempo medio de operación (min.)
1	4	Fundición y Moldeo Cepilladoras Tornos Pulidoras	125 35 20 60
2	3	Prensas Estampación Fresadoras Tornos	105 90 65
3	5	Fundición y Moldeo Prensas Estampación Fresadoras Cepilladoras Pulidoras	235 250 50 30 25

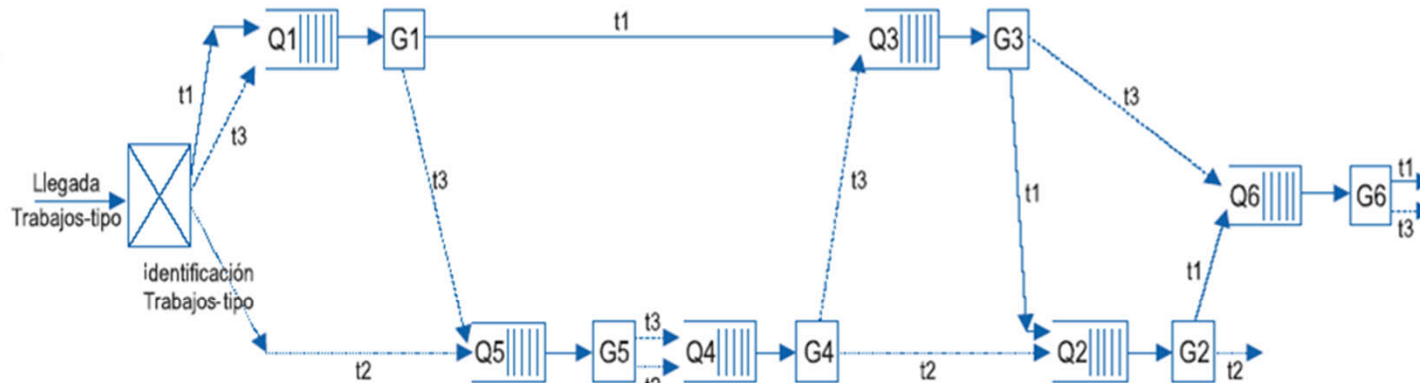
Secuencias y tiempo de operación medios para tipo de producto

Ejemplo (1) - (Sistema)

- El tiempo de operación indicado es el tiempo medio y está distribuido exponencialmente.
- El tiempo de llegada de cada trabajo se puede describir mediante una distribución de Poisson con una tasa media de 50 trabajos por día de 8 horas (llega uno en promedio cada 9.6 minutos).
- 24% de los trabajos → Tipo de Producto 1
- 44% de los trabajos → Tipo de Producto 2
- 32% de los trabajos → Tipo de Producto 3
- La Disciplina de los trabajos es FIFO.

