

8. EJERCICIOS PRACTICOS DE DINAMICA DE SISTEMAS

8. EJERCICIOS PRACTICOS DE DINAMICA DE SISTEMAS

Los ejercicios prácticos que se incluyen a continuación han sido creados y seleccionados para lograr un aprendizaje práctico completo y progresivo de las aplicaciones de esta metodología en el ámbito empresarial.

Estos ejercicios no pretenden servir de pauta al modelo que el lector desee crear para analizar el tema que a él le interesa especialmente, pero también es cierto que las mismas estructuras básicas se repiten una y otra vez en los sistemas ambientales, económicos y sociales, y por ello la realización de estos ejercicios facilita al lector la necesaria habilidad para identificar estas estructuras, que son la base de cualquier modelo.

En Internet existen algunas bibliotecas de modelos que permiten profundizar más en el tema en particular que sea de interés del lector.

En especial son recomendables:

- Biblioteca de Modelos de Tom Fiddaman en www.sd3.info/models/index.html
- Biblioteca de Modelos de John Sterman en web.mit.edu/jsterman/www/DID.html
- Biblioteca de Modelos de Gene Bellinger en www.systems-thinking.org/welcome.htm
- Biblioteca de Modelos del INSEAD en www.insead.fr/calt/Encyclopedia/ComputerSciences/Systemem/
- Biblioteca de Modelos del REM en eco.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html

También existe una fuente muy importante de trabajos que son las ponencias que anualmente selecciona la System Dynamics Society en su congreso anual. Pueden hallarse online en la web:

www.systemdynamics.org/

Veamos a continuación los aspectos formativos que cada uno de los modelos que se exponen a continuación pretende lograr.

Caso Dinámica poblacional

- Instalación del software y su funcionamiento
- Creación de un diagrama causal
- Comportamiento natural de un sistema.
- Modelos de simulación vs. Hoja de cálculo

Caso Dinámica de un depósito

- Abordando la complejidad
- Manipulación de flujos
- Uso de expresiones matemáticas
- Comparar el comportamiento previsto y el obtenido

Caso Gestión dinámica de existencias

- Aprender a transformar un texto en un modelo
- Uso de tablas exteriores en relaciones no lineales
- Uso de funciones de retraso temporal
- Influencia de los retrasos

Caso Gestión dinámica de un proyecto

- Modelos multinivel
- Construcción de un modelo por etapas
- Estado inicial de las variables
- Manejo de las unidades temporales
- Uso de funciones lógicas
- Gráficos multivariantes
- Variables de control

Caso Dinámica de Precios y Producción

- Integración de varios submodelos en otro mayor
- Uso de retardos y funciones test
- Simulación de diferentes políticas de gestión
- La causa de las oscilaciones
- Explicar los resultados

El capítulo que en los Anexos se dedica a las Funciones, Tablas y Retrasos puede ser interesante para conocer con más detalle las características de algunas de ellas cuando aparecen en las ecuaciones de los modelos.

8.1. Como crear un modelo

A continuación se indican unas indicaciones precisas de los pasos a seguir en la creación de un modelo de simulación utilizando la Dinámica de Sistemas. Estas indicaciones son tan precisas como es posible teniendo en cuenta que se dirigen a un amplio colectivo de temas y situaciones.

Es normal en este punto sentir una cierta inquietud y desconcierto. Así que es necesario recomendar calma y sosiego. Crear un modelo de simulación aplicando la Dinámica de Sistemas requiere unos conocimientos teóricos que muy posiblemente el lector ya ha adquirido en los capítulos anteriores, y la percepción que este es un trabajo artesanal, que requiere paciencia, mucha paciencia como iremos viendo en los ejercicios prácticos de este mismo capítulo.

Es necesario seguir un cierto orden en este proceso. El esquema de la página siguiente señala las etapas a seguir y a continuación se describen las características esenciales de cada una de ellas. Aunque tienen una estructura lineal es siempre necesario retroceder y repetir alguna de ellas a la luz de la nueva percepción que hemos adquirido del tema que estamos analizando. La primera etapa es construir un diagrama causal donde representamos los elementos que consideramos forman en sistema y las relaciones que existen entre ellos. Es normal que el primer diagrama causal que dibujemos sea incompleto, lo iremos perfeccionando y ampliando si es necesario. La segunda etapa es trasladar este diagrama causal a un diagrama de flujos, que es el formato que pueden manejar los diferentes tipos de software que sirven para realizar este tipo de simulaciones.



ESQUEMA

A - CREAR EL DIAGRAMA CAUSAL

- 1.- DEFINIR EL PROBLEMA Y
- 2.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE PRIMER ORDEN
- 3.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE SEGUNDO ORDEN
- 4.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE TERCER ORDEN
- 5.- DEFINIR LAS RELACIONES
- 6.- IDENTIFICAR LOS BUCLES DE REALIMENTACION
- 7.- DEPURAR LAS INFLUENCIAS NO RELEVANTES
- 8.- IDEAR POSIBLE SOLUCIONES AL PROBLEMA.

B - CREAR EL DIAGRAMA DE FLUJOS

- 9.- CARACTERIZAR LOS ELEMENTOS
- 10.- ESCRIBIR LAS ECUACIONES
- 11.- ASIGNAR VALORES A LOS PARAMETROS
- 12.- CREAR UNA PRIMERA VERSION DEL MODELO
- 13.- ESTABILIZAR EL MODELO
- 14.- IDENTIFICAR LOS ELEMENTOS CLAVE
- 15.- SIMULAR

C. ESCRIBIR LAS CONCLUSIONES

A - CREAR EL DIAGRAMA CAUSAL

Existen reputados autores que defienden la inutilidad de crear el diagrama causal, ya que cualquier sistema mínimamente complejo contiene un número de bucles tal que hace imposible analizar su comportamiento, y por lo tanto aventurar ningún tipo de propuestas o soluciones que tengan una mínima garantía de éxito. Concluyen argumentando que el diagrama de flujos es mucho más explícito y útil ya que nos muestra con claridad los flujos que existen en el sistema, que son en definitiva los elementos reguladores del mismo sobre los que deberemos de actuar para tener el control del mismo.

Si bien son comprensibles estos argumentos, también son indudables algunas de las virtudes del diagrama causal, entre ellas tenemos en primer lugar que

es un método sencillo de ordenar las ideas, con frecuencia confusas al inicio de cualquier estudio, en segundo lugar, visto como una simple etapa previa, permite pasar con facilidad los elementos y las relaciones del sistema al diagrama de flujos, y en tercer lugar permite una comunicación clara y fluida con el usuario final, cosa que el diagrama de flujos no permite.

1.- DEFINIR EL PROBLEMA

Sin duda esta es la etapa clave del estudio a realizar. Sin duda esta es la etapa clave del estudio a realizar. Sin duda esta es la etapa clave del estudio a realizar.

Con frecuencia el cliente no plantea con sinceridad al consultor que va a realizar el modelo el propósito final del estudio. Es necesario presionar tanto como sea posible para lograr una definición precisa del problema que debemos analizar. Si es posible hay que intentar que sea por escrito y firmado. Vamos a concentrar nuestros esfuerzos en una dirección, si no es la correcta o es modificada posteriormente nuestro trabajo habrá sido en el mejor de los casos inútil, y con frecuencia frustrante.

Es conveniente definir el problema en términos que podamos apreciar con claridad cuando mejora y cuando empeora. Son validas tanto definiciones cuantitativas (minutos de espera del cliente) como cualitativas (miedo a volar en avión), pero hemos de hacer un esfuerzo de concreción que se verá pronto recompensado.

No es nada útil definir el problema en términos similares a estos: "el problema son las deficiencias en la toma de decisiones por las carencias de comunicación entre los vendedores debido a las divergencias en los aspectos metodológicos, y las consecuencias que se derivan en el aprovechamiento y mejora del conocimiento de los clientes". Es recomendable describir en el centro de una hoja DIN A4 en blanco.

2.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE PRIMER ORDEN

En esta etapa es necesario escribir el nombre de todos los elementos que creemos que tienen influencia

con el problema. De nuevo, pueden ser elementos cuantitativos o cualitativos, pero que podamos siempre valorar cuando han tenido una mejora o aumento, o una disminución o empeoramiento.

Es muy conveniente recopilar información sobre estudios científicos o técnicos que avalen esta relación causal, o en su defecto la opinión de una persona bien conocedora del tema que debemos abordar. En esta etapa no es necesario que nos preocupemos sobre la magnitud de esa relación o la forma en la que la vamos a cuantificar o modelar.

Escribiremos el nombre de estos elementos alrededor del nombre del problema que hemos escrito en el centro de la hoja en blanco.

3.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE SEGUNDO ORDEN

Una vez que tenemos localizados los elementos que influyen directamente en el estado del problema en los términos que hemos definido, hemos de identificar los elementos que influyen en ellos, a los que llamaremos influencias de segundo orden.

Son elementos no relacionados directamente con el problema, pero que condicionan de forma decisiva a los que si lo hacen. Por lo tanto debemos de tener presente el estado y la evolución de estos elementos.

Escribiremos el nombre de estos elementos alrededor de los anteriores.

4.- DEFINIR LAS INFLUENCIAS DE TERCER ORDEN.

Repetiremos el proceso anterior con nuevos elementos que influyen en ellos, y repetiremos esta operación tantas veces como sea necesario.

En definitiva retomaremos la definición de Sistema para construir un modelo formado por todos los elementos relacionados entre si de forma que la modificación del estado de uno de ellos modifica significativamente el estado de otro elemento.

La pregunta inevitable es saber cuando hemos de detenernos. Se dice que Dios es la causa última de todas las cosas y que llegamos a él a través del número mágico

7. A efectos prácticos no es necesario llegar a la relación causal de séptimo orden sino simplemente se trata de limitar la cantidad de elementos al tamaño de la hoja de papel. Los elementos que no tengan cabida en ella ... en realidad no tienen una influencia significativa en el problema que deseamos analizar.

5.- DEFINIR LAS RELACIONES

La siguiente etapa consiste en dibujar las flechas o influencias que creemos existen entre los elementos del sistema. Si la definición de los elementos ha sido correcta no existirá mayor dificultad en asignar un signo positivo o negativo a cada una de las relaciones. En el caso de que no sea posible establecer con claridad el signo de la relación es necesario volver a definir los elementos implicados.

El sentido de la relación causal y su signo no debería de presentar una gran dificultad. En aquellos fenómenos que se producen casi de forma simultánea no es evidente el sentido de la relación causal, de forma que para un extraterrestre le puede ser difícil de identificar en primera instancia si es la lluvia la que provoca la apertura de los paraguas, o bien son estos la causa de que empiece a llover.

6.- IDENTIFICAR LOS BUCLES DE REALIMENTACION

Los bucles nos van a dar señales sobre el posible comportamiento del sistema, y también sobre las posibles medidas para incrementar sus efectos o bien para atenuarlos. Para ello deberemos de identificar tanto los bucles que existen como los signos de estos bucles y a partir de ahí buscaremos en los bucles positivos los motores del cambio y en los bucles negativos las causas de la estabilidad del sistema.

Este es un buen momento para identificar aquellas relaciones donde existen retrasos significativos, ya sean materiales o de información, y los señalaremos en el diagrama, ya que este aspecto va a crear una dinámica propia en el sistema.

7.- DEPURAR LAS INFLUENCIAS NO RELEVANTES

Es necesario depurar el sistema de aquellos elementos inicialmente incluidos en él pero que en las etapas siguientes hemos percibido que su papel en relación al problema que nos ocupa no es relevante, en ocasiones simplemente porque sus efectos se producen más allá del horizonte temporal con el que hemos planteado el modelo.

En cierta forma construir un modelo se asemeja a un acordeón ya que hay etapas de ampliación del modelo, añadiendo nuevos elementos al mismo, y etapas de simplificación, suprimiendo elementos innecesarios. Es conveniente que el formato final quede tan pequeño como sea posible.

8.- IDEAR POSIBLES SOLUCIONES AL PROBLEMA.

A la vista del diagrama causal que tenemos, con las relaciones causales bien identificadas, los bucles con sus signos respectivos, los retrasos materiales y de información bien señalizados y hecha la depuración de los elementos innecesarios, podemos empezar a tratar de identificar si es posible identificar algunos de los patrones de comportamiento de los sistemas y si es así podremos empezar a idear algunas soluciones para el problema.

En muchas ocasiones aquí finaliza el trabajo, ya que hemos adquirido un profundo conocimiento de las causas que provocan el problema y somos capaces de proponer soluciones basadas en este conocimiento y en la dinámica propia que el sistema posee.

Las soluciones más eficaces vienen siempre de la modificación de las relaciones que hay entre los elementos más que de un intento de modificar la naturaleza de los elementos.

B - CREAR EL DIAGRAMA DE FLUJOS

La creación del diagrama de flujos se hace directamente sobre la pantalla del ordenador con el software de simulación que utilizemos, y no reviste especial dificultad si ya disponemos del diagrama causal.

En general está formado por los mismos elementos, aunque suele ser necesario añadir algunos elementos auxiliares.

9.- CARACTERIZAR LOS ELEMENTOS

Recordando brevemente las indicaciones que se daban en el capítulo de “Creación de un modelo” podemos decir que es necesario en primer lugar identificar los Niveles del sistema y para ello podemos hacer una foto mental del sistema y aquellos elementos que aparecen en ella son los Niveles. Las variaciones de estos elementos son los Flujos. Han de tener las mismas unidades más una componente temporal. El resto de elementos son Variables auxiliares.

Los Flujos no suelen aparecer en el diagrama causal de una forma explícita y deben de ser añadidos en la creación del diagrama de flujos.

10.- ESCRIBIR LAS ECUACIONES

En esta etapa hemos de concretar las relaciones que existen entre los elementos. Para ello podemos utilizar sencillas fórmulas aritméticas, hacer uso de las funciones que el software nos facilita, o bien utilizar las tablas cuando sea difícil establecer una ecuación.

11.- ASIGNAR VALORES A LOS PARAMETROS

Algunos elementos del modelo son constantes en el horizonte de simulación definido y deberemos de asignarles un valor. En ocasiones disponemos de esta información y en otras deberemos de asignarles un valor razonable. La precisión no suele aportar en este tipo de modelos grandes ventajas, ya que aunque conozcamos con precisión el valor que ha tenido una constante en el pasado sin duda será de más utilidad conocer si este valor se va a mantener en el futuro o no. Podemos conocer con toda precisión la esperanza de vida pasada, pero sin duda será de mayor utilidad saber la tendencia o las modificaciones que posiblemente va a sufrir tras modificar la estructura del modelo.

De igual forma las ecuaciones suelen incorporar parámetros a los que debemos de asignar un valor. Es importante vigilar que sea lo más explícito y bien documentado posible ya que a diferencia de las constantes que son muy visibles los parámetros colocados en una ecuación no se pueden percibir por el lector o usuario final, y pueden influir decisivamente en el comportamiento del modelo.

12.- CREAR UNA PRIMERA VERSION DEL MODELO

Es imposible crear un modelo completo al primer intento, pero es muy útil disponer siempre de un modelo que funcione por simple que sea, es decir, que se pueda ejecutar. Se trata pues de ir haciendo versiones que incorporen mejoras.

13.- ESTABILIZAR EL MODELO

Las primeras versiones del modelo suelen ser inestables debido a que no hemos sabido asignar valores correctos a algunas variables. Es muy útil disponer de un modelo que funcione con todas sus variables estables.

14.- IDENTIFICAR LOS ELEMENTOS CLAVE

En esta etapa hemos de localizar los elementos que son clave en el comportamiento del sistema. Estos serán los elementos sobre los que se habrán de centrar las propuestas para mejorar el estado del sistema y así solucionar el problema.

15.- SIMULAR

La generación de propuestas se ha de basar en introducir modificaciones en el modelo que después puedan llevarse a la práctica, para así poder seleccionar la que ofrezca mejores resultados.

C. ESCRIBIR LAS CONCLUSIONES

La etapa final consiste en la elaboración de las conclusiones una vez que consideramos que hemos completado el proceso de simulación. Han de ser concisa, indicando la propuesta o propuestas con claridad. Podemos acompañarla de algún diagrama causal que no es necesario que sea el del modelo completo sino una versión muy simplificada. El modelo, si queremos mostrarlo, ha de colocarse en un anexo.

Es conveniente evitar títulos para los trabajos similares a "Construcción de un modelo de simulación para el estudio ..." y utilizar en cambio títulos como **"Estudio del problema ..."** porque en realidad sea consciente de que al usuario final no le interesa mucho saber si hemos hecho un modelo de simulación, una hoja de cálculo o un programa informático.

En definitiva el usuario final quiere entender las propuestas que le ofrecemos en las conclusiones, y como es lógico le hemos de convencer de su bondad. Si el modelo nos ayuda en este último aspecto lo utilizaremos pero en general explicar el modelo va a requerir un gran esfuerzo de atención por parte del usuario que no suele agradecer.

Como norma, si se trata de la presentación de un trabajo en una empresa deberemos preparar una presentación de unos quince minutos. Es lo máximo que nos van a conceder antes de que la atención del cliente empiece a decaer. Lleve preparado abundante material para responder a las posibles preguntas que se produzcan. Eso demostrará que el trabajo se halla basado en un modelo de simulación sólido.

