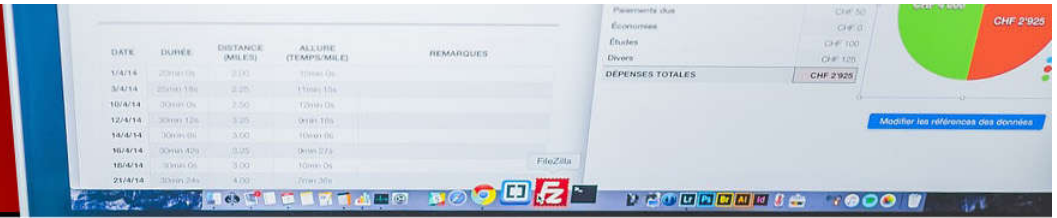


Simulación de Eventos Discretos



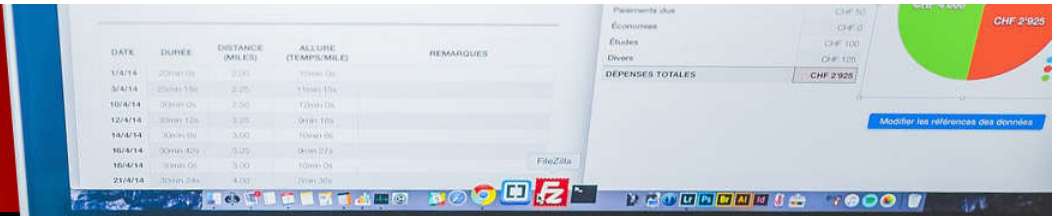
Estructura del Curso

- 1.- Simulación
- 2.- Sistemas, Procesos y Modelos
- 3.- Recomendaciones para Proyectos
- 4.- Generación de Números Aleatorios
- 5.- Método de Montecarlo
- 6.- Generación de Variables Aleatorias
- 7.- Modelación de Datos de Entrada
- 8.- Modelo Conceptual Operacional
- 9.- Diseño de Experimentos

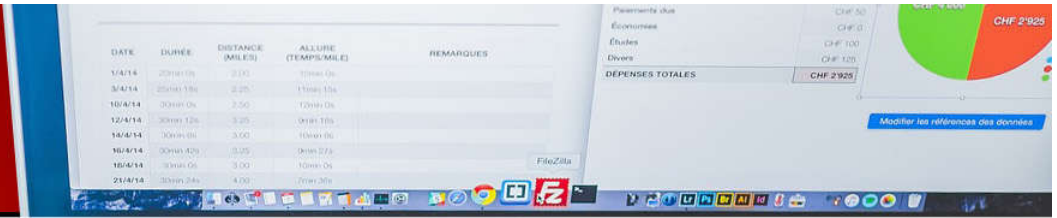


¿Qué es Simulación?

- Es una imitación de las operaciones de un sistema o proceso real (Sistemas complejos).
- Involucra la generación de una historia artificial del comportamiento del sistema y a partir de dicha historia se efectúan inferencias relativas a las características operacionales del sistema real que representa.
- Permite describir y analizar el comportamiento del sistema real, y responder ciertas interrogantes para apoyar el diseño de sistemas reales.



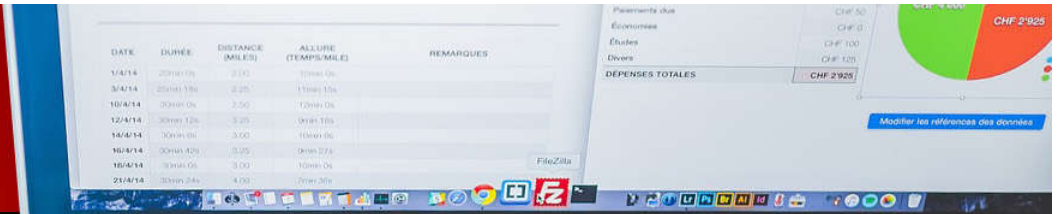
¿Qué es Simulación?



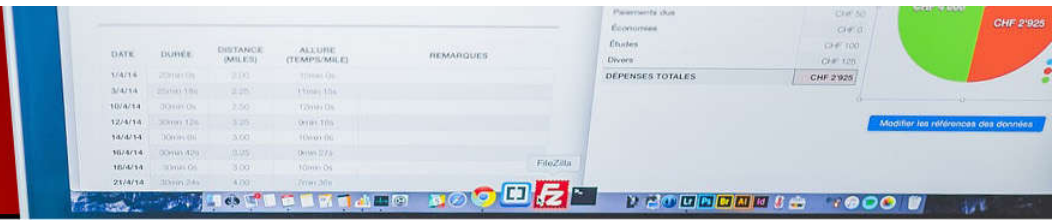
- Es una metodología que permite apoyar la toma de decisiones.
ya sea en el diseño de Sistemas, antes que este sea construido
ya sea probando políticas de Operación, antes que estas sean implantadas
- Por si misma, la Simulación, no resuelve los problemas, sino que ayuda a:
- Identificar los problemas relevantes
- Evaluar cuantitativamente las soluciones alternativas

La simulación...

- Es un término muy amplio, en realidad existen un conjunto de enfoques para analizar problemas
- La Simulación requiere de MODELOS (validez)
- No es una solución analítica
- No obtiene resultados exactos (desventaja)
- Permite modelar sistemas complejos (ventaja)
- Es mejor una respuesta aproximada al problema correcto que una respuesta correcta al problema aproximado
- Es la técnica de modelación estocástica más útil, de mayor reconocimiento en la ingeniería industrial

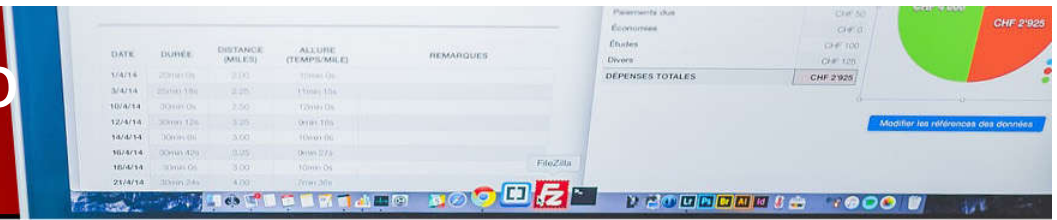


Un poco de historia



- La simulación de eventos discretos, en inglés discrete event simulation (DES), se llevó a cabo en la década de 1960 en las áreas de investigación de operaciones e ingeniería industrial para ayudar a analizar y mejorar los procesos industriales y de negocios. Cabe destacar el desarrollo del software GPSS (General Purpose Simulation System) por Geoffrey Gordon de IBM, que ha contribuido conceptualmente al desarrollo de los lenguajes comerciales de DES que surgieron desde entonces.

Simulación relacionado con sistemas de colas

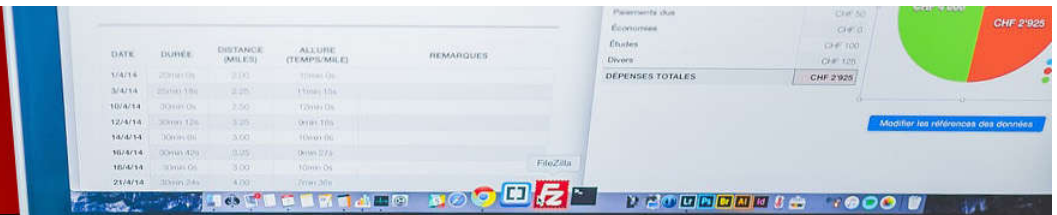


En términos simples, DES modela el progreso de los sistemas de colas a lo largo del tiempo. Esto lo consigue representando el mundo como un conjunto de entidades que fluyen a través de una red de colas y actividades, donde los recursos son compartidos por las actividades (Robinson, 2014). En otras palabras, DES es muy útil para problemas que consisten en simulaciones de colas o redes complejas con colas, en las cuales los procesos pueden ser bien definidos y el énfasis está en representar incertidumbre a través de distribuciones estocásticas.

Muchas de estas aplicaciones se dan en las industrias de manufactura y de servicios (Siebers, Macal, Garnet, Buxton y Pidd, 2010).

