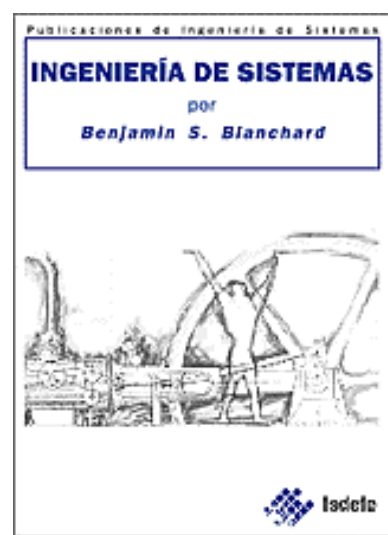
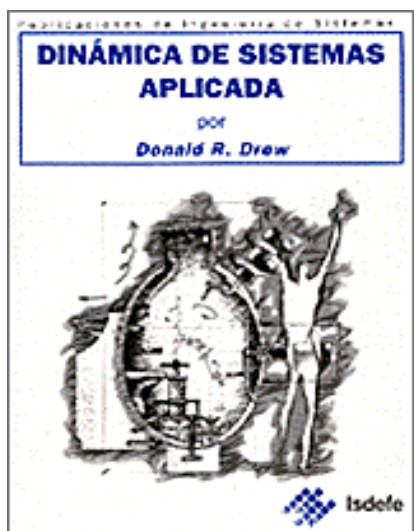


ANEXOS

I. LECTURAS COMPLEMENTARIAS DE TEORIA

El contenido de este libro es relativamente breve en su parte de Teoría ya que el propósito de la misma es servir de base, ciertamente mínima, para una correcta comprensión y realización de los ejercicios prácticos.

Al objeto de que el lector pueda ampliar los conocimientos teóricos se incluye dentro del CD que acompaña a este libro un conjunto de seis excelentes trabajos que exponen de una forma muy didáctica los conceptos relacionados con la Dinámica de Sistemas.



Con autorización de la empresa consultora ISDEFE

En el CD hay asimismo otras lecturas complementarias de gran interés, las de la Consultora TAU:

- ▶ El sistema; lógica y ontología
- ▶ El objeto como sistema
- ▶ El origen del uso lógico del concepto de sistema
- ▶ Las Limitaciones epistemológicas del uso lógico del concepto de sistema.
- ▶ La vacuidad fenomenológica del concepto de sistema
- ▶ ¿Que son los objetos?
- ▶ Mundo Evenencial
- ▶ Evento, Contingencia y Decisión
- ▶ La legalidad del conocimiento objetivo
- ▶ El maná de las descripciones sistémicas
- ▶ La Restitución de la Experiencia
- ▶ Una mente generosa para un mundo sistémico

Un buen conocimiento de los conceptos teóricos es esencial en cualquier trabajo que se desee realizar utilizando la Dinámica de Sistemas como herramienta de trabajo. Sin duda al profano se le antoja como la parte más tediosa, no obstante la persona experimentada en la creación de modelos, es decir que aquella que acumula éxitos y fracasos, encontrará en estas lecturas complementarias sin duda un gran placer.

II. FUNCIONES, TABLAS Y RETRASOS

FUNCIONES

Una funcion FUNCION(#,A,B,C,...) muestra la relación que existe entre los elementos.

Así la función $Y = 2 X$ nos indica que Y tomará siempre un valor doble del que tome X, sin ninguna otra restricción.

Ejemplo: Cada silla cuesta 100 €, quiero saber el coste de comprar 1,2,3,4... sillas. La fórmula sería:

Coste Total = Coste de cada silla x Número de Sillas

o bien Coste Total = 100 x Número de Sillas

El software Vensim® utiliza puntos “.” para señalar decimales y “,” para separar elementos de una formula. Existe más infomacion pulsando F1 (Search Index for a topic)

ABS(A)

Calcula el valor absoluto de A. El valor absoluto (positivo) de la cifra. ABS(5.00) es igual a 5.00 y ABS (-5.00) es igual a 5.00. Actua como la función IF THEN ELSE ($X < 0$, - X, X), de forma que si X es negativo lo combia de signo, y por ello el resultado es siempre positivo.

Ejemplo: En la puerta de una fábrica hay instalado un sensor que cuenta las personas que pasan por la puerta, de forma que cuenta +1 si la persona entra y -1 si la persona sale. Queremos saber el total de personas que pasan por la puerta con independencia de si salen o entran. Una posible forma de hacerlo es:

Total = Entradas – Salidas

o bien

Total = Entradas + ABS(Salidas)

EXP(X)

Calcula e (2.718...) elevado a X .

Ejemplo: Se utiliza esta expresión en algunos modelos de sistemas . Por ejemplos e^2 es igual a 7,3875

IF THEN ELSE(cond,X,Y)

El resultado es X si se cumple la condicion, si no se cumple el resultado es Y.

Ejemplo: Cuando los Pedidos mensuales sean mayores de 100 quiero que el precio a aplicar en la factura mensual sea 30, y si no lo son quiero que el precio aplicado sea 50.

Precio = IF THEN ELSE (Pedidos>100, 30, 50)

Si los pedidos son

INTEGER DE X

Da como resultado la parte entera del valor X si tiene decimales.

Ejemplo: Un cajero automático solo puede entregar billetes de 1 euro como mínimo. Si el cliente teclea que desea recibir una cantidad fraccionaria (5.5), el programa del cajero automático elimina los decimales, y sería

Importe entregado=INTEGER(5.5)

Y el resultado del importe entregado serían 5.0 (recordar que “.” indica decimal)

LN(X)

Calcula el logaritmo natural de X.

Ejemplo: En algunos sistemas físicos se utiliza esta expresión. Por ejemplo tenemos que el valor de $\ln(50)$ es igual a 3,912

MAX(A,B)

Calcula el maximo de A y B. El resultado será B cuando $B > A$, y será igual a A cuando $B < A$.

Ejemplo: En una carrera de dos coches A y B queremos saber siempre la velocidad a la que circula el más rápido.

Velocidad del más rápido = $\text{Max}(\text{Velocidad de A}, \text{Velocidad de B})$

Cuando A vaya a 100 y B vaya a 80, la Velocidad del más rápido será 100, y cuando A vaya a 100 y B vaya a 120, la Velocidad del más rápido será 120.

MIN(A,B)

Calcula el mínimo de A y B. El resultado será A cuando $B > A$, y será igual a B cuando $B < A$.

Ejemplo: En una carrera de dos coches A y B queremos saber siempre la velocidad a la que circula el más lento.

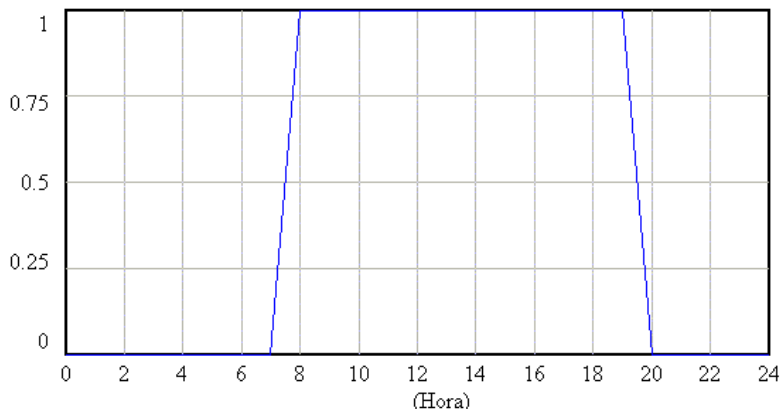
Velocidad del más lento = $\text{Min}(\text{Velocidad de A}, \text{Velocidad de B})$

Cuando A vaya a 100 y B vaya a 80, la Velocidad del más lento será 80, y cuando A vaya a 100 y B vaya a 120, la Velocidad del más lento será 100

PULSE(A,B)

Esta función vale 1 a partir del periodo A hasta llegar al periodo B. Antes y después vale 0.

