

Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas

Juan Martín García

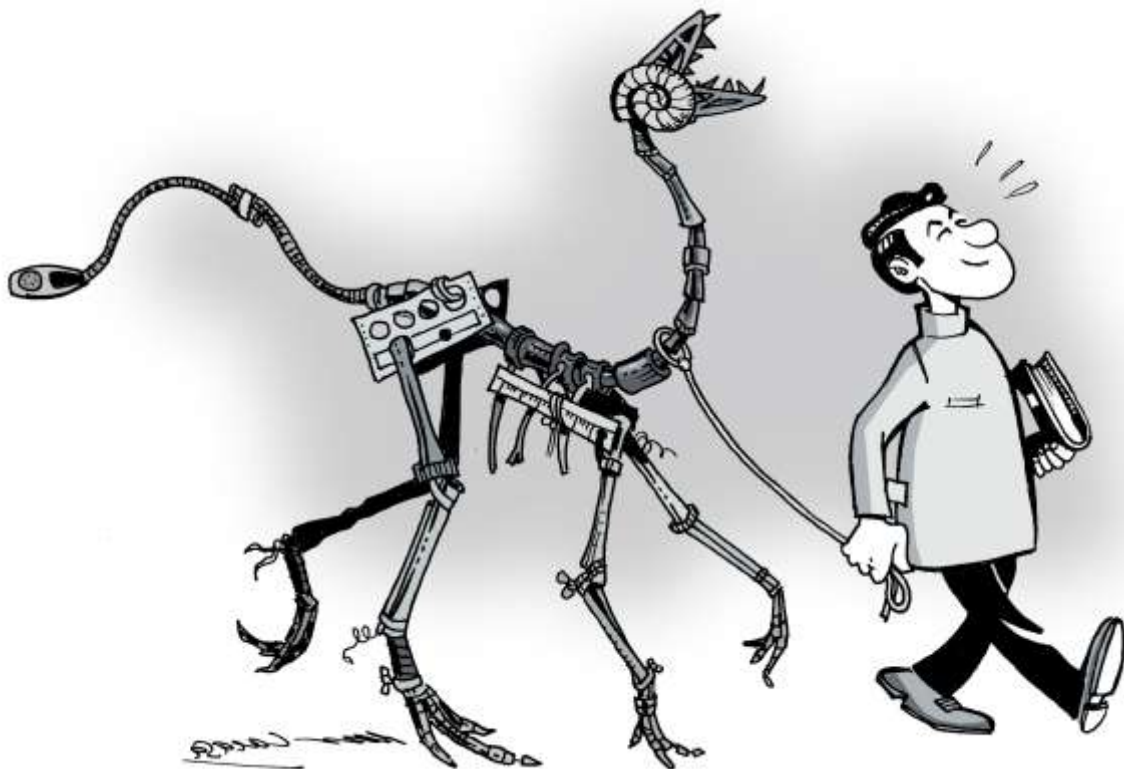
Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas
Autor y editor: Juan Martín García

© 2003 Juan Martín García mail: JMG@GRN.ES
Primera edición. Octubre 2003
Segunda edición revisada Enero 2006
Tercera edición ampliada y revisada: Enero 2010
Impreso en Barcelona (España)

ISBN 84-607-9304-4
Depósito Legal B-4958-2003

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del titular del Copyright.

A Eva, Pamela y Angela



INDICE

Prólogo
Presentación

1. La Dinámica de Sistemas	19
1.1. La Dinámica de Sistemas	21
1.2. Identificar el problema	24
1.3. Definir el Sistema	25
1.4. Las fronteras de un sistema	26
1.5. Diagrama Causal	27
1.6. Retroalimentación	28
1.7. El elemento limitativo	30
1.8. Los elementos clave	30
1.9. Tipos de sistemas.....	32
1.10. Estructuras genéricas	37
1.11. Los modelos del mundo	44
1.12. Cuestionario de control	46

2. Construcción de un modelo	49
2.1. Diagrama de Flujos	51
2.2. Simulación en ordenador	52
2.3. Comportamiento del modelo	54
2.4. Análisis del sistema	55
2.5. Cinco experiencias del autor	56
2.6. Cuestionario de control.....	63
3. Dinámica de los sistemas sociales.....	65
3.1. El estado deseado	68
3.2. El estado real	71
3.3. La diferencia	71
3.4. La acción	72
3.5. El comportamiento humano	74
4. Ejercicios prácticos.....	77
Area Ambiental	
4.1. Dinámica poblacional.....	87
4.2. Ecología de una reserva natural.....	93
4.3. Efectos de la agricultura intensiva.....	105
4.4. La pesca del camarón en Campeche.....	114
4.5. Conejos y zorros.....	122
4.6. Problemática ganadera.....	126
4.7. Evaluación del impacto ambiental	141
4.8. Los Barays de Angkor	148
Area Empresarial	
4.9. Gestión dinámica de existencias.....	159
4.10. Emisiones de CO2.....	172
4.11. Como producir más y mejor.....	175
4.12. Averías.....	181
4.13. Gestión dinámica de un proyecto.....	183
4.14. Un modelo de empresa innovadora.....	195
4.15. Control de calidad.....	203
4.16. Impacto de los Planes de Negocio.....	209
Area Social	
4.17. Llenando un vaso.....	215
4.18. Estudio de una catástrofe.....	218
4.19. El joven ambicioso.....	224
4.20. Desarrollo de una epidemia.....	229
4.21. Dinámica de los dos relojes.....	236
4.22. El Efecto Mariposa	239
4.23. Análisis del turismo de invierno.....	245
Area Física	
4.24. Dinámica de un depósito.....	255
4.25. Estudio de los movimientos oscilatorios.....	260
4.26. Reactor químico.....	268
4.27. La farola de Darder.....	272
4.28. El Número de Oro	281
4.29. Ingestión de tóxicos	285

Estudar

5. Guía para crear un modelo.....	291
5.1. Creación del Diagrama Causal	294
5.2. Creación del Diagrama de Flujos	297
5.3. Exponer las conclusiones	298
5.4. Plantilla para crear un modelo	299
6. Epílogo.....	303
ANEXOS	
1. Historia y conceptos básicos	309
2. Lecturas complementarias de teoría.....	314
3. Funciones, Tablas y Retrasos.....	315
4. Preguntas Frecuentes.....	323
5. Cursos de Formación	330
6. Software	331
7. Bibliografía	332
8. Agradecimientos.....	333



PRÓLOGO



As the complexity of our world increases systems thinking is emerging as a critical factor for success, and even survival. How then can people become skilled systems thinkers? The most effective learning experiences combine experience with reflection, theory with practice.

Traditionally, theory was taught in school and university, and experience was gained in life outside those walls. But in the world of complex dynamic systems such as a business, society, or ecosystem, everyday experience fails because the time horizon and scope of the systems is so vast—we never experience the majority of the effects of our decisions. And without relevant experience, theory is uninteresting to students.

The old ways of learning fail. When experiments in the real world are impossible, simulation becomes the main way we can learn effectively about the dynamics of complex systems. For this reason I'm pleased to introduce Juan Martin Garcia's book, *Teoria y Ejercicios Practicos de Dinamica de Sistemas*. Juan combines theory and practice, experience and opportunities for reflection, so that newcomers to the field can learn for themselves how complex dynamic systems work. The examples span a range of important economic and social issues, from the aging of the population in developed economies to the course of contagious diseases to the accumulation of pollutants in the environment; everyone will find some examples here of direct personal interest.

The modeling exercises guide the learner through the process of building a working simulation; students will not only learn about the issues addressed, and in the use of state of the art simulation software, but will develop skill in the modeling process.

Juan has written a delightful first introduction to the field of system dynamics and complexity, and provides a much-needed addition to the literature available in Spanish.

John D. Sterman
Cambridge, Massachusetts
October 2003



PRESENTACIÓN



Este puede ser un buen lugar para vencer algunos fantasmas que existen sobre la Dinámica de Sistemas. Cualquier persona que desconoce esta metodología intuye que tras estas palabras se esconden las más complejas ecuaciones matemáticas llenas de extraños símbolos griegos y repletas de diferenciales e integrales. Además espera tener que desempolvar los nunca bien aprendidos indicadores estadísticos e intentar recordar sus oscuros significados. Por último espera encontrar complejos programas de software que requieren amplios conocimientos de programación.

Sin duda estos fantasmas, como buenos guardianes del conocimiento, ahuyentan eficazmente a las mentes pusilánimes. Pero en realidad estos fantasmas son más fruto de la imaginación y la ignorancia que de ningún deliberado intento de ocultar una inestimable fuente de conocimiento. Para vencer a estos fantasmas tal vez es necesario explicar que la Dinámica de Sistemas se aplica a los problemas cotidianos, es decir los del mundo real, y en este raramente encontraremos complejas formulaciones matemáticas, sino que más bien encontramos una sorprendente sencillez tras analizar con atención cualquier aspecto. La complejidad es siempre más aparente que real y con frecuencia es el merecido fruto de nuestra ignorancia. Así por ejemplo las temidas integrales matemáticas no representan simbólicamente más que unas sencillas acumulaciones de materia, energía o información. Por lo que hace referencia a la estadística, sin huir de ella, la vamos a reservar para profundizar en algunos casos muy especiales, pero más como complemento que como centro de nuestro razonamiento. Y por último, por lo que hace referencia a la complejidad del manejo del software, veremos en las páginas de ejercicios que podremos llamar al pan, pan y al vino, vino, huyendo de extraños lenguajes de programación informáticos. Destierre pues amigo lector sus temores y déjese llevar por un placentero viaje que le acercará al Conocimiento.

Superados los fantasmas de la puerta, tenemos que hacer frente a una gran pregunta que acecha nada más traspasar en el umbral ¿Para qué sirve en realidad esa metodología llamada Dinámica de Sistemas?. Podrá el lector encontrar mil respuestas a esta pregunta a lo largo de este y otros libros, pero me permito aquí hacer una sencilla analogía. Imagínese el lector que ha de contar cuantas butacas hay en un cine que tiene 30 filas y 30 asientos en cada fila. Puede contar las butacas: 1, 2, 3, 4, 5... y 899. Al finalizar mi consejo es que las vuelva a contar para estar seguro del resultado. Otro método consiste en utilizar una metodología llamada “multiplicar” y así tomando las dos cifras de 30 por 30 y aplicando esa metodología que aprendió cuando era muy pequeño (no sin esfuerzo, ¿recuerda?) obtendrá un resultado rápido y fiable: 900. La Dinámica de Sistemas es una metodología similar, de forma que ofrece resultados más rápidos y fiables que otras formas más tradicionales de percibir la realidad, y nos permite abordar el análisis de la aparente complejidad que encontramos en los temas económicos, ambientales, sociales o simplemente mecánicos.

El propósito de este libro es servir de referencia y ayuda a los estudiantes de esta materia, guiándoles desde sus primeros pasos. Para ello se ofrece en primer lugar una sucinta visión de los conceptos básicos de esta metodología que puede ampliar con las lecturas complementarias que hallará en el CD. En segundo lugar se ofrece una seleccionada colección de ejercicios prácticos que permiten al lector aprender de forma rápida y ordenada. Si sigue las indicaciones que hallará en cada ejercicio es fácil que sin darse apenas cuenta consiga un aprendizaje completo de esta metodología.

No pretende este libro suplir en modo alguno la labor del profesor, que siempre aportará una inestimable ayuda en la resolución de puntuales dudas, que por muy esmerado y depurado que sea un libro nunca puede evitar. Existe un capítulo específico que recoge las dudas más frecuentes que se suelen plantear, el propósito de este capítulo es servir de ayuda en los casos que ya es conocido que suelen aparecer.

Los ejercicios prácticos se han seleccionado para ofrecer al lector una visión organizada de los diferentes aspectos que es necesario conocer. No se pretende ofrecer una visión de las realizaciones actuales en este campo ni tampoco servir de orientación para proyectos de ningún campo en particular. Para este propósito el lector deberá de hacer una posterior labor de investigación para averiguar qué modelos se han hecho en el campo que a él le interesa. Cuenta para este propósito con la inestimable ayuda de las abundantes bibliotecas de modelos que existen en Internet.

La Dinámica de Sistemas se puede aplicar a un amplio abanico de problemas que nos encontramos a diario, pero en muchas otras ocasiones otras metodologías o nuestra intuición nos ofrecerán solución o nos sacarán del apuro. ¿En qué casos hemos de pensar en aplicar la Dinámica de Sistemas?. Pues en todas aquellas situaciones en las que puede existir algún tipo de realimentación. Este hecho es muy frecuente en la vida real, sea en la empresa, en el medio ambiente o en los temas sociales, y es la causa de muchos de los fenómenos contrarios a nuestra intuición que observamos.

Los ejercicios se pueden organizar de muchas maneras, según su temática, su grado de dificultad, etc. Al principio del Capítulo 5 se dan indicaciones sobre los ejercicios más recomendables en función de las necesidades del lector. De forma secuencial se ha escogido la ordenación en base a las diferentes áreas temáticas: ciencias ambientales, ciencias empresariales, ciencias sociales y por último modelos de sistemas mecánicos. No es necesario que el lector haga todos los ejercicios del libro para conocer bien esta metodología, puede escoger aquellos que por su temática le parecen más amenos o interesantes.

Verá el lector que a diferencia de otros libros con ejercicios prácticos en los que las soluciones se hallan en las páginas finales, en este libro enunciados y soluciones se hallan unidos. El propósito es que el lector aprenda mientras va haciendo los diferentes modelos (learning by doing). La

creación de un modelo de simulación es un trabajo totalmente artesanal, donde hay que conocer una cierta técnica, pero después queda a la libre decisión del creador del modelo la estructura que va a tener éste, sobre lo que no existen reglas universales a seguir.

Con frecuencia existe la falsa idea de que todos los estudios o trabajos con esta metodología consisten en la elaboración de un modelo en el ordenador. Nada más falso. La aplicación de esta metodología sirve para hallar soluciones sencillas a problemas complejos, y para ello la creación de un modelo de simulación se justifica en escasas ocasiones. Aprender a crear modelos de simulación tiene la gran utilidad de consolidar los conceptos teóricos, y si se logra con estos pocos conceptos elaborar ya propuestas de actuación se evita el lento y laborioso trabajo de crear un modelo de simulación y se pueden realizar eficaces propuestas de una forma más rápida. Por ello, aunque el libro se estructura en dos partes bien diferenciadas, la de Teoría y la de Ejercicios es conveniente vencer la tentación de empezar a leer el libro directamente por los Ejercicios, porque en primer lugar aplicar esta metodología no equivale a hacer un modelo en el ordenador, y también porque tomando un símil nada es más peligroso que tomar el volante del coche sin antes aprender las normas de circulación, saber leer un mapa de carreteras y tener conocimientos básicos de mecánica.

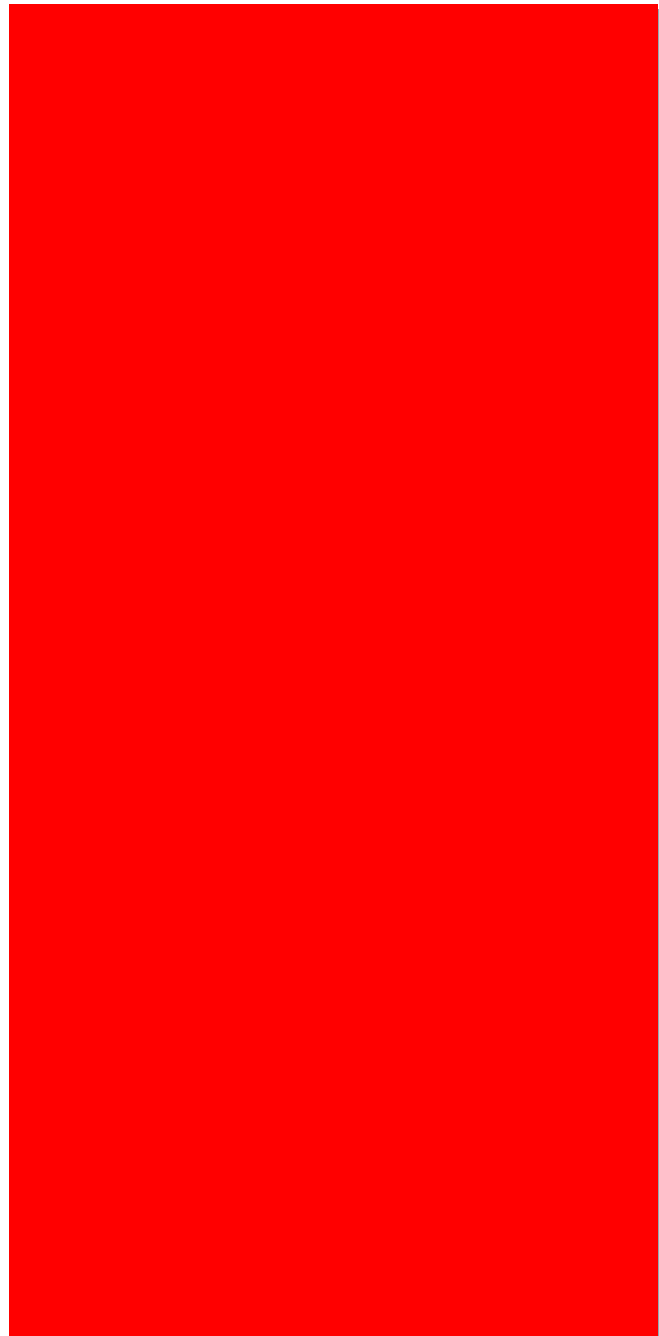
Este libro trata de ser un esmerado y depurado trabajo, que evite en todo lo posible las dudas y vacilaciones que cualquier aprendizaje conlleva, y por ello, consciente de las dificultades que el puro aprendizaje con un libro provoca se ha intentado hacer el texto lo más claro y ameno posible. A pesar de todas estas cautelas el sincero consejo final para el lector es que intente encontrar un profesor para esta materia siempre que le sea posible.

Juan Martín García
Septiembre 2003





1. LA DINÁMICA DE SISTEMAS



1.1. La Dinámica de Sistemas

Vamos a describir a continuación un enfoque para interpretar la realidad. Muy posiblemente no existe la que podríamos llamar "forma correcta" o "la mejor manera" de observar la realidad, puesto que es imposible señalar a una sola dirección como la mejor o la más correcta. Pero sí es cierto que vamos a conocer un enfoque nuevo para muchas personas. Y esta es una manera útil de abordar los problemas que se plantean en este inicio de milenio, a la vista de los retos que hemos de abordar: hambre, pobreza, degradación ambiental, guerras, ... ya que no parece que avancemos gran cosa con las formas tradicionales de enfocar estos problemas.