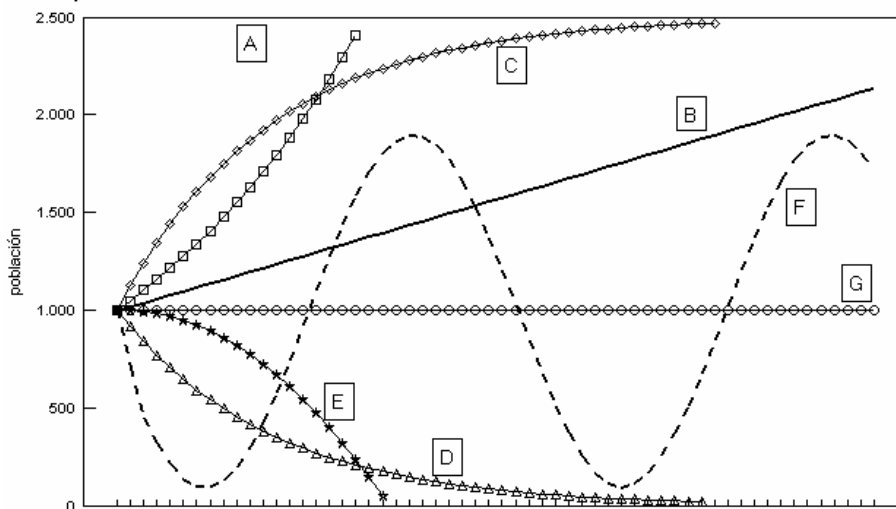
Si se trata de un trabajo académico, tenga piedad de los miembros del Tribunal, sea claro, ameno y conciso, y sobre todo límitese al tiempo que le hayan establecido previamente. En este caso suele ser más importante el trabajo desarrollado que las conclusiones, así que sea meticuloso y ofrezca especial detalle de los aspectos metodológicos. Ofrezca pocas conclusiones, pero que sean aspectos clave del problema estudiado, y prepare a conciencia sus respuestas a las inevitables y siempre sorprendentes preguntas.

8.2. Caso Dinámica Poblacional

Una población se halla formada inicialmente por 1000 individuos, su tasa de natalidad es del 5% semanal, y su esperanza media de vida es de 100 semanas. No hay migraciones y la distribución de edades de la población es uniforme. Si se mantienen constantes la tasa de natalidad y la esperanza de vida obtendremos una determinada evolución temporal del número de individuos. ¿Puedes hacer una estimación sin ayuda del ordenador de qué sucederá con el número de individuos en estas circunstancias al cabo de pocas semanas?



Si se escogen otros valores, igualmente constantes, de la tasa de natalidad y la esperanza de vida, se obtendrán diferentes evoluciones temporales (trayectorias) del número de individuos. ¿Es posible decir antes de simular en el ordenador, cuales de las trayectorias siguientes son posibles y cuales son imposibles?



Vamos a utilizar un Diagrama Causal y vamos a representar los elementos del sistema, que en este caso son: Población, Tasa de Natalidad, Nacimientos, Esperanza de Vida y Defunciones

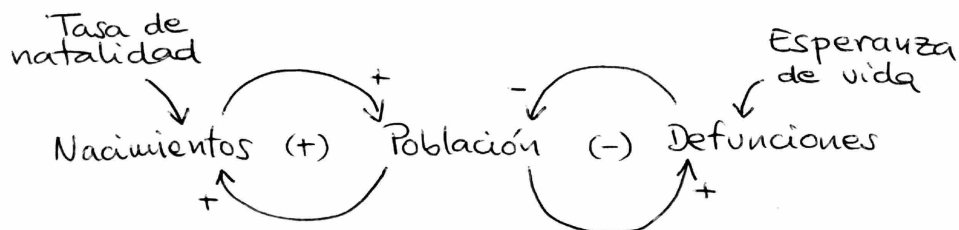
Las relaciones que existen entre ellos son:

A más población más nacimientos (positivo)

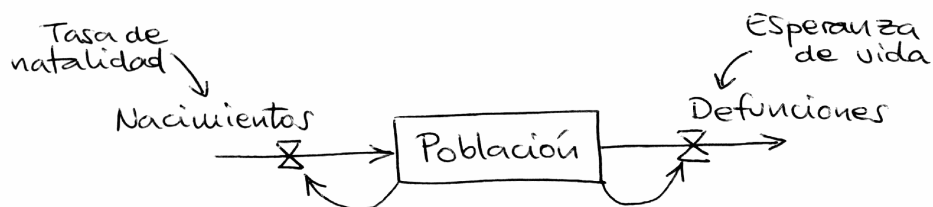
A más nacimientos más población (positivo)

A más población más defunciones (positivo)

A más defunciones menos población (negativo)



Podemos observar que hay un bucle positivo (nacimientos – población) y otro bucle este negativo (población – defunciones). Por lo tanto cuando domine el bucle positivo podremos tener las típicas trayectorias de crecimiento o colapso (la A o la E) y cuando domine el bucle negativo podremos tener las usuales trayectorias estabilizadoras (la C o la D). Por lo tanto ya podemos excluir las trayectorias B y F entre las opciones posibles. Si nos fijamos no podemos excluir la G ya que en realidad es cualquiera de las trayectorias citadas como posibles, pero con una pendiente nula.



El diagrama de flujos nos puede ayudar a confirmar la viabilidad de las trayectorias que hemos visto que son posibles en base al diagrama causal. Así de las dos trayectorias creadas por el bucle positivo solo la que

ofrece un comportamiento creciente es posible (la A), ya que se trata de un bucle en un flujo de entrada. De las dos trayectorias posibles provocadas por el bucle negativo solo la decreciente (la D) es posible ya que se trata de un bucle en flujo de salida. Por lo tanto sólo son posibles las trayectorias A y D, además de la G.

Los modelos de simulación no son han de convertirse en una caja negra en la que el usuario no pueda verificar que es lo que está sucediendo. En los casos más sencillos como este podemos comprobar lo que el modelo está haciendo utilizando una hoja de cálculo. Para ello calcularemos los Nacimientos de un periodo como el producto de la Población inicial del periodo por la Tasa de Natalidad, y calcularemos las Defunciones como la Población inicial dividida por la Esperanza de Vida. La Población final será igual a la Población inicial más los Nacimientos menos las Defunciones.

Tomaremos la Población inicial de cada periodo igual que la Población final del periodo anterior.

Periodo	Población inicial	Nacimientos	Defunciones	Población final
1	1000,000	50,000	10,000	1040,000
2	1040,000	52,000	10,400	1081,600
3	1081,600	54,080	10,816	1124,864
4	1124,864	56,243	11,249	1169,859
5	1169,859	58,493	11,699	1216,653
6	1216,653	60,833	12,167	1265,319
7	1265,319	63,266	12,653	1315,932
8	1315,932	65,797	13,159	1368,569
9	1368,569	68,428	13,686	1423,312
10	1423,312	71,166	14,233	1480,244
11	1480,244	74,012	14,802	1539,454
12	1539,454	76,973	15,395	1601,032
13	1601,032	80,052	16,010	1665,074
14	1665,074	83,254	16,651	1731,676
15	1731,676	86,584	17,317	1800,944
16	1800,944	90,047	18,009	1872,981
17	1872,981	93,649	18,730	1947,900
18	1947,900	97,395	19,479	2025,817
19	2025,817	101,291	20,258	2106,849
20	2106,849	105,342	21,068	2191,123

Así pues podemos ver con la ayuda de la hoja de cálculo como con los valores iniciales que hemos tomado la población se duplica en 20 periodos (semanas en este caso). El motivo es que existe una diferencia positiva entre Nacimientos y Defunciones, y que además esta diferencia es creciente en un periodo en relación al anterior.

Ahora vamos a reproducir este mismo comportamiento con ayuda del software de simulación Vensim.

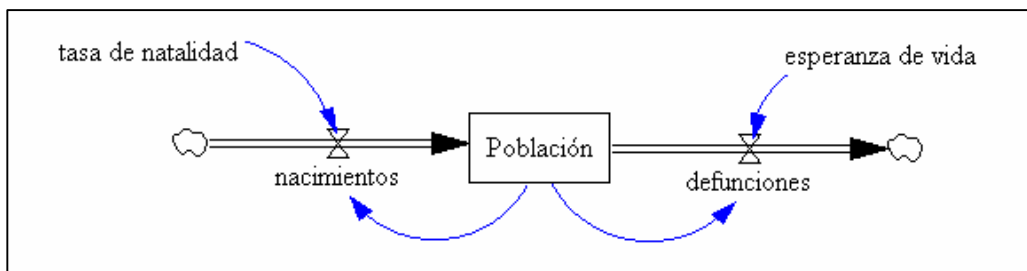
El propósito de este ejercicio es ver como se instala el software y tener un primer contacto con él, que persigue ver la forma en la que se crean los diagramas de flujos en el ordenador, como se entran las ecuaciones, como se simula y como se obtienen los resultados.

??? Instalación del software

?? Colocar el CD en el lector. Desde la pantalla inicial de Windows pulsar en el icono de "Mi PC" ... (esperar unos segundos).. Unidad D: ... Carpeta Vensim ... y pulsar en Icono Venple32. Aceptar el "agreement" leyéndolo hasta el final. Escoger la versión de "Install Vensim for learning and personal use only". Esta versión no tiene fecha de caducidad. Se crea un icono con el nombre Vensim PLE en una carpeta nueva. Tarda unos pocos minutos. También se puede descargar desde <http://www.vensim.com>

?? Pulsar en el icono de Vensim PLE para empezar a trabajar.


?? Crear del modelo Población en el ordenador




?? En la pantalla inicial teclear File>New Model

?? Aceptar los valores por defecto de Initial time, Final time, etc. Pulsar OK


?? Dibujar el Nivel de Población, así:

Pulsar el icono . Llevar el cursor al área de dibujo (hacia el centro) y pulsar una vez. Escribir el nombre de "Población" dentro del recuadro y pulsar Intro.


?? Dibujar los Flujos, así:

Pulsar el icono . Llevar el cursor al área de dibujo (a la izquierda) y pulsar una vez. Moverlo hasta dentro del recuadro de población y pulsar. Aparece un recuadro donde hemos de teclear "nacimientos" e Intro. Repetimos estos pasos para crear el flujo "defunciones" así: Colocar el cursor dentro del rectángulo que dice "población", pulsar 1 vez, desplazar el cursor a la derecha y pulsar otra vez. Escribir "defunciones" dentro del rectángulo, e Intro.

?? Dibujar las Variables auxiliares

Pulsar el icono . Llevar el cursor al área de dibujo (debajo de nacimientos) y pulsar una vez.. Escribir "tasa de natalidad" dentro del rectángulo e Intro. Repetirlo con "esperanza de vida" debajo de defunciones.

?? Dibujar las Relaciones (flechas)

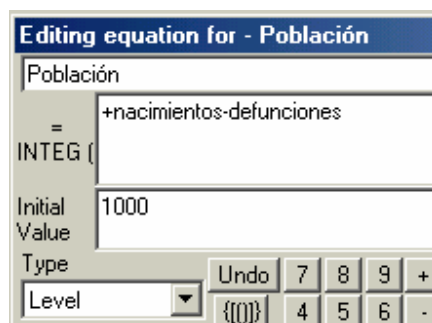
Pulsar el icono . Llevar el cursor al área de dibujo. Situarlo con la punta de la flecha sobre el literal "tasa de natalidad" y pulsar. Desplazarlo hasta "nacimientos" y volver a pulsar. Repetirlo con "esperanza de vida" y "defunciones". Repetirlo con "Población" y "nacimientos", y repetirlo con "Población" y defunciones. Pinchar en el círculo que se halla en cada flecha y desplazarlo un poco para dar forma curvada a la flecha. Ha de quedar como se muestra en la figura de la página de la página anterior.

7. Ecuaciones

El software ya escribe las ecuaciones de acuerdo con el Diagrama de Flujos que le hemos dibujado. Falta completar el valor inicial en el Nivel, y las relaciones aritméticas en los flujos. A las Variables auxiliares, que tomaremos constantes, hay que darles un valor.

?? Pinchar el icono  Se ponen negros los literales.

?? Pinchar el literal de "Población". En la pantalla que se abre donde pone "Initial value" indicar 1000, luego hacer OK.

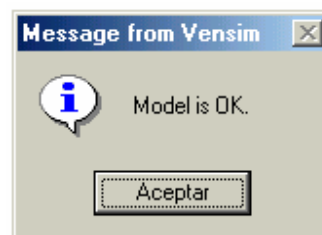


?? Pinchar el literal de "defunciones", en la nueva pantalla seleccionar en el Área de variables la de "Población", luego señalar dividir (/) y luego seleccionar "esperanza de vida". Dar OK.


?? Hacer lo mismo para nacimientos indicando que son la "Población" multiplicado por la "tasa de natalidad".

?? A la "tasa de natalidad" asignarle un valor de 0.05 (cero-punto-cero-cinco) y a la "esperanza de vida" de 100.

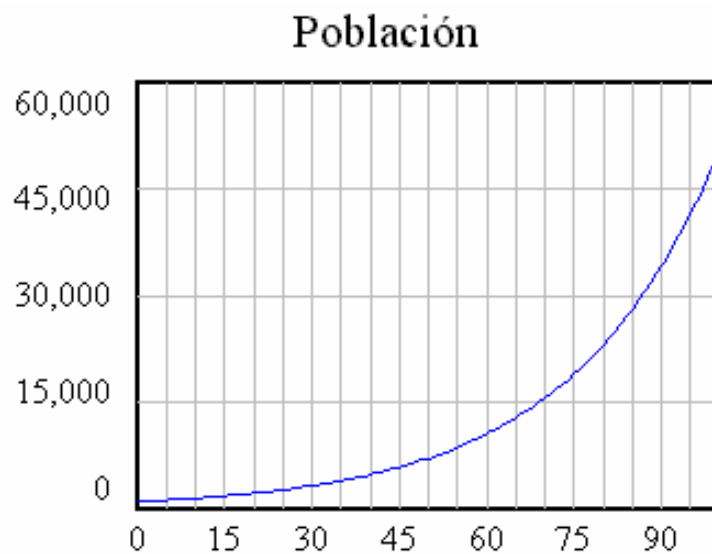
?? En el menú de la barra superior escoger Model > Check Model ha de aparecer Model is OK.





??? Ejecutar el modelo (Simular)

?? Pulsar en el icono . Si sale cualquier mensaje decir "si" o dar un nuevo nombre a la simulación.

??? Resultados



?? Hay varias formas de visualizar el resultado de la simulación. A la izquierda de la pantalla hay situados los iconos para ver la evolución temporal de un elemento y sus causas: 

? La evolución temporal de un elemento sólo: 

?? La tabla de los valores del elemento: 

?? Para ver la evolución temporal de un elemento hay que pulsar rápido 2 veces sobre el nombre del elemento en la pantalla (doble click), y a continuación escoger aquella de las tres formas anteriores de visualización que nos interese (en los iconos de la izquierda).


?? Otra forma de ver el resultado en forma de gráfico de la simulación es ir al menú superior del Vensim:

Windows - Control Panel - Graphs - New - Sel.

?? Se puede imprimir, seleccionando el icono que se halla en el marco de la gráfica.




??? Otras utilidades

? Para guardar el modelo teclear File - Save o el  icono siguiente con ello se crea un fichero de nombre poblacion.mdl Podemos guardar las diferentes versiones del modelo de forma secuencial: población_5.mdl. El software crea copias de seguridad automáticas cada pocos minutos con el mismo nombre del modelo que tenemos en pantalla y la extensión 2mdl. Para recuperar una copia de seguridad simplemente cambie el nombre de la extensión a mdl.

?? Para listar las ecuaciones, exportarlas e imprimirlas, usar el icono:

Doc

Con esta opción no es posible editar ni modificar las ecuaciones pero pueden exportarse a otros documentos como Word.

?? Para ver las relaciones entre las variables, usar el  icono:

?? Para añadir comentarios a la ecuación de un variable, usar el icono:

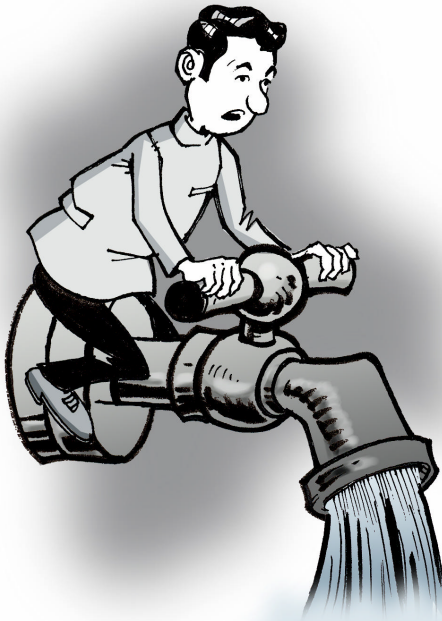


Es importante documentar en el mismo modelo el significado de las variables y también de las ecuaciones ya que este procedimiento es mucho más eficaz que crear una hoja aparte con las descripciones.

?? Y por último, si se producen errores en el dibujo del Diagrama de Flujos, usar el icono:



8.3. Caso Dinámica de un Depósito



Vamos a simular ahora el comportamiento de un sistema muy simple, el que regula el contenido de un depósito intermedio de un líquido, el cual posee una sola entrada y una sola salida, que están siempre abiertas. Se trata de un depósito de 100 litros, que tiene en su momento inicial 50 litros de líquido.

Queremos saber la dinámica del contenido del depósito ante cambios en la entrada y la salida de caudal. En concreto queremos estar seguros de que no se va a desbordar, y de que no se va a quedar completamente vacío.

La entrada al mismo la regulamos de forma tal que - para evitar que se desborde - entrará más caudal cuando el depósito se halle más vacío, y entrará menos caudal cuando el depósito esté casi lleno. Inicialmente equilibramos la entrada al depósito de forma tal que entra una fracción de $1/10$ del volumen vacío del depósito.

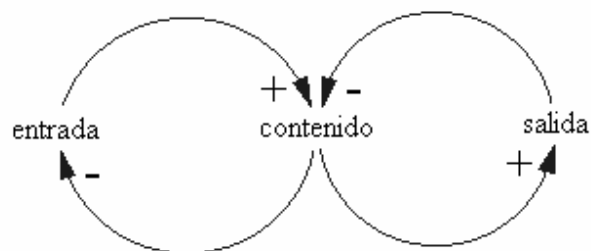
Por el contrario, hemos regulado la salida de forma tal que - para evitar que se quede vacío - saldrá más líquido cuando el depósito esté lleno y saldrá menos cuando el depósito se halle vacío. Inicialmente regulamos la salida para que ésta sea una fracción de $1/10$ del contenido del depósito.