Ejemplo. Un comercio abre a las 8 de la mañana y permanece abierto sin interrupción durante 12 horas. Hacemos: Estado del comercio = $\text{PULSE}(8,12)$ y el Estado vale 1 cuando está abierto y 0 cuando está cerrado.

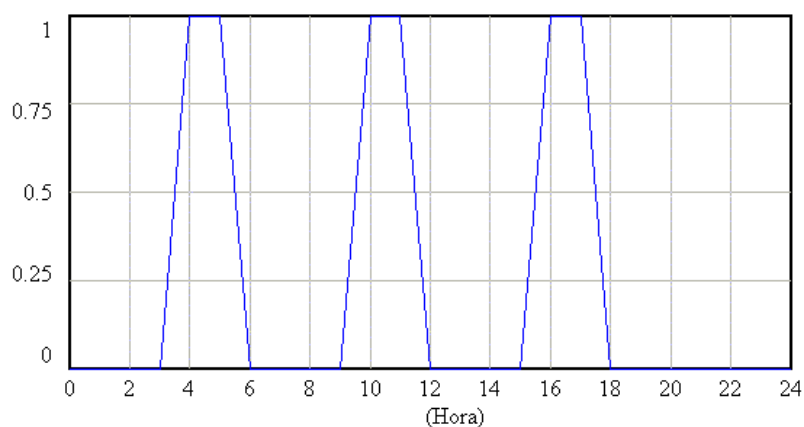


PULSE TRAIN (A,B,C,D)

Igual que la función Pulse pero empezando en el periodo A, con una duración de B periodos, que se repite cada C periodos y dejando de repetirse a partir del periodo D.

Ejemplo Un enfermo ha de someterse a las sesiones de un tratamiento médico diario. Empieza cada día a las 4 de la mañana, el tratamiento dura 2 horas y ha de empezar una sesión cada 6 horas. A las 18 horas ya no podemos empezar ninguna nueva sesión. La variable Tratamiento valdrá 1 en los periodos donde el enfermo tiene sesión de tratamiento y 0 si no la tiene

Tratamiento= PULSE TRAIN(4, 2, 6, 18)

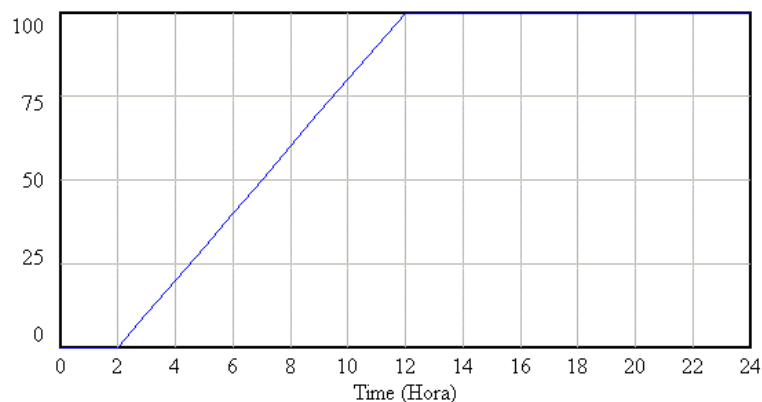


RAMP(S,T1,T2)

Valor 0 hasta el periodo T1, desde ese instante aumenta S unidades cada periodo hasta el periodo T2 , y luego permanece constante.

Ejemplo: Deseamos abrir la compuerta de un pantano de forma progresiva, a partir de las 2 de la mañana hasta las 12 del mediodía. El valor de Compuerta es 0 si está cerrada y 100 si está completamente abierta.

Compuerta=RAMP(10,2,12)

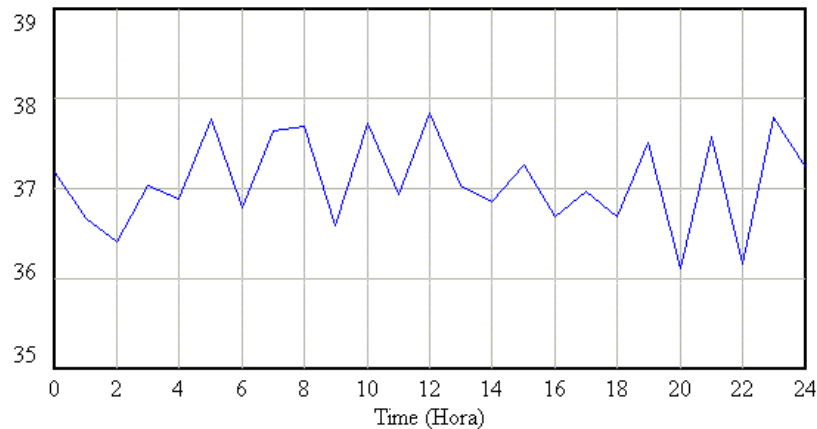


RANDOM UNIFORM(m,x,s)

Devuelve una serie de valores aleatorios con un mínimo de “m”, y máximo de “x”, “s” es el parametro de calculo de los numeros aleatorios, y puede ser cualquier cifra. Si se cambia “s” se modifica la serie de numeros aleatorios.

Ejemplo: Queremos simular el comportamiento de la temperatura de un cuerpo que sabemos que a lo largo del día oscila entre el valor 36 y 38 grados.

Temperatura = **RANDOM UNIFORM(36,38,99)**

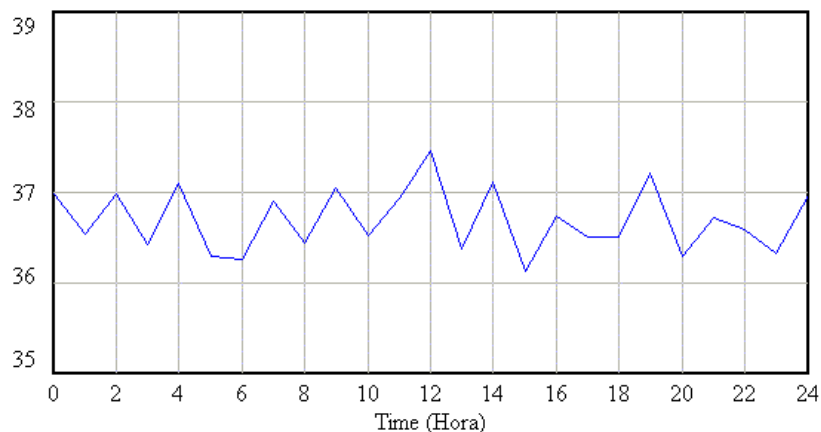


RANDOM NORMAL(m, n, p, x,s)

Simular a la función RANDOM UNIFORM, devuelve una serie de valores aleatorios con un mínimo de “m”, y máximo de “n”, centrados en el valor medio “p”, con una desviación típica de “x”, y siendo “s” el parametro de calculo de los numeros aleatorios, y puede ser cualquier cifra. Si se cambia “s” se modifica la serie de numeros aleatorios.

Ejemplo: Temperatura mínima 36°, máxima 38°, media 36,5° y desviación tipo igual a 0,5°. Usaremos:

Temperatura = **RANDOM NORMAL(36, 38, 36.5, 0.5,99)**



SIN(X)

Calcula el seno de X en radianes.