Areas de Aplicación

- Telecomunicaciones, Transporte y Energía
- Aplicaciones Militares y Navales
- Política Públicas
- Manufactura — Programación, Inventarios
- Personal en empresas de servicios
 - Bancos, Comida Rápida, Correo, ...
- Distribución y Logística
- Salud — Salas de emergencia y de operaciones
 - Planes de Emergencia (terremotos, inundaciones)
 - Distribución de Servicios (juzgados, hospitales)



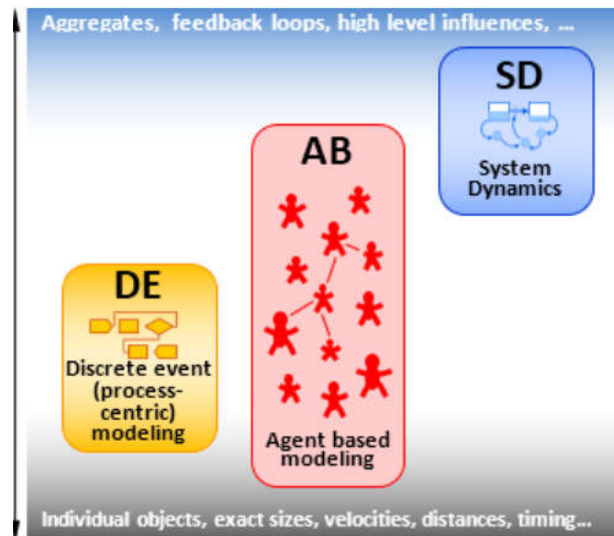
Areas de Aplicación



High abstraction level
(minimum details,
macro level,
strategic level)

Medium abstraction level
(medium details,
meso level,
tactical level)

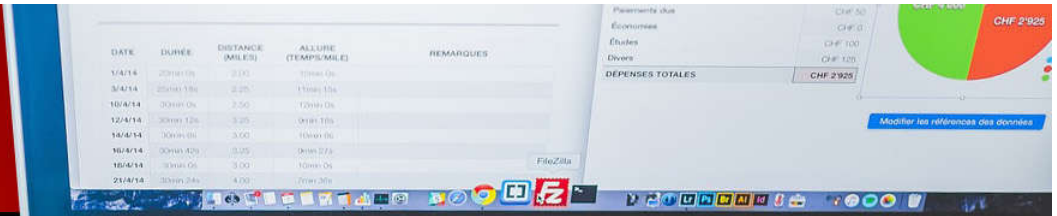
Low abstraction level
(maximum details,
micro level,
operational level)



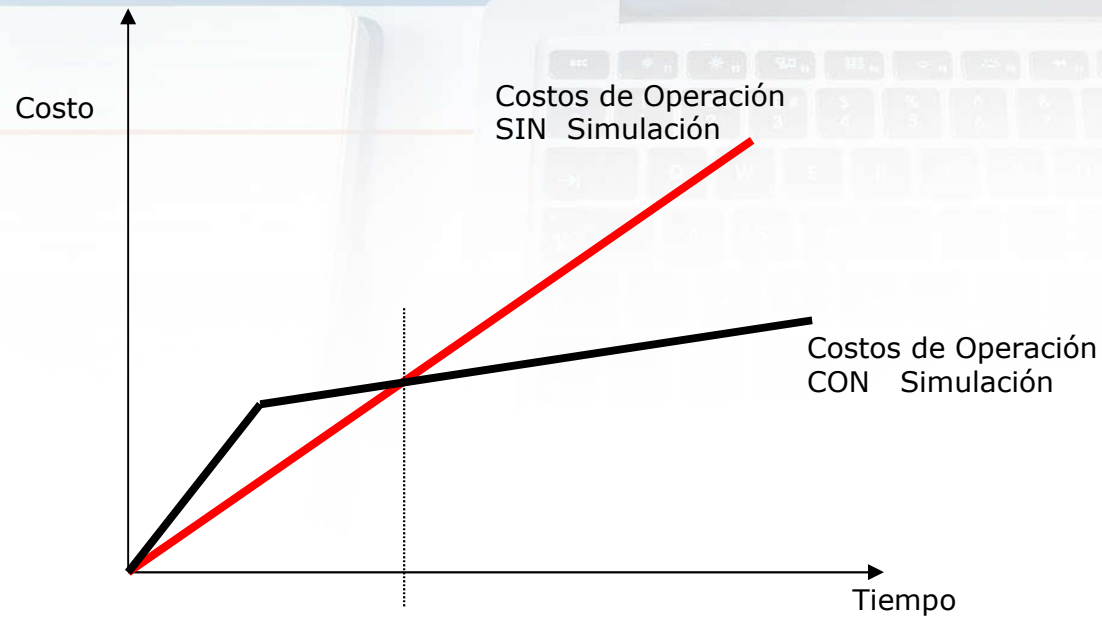
¿Cuándo Simular?

Como regla general, es apropiada cuando:

- Desarrollar un modelo estocástico es muy difícil o quizás aún imposible
- El sistema tiene una o más variables aleatorias relacionadas
- La Dinámica del sistema es extremadamente compleja
- El objetivo es observar el comportamiento del sistema sobre un período
- La habilidad de mostrar la animación es importante.

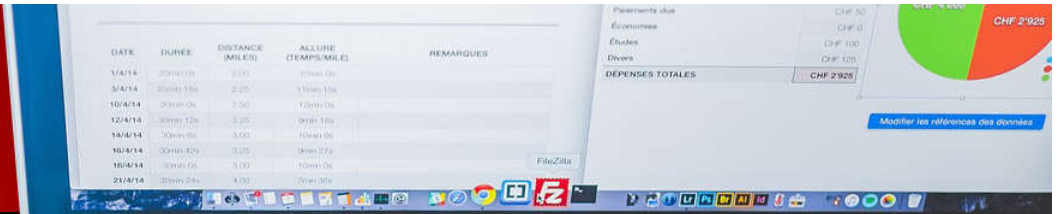


Justificación Económica



Simulación

- Imitar; Emular; Modelo artificial; Prototipo
- Sistema lógico Matemático que reside en un computador
- No proporciona respuestas exactas del sistema real, sólo estimaciones, aproximaciones con error acotado.
- Modelo de Simulación nos provee de una historia artificial del sistema bajo estudio
- En la simulación estocástica las entradas y salidas son aleatorias
 - Generación de variables aleatorias; Análisis estadístico de datos (input output), Diseño y análisis de experimentos de simulación



Ventajas de la Simulación

- Beneficio general de la simulación
 - Laboratorio de aprendizaje-Fácil de modificar
- Algunos beneficios específicos
 - -Mejorar desempeño del sistemas reales complejos
 - -Disminuir inversiones y gastos de operación
 - -Reducir el tiempo de desarrollo de un sistema
 - -Asegurar que el sistema se comportará como se desea
 - -Conocer oportunamente hechos relevantes y efectuar cambios oportunamente
 - A veces es lo único que se puede hacer para estudiar
 - un sistema real (No existe; Se destruye; Muy caro)