CUESTIONES

1. ¿Qué comportamiento cabría esperar si inicialmente - como se ha descrito - el depósito se llenase a un ritmo de $1/10$ del volumen vacío del depósito, y siendo la salida de $1/10$ de su contenido?
2. ¿Qué sucede si inicialmente en el depósito hay 80 litros?
3. ¿Qué sucede si la entrada se regula a $1/20$ del volumen vacío del depósito, y la salida se mantiene a $1/10$ de su contenido, partiendo de un volumen inicial de 50 o de 80 litros?

Vamos a crear un modelo para explicar el comportamiento dinámico del contenido del depósito para poder responder a estas cuestiones (y familiarizarnos con el uso del software).

Diagrama causal



En este sistema existen tres elementos a considerar, el contenido del depósito, la entrada de líquido y la salida de líquido. Dos de las relaciones son muy sencillas:

- 1) "a más entrada habrá más contenido (relación positiva)"
- 2) "a mayor salida habrá menos contenido (relación negativa)"

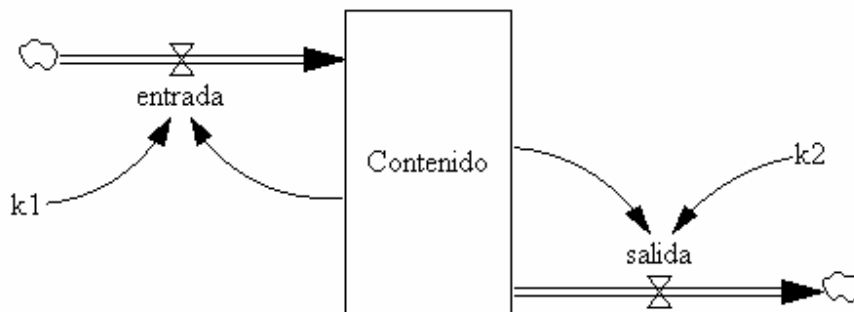
Por otra parte nos dicen que:

- 3) "a más contenido será menor la entrada de líquido (relación negativa)"
- 4) "a más contenido será mayor la salida de líquido (relación positiva)"

Por lo tanto tenemos un sistema con dos bucles negativos (que tienen un número impar de relaciones con signo negativo en cada bucle) que estabilizarán el sistema

Diagrama de flujos

NIVEL



Contenido= entrada-salida

Initial value: 50

Units: litros

El depósito, que tiene una capacidad de 100 litros, contiene 50 en su inicio.

FLUJOS

$$\text{entrada} = (100 - \text{Contenido}) / k1$$

Units: litros/hora

La entrada es función del espacio vacío que hay en el depósito, de forma que cuando el depósito esté vacío se llenará muy rápido, y cuando esté casi lleno la entrada será muy pequeña. El parámetro $k1$ es propio de nuestro diseño del sistema.

$$\text{salida} = \text{Contenido} / k2$$

Units: litros/hora

La salida es función de la cantidad de líquido que existe en el interior del depósito, de forma tal que cuando esté lleno saldrá muy rápido, y cuando este casi vacío la salida será mucho menor. El parámetro $k2$ es propio de como definimos el sistema.

CONSTANTES

$$k1 = 10$$

Units: hora

El depósito se llena a un ritmo del 10% de su volumen vacío, o lo que es lo mismo en cada periodo se llena 1/10 del volumen vacío.

$$k2 = 10$$

Units: hora

El depósito se vacía a un ritmo del 10% de su contenido real en cada período, o lo que es lo mismo se vacía 1/10 de su contenido en cada período.

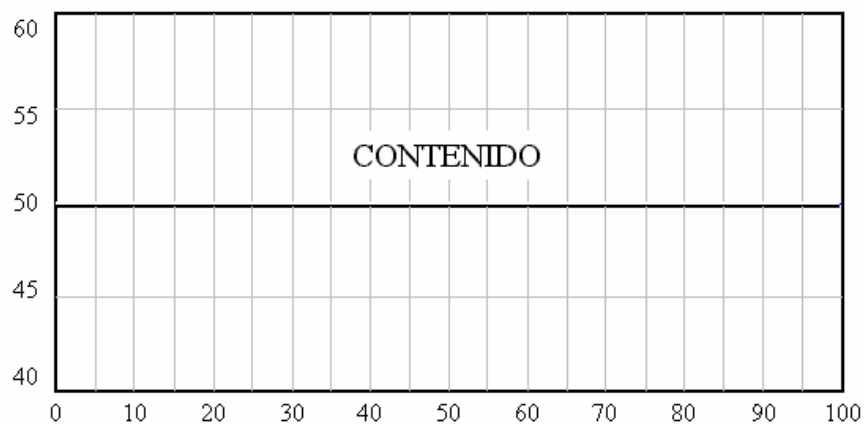
Podemos definir también como constante la Capacidad (100 litros) del depósito. No lo hacemos porque es una constante del sistema y no lo podemos modificar.

CONTROLES

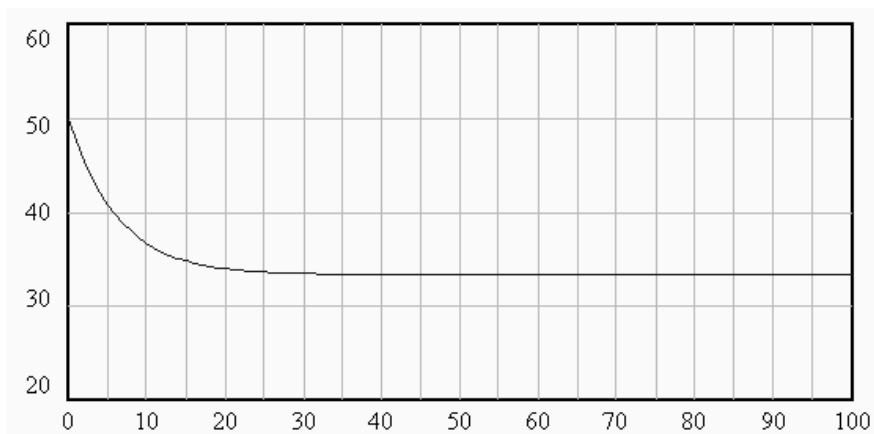
FINAL TIME = 100 INITIAL TIME = 0 TIME STEP = 1

Comportamientos observados:

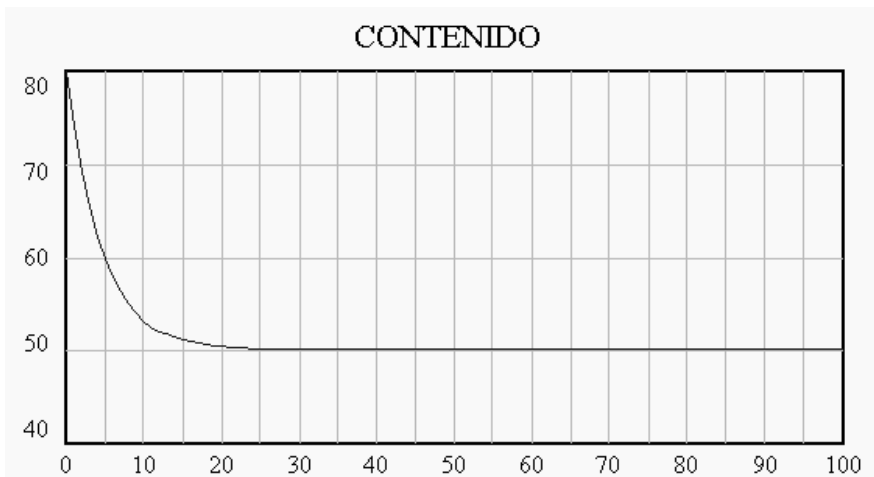
Si inicialmente el depósito se llenase a un ritmo de 1/10 del volumen vacío del depósito, y siendo la salida de 1/10 de su contenido el contenido sería constante.



Si inicialmente en el depósito hay 80 litros el depósito se vacía hasta alcanzar un contenido de 50 litros.

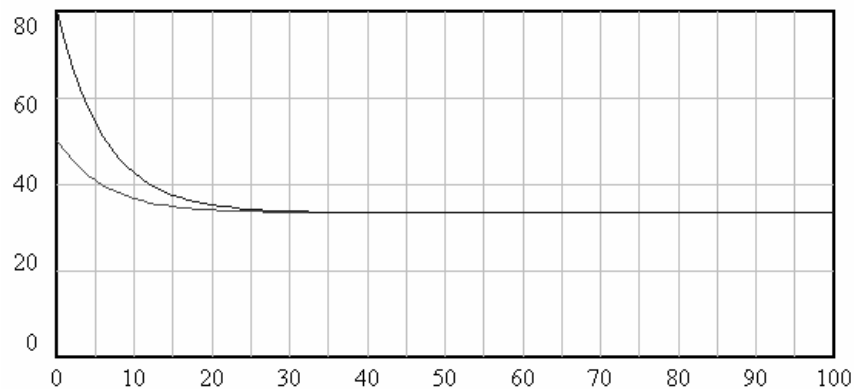
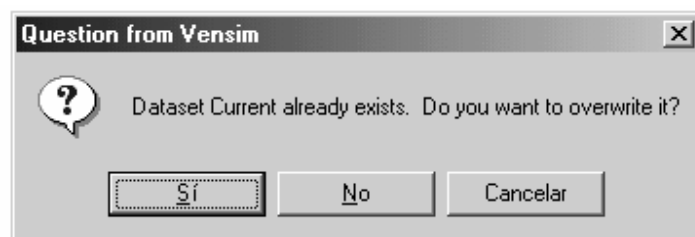


Si con el volumen inicial de 50 litros la entrada se regula a $\frac{1}{20}$ del volumen vacío del depósito, y la salida se mantiene a $\frac{1}{10}$ de su contenido, el depósito se vacía hasta estabilizarse en un volumen de 33,3 litros.



Si el volumen inicial es de 80 litros el volumen del depósito se estabiliza en el mismo valor, de 33,4 litros.

Para ver las dos simulaciones superpuestas cuando hayamos cambiado el valor inicial del depósito de 50 a 80 litros y lo ejecutemos, cuando aparezca el mensaje siguiente pulsaremos: No y le daremos un nuevo nombre (diferente de Current).



Así pues podemos observar que el sistema tiende a estabilizarse en un mismo valor sea cual sea el contenido inicial del depósito, y que los parámetros que van a definir el este valor final de estabilización vienen definidos por el estado de los flujos.

8.4. Caso Gestión Dinámica de Existencias

Una empresa presenta una crónica inestabilidad en su producción y en sus existencias de productos acabados.

Nos facilitan la siguiente información sobre los estrictos criterios que se siguen:



1. La producción deseada se determina anticipadamente en base a la demanda prevista. La producción deseada también se modifica para mantener las existencias a un nivel deseado. La producción real coincide con la deseada ya que la empresa dispone de un equipo de producción holgado.

2. La empresa realiza las entregas a sus clientes desde un almacén de productos acabados, el cual es generalmente capaz de servir los pedidos que recibe.

3. La empresa calcula la demanda prevista promediando los pedidos recibidos en las últimas ocho semanas, ya que de esta forma elimina el efecto de pedidos atípicos.

4. Las existencias deseadas de productos acabados han de ser las necesarias para cubrir cuatro semanas de pedidos.

5. La empresa tiende a corregir las discrepancias entre las existencias presentes y las deseadas en ocho semanas.

Se parte de la hipótesis de una situación inicial en equilibrio entre las existencias deseadas y las reales, así como la previsión y pedidos. Como resultado el modelo parte de un equilibrio entre producción y pedidos. Tomaremos la hipótesis de que los pedidos son igual a 1000 unidades/semana hasta la semana 10 en la que se incrementan un 10% y permanecen constantes en ese nuevo valor.

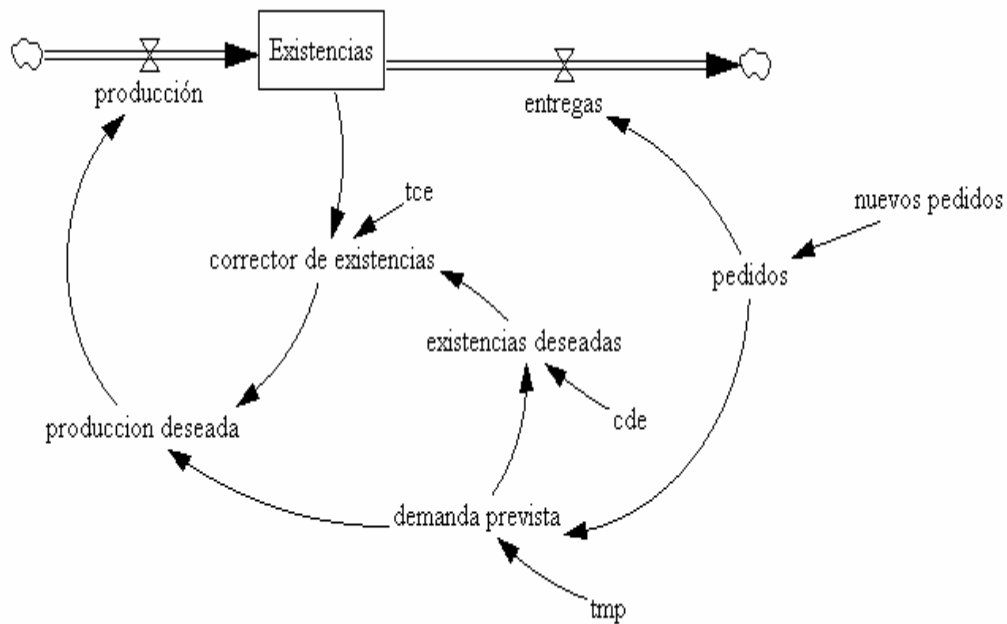
1. Sin ayuda del ordenador, dibuje el comportamiento que usted espera que genere el modelo cuando se produce un incremento del 10% en los pedidos, partiendo de una situación de equilibrio. Especifique el comportamiento de los pedidos, producción deseada, producción, existencias y existencias deseadas.

2. Dibuje el Diagrama Causal, el Diagrama de Flujos, y escriba las ecuaciones que describen el modelo tal y como se indica en las páginas siguientes.

3. Compare el comportamiento observado con sus expectativas, explicando las razones del comportamiento actual y por qué difiere de sus expectativas.

4. Reduzca el "Tiempo para corregir existencias" a 4 semanas. ¿cambia el comportamiento? ¿cambia el ritmo del comportamiento? ¿es más o menos estable? explique las causas.

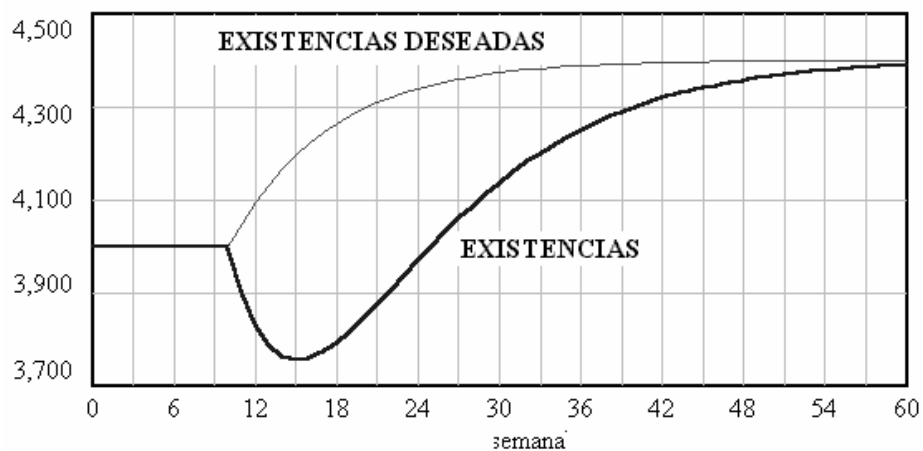
5. ¿Puede este modelo presentar oscilaciones? pruebe con diferentes valores para "Tiempo para promediar pedidos" y la "Cobertura deseada de existencias".



- (01) $cde = 4$
Units: semana
cobertura de las existencias deseadas
- (02) $\text{corrector de existencias} = (\text{existencias deseadas} - \text{Existencias}) / tce$
Units: unidades/semana
- (03) $\text{entregas} = \text{pedidos}$
Units: unidades/semana
Las entregas son función de los pedidos recibidos, e influyen en las Existencias ya que cada entrega de productos reduce el volumen de existencias.
- (04) $\text{Existencias} = \text{ } + \text{producción} - \text{entregas}$
Initial value: 4000
Units: unidades
Las existencias iniciales corresponden a una situación inicial de equilibrio, con una media de pedidos = 1000 unidades, y una cobertura de existencias deseadas de 4 semanas = 4.000 unidades iniciales.
- (05) $\text{existencias deseadas} = \text{demanda prevista} * cde$
Units: unidades
- (06) $\text{FINAL TIME} = 60$ Ver nota página siguiente .
Units: semana
- (07) $\text{INITIAL TIME} = 0$ Ver nota página siguiente .
Units: semana
- (08) $\text{demanda prevista} = \text{SMOOTH}(\text{pedidos}, \text{tmp})$
Units: unidades/semana
Utilizamos la función Smooth como una buena aproximación al cálculo de la media de los pedidos ya que estos softwares no calculan la media de n periodos anteriores.
- (09) $\text{nuevos pedidos} = \text{step}(100, 10)$
Units: unidades/semana

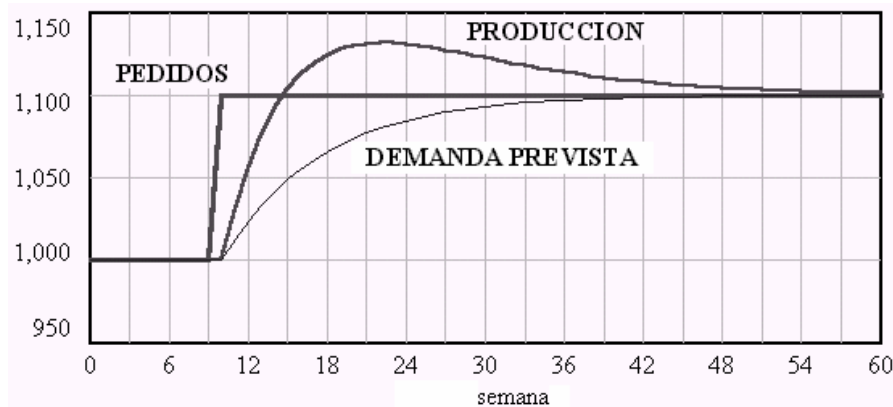
Esta variable nos sirve para recoger la hipótesis de que hay un cambio en la cifra de pedidos en el periodo 10 de una magnitud del 10% de los pedidos ($1000 \cdot 0,1 = 100$)

- (10) pedidos=1000+nuevos pedidos
Units: unidades/semana
- (11) produccion deseada= demanda prevista +
corrector de existencias
Units: unidades/semana
- (12) producción= produccion deseada
Units: unidades/semana
- (13) tce= 8
Units: semana
es el tiempo necesario para corregir las existencias
- (14) TIME STEP = 1
Units: semana
- (15) tmp= 8
Units: semana
tiempo para calcular la media de los pedidos



Nota del horizonte temporal:

El intervalo temporal (Initial Time y Final Time) se define al crear el modelo con File – New Model, y se puede modificar con la opción Model – Settings. Tomaremos 60 semanas en la primera versión del modelo y lo ampliaremos a 100 semanas posteriormente.