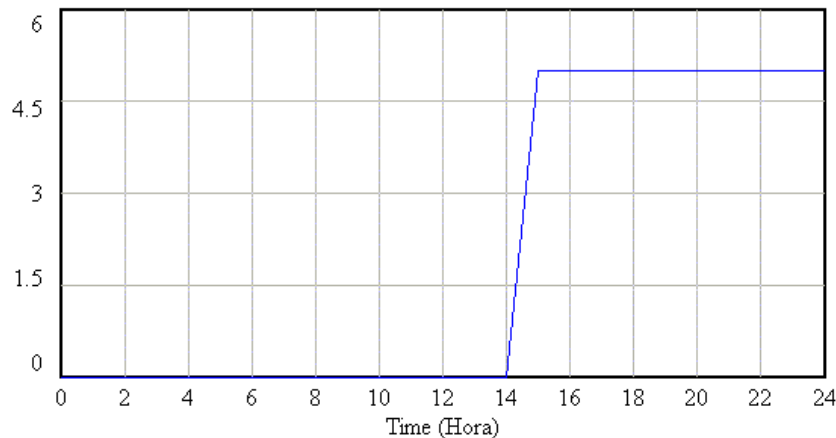
SQRT(X)

Calcula la raiz cuadrada de X.

STEP(H,T)

El resultado es 0 hasta el momento T, a partir de entonces es H.

Ejemplo: Una variable vale 0 hasta el periodo 15 ya partir de ese momento vale igual a 5. Variable = Step(5,15)



XIDZ(A,B,X)

El resultado es A/B , excepto cuando $B=0$ que el resultado es X . Se usa cuando tenemos que hacer la division A/B y en algún instante B puede ser cero, lo que daría como resultado del cociente un valor infinito, y el colapso del modelo. En este caso, si se produce que B es igual a cero, el resultado del cociente es X .

ZIDZ(A,B)

El resultado es A/B , excepto cuando $B=0$ que el resultado es 0. Se usa cuando tenemos que hacer la division A/B y en algún instante B puede ser cero, lo que daría como resultado del cociente un valor infinito, y el colapso del modelo. En este caso, si se produce que B es igual a cero, el resultado del cociente es cero.

TABLAS

Vamos a crear un micro-modelo para ver mejor lo que es una Tabla y como se crea. Supongamos que tenemos un elemento "b" queremos que sea funcion de otro "a", o sea que "a" influye en "b". La relación ente ambos es compleja, y no puede definirse con una relación aritmetica (del tipo $b=4a+2$). En estos casos se usan las Tablas.

Sea "a" la cantidad de lluvia que cae, y "b" el porcentaje de personas con paraguas. No conocemos la relacion aritmetica que relaciona ambas variables, pero sabemos que "a mas lluvia, mayor porcentaje de personas con paraguas". En un estudio previo hemos encontrado algunas situaciones:

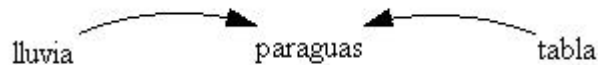
- cuando no llueve el porcentaje de personas con paraguas es nulo (o sea si $a=0$, $b=0$),
- cuando llueven 30 litros el porcentaje es el 10% ($a=10$, $b=10$)
- cuando llueven 50 litros, el porcentaje es del 100% ($a=50$, $b=100$)

Si dibujamos en unos ejes X,Y estos valores tendríamos:

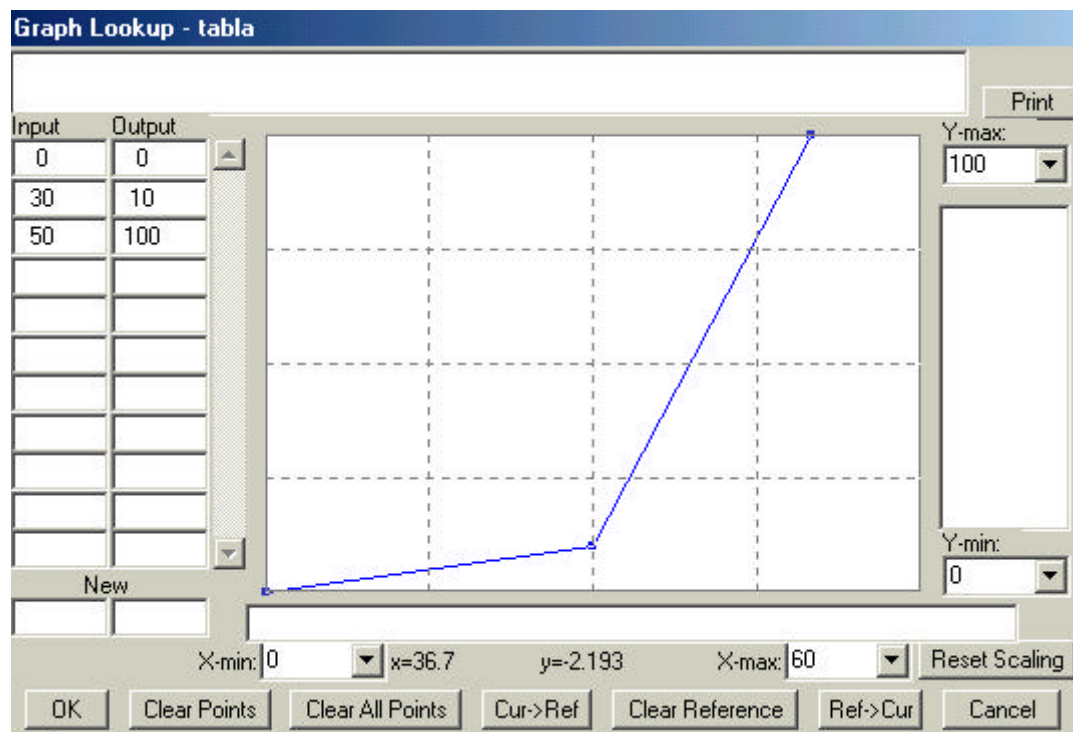
- punto 1: (0,0)
- punto 2: (30,10)
- punto 3 (50,100)

Vamos a crear un pequeño modelo que nos calcule el porcentaje de personas que llevan paraguas en función de la cantidad de lluvia que cae. Es necesario seguir estos pasos:

- abre el Vensim y haz File - New Model - ok
- crea una variable auxiliar llamada "lluvia", otra llamada "paraguas" y otra llamada "tabla"
- dibuja una flecha desde lluvia a paraguas y otra desde tabla a paraguas



- escribe la ecuación de **lluvia=ramp(1,1,50)** con ello simulamos que la lluvia se incrementa 1 litro cada periodo desde el periodo 1 al periodo 50.
- escribe la ecuación de **paraguas=tabla(lluvia)**
- escribe la ecuación de tabla, para ello:
- pulsa sobre el nombre de tabla
- escoge la opción Type:Lookup
- pulsa el icono AsGraph
- en la columnas Input / Output entra en las 3 primeras filas las parejas de valores: (0,0) , (30,10) y (50,100)



- haz ok y ok
- pulsa el icono Run a Simulation
- mira el comportamiento de lluvia y paraguas

En este caso hemos creado una tabla para obtener el resultado de la variable dependiente (paraguas) en función de los valores que toma la variable independiente (lluvia)

RETRASOS

En los sistemas nos encontramos con frecuencia que las respuestas de una variable en relación a otra no son instantáneas, sino que se producen retrasos. Se pueden modelar en función de que estas variables sean informaciones, o bien que estas variables sean materiales o físicas. También se pueden modelar considerando que la respuesta es muy fuerte al principio (primer orden) o bien que la respuesta presenta un importante retraso (tercer orden).

RETRASOS DE INFORMACION

- DELAY1(I,T) Retraso exponencial de primer orden, para la variable I y periodo T.
DELAY1I(I,T,N) Igual que DELAY1 pero empezando la simulacion en el valor N en vez de I.
SMOOTH3(X,T) Retraso exponencial de tercer orden, para el valor X y el periodo T .
SMOOTH3I(X,T,N) Igual que SMOOTH3 pero empezando la simulacion en el valor N en vez de X.
DELAY FIXED (X,T,N) Retraso en escalón para el valor X y el periodo T empezando la simulacion en el valor N en vez del X.

