



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Maestría en Ingeniería para la Industria con
Especialidad en Telecomunicaciones**

Unidad 1: Conceptos Básicos de Modelado y Simulación

Fundamentos de Modelado y Simulación



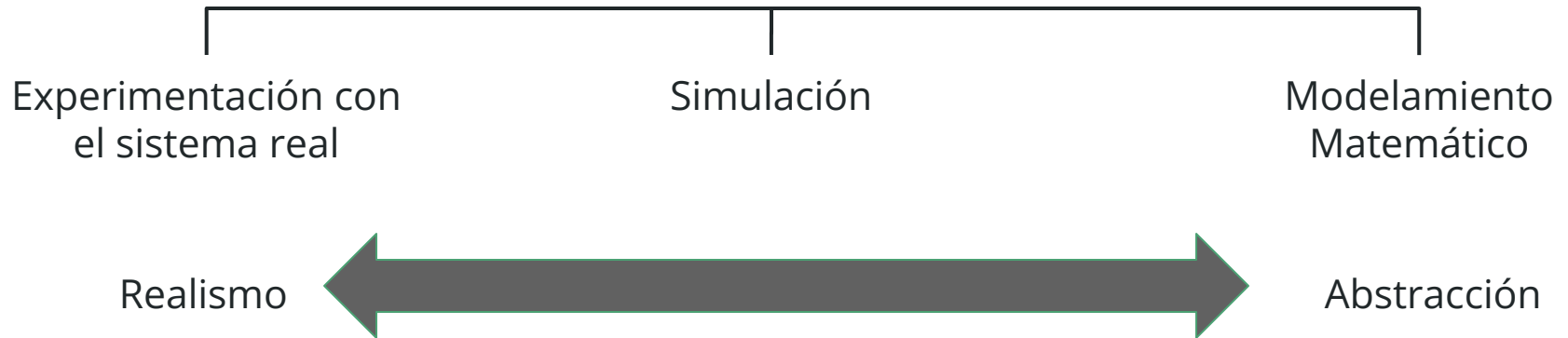
¿Qué es la Simulación?

- Una **simulación** es la imitación de la operación de un proceso o **sistemas** de la vida real a través del tiempo.
- La **simulación** involucra la generación de una historia artificial de un sistema y la observación de dicha historia artificial para obtener inferencias relativas a las características de funcionamiento del sistema real.
- Esto puede ser de forma manual o por medio de una computadora.
- Por medio de la **simulación** podemos hacer distintas configuraciones y reconfiguraciones en un **sistema**, sin tener que hacerlas de manera “real”.
- El objetivo es analizar esa historia artificial para inferir cómo se va comportar esos **sistema**.



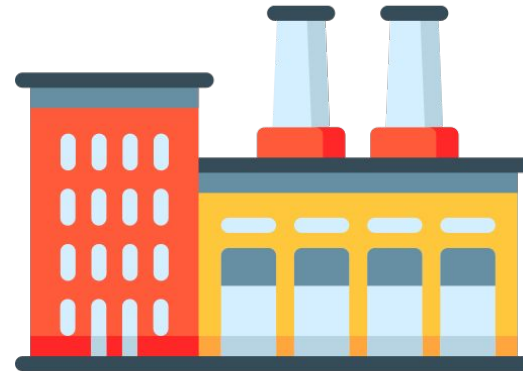
¿Qué es la Simulación?

- La **simulación** es un punto intermedio entre el realismo de **experimentar** con el sistema real, y la abstracción de aplicar un **modelo matemático**.



Caso de uso de una simulación

Consideremos una empresa manufacturera que está contemplando la construcción de una gran ampliación en una de sus plantas, pero no está segura de si la ganancia potencial en productividad justificaría el coste de construcción. Desde luego, no sería rentable construir la ampliación y eliminarla después si no funciona. Sin embargo, un cuidadoso estudio de **simulación** podría arrojar algo de luz sobre la cuestión simulando el funcionamiento de la planta tal y como existe actualmente y tal y como sería si se ampliará la planta.





¿Cuándo es apropiada la herramienta de simulación ?

- Estudiar sistemas complejos, o subsistemas dentro de sistemas complejos.
- Observar cambios en la información, organización y de entorno en un sistema y el efecto que tienen dichos cambios en el comportamiento del modelo.
- Obtener conocimiento durante el diseño de un modelo de simulación, el cual nos ayude a mejorar el sistema real.
- Identificar las variables que son más importantes en el sistema.
- Entender y reforzar lo que hemos aprendido de la la solución analítica.
- Probar nuevos diseños o políticas en el sistema, antes de aplicarlas al sistema real.



