

Métodos Numéricos y Simulación Aplicados

Dr. Willy H. Gerber

Indice

1 INTRODUCCIÓN	2
2 DISEÑO DE PRODUCTOS	3
2.1 ESTUDIO DE LOS MECANISMOS	3
2.2 MODELACIÓN MATEMÁTICA	4
2.3 SIMULACIÓN NUMÉRICA	7
2.4 CONCLUSIÓN	8
3. OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS	9
3.1 OPTIMIZANDO UNA FUNCIÓN.....	9
3.2 OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE PROCESOS	10
3.3 OPTIMIZACIÓN CON RECURSOS LIMITADOS	13
4. ESTUDIOS DE MERCADO	15
4.1 EL MODELAMIENTO SIMPLE: REGRESIÓN.....	15
4.2 EL MODELAMIENTO COMPLEJO: REDES NEURONALES	16
5. OTROS ÁMBITOS DE APLICACIÓN	18

1 Introducción

El presente documento busca explicar como los métodos numéricos constituyen una herramienta en la gestión empresarial/industrial actual. Se explica como ésta es empleada en el diseño de productos, en la optimización de procesos ya sea de producción como logísticos y dentro de los estudios de mercado. Adicionalmente se explica cómo se emplea para pronosticar eventos críticos y utiliza para estudiar posibles alternativas para identificar las estrategias más adecuadas, incluso antes de que haya ocurrido el evento.

En todos los casos permite ordenar una serie de datos históricos, estudiar diversos escenarios y apoyar en forma efectiva la toma de decisiones.

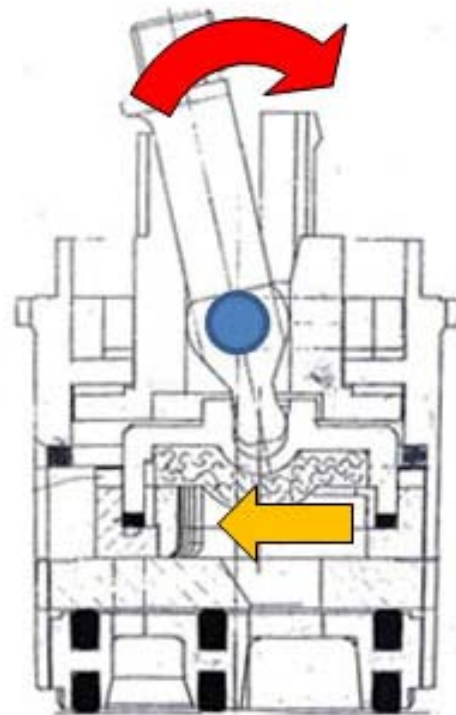
2 Diseño de Productos

El estudio y simulación en el diseño de productos se origino en los años 60 en que se requirió reducir tanto el tiempo como el costo del diseño de productos. Liderados por la carrera del hombre al espacio se comenzaron a desarrollar métodos y herramientas para diseñar productos en forma numérica.

En primer lugar se realiza el estudio de los mecanismos que actúan a un nivel descriptivo lo que lleva a la formulación de las ecuaciones que rigen los procesos asociados. En un segundo paso se estudian soluciones simples de dichas ecuaciones para comprender los rangos/situaciones en que tiene sentido estudiar con más detalle el sistema. Concluye el proceso con la formulación de guías para el usuario, que luego procede a fijar los parámetros del diseño en torno a los posibles óptimos del sistema.

2.1 Estudio de los mecanismos

En primer lugar se estudian los diseños o conceptos existentes de modo de entender la mecánica de los procesos involucrados:

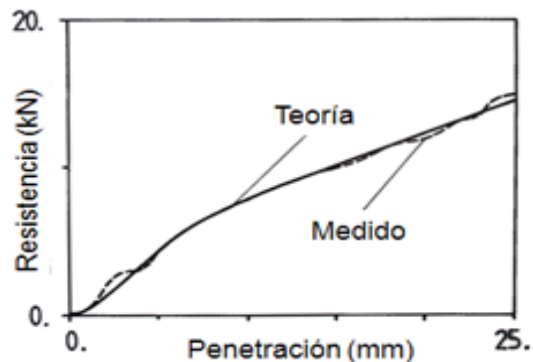
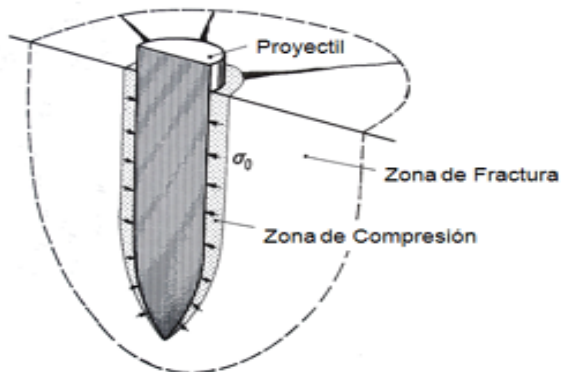


En un caso mecánico, por ejemplo, se debe comprender como las fuerzas actúan sobre las componentes y como estas se pueden desplazar. El objetivo es comprender el funcionamiento del elemento en estudio incluyendo las variables con que se le debe describir.