Nota sobre las gráficas:

Para visualizar múltiples variables en una misma gráfica, después de haber ejecutado el modelo, se puede utilizar el icono de Control Panel o bien seguir el menú de Windows – Control Panel – Graphs – New y definir el contenido del gráfico. Los textos junto a las líneas se han añadido con un editor de imágenes, no con el Vensim.

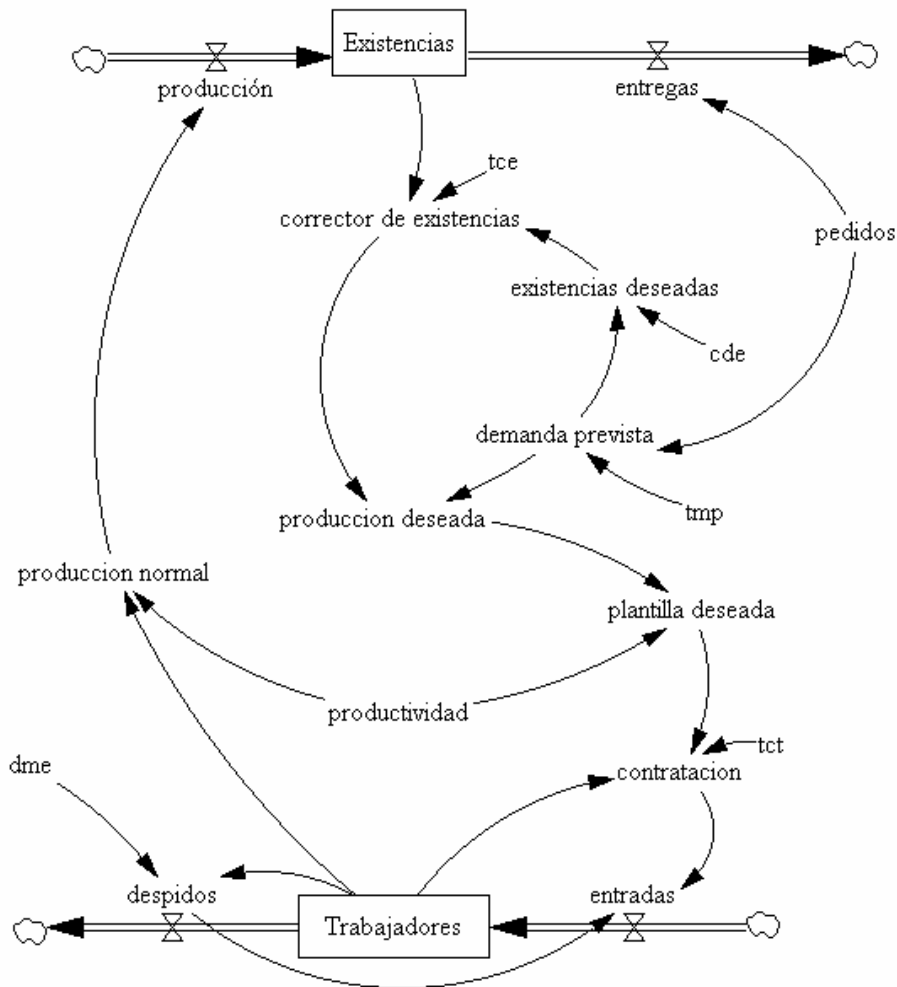
SEGUNDA ENTREVISTA

Nada en el modelo actual permite que la producción y las existencias tomen los valores observados (oscilaciones). Por ello se hace una segunda entrevista con representantes de la empresa, para definir con más detalle la situación.

Las explicaciones siguientes ponen de manifiesto que mientras que la empresa dispone con holgura de suficiente equipo en producción, el personal no puede ser contratado y formado instantáneamente. De hecho se necesitan 24 semanas de anticipación para seleccionar, contratar y formar al nuevo personal. La empresa no tiene costumbre de hacer expedientes de regulación temporal

de empleo. Los empleados permanecen en la empresa una media de 50 semanas.

La política de contrataciones de la empresa se basa en reemplazar a los trabajadores que se marchan, teniendo en cuenta la situación real de la plantilla en relación con la situación deseada. Los empleados deben avisar de su marcha con dos semanas de anticipación aunque esto no es significativo. La plantilla deseada se determina en base a la producción deseada y la productividad media, la cual es de 20 unidades por empleado y semana, y es constante a lo largo del tiempo. La normativa laboral impide realizar horas extras.



SIMULACIÓN

Añada al modelo las ecuaciones que recogen los nuevos datos sobre el funcionamiento de la empresa. Preste atención a las unidades que utiliza. Tome un valor inicial del número de empleados tal que le permita partir de una situación de equilibrio.

Modifique los parámetros recibidos para comprender mejor su influencia en el comportamiento observado: Modifique "Tiempo para corregir existencias" y comente sus repercusiones. ¿Modificar el "Tiempo para corregir el número de trabajadores" tiene los mismos efectos?

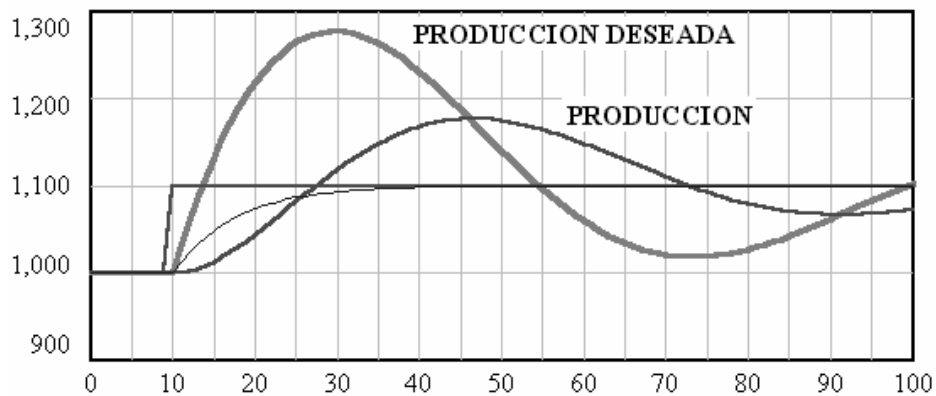
- (01) $cde = 4$
Units: semana
cobertura de las existencias deseadas
- (02) $contratacion = (plantilla\ deseada - Trabajadores) / tct$
Units: personas/semana
- (03) $corrector\ de\ existencias = (existencias\ deseadas - Existencias) / tce$
Units: unidades/semana
- (04) $despidos = Trabajadores / dme$
Units: personas/semana
- (05) $dme = 50$
Units: semana
- (06) $entradas = despidos + contratacion$
Units: personas/semana
- (07) $entregas = pedidos$
Units: unidades/semana
- (08) $Existencias = \quad + producción - entregas$
Initial value: 4000
Units: unidades

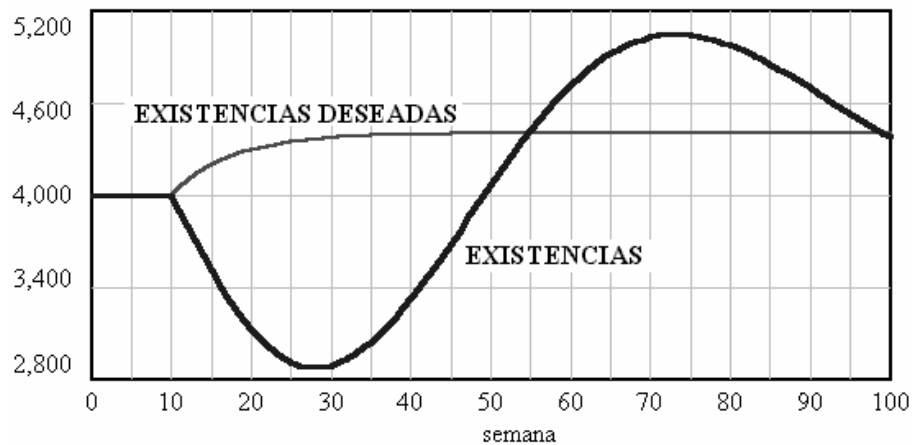
Las existencias iniciales corresponden a una situación inicial de equilibrio, con una media de pedidos = 1000 unidades, y una cobertura de existencias deseadas de 4 semanas = 4.000 unidades iniciales.

- (09) existencias deseadas= demanda prevista*cde
Units: unidades
- (10) FINAL TIME = 100
- (11) INITIAL TIME = 0
- (12) demanda prevista = SMOOTH(pedidos,tmp)
Units: unidades/semana
- (13) pedidos= 1000*(1+step(0.1,10))
Units: unidades/semana
Los pedidos se incrementen un 10% (0.1) en la semana 10
- (14) plantilla deseada=produccion deseada/
productividad
Units: personas
- (15) produccion deseada= demanda
prevista+corrector de existencias
Units: unidades/semana
- (16) produccion normal=
Trabajadores*productividad
Units: unidades/semana
- (17) producción= produccion normal
Units: unidades/semana
- (18) productividad=20
Units: unidades/personas/semana
- (19) tce= 8
Units: semana
es el tiempo necesario para corregir las existencias

- (20) $tct = 24$
Units: semana
- (21) $TIME\ STEP = 1$
- (22) $tmp = 8$
Units: semana
tiempo para calcular la media de los pedidos
- (23) $Trabajadores = +entradas - despidos$
Initial value: 50
Units: personas

Las siguientes gráficas nos muestran como se producen oscilaciones tras una puntual y limitada variación en la cifra de pedidos, lo cual recoge el comportamiento que nos habían indicado que existía en los valores de la producción de la empresa. Así pues el modelo parece ser una buena base para el estudio de una estrategia que nos permita estabilizar estos valores.





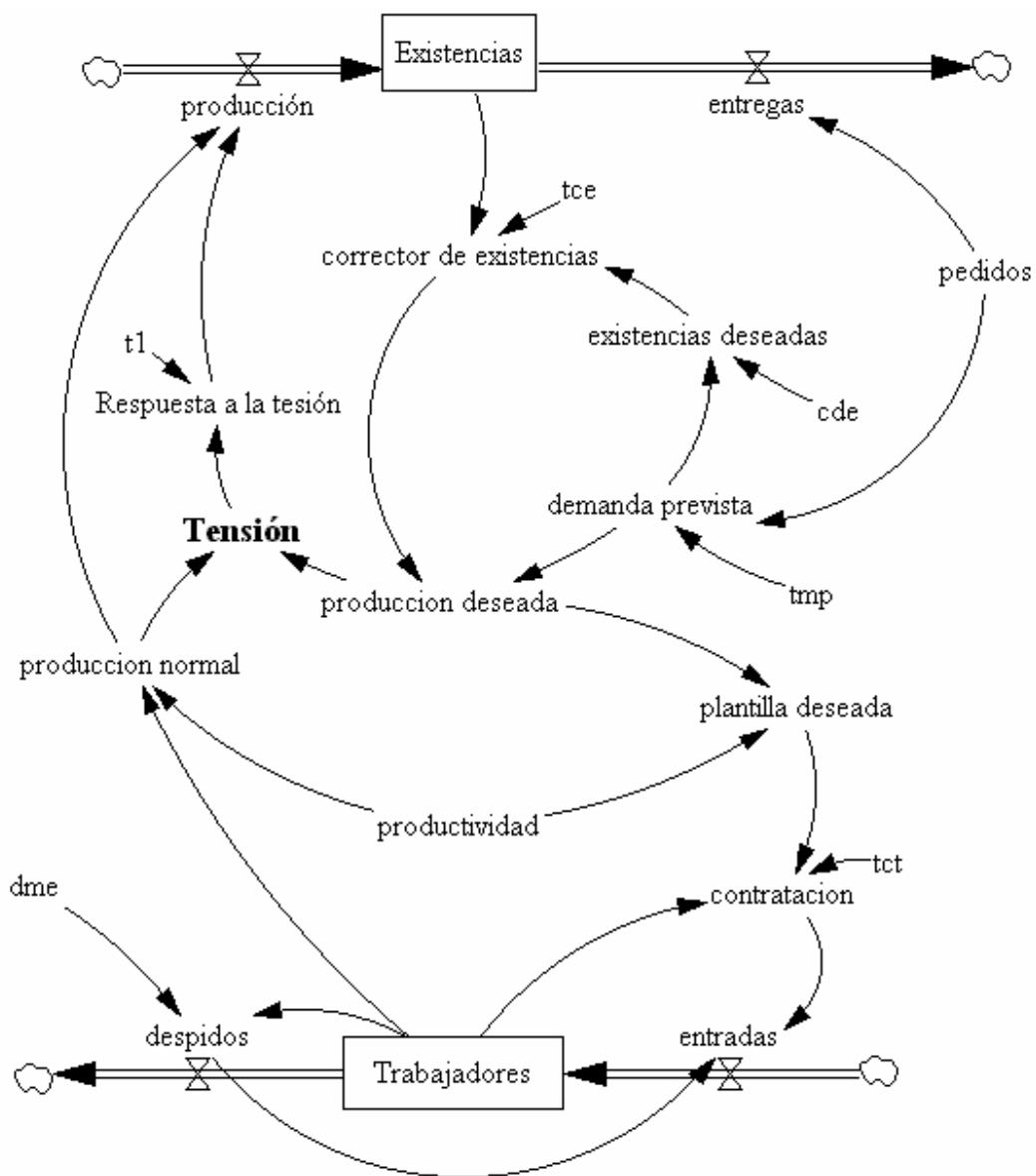
ESTUDIO DE UNA ESTRATEGIA

Al objeto de reducir las tensiones de producción que se producen, que son la diferencia entre la producción deseada y la producción normal, la empresa quiere conocer si debe plantear la posibilidad de realizar jornada flexible (horas extras) en las próximas negociaciones con el sindicato.

La jornada de trabajo es de 40 horas. Las negociaciones preliminares con el sindicato indica que podrían aceptar una flexibilidad entre 35 horas semanales mínimas y 50 de máxima, a cambio de un incremento en las contribuciones de la empresa al fondo de pensiones.

Compruebe el efecto de una jornada flexible en la deseada estabilidad de existencias y producción.

Pruebe para diferentes valores de "Respuesta a la tensión".



- (01) $cde = 4$
Units: semana
cobertura de las existencias deseadas
- (02) $contratacion = (plantilla\ deseada - Trabajadores) / tct$
Units: personas/semana

- (03) corrector de existencias= (existencias deseadas-
Existencias)/tce
Units: unidades/semana
- (04) despidos=Trabajadores/dme
Units: personas/semana
- (05) dme= 50
Units: semana
- (06) entradas= despidos+contratacion
Units: personas/semana
- (07) entregas= pedidos
Units: unidades/semana
- (08) Existencias= +producción-entregas
Initial value: 4000
Units: unidades
- (09) existencias deseadas = demanda prevista * cde
Units: unidades
- (10) FINAL TIME = 100
- (11) INITIAL TIME = 0
- (12) demanda prevista = SMOOTH(pedidos,tmp)
Units: unidades/semana
- (13) pedidos=1000*(1+step(0.1,10))
Units: unidades/semana
Incrementamos os pedidos un 10% (0.1) en la
semana 10
- (14) plantilla deseada=produccion deseada /
productividad
Units: personas
- (15) produccion deseada= demanda
prevista+corrector de existencias
Units: unidades/semana

- (16) $\text{produccion normal} = \text{Trabajadores} * \text{productividad}$
Units: unidades/semana
- (17) $\text{producción} = \text{produccion normal} * \text{Respuesta a la tensión}$
Units: unidades/semana
- (18) $\text{productividad} = 20$
Units: unidades/personas/semana
- (19) $\text{Respuesta a la tensión} = t1(\text{Tensión})$
- (20) $t1$ Ver nota final y Anexo 10.3.
(0.8,0.875),(0.9,0.875),(1,1),(1.1,1.25),(1.2,1.25)
- (21) $tce = 8$
Units: semana
es el tiempo necesario para corregir las existencias
- (22) $tct = 24$
Units: semana
- (23) $\text{Tensión} = \text{produccion deseada} / \text{produccion normal}$
- (24) $\text{TIME STEP} = 1$
- (25) $\text{tmp} = 8$
Units: semana
tiempo para calcular la media de los pedidos
- (26) $\text{Trabajadores} = +\text{entradas} - \text{despidos}$
Initial value: 50
Units: personas

Pulsando en el botón As Graph es posible entrar los valores que definen cada punto de forma más cómoda.