¿Cuándo es apropiada la herramienta de simulación ?

- Para verificar una solución analítica.
- Simulando diferentes capacidades de una máquina podemos determinar cuales son sus requerimientos.
- Los modelos de entrenamiento contruidos por simulación nos permiten aprender sin el costo y la interrupción de aprender en un sistema real.
- Mediante animación podemos ver de forma simulada la operación de un sistema y tener una visual del plan.
- Los sistemas modernos (como las fábricas, planta de manufactura, o las organizaciones de servicios) son tan complicados que la única forma de entender realmente cómo funcionan en conjunto es utilizando la simulación.



¿Cuándo NO es apropiada la simulación?

- Cuando puede resolverse usando el sentido común.
- Si el problema puede ser resuelto analíticamente.
- Si es mas fácil o menos costoso realizar experimentos directos.
- Si los costos exceden los ahorros.
- Cuando no se dispone del tiempo o los recursos.
- Cuando no existe disponibilidad de los datos.
- Cuando no exista la disponibilidad de tiempo para validar y verificar el modelo.
- Si el comportamiento del sistema es demasiado complejo



Ventajas y Desventajas de la Simulación

Ventajas

- Explorar de nuevas políticas y procedimientos sin interrumpir el sistema.
- Probar nuevos diseños de hardware, distribuciones físicas, sistemas de transporte, sin invertir recursos.
- Prueba de viabilidad de hipótesis.
- Compresión o expansión del tiempo.
- Obtener información sobre la interacción entre las variables de un sistema.
- Entender qué variables tienen mayor impacto en el desempeño de un sistema.
- Análisis de cuellos de botella.
- Comprender cómo funciona un sistema en lugar de cómo los individuos piensan que funciona.
- Responder a preguntas tipo “Qué Pasaría Si”.



Ventajas y Desventajas de la Simulación

Desventajas

- La construcción de modelos requiere entrenamiento especial.
- Los resultados de la simulación pueden ser difíciles de interpretar.
- El modelado y análisis de una simulación puede consumir tiempo y ser costoso.
- Podríamos llegar a sobre utilizar la simulación cuando existe una solución analítica.



Áreas de Aplicación

- Diseño y análisis de sistemas de manufactura.
- Evaluación de sistemas de armamento militar o sus requisitos logísticos.
- Determinación de requisitos de hardware o protocolos para redes de comunicaciones.
- Determinación de requisitos de hardware y software para un sistema informático.
- Diseño y explotación de sistemas de transporte como aeropuertos, autopistas, puertos y metros.
- Evaluación de diseños para organizaciones de servicios como centros de llamadas, restaurantes de comida rápida, hospitales y oficinas de correos.
- Reingeniería de procesos empresariales.
- Análisis de cadenas de suministro.
- Determinación de políticas de pedidos para un sistema de inventario.
- Análisis de operaciones mineras.



Sistemas y entorno de sistema

- **Sistema:** un conjunto de entidades que actúan e interactúan juntas en el tiempo para cumplir algún fin lógico.
- **Entorno del sistema:** Variables fuera del sistema cuyos cambios afectan el comportamiento del sistema.
- **Límites del sistema:** Para modelar un sistema, es necesario decidir los **límites** entre el sistema y su entorno, esta decisión depende del propósito del estudio.



Componentes de un sistema

- El **estado** de un sistema se define como el conjunto de **variables** necesarias para describir el sistema en cualquier momento, en relación con los objetivos del estudio. Por ejemplo, número de cajeros ocupados, número de clientes esperando en la cola.
- En el **estado del sistema** se deben considerar todas las variables que entreguen información relevante, la cual dependerá de los objetivos deseados y de las medidas de salida que serán evaluadas.
- Una **entidad** es un objeto o componente de interés en el sistema, debido a su interés requiere una representación explícita en el modelo. Por ejemplo, los clientes de un banco.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad. Por ejemplo, el saldo de la cuenta corriente del cliente.