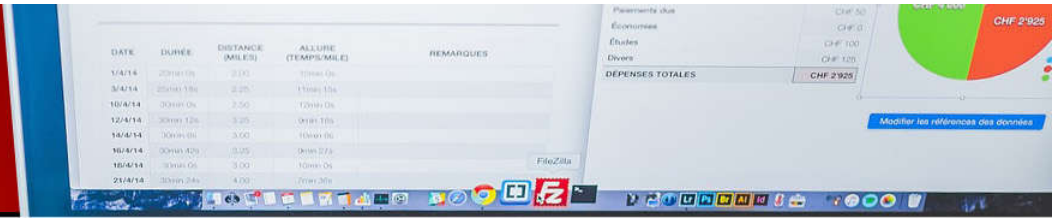


Desventajas de la Simulación

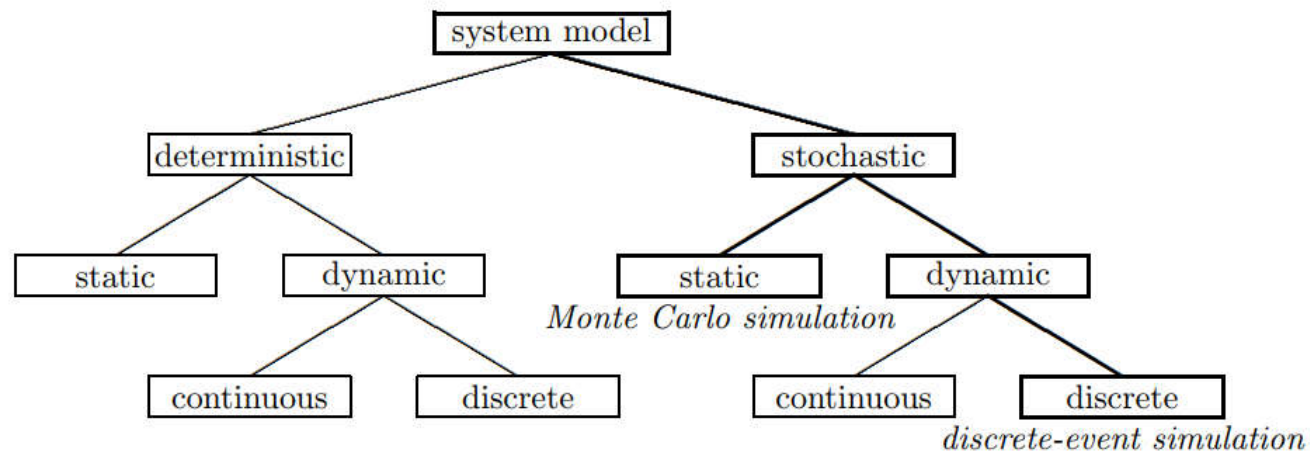
- Puede ser costosa y consumidora de tiempo inicialmente.
 - Algunas veces soluciones mejores y más fáciles son pasadas por alto.
 - Los resultados pueden ser mal interpretados
 - Por lo general son ignorados los factores humanos y tecnológicos.
 - Peligro de poner demasiada confianza en los resultados de la simulación.
 - Es difícil verificar si los resultados son válidos.
- (Proceso de validación tema de estudio)

Tipos de Simulación

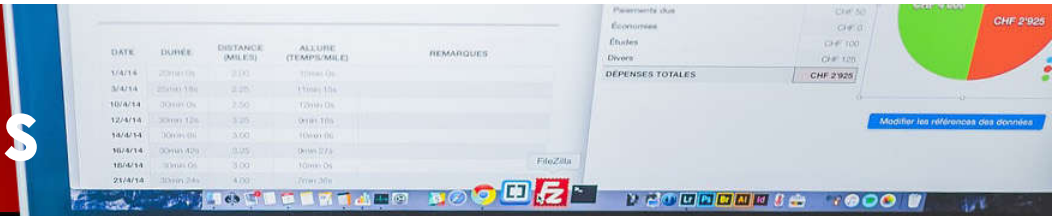
- Estática v/s. *Dinámica*
 - ¿Juega el tiempo un papel en el Modelo?
- Cambios Continuos v/s. *Cambios Discretos*
 - ¿Puede el “estado” cambiar continuamente o sólo cambiar en algunos instantes del tiempo?
- Determinístico v/s. *Estocástico*
 - ¿Es todo cierto o existe incertidumbre?
- La Mayoría de los modelos Operacionales son:
 - *Dinámicos, Cambios-Discretos y Estocásticos*



Tipos de Simulación

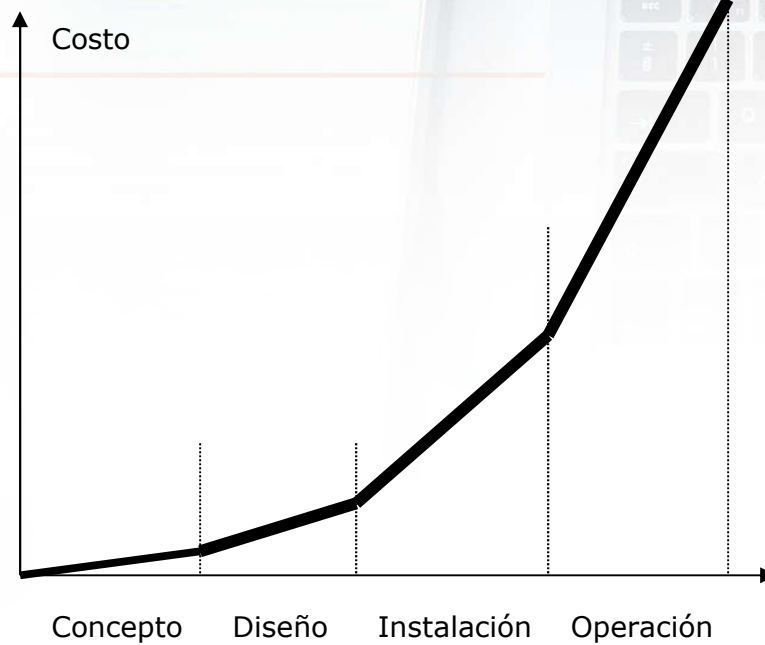


Diseño de Sistemas



- Selección de Método: ¿Varias actividades, deberían ser ejecutadas en una sola estación o dividida en varias estaciones?
- Selección de Tecnología: ¿Cuál es el efecto de emplear automatización en vez de procesamiento manual?
- Optimización: ¿Cuál es el número de recursos que mejor logra los objetivos de desempeño?
- Estudios de Capacidad: ¿Cuál debe ser la capacidad del Sistema?
- Decisiones de Control del Sistema: ¿Cuáles Tareas deberían ser asignadas a cuáles Recursos?

Diseño de Sistemas



Dr. Ohono, Toyota:
“el Costo de remediar un error que se desliza sin detectar de una operación a otra se multiplica por 10 por cada etapa dónde no es detectado”

DATE	DURÉE	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	08min 0s	
16/4/14	30min 42s	5.25	08min 42s	
18/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/4/14	30min 24s	4.00	12min 24s	

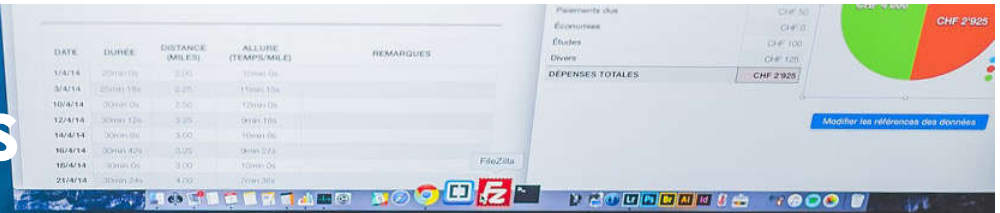
FileZilla

Paramètres du... CHF 50
Economies CHF 0
Études CHF 100
Divers CHF 125
DEPENSES TOTALES CHF 2925

Modifier les références des données

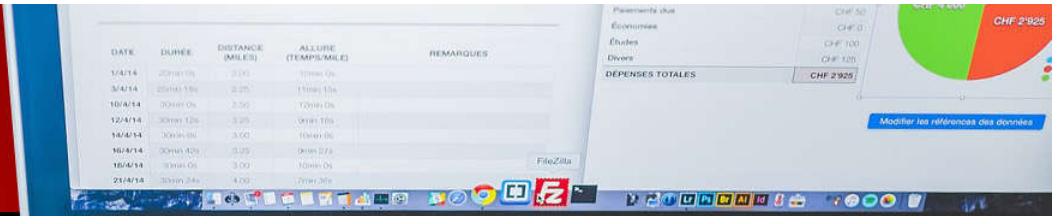
Etapas del Diseño
del Sistema

Gestión de Sistemas



- Programación de la Producción/Cliente: ¿Cuál es la mejor secuencia y timing para introducir productos o administrar clientes al sistema?
- Programación de Recursos: ¿Cuáles equipos y personas son necesarios en cuáles turnos?
- Programación de la Mantención: ¿Cuál programa de mantenimiento afecta menos la operación del sistema?
- Priorización de Trabajos: ¿Cuál es la mejor forma de priorizar las tareas para maximizar los esfuerzos?