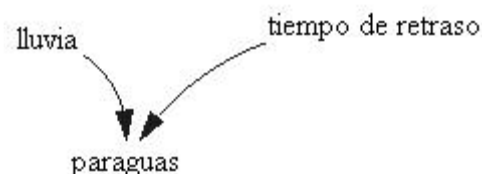
RETRASOS MATERIALES

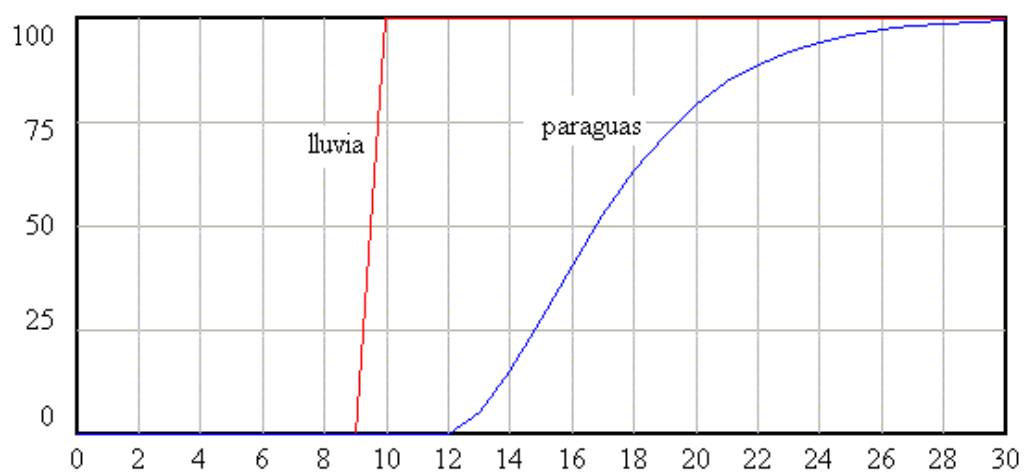
- SMOOTH(X,T) Retraso exponencial de primer orden, para la variable X y periodo T
SMOOTH1(X,T,N) Igual que SMOOTH pero empezando la simulacion en el valor N en vez del X.
DELAY3(I,T) Retraso exponencial de tercer orden, para el valor I y el periodo T .
DELAY3I(I,T,N) Igual que DELAY3 pero empezando la simulacion en el valor N en vez de I.

Para probar los efectos de los diferentes retardos es útil crear un modelo muy sencillo y colocar los diferentes retardos que queramos comparar.

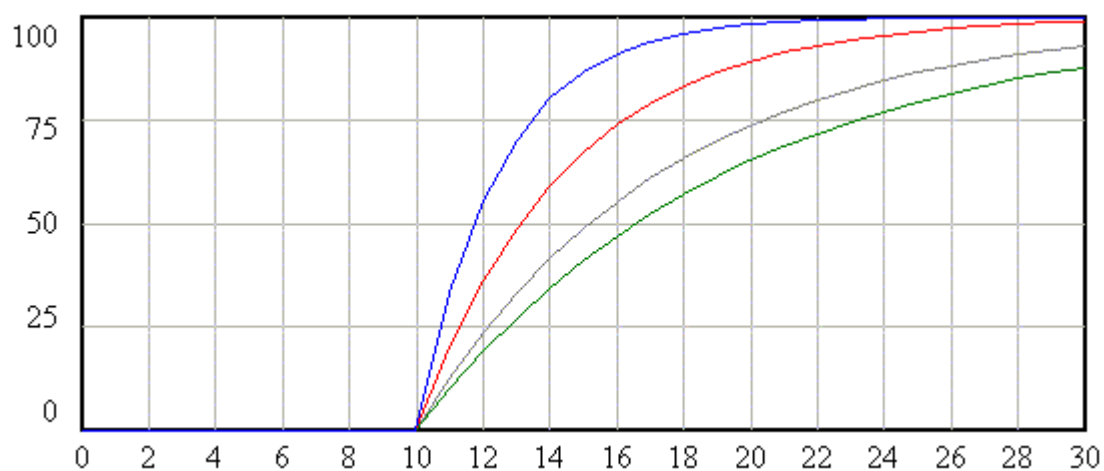
Ejemplo: Imaginemos que queremos simular la relación entre el momento que empieza a llover (minuto 10) y el porcentaje de personas que llevan paraguas. A continuación vemos el pequeño modelo y las ecuaciones con un retraso de tercer orden.

```
lluvia= step(100,10)
paraguas=delay3(lluvia,tiempo de retraso)
retraso=      8
```





y ahora usando diferentes tiempos de retaso para una función de primer orden.



III. PREGUNTAS FRECUENTES

¿Cómo funciona una función de retraso temporal?

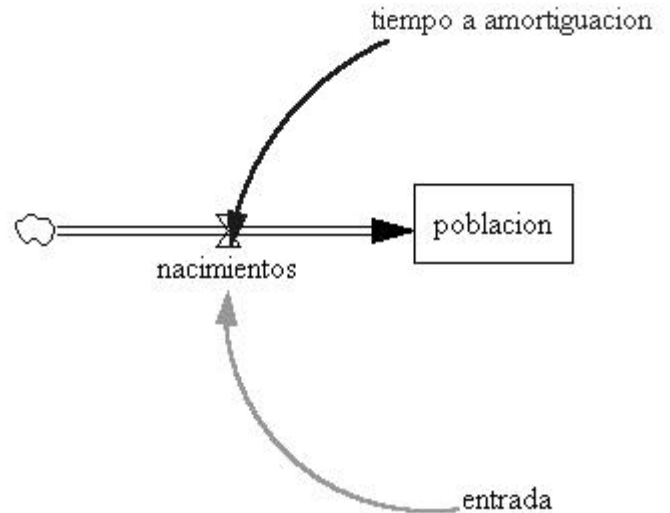
Veamos con un modelo muy sencillo el funcionamiento práctico de una función de retraso temporal como es Smooth.

Hagamos el modelo siguiente:

$\text{nacimientos} = \text{SMOOTH}(\text{entrada}, \text{tiempo a amortiguacion})$

$\text{entrada} = \text{step}(100, 10)$

$\text{tiempo a amortiguacion} = 25$



La variable “entrada” tiene el valor 0 hasta el periodo 10, en ese periodo pasa a valer 100 y mantiene ese valor indefinidamente. La variable “nacimientos” toma el mismo valor que “entrada” con un retraso temporal de valor 25. Podemos ver el resultado del modelo en la siguiente tabla (imagen izquierda). En una hoja de cálculo (imagen derecha) podemos calcular estos mismos valores y ver la fórmula que los reproduce.

Time	nacimientos
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	4
12	7.84
13	11.5264
14	15.0653
15	18.4627
16	21.7242
17	24.8553
18	27.861
19	30.7466
20	33.5167

C18 = =+C17+(B17-C17)/25			
	A	B	C
1			
2			
3	Time	entrada	calculo
4	0	0	0
5	1	0	0
6	2	0	0
7	3	0	0
8	4	0	0
9	5	0	0
10	6	0	0
11	7	0	0
12	8	0	0
13	9	0	0
14	10	100	0
15	11	100	4,0000
16	12	100	7,8400
17	13	100	11,5264
18	14	100	15,0653
19	15	100	18,4627
20	16	100	21,7242
21	17	100	24,8553
22	18	100	27,8610
23	19	100	30,7466
24	20	100	33,5167

¿Cual es la diferencia entre un proceso de Adicción y otro de Paso de la Carga”

Esta pregunta es interesante por el matiz que implica. En ambas situaciones el sistema logra igualar el Estado Real con el Estado Deseado con ayuda externa.

Hablamos de Adicción cuando interviene un objeto -cosa- y hablamos de Paso de la carga cuando interviene otro sistema - con sus propios objetivos -.