2.2 Modelación matemática

Sobre esta base se desarrollan las ecuaciones que deben incluir la complejidad de la geometría, que se especificará en el diseño final. Dichas ecuaciones serán la base de la simulación que debe considerar un modelo lo más realista posible. De existir ámbitos desconocidos, como son el comportamiento específicos de algunas piezas y/o materiales, es necesario conducir pruebas de laboratorio para asegurar que los modelos tienen la suficiente precisión.

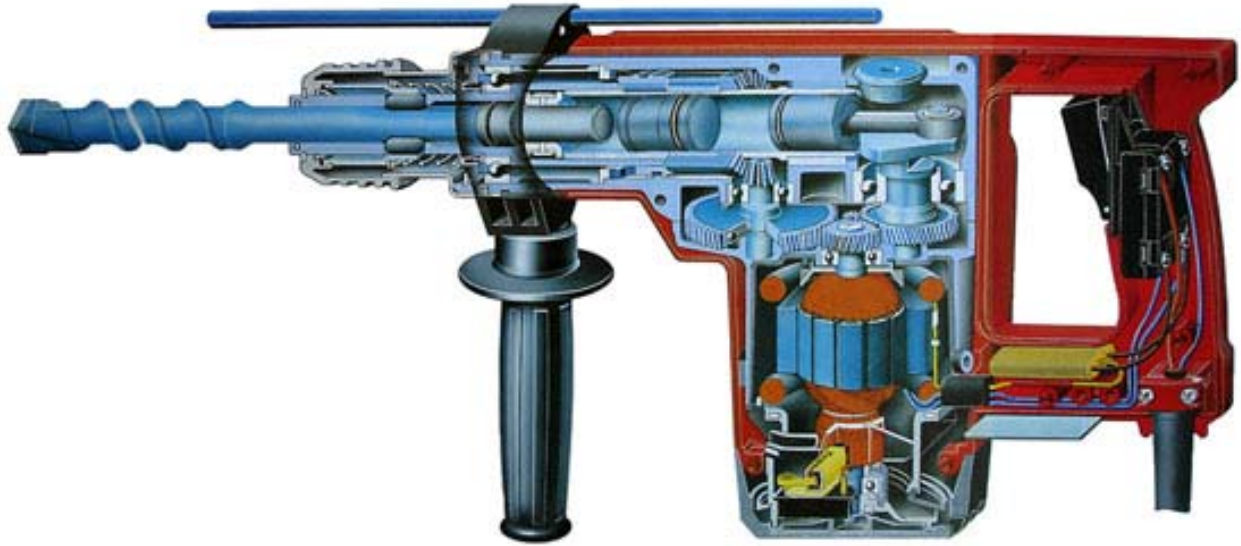
Ejemplos puede ser el comportamiento de materiales complejos incluyendo el comportamientos inelásticos y quiebres. Si se necesitara la modelación de la fuerza que se opone en concreto a la penetración de un proyectil, se podría desarrollar un modelo reológico estableciendo el comportamiento esperado y luego medir dicha fuerza para comprobar que el modelo responde a lo predicho:



En algunos casos la medición sirve además para ajustar algunos parámetros de los materiales en uso.

Antes de proceder a la solución numérica es conveniente realizar un análisis simplificado de las ecuaciones. Por lo general vale la regla de que en todo modelo en gran medida es definido por algunos pocos parámetros (3 a 10) explicando entre el 60% y 80% del comportamiento. Un pronóstico exacto (95% e incluso 99% de exactitud) sin embargo exige de la inclusión de una serie de detalles (100 e incluso 1000 parámetros).

Para mostrar la utilidad de realizar un análisis simple de las ecuaciones antes de proceder a la solución numérica detallada, observemos por ejemplo un taladro de percusión:



© Hilti AG

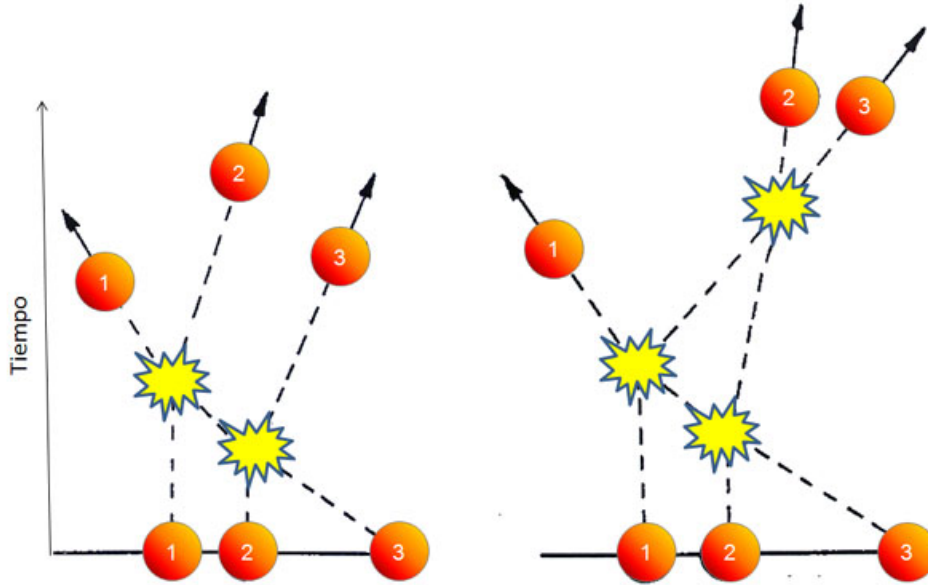
El sistema de percusión puede, que comprende la herramienta, el percusor y el martillo