Gestión de Sistemas

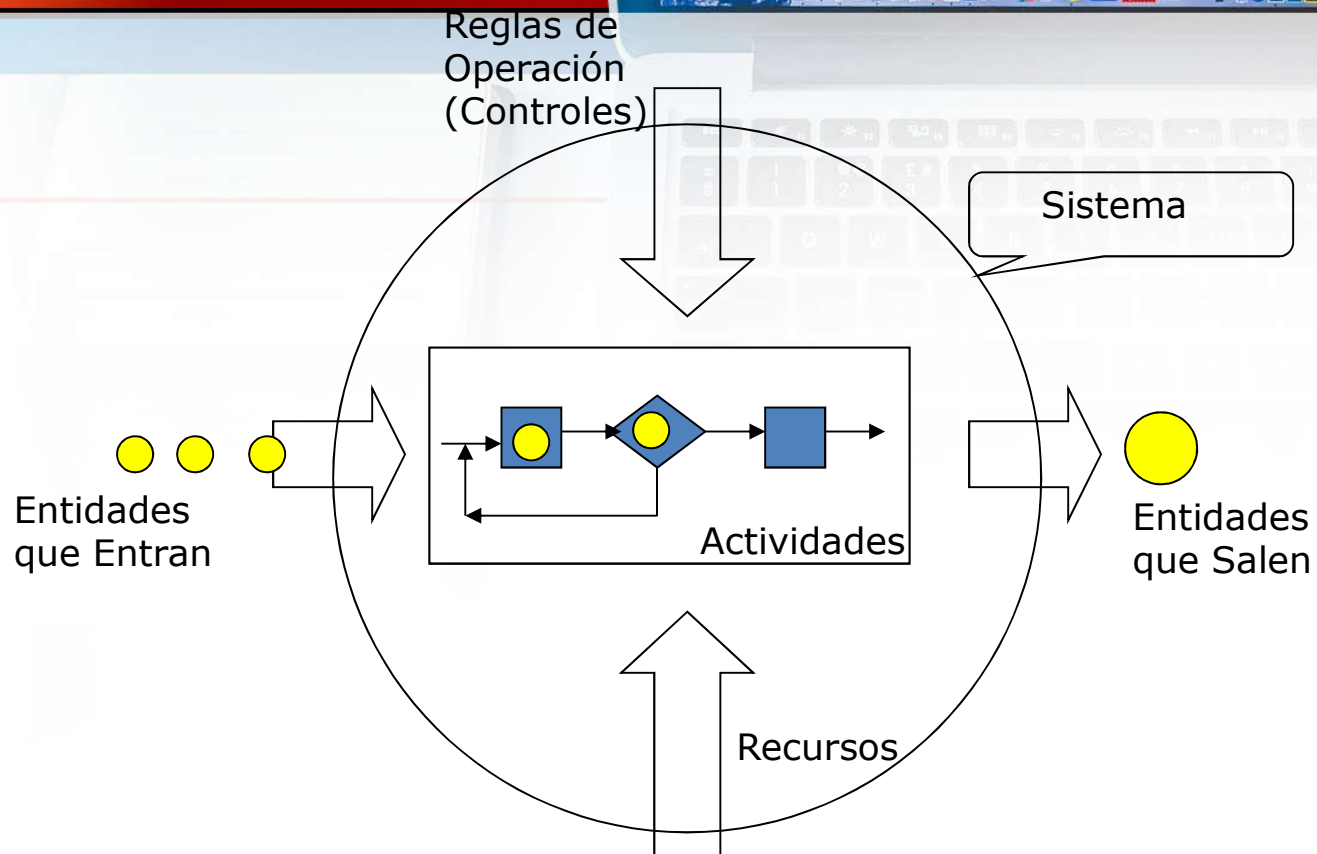


- Gestión de Flujo: ¿Cuál es el mejor forma de mantener balanceado (uniformemente distribuido) el flujo de materiales/clientes en el sistema?
- Gestión de Retardos/Inventario: ¿Cuál es la forma más efectiva de mantener al mínimo clientes esperando o niveles de inventario?
- Gestión de Calidad: ¿Cómo serán afectadas las operaciones si los puntos de inspección son eliminados y los operarios asumen la responsabilidad total por la calidad de su trabajo?

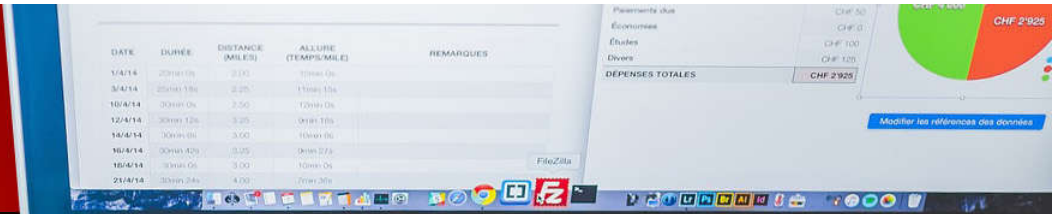
Sistemas v/s Procesos

- **Proceso:** Conjunto de Actividades que crean una Salida o Resultado a partir de una o más Entradas o Insumos.
- **Sistema:** Un Conjunto de Elementos interconectados utilizados para realizar el Proceso. Incluye subprocesos pero también incluye los Recursos y Controles para llevar a cabo estos procesos.
- En el **diseño** de Procesos nos enfocamos en **QUÉ** se ejecuta.
- En el diseño del Sistemas el énfasis está en los detalles de **CÓMO, DÓNDE Y CUÁNDO**.

Sistemas v/s Procesos



Entidades



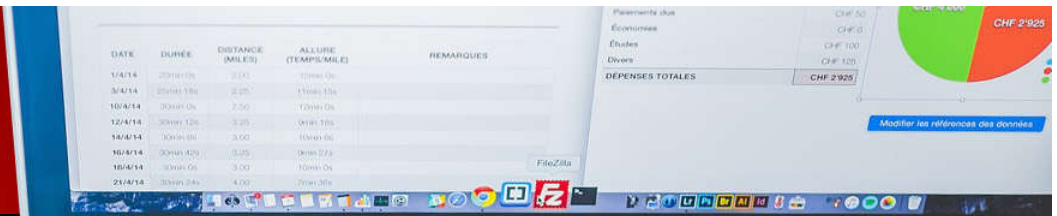
The screenshot shows a software interface with a table of data and a pie chart. The table has columns for DATE, DUREE, DISTANCE (MILES), ALLURE (TEMPS/MILE), and REMARQUES. The data rows show dates from 1/4/14 to 21/6/14. The pie chart on the right shows a total of CHF 2'925, with a green segment representing CHF 1'000 and a red segment representing CHF 1'925. The text '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	20min 0s	
3/4/14	25min 15s	2.25	17min 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 27s	
18/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/6/14	30min 24s	4.00	7min 36s	

- Entidades: Son los items que están siendo procesados dentro del sistema tales como Productos, Clientes , Documentos, etc.
- Cada tipo de Entidad tiene sus propias características tales como Costo, Forma, Prioridad, Estado o Condición.
- Las Entidades se pueden clasificar en:
 - humanas o animadas (pacientes, clientes, etc.)
 - Inanimadas (partes, pallets, canastos, etc.)
 - Intangibles (llamadas, e-mail, proyectos, etc.)

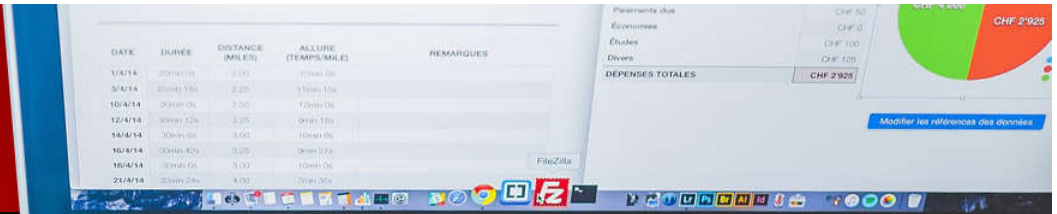
Actividades

- Son las Tareas o Acciones que tienen lugar en el Sistema, tales como satisfacer una orden de pedido, atender un paciente, reparar una máquina, etc.
- Las Actividades tienen duración y, usualmente, envuelven el uso de Recursos.
- Ejemplos típicos de actividades:
 - Procesamiento de Entidades (llenar un formulario, fabricación de una pieza, tomar radiografías, inspección, tratamiento, etc.)
 - Mover Entidades
 - Mover Recursos
 - Mantenimiento y Reparación de las Máquinas (recursos)