Las consecuencias de este matiz son importantes porque el objeto de una adicción nunca se planteará dejarnos, por lo tanto no hemos de esperar ningún cambio si nosotros no lo deseamos. Por el contrario el sistema que soporta nuestra carga hoy, puede mañana decidir que ya no quiere seguir apoyándonos y provocarnos una crisis.

Por ejemplo podemos ser adictos al tabaco, y en este caso si logramos reducir nuestro estrés con esta práctica podemos tener la seguridad de que siempre vamos a poder hacerlo a no ser que seamos nosotros mismos los que nos planteemos dejar esa adicción. Por el contrario si hemos “pasado la carga” de nuestros bajos ingresos a nuestro padre, es posible que un inesperado día el sujeto de esta carga decida que ya ha sido bastante paciente con nosotros y nos deje súbitamente de ayudar.

¿Son estos modelos de previsión?

Se entiende por modelos de previsión aquellos en los cuales dadas unas condiciones iniciales, nos interesa conocer el estado del sistema al cabo de un tiempo, con la particularidad de que nosotros no podemos intervenir de forma apreciable. Los mas conocidos son los modelos de previsión en meteorología. Para trabajar con estos modelos se necesitan mucha cantidad de datos de la situación de partida. No vamos a utilizar la Dinámica de Sistemas para hacer predicciones ya que 1.- nosotros si que podemos manipular el sistema, y 2.- en general no tenemos muchos datos de la situación de partida.

Lo que vamos a hacer es con los datos disponibles ver cual es el estado del sistema, y estudiar diferentes alternativas que lo mejoren, en base a lo que nosotros deseamos. Es cierto que estamos previendo las consecuencias de nuestras acciones sobre el modelo, pero lo hacemos para seleccionar la acción mas eficiente, ya que no dejamos al sistema evolucionar libremente.

Es cierto que podemos utilizar el modelo para prever lo que pasaría si nosotros no hiciésemos nada, pero en general esta previsión no será muy precisa por falta de datos previos. Esta falta de precisión no nos impide poder comparar diferentes alternativas de actuación sobre el sistema, y hacer una clasificación de mejor a peor de los resultados. Espero haberte aclarado este aspecto, sino me lo dices y lo seguimos comentando.

¿Cuándo existe un retraso de primer orden y cuando es de tercer orden?

Consideramos que una variable que tiene un retraso de primer orden cuando reacciona con rapidez a un impulso. Por ejemplo existe un cierto retraso entre que yo le doy al interruptor y que se hace la luz en mi habitación. Es muy rápido pero el retraso existe, ahora bien lo importante es que la bombilla da el 90% de su luz potencial en breves instantes, y el 10% restante al cabo de unos pocos segundos. Eso es un retraso de primer orden.

Un retraso de tercer orden en cambio se produce cuando la respuesta a un impulso se demora apreciablemente en el tiempo, y al principio la respuesta es lenta. Por ejemplo si hoy sube el precio de un producto los clientes siguen consumiendo la misma cantidad hasta que encuentra un producto sustituto.

Los retrasos influyen de forma decisiva en el comportamiento de muchos sistemas. Por ejemplo veamos los acondicionadores de aire. Si ahora hay 40° en la habitación y lo ponemos en marcha con el termostato en 15°, al principio el acondicionador funciona a pleno rendimiento y en los primeros cinco minutos baja 10°, en los siguientes cinco minutos baja 7°, en los otros cinco minutos baja 5°, y después ya tarda en bajar los otros 3° que le quedan media hora porque trabaja a bajo rendimiento. Eso es un sistema con un retraso de primer orden. Al principio ajusta con rapidez su estado al deseado, porque lo hace en base a la diferencia que existe entre ambos.

El mismo sistema con un retraso de orden infinito, con un tiempo de ajuste de 10 minutos. se mantendría en 40° durante 10 minutos y después bajaría a 15° de golpe. Cuando más bajo sea el orden del retraso con mas rapidez empezará a responder, y cuanto mayor sea el orden del retraso más va a tardar en responder.

Para tener una imagen visual podemos imaginar que el retraso es un conjunto de Niveles que separan la entrada o input de la salida o output. Los impulsos van pasando de un Nivel al siguiente Nivel en cada periodo. Si el retraso es de orden 1 solo hay un Nivel entre la entrada y la salida, si el retraso es de orden 3 hay 3 Niveles entre la entrada y la salida, y así sucesivamente.

¿Cuál es el periodo de duplicación de una variable?

Supongamos que estamos haciendo un modelo de la evolución del saldo de una cuenta corriente con un tipo de interés fijo. Es decir existe un nivel que es el saldo en la cuenta, un flujo que son los intereses y una variable auxiliar constante que es el tipo de interés fijo. El flujo se calcula como el saldo por el tipo de interés. Queremos saber cuantos años son necesarios para duplicar el saldo.

Sabemos que el periodo de duplicación del saldo es igual a $0,7 / i$ siendo i el tipo de interés. ¿Como se demuestra?

Tenemos que $(1+i)^t=2$ es decir una unidad más los intereses durante t años ha de ser igual a 2, siendo t el periodo de duplicación, o sea t es la cantidad de años que hace que el capital de 1 se transforme en 2.

y también que

$$\ln(1+i)^t = \ln 2 \text{ aplicando logaritmos,}$$

y por lo tanto

$$t \ln (1+i) = \ln 2$$

despejamos la t que seria el tiempo de duplicación:

$$t = \ln 2 / \ln (1+i)$$

y tenemos que $\ln 2 = 0,699$ y que $\ln (1+i)$ es siempre muy aproximadamente igual a i de ahí tenemos que aproximadamente $t = 0,7 / i$

¿Cuál es la diferencia entre los factores limitativos y los factores clave?

Los factores clave (key factors or leverage points) son elementos del sistema a los que este es muy sensible. Siempre son los mismos. Cualquier persona es muy sensible a que alguien le meta un dedo en el ojo, y reaccionará con violencia. Pero en realidad tiene dos ojos, y aunque pierda uno no pasa nada especialmente grave.

Cada sistema tiene sus propios factores clave y descubrirlos nos requerirá un cierto tiempo y esfuerzo. Es importante conocerlos si deseamos manipular el estado del sistema, evitando alterar aquellos que provocarán una reacción negativa del sistema, y en cambio trataremos de aprovechar aquellos que van a provocar una reacción favorable. Es importante recordar que en general se hallan ocultos y que son siempre los mismos.

Los factores limitativos en cambio suelen ser muy visibles y son cambiantes en el tiempo. Son aquellos elementos que van a condicionar el estado de un sistema ahora mismo o en un futuro inmediato, pero mañana pueden ser otros diferentes. Así ahora tengo hambre, y por eso no trabajo y me voy a comer. Una vez he comido el factor limitativo es que no tengo papel, y voy a por papel. Cuando tengo papel no tengo ideas. Es decir los factores limitativos son cambiantes a lo largo del tiempo.

¿Qué intervalo de tiempo de cálculo debo de tomar?

Es frecuente que en una simulación deseemos mostrar los resultados de la simulación en una escala temporal, o periodo, mientras que los cálculos deseamos realizarlos con una unidad de tiempo menor.

Por ejemplo en un variable queremos simular la evolución temporal del salario de un trabajador a lo largo de su vida, de forma que comienza a los 18 años y finaliza a los 65 años. La unidad temporal con la queremos ver los resultados es el año como es lógico. Ahora bien, queremos que el modelo utilice datos mensuales, ya que el trabajador cobra su paga mensualmente. En este caso utilizaremos la opción Time Step para definir como periodo de cálculo $1/12$ es decir 0.083333

Ahora bien, el software trabaja en código binario y no puede manejar con precisión un número periódico, por lo tanto hemos de ser conscientes de que existe este error, que en general será pequeño, y seguramente será de un orden de magnitud mucho menor que el que introducimos en algunas de las constantes que vamos a utilizar en el modelo.