Editing equation for - t1

t1

(0.8,0.875),(0.9,0.875),(1.1),(1.1,1.25),(1.2,1.25)

Type: **Lookup**

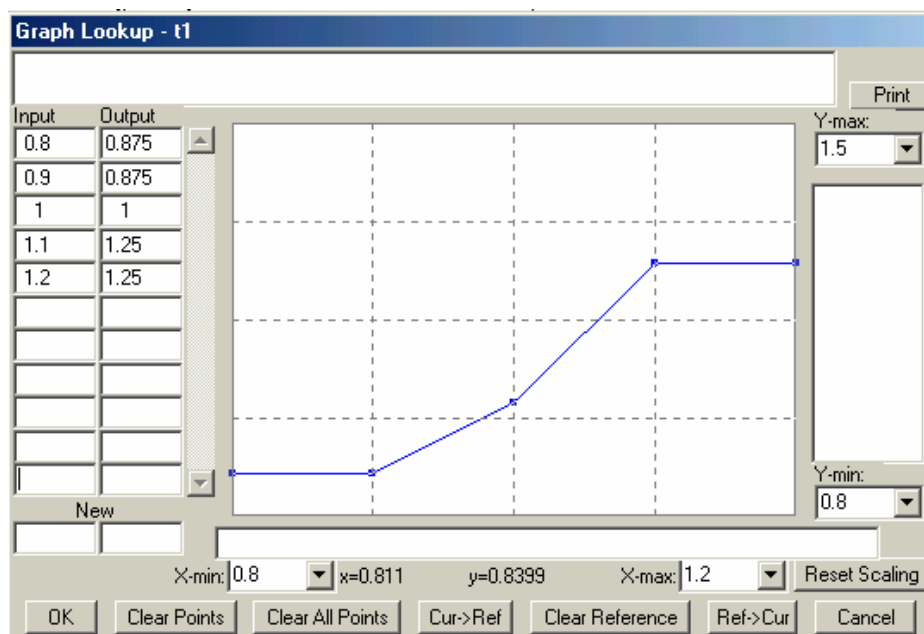
☐ Supplementary

Units:

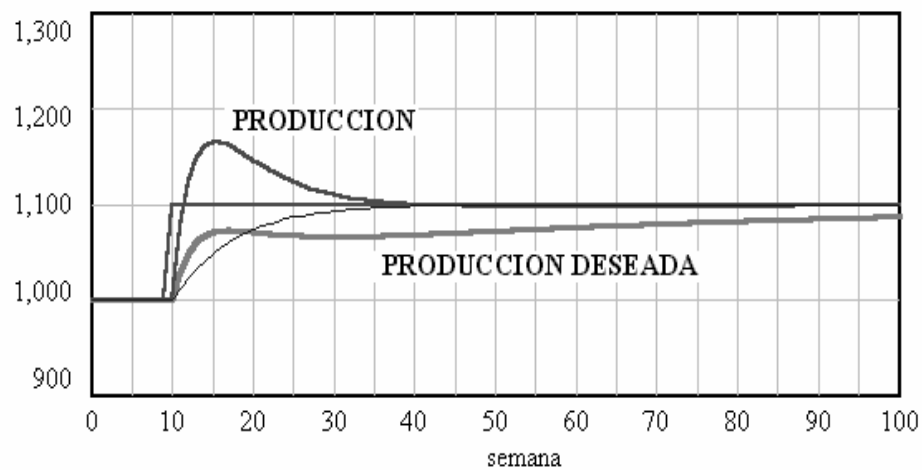
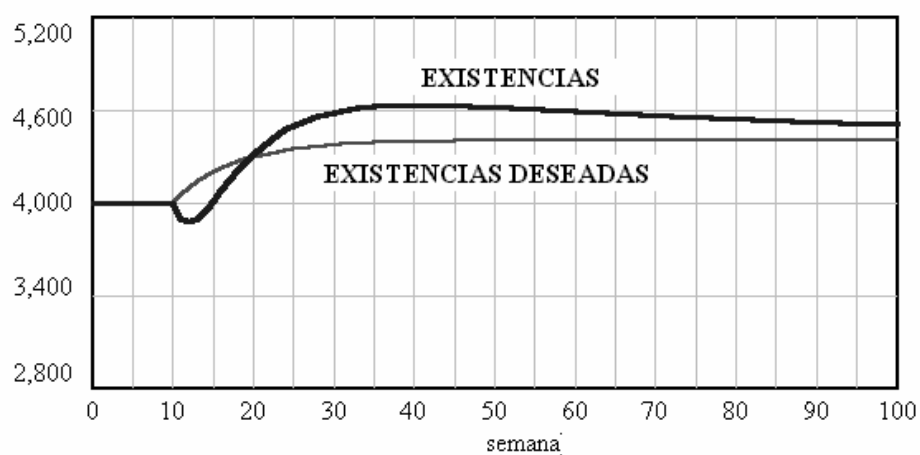
Comment:

Minimum Value Maximum Value Increment

Errors:



Podemos observar como la introducción del elemento de Tensión ha provocado una disminución en la amplitud y en la intensidad de las oscilaciones de todos los parámetros del sistema.



Nota explicativa de la Tabla

La tabla 1 sirve para calcular el valor de "Respuesta a la tensión" en función del valor de la "Tensión". La "Tensión" se calcula previamente en base a la "producción normal" y la "producción deseada". La "Respuesta a la tensión" la utilizamos después para calcular la "producción". Así pues tenemos una entrada (x) en la tabla que es la "Tensión" y una salida (y) que es la "Respuesta a la tensión". Los pares de valores entre paréntesis nos definen puntos.

El punto (0.8,0.875) indica que cuando la "Tensión" sea igual a 0.8 la "Respuesta a la tensión" queremos que sea igual a 0.875. Sabemos que si no hay problemas o tensiones, la "producción normal" ha de ser igual a la "producción deseada", y por lo tanto la Tensión valdrá igual a 1. Y queremos que cuando no hay tensiones como en esta situación, la "respuesta a la tensión" también sea igual a 1, para que no afecte a la "producción", ya que no hay tensiones. Para representar esto definimos el punto (1,1).

Como sabemos que van a haber variaciones de la "tensión", que es la entrada (x) de la tabla, definimos la tabla con valores a ambos lados, mayores y menores de 1. En este caso vamos a definir puntos en 0.8 y 0.9 que son inferiores a 1, y los puntos 1.1 y 1.2 que son valores superiores a 1. Con esto ya tenemos decididos unos valores para el eje x de la tabla. Ahora falta asignarles sus valores en el eje de las y. Es decir, ¿que "respuesta a tensión" vamos a tener cuando la tensión sea igual a 0.8? En este caso (que sobra producción) pediremos a los trabajadores que trabajen el mínimo, que es según nos dicen de 35 horas, es decir $35/40=0.875$. Y creamos el punto (0.8,0.875)

Hacemos lo mismo en la hipótesis de que exista una tensión igual a 1.2 ¿que valor asignamos a la respuesta a la tensión?, pues el máximo que nos dicen, que son 50 horas. Así tenemos $50/40=1.25$ y definimos el punto (1.2,1.25). Tenemos ya 3 puntos definidos. Los otros dos puntos intermedios los asignamos según nuestro criterio, es decir, en función de lo que queramos que haga la empresa cada vez que exista tensión.

8.5. Caso Gestión Dinámica de un Proyecto

Existen muchas actividades, desde escribir un libro a construir un buque, que presentan unas características muy similares. Existe en primer lugar un objetivo y unas previsiones de lo que costará conseguir ese objetivo, seguido a continuación de una fase en la que se emplea una cantidad de trabajo y recursos, y por último, con mayor o menor éxito se logra el objetivo deseado.



No obstante, muchos proyectos acaban, en relación con los objetivos iniciales, durando más de lo previsto, costando más de lo esperado y ofreciendo una calidad mucho menor de lo deseado.

Vamos a ver a continuación un modelo para ayudar a comprender los aspectos relacionados con la consecución de un proyecto. Para hacer el proyecto fácil de explicar, vamos a trabajar en un proyecto genérico como diseñar un edificio, aunque el modelo es aplicable a otras muchas situaciones, como desarrollar software, diseñar un nuevo producto, etc.

Los modelos pueden utilizarse tanto para investigar proyectos de construcción, donde la disponibilidad del material es importante, hasta investigaciones científicas en las que la experimentación juega un papel esencial.

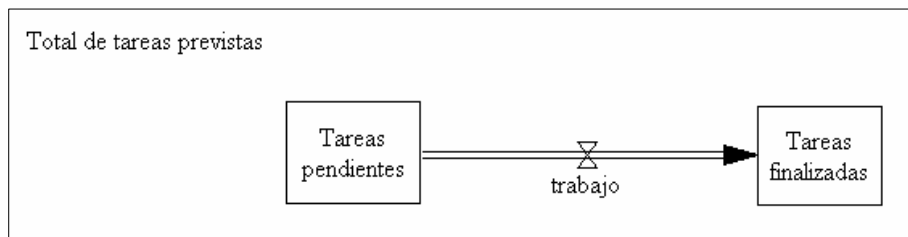
En el proceso de conceptualizar y crear el modelo vamos a seguir un procedimiento progresivo. Vamos a empezar con la estructura más simple del problema, para irlo mejorando en sucesivas versiones del modelo. Esta es una técnica útil ya que nos proporciona etapas en las que el modelo nos reproduce bien algunos aspectos de la realidad, a la vez que nos muestra aspectos donde debe ser mejorado. Iremos simulando en cada una de las

etapas, y viendo el efecto de los cambios introducidos en relación con la etapa anterior.

En el proceso de creación del modelo utilizaremos el ordenador para que nos muestre con claridad los efectos de los cambios que nosotros estamos haciendo en la estructura del modelo. No obstante, aunque el ordenador es muy eficiente en este trabajo, es importante que nosotros sepamos interpretar las simulaciones que vayamos a realizar y para ello es conveniente que antes de cada simulación tengamos unas expectativas claras de lo que esperamos que ocurra, de forma que los resultados del modelo nos sirvan para confirmar o no nuestras expectativas.

Modelo 1. Hacer un trabajo

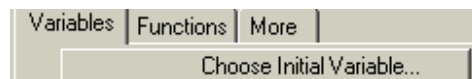
La característica más fundamental de un proyecto es que hay un trabajo que hacer, y que este se va realizando progresivamente. Vamos a introducir esto en un modelo.



(1) FINAL TIME = 24
Units: mes

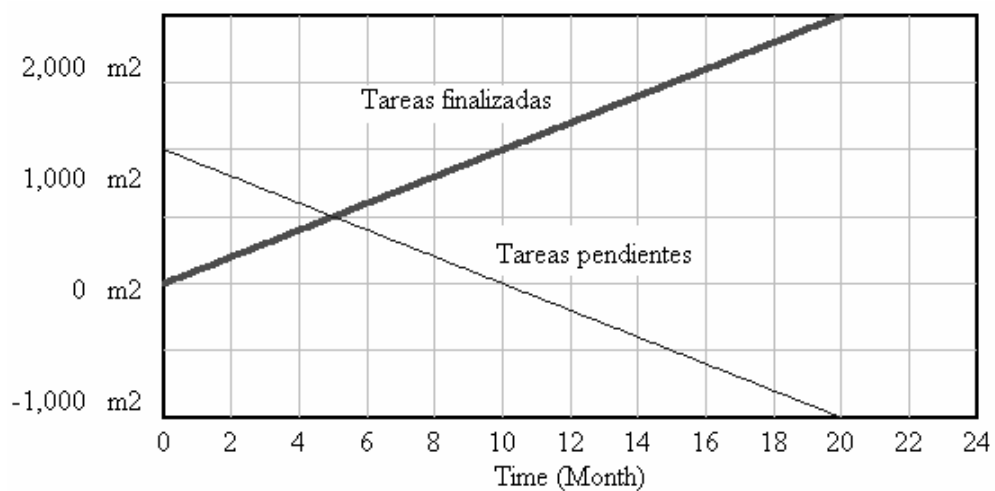
(2) INITIAL TIME = 0
Units: mes

(3) Tareas finalizadas= trabajo
Initial value: 0
Units: tareas



(4) Tareas pendientes= -trabajo
Initial Value: Total de tareas previstas
Units: tareas

- (5) TIME STEP = 0.0625 Ver nota
Units: mes
- (6) Total de tareas previstas= 1000
Units: tareas
- (7) trabajo= 100
Units: tareas/mes

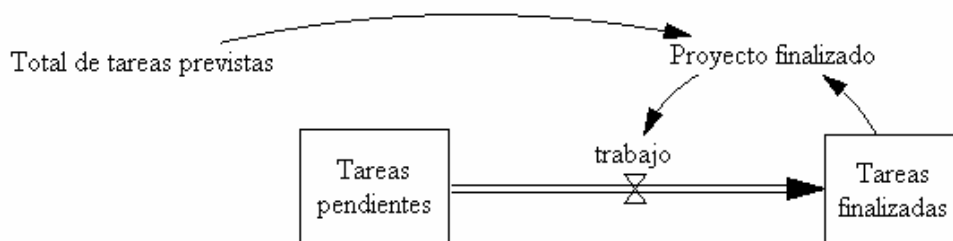


Nota:

- (4) Usaremos la tecla de Choose Initial Variable para seleccionar "Total de tareas previstas"
- (5) Si TIME STEP=1 haríamos 24 pasos en la simulación (Final Time – Initial Time). Queremos que se haga el cálculo cada 2 días ... $12 \text{ meses} \times (2/365) = 0.065$ y escogemos la opción más próxima.
- (-) Si aparece un aviso del tipo "Tareas finalizadas is not used" es porque el software detecta que esta variable no influye en ninguna otra, y nos avisa ya que esto no es normal.

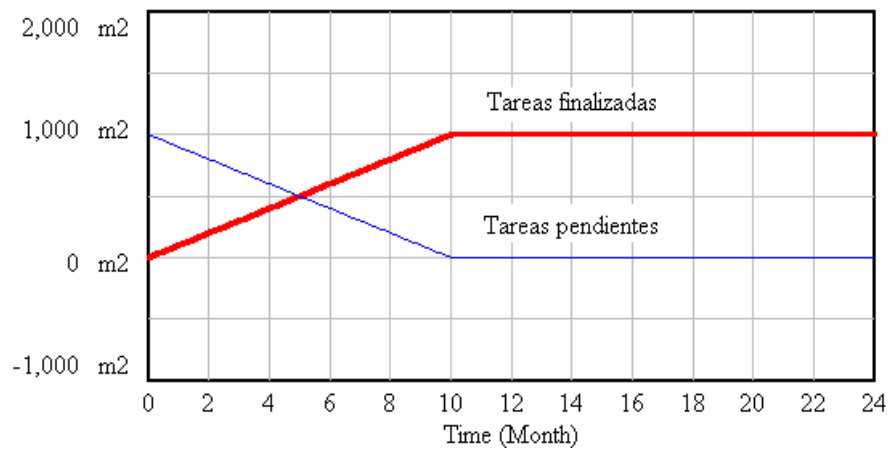
Modelo 2. Parar al acabar.

Es necesario introducir en el modelo un mecanismo



que nos detenga el proceso cuando el proyecto se acabe.

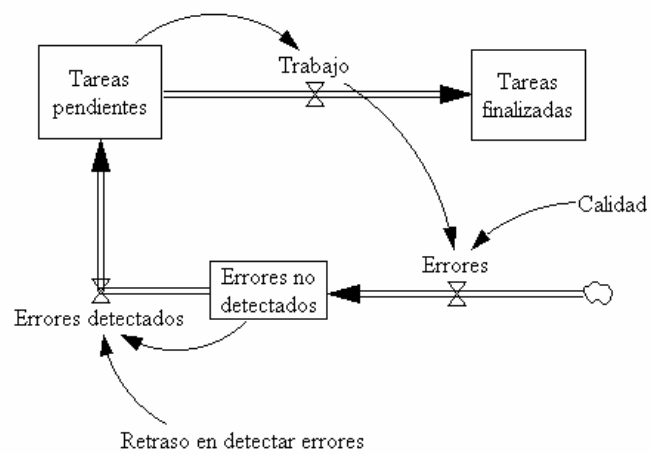
- (01) FINAL TIME = 24
- (02) INITIAL TIME = 0
- (03) Proyecto finalizado=IF THEN ELSE(Tareas finalizadas >= Total de tareas previstas,1,0)
- (04) Tareas finalizadas= trabajo
Initial value: 0
- (05) Tareas pendientes= -trabajo,
Initial value: Total de tareas previstas
- (06) TIME STEP = 0.0625
- (07) Total de tareas previstas= 1000
Units: tareas
Total de tareas previstas para el proyecto. Las vamos a considerar todas iguales.
- (08) trabajo=IF THEN ELSE(Proyecto finalizado=1, 0, 100)
Units: tareas/mes
Si el proyecto está finalizado se harán 0 tareas.



Modelo 3. Incluir los errores

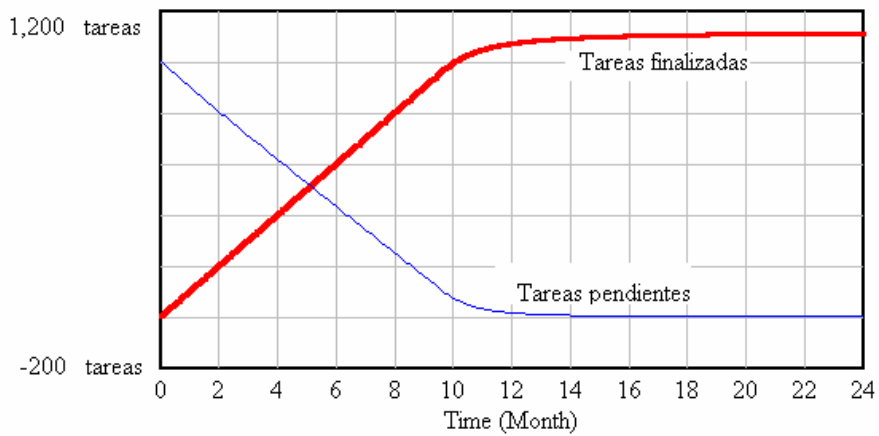
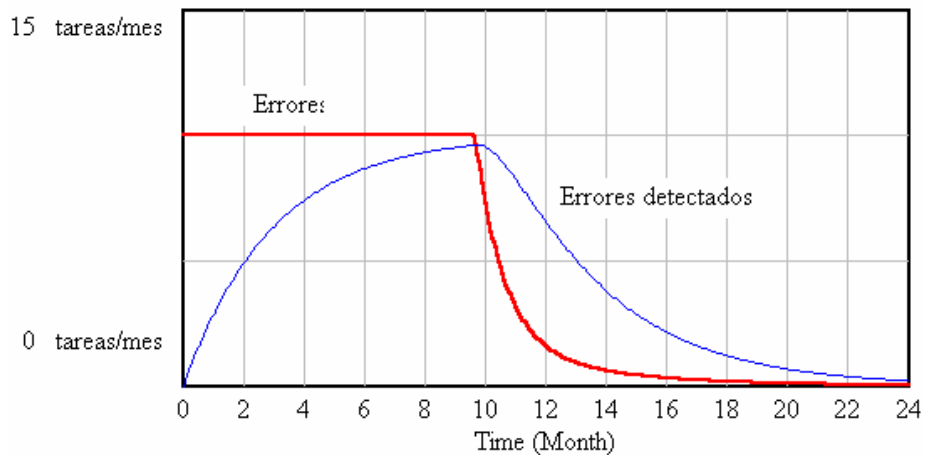
En todo proyecto se producen errores, trabajos que hay que volver a hacer, y estos deben ser incluidos en el modelo.