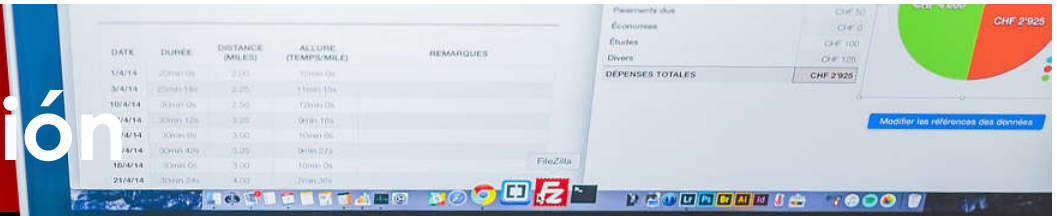
Recursos

- Son los “Medios” por los cuales se ejecutan las actividades. Definen **QUIÉN** o **QUÉ** realiza tal actividad, **DÓNDE** se realiza y **CUÁNDO** se realiza.
- Pueden tener una variada gama de características tales como capacidad de proceso, velocidad, tiempo de ciclo, flexibilidad, confiabilidad, etc.
- Los Recursos en un sistema pueden incluir
 - Personas
 - Equipos
 - Espacio
 - Métodos
 - Energía
 - Tiempo
 - Dinero



Reglas de Operación

- Controles. Gobiernan el **CÓMO, CUÁNDO Y DÓNDE** se realizan las actividades. Determinan qué acción tomar cuando ocurren ciertos **eventos** o condiciones.
- Al más alto nivel toman la forma de Planes y Políticas. A bajo nivel toman la forma de procedimientos o lógica de programas (computador).
- Ejemplos de reglas de Operación
 - Planes de Procesos
 - Planes de Producción
 - Planes de Trabajo
 - Políticas de Mantenimiento
 - Hojas de Instrucciones
 - Límites de ejecución
 - Programas de controladores automáticos



Medidas de Desempeño

El Objetivo o Meta de los esfuerzos de diseño o mejora de un sistema es transformar las entradas en las salidas deseadas de la manera más eficiente, costo-efectiva y en plazos apropiados.

- **Tiempo de Ciclo.** El tiempo requerido para completar el procesamiento de una entidad.
- **Utilización de Recursos.** La proporción del tiempo en que los recursos o personas están en uso productivo.
- **Tiempo de Valor-Agregado.** La cantidad de tiempo que clientes y material ocupan realmente en las operaciones o servicio productivo

Medidas de Desempeño

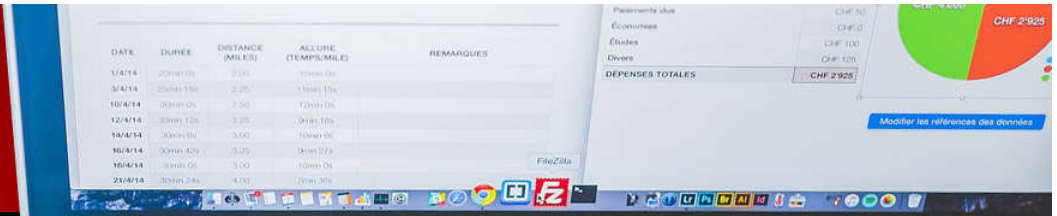
- **Tiempo de Espera.** Lapso de tiempo que entidades -material y clientes - esperan en ser atendidos por un recurso.
- **Tasa de Proceso.** La tasa a la cual entidades son procesadas. Mide la capacidad de procesamiento.
- **Calidad.** Proporción de partes producidas o clientes atendidos que cumplen con los estándares especificados.
- **Flexibilidad.** La habilidad del sistema para adaptarse a las fluctuaciones en volumen y en variedad.
- **Costo.** Los costos de operación del sistema.

El Enfoque de Sistemas

Al diseñar y hacer mejoras a un sistema es:

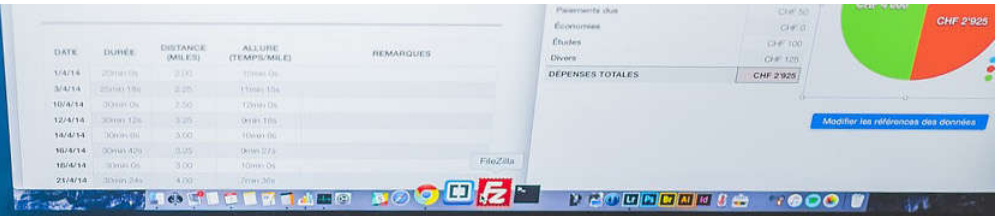
- Interesa no sólo
 - (i) identificar sus elementos y
 - (ii) las metas de desempeño,
- sino también se requiere entender
 - (i) cómo se relacionan elementos unos con otros; esto es conocer y comprender todas la Relaciones Causa-Efecto relevantes
 - (ii) las metas de desempeño globales; esto es conocer y comprender las relaciones claves Decisión-Respuesta.

Relaciones Causa-Efecto



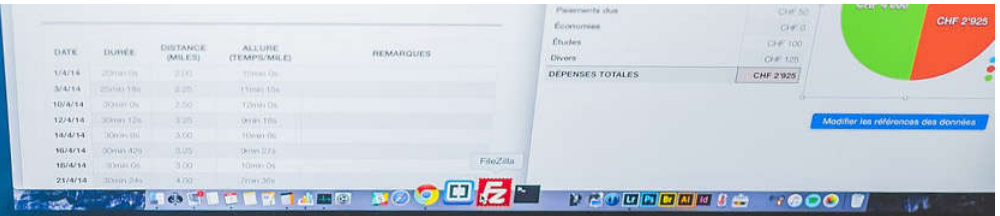
- Ellas definen el comportamiento o dinámica del sistema y, por lo tanto, determinan cómo el sistema se desempeñará.
- Son definidas identificando todas las acciones que pueden tener lugar en el sistema y entonces determinarán los eventos, condiciones, u otras acciones que darán origen a cada una de ellas.
- Muchas relaciones causa-efecto son realmente parte de la cadena en la cual una serie de acciones resultantes son generadas por una acción inicial.

Relaciones Decisión-Respuesta



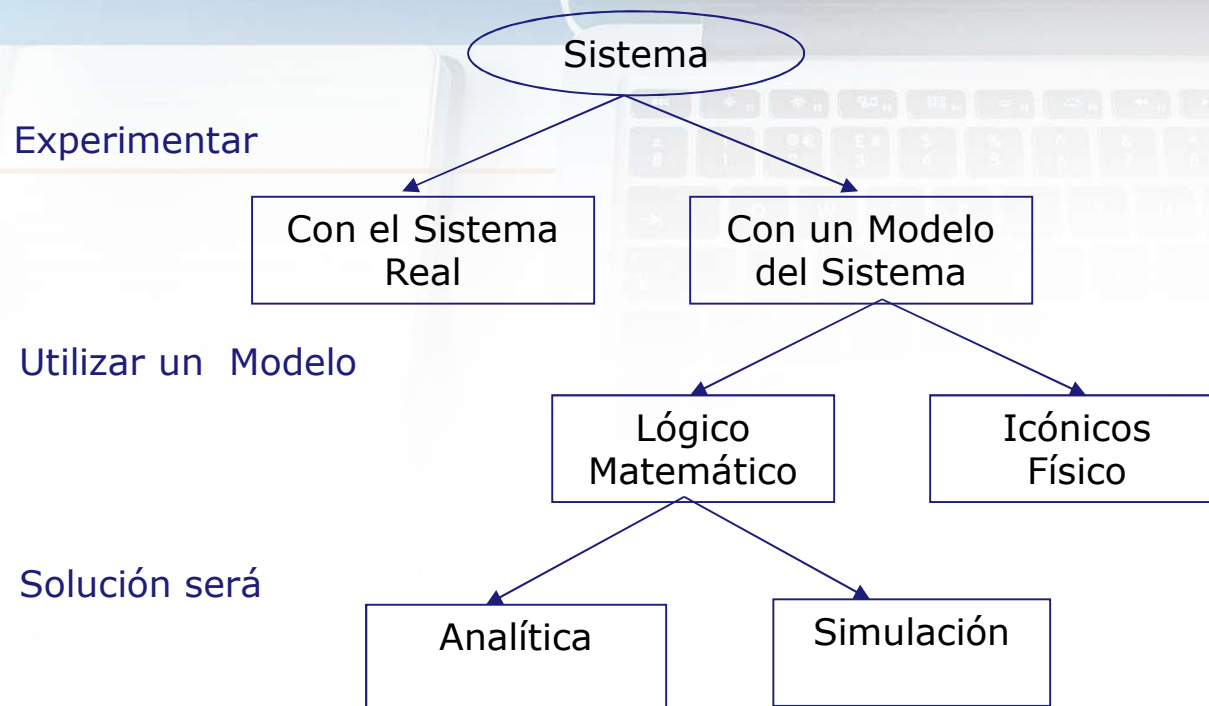
- Mientras las relaciones causa-efecto tienen que ver las relaciones directas e inmediatas de las causas raíces, la Respuesta o Desempeño Global es el resultado de todos los efectos combinados que ocurren en un período de tiempo dado.
- La respuesta de un sistema a valores dados de variables controlables, puede ser sólo estimada analíticamente o determinada empíricamente a través de experimentos.