Así por ejemplo si en el ejemplo anterior definimos Time Step como 0,83 al cabo de un año tendremos $0,083 \times 12 = 0,996$ lo que implica un error anual de 0,4% y al cabo de 10 años el error por esta causa ya será del 4%.

Por todo ello, siempre que sea posible, deberemos de utilizar potencias de 2, así tenemos como opciones para Time Step: 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,0625 ... Como es lógico hay que utilizar en todo el modelo unidades coherentes con las definiciones que hagamos del Time Step, de forma que si corresponde a 1 mes, las variables han de tomar este periodo como referencia (salario mensual, impuestos mensuales, gastos mensuales,...) en vez del periodo de tiempo que veremos aparecer en las gráficas (años).

¿Qué horizonte temporal debo definir?

Este es un aspecto esencial que requiere especial atención en cada modelo. Debemos de ser generosos en la definición del límite temporal de la simulación. No existen restricciones desde el punto de vista del hardware ni desde el punto de vista del software, y el software actual ejecuta las simulaciones en pocos segundos.

Debemos de evitar ceñirnos al horizonte temporal que nos marca el usuario o el cliente porque en ocasiones ciertos fenómenos se van a manifestar en el modelo poco después del horizonte temporal escogido, pero en la realidad pueden mostrarse un poco antes – es decir, dentro – del horizonte que nos interesa.

Un horizonte temporal amplio nos permite tener la seguridad de que ciertos fenómenos son realmente lo que parecen ser, de forma que un sistema con oscilaciones estables no comienzan a ser crecientes – y por lo tanto inestables – a partir de un determinado periodo.

¿Qué uso práctico tiene introducir “ruido” en el modelo?

En la realidad es casi imposible observar en los procesos naturales, empresariales o sociales un solo parámetro que evolucione de forma lineal durante un largo periodo de tiempo. En general lo que observamos es que sigue una determinada evolución salpicada de puntas y valles más o menos intensos.

La causa de estas puntas y valles medidos sobre la trayectoria media de la variable son debidos a factores estacionales que actúan de forma ocasionales, de factores externos que han modificado en un momento determinado el estado del sistema y porque no debido a los inevitables errores en la medida del estado del sistema.

Si construimos el modelo con el propósito de comprender la dinámica natural del sistema estudiado, o de percibir mejor la estructura que define su comportamiento, no deben de preocuparnos estos factores que modifican de forma coyuntural y en una escasa magnitud el estado del sistema.

Lo importante es definir si las pequeñas variaciones que observamos en la realidad tienen algún interés especial o no. Si no van a aportar ningún aspecto de interés al modelo podemos omitirlas, en caso contrario requerirán un análisis detallado.

En el software disponemos de la función NOISE y es conveniente tener alguna idea de sus posibles usos. Si disponemos de una serie histórica y un modelo que reproduce la media de los valores de dicha serie histórica, añadir la función NOISE para disponer de un comportamiento más parecido al real nos obliga a definir una cierta magnitud para el parámetro estadístico que nos define la dispersión de los valores (por ejemplo la desviación tipo). La magnitud de este parámetro estadístico es una forma de cuantificar los aspectos aleatorios y puntuales del sistema que nos son desconocidos.

El ruido en un sistema también nos habla de su capacidad para estabilizarse ante pequeñas perturbaciones. Si el sistema se halla dominado por un bucle positivo entrará en una fase de inestabilidad tan pronto como sea alterado por una pequeña fluctuación procedente de una función NOISE, por el contrario si la estructura del sistema dispone de bucles negativos será capaz de compensar rápidamente estas fluctuaciones.

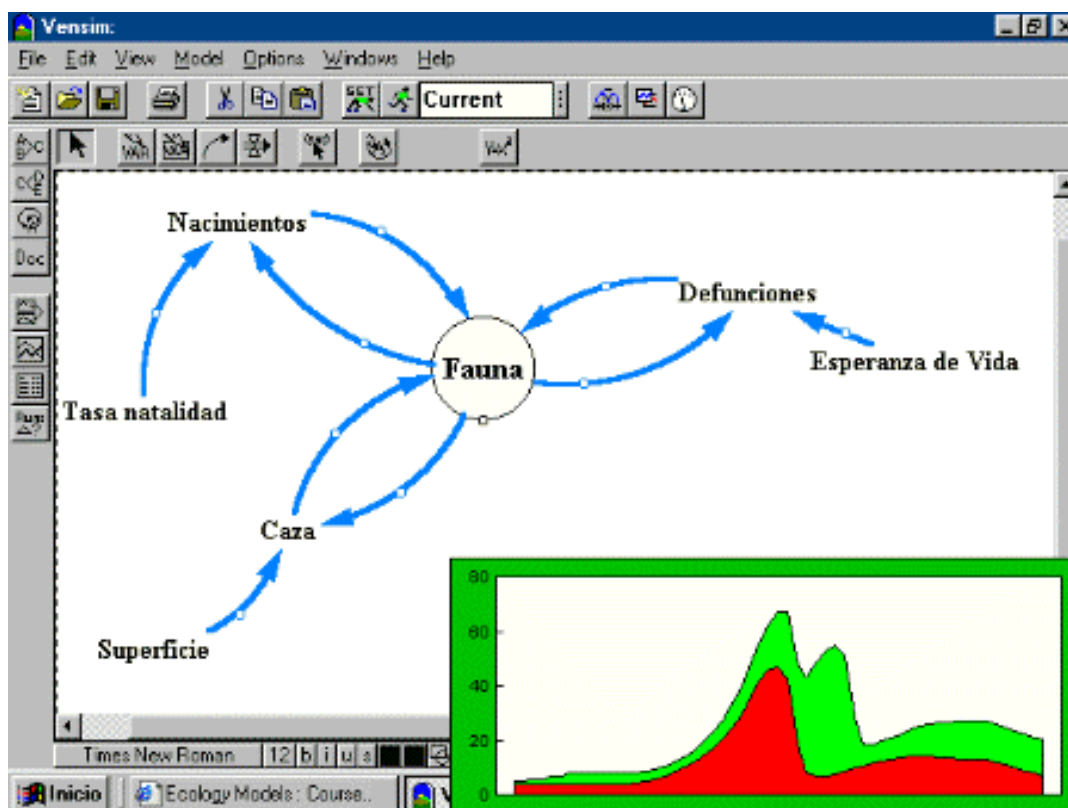
IV. CURSOS DE FORMACION

Este libro pretende ofrecer la necesaria información para un correcto aprendizaje de esta materia, tanto desde el punto de vista teórico como práctico. No obstante es innegable que un buen curso de formación, por breve que sea, siempre va a aportar a la persona interesada respuestas inmediatas a sus inquietudes o intereses particulares.

La creación de modelos de simulación y la Dinámica de Sistemas en particular se halla integrada dentro de los planes de estudios docentes de algunas universidades. Por otra parte existe una multitud de centros en todo el mundo que imparten cursos de doctorado, de postgrado o de especialización sobre esta materia.

Además, desde hace años Internet se ha demostrado como una excelente fuente formativa en esta materia ya que por una parte la relación entre alumno y profesor puede ser muy personal, y por otra parte ambos pueden intercambiarse los modelos creados con gran facilidad y rapidez.

Puede obtenerse información sobre los cursos de Dinámica de Sistemas disponibles en español acudiendo a Juan Martín García jmg@grn.es ; jmarting@catunesco.upc.es



En general los cursos que se ofrecen tienen tres grandes áreas de interés: la ambiental, la empresarial y la social.

El cursos del área ambiental se aplican en la realización de estudios en ecología y biología, gestión de recursos naturales, estudios de impacto ambiental, asesoría y consultoría ambiental, dirección de proyectos ambientales, gestión medioambiental de la industria, educación ambiental, diagnóstico ambiental y, en general, en los trabajos sobre la relación entre el hombre y la naturaleza, como por ejemplo la planificación urbana o regional.