Este enfoque tiene varios nombres, usaremos aquí el de "dinámica de sistemas" conscientes de que la palabra "sistemas" tiene diversos significados pero intentando clarificar cual es el que nosotros tomamos a través de los comentarios y ejemplos posteriores.

A modo de introducción veremos las características de los modelos que abordan el análisis del mundo como un todo, como un sistema global. Describiremos las características de la situación en el mundo desde la perspectiva de los elaborados modelos que abordan esta visión.

Todos somos cada vez más conscientes de que vivimos en una realidad muy compleja y cambiante, y que este fenómeno se acentúa año tras año. Para tomar las decisiones que continuamente se nos requieren, acudimos a los modelos mentales. No obstante estos modelos mentales no siempre nos acercan a la solución del problema ya que aún en los casos más sencillos la solución puede ser lo que Jay Forrester llama "contraintuitiva". Un sencillo ejemplo lo tenemos en la imagen siguiente donde vemos como una lupa amplía el texto, pero al alejarla del papel en vez de seguir aumentando el texto, lo invierte.



Sin ir más lejos el paseo por un Museo de la Ciencia con nuestros hijos nos puede deparar algunos casos en los que tendremos que explicarles, por ejemplo, porqué de los dos chorros que salen de un depósito con agujeros a diferente altura, el agua que cae más lejos es la que sale del agujero que está mas cerca del suelo.

Como indica al respecto Ludwig von Bertalanffy , para quien desea hacer ciencia y sólo ciencia, cualquier otra pregunta posterior carece de sentido. "Quod non est in formula non est in mundo". Tal es la única posición legítima para la ciencia. No obstante, si queremos ir más allá en nuestra comprensión nos queda solamente una analogía que nos permite concebir ese algo que es irrelevante para el físico; nos queda la analogía con la única realidad que conocemos directamente, la realidad de nuestra experiencia inmediata.

Toda interpretación de la realidad es, empleando la expresión kantiana, una aventura de la razón. Por ello hay sólo una alternativa posible: o bien renunciamos a cualquier interpretación en torno a la esencia de las cosas, o si intentamos una interpretación, debemos ser conscientes de su carácter analógico, ya que no tenemos la menor prueba de que el mundo real sea de la misma naturaleza que el que nos ofrece la experiencia interior.

En las frecuentes ocasiones en las que nos enfrentamos a una realidad con un número de parámetros limitados y sobretodo cuantificables, acudimos a los modelos formales, los cuales nos permiten actuar con razonables probabilidades de éxito. Ahora bien, ante situaciones complejas, con un incierto número de parámetros difícilmente cuantificables, podemos acudir a un tipo de modelos menos formales pero que nos permitan obtener una visión más estructurada del problema, sus aspectos más críticos, y posibles vías de solución.

Al respecto dice Lynda M.Applegate, que los actuales ordenadores están diseñados para tratar información de un modo secuencial, instrucción por instrucción. Esta aptitud funciona bien, si el problema o la tarea se estructura y puede subdividirse en una serie de etapas. No funciona bien para tareas complejas, no estructuradas, que implican intuición, creatividad y discernimiento.

La Dinámica de Sistemas encuentra sus principales aplicaciones en estos entornos complejos y poco definidos, donde intervienen las decisiones del ser humano que suelen estar guiadas por la lógica. Recordemos que la ciencia actual se basa sobre fenómenos que han de ser medibles y reproducibles. Pues bien, como conocen los especialistas en marketing, las personas se comportan también según unas determinadas leyes, bastante bien medibles y reproducibles, que son las leyes del mercado (más demanda origina precios más altos, etc.).

A propósito de estos aspectos indica Javier Aracil en su libro "Introducción a la dinámica de sistemas" , que los modelos para ordenador pueden hacer algo que les está negado a los modelos mentales: pueden mostrar las consecuencias dinámicas de las interacciones entre componentes del sistema. Cuando se trata de extraer las consecuencias de ciertas acciones, empleando modelos mentales, se corre el peligro de extraer unas conclusiones erróneas. La intuición no es fiable cuando se abordan problemas complejos.

Una posible razón de ello es que se tiende a pensar en términos de relaciones causa a efecto unidireccionales, olvidando la estructura de retroalimentación que ciertamente existe. Al preparar un modelo para un ordenador hay que considerar cada paso separadamente. La imagen mental que se posee del sistema debe desarrollarse y expresarse en un lenguaje que pueda ser empleado para programar la máquina. Normalmente cualquier imagen mental que sea consistente y explícita, referida a cualquier sistema, puede expresarse así. Las imágenes mentales que se tienen de los sistemas reales son el resultado de experiencias y observaciones; la formulación explícita de estas experiencias en un programa para ordenador obliga a examinar, formalizar y precisar las imágenes mentales y así contribuir a una mayor comprensión a través de diferentes perspectivas.

Los modelos matemáticos, programables en un ordenador, están enunciados de una manera explícita; el lenguaje matemático que se emplea para la descripción del modelo no deja lugar a la ambigüedad. Un modelo de dinámica de sistemas es más explícito que un modelo mental y, por lo tanto, puede ser comunicado sin ambigüedad. Las hipótesis sobre las que se ha montado el modelo, así como las interrelaciones entre los elementos que lo forman, aparecen con toda claridad en el mismo, y son susceptibles de discusión y revisión. Por ello la proyección futura del modelo puede hacerse de forma completamente precisa.

Es importante señalar la diferencia existente entre dos clases de modelos, los modelos de predicción pretenden suministrar datos precisos acerca de la situación futura del sistema modelado. Por otra parte, los modelos de gestión pretenden básicamente establecer que "la alternativa x es mejor que la alternativa y"; en estos modelos no existe necesidad de tanta precisión ya que las comparaciones son igualmente útiles. La Dinámica de Sistemas elabora modelos de esta segunda clase.

Como vimos anteriormente, entendemos por "Sistema" un conjunto de elementos independientes con interacciones estables entre sí. El primer paso para comprender el comportamiento de un sistema será lógicamente definir los elementos que intervienen en el mismo y las posibles interrelaciones que existen entre ellos. El dicho aristotélico de que el todo es más que sus partes cobra aquí un especial significado.

El punto de vista de la Dinámica de Sistemas es radicalmente diferente al de otras técnicas aplicadas a la construcción de modelos de sistemas socioeconómicos, como la econometría. Las técnicas econométricas, basadas en un enfoque conductista, emplean los datos empíricos como base de los cálculos estadísticos para determinar el sentido y la correlación existente entre los diferentes factores. La evolución del modelo se realiza sobre la base de la evolución pasada de las variables denominadas independientes, y se aplica la estadística para determinar los parámetros del sistema de ecuaciones que las relacionan con las otras denominadas dependientes. Estas técnicas pretenden determinar el comportamiento del sistema sin entrar en el conocimiento de sus mecanismos internos. Así existen asesores para invertir en Bolsa denominados "chartistas" que utilizan modelos que analizan las montañas y valles que describen las cotizaciones de una acción, los ciclos alcistas y bajistas, y diseñan estrategias para minimizar el riesgo de pérdidas. No pretenden "conocer" por qué la cotización de una empresa sube o baja en función de sus nuevos productos o nuevos competidores, sino pronosticar la evolución de una cotización para recomendar comprar, mantener o vender una determinada acción.

En cambio, **el objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema.** Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo. Como características diferenciadoras de otras metodologías puede decirse que no se pretende predecir detalladamente el comportamiento futuro. El estudio del sistema y el ensayo de diferentes políticas sobre el modelo realizado enriquecerán el conocimiento del mundo real, comprobándose la consistencia de nuestras hipótesis y la efectividad de las distintas políticas.

Otra característica importante es su enfoque a largo plazo, entendiendo por tal un período de tiempo lo suficientemente amplio como para poder observar todos los aspectos significativos de la evolución del sistema. Sólo en una escala de tiempos suficientemente amplia podrán verse las tendencias de comportamiento fundamentales. No hay que olvidar que, a veces, los resultados de determinadas políticas no son óptimos porque el horizonte temporal de la toma de decisiones fue demasiado corto o porque faltó una perspectiva de sistema en el planteamiento del problema. En estos casos es útil conocer las consecuencias globales que a largo plazo, tendrían las decisiones tomadas en el momento actual, lo cual puede conseguirse de manera más tangible a través de un modelo adecuado.

La evolución a largo plazo podrá ser comprendida únicamente si se identifican las principales causas de los posibles cambios, lo cual es facilitado por una correcta selección de las variables. Idealmente, los límites del sistema deberán incluir todo el conjunto de mecanismos capaces de explicar las alteraciones importantes de las principales variables del sistema a través del amplio horizonte temporal utilizado.

Así pues, la Dinámica de Sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso de los elementos del sistema. Este análisis permite extraer la lógica interna del modelo, y con ello intentar un conocimiento de la evolución a largo plazo del sistema. Debe notarse que en este caso el ajuste del modelo a los datos históricos ocupa un lugar secundario, siendo el análisis de la lógica interna y de las relaciones estructurales en el modelo los puntos fundamentales de la construcción del mismo.

1.2. Identificar el problema

¿Cuál es el problema?

Vamos a aprender una metodología que es útil para construir modelos de simulación que han de permitir decidir cual de varias propuestas es más eficaz para solucionar el problema planteado, así pues éstos son modelos de gestión, no predictivos.

En primer lugar hay que identificar el problema con claridad, y describir los objetivos del estudio con precisión. Aunque sea obvio, es muy importante una definición correcta del problema real ya que todas las etapas siguientes gravitarán sobre ello. También es de gran utilidad para ajustar la inversión de tiempo y dinero aplicados a la creación del modelo.

Una vez definido el núcleo del problema, se ha de completar su descripción en base a la aportación de conocimientos del tema por parte de los expertos, documentación básica sobre el tema, etc. El resultado de esta fase ha de ser una primera percepción de los "elementos" que tienen relación con el problema planteado, las h-i-p-o-t-é-t-i-c-a-s relaciones existentes entre ellos, y su comportamiento histórico.

La llamada "**Referencia Histórica**" recoge el comportamiento histórico de los principales "elementos" que creemos que intervienen en el problema, cuantificados cuando ello sea posible. Es la plasmación gráfica y numérica de la descripción verbal del problema.

Es conveniente preguntarse ¿hace falta construir un modelo de simulación para encontrar una acción eficiente a mi problema?. Esta pregunta es importante.

Construir un modelo es un proceso largo y costoso, que no se justifica si hay otros caminos más sencillos de obtener el mismo resultado. Estos otros caminos son básicamente dos: la **estadística** y la **intuición**.

- La estadística o los métodos de cálculo numérico, son muy útiles para solucionar muchos problemas en los que: 1.- hay abundantes datos históricos, y 2.- podemos suponer que la realidad permanecerá estable. Por ejemplo, si quieres saber cuantos coches pasarán hoy por la puerta de tu casa, sólo has de disponer de los suficientes datos históricos y, si la calle no ha cambiado, podrás hacer una buena aproximación.

- Tu intuición te ha llevado hasta donde estás, y por lo tanto no la menosprecies. En muchos problemas ya intuimos acertadamente la solución como resultado de nuestra experiencia o conocimientos. La intuición es barata y rápida, sigue usándola siempre que puedas.

Sólo cuando no podamos aplicar con garantía ninguna de estas dos opciones anteriores, nos plantearemos construir un modelo de simulación.

Una vez definido el problema veremos que hay muchos aspectos, o elementos, relacionados con el mismo, directa o indirectamente, y a la vez relacionados entre sí, de forma no necesariamente clara y transparente. Estos elementos forman el Sistema. **Vamos a estudiar la realidad como un Sistema.**

1.3. Definir el Sistema

¿Qué es un Sistema?

Un sistema es un conjunto de "elementos" relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema, y sólo estos, formarán el sistema que vamos a estudiar.

Para estudiar un sistema hemos de conocer los elementos que lo forman y las relaciones que existen entre ellos.

En nuestra usual forma de análisis nos solemos centrar en las características de los elementos que componen el sistema, no obstante, para comprender el funcionamiento de sistemas complejos es necesario prestar atención a las relaciones entre los elementos que forman el sistema.

Es imposible entender la esencia de una orquesta sinfónica únicamente prestando atención a los músicos y a sus instrumentos, es la coordinación que tienen entre sí la que produce la música hermosa. El cuerpo humano, un bosque, una nación, el ecosistema de una barrera de coral son mucho más que la suma de sus partes.

Como dice un antiguo proverbio Sufí: Tu puedes pensar porque entiendes el concepto de "uno", y de ahí entiendes "dos", que es "uno" y "uno", pero para ello además has de entender el concepto "y". Y así, por ejemplo, en el problema del tráfico confluyen muchos elementos relacionados entre sí: número de habitantes, número de coches, precio de la gasolina, aparcamientos, transportes alternativos, ... **es con frecuencia más fácil y efectivo para solucionar un problema actuar sobre las relaciones entre los elementos (las "y"), que modificar los elementos.**

Un buen método para empezar a definir un sistema es escribir el problema en el centro de una hoja en blanco, añadir a su alrededor los aspectos relacionados directamente con el problema, y alrededor de éstos últimos los otros aspectos relacionados con ellos, y por lo tanto que se relacionan indirectamente con el problema. Ese será el sistema que vamos a estudiar para plantear soluciones al problema.

1.4. Las fronteras de un Sistema

¿Dónde acaba el Sistema?

Ya sabemos que en teoría una mariposa volando en China puede llegar a provocar un tornado en el Caribe, pero en la práctica, incluiremos en nuestro estudio sólo aquellos elementos que tienen una influencia razonable en el comportamiento del sistema, ya que no hemos de olvidar que tenemos un objetivo: proponer alguna acción práctica que sea eficaz para solucionar el problema que estudiamos.

El sistema debe de contener el menor número de elementos posible, que nos permita realizar una simulación para explicar al final cual de las propuestas de actuación que hemos estudiado es más eficaz para solucionar el problema que nos plantean.

Los modelos se suelen crear como un acordeón, primero se crea un modelo pequeño, con pocos elementos, que se va ampliando y perfeccionando, luego en una fase posterior se suprimen aquellos elementos que no intervienen decisivamente en el problema.

En la construcción del modelo se suceden varias fases de expansión y simplificación del modelo. Añadiendo y suprimiendo elementos.

No se pueden ignorar las relaciones entre el consumo del automóvil y la salud pulmonar. Cuando analizamos el proceso de combustión del carbón en una central eléctrica vemos que además de energía se obtiene: cenizas, partículas en suspensión, SO₂, CO₂, etc. y que no hay una barrera entre el producto deseado, la electricidad, y los subproductos. En ocasiones se habla de "efectos secundarios" cuando son tan reales e importantes como los "efectos principales". Se aprecia la belleza de un diseño de la naturaleza porque los residuos de un proceso son siempre nutrientes para el siguiente, y tal vez esa deba de ser la base para un nuevo diseño industrial.

El tamaño final del modelo ha de ser tal que podamos explicar sus aspectos esenciales en 10 minutos. Cualquier tiempo superior nos llevará al fracaso.

1.5. Diagrama Causal

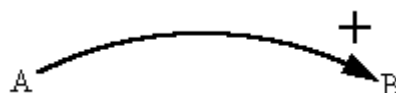
¿Cómo representamos un Sistema?

El conjunto de los elementos que tienen relación con nuestro problema y permiten en principio explicar el comportamiento observado, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de retroalimentación, forman el Sistema. **El Diagrama Causal es un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.**

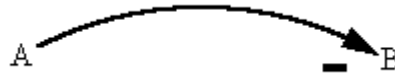
Como hemos dicho es importante empezar a hacer versiones que poco a poco nos vayan aproximando a la complejidad del modelo. La gama mínima de elementos y relaciones que permita reproducir la Referencia Histórica, será la que forme la estructura básica del sistema. Una vez conocidas globalmente las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, se pasa a la representación gráfica de las mismas. En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

Esas flechas van acompañadas de un signo (+ o -) que indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Un signo "+" quiere decir que un cambio en la variable origen de la flecha producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino. El signo "-" simboliza que el efecto producido será en sentido contrario.

Así cuando **un incremento de A, produce un incremento de B, o bien una disminución de A provoca una disminución de B, tendremos una relación positiva,** lo representamos:



Y cuando un incremento de A, produce una disminución de B, o bien una disminución de A provoca un aumento de B, tendremos una relación negativa, lo representamos:



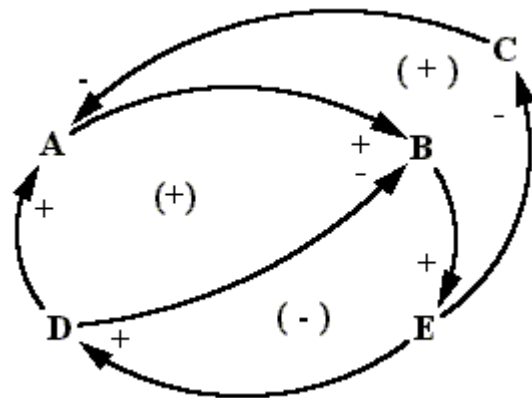
1.6. Retroalimentación

¿Qué es un bucle?

Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, retroalimentación o feedback. Cuando abrimos el grifo para llenar un vaso de agua aumentamos la cantidad de agua en el vaso, pero también la cantidad de agua que va habiendo en el vaso modifica la velocidad en la que nosotros llenamos el vaso. Lo llenamos más despacio cuando está casi lleno; y por lo tanto existe un bucle.

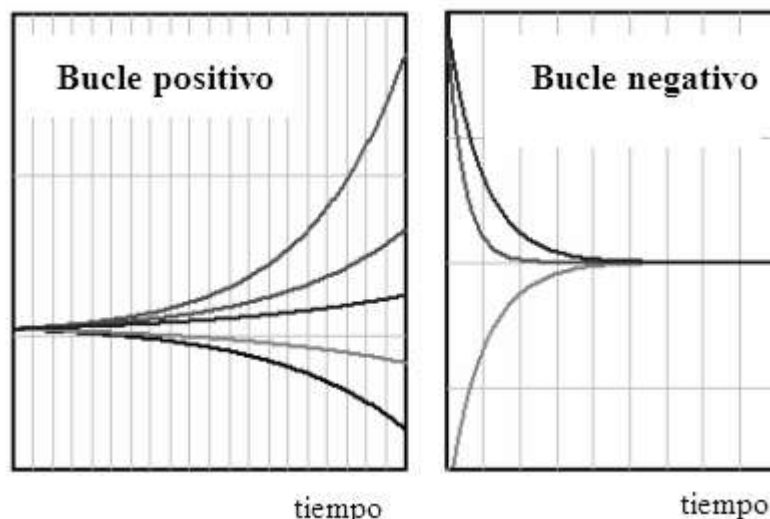
El sistema formado por nosotros, el grifo y el vaso de agua es un bucle negativo porque está dirigido a conseguir un objetivo, llenar el vaso sin que se exceda. Los bucles negativos actúan como elementos estabilizadores de los sistemas al dirigirlos hacia un objetivo determinado, igual que el termostato de la calefacción la dirige hacia la temperatura seleccionada.