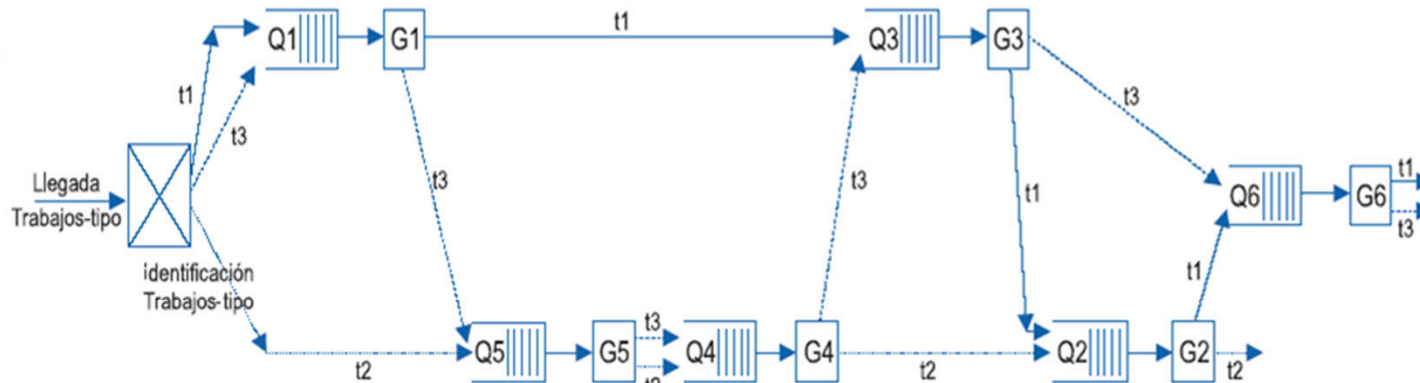


Ejemplo (1) Flujo-Grama



- t1 trabajos-tipo 1 ———→
- t2 trabajos-tipo 2 - - - - -→
- t3 trabajos-tipo 3→

Ejemplo (1) Flujo-Grama



- t1 trabajos-tipo 1 ———→
- t2 trabajos-tipo 2 - - - - -→
- t3 trabajos-tipo 3→

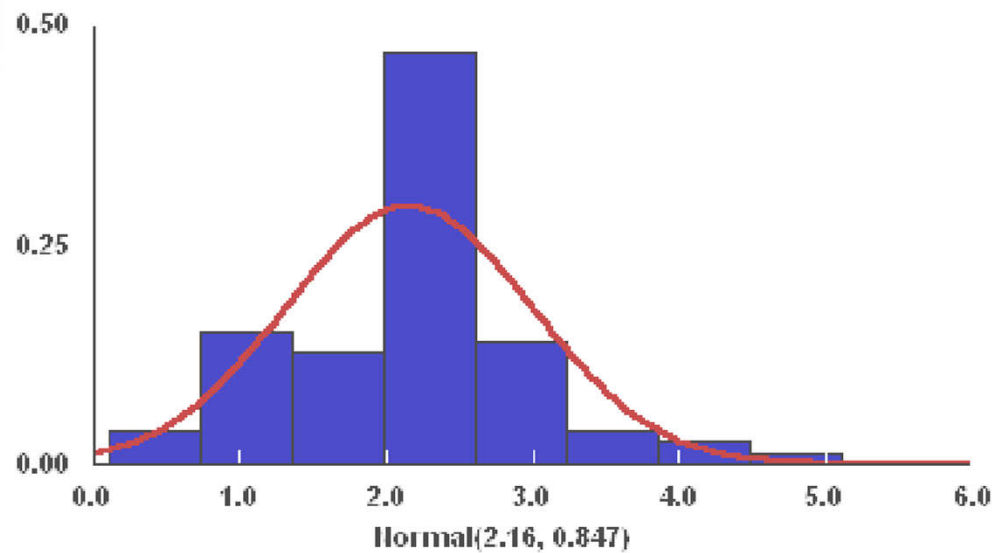
Recolección de datos



- Se recopila datos de la realidad con la finalidad de estimar las variables y parámetros de entrada.
- Se debe decidir:
 - Cómo recopilar la información
 - Qué datos se necesita y si son importantes.
- En caso de tener variables aleatorias:
 - Identificar la distribución de frecuencias.
 - Verificar si la distribución no cambia en el tiempo.
 - Validar la sensibilidad del modelo ante diferentes distribuciones de probabilidad.