En el área empresarial se aplican especialmente en la realización de estudios de planificación estratégica, gestión de proyectos, estudios sectoriales y, en general, en todos aquellos trabajos donde no son aplicables las tradicionales técnicas de optimización, por la existencia de relaciones de realimentación, por su gran complejidad, o por la existencia de aspectos cualitativos relevantes.

Y por último en el área más innovadora, que es el área social se aplican especialmente en la realización de estudios y trabajos en las áreas de psicología, psiquiatría, sociología, ayuda familiar, dirección, organización y administración de empresas, planificación local y regional, gestión de recursos humanos, fundaciones, patronatos y ONGs, asesoría, consultoría, y también en medicina y como apoyo a educadores.

Una buena formación debe de incluir tanto los aspectos teóricos como los prácticos de manejo del software. Esto es importante porque en muchas ocasiones el alumno desea recibir únicamente formación de los aspectos prácticos y más concretamente del uso del software. La formación teórica aporta una excelente guía para conocer las posibles aplicaciones de la Dinámica de Sistemas, con sus aspectos positivos y también sus limitaciones.

Si se desea conocer qué es y como funciona la Dinámica de Sistemas es muy conveniente intentar realizar alguno de los cursos, por breve que sea, en forma presencial o por Internet que existen. Si esto no es imposible, es necesario ser consciente de las propias limitaciones y reforzar tanto como se pueda la parte de teoría con buenas lecturas, algunas de las cuales podrá hallar en el CD adjunto y en la Bibliografía de este libro.

V. SOFTWARE

El software apropiado para realizar modelos de simulación aplicando como metodología la Dinámica de Sistemas ha evolucionado en los últimos años en dos aspectos, uno es hacerlo amigable para el usuario, en lo que fue esencial la aparición de Windows, y otro es el aumento continuo de prestaciones.

Sin duda quedan ya lejanos los años en los que un modelo requería una noche de cálculos del ordenador de la facultad y complejas ecuaciones donde el nombre de las variables se hallaba limitado a 8 letras y cuya formulación era realmente críptica para el profano.

Hoy en día existe en el mercado unas pocas grandes marcas de gran difusión y algunas otras menores que permiten crear este tipo de modelos. Es necesario entrar en matices muy sutiles para llegar a una valoración objetiva de las bondades y limitaciones de unas marcas en relación a otras, y al final son aspectos totalmente subjetivos los que pueden hacernos preferir una marca en relación a otras.

No pretendo en este libro ofrecer una valoración comparativa de las diferentes marcas, aunque tampoco puedo dejar al lector sin una respuesta sobre el software a utilizar. Si el lector no dispone de ningún software de simulación para este tipo de modelos mi consejo es que acuda obtenga en Internet el software Vensim PLE ® que es gratuito para usos educativos y personales, y tiene una importante prestación que otras marcas de software no ofrecen en sus versiones gratuitas: puede guardar el modelo que haya creado.

Como referencia adicional sobre la calidad del mismo se puede indicar que se es el software que se utiliza para fines docentes y de investigación en la Sloan School of Management del MIT (Massachusetts Institute of Technology).



Para obtener este software simplemente acuda a la web <http://www.vensim.com> y siga las instrucciones. También hallará este mismo software en el CD adjunto. Usualmente esta empresa lanza nuevas versiones de software cada año con mejoras y alguna nueva prestación adicional, por lo tanto es muy posible que el CD contenga una versión anterior a la última que existe disponible.

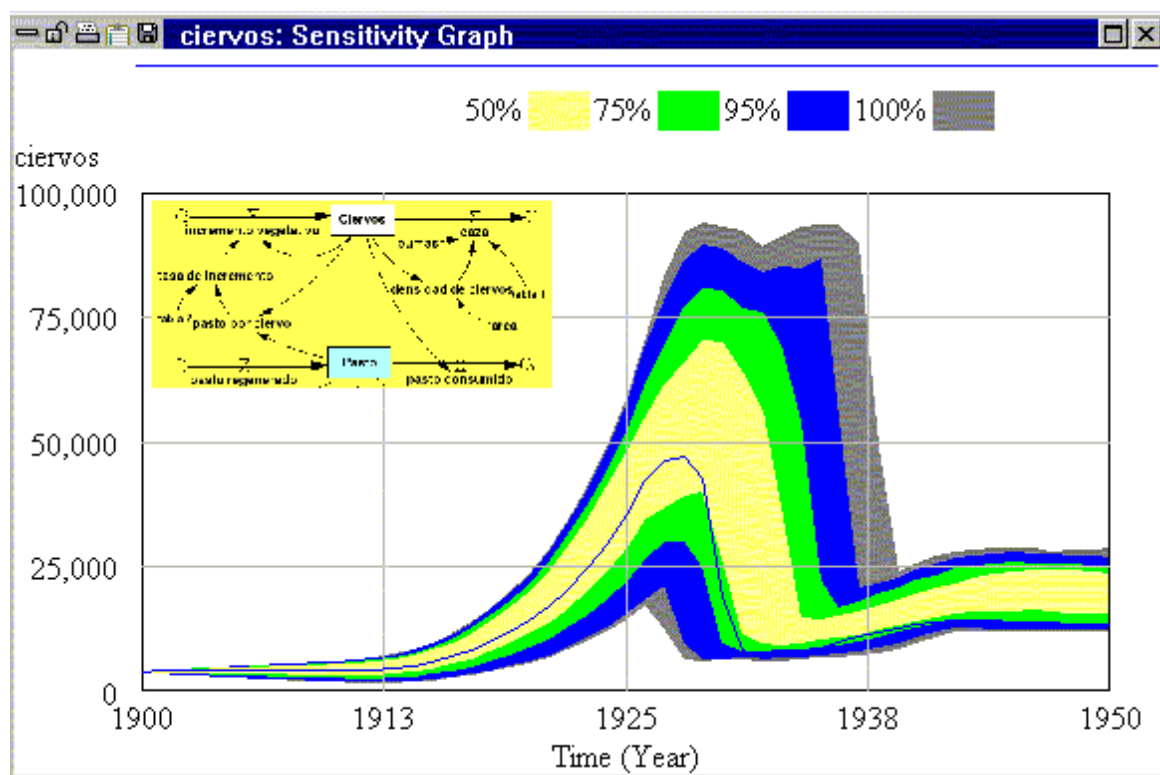
El nivel de las prestaciones del software para uso educativo y docente permite sin duda alguna hacer modelos que en los años 80 requerían los equipos más potentes de aquella época y por lo tanto será difícil que una persona que hace sus primeros modelos halle limitaciones en este aspecto.

Otras marcas de software ampliamente utilizadas son Stella y ithink de la empresa HPS, de las que puede obtener información en: <http://www.hps-inc.com> , y la marca Powersim <http://www.powersim.no>.

El software ithink tiene funcionalidades específicas para aplicaciones en economía y gestión de empresas. Tiene unas prestaciones gráficas muy potentes, que le hacen muy amigable para el usuario poco experto.

Stella apareció en 1985 para equipos Mac y constituyó una verdadera revolución, que permitía dejar de lado el antiguo formato de programación Dynamo, ya que ofrecía una visualización de las relaciones entre elementos y de las funciones no lineales. Su destino principal en la actualidad es para aplicaciones científicas, investigación, y en la enseñanza.

Los ámbitos de aplicación de Powersim se hallan en el área empresarial. Son principalmente modelos financieros, gestión de clientes, análisis de producción, recursos humanos y desarrollo de nuevos productos.



VI. BIBLIOGRAFIA

Se indica en **negrita** aquella bibliografía seleccionada y especialmente recomendada para las personas que deseen unas primeras lecturas sobre Dinámica de Sistemas.