En la construcción de un modelo aparecen bucles. Por ejemplo los formados por ABEDA, DBED y también ABECA.



Los bucles se definen como "positivos" cuando el número de relaciones "negativas" es par, y "negativos" si es impar (igual que al multiplicar: $-a \times b = -c$).

Los bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida.



En la realidad los sistemas contienen ambos tipos de bucles y el comportamiento final dependerá de cual es el dominante en un momento determinado.

Cuando un país adquiere más armamento hace que sus vecinos se sientan amenazados y les induce a adquirir ellos también más armamento. Este es un bucle positivo, también llamado un círculo vicioso que crece sobre sí mismo más y más. Los bucles positivos causan crecimiento, evolución y también el colapso de los sistemas.

Naturalmente los sistemas socioeconómicos y ecológicos están formados por cientos de bucles positivos y negativos interconectados, y su comportamiento final no es evidente.

El concepto de bucle es muy útil porque nos permite partir desde la estructura del sistema que analizamos y llegar hasta su comportamiento dinámico. Si un sistema oscila persistentemente, o se halla en equilibrio, o decae con rapidez, podemos identificar las razones estructurales y decidir como modificar los bucles causales que lo van a alterar. La aplicación de esta forma de actuar se extiende desde el control de un proceso industrial, al seguimiento de la diabetes o el cáncer, variaciones de los precios de las materias primas y el crecimiento económico.

Pero la utilidad más importante de esta concepción es comprender **como la estructura de los sistemas provoca su comportamiento**. En un mismo mercado, en un mismo año, varias empresas que ofrecen el mismo producto presentan resultados económicos muy diferentes. Los gerentes menos competentes argumentan múltiples causas ajenas a ellos: los costes laborales, la competencia, los hábitos de los clientes, ... cuando en realidad deberían de estudiar porqué los sistemas que ellos controlan (sus empresas) tienen una estructura menos competitiva que aquellos otros que han presentado mejores resultados.

El país A percibe que la carrera de armamentos fue causada por el país B y viceversa. Pero en realidad también puede afirmarse que el país A ha provocado su rearme al adquirir armas, que motivan el rearme del país B. De forma similar el crecimiento de los precios del crudo se debe tanto a la concentración de la producción en unos pocos países como en el excesivo aumento del consumo en los países desarrollados, de un producto que en definitiva es limitativo al no ser renovable.

Identificar que la causa de los problemas no es algo externo al sistema no suele ser muy popular, ya que es más fácil achacarlo a factores externos e incontrolables por nosotros. Lo que ocurre es que si el mismo que expone el argumento de la causa externa cree verdaderamente en lo que dice, no podrá identificar la verdadera causa del problema - dentro del sistema - y obtener los resultados deseados. Si el sistema tiene los elementos que causan el problema también tiene la forma en la que se puede solucionar.

Así por ejemplo, la curva de vida de un producto puede decirse que se halla regulada inicialmente por un bucle positivo que permite un rápido crecimiento exponencial, al que sigue una fase de estabilidad dominada por un bucle negativo en el que interviene la saturación del mercado, y por último una caída, que suele ser también brusca, debido a la aparición de productos substitutivos de rápido crecimiento.

Por último, señalar que **el diagrama causal es de gran importancia para la explicación del modelo final al usuario**, si este no está familiarizado con esta técnica lo cual suele ser usual.

1.7. El elemento limitativo

El elemento limitativo es aquel elemento del sistema que ahora mismo limita el crecimiento del sistema. Es único en cada momento, pero a lo largo del tiempo diferentes elementos del sistema pueden actuar como elementos limitativos.

El maíz no puede crecer sin fosfatos, no importa cuanto nitrógeno añadamos a la tierra. Aunque este concepto es sencillamente elemental muchas veces se le ignora. Los agrónomos asumen que ellos conocen como deben de fertilizar el suelo ya que conocen los 20 principales elementos de los que se nutren las plantas, pero ¿cuantos elementos no conocen?. En muchos casos la atención se concentra en los elementos más voluminosos, pero difícilmente en el verdaderamente importante: el elemento limitativo.

La comprensión de la realidad proviene no sólo de percibir que el elemento limitativo es esencial, sino también de entender que los cambios también modifican los elementos que forman el sistema. La relación entre una planta en crecimiento y el suelo, y entre el crecimiento económico y los recursos que lo sustentan es dinámica y en cambio permanente. Allí donde un elemento deja de ser limitativo se produce el crecimiento y cambia la proporción entre los elementos hasta que otro de ellos se convierte en limitativo. Modificar la atención hacia el próximo elemento limitativo es avanzar en la comprensión real y controlar con eficacia la evolución de los sistemas.

El elemento limitativo es dinámico, en el crecimiento de una planta el elemento limitativo puede ser hoy la escasez de agua, y mañana una vez resuelta, será la falta de nutrientes, y ... etc. Siempre existe un único elemento limitativo.

1.8. Los elementos clave

Del inglés "leverage-points" : puntos de palanca, de fuerza, de presión, o de influencia. **En un sistema existen varios elementos clave, y no suelen variar a lo largo del tiempo.** Podemos utilizarlos para conseguir grandes cambios en el sistema con un esfuerzo mínimo. Pueden desencadenar un comportamiento violento del sistema.

Cada sistema tiene varios elementos clave, no son evidentes ni fáciles de identificar.

Para una persona normal los elementos clave serán los relacionados con su salud, con su familia, y (ojala) su educación. **Son los motores profundos de sus actos en el día a día.**

Por otra parte hay que tener en cuenta que **estos elementos clave pueden desencadenar comportamientos violentos**. En ocasiones las personas toleran muchas humillaciones, tanto en privado como en público, pero una mención peyorativa a sus progenitores puede ser fatal. Ese es pues un elemento clave. Pueden ser físicos (podemos meterle el dedo en la oreja a una persona sin que se enfade en exceso, pero no en el ojo) o psicológicos (tras un leve accidente de coche algunas personas reaccionan con extrema violencia).

En ocasiones para lograr un objetivo se realizan grandes esfuerzos en la dirección equivocada. En especial en el ámbito personal, social, empresarial y ecológico. Al objeto de evitar esta situación, Jay Forrester propone unas determinadas directrices a seguir en el ámbito empresarial, que son fácilmente extrapolables a otros ámbitos.

1) Sea cual sea el problema que se ha presentado es necesario conocer como es el sistema por dentro, como toma las decisiones, como opera. No dejarse llevar por las indicaciones que apuntan hacia aspectos coyunturales o superficiales, por muy visibles que sean.

2) A menudo un pequeño cambio, en una o unas pocas políticas puede solucionar el problema fácil y definitivamente.

3) Los elementos clave suelen ser descartados o no relacionados con el problema que analizamos. Son raramente objeto de atención o discusión, y cuando se le identifica, nadie puede creer que se halle relacionado con el problema.

4) Si ocurre que un elemento clave ha sido identificado previamente por alguien, no es extraño que se haya actuado sobre el en la dirección equivocada, intensificando gravemente el problema.

Los modelos nos permiten realizar estudios de sensibilidad y ver qué elementos del sistema pueden influir decisivamente en su comportamiento, es decir nos identifican los elementos clave. Pero eso no significa que no podamos avanzar sin su ayuda.

La peculiaridad de los elementos clave es que se hallan situados en puntos o aspectos inesperados que incitan a actuaciones contraproducentes. Es difícil de ilustrar con un diagrama causal. Parece deberse este fenómeno más que a una estructura específica, a la dificultad de interpretar el comportamiento de un sistema que tenemos ya definido, ya que el efecto de las interrelaciones supera nuestra capacidad de análisis (esto suele significar que el sistema posee más de cuatro bucles).

Esta incapacidad para percibir e interpretar cómo es el sistema y cuales son sus elementos clave se traduce en un **comportamiento contraintuitivo** del mismo, de forma que nuestras acciones se realizan en el sentido equivocado. Veamos ejemplos.

a) Una empresa de fabricación de motores tenía una pérdida constante de cuota de mercado. Cada cuatro años se producía una gran pérdida de clientes que difícilmente regresaban después. El problema radicaba según los análisis de la empresa en su política de

stocks de productos acabados. La empresa era reacia a mantener en el almacén a un gran número de motores en espera de que llegasen pedidos para ellos, debido a su alto coste financiero. La política era mantener bajos niveles de productos acabados. Esta política ahorra gran cantidad de dinero. Pero en cada fase alcista del ciclo económico, la empresa se hallaba saturada de pedidos que había de servir con grandes retrasos. Los clientes en ese momento se iban a la competencia que les suministraba motores más rápidamente. La firma respondía a la pérdida de ventas con un programa de medidas para rebajar costes, incluyendo nuevas disminuciones en el nivel de productos acabados.

b) Existe una progresiva desaparición de granjas lecheras. Se proponen medidas como reducciones de impuestos, préstamos a bajo interés, y subsidios. Si alguien quiere crear una pequeña granja no será por falta de estímulos. No obstante la principal causa del cierre de granjas es la expansión de las granjas. Los ganaderos tratan de incrementar sus ingresos produciendo más cantidad de leche. Cuando todos los ganaderos hacen lo mismo el mercado se satura de leche, y el precio cae (ya que no hay un precio de intervención o garantía, si fuese así se estaría pasando la carga al factor externo). Cuando los precios han bajado cada ganadero ha de producir aún más leche para ¡mantener sus ingresos!. Unos lo consiguen y otros no, y de éstos últimos los que menos pueden soportarlo abandonan la granja.

c) Uno de los elementos clave en cualquier economía es la vida útil del capital instalado. La mejor forma de estimular el crecimiento sostenido de la economía es conseguir que esta vida útil sea lo más dilatada posible. No obstante, se practica una política de obsolescencia acelerada o se prima la sustitución de equipos dirigidos hacia la consecución del crecimiento económico a corto plazo.

d) La forma de revitalizar la economía de una ciudad y reducir el problema de los barrios deprimidos habitados por personas sin recursos económicos no es construir más viviendas protegidas en las ciudades. La solución es demoler las fábricas y viviendas abandonadas, y crear espacios libres para el establecimiento de nuevos negocios, para que el equilibrio entre puestos de trabajo y población se vuelva a restablecer.

Lo ideal sería poder proporcionar unas sencillas reglas para encontrar los elementos clave y para conocer la dirección en la que se debe actuar.

Encontrar estos puntos por la simple observación del sistema no es siempre posible, y es en este campo donde los modelos de simulación en ordenador nos muestran toda su utilidad.

1.9. Tipos de Sistemas

La estructura interna determina el comportamiento de los sistemas, y así podemos establecer una tipología de la estructura de los sistemas atendiendo al comportamiento que nos muestran.

Esto es especialmente útil ya que nos permite avanzar en nuestro análisis en una dirección perfectamente conocida, ya que buscaremos aquella estructura-tipo que nos provoca el comportamiento observado.

Sistemas estables e inestables

Un sistema es estable cuando se halla formado o dominado por un bucle negativo, y es inestable cuando el bucle es positivo. Es decir, cuando en el bucle dominante haya un número impar de relaciones negativas, tendremos un bucle negativo, y el sistema será estable. La estructura básica de los sistemas estables está formada por un **Estado Deseado** y por un **Estado Real** del sistema, estos dos estados se comparan (**Diferencia**), y en base a este valor el sistema toma una **Acción** para igualar el Estado Real al Deseado.

En este caso importan relativamente poco los parámetros iniciales, ya que el sistema actuará en base a las condiciones ambientales que encuentre, de forma que si tiene hambre buscará comida, y una vez lograda se planteará un nuevo objetivo, y así sucesivamente.



Es importante ver como en los sistemas estables la estructura que genera el comportamiento es siempre el mismo: hay un número de relaciones negativas impar, y el bucle es negativo.

Esto significa que el sistema compara permanentemente su estado real con el estado deseado, y cuando existe una diferencia, hace acciones en el sentido de acercar su estado real al deseado. Una vez lograda esta igualdad cualquier alteración de su estado real se traducirá en una acción, proporcional a la diferencia producida, para retomar el estado deseado.

Este es el estado en el que solemos hallar los sistemas. Cuando nos acercamos a ellos, ya han hallado una posición de estabilidad. Si un sistema es inestable difícilmente lo podremos estudiar ya que se habrá deshecho antes de que podamos analizarlo. No obstante si estamos diseñando un sistema totalmente nuevo, sí que deberemos preocuparnos de conocer si va a ser estable. De igual manera si estamos diseñando un cambio en un sistema estable, deberemos de vigilar que no lo transformemos en uno inestable.

Ejemplos de sistemas que no se hallan en una situación óptima pero que perduran a lo largo de los años, es decir, son estables y los podemos hallar en muchos ámbitos: entre el Gobierno, los trabajadores y los empresarios producen la inflación que les perjudica a todos, y también, los países ricos y los pobres comercian sobre materias primas, cada uno

de ellos con un objetivo político y económico diferente, aunque el resultado es una permanente inestabilidad de los precios.

Supongamos que el Gobierno interviene en el sistema con una política decidida que sitúa el estado del sistema donde él desea. Esto provocará grandes discrepancias entre los otros elementos del sistema, los cuales redoblarán sus esfuerzos hasta que, si tienen éxito, el sistema se sitúe muy cerca de la posición inicial, pero después de que cada elemento ha realizado un importante esfuerzo. Piense por ejemplo los esfuerzos que se han realizado en Barcelona para mejorar el tráfico en los últimos 10 años, el resultado ha sido que el tráfico mejoró tras la apertura de las Rondas durante unos años, pero actualmente vuelven a existir los mismos problemas que antes, eso sí, implicando a muchos más coches.

La forma más efectiva de actuar contra la resistencia natural del sistema es persuadir o conseguir una modificación de los objetivos de cada uno de los elementos, hacia el objetivo que nosotros deseamos dirigir el sistema. En este caso los esfuerzos de todos los elementos se dirigirán hacia el mismo objetivo y el esfuerzo será mínimo para todos ya que no deberán hacer frente a acciones en sentido contrario. Cuando se puede conseguir esto los resultados son espectaculares. Los ejemplos más usuales de esto lo hallamos en las movilizaciones de las economías en caso de guerra, o la recuperación después de las guerras, o tras los desastres naturales.

Un ejemplo no tan bélico lo hallamos en la política de natalidad de Suecia en la década de los 30, cuando la tasa de natalidad cayó por debajo de la tasa de sustitución natural. El Gobierno valoró sus objetivos y los de la población cuidadosamente y encontró que podía existir un acuerdo sobre el principio de que lo importante no es el tamaño de la población sino su calidad. Cada hijo ha de ser deseado y querido, preferiblemente en una familia fuerte, estable, y con acceso a una excelente educación y cuidados sanitarios. El Gobierno y los ciudadanos suecos estaban de acuerdo con esta filosofía. Las políticas que se implantaron incluían anticonceptivos y aborto, educación sexual y familiar, facilidad de divorciarse, cuidados ginecológicos gratuitos, ayudas a las familias con niños no con dinero sino con juguetes, ropas, etc., y un aumento de las inversiones en educación y sanidad. Algunas de estas políticas parecían extrañas en un país con una tasa de natalidad tan baja, pero fueron implementadas, y desde entonces la tasa de natalidad ha aumentado, disminuido y vuelto a aumentar.

Existen sistemas que carecen de realimentación, y los modelos que construyamos han de ponerlo eso mismo de manifiesto. Por ejemplo: conocidos los parámetros iniciales de una almeja (tipo, peso, ...) y si controlamos las condiciones ambientales que va a tener podemos saber con seguridad su peso al cabo de 6 meses. Hay una "función de transferencia" entre los valores iniciales y los finales, que hemos de encontrar, pero eso es todo.

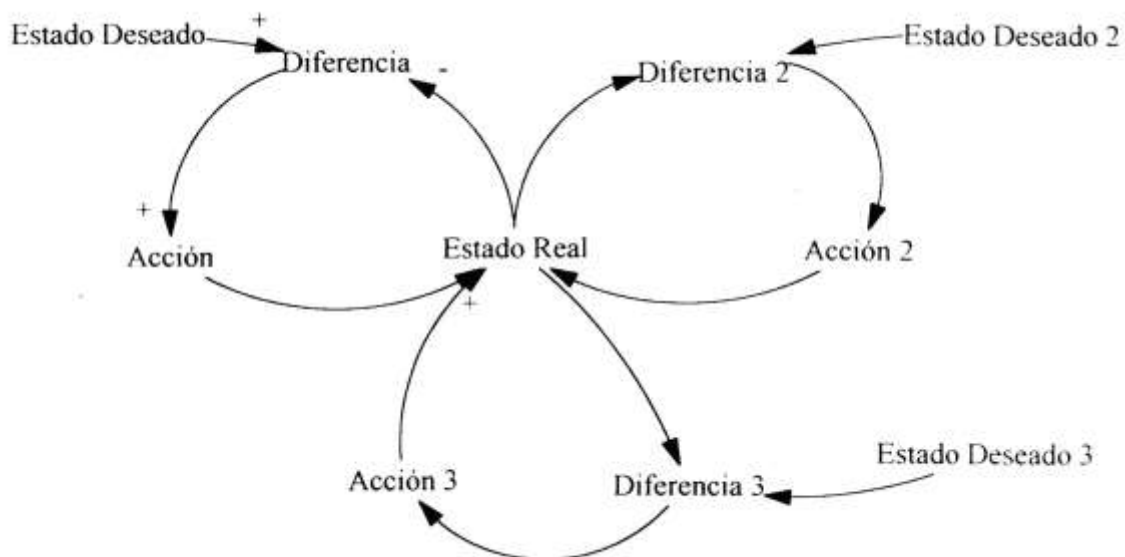
Otros ejemplos: Dios es alguien que consigue al instante que su estado real coincida con su estado deseado. Un suicida es aquel que percibe que nunca conseguirá que el estado real coincida con el estado deseado, y por lo tanto cualquier acción carece de utilidad.

Nota: Cuanto mas inteligente sea un sistema (más claros tenga sus objetivos) más estable será. Aplicable a las personas.

Sistemas hiperestables

Cuando un sistema está formado por múltiples bucles negativos, cualquier acción que intenta modificar un elemento no se ve contrarrestado sólo por el bucle en el que se halla dicho elemento, sino por todo el conjunto de bucles negativos que actúan en su apoyo, super-estabilizando el sistema.