Componentes de un sistema

- Un **evento** se define como un suceso instantáneo que puede cambiar el estado del sistema. Por ejemplo, la llegada de un cliente, la incorporación de un nuevo cajero o la salida de un cliente.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de una duración determinada. Aquí se hace hincapié en el periodo de tiempo porque a menudo la simulación implica tiempo. Por ejemplo, ingresar dinero en la cuenta corriente en una fecha y hora determinadas.
- **Endógeno**: Actividades y eventos dentro del sistema.
- **Exógeno**: Actividades y eventos en el entorno que afectan el sistema



Ejemplo: Sistemas y componentes

| Sistema | Entidades | Atributos | Actividades | Eventos | Variables de Estado |
|--------------|-----------|---------------------------------------|----------------------|---|--|
| Banco | Clientes | Saldo de cuenta monetaria | Realizando depósitos | Llegada, Salida | Número de cajeros ocupados, número de clientes esperando |
| Metro | Pasajeros | Origen, Destino | Viajando | Llegada a la estación, Llegada al destino | Número de pasajeros esperando en cada estación; número de pasajeros en tránsito. |
| Producción | Maquinas | Velocidad, Capacidad, taza de averías | Soldando, estampando | Avería | Estatus de la máquina (ocupada, libre, no disponible) |
| Comunicación | Mensajes | Longitud, Destino | Transmitiendo | Llegada al destino | Número por ser transmitido |
| Inventario | Bodega | Capacidad | Retiro | Demanda | Niveles de inventario, demanda atrasada |

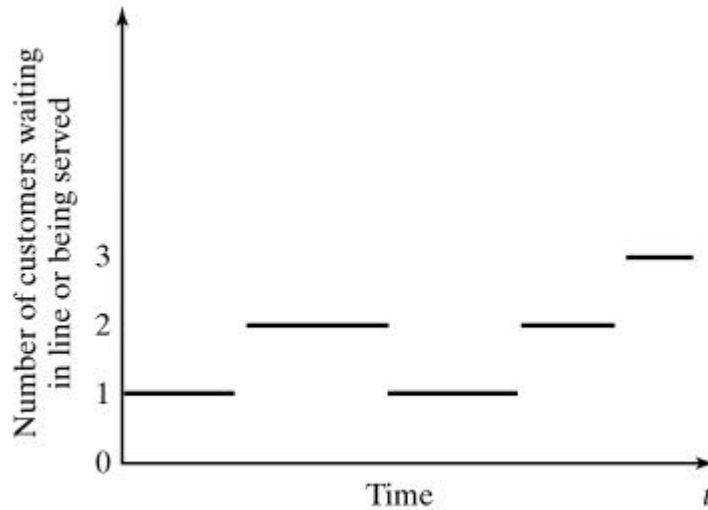


Sistemas Discretos Continuos

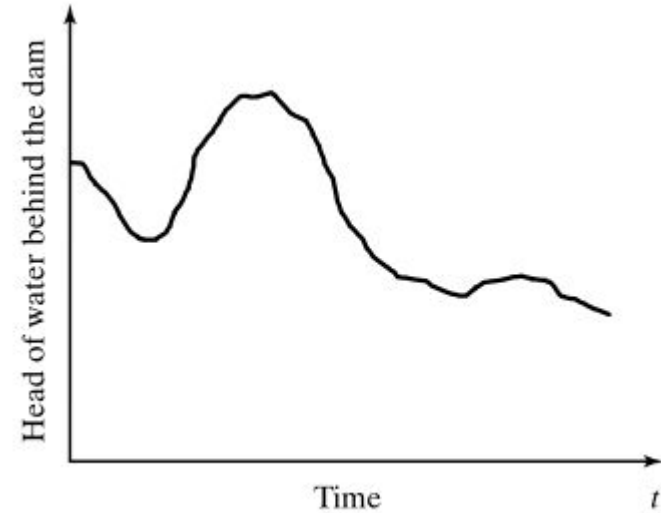
- **Sistema Discreto:** El estado de las variables cambia sólo en un conjunto discreto de puntos en el tiempo.
- **Sistema Continuo:** El estado de las variables cambia continuamente a los largo del tiempo.

En la práctica, pocos sistemas son totalmente discretos o totalmente continuos, pero dado que en la mayoría de los sistemas predomina un tipo de cambio, normalmente será posible clasificar un sistema como discreto o continuo.