Técnica de bondad de ajuste

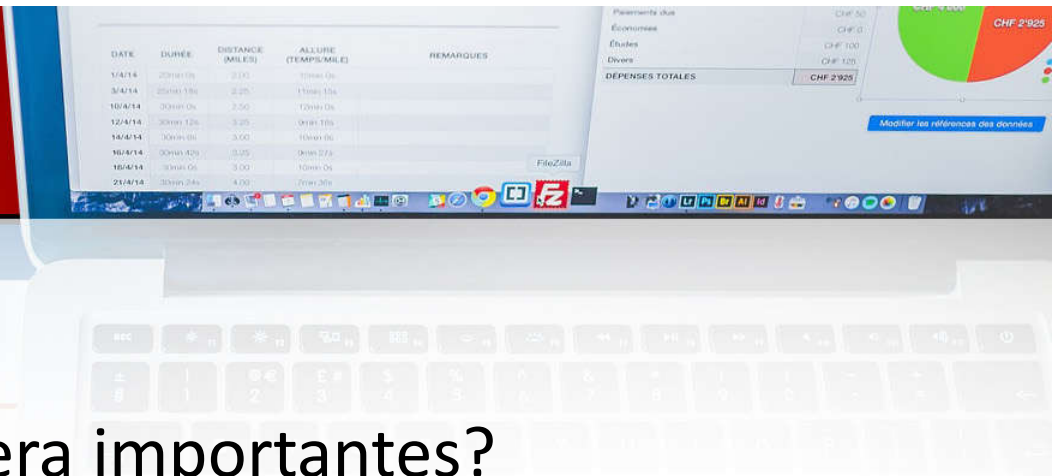
- Probar si una serie de números pertenece a cierta distribución de la probabilidad.



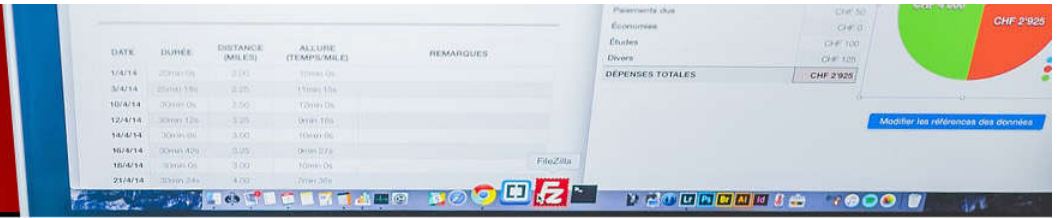
Ejercicio 5

Para el ejercicio 3.

- ¿Qué variables considera importantes?
- ¿Qué parámetros considera importantes?
- ¿Es práctico recolectar todos los datos y luego seleccionar aquellos de nuestro interés o es conveniente primero analizar las variables importantes y luego recolectar los datos?



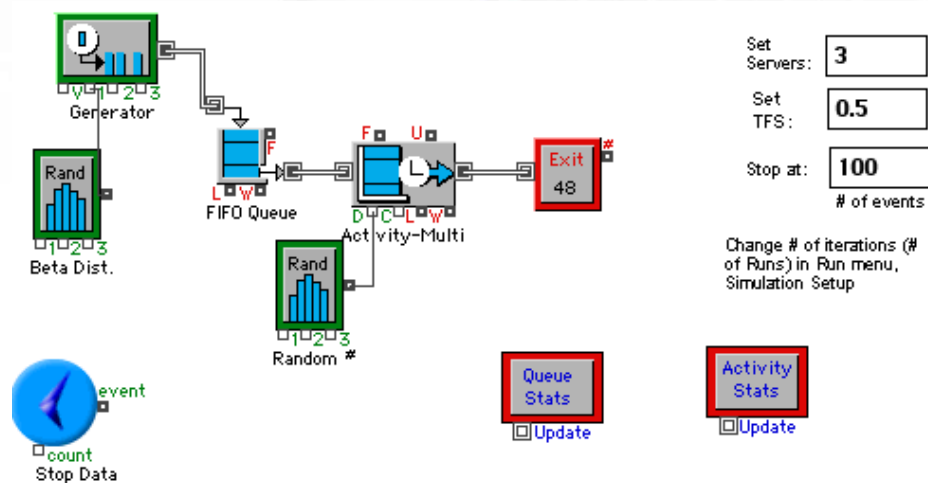
Registros



DATE	DUREE	DISTANCE (MILES)	ALLURE (TEMPS/MILE)	REMARQUES
1/4/14	20min 0s	2.00	10min 0s	
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s	
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s	
12/4/14	30min 12s	3.25	9min 18s	
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
16/4/14	30min 42s	3.25	9min 57s	
16/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/4/14	30min 24s	4.00	7min 36s	