Un análisis del sistema nos puede ayudar. Cualquier sistema complejo, sea social o ecológico, está formado por cientos de elementos. Cada elemento se relaciona solo con un número limitado de variables que son importantes para él, y que permanentemente compara con sus objetivos. Si existe una discrepancia entre el estado de estas variables y sus objetivos, el elemento actúa de una determinada forma para modificar el sistema. Cuanto mayor es esta discrepancia mayor es la actuación que lleva a cabo el elemento en el sistema. La combinación de todas las acciones de todos los elementos que tratan de ajustar el sistema a sus objetivos conduce al sistema a una posición que no es la que ninguno de ellos quisiera, pero es aquella en la que todos los elementos encuentran una menor desviación entre los parámetros significativos para ellos y sus objetivos.



¿Por qué muchos problemas persisten a pesar de los continuos esfuerzos para solucionarlos?.

Hemos visto que los sistemas basan su estabilidad sobre las acciones de todos sus elementos que persiguen unos objetivos diferentes, tratando de que el resto del sistema sea lo más próximo a sus deseos. A partir de este momento, si un elemento del sistema o una acción exterior intentan modificar su estabilidad, los restantes elementos realizarán acciones para volver a la situación inicial, neutralizando por consiguiente la acción que alteraba su estabilidad.

La respuesta es por lo tanto sencilla, los sistemas se resisten a cualquier cambio que intentemos porque su configuración actual es el resultado de muchos intentos anteriores

como el nuestro que no tuvieron éxito, ya que si no, el sistema sería hoy diferente, y a una estructura interna que le hace estable, y capaz de neutralizar los cambios del entorno, como el que nosotros realizamos con nuestra acción.

Esto lo consigue el sistema como un todo ajustando con rapidez las relaciones internas de sus elementos de forma tal que cada uno sigue persiguiendo su propio objetivo, y en conjunto neutralizan la acción que les llega del exterior.

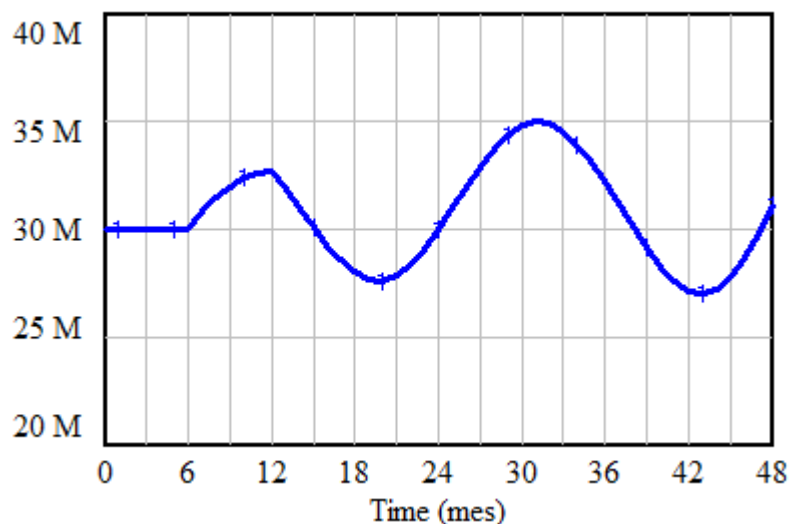
Sistemas oscilantes

Veremos más adelante en los casos prácticos como para que un sistema muestre un comportamiento oscilante es necesario que tenga al menos dos "niveles", que son elementos del sistema en los que se producen acumulaciones.

En ocasiones se observa un comportamiento oscilante como algo natural en todos los procesos. Esto lo hemos heredado de nuestra tradición agrícola en la que el verano sigue a la primavera, el calor al frío, la noche al día, y siempre vuelve al estado inicial. En conclusión si el estado actual del sistema no nos gusta o no es el correcto, no es necesario hacer nada ya que todo parece ser cíclico y volverá a la normalidad por si solo.

No obstante es importante apreciar que el hecho de que hasta hoy nuestro sistema haya tenido un comportamiento cíclico no nos garantiza que en el futuro lo siga siendo.

Será del conocimiento de la estructura del sistema de donde podremos asegurar que no es necesaria ninguna acción correctora del sistema, o bien en donde encontraremos la forma de actuar más eficazmente.

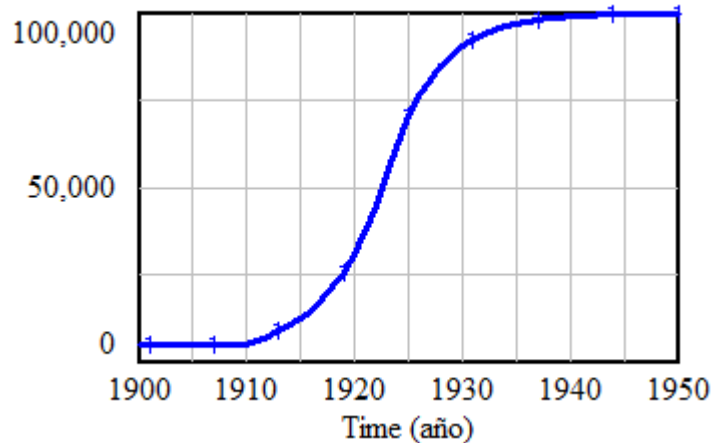


Sistemas sigmoidales

Son sistemas en los cuales existe un bucle positivo que actúa en un principio como dominante y hace arrancar el sistema exponencialmente, y después el control del sistema lo toma un bucle negativo que anula los efectos del anterior y proporciona estabilidad al sistema, situándolo en un valor asintóticamente.

Es importante percibir que en este caso siempre estamos con el mismo sistema, el cual en un período se ve dominado por una parte del mismo, y después por la otra. Por lo tanto para regular su comportamiento deberemos encontrar la forma de promover o anular

la parte del sistema que nos interesa. También hemos de tener claro que a medio plazo será el bucle negativo el que estabilice el sistema en el valor que tenga como objetivo. Sólo podemos regular el plazo y la forma en la que el sistema logrará alcanzar su objetivo.



1.10. Estructuras genéricas

En los sistemas complejos, podemos observar la misma estructura: Estado Deseado - Estado Real - Diferencia - Acción, una y otra vez en ámbitos muy diferentes. Sobre esta estructura base se ha identificado unos patrones de comportamiento genéricos que suelen aparecer con independencia del objeto de estudio. **Existe siempre la misma estructura "inteligente" de voluntad de aproximación del Estado Real del sistema al Estado Deseado.**

Resistencia al cambio

Podemos considerar que los sistemas que observamos por primera vez son estables y ya llevan así un cierto tiempo antes de nuestra llegada. Esta afirmación puede parecer exagerada o demasiado contundente pero si un sistema fuese inestable lo normal es que ya se hubiese destruido antes de nuestra llegada. Por ejemplo cuando vemos a alguien en bicicleta lo normal es que sepa ir en bicicleta, porque sino ya se habría caído antes de nuestra llegada. Esto quiere decir que el sistema tiene en su estructura la capacidad de rechazar o anular los cambios si lo desea. Así podemos considerar que el ciclista es capaz de soportar un poco de viento lateral o las imperfecciones de la carretera, equilibrando la bicicleta cuando es necesario.

Estos sistemas tienen su actual estructura como consecuencia de muchos intentos de cambio previos, unos con éxito y otros sin él. Los cambios que han tenido éxito han modificado el sistema hasta darle su estado actual. Los intentos de cambio que no tuvieron éxito no han dejado huella visible. Ante un nuevo cambio la respuesta por parte del sistema es habitualmente de rechazo. Esto es normal si el cambio representa una pérdida para el sistema, pero el rechazo también se presenta cuando implica una mejora que el sistema, lo cual no es lógico. Para analizar los motivos del rechazo al cambio podemos plantear y estudiar dos alternativas.

1) **sistema quemado:** El sistema puede estar habituado a recibir muchos cambios, y ha aprendido que en su inmensa mayoría los cambios son negativos, es decir que perjudican el Estado Real. Por lo tanto cuando llega la noticia de un nuevo Cambio el sistema espera lo peor, y lo rechaza "sin abrir el sobre".

2) **sistema perezoso:** Aunque los Cambios sean positivos para el sistema, suelen requerir de entrada un cierto esfuerzo inicial para implantarlo, y esto el sistema lo valora negativamente. Es decir, la mejora del Estado Real se produce con un cierto retraso en

relación a los efectos negativos que son percibidos de inmediato. Y la respuesta de sistema se produce en función de los primeros efectos que percibe, que son los negativos.

Estos motivos de rechazo los hallamos asociados al parámetro de edad del sistema.

Un **sistema joven** no suele presentar Resistencia al Cambio por hallarse quemado sino por pereza. Este sistema no ha realizado aún suficientes acciones correctoras de cambios anteriores, y por lo tanto cualquier cambio no se enfrenta en principio a un rechazo inicial. En cambio un **sistema viejo** podemos estar seguros de que ya ha sufrido muchos cambios que han empeorado el Estado Real del sistema y ha tenido que realizar muchas acciones para volver a situar el Estado Real en su valor previo, por ello ha tenido un aprendizaje que le lleva a rechazar un nuevo cambio. Por ello podemos comprender que el sistema esté quemado en mayor o menor grado.

Antes de proseguir es importante señalar que aquí se trata de explicar y comprender la estructura básica que se encuentra tras un rechazo al cambio, no se trata en absoluto de valorar de forma general si este proceso es bueno o malo para el sistema.

Erosión de objetivos

Realizar la "Acción" para acercar el Estado Real al Estado Deseado exige siempre un esfuerzo. Y este esfuerzo requiere consumo de tiempo, energía, dinero, etc.

Es normal la aparición de una "contaminación" desde el Estado Real al Estado Deseado, es decir, **el sistema intenta evitar el consumo de energía que le requiere hacer la Acción, y se replantea en primera instancia el Estado Deseado, ya que si éste coincidiese con el Estado Real, no necesitaría hacer ninguna Acción.** Podemos ver esta "contaminación" en el esquema.



Si se produce esta contaminación, el Estado Deseado se modifica hasta igualar el valor que tiene el Estado Real, la Diferencia entonces es cero, y por lo tanto no se hace ninguna Acción. Con lo cual el sistema no modifica su Estado Real.

Solo hay dos formas de evitar este proceso:

1.- Buscar un sistema "héroe". Es decir, convencer al sistema que no importa el esfuerzo que le requiera conseguir el Estado Deseado, que lo ha de conseguir. (Puedo indicar al lector que esta forma de evitar el proceso de "contaminación" no suele dar resultados en el siglo XXI).

2.- Conseguir un "elemento externo" que sirva de referencia o ancla al Estado Deseado, de forma que éste no se pueda modificar por presiones del sistema, y el sistema no tenga capacidad de modificar el "elemento externo".

En España, cuando un estudiante de secundaria se plantea seguir estudios en las universidades públicas ya conoce con bastante aproximación la calificación media que debe obtener en los cursos de secundaria y los exámenes de acceso. Su Estado Deseado es esa "nota media" de acceso. No es negociable. Su Estado Real suele ser los primeros años de secundaria inferior a la nota de acceso, por lo tanto percibe una Diferencia, que le lleva a realizar una Acción (estudiar más) para lograr que su Estado Real alcance el Estado Deseado. Si el estudiante tiene claro lo que desea estudiar, no es necesario que la familia del estudiante le presione en absoluto. El sistema no se "contamina" porque el Estado Deseado ("nota media de acceso") no es modificable.

Después, cuando comienza sus estudios, si le preguntas, te dice que quiere ser un profesional excelente, y que obtendrá de "media" en sus estudios en la Universidad un 10. Tras los primeros exámenes llegan los primeros suspensos, que le hacen: 1) estudiar más de lo previsto, y 2) modificar ("contaminar") a la baja su Estado Deseado, desde el 10 deseado hasta el mínimo no negociable de 5.

La estructura que ocasiona este comportamiento se basa en que existe en el sistema un determinado objetivo (p.ej.: peso deseado) que es comparado con la realidad (peso real), y la discrepancia entre ambos valores mueve a realizar alguna acción, proporcional a la desviación. Esto es lo usual visto hasta ahora como un bucle negativo que tiende a aproximar al sistema a su objetivo de una forma estable ante cualquier discrepancia. No obstante, en ocasiones el estado del sistema llega a condicionar o modificar el estado deseado, bien porque el estado real es muy persistente en el tiempo o bien porque realizar la acción implica un gran esfuerzo, o por otras razones, lo cierto es que se produce una modificación del objetivo inicial aproximándolo al estado real del sistema.



Esto alivia la necesidad de realizar acciones ya que la discrepancia se ha reducido, no porque el sistema se ha aproximado al objetivo, sino porque el objetivo se ha aproximado al estado real. La consecuencia es que se realiza una acción menor.

En el caso del peso de una persona obesa esto se produce cuando la persona acepta que el peso objetivo era demasiado ambicioso, y que es mejor un objetivo más realista (un peso superior). Este argumento le sirve de coartada para seguir una dieta menos estricta. Como observa que no disminuye de peso se vuelve a plantear el objetivo último ... y así sucesivamente hasta que llega a plantearse que realmente el peso real es el mejor, con lo que no ha de seguir ninguna dieta (que le implicaba sacrificio).

Ejemplos sobre esta patología no faltan en la contaminación ambiental, la seguridad ciudadana, los accidentes de tráfico, etc. En todos ellos los bajos resultados se transforman en estándar ante el esfuerzo que implica hacer algo efectivo.

Un sistema que basa sus objetivos en la realidad, y únicamente pretende mejorarla está abocado a una tendencia permanente a los bajos resultados. Un sistema que obtiene sus objetivos de una base externa al sistema es inmune a este tipo de procesos.

Puede parecer una paradoja pero si un estudiante tiene claro que debe aprobar todas las asignaturas en julio porque su padre se lo ha puesto como objetivo inamovible, por las razones familiares que sean, lo tiene más fácil que si es él mismo el que ha tomado esa decisión. Si ha sido una decisión autónoma puede ser reconsiderada ante la dificultad de algunas asignaturas, y aceptar dejar alguna para más adelante, lo que implica estudiar menos. No obstante si el objetivo es innegociable, no hay este riesgo, hay que estudiar lo que haga falta para conseguir el objetivo.

En Economía no faltan ejemplos. En España nadie recuerda tasas de inflación tan bajas como las actuales. Cualquier Gobierno se sentiría satisfecho y renunciaría a reducirla aún más ya que esto implica tomar medidas impopulares (congelación salarial a los funcionarios). Si el objetivo de inflación estuviese en manos del Gobierno, las acciones correctivas habrían sido menores durante los años pasados y el presente, ya que implican menos gasto público y pérdida de votos. No obstante el objetivo de inflación vino fijado en su día por la necesidad de entrar en el EURO y por lo tanto era un elemento externo al Gobierno, el cual no escatimó esfuerzos por impopulares que fuesen, ya que existía una meta fijada, concretada en una fecha, y era innegociable.

El obvio antídoto para esta patología reside en fijar al sistema objetivos absolutos, no basados en la situación actual ni en la pasada, y tomar acciones correctivas en función a la diferencia existente.

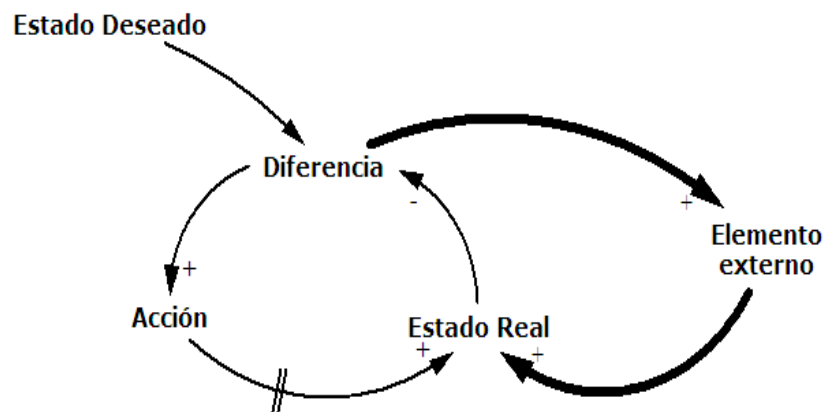
El objetivo absoluto pierde credibilidad tanto si se modifica al alza como a la baja, y la credibilidad no se recupera. Esto se observa a veces cuando el objetivo se modifica al alza ya que los resultados han superado el objetivo inicial. En este caso cuando los resultados de sitúen por debajo del objetivo inicial todos esperarán que vuelva a ser modificado, esta vez a la baja.

Adicción

En ocasiones el Estado Real del sistema se iguala al Estado Deseado, pero no como consecuencia de la Acción sino debido a una ayuda procedente desde fuera del sistema. Entendemos por Adicción, las situaciones en las que el elemento externo es un elemento físico (calculadora, gafas, tabaco, auto,...) que siempre tiene y va a tener una actitud pasiva ya que no tiene voluntad propia, a diferencia de otros patrones que veremos posteriormente.

El efecto que provoca el Elemento externo es que el Estado Real se iguala al Estado Deseado, con lo que la Diferencia es cero, y por lo tanto cualquier Acción del sistema es innecesaria.

Esto se puede producir porque existe un apreciable retraso entre el momento en el que se realiza la Acción y el momento en el que se observa la mejora del Estado Real. En estas situaciones es normal que el sistema acuda a un Elemento externo que le permita lograr los mismos resultados de una forma mucho más rápida.



Cuando el efecto inmediato o a corto plazo de la ayuda del Elemento externo desaparece, el problema, o sea la discrepancia entre el estado real y el deseado, reaparece y con frecuencia con mayor intensidad, así que el sistema vuelve a tomar alguna acción que aparentemente le solucione el problema cada vez que el efecto de la anterior empieza a desaparecer.

Como ejemplos tenemos el consumo de alcohol, tabaco, cafeína,... son ejemplos obvios de productos adictivos. Un ejemplo menos obvio es el uso de pesticidas, que eliminan junto a la plaga actual los mecanismos de control naturales, así que la plaga volverá a aparecer en cuanto disminuya el efecto del plaguicida, pero esta vez sin ningún freno natural.

El planteamiento de políticas en los casos de un sistema adictivo es difícil ya que las acciones tomadas ofrecen resultados aparentes a corto plazo, pero una vez iniciado el proceso es muy difícil detenerlo. Evidentemente el mejor procedimiento es estar alerta contra este tipo de procesos, es decir ser prudente al uso de acciones que atacan los síntomas, pero empeoran el problema al evitarlo. Una vez iniciado el proceso adictivo el sistema debe para tener dificultades a corto plazo si planea romper este proceso, tanto dolor físico para el que toma una droga adictiva, o el aumento de plagas y disminución de la calidad de los alimentos cuando vuelvan a aparecer los depredadores naturales.