Total de tareas previstas



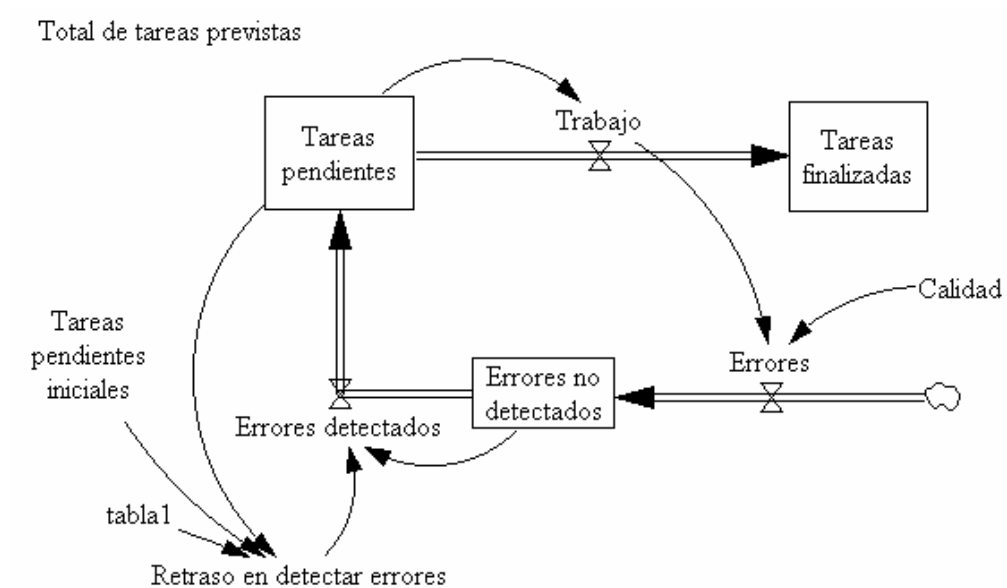
- (01) $Calidad = 0.9$
Calidad de los trabajos dados como finalizados
- (02) $Errores = Trabajo * (1 - Calidad)$
Units: tareas/mes
Los errores serán función de la cantidad de trabajo hecho por el porcentaje de trabajo que no cumple las Normas.
- (03) $Errores\ detectados = Errores\ no\ detectados / Retraso\ en\ detectar\ errores$
Units: tareas/mes
Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.
- (04) $Errores\ no\ detectados = Errores - Errores\ detectados$
Initial value: 0
Units: tareas
- (05) $FINAL\ TIME = 24$
- (06) $INITIAL\ TIME = 0$
- (07) $Retraso\ en\ detectar\ errores = 3$
Units: mes
- (08) $Tareas\ finalizadas = Trabajo$
Initial value: 0
Units: tareas
- (09) $Tareas\ pendientes = -Trabajo + Errores\ detectados$
Initial value: Total de tareas previstas
Units: tareas
- (10) $TIME\ STEP = 0.0625$
- (11) $Total\ de\ tareas\ previstas = 1000$
Units: tareas
Total de tareas previstas para el proyecto. Las vamos a considerar todas iguales.
- (13) $Trabajo = MIN(100, Tareas\ pendientes)$

Units: tareas/mes
 Como máximo se hacen 100 tareas al mes



Del modelo 2 al modelo 3 hay un "giro", de forma que dejamos de utilizar la variable "proyecto finalizado" para controlar que no se hagan mas tareas de la previstas. La razón es que observamos que en realidad en muchos proyectos se hacen muchas mas tareas de las inicialmente previstas ya que hay que repetir aquellas tareas que se hicieron mal, o con errores. Por lo tanto esta variable no puede ser un límite para la cantidad de trabajo realizado.

Modelo 4. Descubrir los errores



Los errores que se producen en un proyecto no se descubren inmediatamente, sino cuando van a hacerse otros trabajos posteriores.

- (01) $\text{Calidad} = 0.9$
Calidad de los trabajos dados como finalizados
- (02) $\text{Errores} = \text{Trabajo} * (1 - \text{Calidad})$
Units: tareas/mes
Los errores serán función de la cantidad de trabajo hecho por el porcentaje de trabajo que no cumple las Normas.
- (03) $\text{Errores detectados} = \text{Errores no detectados} / \text{Retraso en detectar errores}$
Units: tareas/mes

Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.

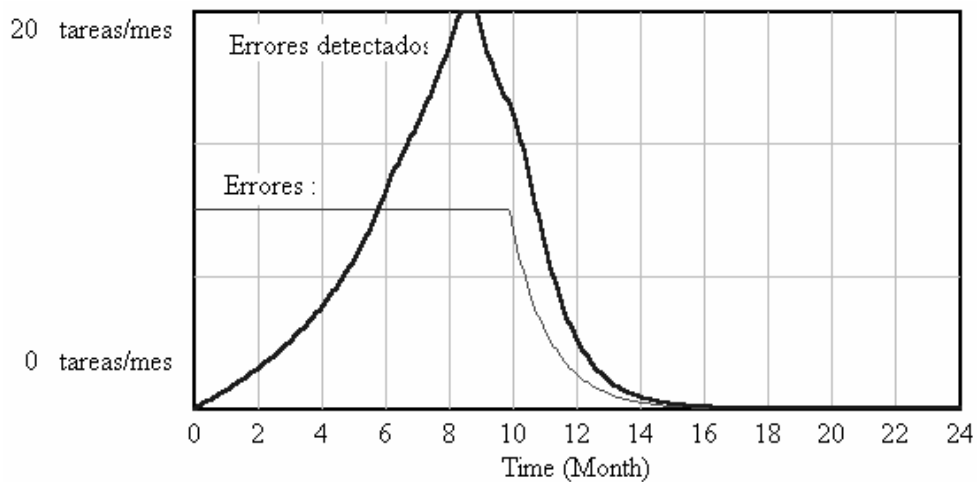
- (04) Errores no detectados= Errores-Errores detectados
Inicial value 0
Units: tareas
- (05) FINAL TIME = 24
- (06) INITIAL TIME = 0
- (07) Retraso en detectar errores =tabla1(Tareas pendientes / Tareas pendientes iniciales)
Units: mes
Se reconsidera la constante (3) que habíamos puesto en el modelo 3, y se hace que sea función de la cantidad de tareas pendientes que hay y de las pendientes al inicio.
- (08) tabla1 (0,0.5),(0.2,1),(0.4,3),(0.6,6),(0.8,9),(1,12)
Units: mes
Recogemos la idea de que cuando se está al principio del proyecto y queda mucho trabajo por hacer se tarda más tiempo en detectar errores que cuando se está en las últimas fases del proyecto.
- (09) Tareas finalizadas= Trabajo
Initial Value: 0
Units: tareas
- (10) Tareas pendientes= -Trabajo+Errores detectados
Initial value: Total de tareas previstas
Units: tareas
- (11) Tareas pendientes iniciales =1000
Units: tareas
- (12) TIME STEP = 0.0625
- (13) Total de tareas previstas= 1000
Units: tareas

Total de tareas previstas para el proyecto. Las vamos a considerar todas iguales, ya que el propósito del modelo es trabajar con parámetros no previsibles como son los errores en el proyecto.

(14) Trabajo=MIN(100,Tareas pendientes)

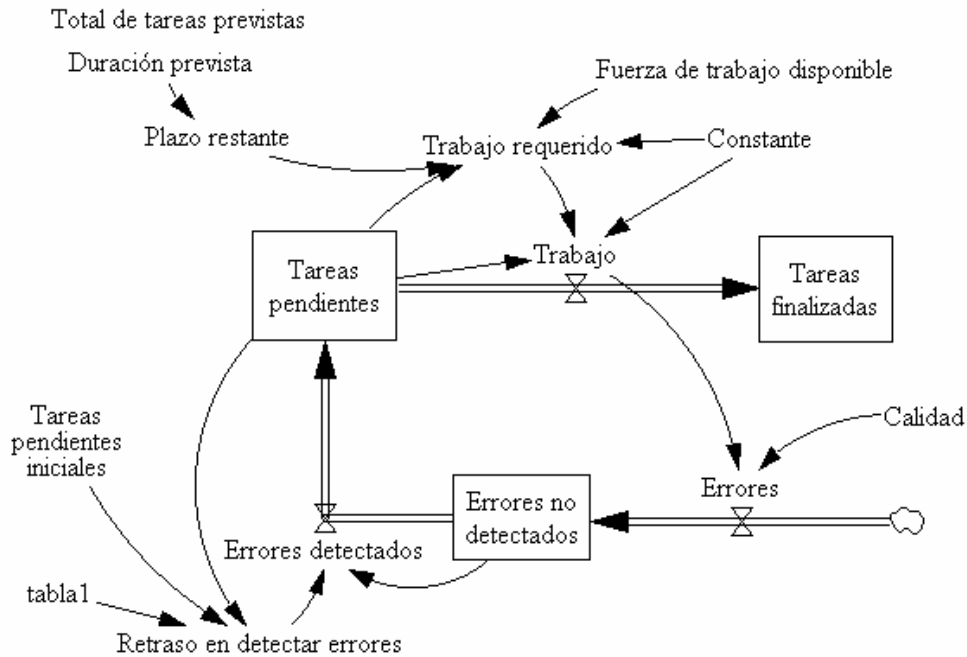
Units: tareas/mes

Como máximo se hacen 100 tareas al mes



Modelo 5. La presión de la fecha de entrega.

Si bien no habíamos utilizado hasta ahora el concepto de fecha de entrega, en todo proyecto existe un aspecto clave que es precisamente la fecha de finalización y entrega, la cual va a modificar el ritmo de trabajo y la cantidad de los recursos empleados, de forma que al incorporar este aspecto vamos a tener un modelo mucho más realista.



- (01) $\text{Calidad} = 0.9$
Calidad de los trabajos dados como finalizados
- (02) $\text{Constante} = 1$
Units: 1/mes
Se añade esta constante de valor 1 para que las unidades cuadren.
- (03) $\text{Duración prevista} = 10$
Units: meses
Hay 1000 tareas a un ritmo previsto de 100 al mes
- (04) $\text{Errores} = \text{Trabajo} * (1 - \text{Calidad})$
Units: tareas/mes
- (05) $\text{Errores detectados} = \text{Errores no detectados} / \text{Retraso en detectar errores}$
Units: tareas/mes
Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.
- (06) $\text{Errores no detectados} = \text{Errores} - \text{Errores detectados}$

Initial value: 0
Units: tareas

(07) FINAL TIME = 24

(08) Fuerza de trabajo disponible= 250
Units: tareas/mes
Corresponde a la capacidad de producción máxima

(09) INITIAL TIME = 0

(10) Plazo restante= MAX(Duración prevista-
RAMP(1,0,100),0)
Units: meses
Es una forma sencilla de contar el plazo residual en
cada momento, empezando por 10 meses hasta
llegar a 0.

(11) Retraso en detectar errores= tabla1(Tareas
pendientes / Tareas pendientes iniciales)
Units: mes

(12) tabla1 (0,0.5),(0.2,1),(0.4,3),(0.6,6),(0.8,9),(1,12)
Units: tareas
En esta tabla recogemos la idea de que cuando se
está al principio del proyecto, y queda mucho
trabajo por hacer, se tarda más tiempo en detectar
los errores que cuando ya se está en las últimas
fases del proyecto.

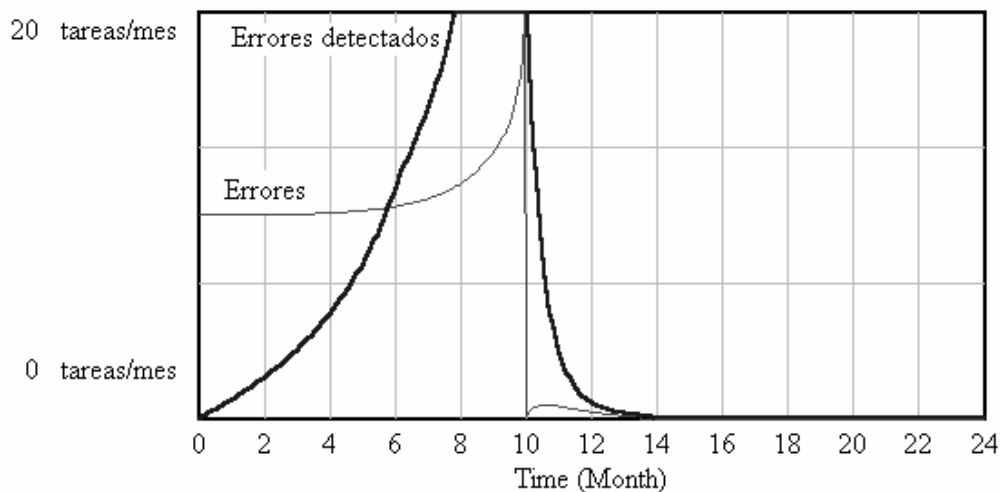
(13) Tareas finalizadas= Trabajo
Initial value: 0
Units: tareas

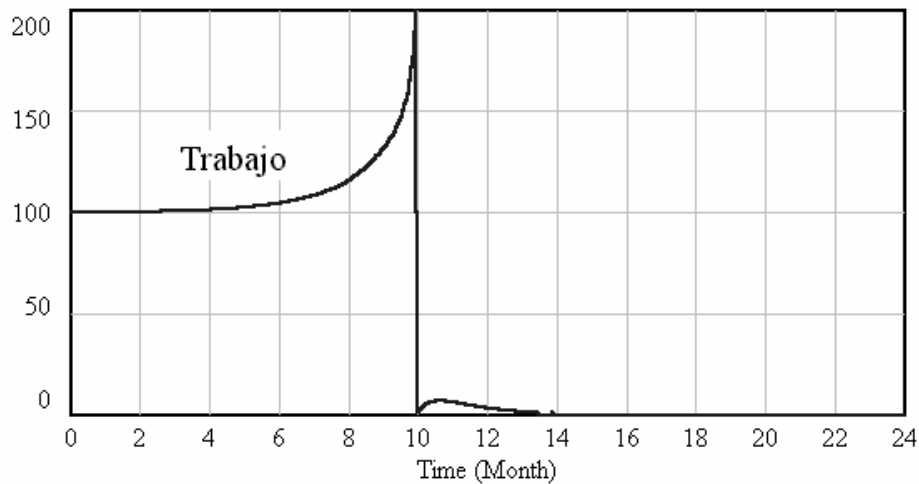
(14) Tareas pendientes= -Trabajo+Errores detectados
Initial value: Total de tareas previstas
Units: tareas

(11) Tareas pendientes iniciales =1000
Units: tareas

(15) TIME STEP = 0.0625

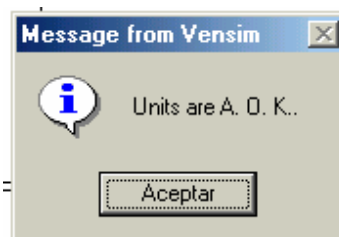
- (16) Total de tareas previstas = 1000
Units: tareas
- (17) Trabajo=IF THEN ELSE(Tareas pendientes*Constante < 1,0,Trabajo requerido)
Units: tareas/mes
Si las tareas pendientes son menor que 1 (0) no se hace ninguna, en caso contrario se hace el Trabajo requerido
- (18) Trabajo requerido=MIN(Fuerza de trabajo disponible,XIDZ(Tareas pendientes,Plazo restante,Tareas pendientes*Constante))
Units: tareas/mes
La cantidad de trabajo requerido será como máximo la Fuerza de trabajo disponible, calculado como el cociente entre las Tareas pendientes (tareas) y el Plazo restante (meses). La función XIDZ ofrece este cociente excepto cuando el Plazo restante es cero, en cuyo supuesto se toma 1 periodo como Plazo.





En esta última versión del modelo ya podemos apreciar con claridad los fenómenos que deseamos estudiar en los proyectos como son la acumulación de errores en las fases finales del proyecto, o la distribución de las tareas del proyecto, que se van incrementando progresivamente a pesar de nuestra programación de cargas de trabajo, y que se prolongan incluso más allá de la fecha de entrega del proyecto.

Hemos añadido en el modelo 5 una Constante de valor 1 con el único propósito de lograr que las unidades del modelo sean correctas cuando hacemos Units Check.



Con frecuencia lograr que el modelo se halle correcto desde el punto de vista de las unidades obliga a añadir un gran número de variables auxiliares, que en general solo añaden una complejidad innecesaria al modelo. La persona que construye el modelo debe de valorar la conveniencia de añadir o no todas las variables auxiliares necesarias para tener un modelo correcto desde el punto de vista de las unidades.