- Diseñe una ficha de registro para recolectar los siguientes datos.
 - En un restaurante: distrito, edad, genero, consumo.
 - En un surtidor: marca, año, propietario, chofer, hora llegada, hora salida, tiempo de servicio, abandonos.
 - En una librería: hora de ingreso, hora llegada, tiempo revisión de libro, tiempo en cola, libros comprados, área de libros, En una empresa de transporte: hábitos de transporte de jóvenes entre 17 y 22 años. Veces que toma taxi, custer, combi, distrito origen, distrito destino.
- En cada caso plantee una estrategia.
- ¿Cómo puede asegurar que su estrategia funcionará?
- ¿Se puede recolectar todos los datos?

3. EL MODELO



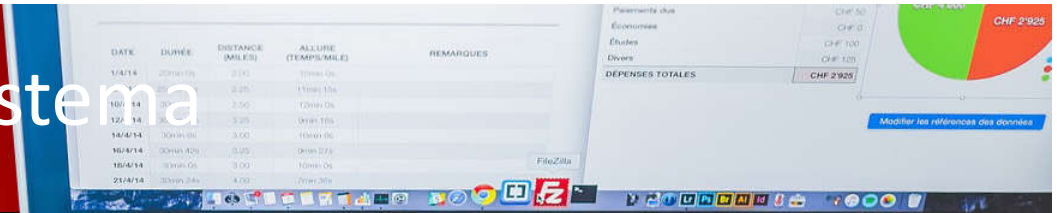
Formulación del modelo



- Es la reducción o abstracción del sistema real a un diagrama de flujo lógico, donde se identifican los **elementos**, las **variables** y los **eventos** importantes para cumplir el objetivo del estudio.
- Se define el nivel de detalle del estudio (o nivel de simplificación).
 - Un modelo detallado puede implicar mucho tiempo en su implementación.
 - Un modelo simplificado no le va a permitir lograr el objetivo planteado.

Estructura del Sistema

- Gráfico del Sistema.
- Elementos del Sistema.
 - Entidades.
 - Atributos.
 - Actividades.
- Análisis del Sistema
 - Eventos.
 - Eventos Principales
 - DRE
- Variables
 - Tiempo.
 - Contadores
 - Estado del Sistema
- Diagrama de Flujo
 - Programa Principal
 - Eventos Principales
- Variables Aleatorias
 - Distribución Frecuencia



4. VERIFICACIÓN



PRB DATA MOD VERI VAL EXP RES DOC					
DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALLIANCE (TEMPS/MILE)	REMARQUES	
1/4/14	20min 0s	2.00	30min 0s		
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s		
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s		
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 12s		
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s		
16/4/14	30min 42s	5.25	09min 42s		
18/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s		
21/4/14	30min 24s	4.00	10min 24s		