En ocasiones se recomienda un proceso de retorno gradual. Pero siempre es menos costoso evitar que el proceso adictivo se inicie que intentar salirse de él después. Salir de una adicción depende únicamente de lograr que el sistema deje de cerrar la Diferencia en base al Elemento externo. Sin duda esto es posible, aunque difícil, pero el motor del cambio se halla en los elementos del propio sistema.

Paso de la carga al factor externo

En esta ocasión el sistema recibe ayuda para lograr su Estado Deseado de otro sistema externo a él. En unas ocasiones es el propio sistema el que solicita la ayuda a otro sistema afín al objeto de disminuir la intensidad de las propias acciones.

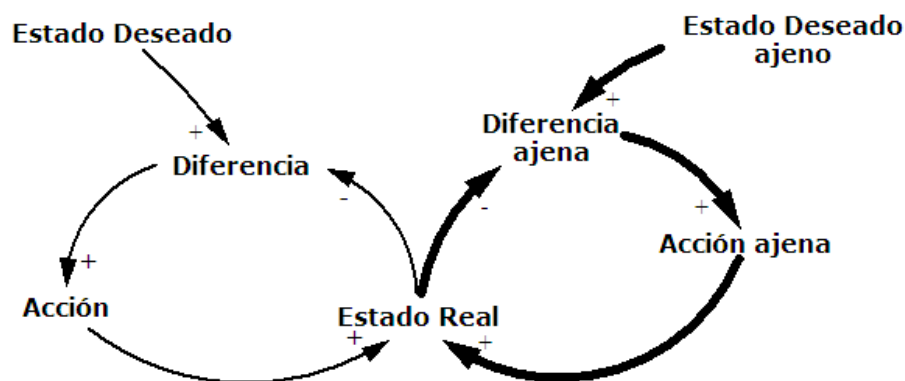
El resultado de esta ayuda es sencillo de percibir. El sistema propio estaba haciendo unas acciones para lograr igualar el Estado Real al Estado Deseado, y reducía paulatinamente la Diferencia. Ahora con la ayuda externa esta reducción es mucho más rápida y habitualmente es igual a cero al cabo de unos pocos periodos, con lo que el sistema se halla en una situación en la que el Estado Deseado y el Estado Real coinciden.

Pero con este proceso los mecanismos del sistema propio que intentaban corregir la posición del sistema se debilitan. Cuando el sistema se desvía de la posición deseada el factor externo redobra su potencia, lo cual aún debilita más a los mecanismos originales. Finalmente el sistema original toma una posición de dependencia total del sistema externo ya que sus mecanismos correctivos originales han desaparecido por completo y en general de forma irreversible.

Ayudarse de un factor externo para situar el sistema en una posición deseada no es algo malo en principio. Es usualmente beneficioso y permite al sistema plantearse la consecución de mejores objetivos. Pero la dinámica del sistema puede ser problemática por dos razones: Primero, el sistema externo que interviene no suele percibir las consecuencias que su ayuda va a tener en los elementos del sistema propio, y en especial en aquellos mecanismos propios que intentaban hacer ese mismo esfuerzo. Segundo, el sistema que es ayudado hoy no se plantea que la ayuda es temporal y pierde el sentido del largo plazo por lo que se vuelve más vulnerable y dependiente del factor externo.

A diferencia de la Adicción aquí si que hemos de tener presente que la Acción del sistema externo puede desaparecer ya que tiene voluntad propia, y valorar los riesgos que esto entraña.

Podemos ver en el esquema siguiente como el Estado Real se aproxima al Estado Deseado en base a dos Acciones, que son la propia y la ajena.



No somos individuos aislados sino que vivimos en sociedad, y por lo tanto con relativa frecuencia se producen este tipo de situaciones. A nivel personal se producen cuando una institución, un amigo o un familiar nos ayudan en algún aspecto concreto. Por otra parte podemos hallar ejemplos en las empresas que pueden beneficiarse de ayudas públicas, de donaciones de fundaciones o bien de ONGs. Se trata de ayudas bienintencionadas que pretenden ayudar de forma desinteresada o con unos objetivos que

coinciden con los de la propia empresa. El problema puede surgir si se recortan las ayudas públicas ante la necesidad de equilibrar el presupuesto, lo cual antes o después va a suceder.

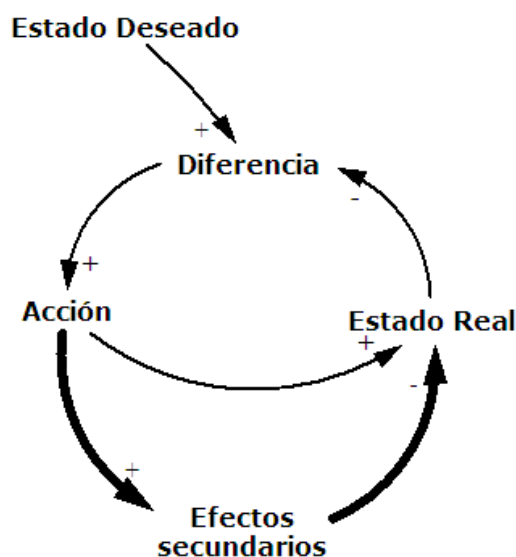
La retirada de la ayuda de un sistema que está siendo ayudado, sea el cuerpo humano, un determinado entorno con valores ecológicos, o una comunidad humana no suele ser fácil y en muchas ocasiones es sencillamente imposible. Este proceso de retirada de la ayuda sin deteriorar el sistema se ha de basar siempre en la identificación de los elementos internos del sistema que en su estado original se encargaban de corregir el problema, reforzar estos mecanismos, y a medida que empiecen a actuar ir retirando la ayuda.

Efectos a corto y largo plazo

Sin duda parece una maldición bíblica pero existe una contradicción permanente entre los efectos positivos de nuestras acciones, que actúan a corto plazo para solucionar un problema del sistema, y otros efectos que aparecen a largo plazo que anulan esos efectos positivos y en muchas ocasiones los sobrepasan empeorando el estado del sistema.

Podemos ver representado este comportamiento en la gráfica siguiente. Así de la Acción no sale únicamente el efecto que nosotros deseamos encaminado al Estado Real, sino que podemos imaginar una multitud de flechas saliendo de la Acción. La mayoría de esas flechas no tendrán relación alguna con el sistema ni a corto ni a largo plazo, pero es posible que alguna de estas flechas si que tenga relación con el sistema a largo plazo.

En un mundo de complejidad creciente es muy imposible establecer con seguridad que no van a aparecer efectos secundarios a las acciones que hoy realizamos. Podemos dar por hecho que cualquier acción va a tener múltiples e insospechadas repercusiones. Actuar con maldad sobre el débil, con la seguridad de que esto no va a tener ninguna repercusión, a largo plazo es absolutamente temerario en un mundo complejo que percibimos solo muy parcialmente.



1.11. Los modelos del mundo

Para la mayor parte de las personas, sobre todo para los ingenieros, los modelos del mundo se asocian con enormes ordenadores con ingentes cantidades de información sobre cualquier materia que podamos imaginar. Pero el primer modelo de simulación del mundo bien documentado era relativamente simple, fue publicado en 1971 por Jay Forrester. Desde entonces la proliferación de modelos del mundo ha sido enorme. Los modelos se han confeccionado en diferentes partes del mundo, usando diferentes técnicas, y con objetivos muy diversos. Con todo eso la realización de estos modelos se halla claramente limitada por la cantidad de información que sus creadores pueden incluir, y cada uno de estos modelos utiliza sólo una ínfima cantidad de la información que hay disponible sobre el mundo. La mayoría de ellos se hallan enfocados hacia los factores económicos, población y producción agrícola. Una minoría aborda los problemas ambientales y la utilización de los recursos naturales. Prácticamente ninguno suele hablar sobre guerra, política, nuevas ideas, o desastres naturales. La mayoría asume que la tecnología no cambia, o que cambia automáticamente, exponencialmente, y sin coste, para permitir producir más y más con un coste cada vez menor. Algunos modelos muestran el mundo como una simple unidad, como un todo continuo, otros lo dividen en 10 o 15 regiones, y otros llegan hasta el centenar de naciones. Algunos utilizan un horizonte temporal hasta el año 2100, y otros se limitan a unos pocos años de adelanto sobre el actual. Algunos, sobre todo los primeros, levantaron fuertes controversias, y otros han sido contruidos explícitamente para refutar las conclusiones de otros anteriores.

Vamos a ver algunas de las características de estos modelos del mundo que con frecuencia son mal comprendidas o interpretadas por un público que es o muy crédulo o muy escéptico sobre los modelos por ordenador.

1. Los modelos son muy diversos. Se han hecho por personas con claras creencias políticas y culturales, y todos suelen estar por ello bastante sesgados, pero en sentidos diferentes. No existe algo así como un modelo de socioeconomía, ecología o cualquier otro tema que sea "objetivo", es decir impersonal o neutral, y por ello sin influencia de los que han intervenido en su confección.

2. Los modelos, en especial los del mundo, son tremendamente complicados en los aspectos que abordan (detalladas estructuras por edad de la población, múltiples sectores económicos, complejos esquemas sobre el comercio, y amplias clasificaciones de las personas por su renta) y sorprendentemente simplistas en lo que omiten (armamentos, antigüedad de las infraestructuras, motivaciones, normas sociales, estructuras políticas, el origen y destino de los flujos de materias primas, etc.).

3. Un modelo es una lista de ecuaciones matemáticas que explícitamente recogen una visión del mundo, arropadas con parámetros estadísticos, todo ello lógicamente consistente, y capaz de producir frases como esta: " Si todas estas hipótesis son correctas, no hay otras que deban de considerarse, y se mantiene su validez en el futuro, entonces las consecuencias lógicas son que" (puede el lector tomar nota por si un día lo necesita).

La importancia de estos modelos radica tal vez no tanto en sí mismos como en que tras ellos hay un esfuerzo de personas de diferentes continentes e ideologías de interpretar el mundo desde un punto de vista diferente dadas las limitaciones de los instrumentos usuales de trabajo. Todos han tenido que observar el mundo como un todo cerrado así como las implicaciones a largo plazo de los lazos que unen población, capital y producción de bienes y servicios que unen a todas las naciones. Todos se hubieron de zambullir en las estadísticas globales y construir un modelo que capture la situación global con amplitud y relativa consistencia: cada comprador necesita un vendedor, cada nacimiento debe eventualmente ir ligado a una defunción, una vez que existe un determinado capital éste no puede cambiar su utilización de una fábrica de tractores a un hospital. Así, a pesar de diferencias en el énfasis de algunos temas y de determinados detalles, observando el mundo como un sistema cerrado en todos los modelos se obtienen unas conclusiones y sensaciones en común. Los mismos creadores de modelos, que generalmente son hostiles y críticos entre ellos, se han sorprendido de que sus conclusiones básicas son coincidentes.

Los puntos siguientes recogen estos puntos básicos.

1. No se conoce ninguna razón física o técnica por la que las necesidades físicas o técnicas no puedan ser cubiertas en un futuro razonablemente predecible. Estas necesidades no se hallan cubiertas ahora a causa de las estructuras políticas y sociales, valores, normas, y visiones del mundo, no por limitaciones físicas.

2. La población y el consumo de recursos físicos no puede crecer indefinidamente en la Tierra.

3. No existe, así de clara y simplemente, información completa sobre el grado en el que la Tierra puede absorber y satisfacer las necesidades de una población creciente, capital y los residuos que esta población puede generar. Hay una gran cantidad de información parcial, que los optimistas leen optimistamente y que los pesimistas leen pesimistamente.

4. La prolongación hacia el futuro de las políticas nacionales como hasta la fecha no nos aproxima al futuro deseable, donde las necesidades humanas se hallan mejor cubiertas. Lo que se produce es un incremento de la diferencia entre los ricos y los pobres, problemas con los recursos naturales disponibles y destrucción ambiental, y empeoramiento de las condiciones económicas.

5. A pesar de estas dificultades, las tendencias actuales no necesariamente se prolongan hacia el futuro. El mundo puede empezar un período de transición en el que se dirija hacia un futuro no sólo cuantitativamente sino cualitativamente diferente.

6. La naturaleza exacta de ese estado futuro, y el que sea mejor o peor que el estado actual, no se halla predeterminado. Pero es función de decisiones y cambios hechos (o no) ahora.

7. Cuando los problemas son obvios para todos, es demasiado tarde para hacer algo. Por ello las políticas para cambiar los procesos sociales deben implantarse mejor en las etapas previas ya que así tienen un mayor impacto con un mínimo consumo de recursos.

8. Aunque son de esperar progresos tecnológicos y sin duda (?) éstos serán beneficiosos, ningún cambio de componente estrictamente tecnológico conduce por sí solo hasta un futuro mejor. La reestructuración social, económica y política conduce a ese propósito de una forma más efectiva.

9. La interdependencia entre pueblos y naciones a través del tiempo y el espacio es mayor de lo comúnmente imaginado. Las acciones realizadas en una parte del mundo

pueden tener consecuencias a medio plazo que son imposibles de intuir y probablemente imposibles de predecir tal vez ni en parte con los modelos en ordenador.

10. Debido a estas interdependencias, simples actuaciones que pretenden conseguir un determinado efecto pueden ser totalmente contraproducentes. Las decisiones deben de ser tomadas dentro del más amplio contexto de análisis de las áreas del conocimiento posibles.

11. Los enfoques cooperativos para conseguir metas individuales o nacionales a menudo son más beneficiosas a medio plazo para todas las partes implicadas que aquellos otros enfoques o estrategias basadas en la confrontación.

12. Muchos planes, programas, y acuerdos, particularmente los que tienen un ámbito internacional se basan en suposiciones sobre el estado del mundo que son entre sí inconsistentes con la realidad física. Se dedica mucho tiempo y esfuerzo en diseñar y debatir políticas que son, de hecho, simplemente imposibles.

Para las personas que han dedicado tiempo y esfuerzo en la creación de estos modelos del mundo las conclusiones comunes no son después de todo sorprendentes. Han adquirido una visión intuitiva de cómo funciona el complejo sistema en el que vivimos. Y los puntos anteriores no son más que las claves de cómo funciona un sistema complejo.

La conclusión final de los modelos globales es muy simple: El mundo es un sistema complejo, interconectado, finito y con relaciones entre ámbitos de la ecología, sociedad, psicología y economía. Solemos actuar como si esto no fuera así, como si fuera divisible, separable, simple e infinito. Nuestros persistentes problemas nacen directamente de esta falta de percepción.

Nadie quiere o trabaja para generar hambre, pobreza, polución o la eliminación de las especies. Muy poca gente está a favor del uso de las armas, del terrorismo, del alcoholismo o la inflación. Así pues estos fenómenos son producidos por el sistema actual como un todo a pesar de los esfuerzos que se realizan en su contra. En algunos casos las políticas empleadas solucionan los problemas. Pero muchos problemas se resisten a cualquier solución desde hace mucho tiempo. Tal vez hace falta una nueva forma de mirar, para solucionar estos problemas.

1.12. Cuestionario de control

Después de la lectura de este apartado es conveniente que el lector responda al siguiente cuestionario para ver aquellos aspectos que tiene claros y aquellos otros que debe de repasar antes de continuar.

a. Indicar algunos ejemplos de **SISTEMA**. Recordar la definición de sistema como un conjunto de elementos relacionados entre si de forma tal que un elemento afecta el comportamiento de todo el conjunto. Por ejemplo: Una ciudad.

Respuesta:

a.1. Indicar algunos **ELEMENTOS DEL SISTEMA**. Por ejemplo: personas, coches, contaminación, calles, etc. No son elementos correctos: el gobierno, la ciudad, Barcelona, color, asfalto etc. ya que son válidos como elementos del sistema si podemos percibir cuando el elemento aumenta o disminuye, mejora o empeora, etc.

Respuesta:

a.2. Indicar las **UNIDADES DE LOS ELEMENTOS**. Por ejemplo: Personas: numero de personas, Contaminación: nº de partículas en suspensión/m³, Calles: m².

Respuesta:

b. Indicar algún ejemplo de sistema que se dirige hacia **UN UNICO OBJETIVO**, indicando el objetivo. Por ejemplo: una máquina cortadora de césped, objetivo: cortar césped.

Respuesta:

c. Indicar algún ejemplo de sistema que tiene **VARIOS OBJETIVOS**. Por ejemplo: una empresa, donde el empresario tiene como objetivos: el máximo beneficio, incrementar el número de clientes, y también aumentar la calidad de los productos.

Respuesta:

d. Indicar algún ejemplo de sistema que presente **EROSION DE SU OBJETIVO**. Señale algunas formas de evitar que el objetivo se contamine por la situación real (es decir que se erosione) a través de su fijación a un elemento externo. Por ejemplo: los alumnos suelen tener una erosión de su objetivo inicial de sacar notas excelentes, en este caso un elemento externo que puede evitar esta erosión son las notas de un alumno 'rival'.

Respuesta:

e. Indicar algún ejemplo de sistema que muestra **RESISTENCIA AL CAMBIO**. Por ejemplo: preferimos llevar los zapatos viejos porque son más cómodos que los nuevos.

Respuesta:

f. Indicar algún ejemplo de sistema que muestra **ADICCION** a una ayuda externa. Indicar cómo cree que debe orientar su actividad para no ser totalmente dependiente de esa adicción. Por ejemplo: un fumador.

Respuesta:

g. Indicar algún ejemplo de sistema con un objetivo, una acción correctora que lo acerca a ese objetivo, y unos **EFFECTOS A LARGO PLAZO** que son consecuencia de la acción que tienen efectos opuestos a los que se observan a corto plazo. Por ejemplo: una persona desea tener un aspecto físico imponente (objetivo), toma esteroides para aumentar la musculatura (acción), los efectos a largo plazo son enfermedades coronarias que le obligan a estar largo tiempo en cama y le desaparece toda la musculatura.

Respuesta:

h. Indicar algún ejemplo de sistema indicando el **ELEMENTO LIMITATIVO** que le impide desarrollar una acción. Por ejemplo: el fuego no se propaga porque ya no hay más madera, el joven no estudia porque no tiene más papel, el auto se detendrá cuando le falte gasolina.

Respuesta:

i. Indicar ejemplos de sistema y alguno de sus **ELEMENTOS CLAVE**. Por ejemplo podemos decir que la salud de una persona determinada depende de su alimentación, del ejercicio físico que hace, de la contaminación del ambiente donde habita, y de la calidad del servicio sanitario. Estos serían los factores clave en su caso. Hay otros aspectos, pero de hecho son menos relevantes: nivel de ingresos, número de personas de su familia, grado de educación, m2 de su vivienda, medios de transporte disponibles, etc.