Aracil, J. (1992) Introducción a la Dinámica de Sistemas. Ed. Alianza editorial AU.Textos. Madrid

Aracil, J. Gordillo F. (1997) Dinámica de Sistemas. Alianza Universidad Textos. Madrid.

Augros, R. M. and Stanciu, G. N. (1984). The New Story of Science. NY: Bantam Books.

Ballou R.H. (1991) Logística empresarial: control y planificación. Ed. Diaz de Santos.

Bertalanffy L.W. (1968) Teoría general de los sistemas. Ed. Fondo de cultura México

Bertalanffy L.W. (1981) Tendencias de la Teoria General de Sistemas. Alianza Editorial. Madrid.

Bertalanffy L.W. (1982) Perspectivas en la Teoria General de Sistemas. Alianza Editorial. Madrid.

Büch Jea-Yves (2001) Gestión del Conocimiento. Ed. AENOR. Madrid.

Checkland, P. (1999). Systems Thinking, Systems Practice: A 30-Year Retrospective. NY: John Wiley and Sons

Cuatrecasas Arbós, L.I. (2000) Organización de la producción y dirección de operaciones. Ed. Cera. Madrid.

Delgado Gutierrez, J.A. (2002) Análisis Sistémico: Su aplicación a las comunidades humanas. Cie Dossat 2000 Madrid.

Drucker, P. (1995). Managing in a Time of Great Change. NY: Dutton.

Forrester, J. W. (1969). Urban Dynamics. Norwalk, CT: Productivity Press.

Forrester, J. W. (1971). Principles of Systems. Norwalk, CT: Productivity Press.

Forrester, J. W. (1971). World Dynamics. Norwalk, CT: Productivity Press.

Forrester, J. W. (1975). Collected Papers of Jay W. Forrester. Norwalk, CT: Productivity Press.

Galbraith, J. R. (1993). Organizing for the Future: The New Logic for Managing Complex Organizations. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers.

Gell-Mann, M. (1995). The Quark and the Jaguar. NY: W. H. Freeman.

Goodman, M. R. (1974). Study Notes in System Dynamics. The MIT Press.

- Haines, S. G. (1998). *The Managers Pocket Guide to Systems Thinking and Learning*. Amherst, MA: HRD Press
- Haines, S. G. (2000). *The Complete Guide to Systems Thinking and Learning*. Amherst, MA: HRD Press.
- Kim, D. (1994). *Systems Thinking Tools: A User's Reference Guide*. Cambridge, MA: Pegasus Communications.
- Llavador Colomer, F. (2000) *Modelos matemáticos de sistemas acuáticos dinámicos*. Publicaciones Universidad de Alicante.
- López-Díaz Delgado, E. *Iniciación a la simulación dinámica*. Ed. Ariel Economía Madrid.
- Lovelock, J. E. (1987). *Gaia*. NY: Oxford University Press.
- Martinez Vicente J. Et al. (1979) *La simulación dinámica aplicada a la ordenación de recursos, un modelo a dos niveles*. Agricultura y sociedad 1979. Madrid.
- Martinez Vicente J. (1986) *Conceptos básicos de modelos*. Alianza Editorial. Madrid.
- Martinez Vicente J. (1986) *Prospectiva y planificación mediante modelos*. Alianza Editorial. Madrid.
- Meadows H. (1992) *Más allá de los límites del Crecimiento*. Ed. Aguilar. Madrid
- Mesarovic, M. (1967). *Views on General Systems Theory*. NY: John Wiley and Sons, Inc.
- Mesarovic, M. (1974) *La humanidad en la encrucijada*. Fondo de Cultura Económica. Madrid.
- Miller, G. (1978). *The Need for a General Theory of Living Systems*. Mc Graw Hill. New York.
- Mulgan, G. (1997). *Connexity: How to live in a Connected World*. MA: Harvard Business School Press.
- Naisbitt, J. (1994). *Global Paradox: The bigger the World Economy, the More Powerful Its Smallest Players*. NY: William Morrow.
- Naisbitt, J. and Aburdene, P. (1990). *Megatrends 2000: Ten New Directions For The 1990's*. NY: William Morrow and Company, Inc.
- O'Connor J. McDermott I. (1998) *Introducción al pensamiento sistémico*. Ed. Urano. Barcelona
- Pardo L. Valdes T. (1987) *Simulación. Aplicaciones prácticas en la empresa*. Ed. Diaz de Santos. Madrid.
- Pazos Sierra J. (1987) *Inteligencia Artificial* Ed. Paraninfo. Madrid.
- Prigogine, I. and Stengers, I. (1984). *Order Out of Chaos*. NY: Bantam Books.

Pulido, A. (1993) El empleo de los modelos en Economía. Modelos Econométricos. Ed. Pirámide. Madrid.

Richardson, G. P. (1991). Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press.

Roberts, E. B. (1981). Managerial Applications of System Dynamics. Norwalk, CT: Productivity Press.

Roberts, N. (1983) Introduction to Computer Simulation. NY. Addison-Wesley Publishing Company.

Senge, P. (1999) La quinta disciplina. Ed. Granica. Barcelona

Senge, P. (1999) La quinta disciplina en la práctica. Ed Granica. Barcelona

Senge, P. (2000) La danza del cambio. Ed. Gestión 2000. Madrid.

Sheel Mayenberger, C. (1998) Modelización de la Dinámica de los Ecosistemas. Editorial Trillas. México

Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. NY: McGraw-Hill Higher Education.

Toffler, A. (1970). El Shock del Futuro. Alianza Editorial. Madrid.

Toffler, A. and Toffler, H. (1980). La tercera ola. Ed. Plaza y Janés. Barcelona.

Toffler, A. and Toffler, H. (1995). Creating a New Civilization: The Politics of The Third Wave. Atlanta, GA: Turner Publishing, Inc.

Von Bertalanffy, L. (1967). Robots. Men and Minds: Psychology in the Modern World. NY: George Braziller, Inc.

Von Bertalanffy, L. (1998). General Systems Theory: Foundations, Development, Applications. NY: George Braziller, Inc.

Weiner, N. (1965). Cybernetics or Control and Communication in the Animal. Cambridge, MA: MIT Press.

VII. AGRADECIMIENTOS

Sin duda este libro se debe a los que fueron mis profesores y en especial a Pere Escorsa por haberme señalado la potencia de esta disciplina como instrumento de análisis. También se debe a algunos amigos como José Alfonso Delgado que me señalaron la necesidad de disponer de libros sobre esta materia y me impulsaron a dedicar el esfuerzo necesario para dar forma a esta obra.

Por otra parte ese libro es el resultado de una larga historia docente, y por lo tanto mi mayor agradecimiento es hacia todos los alumnos que me han obligado con sus continuas preguntas a reflexionar sobre los conceptos teóricos y a depurar los ejercicios para hacerlos más claros y simples.

Han colaborado especialmente en este libro:

- Mohamed Nemiche Mohamed.Nemiche@uv.es (Doctor en Ciencias Físicas) en la Introducción.
- Mario Guido Pérez mariogperez@arnet.com.ar (Ingeniero Químico) autor de los modelos del Reactor químico y de Ingestión de Tóxicos.
- Claudio M. Enrique cenrique@fiquis.unl.edu.ar (UNL, Santa Fe, Argentina) autor del modelo Estudio de los movimientos oscilatorios.
- Salvador Olaso Climent solaso@inefc.es (Universitat de Lleida) autor del modelo Simulación del entrenamiento deportivo.
- José Ignacio Fernández Méndez. jifernan@servidor.unam.mx (INP, México) aportando la información base para el modelo de La pesca en Campeche.
- Antoni Lacasa Ruiz fossils@eresmas.net (Dibujante) ha aportado su mejor experiencia en los dibujos que ilustran y hacen más ameno el texto.

Por último, last but not least, mi sincera gratitud hacia John Sterman que aceptó amablemente hacer el Prólogo de este libro.