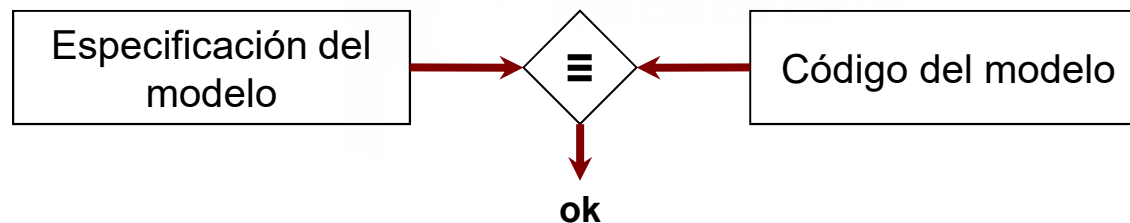
Verificación y Validación



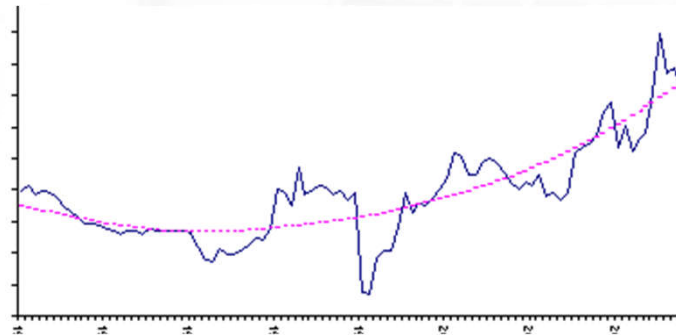
- Es el proceso de llevar a un nivel de confianza del usuario referente a cualquier inferencia acerca de un sistema es correcta.
- Pero no se puede probar si un simulador es correcto o “verdadero”.
- Lo que importa es la utilidad operativa del modelo y no la verdad de su estructura.
- No existe la “prueba” de validación de un modelo.
- Se hacen pruebas a lo largo de su desarrollo:
 - Validar la sensibilidad del modelo.
 - Prueba de las suposiciones.
 - Prueba de transformaciones E-S

Verificación

- Para asegurar que el modelo se comporta de la manera que el experimentador desea.
- Se verificar si el modelo está correctamente construido.
- Se verifica si el modelo se ha construido de acuerdo a las especificaciones.
- Se realiza por inspección a lo largo del proyecto.



5. VALIDACIÓN



Validación

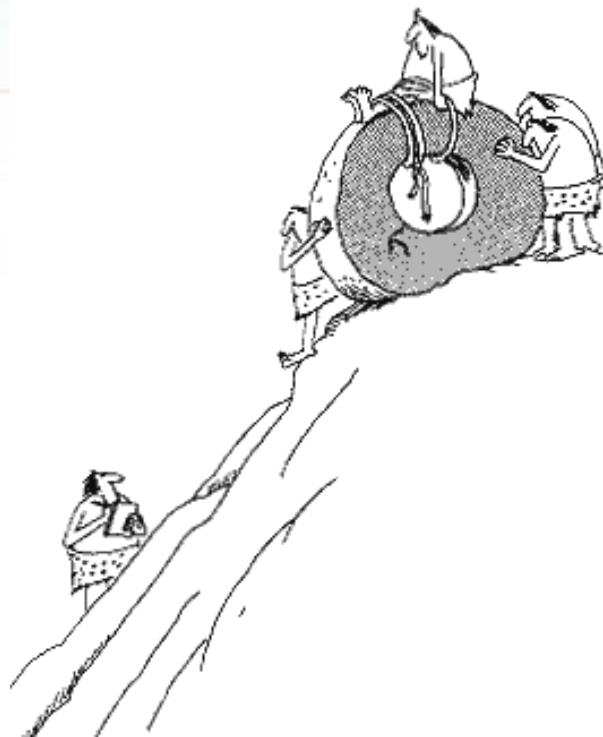
- Prueba la concordancia entre el desempeño del modelo y el desempeño del sistema real.
- Examina el ajuste del modelo a cierta data empírica.



Sólo se puede hacer en la realidad

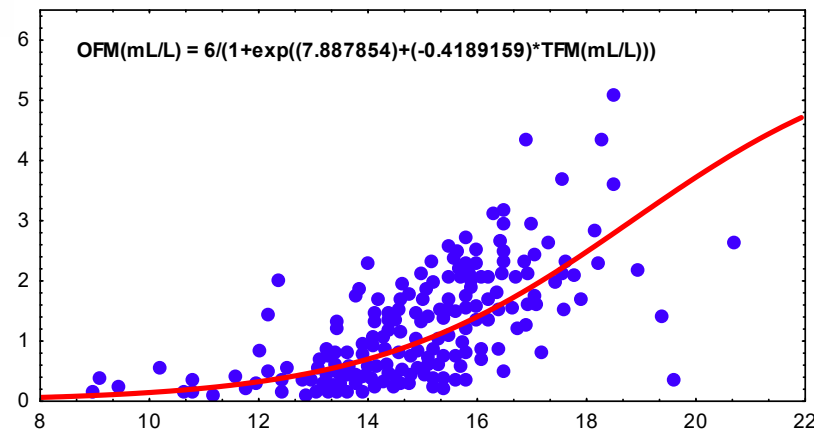
- Un buen modelo es aquel que se ajusta mejor a los datos y por lo tanto se puede usar para predecir la realidad.
- Todos los modelos de simulación corresponden a hipótesis sujeta a validación.