Relaciones Decisión-Respuesta



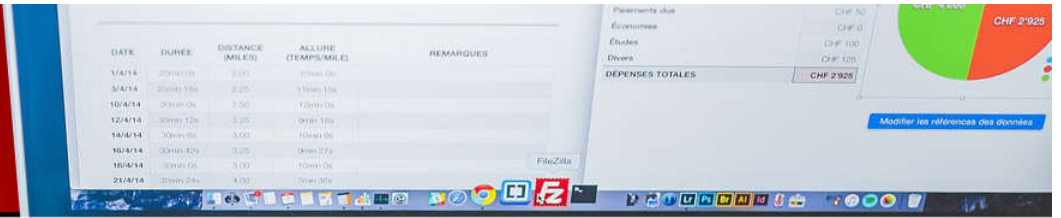
- Una **Variable de Control** es la especificación de un elemento particular del sistema: cantidad de recursos, duración de la actividad, lógica decisional, etc.
- Un sistema opera como queda definido por las variables de control, las que determinan, que el sistema responda de cierta forma.
- Las **variables de respuesta** (o de desempeño) son variables que miden el desempeño del sistema en respuesta a ciertas combinaciones de las variables de control.

Estudiar Comportamiento...

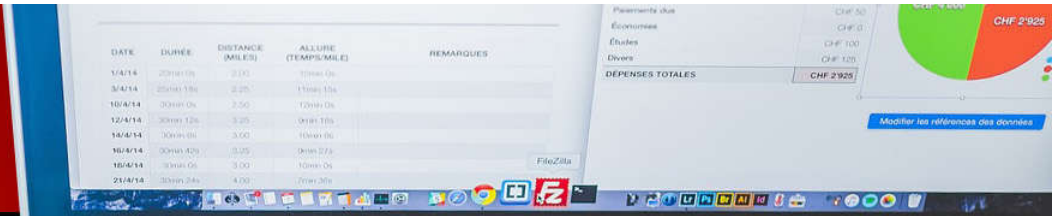


Modelos

- Es una abstracción/simplificación del sistema, se utiliza como una aproximación de éste.
- Se puede probar un amplio rango de ideas en el modelo
 - Cometer errores en el computador dónde no importa, antes que en el sistema real dónde sí importa
- Se debe considerar la **validez del modelo**.
- Dos tipos de modelos
 - *Físico* (icónico característica física)
 - *Lógico/Matemático* (variables cuantitativo y lógico suposiciones, aproximaciones, robustez)



Modelos



- Con el propósito de estudiar científicamente un sistema del mundo real debemos hacer un conjunto de **supuestos** de cómo trabaja.
- Estos supuestos, que por lo general toman la forma de relaciones matemáticas o relaciones lógicas, constituye un **Modelo** que es usado para tratar de ganar cierta comprensión de cómo el sistema se comporta.
- En simulación utilizamos un computador para evaluar un modelo numéricamente, y recolectar datos con el propósito de **estimar** las características deseadas del modelo.

Modelos

Variables de Estado



Relaciones
Causa-Efecto

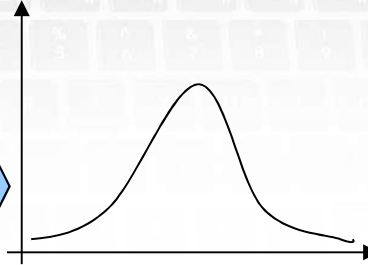
Entidades
Actividades
Recursos

Reglas de Operación

Relaciones
Decisión-Resultado

Variables de control

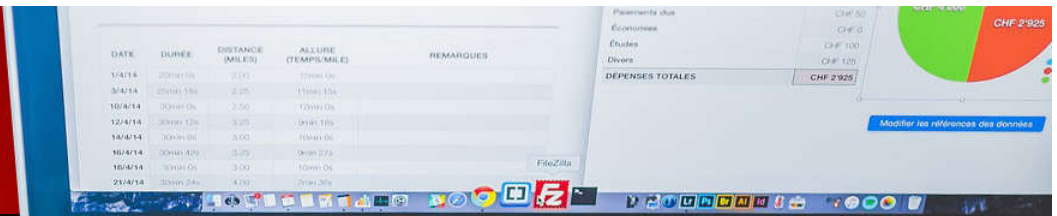
Respuesta



**Factor
que se
varía**

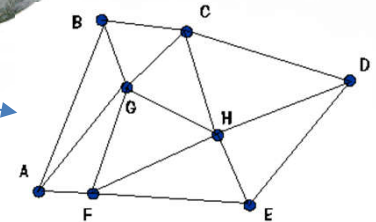
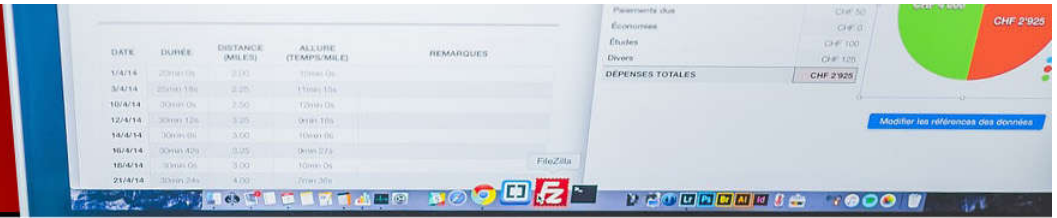
¿Qué hacer?

- Si el modelo es lo suficientemente simple, usar las matemáticas tradicionales (teoría de colas, ecuaciones diferenciales, programación lineal o no lineal) para obtener “respuestas”
 - Un método bueno será el que pueda obtener respuestas lo más “exactas” al modelo.
 - Pero puede involucrar muchos supuestos simplificadores que hacen el modelo manejable analíticamente.... Pero es válido?
- Muchos sistemas complejos requieren modelos complejos por problemas de validez. En estos casos se requiere Simulación.

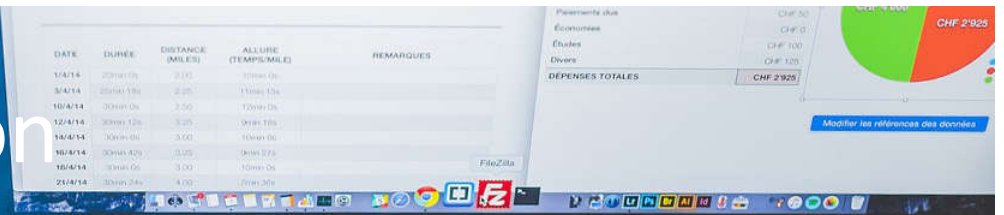


Clasificación de Modelos

- Modelos Descriptivos (imagen)
- Modelos Predictivos (¿Qué sucederá si....)
- Modelos Normativos (mejor respuesta)
- Modelos Icónicos (características físicas)
- Modelos Analógicos (emulan ; paralelismo)
- Modelos Simbólicos (gráfico; algebraico)
- Modelos Determinísticos (certidumbre)
- Modelos Estocásticos (incertidumbre)
- Modelos Estáticos (independiente ; temporal espacial)
- Modelos Dinámicos (temporalidad)