Sistemas Discretos Continuos



Estado de una variable en un sistema discreto



Estado de una variable en un continuo



Módulo de un sistema

- Muchas veces no se puede **experimentar** con un **sistema** real, como un banco o una autopista. Hay que experimentar con un **modelo** del **sistema** real.
- Un **modelo** se define como una representación de un **sistema** con el fin de estudiarlo
- Dicha **representación** puede estar dada mediante herramientas analíticas, algoritmos u otras técnicas.
- A menudo, un **modelo** no es exactamente igual al sistema real que presenta. Más bien incluye algunos (o la mayoría) de los aspectos clave del sistema real.
- Un **modelo** es una **simplificación** del **sistema**.



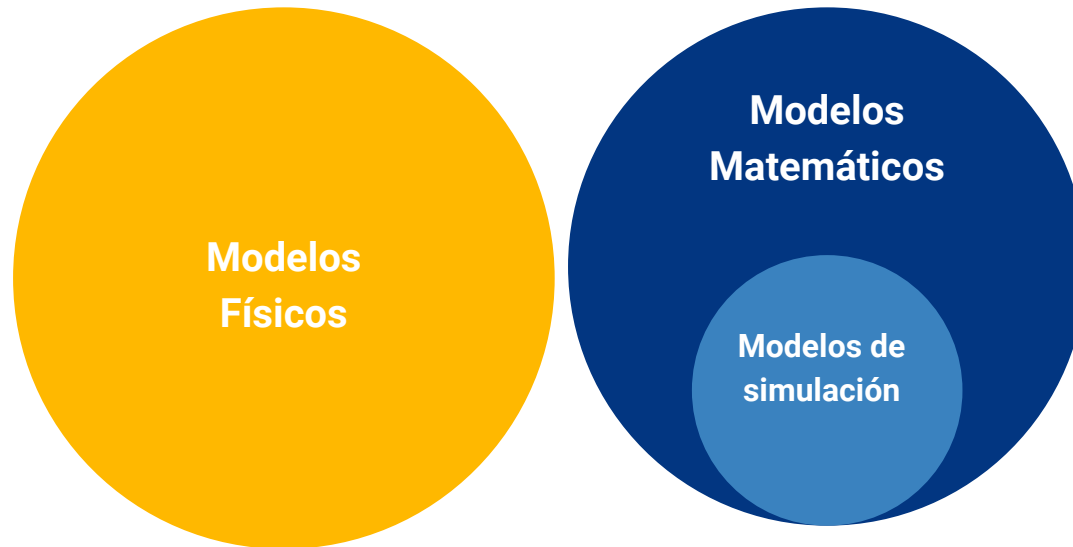
Módulo de un sistema

La creación de un **modelo** de sistema va más allá de una simple descripción estática de sus componentes; también requiere entender las interacciones y relaciones dinámicas entre ellos. Esto se logra definiendo:

- ¿Cómo los eventos afectan el estado del sistema.?
- La duración de las actividades, que puede ser determinada de manera fija, aleatoria o a través de una fórmula matemática.
- Los eventos que inician y terminan una actividad.
- Las condiciones necesarias para que una actividad pueda comenzar.
- El estado inicial del sistema al comenzar la simulación.
- Los eventos iniciales que se deben generar para activar el inicio de la simulación.