6. EXPERIMENTACIÓN



Experimentación

- Una vez validado el modelo se realiza la experimentación que consiste en generar los datos deseados y realizar el análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- El análisis de sensibilidad consiste en variar los parámetros del sistema y la observación del efecto en la variable de interés



The screenshot displays a web application for managing trucking trips. The main table lists trips with the following data:

DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALLER (TEMPS, MILES)	REMARQUES
1/4/14	20min 0s	2.00	20min 0s	
3/4/14	25min 59s	2.25	17min 15s	
10/4/14	20min 0s	2.50	12min 0s	
12/4/14	30min 12s	3.25	20min 18s	
14/4/14	20min 0s	3.00	10min 0s	
16/4/14	20min 42s	3.00	20min 22s	
16/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/4/14	30min 24s	4.00	20min 24s	

Below the table, there is a summary section with the following values:

- DEF: 0
- RES: 0
- TOTALS: 0
- CHF 2'925

A pie chart on the right side of the interface shows the distribution of the CHF 2'925, with a red section and a green section. A button labeled 'Modifier les références des données' is located below the pie chart.

- Se relaciona a cómo diseñar y experimentar con el modelo de simulación, con la finalidad de:
 - Reducir el número de pruebas experimentales.
 - Proporcionar una estructura para el proceso de aprendizaje del investigador.
- Los objetivos de la experimentación son:
 - Encontrar la combinación valores de parámetros que optimizan la variable de interés.
 - Explicar la relación entre la variable de interés y las variables controlables.
- La experimentación ayuda a conocer el sistema materia de la simulación.

Planeación Táctica

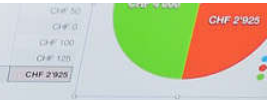


- Implica aspectos de eficiencia y se relaciona a cómo llevar a cabo cada experimento.
- Problema de interés:
 - Condiciones de inicio para llegar a un estado deseado, dado que al iniciar una corrida debe pasar cierto tiempo para alcanzar las condiciones de equilibrio representativas del mundo real.
 - Necesidad de reducir la varianza de la respuesta, dado que se requiere minimizar el tamaño de la muestra requerida.
- Posiblemente sea recomendable eliminar las primeras corridas del modelo de simulación.

7. RESULTADOS



PRB DATA MOD VERI VAL EXP RES DOC					
DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALLIANCE (TEMPS/MILE)	REMARQUES	
1/4/14	20min 0s	2.00	20min 0s		
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s		
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s		
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 18s		
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s		
16/4/14	30min 42s	5.25	09min 27s		
16/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s		
21/4/14	30min 24s	4.00	10min 36s		



Modifier les références des données

Interpretación



- En esta etapa se realiza la interpretación de los resultados que arroja la simulación y basándose en esto se toma una decisión.
- Se determina si el modelo de simulación es útil para resolver el problema planteado al inicio de la investigación.
- Posiblemente ahora con más conocimiento de causa se puede determinar con mayor precisión ¿cuál es el problema a resolver?

Salidas : Variables de estado

- λ tasa media de llegadas por unidad de tiempo.
- μ tasa media de servicio (número medio de servicios completados por unidad de tiempo).
- ρ factor de utilización de la unidad de servicio.
- N número de unidades en el sistema.
- P_n probabilidad de que cuando una unidad llega al sistema para recibir servicio haya n unidades en el sistema.
- L número medio de unidades en el sistema.
- L_q número medio de unidades en la cola a la espera de recibir servicio.
- W tiempo medio de estancia en el sistema para cada unidad (tiempo de espera + tiempo de servicio).
- W_q tiempo medio de espera en la cola (desde que llega hasta que empieza a ser servido).