Modelo de Simulación

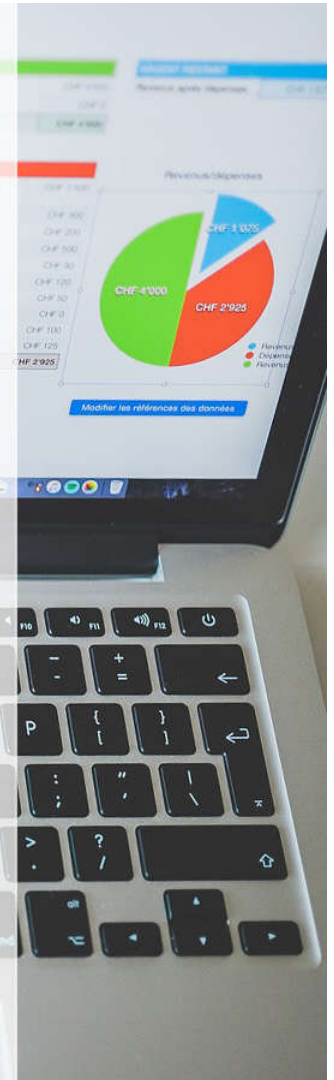
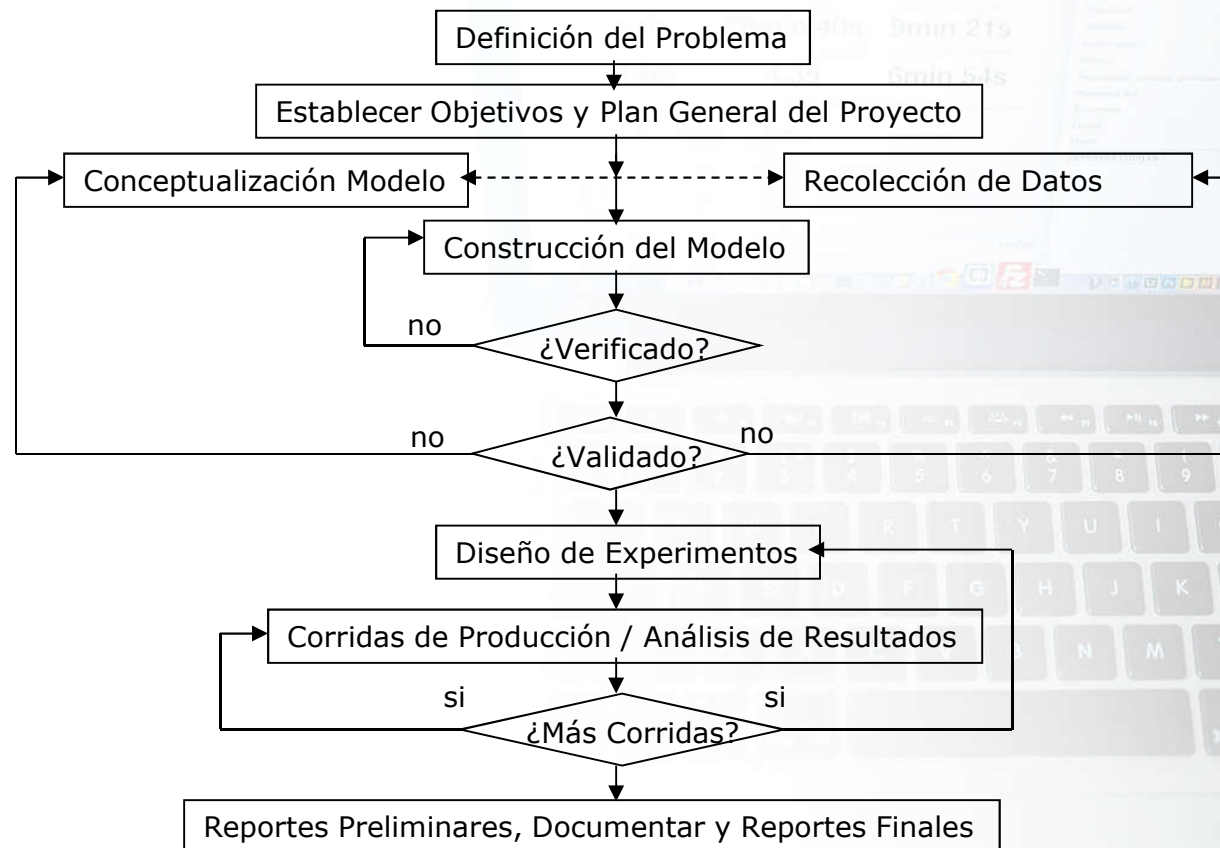


DATE	DURÉE	DISTANCE (MILES)	ALLURE (TEMPS/MILE)	REMARQUES
1/4/14	20min 0s	2.00	30min 0s	
3/4/14	25min 15s	2.25	11min 15s	
10/4/14	30min 0s	2.50	12min 0s	
12/4/14	30min 12s	3.25	09min 18s	
14/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
16/4/14	30min 42s	3.25	09min 27s	
18/4/14	30min 0s	3.00	10min 0s	
21/4/14	30min 24s	4.00	17min 30s	

Payements dus: CHF 50
Economies: CHF 0
Études: CHF 100
Divers: CHF 125
DEPENSES TOTALES: CHF 275

Modifier les références des données

Proyecto de Simulación



Proyecto de simulación

Definición del Problema

Define el Problema a ser estudiado, incluyendo una declaración escrita del objetivo.

Conceptualización Modelo

Abstraer el sistema en un modelo describiendo todos sus elementos, sus características y sus interacciones (gráficos).

Recolección de Datos

Identificar, especificar y coleccionar datos en apoyo del modelo.

Construcción del Modelo

Traducir el modelo conceptualizado utilizando los constructos de algún lenguaje de simulación.

Verificación y Validación

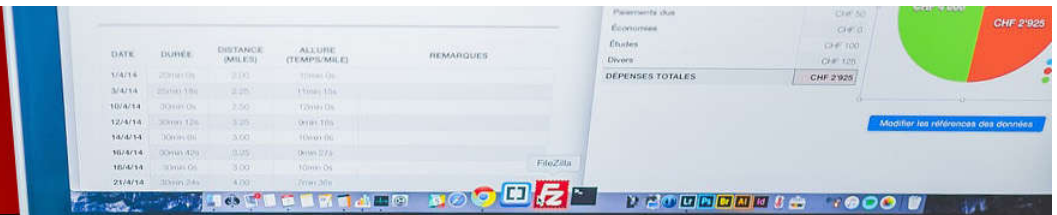
Establecer si el modelo ejecuta lo que postula y si existe una concordancia entre el modelo y el sistema real.

Conducir Experimentos

Hacer corridas de simulación controladas. modificando los niveles de una variable de control y manteniendo el resto exactamente igual. La variación en la salida se atribuye a estos cambios.

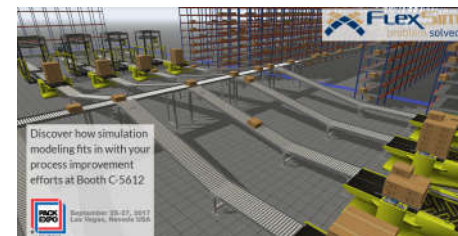
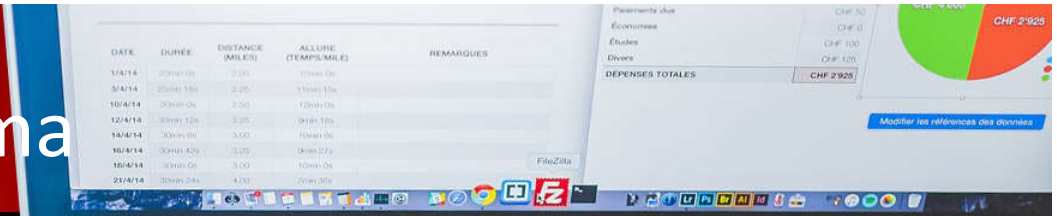
Analizar Resultados

Estudiar los resultados de la simulación para inferir nueva información y hacer recomendaciones para la resolución del problema.