Respuesta:

El tiempo para responder a estas cuestiones se halla entre los 30 y 60 minutos.



2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO



Construcción de un modelo

2.1. Diagrama de Flujos

El Diagrama de Flujos, también denominado Diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas. **Es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador** para así poder validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad.



No hay unas reglas precisas de como hacer esta transformación, pero si hay alguna forma de abordar este proceso. **Pasos a seguir:**

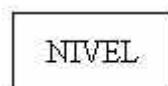
1°. Hacer una fotografía mental al sistema y lo que salga en ella (personas, km², litros, animales,...) eso son **Niveles**.

2°. Buscar o crear unos elementos que sean "la variación de los Niveles", (personas/día, litros/hora, ...) y esos son los **Flujos**.

3°. El resto de elementos son las **Variables Auxiliares**.

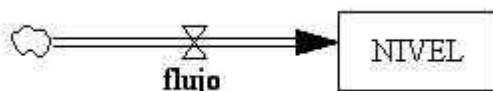
Como regla general esto sirve para empezar. Después ya se pueden ir haciendo retoques, y así los Niveles que vayan a permanecer constantes (m² de la habitación) en vez de definirlos como Niveles se pueden definir como variables auxiliares tipo constante que es más sencillo. Este es todo el procedimiento. Ahora veremos con más detalle como se representan estos elementos.

Los "Niveles" son aquellos elementos que nos muestran en cada instante la situación del modelo, presentan una acumulación y varían solo en función de otros elementos denominados "flujos". Las "nubes" dentro del diagrama de flujos son niveles de contenido inagotable. Los niveles se representan por un rectángulo.



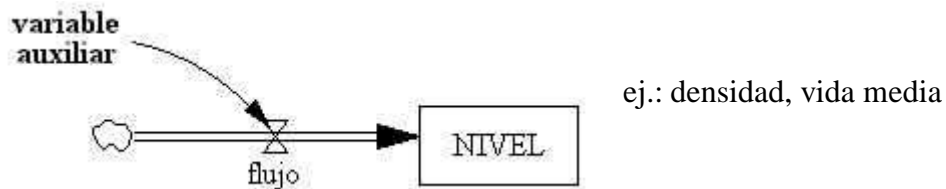
ejemplos.: personas, km², litros,...

Los "flujos" son elementos que pueden definirse como funciones temporales. Puede decirse que recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema, determinando las variaciones de los niveles.



ejemplos.: personas/día, km²/año,...

Las "variables auxiliares" y las "constantes", son parámetros que permiten una visualización mejor de los aspectos que condicionan el comportamiento de los flujos.

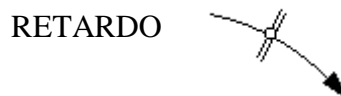


Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales materiales". Por otra parte existen los llamados "canales de información", que transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan.



Por último quedan por definir los "retardos", que simulan los retrasos de tiempo en la transmisión de los materiales o las informaciones. En los sistemas socioeconómicos es frecuente la existencia de retardos en la transmisión de la información y de los materiales y tienen gran importancia en el comportamiento del sistema.

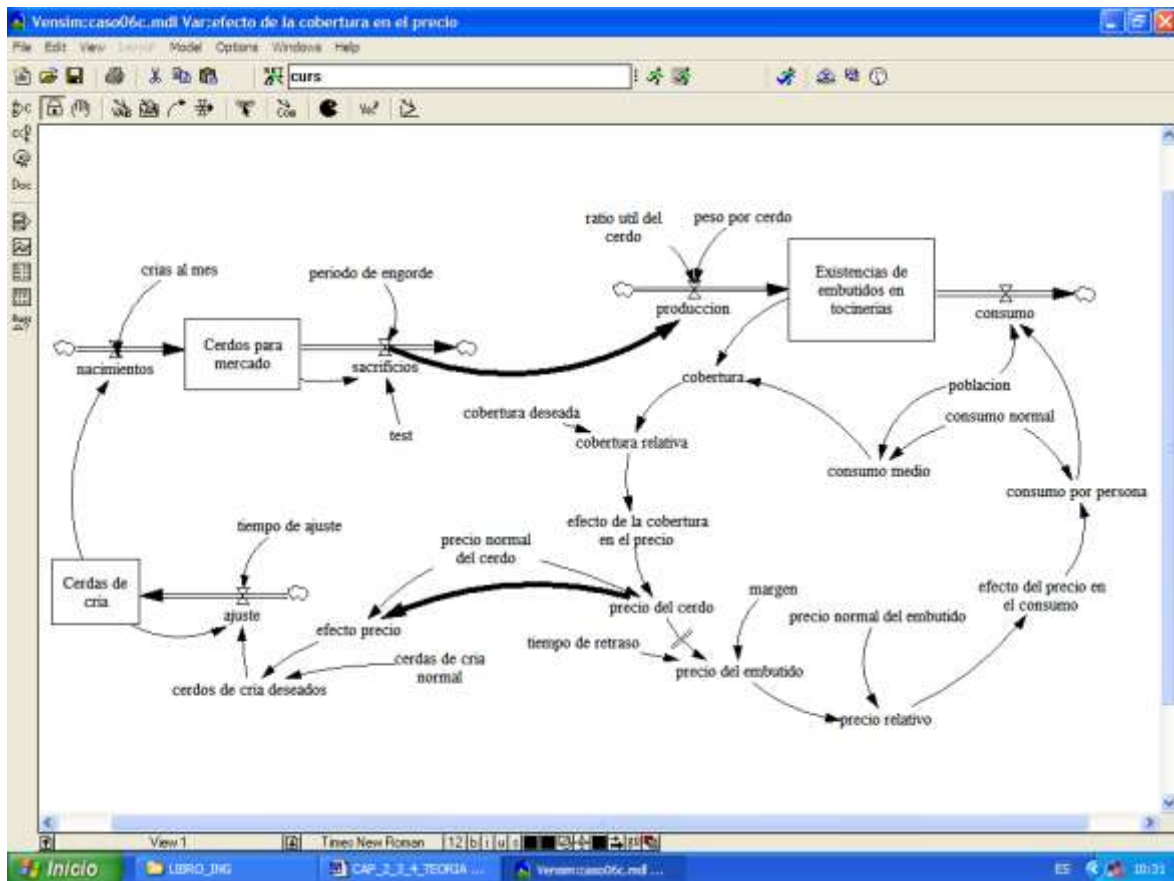
Para los retardos de material existen las funciones DELAY1 y SMOOTH. Para los de información se utilizan DELAY3 y SMOOTH3. Los de primer orden frente a una entrada escalón, responderán con una curva exponencialmente asintótica, mientras que un retardo de tercer orden conduce a una curva sigmoideal. En cierta forma los retardos de información actúan como filtros alisadores de la variable de entrada.



2.2. Simulación en ordenador

En esta etapa se escriben las instrucciones, léase Ecuaciones, concisas para que el ordenador interprete nuestra visión del sistema.

Existen en el mercado diferentes paquetes de software, utilizables en PC's, que no requieren conocimientos informáticos para su utilización y que se adaptan bastante bien a las necesidades de los usuarios, sean estudiantes, profesionales, etc. Los lenguajes o marcas más utilizadas son (por orden alfabético) DYNAMO, ITHINK, POWERSIM, STELA. y VENSIM.



En esta fase hay que dar valores numéricos a las Variables del sistema, a las Funciones y a las Tablas. Es este uno de los muchos aspectos que diferencian a la Dinámica de Sistemas de la mayor parte de los métodos tradicionales de modelización. Así, por ejemplo, en econometría, una gran parte del esfuerzo total de la investigación se dedica a determinar de manera precisa el valor de los parámetros que caracterizan al sistema objeto de estudio. En Dinámica de Sistemas, los parámetros se calculan con un grado de aproximación tal que permita que el modelo cumpla su propósito.

Por otra parte, y esto es importante, nuestro propósito es modificar el estado del sistema porque existe un problema que estamos analizando. Por este motivo la historia pasada sólo es un punto de referencia ya que no existe historia para el nuevo sistema que vamos a diseñar como transformación del anterior. Es decir, los datos históricos son muy importantes cuando abordamos un sistema que no queremos o no podemos transformar, como por ejemplo en la previsión meteorológica, pero ese no es nuestro caso. Nosotros queremos transformar el sistema, y cuando lo hacemos la serie histórica no tiene continuidad.

Se puede partir de unos valores aproximados fin de obtener una primera idea del comportamiento del modelo. Más tarde, mediante los análisis de sensibilidad se podrá identificar al relativamente pequeño conjunto de parámetros cuyos valores alteran significativamente el comportamiento del modelo o las respuestas del mismo a diferentes políticas. De esta forma, descubriremos aquellos parámetros que conviene calcular de un modo más exacto. Son obvias las ventajas en cuando a ahorro de esfuerzo y tiempo que este método supone.

2.3. Comportamiento del modelo

Una vez introducidas las ecuaciones en el ordenador podemos obtener como salida la evolución en el tiempo de los parámetros que le hayamos indicado.

También podemos efectuar una comparación del comportamiento del modelo y la realidad, ya que la salida facilitada por el modelo nos permite ver la certeza de nuestras hipótesis y, en base a la diferencia entre el modelo y la realidad, se impone reconsiderar las hipótesis iniciales y hacer los ajustes al modelo que sean necesarios.

Un sistema dinámico posee diferentes aspectos que son susceptibles de ser sometidos a evaluación, tales como:

- Su capacidad para reproducir los datos históricos del sistema modelizado bajo condiciones normales y extremas.
- La aceptabilidad de las suposiciones hechas al definir el modelo.
- La plausibilidad de los valores numéricos adoptados para los parámetros.

Por supuesto, el primer criterio sólo tendrá importancia cuando se verifiquen también los demás, pues existirán infinitos modelos capaces de reproducir adecuadamente los datos históricos del sistema sin estar relacionados con los mecanismos que forman la estructura del mismo.

El juicio sobre la forma en que un modelo satisface los criterios anteriores no debe restringirse a la consideración de la información cuantitativa disponible ya que la mayor parte de los conocimientos relevantes sobre los sistemas sociales están en forma cualitativa, en manos de expertos en el campo que nos movemos. No debemos olvidar que un modelo que satisfaga los diferentes test de evaluación no es una descripción incontestable de la realidad ni el único modelo.

Partiendo de unas determinadas condiciones iniciales, se determinarán las evoluciones de las distintas variables del modelo durante el horizonte temporal elegido para la evaluación, registrándose dichas evoluciones mediante gráficos. La comparación de estos gráficos con sus correspondientes datos históricos servirá para comprobar si se satisfacen las características principales del comportamiento real.

A la vista de esta evaluación se pasará a perfeccionar el modelo, corrigiendo los defectos observados e introduciendo las mejoras que se consideren convenientes. Con esta reformulación del modelo se procederá a una nueva simulación con el mismo y un posterior análisis y evaluación, siguiendo este proceso hasta que se considere que el modelo creado satisface suficientemente los objetivos fijados, o bien que el fruto resultante de las modificaciones que pudiésemos introducir no compensarían el esfuerzo realizado.

La primera simulación se hace, según dijimos, utilizando unos valores de parámetros y condiciones iniciales que no tienen porqué ser exactos. A veces, en ausencia de datos, estos valores se basarán en las opiniones de expertos en el campo del sistema estudiado, lo cual hará que no sean excesivamente rigurosos, pero con mucha frecuencia igualmente útiles.

2.4. Análisis del sistema

Por último una vez que el modelo ofrezca una salida coherente con el pasado y la situación actual, podremos simular el impacto de las políticas o decisiones que nos llevarán a la solución del problema planteado.

También se pueden localizar los Factores Clave (leverage-points o puntos-palanca) mediante análisis de sensibilidad.

El modelo final ha de ser relativamente simple, de forma que habrá que proceder a crear los agregados necesarios y realizar las simplificaciones posibles al objeto de que el modelo resultante sea comprensible para los receptores del modelo y manejable para los que han de utilizarlo. Además del elevado esfuerzo y tiempo que requiere la obtención de un modelo complejo este puede ser tan complicado como la realidad que representa, dificultando la comunicación y prestando muy poca ayuda a la solución del problema planteado.

Es conveniente aclarar que, a pesar de que un modelo de Dinámica de Sistemas tiene la apariencia de un complejo conjunto de ecuaciones matemáticas que puede hacer pensar en la posibilidad de una perfecta previsión del futuro, no es esto lo que se persigue sino, más bien, aumentar nuestro conocimiento acerca del sistema estudiado así como crear un instrumento útil para el análisis de políticas, las cuales deberán ser juzgadas a partir de las tendencias globales que generan.

Esta diferencia entre apariencia del modelo y la intención del mismo suele falsear la opinión del que lo utiliza, el cual piensa con frecuencia que dispone de un instrumento distinto al que posee en realidad. Esta posibilidad se reduce cuando el modelo es contemplado como lo que es en realidad: **la representación explícita de un modelo mental**. Dicha percepción se facilita si el creador del modelo reduce al mínimo la utilización de símbolos inaccesibles, si las ecuaciones matemáticas son aclaradas por gráficos fácilmente comprensibles por los no especialistas, y son acompañadas de una justificación consistente. En una palabra, si una de las premisas en la creación del modelo es su transparencia.

Por otra parte, deben quedar claras las limitaciones del modelo, especialmente cuando es usado con fines de previsión de impactos que diferentes políticas tendrían sobre el sistema. No debemos olvidar que la evolución obtenida del comportamiento del modelo se basa en unas ciertas hipótesis sobre la estructura actual del sistema y de las circunstancias que forman su entorno. Por tanto, las conclusiones extraídas serán válidas, supuesto el modelo aceptable en el momento actual, siempre que no cambie la estructura fundamental del sistema o las circunstancias exteriores que pueden influir en sus partes sensibles.

Así pues, para que un modelo continúe siendo útil a través del tiempo se hace necesaria su revisión periódica. Se podrán introducir así alteraciones significativas que se hayan producido en el sistema representado por el modelo.

Otro factor a considerar es la dosis de subjetividad que implica el empleo de modelos. En el caso particular de la Dinámica de Sistemas, la creación del Diagrama Causal representativo de las diferentes interacciones entre las variables es una de las etapas más subjetivas, pero no es la única. Así también puede existir subjetividad a la hora de cuantificar y utilizar los datos disponibles, al interpretar los resultados, etc.

La subjetividad que entraña el proceso de modelización no es en realidad un factor negativo, ya que es imposible estudiar un sistema social de manera absolutamente objetiva.

2.5. Cinco experiencias del autor

La Dinámica de Sistemas se utiliza dentro de las empresas en ámbitos operativos, como por ejemplo en la **Gestión de Proyectos**. Las herramientas habituales de Gestión de Proyectos permiten organizar las tareas que se han de hacer de una forma lineal, pero tienen dificultades para gestionar imprevistos, cambios bruscos en la planificación, o errores en las tareas ya realizadas.

La Dinámica de Sistemas no pretende sustituir a los clásicos PERT o Project Management en la ordenación de las tareas que componen un proyecto, pero puede ayudar a comprender y prevenir los habituales problemas que aparecen en la ejecución de los proyectos, como son los retrasos en la entrega, la baja calidad del producto final o el incremento en los costes reales en relación al presupuesto.

La Dinámica de Sistemas se utiliza tanto en el diseño de grandes proyectos de infraestructura, como son las presas y carreteras, como en la gestión de proyectos empresariales mucho más pequeños como el cambio de emplazamiento de la fábrica o el lanzamiento de un nuevo producto.

En el ámbito de la **Gestión de la Producción**, la Dinámica de Sistemas nos permite comprender mejor la causa de algunos problemas como los retrasos en la producción, o de las oscilaciones en el número de piezas que hay en el almacén de productos acabados, y simular de una forma transparente el impacto de diferentes formas de organizar la producción.

En este campo la Dinámica de Sistemas aporta una visión dinámica de los aspectos que intervienen en la producción y permite realizar simulaciones sobre el modelo para identificar aquellos aspectos clave.

Los modelos de Gestión de la Producción tienen una gran complejidad aparente debido a la necesidad de integrar muchos y diferentes factores, pero en realidad las relaciones que existen entre los elementos obedecen a reglas y normas bien establecidas, lo cual facilita el trabajo de creación de modelos de simulación.

Dentro de la **Gestión de Procesos** un modelo de Dinámica de Sistemas nos permite simular la estructura de cada proceso y realizar análisis de sensibilidad de sus diferentes fases. La puesta en marcha de un nuevo proceso presenta con frecuencia muchos

imprevistos, que son difíciles de corregir cuando ya funciona porque cualquier cambio influye en otras partes del proceso. Un modelo de simulación de Dinámica de Sistemas ayuda a identificar el impacto de pequeñas variaciones aleatorias en la evolución general del proceso. También puede ayudar a identificar aquellos puntos del proceso que presentan retrasos, al objeto de organizar el conjunto del proceso productivo teniendo presente este aspecto, sin crear por ello falsas señales de alarma.

En el ámbito de la **Gestión de los Recursos Humanos** de la empresa, la Dinámica de Sistemas también es una aportación muy valiosa, ya que permite analizar la influencia en la evolución de la empresa de aspectos no cuantificables como son la motivación, la política de objetivos de la empresa o el nivel de formación de los empleados, en el análisis de problemas muy concretos como por ejemplo, según mi propia experiencia, en el número de accidentes de trabajo.

Esta herramienta permite trabajar con elementos que no se pueden cuantificar, y organizarlos en un modelo de simulación que permite a la dirección de la empresa extraer conclusiones de aplicación práctica.

Dentro de la **Gestión de la Investigación y el Conocimiento** para el desarrollo de nuevos productos en la empresa, los modelos de simulación de la Dinámica de Sistemas son una herramienta mucho más eficaz y económica que la realización de experimentos en laboratorio. De forma que deberían de ser siempre un paso previo obligado a los experimentos reales. Existen dos motivos importantes para ello, uno es el coste, ya que cualquier error en el experimento de laboratorio puede ser muy costoso económicamente de solucionar, y también existe un motivo vinculado a la seguridad física de las personas y las instalaciones. Por ello, los experimentos reales deben de servir para confirmar los resultados del modelo de simulación.

Por último, podemos citar brevemente las aplicaciones en **Gestión y Dirección de Empresas**, que van desde el estudio de inversiones, sean inmobiliarias o financieras, la gestión del cambio organizacional, la gestión del conocimiento, la implantación de nuevas tecnologías, o el diseño de políticas de calidad.