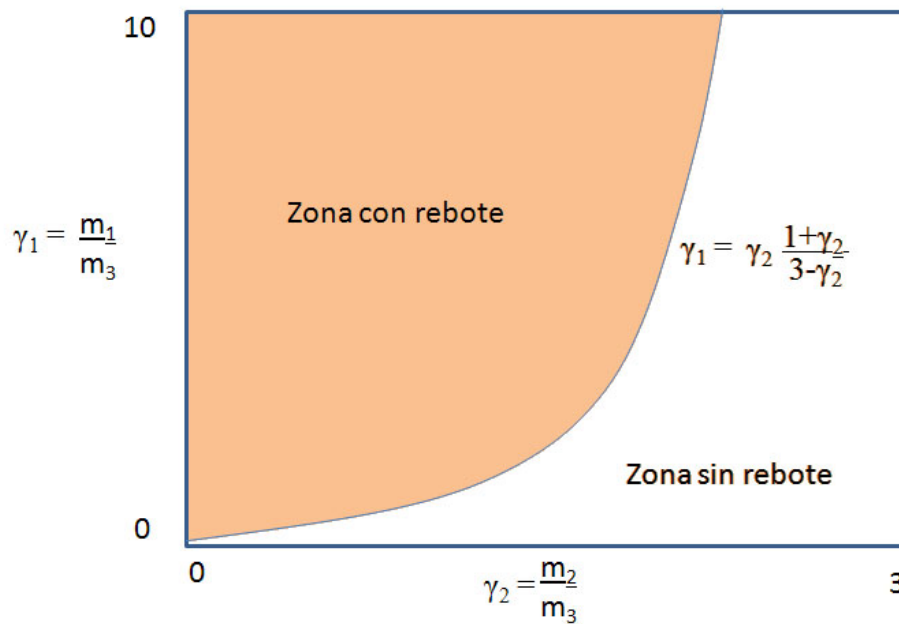
puede ser modelado en forma "burda" mediante tres masas:



Un breve análisis muestra que existen situaciones en que, según la combinación de masas que se elijan, la masa 2 puede simplemente transmitir el impulso o rebotar devolviendo parte de la energía a m_3 lo que baja la eficiencia del sistema. A continuación se muestra el diagrama posición tiempo para el caso ideal (sin rebote) y el de un rebote:



Del análisis se obtiene que las combinaciones de masas que dan rebote, son tales que ocupan la zona superior izquierda en una grafica de (m_2/m_3) y (m_1/m_3) :



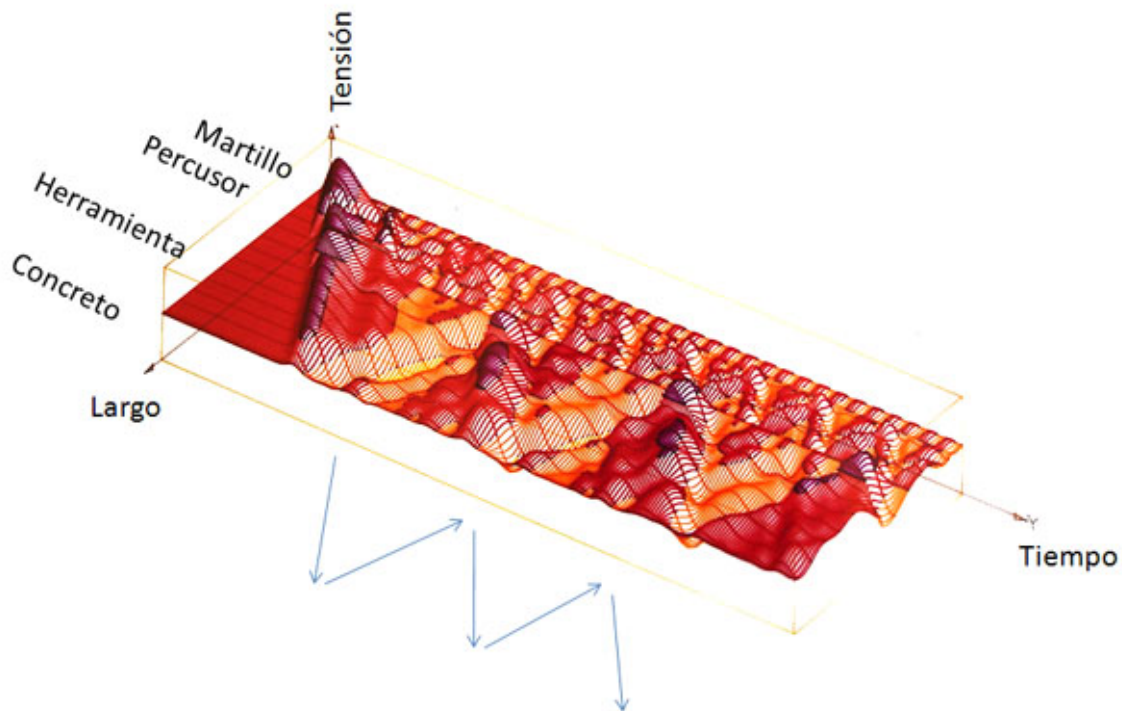
De esta forma obtenemos no solo el modelo que podemos resolver numéricamente para casos de mayor complejidad, también obtenemos condiciones generales que nos permiten distinguir distintos casos que podremos tener. Así se logra enfocar la simulación en aquellos rangos en que tenemos una situación favorable y no perder el tiempo analizando casos que representan situaciones de menor eficiencia.