Por ejemplo en la ecuación de "Trabajo requerido" cuando ya hemos agotado el plazo disponible para hacer el proyecto, decidimos que en cada uno de los periodos siguientes vamos a realizar todas las tareas pendientes que vayan apareciendo sin restricciones derivadas de la fuerza de trabajo disponible.

Esta decisión es lógica porque ya nos hallamos fuera de plazo. Para representar esto en la ecuación deberíamos crear un nuevo elemento "Periodo excedido" hacerlo constante e igual a 1 ya que en cada periodo vamos a realizar todas las tareas pendientes. Deberíamos de modificar la ecuación así:

- (18) Trabajo requerido=MIN(Fuerza de trabajo disponible,XIDZ(Tareas pendientes,Plazo restante,Tareas pendientes*Constante/Periodo excedido))
- (19) Periodo excedido=1

8.6. Caso Dinámica de Precios y Producción

En España cada cierto tiempo aparecen en la prensa los ganaderos del porcino, clamando contra los bajos precios, y pidiendo ayudas de intervención en el mercado. Cuando los precios se recuperan - sin intervención pública - los ganaderos vuelven al anonimato. La evolución del número de cerdos sacrificados en matadero presenta ciclos de alta y baja producción. Deseamos conocer las causas de estas oscilaciones y que estrategias se deben de seguir para conseguir estabilizar el mercado.



En la producción y consumo de embutidos intervienen tres clases de actores: ganaderos, tocineros, y consumidores. Los tocineros compran cerdos a los ganaderos y manufacturan los cerdos para obtener embutidos, y los venden a los consumidores.

Para comprender mejor los ciclos que aparecen en la producción y consumo de embutidos, será de ayuda construir dos modelos: uno enfocado en el proceso de crianza y engorde de cerdos en la granja, y el otro en la venta de embutidos. Luego combinaremos ambos modelos para obtener uno más global que permita analizar la aparición de comportamientos cíclicos. Es más fácil empezar con el modelo de la venta de embutidos, y luego tomar el tema de la crianza de cerdos, para finalmente combinar ambos modelos.

Parte 1: La venta y consumo de embutidos.

El elemento principal en el modelo de la venta de embutidos son las existencias mantenidas por los tocineros. Cuando los cerdos son sacrificados en las granjas, los embutidos obtenidos son almacenados como existencias en las tocinerías, cuando estos productos son vendidos disminuyen las existencias. [Existencias de embutidos \propto Producción - Consumo] En general la cantidad de embutido que el público consume depende del precio. [Embutido consumido por persona \propto Precio del embutido].

Para construir el modelo inicial de la venta de embutidos, se puede presuponer que el número de cerdos sacrificados cada mes es una variable exógena y constante: 750.000 de cerdos por mes. Los cerdos pesan alrededor de 100 kilos cada uno, y en la elaboración de los embutidos se utiliza el 80% del peso total. (Esto significa que cada cerdo produce $0,80 \cdot 100 = 80$ kilos de embutido). Así pues un sacrificio de 750.000 cerdos por mes corresponde a una producción de embutido de 60 millones de kilos cada mes. [Producción \propto Sacrificio de cerdos \times Peso por cerdo \times Ratio útil del cerdo].

Como media, cada persona normalmente consume sobre 1,5 kilos de embutido cada mes. Si consideramos a la población (tamaño del mercado al que se abastece) constante en 40 millones de personas, el consumo total de embutido cada mes es $1,5 \cdot 40$ millones = 60 millones de kilos de embutido por mes. Pero cuando el precio es alto en relación al precio normal del embutido, las personas consumen algo menos de 1,5 kilos por mes, cuando el precio es bajo consumen algo más. [Consumo \propto Población \times Embutido consumido por persona].

El precio del embutido depende del precio del cerdo. [Precio del embutido \propto Precio del cerdo]. Y el precio del cerdo depende de la oferta y la demanda. Podemos suponer que los tocineros tienden a tener almacenados la cantidad correspondientes a medio mes ventas. Cuando el stock disminuye, en relación a su

situación normal, los tocineros están dispuestos a pagar precios más altos en sus compras de cerdos. Cuando el stock está alto, los tocineros tienden a reducir sus compras y el precio del cerdo disminuye. [Precio del cerdo ↗ Cobertura].

Consideremos que el precio normal de los cerdos en vivo es de 3 Euros/kilo y que los tocineros cargan un margen de 7 euros/kilo en la venta al consumidor, ya que no todo se aprovecha y tienen unos importantes costes de transformación y distribución. Así pues cuando el precio del cerdo está en su valor normal (3 euros/kilo), el precio del embutido a los consumidores es de 10 Euros/kilo.

DISEÑO DEL MODELO

1). Dibuje el diagrama de flujos y escriba las ecuaciones del modelo. En este modelo se acude en varias ocasiones al "valor normal" de un parámetro, lo cual simplifica las relaciones posteriores en las Tablas.

2). Ponga la ecuación del Test igual a 0 y compruebe que el modelo se halla en equilibrio. Esto nos asegura que el modelo y la realidad pueden funcionar sin oscilaciones.

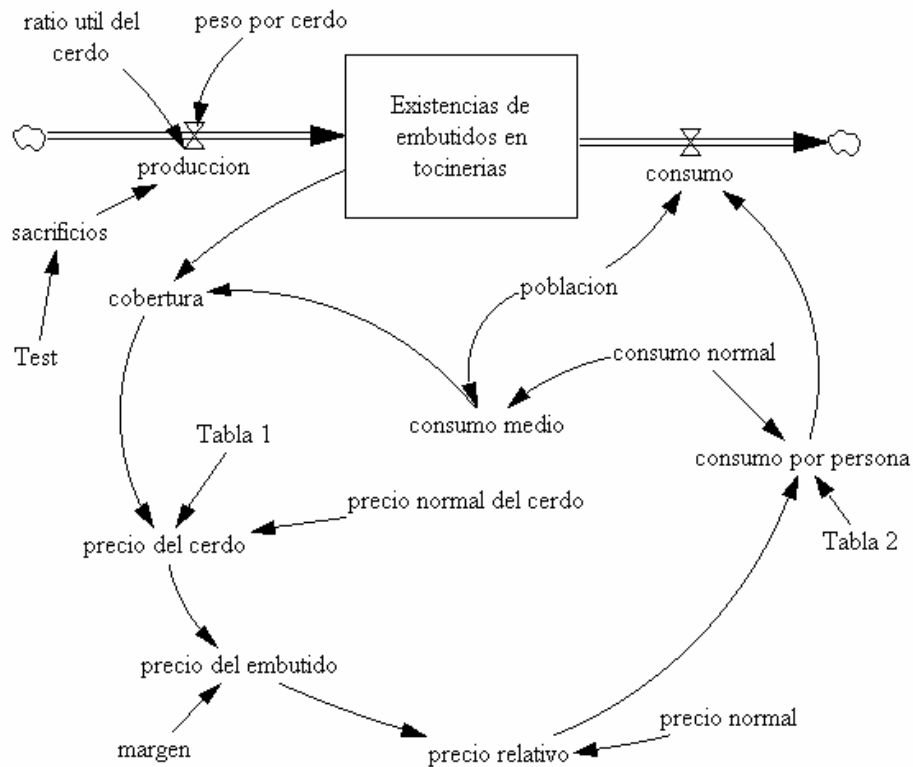
3). Una vez haya obtenido un modelo que funcione en equilibrio, pruebe la respuesta del modelo ante una alteraciones externas. Por ejemplo, vea como responde el sistema a una aumento de los sacrificios con el Test.

Ejemplo basado en un caso del libro Computer Simulation de Nancy Roberts et al. Addison Wesley

Nota final

En este ejemplo se ha simplificado en gran manera la realidad. En España actualmente los cerdos son engordados durante 5 meses, salvo situaciones muy especiales (tipo montanera). Las cerdas para crianza si que se destinan al sacrificio cuando acaba su ciclo reproductivo. Se llaman cerdas de desvieje y se utilizan para embutidos porque para carne fresca no sirven. Una cerda reproductora muy difícilmente llega a tener de 18 lechones/año.

Modelo 1

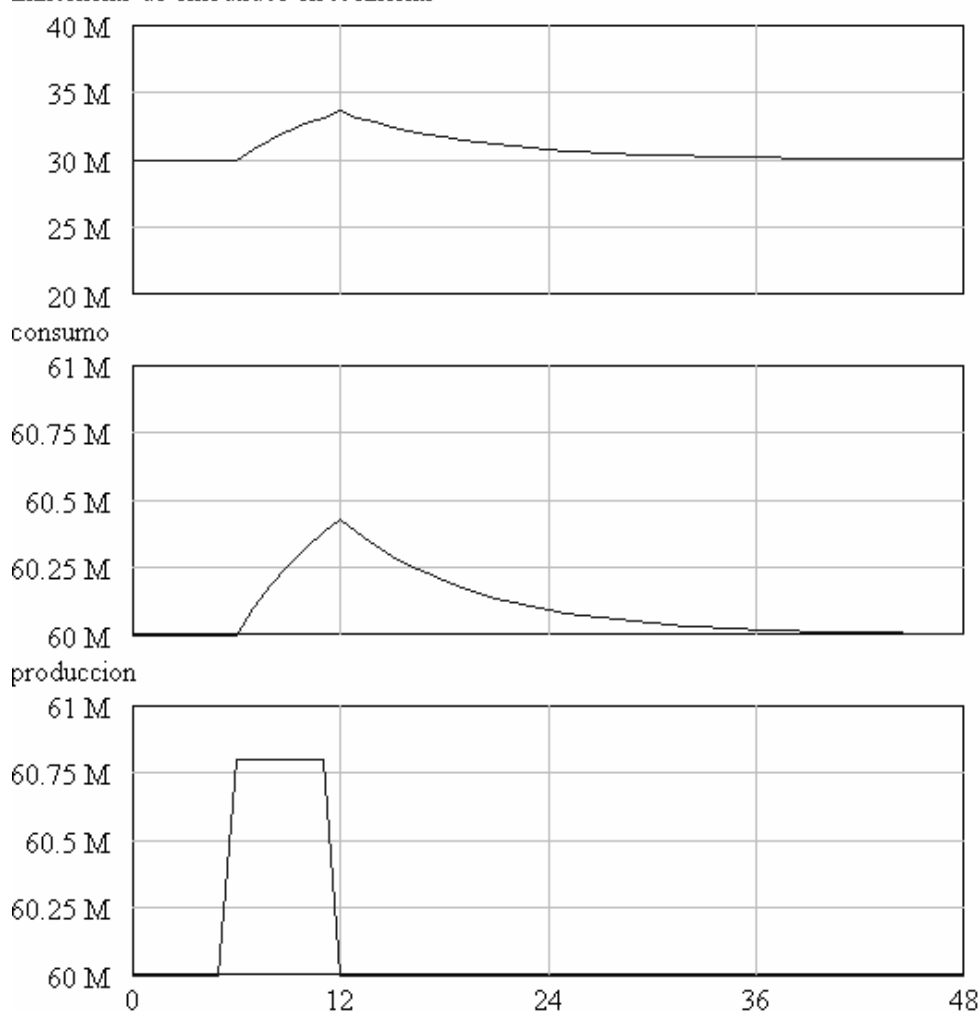


- (01) $\text{cobertura} = \text{Existencias de embutidos en tocinerías} / \text{consumo medio}$
 Units: mes
 Numero de meses que se puede atender al consumo medio con las Existencias de embutidos en las tocinerías.
- (02) $\text{consumo} = \text{poblacion} * \text{consumo por persona}$
 Units: kilos/mes
- (03) $\text{consumo medio} = \text{poblacion} * \text{consumo normal}$
 Units: kilos/mes
- (04) $\text{consumo normal} = 1.5$
 Units: kilos/persona/mes

- (05) $\text{consumo por persona} = \text{consumo normal} * \text{Tabla 2}(\text{precio relativo})$
Units: kilos/(mes*persona)
- (06) Existencias de embutidos en tocinerias =
+produccion-consumo,
Inicial value: 30000000
Units: kilos
- (07) FINAL TIME = 48
Units: mes
- (08) INITIAL TIME = 0
Units: mes
- (09) margen = 7
Units: euros/kilo
- (10) peso por cerdo = 100
Units: kilos/cerdos
- (11) poblacion = 40000000
Units: persona
Poblacion española de 40.000.000 aprox.
- (12) precio del cerdo = precio normal del cerdo*Tabla 1(cobertura)
Units: euros/kilo
- (13) precio del embutido = precio del cerdo+margen
Units: euros/kilo
- (14) precio normal = 10
Units: euros/kilo
- (15) precio normal del cerdo = 3
Units: euros/kilo
- (16) precio relativo = precio del embutido/precio normal
- (17) produccion = sacrificios*peso por cerdo*ratio util del cerdo
Units: kilos/mes

- (18) ratio util del cerdo= 0.8
Porcentaje del peso del cerdo que se aprovecha para embutidos.
- (19) sacrificios= 750000+Test
Units: cerdos/mes
- (20) Tabla 1
(0,4),(0.25,2),(0.5,1),(0.75,0.9),(1,0.8),(3,0.5)
cuando la cobertura del stock es de 0.5 meses el precio del cerdo es igual al normal, punto 0.5,1
- (21) Tabla 2
(0.5,1.5),(1,1),(1.5,0.9),(2,0.75)
El punto (1,1) es obligatorio ya que representa la situación normal de consumo.
- (22) Test= PULSE(6,6)*10000
Units: cerdos/mes
Queremos ver el efecto de una leve variación en el numero de sacrificios. Normalmente se sacrifican 750.0000 cerdos al mes y simularemos que desde el periodo 6 al 12 esta cifra se incrementa en 10.000. Usaremos la función PULSE que tomará el valor 1 desde el periodo 6 durante 6 periodos, es decir hasta el 12, y la multiplicamos por 10.000 para obtener el valor de 10.000 en este periodo.
- (24) TIME STEP = 1

Existencias de embutidos en tocinerías



Parte 2. La crianza de cerdos

En la parte 1 tomamos como hipótesis que el sacrificio de cerdos era una variable exógena. Ahora vamos a desarrollar un modelo sobre la crianza de los cerdos para simular la cantidad de sacrificios anuales en matadero. Para este modelo, tomaremos como variable exógena y constante el precio del cerdo. En la parte 3, vamos a combinar los dos modelos para simular tanto el precio del cerdo y la cantidad de sacrificada.

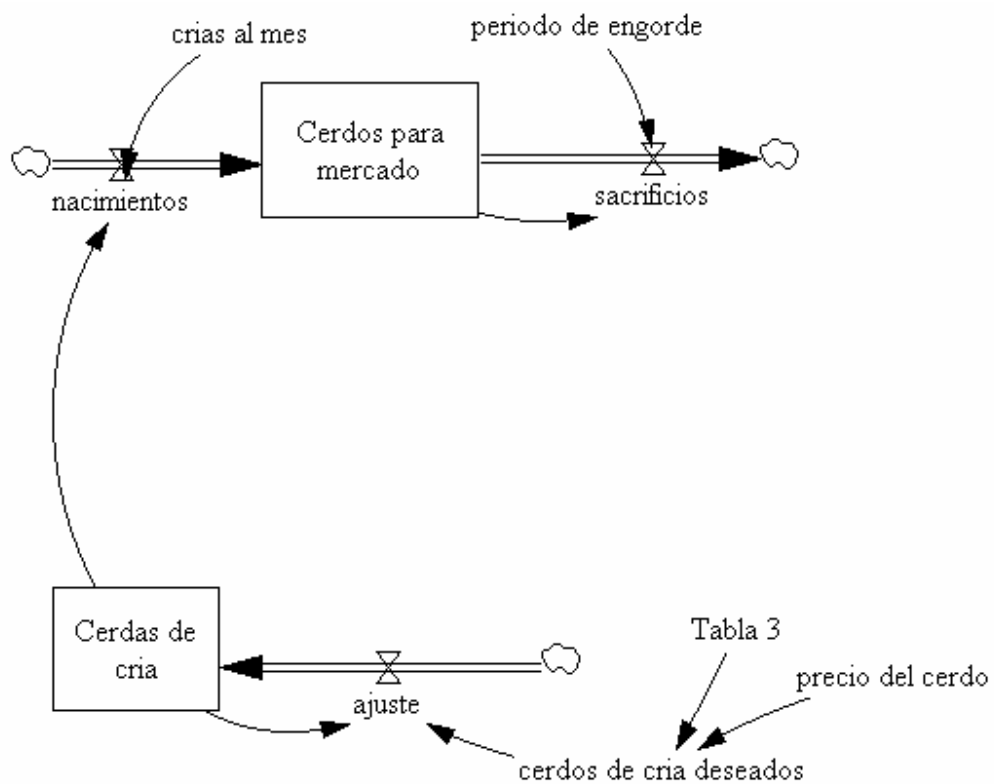
Los ganaderos distinguen entre dos clases de cerdos. Cerdos para el mercado y cerdos para crianza. Los cerdos para el mercado (que pueden ser machos y hembras) son engordados durante seis meses después de su nacimiento, y luego son sacrificados. Las hembras destinadas al mercado no tienen crías. Las hembras para crianza (llamadas marranas) son criadas por separado como "ganado para crianza" y son utilizadas exclusivamente para crianza. Consideraremos que no son sacrificadas para embutidos. (Esta es una descripción simplificada de la realidad que tomaremos como correcta). Los ganaderos modifican el tamaño de su piara ajustando el número de marranas, es decir de su "ganado para crianza". Cuando el precio del cerdo es superior al normal, los ganaderos generalmente desean incrementar el tamaño de su piara, y cuando el precio del cerdo es menor que el normal, procuran disminuir el tamaño de su piara. [Cerdos para cría \propto Precio del cerdo]