8. DOCUMENTACIÓN



PRB	DATA	MOD	VERI	VAL	EXP	RES	DOC
DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALLIANCE (TEMPS/MILE)	REMARQUES			
1/4/14	20min 0s	2.00	10min 0s				
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s				
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s				
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 18s				
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s				
16/4/14	30min 42s	5.25	09min 27s				
16/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s				
21/4/14	30min 24s	4.00	10min 24s				

FileZilla

CHF 50
CHF 100
CHF 125
CHF 2925

Modifier les références des données

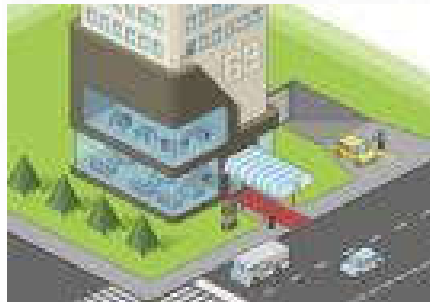
Documentación

- Ayuda a incrementar la vida útil del modelo.
- Se relaciona al proceso de desarrollo, operación e implantación del modelo de simulación.
- Ayuda al modelador a reconocer sus propios errores y mejorar para un siguiente proyecto de simulación

Modelo de Informe Final



9. IMPLANTACIÓN



PRB	DATA	MOD	VERI	VAL	EXP	RES	DOC
DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALL OHS (TEMPS/MILE)	REMARQUES			
1/4/14	20min 0s	2.00	10min 0s				
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s				
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s				
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 18s				
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s				
16/4/14	30min 42s	5.25	09min 27s				
16/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s				
21/4/14	30min 24s	4.00	10min 24s				

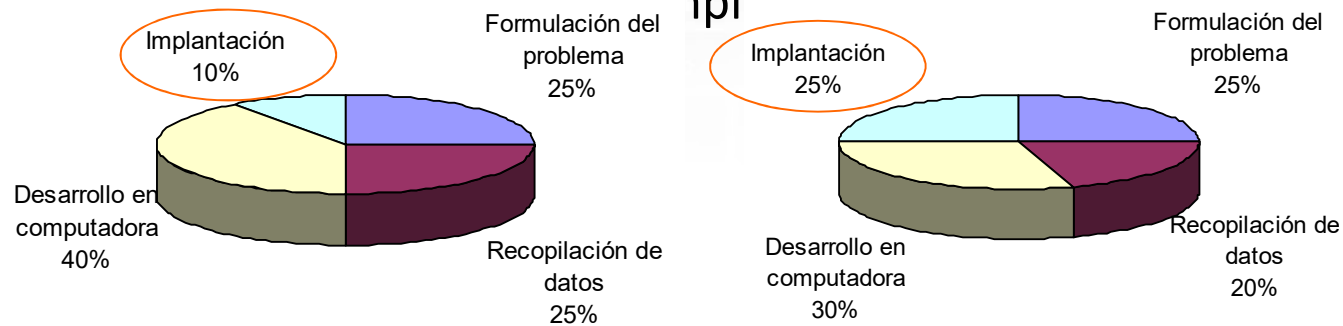
CHF 50
CHF 100
CHF 125
CHF 2925

Modifier les références des données

Implantación

- Para que un proyecto de simulación sea exitoso se deben dar 3 condiciones:
- Sea aceptado, entendido y usado.

Porcentaje de tiempos de implantación:



Porcentaje de tiempos usados en un proyecto de simulación

Bibliografía

1. *Simulation Modeling and Analysis with Arean, Altiok and Melamed*, Chapter 1.
2. *Simulación de Sistemas Discretos. Shannon*. Capítulo 1.
3. *Simulación de Sistemas Discretos. Barceló*. Capítulo 1.