2.3 Simulación numérica

El estudio numérico comprende dos tipos de análisis. Por un lado debemos estudiar casos específicos resolviendo en forma numérica las ecuaciones para un set de parámetros definidos. En una segunda etapa se procede a estudiar como la variación de los parámetros condiciona el comportamiento. De esta forma se localiza los óptimos del sistema y se procede a diseñar acorde a esta experiencia.

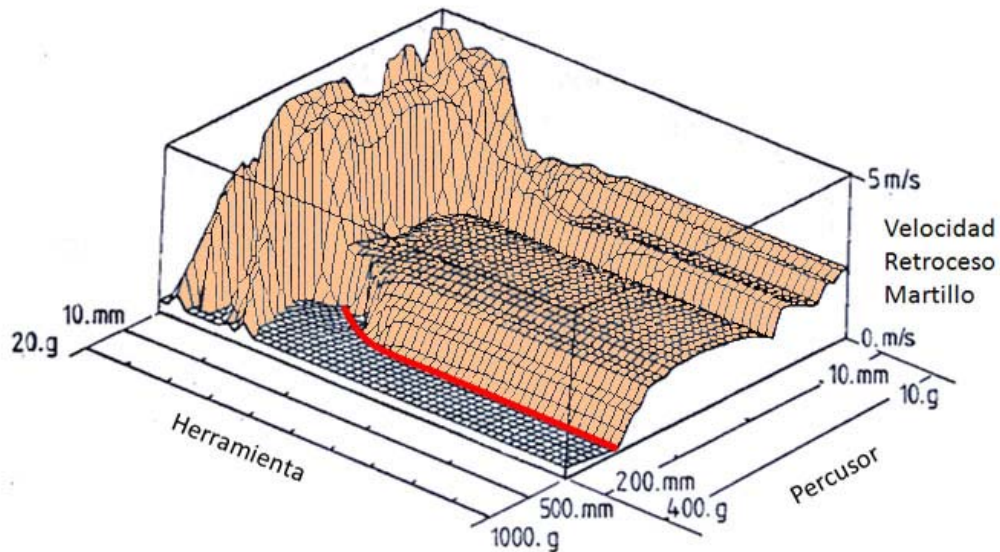
Empleando el ejemplo anterior se pueden definir los parámetros de un y estudiar el movimiento de cada uno de los cuerpos. En este caso se debe usar una combinación entre lo que son las variables macro de la posición de cada cuerpo y el cálculo mediante la técnica de elementos finitos para el estudio de la propagación del sonido a través de los cuerpos.

Los resultados son diagramas de movimiento y tensiones a lo largo de los cuerpos que van variando en el tiempo. Una típica grafica que muestra como el pulso viaja por la herramienta "ping-poneando" entre el concreto y el extremo libre:



En la segunda fase se repite el ejercicio para una serie de combinaciones de los parámetros para ver como se comportan los distintos elementos y poder identificar el diseño óptimo. En el caso que se discute los parámetros claves son la relación de la masa de la herramienta y del percutor con respecto del martillo. Como el diámetro de estos cuerpos esta acotado, termina siendo un problema de elegir los

respectivos largos que sean óptimos. El estudio de las distintas combinaciones posibles entrega distintas velocidades de retroceso del martillo da:



La línea roja señala la posición de la curva que ya se discutió en el punto 2.2 . Los distintos “cerros” corresponden a situaciones en que el martillo recibe uno o más rebotes del percusor llevándose consigo energía destinada a la herramienta y con ello bajando la eficiencia del sistema. Es así como la simulación ratifica el modelo simplificado pero además muestra otras zonas a evitar como las de herramientas cortas que el modelo simplificado no reconoció. Estos son típicamente efectos geométricos que aparecen justamente con herramientas cortas y que son difíciles de obtener de análisis no numéricos.

2.4 Conclusión

La simulación permite estudiar posibles diseños:

- Poniendo a prueba nuestra comprensión de los mecanismos
- Probar un sin numero de parámetros en corto tiempo y con un reducido costo de mediciones
- Estimar parámetros que son muy difíciles de medir
- Estudiar efectos de largo plazo en corto tiempo

En ese sentido la simulación es una herramienta indispensable en el diseño de nuevos productos para reducir costos y plazos.

3. Optimización de Procesos

La optimización de procesos es otra de las aplicaciones de las técnicas de análisis numérico. En este caso por lo general se estudian modificaciones a procesos existentes o el diseño de nuevos procesos. En ambos, casos el costo de operar distintas variantes a modo de prueba es demasiado costoso ya que requiere por lo general de la creación de infraestructura y el cambio de layouts existentes.