La Dinámica de Sistemas también se aplica a la mejora de las habilidades directivas a través de los Business Games, como el conocido Juego de la Cerveza, donde los participantes pueden apreciar bien la importancia de los retrasos en la transmisión de la información y cómo nuestro propio modelo mental influye en la percepción de una situación.

Los modelos creados con Dinámica de Sistemas tienen un gran campo de aplicación en las empresas. Se describen a continuación de forma muy breve cinco trabajos desarrollados por el autor del libro.

Debido a las limitaciones que imponen las empresas a las personas que realizan este tipo de estudios, se omite el nombre de la empresa y detalles clave del trabajo realizado.

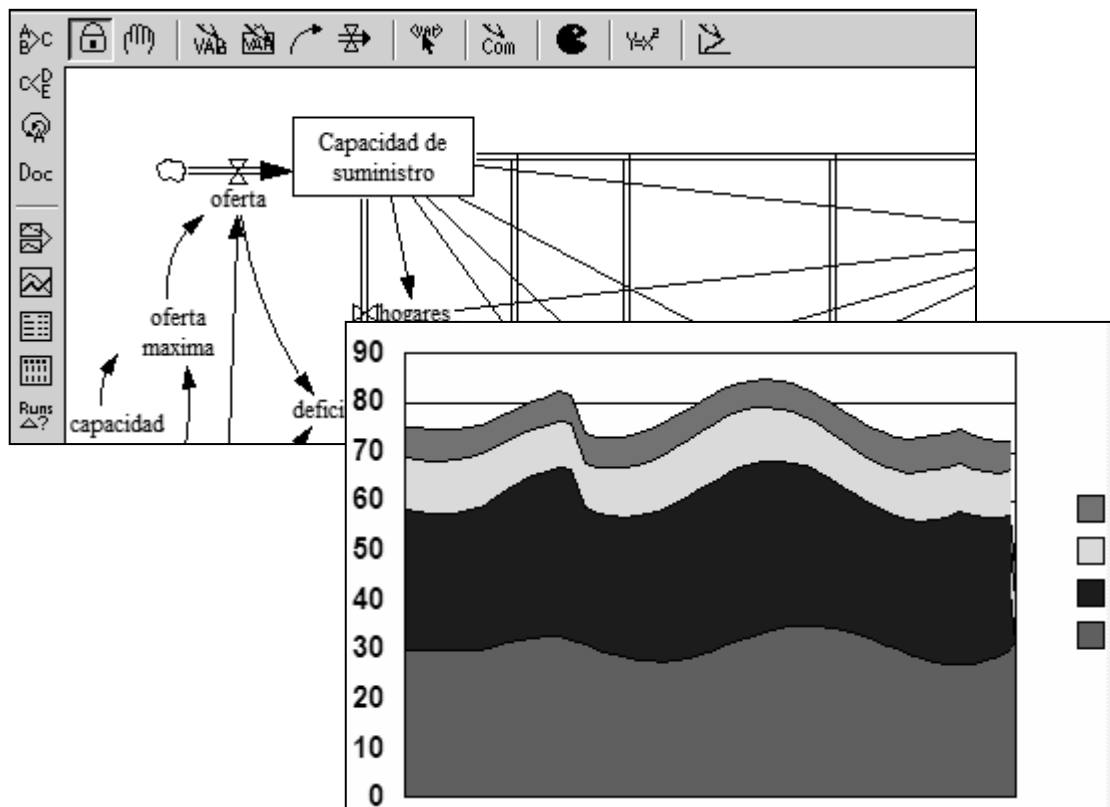
Modelo de gestión de la distribución para una empresa del sector del gas

Una empresa dedicada a la explotación, importación, distribución y exportación de gas necesitaba disponer de un modelo de gestión para integrar todos los aspectos de su actividad teniendo en cuenta los costes y precios relativos del producto así como la normativa estatal.

El modelo de gestión debía de permitir identificar las políticas que optimizaban los resultados económicos, valorar el impacto de las restricciones de la normativa estatal, y **realizar simulaciones que permitiesen determinar las políticas a seguir frente a posibles cambios bruscos en sus fuentes de suministro.**

El trabajo realizado permitió formar al personal del departamento de planificación en la creación de modelos de simulación con Dinámica de Sistemas, y realizar una primera versión del modelo que abordaba el propósito definido.

En concreto el modelo creado permitió analizar por una parte la oferta, procedente de las propias explotaciones y de importaciones, teniendo en cuenta aspectos limitativos como la capacidad de transporte. Además el modelo permitió analizar la demanda con detalle de sus componentes, como las familias, las empresas, el sector del transporte y la exportación, teniendo en cuenta los precios existentes en cada uno de esos mercados y sus tendencias futuras, así como la influencia de la normativa estatal que prioriza la distribución a determinados sectores. Por último el modelo demostró ser una excelente base para realizar simulaciones sobre posibles cortes en las importaciones y determinar por anticipado sus consecuencias y las mejores alternativas.



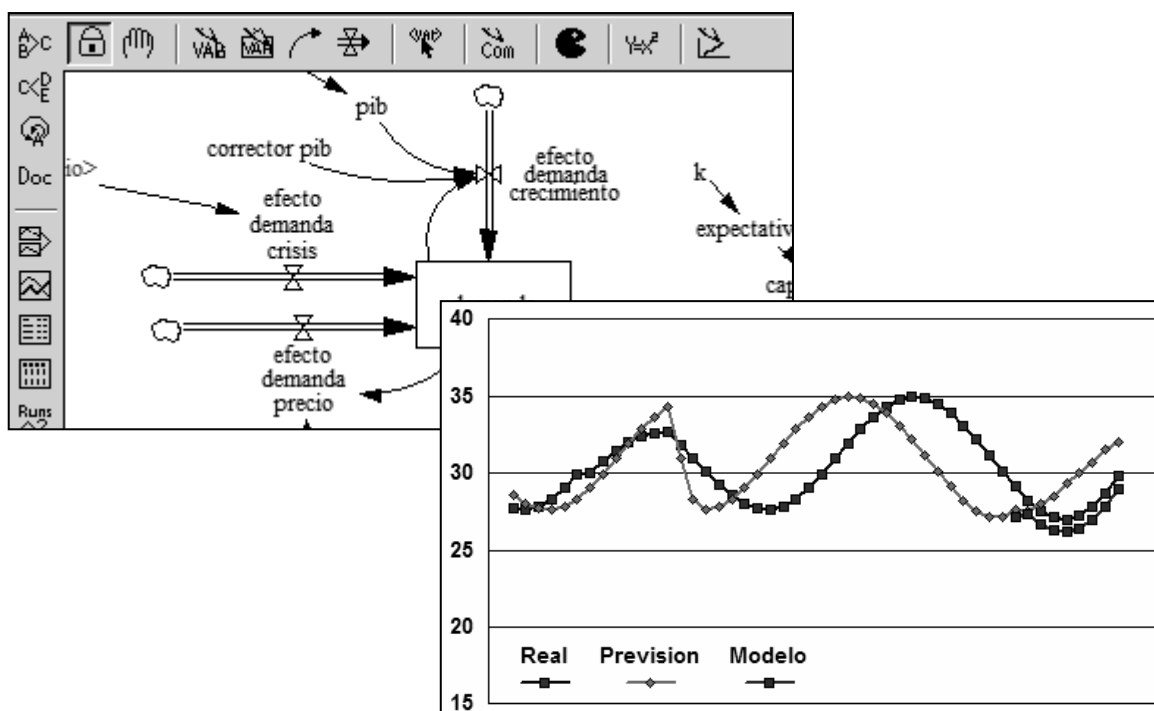
Modelo de análisis y previsión de precios en una empresa petroquímica

El precio de venta de uno de los principales productos de una empresa química multinacional se halla determinado en gran manera por la evolución internacional del precio del producto, **este precio ha presentado en los últimos años importantes fluctuaciones**. Debido a que el producto puede almacenarse durante poco tiempo la empresa debe de intentar regular su producción para conseguir el máximo de producción cuando los precios son altos, y en cambio reducir su producción cuando los precios son bajos ya que incluso puede incurrir en pérdidas en esos períodos.

La empresa utiliza para planificar su producción los servicios de una consultora internacional que realiza previsiones de los precios. No obstante, la empresa desea disponer de un modelo de simulación propio que le ayude a comprender la dinámica internacional de formación de precios para poder realizar una planificación de su producción más precisa.

Las fluctuaciones de precios se producen porque tanto compradores como vendedores del producto planifican su producción en base a las previsiones de precios que reciben. Los compradores avanzan sus compras cuando creen que los precios van a subir, provocando un alza del precio, y los vendedores avanzan sus ventas con descuentos, cuando creen que los precios van a bajar, lo que provoca una baja del precio. Así cualquier pequeño cambio transitorio en los precios es amplificado en fluctuaciones de magnitud creciente.

El modelo creado por la empresa, ya en sus primeras versiones tras una semana de formación a sus empleados, demostró una mejor fiabilidad en las previsiones históricas de los precios que las recibidas de su habitual consultor externo.



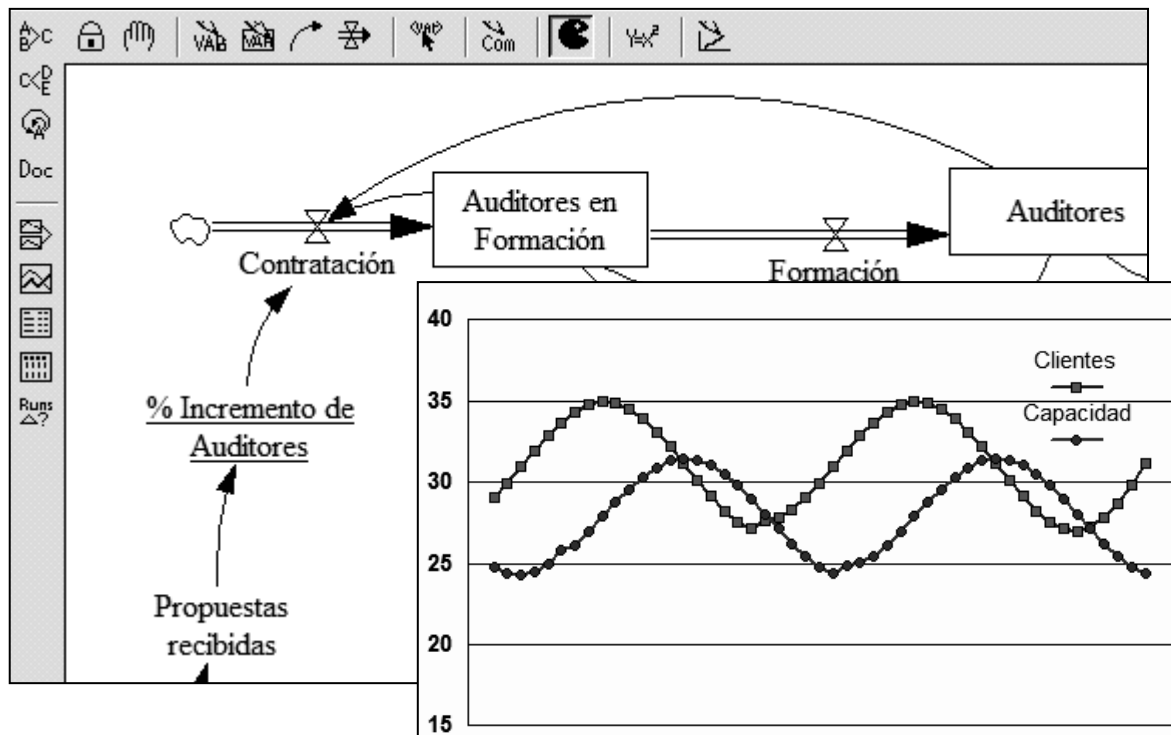
Modelo de organización de los recursos humanos de una empresa auditora

La empresa auditora había observado en los últimos años un desfase permanente y significativo entre la evolución de su número de clientes y la evolución de los auditores disponibles para atenderlos, de forma que **se alternaban períodos en los que no podía atender a los clientes por falta de auditores con otros períodos en los que los auditores se hallan ociosos por falta de clientes.**

Los empleados de la empresa se dividen entre auditores junior y senior. La necesaria y especializada formación de los auditores obliga a un largo período de prueba en el que los auditores juniors no pueden atender directamente a los clientes y colaboran con los auditores senior.

Al completar un curso de formación sobre los conceptos del System Thinking de una semana de duración con el equipo directivo, éste pudo recoger en un único diagrama causal los aspectos esenciales que influían en el problema planteado según las diversas aportaciones del cada uno de ellos.

El diagrama causal sirvió para facilitar un diálogo centrado en el problema, para mostrar de una forma explícita los aspectos limitativos del proceso de formación de los empleados, para analizar las relaciones entre los diversos departamentos que intervenían, para plantear la posibilidad de nuevas políticas de contratación y selección del personal, y además se identificaron algunos patrones de comportamiento clásicos del System Thinking que explicaban el comportamiento observado. Finalmente se pudieron identificar los aspectos clave sobre los habían de centrarse las políticas de la empresa para la resolución del problema.

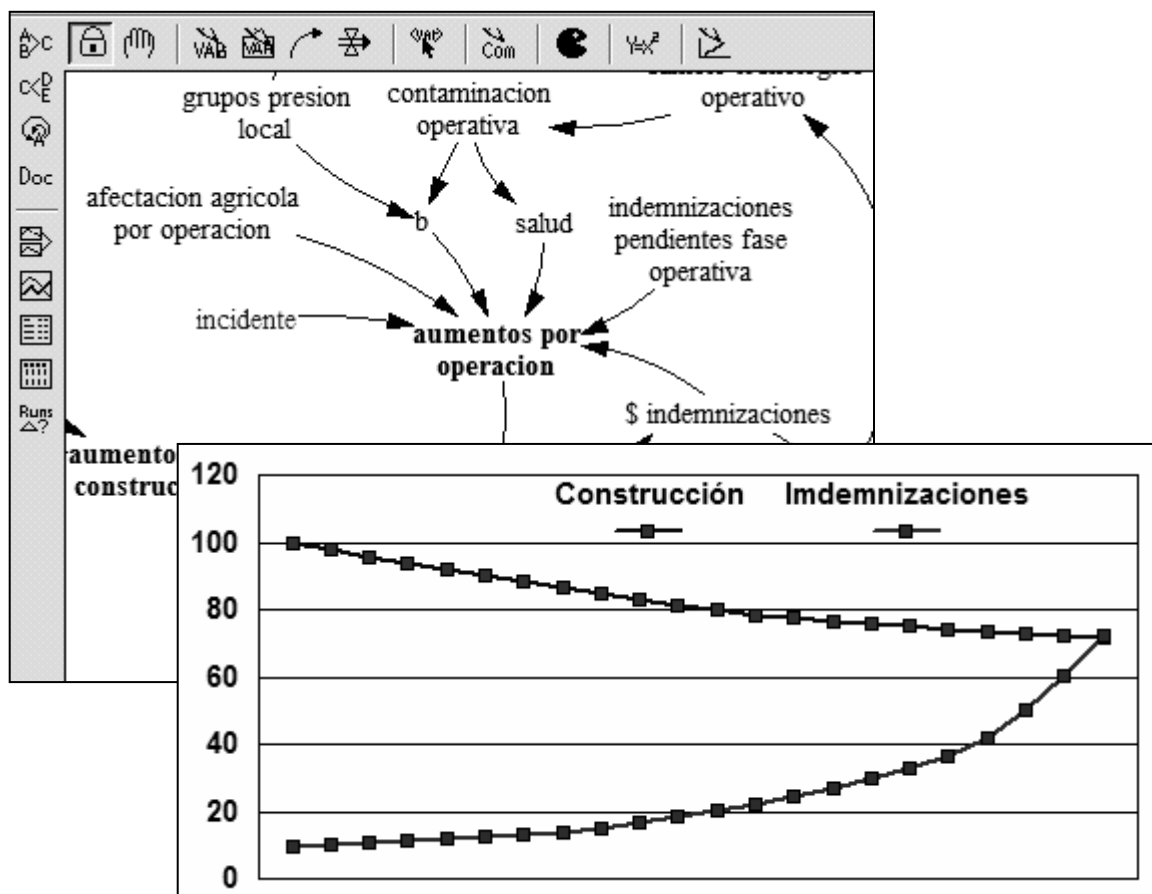


Modelo para la gestión de la política de costes

La empresa estaba orgullosa de las progresivas reducciones de costes que había conseguido en la construcción de las nuevas centrales eléctricas, fruto de una intensa política de análisis de costes y optimización del proceso constructivo. No obstante **el coste total de la construcción de las nuevas centrales eléctricas se había incrementado debido a los pagos de indemnizaciones** a las personas afectadas. Este coste muestra un crecimiento exponencial, de forma que en las últimas centrales construidas el coste de las indemnizaciones supera el coste de su construcción.

Debido a que la mayoría de elementos que influyen en el coste de las indemnizaciones no son cuantificables numéricamente el equipo directivo se planteó la posibilidad de estudiar una política que estabilizase o redujese los costes de las indemnizaciones basada en el System Thinking.

Para realizar este análisis se realizó un curso de formación sobre System Thinking y Dinámica de Sistemas a un amplio grupo de directivos intermedios de diversas áreas de la empresa. Una vez realizado el curso se analizó el problema del incremento exponencial de los costes de las indemnizaciones, y a pesar de la gran complejidad del tema, finalmente se llegó a un consenso sobre un único factor clave sobre el que habían de incidir las políticas de la empresa para controlar este aspecto.