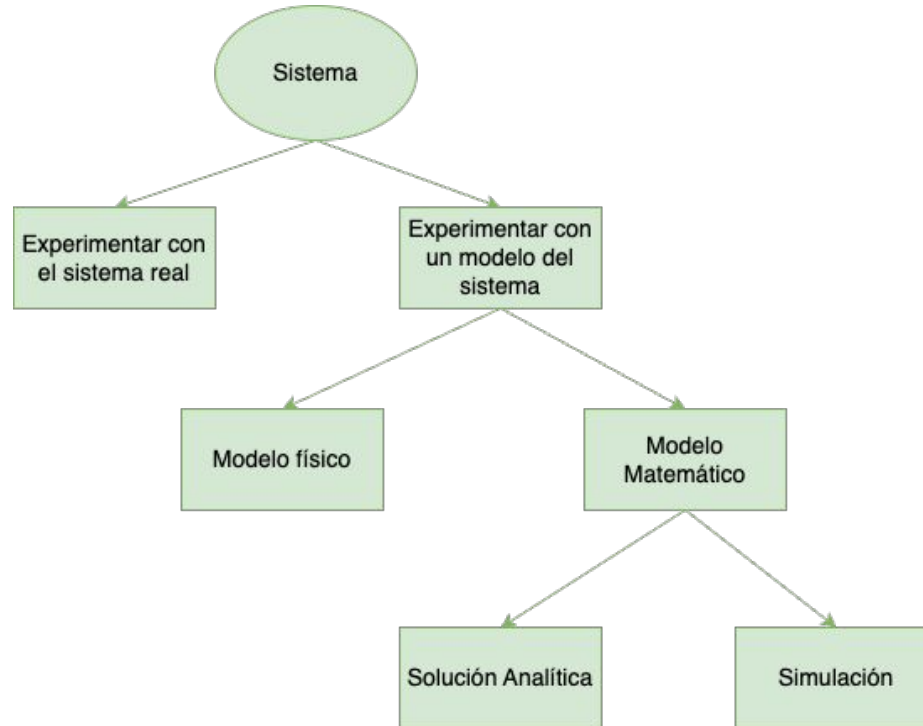


Modelos Matemáticos vs. Físicos





Formas de estudiar un sistema





Tipos de Modelos

Para modelar un sistema podemos utilizar:

- Modelos Físicos
- Modelos Matemáticos

Los modelos de simulación son un tipo particular de modelos matemáticos y pueden clasificarse como;

- Estáticos o Dinámicos
- Determinísticos o estocásticos
- Discretos o Continuos



Estáticos Vs Dinámicos

- **Estáticos:** Representación de un sistema en un tiempo particular (el tiempo no juega ningún papel). Comúnmente se conocen como simulaciones de Monte Carlos.
- **Dinámicos:** Representan un sistema que cambia a través del tiempo. Por ejemplo la simulación de un banco entre 9AM y 4PM.



Determinísticos vs. Estocásticos

- **Determinísticos:** No contienen variables aleatorias. Estos modelos tienen parámetros de entrada conocidos que entregarán un conjunto único de datos de salida. Por ejemplo, la atención de médicos con horarios predeterminados.
- **Estocásticos:** Tienen una o mas variables aleatorias en sus parámetros de entrada por lo que generan datos de salida aleatorios. Por ejemplo, modelos de líneas de espera, modelos de inventario. Su salida también es estocástica.



Continuous vs. Discretos

- **Continuos:** El modelo de simulación cambia continuamente en el tiempo. Por ejemplo, el estado de una represa con agua,
- **Discretos:** El modelo de simulación cambia instantáneamente en puntos separados en el tiempo. Por ejemplo, el estado de una bodega en cuanto a la cantidad de productos que tiene.



Simulación de sistemas con eventos discretos

Modelamiento de un sistema, mientras evoluciona en el tiempo, por una representación en la que las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados en el tiempo.

- El estado puede cambiar solamente en un número contable de puntos en el tiempo.
- Estos puntos en el tiempo son cuando los eventos ocurren



En la realidad...

La mayoría de modelos operacionales son;

- Dinámicos
- Estocásticos
- Discretos

Y se les llama: ***“Modelos de Simulación de Eventos Discretos”***



Herramientas de Simulación de modelos continuos

| Nombre de la herramienta | Descripción/Área de aplicación | Tipo de Licencia |
|----------------------------|---|------------------|
| Matlab y Simulink | Ambiente integrado para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos. MATLAB es un lenguaje de alto rendimiento para cálculo técnico, mientras que SIMULINK es un entorno de diagramas de bloques para el diseño basado en modelos. | Pago |
| Modelica | Modelica es un lenguaje orientado a objetos y basado en ecuaciones para modelado de sistemas físicos complejos. | Pago |
| OpenModelica | Es un entorno de modelado y simulación de código abierto basado en Modelica para uso industrial y académico. | Código abierto |
| COMSOL Multiphysics | Software de análisis, resolución y simulación por elementos finitos para modelar procesos físicos y diseños de ingeniería. Se utiliza ampliamente en campos como la ingeniería, mecánica de fluidos y química. | Pago |
| ANSYS | Proporciona una completa suite de software que abarca toda la gama de la física, proporcionando acceso a prácticamente cualquier campo de la simulación de ingeniería. Se utiliza para el análisis de elementos finitos y la dinámica de fluidos computacional para sistemas continuos. | Pago |