3.1 Optimizando una función

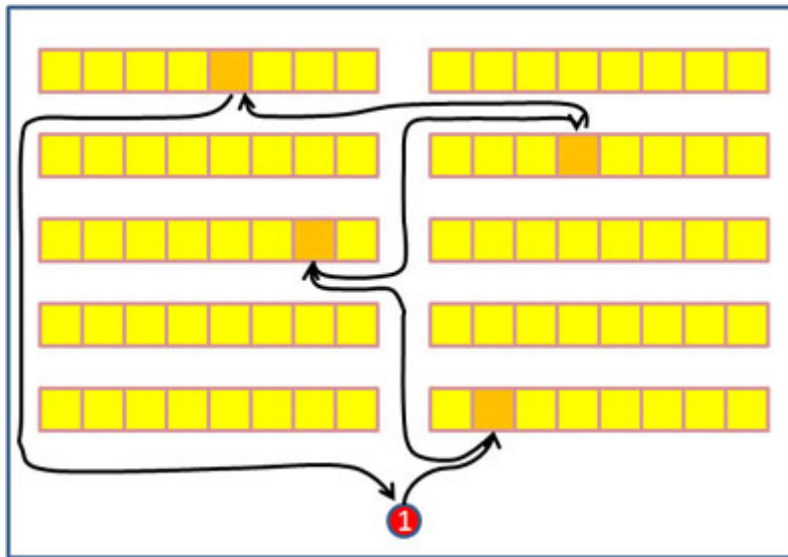
Una de los procesos que se presta para ser optimizado mediante simulación es el llamado picking en el proceso de despacho de productos. Por lo general se analiza una bodega que contiene distintos productos. Cada despacho lleva alguna composición de distintos productos que debe ser seleccionados (picking) para ser despachado como un “pedido”.



Para que el proceso sea eficiente debe darse que:

- Los productos estén claramente reconocibles (códigos - localización) y sean fáciles de localizar
- La ubicación de los productos sea tal que la persona tenga lo menos posible recorrer la bodega.

Para este efecto se trabaja con un simulador que “desplaza al personal de picking” siguiendo una lista predefinida y empleando los tiempos típicos de las personas (dato que se puede medir en la práctica):



Si se emplean pedidos (históricos) reales se puede ir comprendiendo la forma en que se debiesen agrupar productos para reducir el recorrido que tienen que hacer el personal de picking lo que a su vez acelera el proceso. Es así como los productos no están ordenados ni por tipo ni por nombre; se agrupan según el tipo de pedido.

3.2 Optimización de un sistema de procesos

En el caso anterior solo se optimizaba una función determinando en particular el orden de los productos para racionalizar el picking y despacho. De igual forma se puede modelar el sistema completo buscando que cada función ya optimizada opere sincronizadamente. Existen distintos criterios de optimización que discutiremos por separado.

Uno de estos criterios es el “El Just in Time” (JIT) o “justo a tiempo” que busca agilizar el proceso para lo cual trata de que cada operación se realice en el momento necesario eliminando stocks a lo largo de toda la cadena de producción. Los principales beneficios son:

- Reduce costo financiero; no se inmoviliza capital en stock de insumos coordinando que estos estén disponibles justo al momento que se requieren. De igual manera no se mantienen grandes bodegas de producto terminado ya que se produce en función de lo que la venta va requiriendo
- Reduce mermas por robos, daños y liquidación de saldos de productos terminados o intermedios que se almacenan en bodegas y en la producción
- Posibilidad de trabajar con ofertas con mayor variedad de productos ya que se va fabricando según la venta y traslada el stock de bodega a un stock de tienda.

Las principales dificultades de operar un sistema JIT radican en la necesidad de:

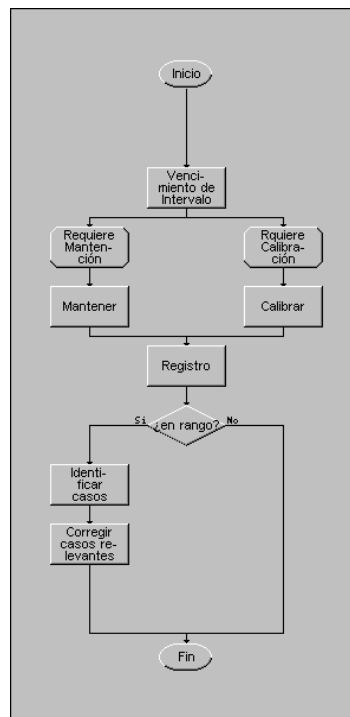
- Coordinación de todos los procesos para trabajar en forma sincronizada. Esto incluye tiendas y proveedores externos como sistemas de apoyo (ej. transporte)
- Factibilidad de producir lotes pequeños sin mayor perjuicio del costo de producción. Este problema se centra en procesos que requieren de seteos complejos y de nos obligan a producir grandes lotes para ser rentables.

El primer punto se puede estudiar con técnicas de simulación mientras que el segundo es un parámetro a considerar en el diseño del sistema.

El estudio del proceso en si se puede realizar en tres etapas similares a las presentadas en el capítulo 1:

a) Diseño del modelo.