DISEÑO DEL MODELO

a). Dibuje el diagrama de flujos y escriba las ecuaciones para un modelo de la crianza de cerdos. Supondremos que cada cerda reproductora da luz a 18 cerdos cada año (1,5 cada mes). También supondremos que los cerdos son engordados 6 meses antes de que estén listos para ser llevados al mercado. La parte más difícil del modelo es el "Ajuste" entre el tamaño de la piara deseada y la real en un plazo de tiempo determinado. Usaremos una TABLA para determinar la "piara deseada" como una función del precio del cerdo. Tomaremos el precio del cerdo como variable exógena a 3 euros/kilo. Necesitaremos también un valor inicial para las "cerdas de cría" y para el número de "cerdos para mercado". Escogeremos valores que produzcan un volumen de sacrificios de 750.000 cerdos por mes (el mismo valor asumido en la parte 1).

b). Una vez ha obtenido un modelo que se ejecuta en equilibrio, pruebe su comportamiento en respuesta a un incremento del 10% en el precio del cerdo desde el periodo 6 al 12. Para hacerlo puede añadir al precio del cerdo, que es 3, la función $PULSE(6,6)*0.3$

Modelo 2



- (01) $\text{ajuste} = \text{SMOOTH}(\text{cerdos de cria deseados} - \text{Cerdas de cria}, 3)$
 Units: cerdos/mes
 Se considera que el ajuste entre los Cerdos de Cría deseados y los reales tarda 3 meses. Para ello se utiliza la función de retardo SMOOTH con una constante de tiempo de 3.
- (02) $\text{Cerdas de cria} = \text{ajuste}$
 Inicial value: 500000
 Units: cerdos
 Llamadas "marranas" son las cerdas destinadas a la crianza. Por simplicidad consideraremos que no se

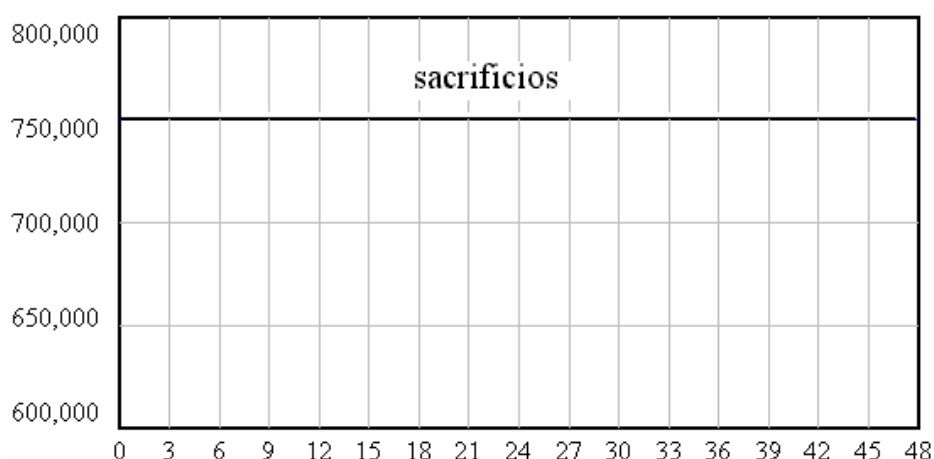
aprovecha su carne para embutidos, aunque en realidad si se hace.

- (03) cerdos de cria deseados = Tabla 3 (precio del cerdo)
Units: cerdos
Son función del precio del cerdo. De forma que cuando este se halla en 3 € (euros) la cantidad de cerdos de cria deseados es de 500.000, tal y como recogemos en la Tabla 3.
- (04) Cerdos para mercado = nacimientos - sacrificios
Inicial value: 4500000
Units: cerdos
- (05) crias al mes = 1.5
Units: 1/mes
Tomaremos una tasa de natalidad de 18 lechones a año, lo que significa que cada cerda de cria tiene 1,5 crias al mes
- (06) FINAL TIME = 48
- (07) INITIAL TIME = 0
- (08) nacimientos = Cerdas de cria * crias al mes
Units: cerdos/mes
Tomaremos una tasa de natalidad de 18 lechones a año, lo que significa que cada cerda de cria tiene 1,5 crias al mes
- (09) periodo de engorde = 6
Units: mes
- (10) precio del cerdo = 3
Units: euros/kilo
- (11) sacrificios = (Cerdos para mercado / periodo de engorde)
Units: cerdos/mes
Consideraremos una vida media de 6 meses, por lo que en cada periodo sacrificaremos la sexta parte del nivel de Cerdos para el mercado. Añadimos un

Test para ver el efecto de una leve variación en los sacrificios.

- (12) Tabla 3
 (0,100000),(1,200000),(3,500000),(6,600000),(9,900000)
 Recoge la influencia entre el Precio del Cerdo (X) y la cantidad de Cerdos de Cria deseados (Y). De forma que cuando este se halla en 3 € (euros) la cantidad de cerdos de cria deseados es de 500.000, tal y como recogemos en la Tabla 3.

- (13) TIME STEP = 1



Parte 3. Combinación de los dos modelos.

Vamos ahora a combinar los dos modelos desarrollados en las partes 1 y 2. Para hacer esto, todo lo que es necesario es usar el precio del cerdo del modelo 1 en lugar del precio del cerdo exógeno del modelo 2, y tomar el volumen de sacrificios del modelo 2 en lugar de la variable exógena en el modelo 1. Ejecute el modelo y examine los resultados. Si ha tomado los mismos valores iniciales que los indicados en los ejercicios 1 y 2 sin añadir ningún Test el modelo global se hallará en equilibrio.

Una vez haya obtenido el modelo en equilibrio, puede probar la respuesta del modelo ante alteraciones

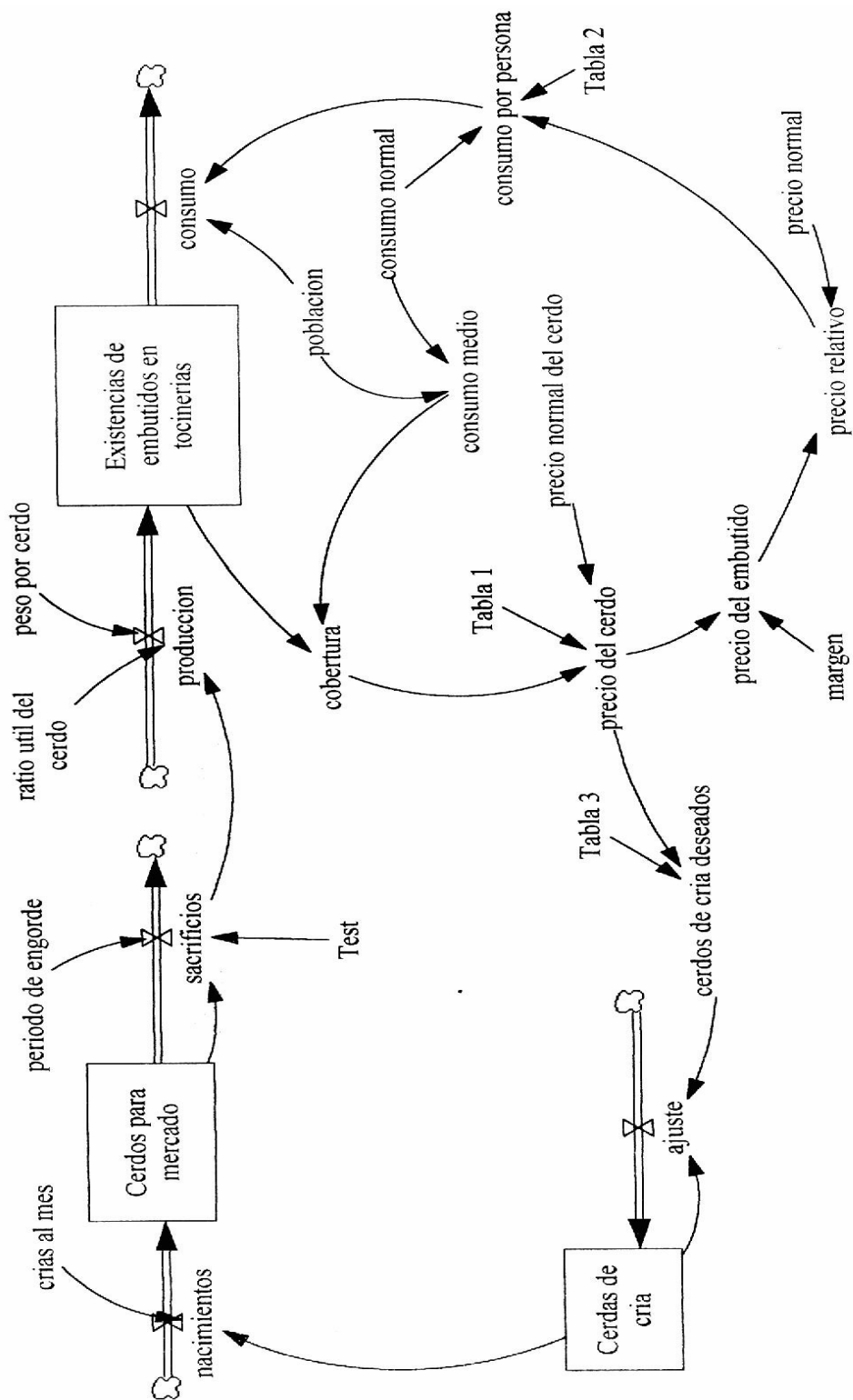
externas. Por ejemplo, pruebe la respuesta del modelo a una variación en el número de sacrificios como la introducida en la parte 1. Observará que si bien en el modelo de la parte 1 esta variación no producía oscilaciones ahora sí lo hacen.

Existen dos aspectos de especial interés en el estudio de los ciclos: período y intensidad. El período de un ciclo es el tiempo que transcurre entre un máximo y el siguiente. La intensidad se refiere a la diferencia entre el valor máximo y mínimo en un ciclo.

Con los parámetros que hemos tomado el modelo de cerdos produce pequeñas oscilaciones y se hallan estabilizadas. (Algunos modelos producen oscilaciones que tienden a aumentar con el tiempo. Estas son denominadas oscilaciones "explosivas").

DISEÑO DEL MODELO

Intente determinar que parámetros en el modelo influyen en el periodo y la intensidad de los ciclos. Una vez haya descubierto que parámetros influyen en las oscilaciones del sistema, puede explorar algunas estrategias que permitan reducir el grado en el que el sistema oscila como consecuencia de alteraciones exteriores.



- (01) $\text{ajuste} = \text{SMOOTH}(\text{cerdos de cria deseados} - \text{Cerdas de cria}, 3)$
 Units: cerdos/mes
 Se considera que el ajuste entre los Cerdos de Cria deseadis y los reales tarda 3 meses. Para ello se utiliza la función de retardo SMOOTH con una constante de tiempo de 3.
- (02) $\text{Cerdas de cria} = \text{ajuste}$
 Inicial value: 500000
 Units: cerdos
 Llamadas "marranas" son las cerdas destinadas a la crianza. Por simplicidad consideraremos que no se aprovecha su carne para embutidos, aunque en realidad si se hace.
- (03) $\text{cerdos de cria deseados} = \text{Tabla 3}(\text{precio del cerdo})$
 Units: cerdos
 Son función del precio del cerdo. De forma que cuando este se halla en 3 € (euros) la cantidad de cerdos de cria deseados es de 500.000, tal y como recogemos en la Tabla 3.
- (04) $\text{Cerdos para mercado} = \text{nacimientos} - \text{sacrificios}$
 Inicial value: 4500000
 Units: cerdos
- (05) $\text{cobertura} = \text{Existencias de embutidos en tocinerias} / \text{consumo medio}$
 Units: mes
 Numero de meses que se puede atender al consumo medio con las Existencias de embutidos en las tocinerias.
- (06) $\text{consumo} = \text{poblacion} * \text{consumo por persona}$
 Units: kilos/mes
- (07) $\text{consumo medio} = \text{poblacion} * \text{consumo normal}$
 Units: kilos/mes
- (08) $\text{consumo normal} = 1.5$
 Units: kilos/persona/mes

- (09) $\text{consumo por persona} = \text{consumo normal} * \text{Tabla 2}(\text{precio relativo})$
Units: kilos/(mes*persona)
- (10) $\text{crias al mes} = 1.5$
Units: 1/mes
Tomaremos una tasa de natalidad de 18 lechones a año, lo que significa que cada cerda de cria tiene 1,5 crias al mes
- (11) Existencias de embutidos en tocinerias=
+produccion-consumo,
Inicial value: 30000000
Units: kilos
- (12) FINAL TIME = 48
- (13) INITIAL TIME = 0
- (14) $\text{margen} = 7$
Units: euros/kilo
- (15) $\text{nacimientos} = \text{Cerdas de cria} * \text{crias al mes}$
Units: cerdos/mes
Tomaremos una tasa de natalidad de 18 lechones a año, lo que significa que cada cerda de cria tiene 1,5 crias al mes
- (16) $\text{periodo de engorde} = 6$
Units: mes
- (17) $\text{peso por cerdo} = 100$
Units: kilos/cerdos
- (18) $\text{poblacion} = 40000000$
Units: persona
Poblacion española de 40.000.000 aprox.
- (19) $\text{precio del cerdo} = \text{precio normal del cerdo} * \text{Tabla 1}(\text{cobertura})$
Units: euros/kilo

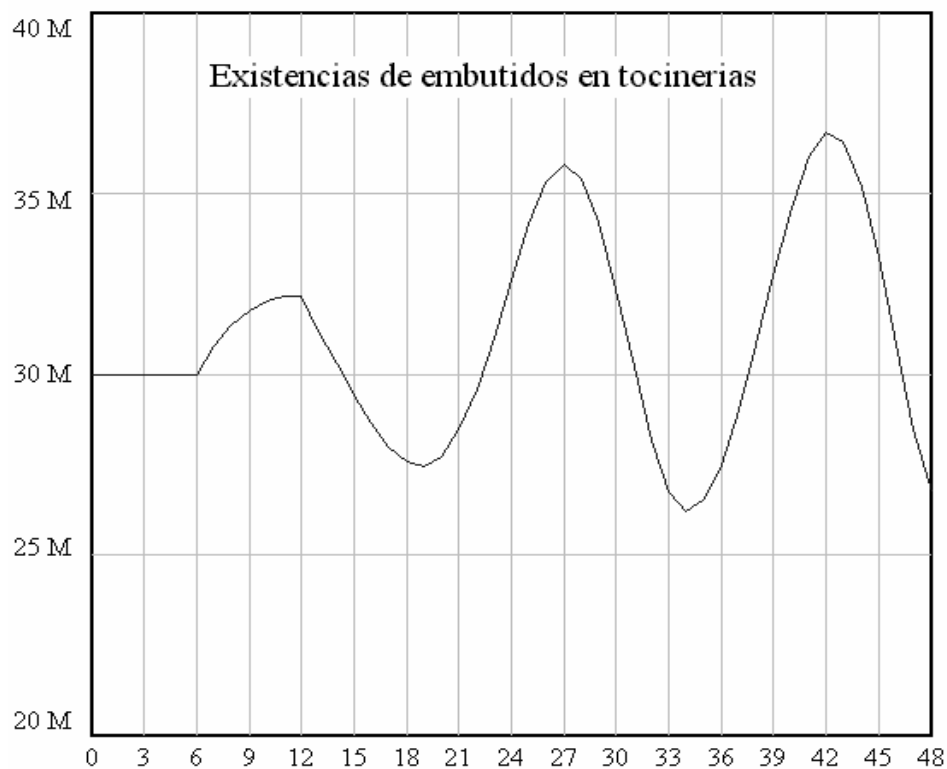
- (20) precio del embutido = precio del cerdo+margen
Units: euros/kilo
- (21) precio normal = 10
Units: euros/kilo
- (22) precio normal del cerdo = 3
Units: euros/kilo
- (23) precio relativo =precio del embutido/precio normal
- (24) produccion = sacrificios*peso por cerdo*ratio
util del cerdo
Units: kilos/mes
- (25) ratio util del cerdo= 0.8
Porcentaje del peso del cerdo que se aprovecha
para embutidos.
- (26) sacrificios= (Cerdos para mercado/periodo de
engorde)+Test
Units: cerdos/mes
Consideraremos una vida media de 6 meses, por lo
que en cada periodo sacrificaremos la sexta parte
del nivel de Cerdos para el mercado. Añadimos un
Test para ver el efecto de una leve variación en los
sacrificios.
- (27) Tabla 1
(0,4),(0.25,2),(0.5,1),(0.75,0.9),(1,0.8),(3,0.5)
Cuando la cobertura del stock es de 0.5 meses el
precio del cerdo es igual al normal, punto 0.5,1
- (28) Tabla 2
(0.5,1.5),(1,1),(1.5,0.9),(2,0.75)
El punto (1,1) es obligatorio ya que representa la
situación normal de consumo.
- (29) Tabla 3
(0,100000),(1,200000),(3,500000),(6,600000),(9,
900000)

Recoge la influencia entre el Precio del Cerdo (X) y la cantidad de Cerdos de Cria deseados (Y). De forma que cuando este se halla en 3 € (euros) la cantidad de cerdos de cria deseados es de 500.000, tal y como recogemos en la Tabla 3.

(30) $\text{Test} = \text{PULSE}(6,6) * 10000$

Units: cerdos/mes

Queremos ver el efecto de una leve variación en el número de sacrificios. Normalmente se sacrifican 750.0000 cerdos al mes y simularemos que desde el periodo 6 al 12 esta cifra se incrementa en 10.000. Usaremos la función PULSE que tomará el valor 1 desde el periodo 6 durante 6 periodos, es decir hasta el 12, y la multiplicamos por 10.000 para obtener el valor de 10.000 en este periodo.



Las oscilaciones de un sistema pueden ser de tres tipos:

- Podemos ver mejor la tendencia que tiene un sistema con oscilaciones utilizando el esquema X-Y.

Name

Title

X-Axis

X-min X-max X-

Stamp Co

Type ☒ Norm ☐ Cum ☐ Stack

Scale Variable Dataset

El resultado obtenido nos muestra la evolución de los valores en cada periodo de estas variables y como se genera una espiral que es la otra forma de visualizar unas oscilaciones crecientes. Si observamos detenidamente el centro de la espiral corresponde a los valores iniciales de estas variables, y así Existencias de embutidos tiene un valor de 30.000.000 y los Cerdos para el mercado son 4.500.000