Herramientas de Simulación de modelo discretos

| Nombre de la herramienta | Descripción/Área de aplicación | Tipo de Licencia |
|--------------------------|---|-----------------------------|
| Arena | Software de simulación y automatización de eventos discretos desarrollado por Systems Modeling y adquirido por Rockwell Automation. Utiliza el procesador y lenguaje de simulación SIMAN y provee una interfaz visual para diseñar y correr simulaciones. | Pago |
| Promodel | Utilizado para optimizar sistemas complejos y procesos en varios tipos de industria | Pago |
| AnyLogic | Modelado de simulación multi-método con dinámica de sistemas, eventos discretos y modelado basado en agente. Puede ser utilizado para simular procesos de negocios, sistemas de salud, y procesos de manufactura, etc. | Pago (con versión gratuita) |
| NS2/NS3 | Diseñado para la simulación de redes de comunicación de computadoras. Soporta varios protocolos para redes cableadas, inalámbricas y de satélites. | Código abierto |
| Omnet++ | Biblioteca y marco de simulación en C++, extensible, modular y basado en componentes, principalmente para crear simuladores de red. | Código abierto |
| SimPy | marco de simulación de eventos discretos basados en procesos para Python | Código abierto |



Simulación de sistemas con eventos discretos

- Las simulación de eventos discretos se realiza utilizando métodos **numéricos**, en lugar de **analíticos**.
- Los métodos **analíticos** emplean el razonamiento deductivo de las matemáticas para "**resolver**" el modelo. *Por ejemplo, el cálculo diferencial puede utilizarse para calcular la política de coste mínimo de algunos modelos de inventario.*
- *Los métodos numéricos emplean procedimientos computacionales para "**resolver**" modelos matemáticos. En el caso de los modelos de simulación, que emplean métodos numéricos, los modelos se "**corren**" en lugar de resolverse.*



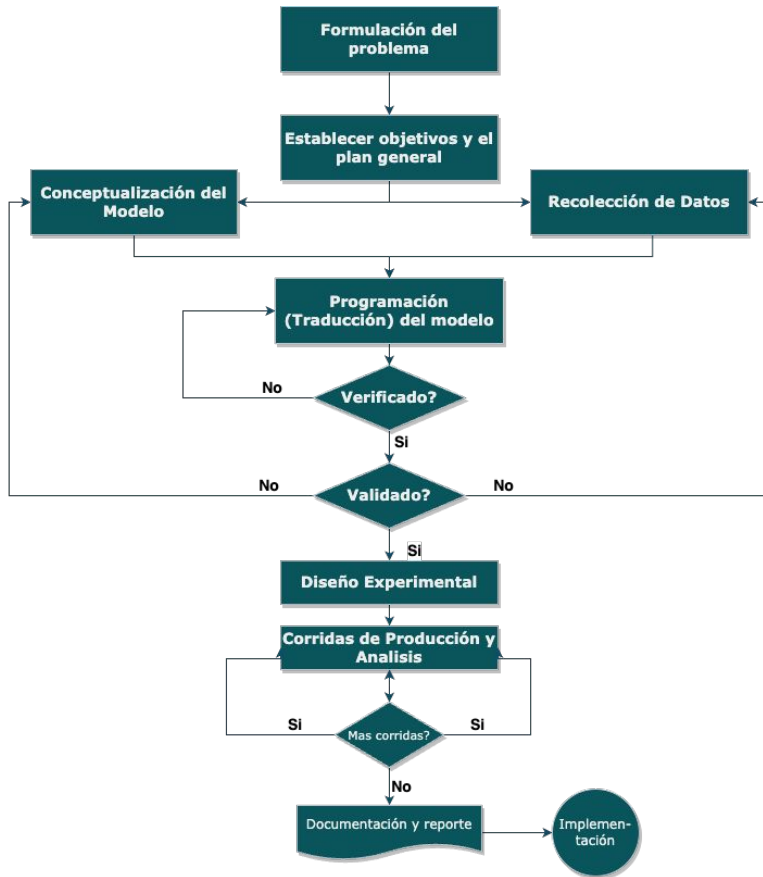
Etapas en un estudio de simulación

1. Formulación del problema
2. Establecer objetivos y plan general del proyecto
3. Conceptualización del modelo.
4. Recopilación de datos
5. Programación del modelo



Etapas en un estudio de simulación

8. Verificación
9. Validación
10. Diseño Experimental.
11. Análisis de corridas de producción.
12. ¿Son necesarias más corridas?
13. Documentación y reporte
14. Implementación



Etapas en un estudio de simulación