Se comienza por definir los procesos tal como se realizan y se representa por un flujograma:

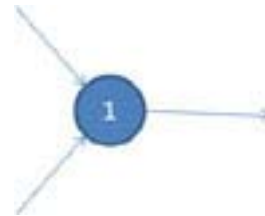


y matrices para asignar los recursos:

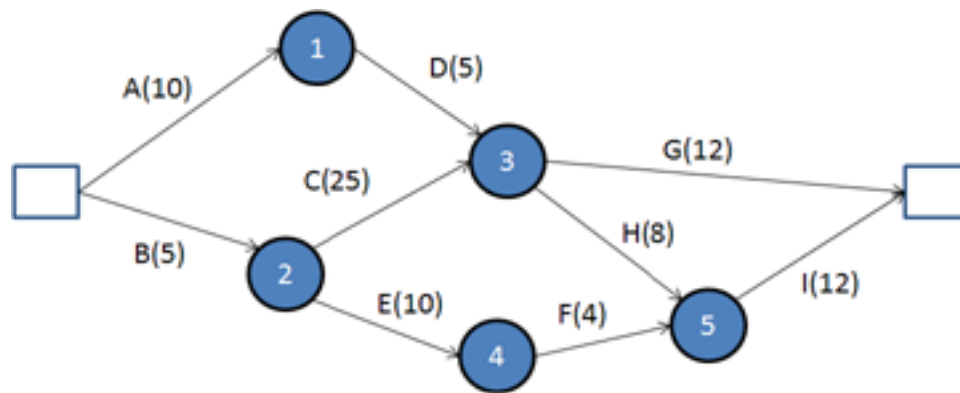
	Encargado del área	Incorporación de Calidad	Verificador del Proveedor	Trámites del Proveedor
Necesidad de adquirir	RE			
Analizar Proveedor	A			
Proveedor evaluado	RE			
Proveedor Nuevo	RE			
Analizar Comportamiento previo	A	A	RE	E
Analizar Referencias	A	A	RE	E
Preselección y Cotización	E	A	RE	E
Determinar si hay Datos	A	A	RE	E
Consultar al Proveedor	A	A	RE	E
Seleccionar y Orden de Compra	RE	A	A	A
Recepcionar y evaluar Pedido		A	RE	
Actualizar Evaluación de Proveedores	E	A	RE	

	Oportunidades de Mejora	Pagos del Proveedor	Calificación	Etiqueta de Control
Vencimiento de Intervalo				
Recibir				
Registrar				
Calibrar				
Registrar				
Determinar Fuera de rango				
Identificar casos				
Corregir casos relevantes				

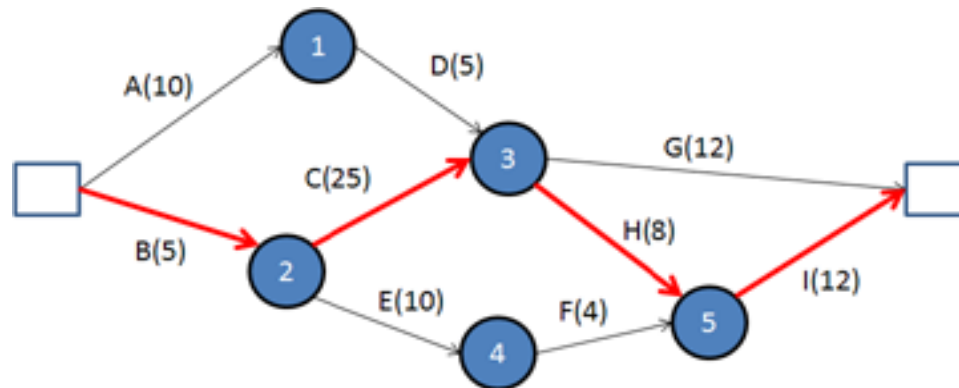
El modelo se deja representar en este caso como una red o flujograma en que cada actividad tiene entradas, tiempo de respuesta y unidades que puede procesar a la vez.



Los distintos elementos forman una red:



Dicha red tiene caminos críticos en que una falla lleva al “colapso” del sistema:



Un análisis directo de la red permite identificar el camino crítico de modo de concentrar los estudios numéricos en el la vulnerabilidad de este y en las estrategia alternativas para evitar el colapso.

b) Simulación y Sensibilización

En una segunda etapa se “corre” el modelo, es decir se le alimenta con cargas de trabajos esperadas (ej. ordenes de pedido de los últimos meses) y verifica que corre para el caso ideal en forma normal. Se determinan los tiempos de respuesta y valida que los parámetros fijados para cada unidad representen lo que se observa en la realidad.

Una vez el modelo opera normalmente se comienzan a estudiar casos que pueden acontecer y como estos repercuten sobre el desempeño del modelo. Es conveniente analizar problemas reales ocurridos en el pasado para poder estimar:

- las situaciones que se pueden dar
- la probabilidad que ocurra uno de estos eventos
- la trascendencia del evento

3.3 Optimización con recursos limitados

Un escenario especial que difícilmente se puede analizar en forma no numérica se da cuando las actividades del proceso comparten los recursos y, al ser estos finitos, pueden haber cuellos de botella adicionales al los reflejados por el camino crítico.