Definición del problema

- Partir con supuestos adecuados
- Trabajar en el Problema Correcto
- Manejar expectativas
- Preguntar Hábilmente
- Escuchar sin Juzgar
- Comunicar Abiertamente
- Pronosticar la Solución



Conceptualización Modelo

- Partir de “atrás para adelante”
- Fijar primero dónde se quiere llegar para señalar la partida
- Modelo se construye de “abajo-arriba”

Establecer Objetivos

Identificar y Priorizar Preguntas Claves

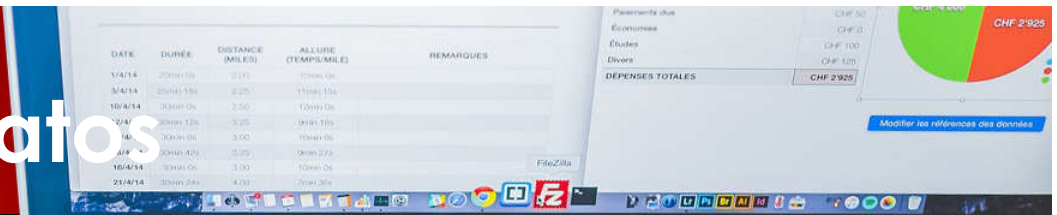
Salidas Requeridas para dar Respuesta a Preguntas Claves

Establecer los Límites del Modelo y Restringir los detalles

Especificar las Entradas al Modelo

Recolección de Datos

- Una vez que la propuesta ha sido aceptada, se debería preparar un programa de requerimiento de datos.
- La conceptualización del modelo y la recolección de datos son actividades que se realizan en paralelo.
- La conceptualización indica el tipo de datos que se requieren y en que forma. Los datos recolectados permiten, a su vez, refinar y reforzar el concepto del modelo.

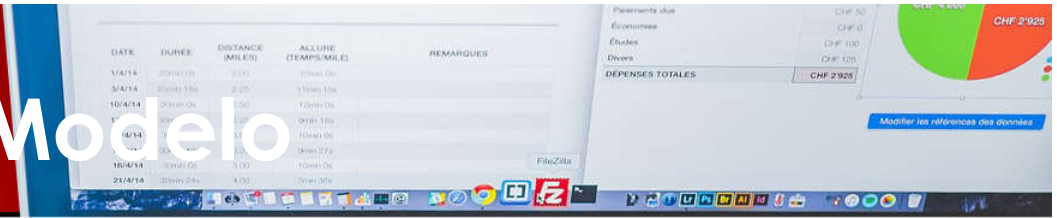


Construcción del Modelo

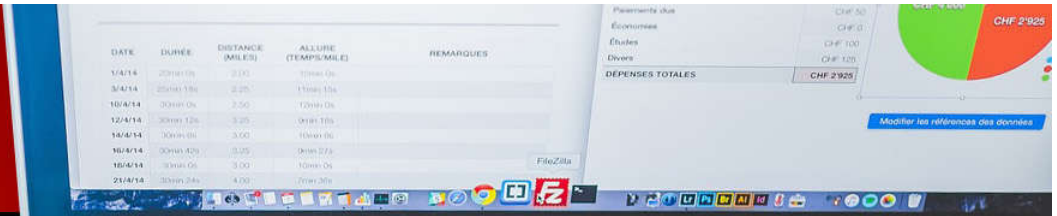
- El Modelo conceptual se traduce a un modelo computacional utilizando lenguajes de propósito general o bien paquetes de aplicación tales como Flexsim, Simio, Anylogic, Arena, etc.
- Se debe tener en cuenta que un paquete de aplicación se ajusta mejor a los requerimientos del sistema real, considerando las particularidades de cada lenguaje de simulación

Construcción del Modelo

- 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*
- Mantener Momentum
 - *Es mejor muchos hitos intermedios que una fecha límite de término.*
- Revisiones.
 - *Darse tiempo para realinear el proyecto.*

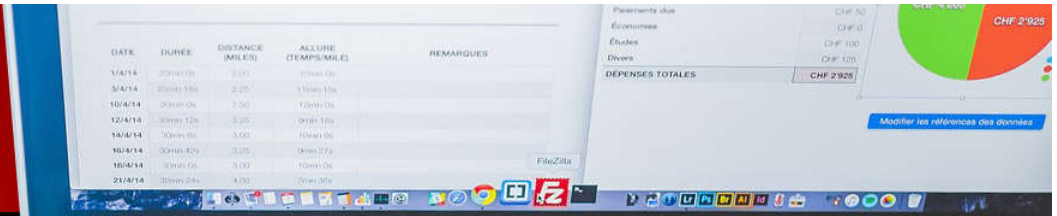


¿Verificado?



- Verificación se refiere al modelo operacional. ¿Está funcionando adecuadamente?; esto es, ¿está haciendo lo que se supone que debería hacer?
- ¿Los datos son los apropiados?, ¿son razonables?; ¿el modelo computacional refleja con exactitud el modelo conceptual?
- No es razonable y altamente no recomendable esperar llegar al final para hacer esta tarea. La construcción del modelo operacional o simulador debe cumplir con todas las especificaciones de aseguramiento de calidad del desarrollo de software.

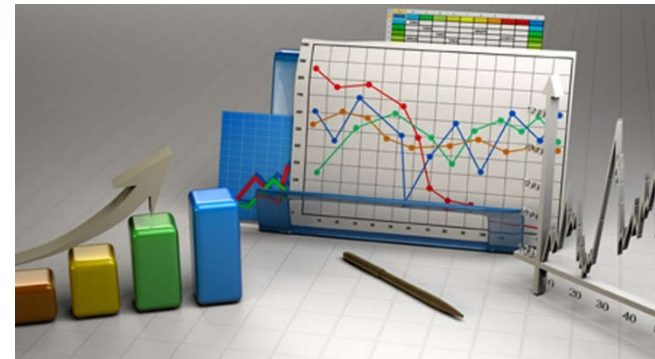
¿Validado?



- En la validación se debe determinar si el modelo conceptual es una representación apropiada del sistema real; esto es, ¿refleja lo que se supone que debe representar?. ¿Puede el modelo substituir al sistema real para propósitos de experimentación?
- Esta actividad en realidad debe ser considerada como un proceso continuo; cada etapa debe verificarse : ¿está el problema claramente definido?; ¿el modelo conceptual es razonable?; ¿son los datos de entrada representativos de la realidad?

Diseño de Experimentos

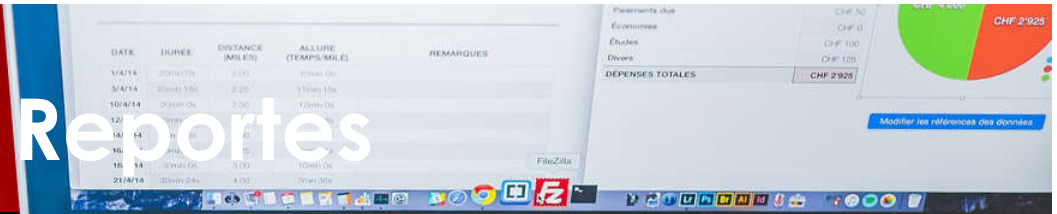
- Para cada escenario que se simulará es preciso establecer:
 - el largo de la corrida de simulación,
 - la puesta a punto del simulador (inicialización) y
 - el número de réplicas para cada escenario



Corridas de Producción y Análisis

- Las Corridas de Producción y su posterior análisis, se utilizan para estimar las medidas de desempeño de los distintos escenarios que se están simulando.
- Basado en el análisis de las corridas que se han completado, se debe determinar si se requieren corridas adicionales o si es necesario estudiar otros escenarios.
- Se requieren más corridas, cuando los resultados estadísticos no permiten aceptar o rechazar una hipótesis;

Documentación y Reportes



- La documentación y reportes es necesaria por varias razones obvias. Si el simulador se utilizará otra vez con mayor o menor frecuencia por el mismo u otros analistas es necesario saber qué hace y cómo lo hace. Lo mismo ocurre si el simulador es un prototipo y debe ser modificado en el futuro.
- Es importante documentar cada etapa del esfuerzo de simulación junto con su ejecución; con esto se asegura que nada quedará en el tintero. La otra razón es entregar al cliente informes de avance en cada etapa y obtener su aprobación, especialmente en la definición del problema.

Documentación y Reportes

Dossier de documentos formales a entregar debe contener a lo menos:

- Definición de Objetivos y Metas.
- Plan de Trabajo: (Carta Gantt o Pert)
- Supuestos para el Modelo
- Modelo Conceptual
- Registro de Cambios
- Modelo Operacional
- Datos de Prueba