Los análisis bajo recursos restringidos se dan para los casos en que se busca optimizar el factor costo. En esos casos el modelo debe incluir en todo nivel los llamados driver, es decir parámetros que reflejan el

nivel de uso de los recursos. Idealmente el modelo entrelaza desde los productos vía los procesos y recursos hasta las cuentas contables de la empresa:



Mediante el uso de información histórica se obtiene el nivel de costo efectivo tanto de los recursos (que ahora incluyen por ejemplo el costo de adquirirlos y almacenamiento) y del personal (que ahora incluyen los costos administrativo, de soporte y infraestructura que emplea). Con ello el costo que se obtiene para cada proceso y producto reflejan la totalidad de los recursos que se requieren para su ejecución.



Basado en un modelo de este tipo se puede estudiar el efecto de trabajar con recursos limitados incluyendo el encarecimiento de algunos servicios y productos por efecto de retrasos por limitación de recursos.

4. Estudios de Mercado

El estudio de mercado es básicamente el modelamiento del comportamiento humano para lograr entender como la persona decide y predecir la forma en que va a actuar. De esta forma es posible evaluar cambios en las estrategias de modo de influenciar la decisión. Esto se aplica tanto en el ámbito comercial (que producto va a comprar) como en el ámbito político (que candidato va a preferir).

En los casos sin simulación el estudio de mercado entrega básicamente estadística de la preferencia del cliente. Para los casos con simulación se desarrolla un algoritmo que indica, para parámetros dados del comprador, la probabilidad que escoja un producto/candidato en particular:



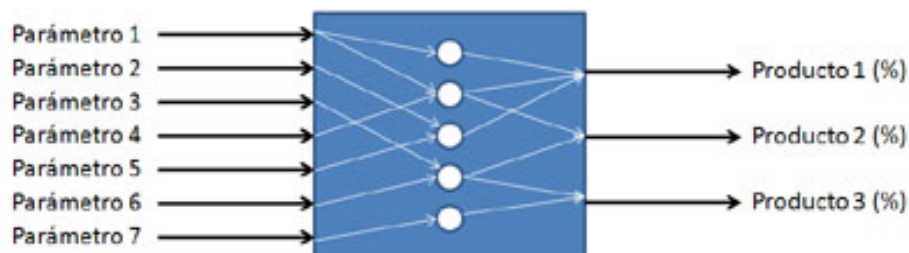
Existen distintas formas de modelar el sistema para reflejar este comportamiento.

4.1 El modelamiento simple: regresión

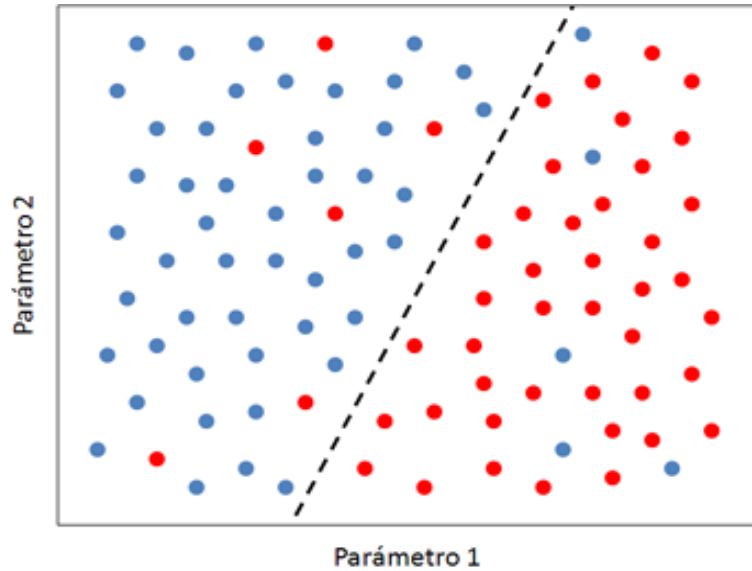
En el caso de la regresión se asume que la probabilidad es una función de una combinación lineal de los parámetros que definen al cliente y su percepción de la realidad. En muchos casos se emplea una función del tipo:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{P_0}{e^{\gamma_0 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \dots + \gamma_N x_N} + 1}$$

y el modelo indicado en el punto anterior se transforma en un mera combinación ponderada de los parámetros para obtener la probabilidad de la elección de un producto/candidato en particular:



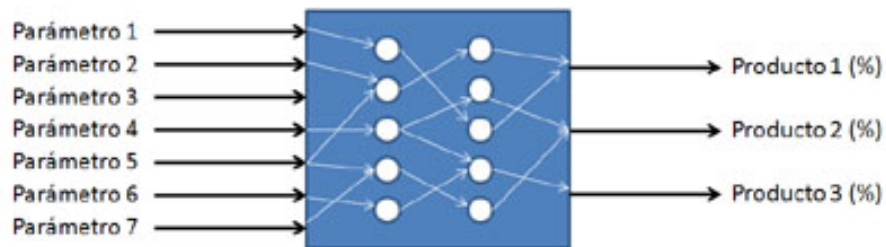
Los parámetros γ son estimados mediante una regresión lo que equivale en forma geométrica a encontrar el plano que mejor separa los distintos resultados esperados:



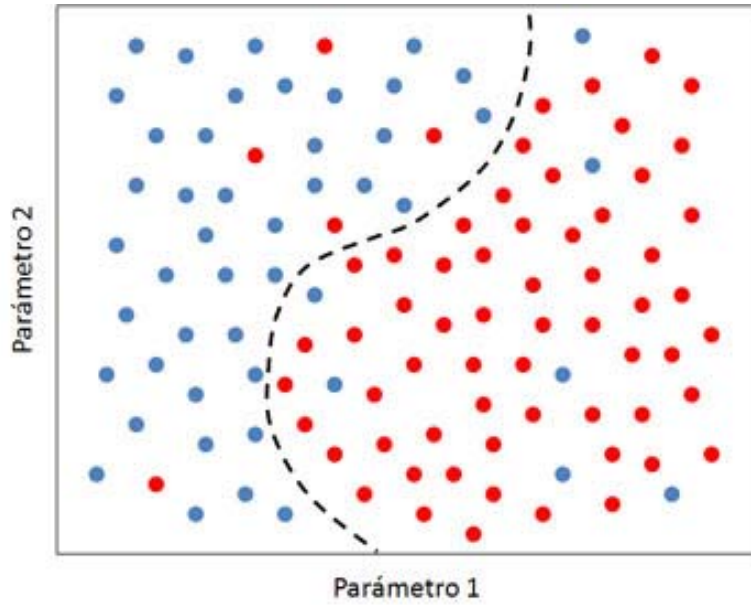
Esta forma de representar muestra también la principal limitante de este método ya que al suponer una combinación lineal de propiedades se está asumiendo que la separación de los casos se deja representar mediante planos en el espacio muestra. Esta restricción en muchos casos lleva a modelos que presentan un error mayor que no permite trabajar con la técnica de regresión en forma confiable.

4.2 El modelamiento complejo: redes neuronales

Las redes neuronales son un método que se creó emulando la forma como se cree es capaz de aprender nuestro cerebro. Su estructura es similar al modelo anterior, solo que puede tener más de una capa de conectores lo que permite recursividad:



Si lo comparamos con la interpretación gráfica del método de regresión éste corresponde a superficies curvadas con lo que se logra una gran capacidad de adaptarse y lograr clasificaciones o pronósticos de mucho mayor exactitud.

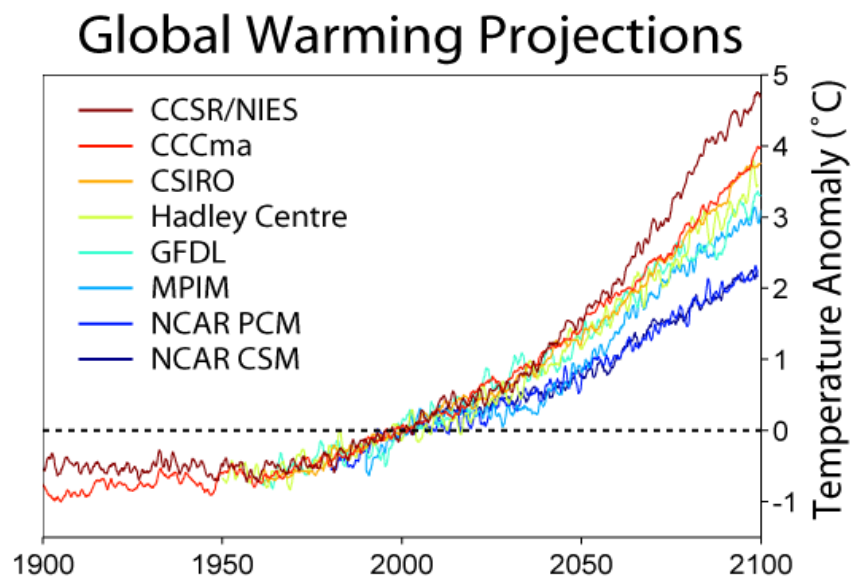


De esta forma se logra modelar y pronosticar el comportamiento de un segmento de mercado, tomando las acciones para que el producto a promover tenga mayor aceptación. En particular es posible optimizar el retorno si se incluye como uno de los parámetros el precio con lo que el modelo es capaz estimar el precio para optimizar el margen.

5. Otros ámbitos de aplicación

Existe una serie de otros ámbitos en que se aplican técnicas de modelación y simulación. Algunas no solo se emplean en la industria si no forman una industria en si, como lo son los simuladores de vuelo. Mientras las líneas aéreas entrenan a sus pilotos bajo condiciones adversas en la seguridad del simulador de vuelo otros lo adquieren como software de entretenimiento y dejan volar su imaginación.

Otras aplicaciones son aquellas con que se estudian efectos y ensayan medidas. Dos casos dramáticos son el estudio del calentamiento de la tierra y la propagación de epidemias. En el primer caso se estudian distintos escenarios posibles llegando a distintos pronósticos que apuntan a un calentamiento entre 2 y 5 grados hasta el 2100 (escenarios conservadores):



En el caso de una pandemia se intentan distintas estrategias probando estas en simuladores. En estos casos se barajan aspectos tan diversos como los efectos económicos, la limitación de recursos médicos, la posibilidad de evitar migraciones de personas y las reacciones de pánico de la población. El criterio de optimización es la minimización del daño y las soluciones más óptimas han sido a la fecha el control, aislamiento y destrucción de cualquier posible fuente de contagio.