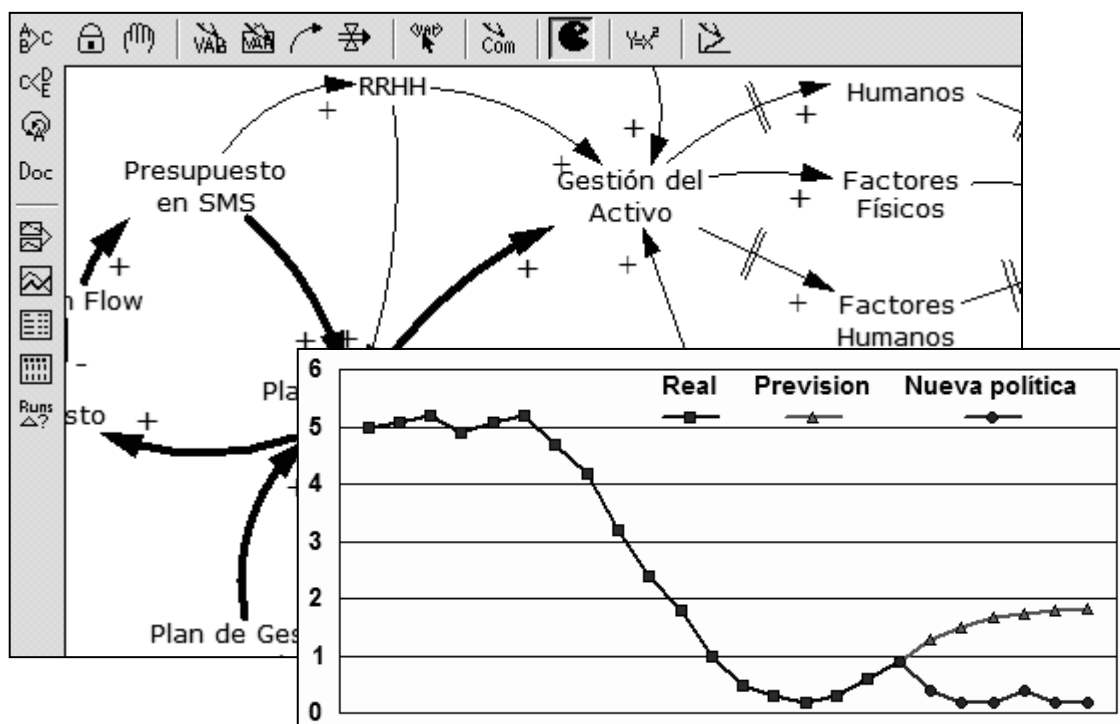


Modelo de gestión para la reducción de los accidentes de trabajo

La empresa había realizado en los últimos años una intensa campaña para la reducción de los accidentes de trabajo, que junto con una política de incentivos económicos, le permitió reducir en poco tiempo los accidentes graves de una forma drástica. No obstante, el seguimiento trimestral del indicador que valora este aspecto mostraba un cambio de tendencia durante el último año, ya que **se había producido un progresivo incremento de los accidentes graves**.

El indicador o ratio que valora los accidentes de trabajo graves recoge las situaciones que han requerido atención hospitalaria del trabajador referenciadas a un millón de horas/hombre de trabajo. Este indicador tiene un seguimiento trimestral y había pasado de un valor 5 hacía tras años a un valor 0,2 el año anterior. Desde entonces había tenido un progresivo incremento hasta el valor de 0,8 cuando se hizo el estudio. Este incremento había desconcertado a los directivos de la empresa que se habían mantenido tanto la campaña, que incluía formación a los empleados, como las políticas de incentivos económicos en este aspecto.

Se realizó un curso intensivo de formación sobre System Thinking y Dinámica de Sistemas a un amplio colectivo de personal técnico y directivo, ya en el problema a estudiar intervienen muchos factores y era necesario recoger sus puntos de vista. A continuación se planteó la construcción de un diagrama causal que recogiese los principales aspectos relativos al problema. Durante este proceso se pudieron integrar en un mismo esquema las aportaciones de los diferentes departamentos implicados, obteniendo al final una clara visión de las causas estructurales que habían provocado el reciente incremento del número de accidentes, y también los aspectos esenciales a tener presente en la definición de políticas futuras en el tema de los accidentes de trabajo.



2.6. Cuestionario de control

DAIGRAMA CAUSAL

a. Indicar ejemplos de **RELACIONES CAUSALES**, indicando si son positivas o negativas. Por ejemplo: A mayor cantidad de lluvia cayendo ... mayor proporción de gente con paraguas (positiva).

Respuesta:

b. Indicar ejemplos de **BUCLES**, los cuales se forman cuando existe un "circuito cerrado" entre dos o mas elementos de un sistema. Por ejemplo: Cuanto mas calor tienes menos ropa te pones (negativo), y cuanta mas ropa te pones mas calor tienes (positivo).

Respuesta:

DIAGRAMA DE FLUJOS

c. Indicar ejemplos de **NIVELES** son aquellos elementos en los que se produce una acumulación material, como por ejemplo: personas, perros, libros, etc.

Respuesta:

d. Indicar ejemplos de **FLUJOS** que son aquellos elementos que hacen variar los Niveles, y sus unidades siempre tienen una componente temporal, como litros/año, personas/hora, etc. Atención, no son Flujos los ratios como personas/hectárea o precio/kilo.

Respuesta:

e. Indicar ejemplos de **VARIABLES AUXILIARES**, que son todos los elementos que no son Niveles ni Flujos, como el precio del kilo de pan, densidad de animales por acre.

Respuesta:

F. Identifique qué elementos de la siguiente lista son Niveles, Flujos y Variables Auxiliares, y relaciónelos en un Diagrama de Flujos.

Población (n° de personas), Educación (n° de años de estudio), Nacimientos (personas/año), Ingresos anuales (\$/año), m² de vivienda (m²), Defunciones (personas/año), Esperanza de vida (año), n° de hospitales/millar de personas (hospitales/persona), Tasa de natalidad (%), Tasa de desempleo (%). La solución se halla al final de la página.

El tiempo para responder a estas cuestiones se halla entre los 30 y 60 minutos.

Solución:

La población es el único Nivel, ya que los otros elementos que no dependen del tiempo no tienen Flujos asociados y por lo tanto son Variables Auxiliares. Los únicos Flujos son nacimientos y defunciones.



3. DINÁMICA DE LOS SISTEMAS SOCIALES



Los sistemas sociales

El esquema Estado Real – Deseado nos muestra en un Diagrama Causal los principales elementos que forman el subsistema de información de las personas y que nos sirve de base para estudiar muchos de los aspectos de su comportamiento. En este esquema representamos como las personas están permanentemente comparando su Estado Real con el Estado de Deseado, y en base a la Diferencia entre ambos realizan Acciones para aproximar el valor del Estado Real al del Estado Deseado, valorando el Esfuerzo que se requiere para ello.



En base al esquema dinámico de Estado Real – Estado Deseado – Diferencia – Acción vamos a poder estudiar algunos comportamientos de las personas y de los grupos sociales. Los modelos de simulación de sistemas físicos se apoyan en general en la hipótesis de que el sistema analizado se halla sujeto a las leyes de la física en general y de la gravedad en particular.



Para la creación de modelos de simulación de sistemas sociales y humanos nos deberemos basar en general en la hipótesis de que las personas perciben la realidad de forma correcta y actúan con lógica. Así podremos ver con claridad aquellos casos en los que el comportamiento observado en el sistema estudiado tiene problemas en alguno de estos dos aspectos: bien no percibe la realidad, o bien sufre algún trastorno que le impide actuar lógicamente.

En ocasiones decimos que el ser humano actúa lógicamente pero no de forma razonable. Se trata de aquellos casos en los que no valora correctamente las consecuencias del hecho o bien no valora el esfuerzo necesario para lograr su propósito. Por ejemplo tenemos a un niño que “quiere ahora” algo en particular. No valora las explicaciones de su madre de “eso luego” y estalla en una rabieta.

Veremos a continuación algunos de las posibles situaciones de los elementos del Esquema Estado Real – Deseado después comentaremos algunos de las situaciones que podemos analizar a la luz de las relaciones que existen entre ellos

3.1. El Estado Deseado

El Estado Deseado, sea a nivel individual o colectivo, es como el conjunto de necesidades que la persona quiere satisfacer. De todas ellas las que ya están cubiertas no plantean en principio ninguna acción nueva, en cambio las necesidades que no están cubiertas mueven al individuo a realizar Acciones que aproximen el Estado Real al Deseado.

Del conjunto de necesidades no cubiertas podemos observar como existe una jerarquía que define las acciones presentes de forma que estas se encaminan a cubrir algunas con preferencia a otras (Maslow). En la decisión de la Acción a realizar el individuo valora todo el conjunto de necesidades no cubiertas y las consecuencias de las mismas que puede prever.

Veamos a continuación posibles situaciones del Estado Deseado y algunos ejemplos de ellas.

LA PERSONA QUE MODIFICA SU ESTADO DESEADO

En ocasiones los individuos tienden a modificar su Estado Deseado bien sea para mejorarlo o aumentarlo, cuando ya ha logrado el Estado Deseado anterior, y tras un tiempo se plantea un nuevo reto mayor que el anterior (ej: un deportista). También es posible una modificación de Estado Deseado a la baja, cuando:

1) Percibe que lograr el Estado Deseado requiere acciones físicamente imposibles (ej. quiere cenar con Marilyn), o dichas acciones son ilegales (ej. quiere asaltar un banco).

2) Percibe que el esfuerzo requerido es superior a sus fuerzas (ej. quiere ser astronauta).

3) Considera que el Estado Real ya es satisfactorio. (ej.: estudiante que desea matricula y se conforma con una nota de aprobado que es su Estado Real).

4) Renuncia a su propio Estado Deseado para dedicar sus esfuerzos a ayudar a satisfacer un Estado Deseado de otras personas (ej: atender a un pariente enfermo a costa de no ir de vacaciones, misioneros, voluntarios de ONGs, etc.)

LA PERSONA QUE TIENE UN DESEADO INESTABLE

En ocasiones el individuo muestra repentinos cambios en su Estado Deseado. Este concepto recoge tanto las necesidades no cubiertas como una cierta estructura jerárquica de las mismas: Los cambios en el Estado Deseado se pueden deber a:

- 1) Una estructura jerárquica poco consolidada.
- 2) Esta situación es indicativa también de una ausencia de puntos de referencia personales claros.
- 3) Escasa relación con otras personas, que le dificulta valorar las consecuencias en su entorno de sus cambios.

A corto plazo provocará Diferencias (Estado Real – Estado Deseado) y Acciones oscilantes, de forma que tan pronto pretende realizar una acción como la contraria. Por el contrario, a largo plazo es posible que el sistema en conjunto (la familia) se muestre inalterable o insensible a cambios en el Estado Deseado (ej. niño caprichoso).

En el plano social podemos observar con frecuencia estos comportamientos en las dictaduras.

LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO DIFUSO

Cuando la persona no puede establecer con una cierta precisión las características que definen su Estado Deseado nos encontraremos con que es imposible establecer su situación en relación al Estado Real y por ello se desconoce el valor de la Diferencia.

Las consecuencias más comunes de esta situación es una inhibición de la Acción. Por el contrario la claridad de los objetivos facilita la definición de la Acción que debe realizarse para lograrlos (ej.: quiero estar en Madrid el jueves por la mañana para asistir a la boda de mi hermana.).

LA PERSONA QUE NO TIENE UN ESTADO DESEADO PROPIO

En ocasiones la persona es simplemente incapaz de establecer un Estado Deseado propio que le motive lo suficiente como para plantearse hacer algún tipo de acción para lograrlo. Cuando la persona tiene dificultades y no logra establecer un Estado Deseado propio, puede tender a tomarlo del exterior (ej: una persona sigue siempre la moda porque no puede encontrar un estilo propio de vestir, un miembro de una secta o religión).

Lo interesante de este comportamiento es que el Estado Deseado tomado suele ser mucho más persistente que el que el individuo se construye por su propia iniciativa. El motivo es que un estado deseado elaborado por el propio individuo está sujeto a su propia revisión, en cambio el estado deseado tomado del exterior no suele ser cuestionado una vez establecido como propio.

LA PERSONA QUE NO PUEDE DECIDIR SU ESTADO DESEADO

Es posible que a alguna persona se le impida de hecho la definición de su propio Estado Deseado. La persona se halla totalmente supeditada a otra persona que le marca su Estado Deseado, con independencia del Estado Real y del Esfuerzo requerido para lograrlo. (ej.: padre autoritario, esclavo).

LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO CERO

Cuando el Estado Deseado es cero se produce una situación interesante ya que si calculamos la Diferencia Relativa = $(\text{Estado Deseado} - \text{Estado Real}) / \text{Estado Deseado}$, tenemos que el denominador es cero, y por lo tanto la Diferencia relativa es siempre infinita.

Si la Acción depende de la Diferencia Relativa, tendremos una acción intensa y continuada. (ej.: Estado deseado: muertes por terrorismo = 0 implica represión ilimitada)

LA PERSONA QUE TIENE MÚLTIPLES ESTADOS DESEADOS

En general una persona tiene establecidos los componentes de su EstadoDeseado y su jerarquía. En ocasiones podemos hablar de que existen varios Estados Deseados. Se trata de aquellas ocasiones en las que varios componentes tienen el mismo nivel de jerarquía.

Si estos componentes son compatibles entre si no existe ningún conflicto (ej.: leer y mascar chicle – excepto si eres Presidente -), si el Estado Deseado presenta componentes incompatibles y existe un conflicto la persona debe de escoger entre realizar uno u otro (ej.: vacaciones en el mar o la montaña).

A nivel colectivo los múltiples componentes del Estado Deseado general pueden armonizarse otorgando la misma jerarquía a todos los ciudadanos mediante el sistema de elecciones democráticas.

LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO BAJO

Podemos observar claramente la lógica que se halla bajo las enseñanzas budistas de que todo sufrimiento proviene de la pasión, y por lo tanto la renuncia es el único medio de librarse del sufrimiento. Un Estado Deseado bajo provoca una Diferencia pequeña y por lo tanto las Acciones requeridas son escasas. Podemos también observarlo igualando sufrimiento y frustración, de forma que siendo la Diferencia la causa de las frustraciones, la renuncia a un Estado Deseado anula el sufrimiento.

Desde otra perspectiva podemos decir que la felicidad tiene dos componentes, uno material y otro inmaterial. La felicidad material se obtiene adquiriendo objetos materiales y

la felicidad inmaterial procede de la manera en que los objetos son empleados. Muchos objetos sólo adquieren su valor pleno cuando son empleados. Sin embargo obtener felicidad inmaterial requiere tiempo. Así pues el tener demasiadas cosas reduce el tiempo para la felicidad inmaterial. Por ello las máximas satisfacciones materiales e inmateriales no pueden ser logradas simultáneamente: hay un límite para la satisfacción material más allá del cual la satisfacción total disminuye. En conclusión, tener mucho contradice vivir bien. La frugalidad parece ser la clave de la felicidad.

CUANDO ESTADO DESEADO ES SIEMPRE OPUESTO AL ESTADO REAL

En ocasiones el Estado Deseado viene exactamente definido como el opuesto al Estado Real (ej.: transexual: su cuerpo tiene un sexo que es opuesto al que el desea).

Podemos observar este tipo de situaciones a nivel familiar cuando el joven adolescente se opone por costumbre a cualquier estado deseado que le sea propuesto.

3.2. El Estado Real

El Estado Real es el conjunto de parámetros que definen la situación de la persona, desde un punto de vista físico o mental. Todos los seres vivos perciben el entorno y también se perciben a sí mismos. El ser humano tiene además consciencia de la evolución temporal previsible de su Estado Real.

LA PERSONA QUE NO PERCIBE BIEN SU ESTADO REAL

En este caso existe un Estado Real Percibido diferente del Estado Real, y también existe una Diferencia Percibida y una Diferencia real. La Acción se basa en la Diferencia Percibida, no en la Diferencia real.

El resultado es que la situación de la persona no se aproxima al Estado Deseado. En ocasiones las personas no quieren percibir correctamente su Estado Real porque intuyen que deberán de hacer Acciones difíciles para mejorarlo (ej.: alcoholismo o ludopatía).

3.3. La Diferencia

La Diferencia se valora entre el Estado Deseado y el Estado Real en valores absolutos. En ocasiones también es relevante tener en cuenta la variación de la Diferencia como motor de algunas Acciones, y el valor relativo de la Diferencia en relación al Estado Real o Deseado.

LA PERSONA OBSERVA UNA DIFERENCIA PERSISTENTE

Si las Acciones no surgen efecto con la rapidez esperada, y el Estado Real no se modifica, el valor de la Diferencia permanece constante más tiempo del esperado.

Esto puede provocar un colapso del sistema o una disminución del Estado Deseado (ej.: inmigrante sin documentación).

LA PERSONA TIENE UNA DIFERENCIA NEGATIVA

En algunas ocasiones por extraño que parezca las personas se enfrentan a una situación en la que el Estado Real supera al Estado Deseado en una magnitud apreciable. Sin duda es una situación placentera para la persona afectada.

Podemos observar situaciones de este tipo cuando una persona recibe un premio o una herencia inesperada.

El tipo de comportamientos que se producen en estas circunstancias son:

- 1) La persona decide modificar al alza su Estado Deseado. Con ello vuelve a tener una Diferencia positiva que le obliga a realizar esfuerzos, y desaparece la placentera situación vivida transitoriamente (ej. un “nuevo rico” se crea una empresa con el capital que ha recibido para aumentar su fortuna). Es un comportamiento que exige nuevos esfuerzos y por lo tanto serán relativamente escasas las ocasiones que se presente.
- 2) La persona decide mantener su Diferencia negativa, y como consecuencia si no modifica su Estado Deseado inicial tiende de forma natural a reducir su Estado Real, como única forma de reducir la Diferencia. (ej. un “nuevo rico” es generoso con la familia y los amigos, porque “le sobra” el dinero). Es una situación que no requiere esfuerzo y por lo tanto será el camino que observaremos en más ocasiones.

LA DIFERENCIA RELATIVA ES PEQUEÑA

Los sistemas y las personas no reaccionan intentando ajustar cualquier Diferencia, de forma que si la Diferencia es pequeña no tiene sentido realizar ninguna Acción.

Es conocido el experimento conocido como “Hervir la rana”. Si deseamos hacer sopa de rana y la introducimos viva en un recipiente de agua hirviendo, tan pronto como toque el agua saltará de forma automática y no podremos lograr nuestro propósito. En cambio si la sumergimos en un recipiente con agua a temperatura ambiente no opondrá ninguna resistencia. Se trata pues de hacerlo así y después ir aumentando lentamente la temperatura del agua.

3.4. La Acción

Las personas disponen de mecanismos para ajustar su Estado Real al Estado Deseado en función de la Diferencia. Estas acciones son proporcionales a la magnitud de la Diferencia y en el sentido que aproxima el Estado Real al Estado Deseado.

LAS ACCIONES ESTAN BASADAS EN VARIACIONES DE LA DIFERENCIA

En ocasiones las personas reaccionan en base a los cambios que experimenta la Diferencia, ya sea en valores absolutos (ej.: velocidad real – velocidad máxima permitida) o bien relativas (ej.: una rana reacciona ante cambios relativos de temperatura, y por ello podemos hervirla sin que salte de la olla si aumentamos lentamente la temperatura del agua).

CUANDO EL ESFUERZO INHIBE LA ACCION

En ocasiones el esfuerzo requerido para la Acción es tan grande que induce a no realizar ninguna acción (ej.: apagar un fuego en el bosque).de forma que el sujeto queda paralizado.

GENIOS Y ARTISTAS

Una persona normal realiza las Acciones lógicas en base a la Diferencia que existe en un momento determinado. Un artista o un genio pueden plantear ante la misma Diferencia unas acciones muy diferentes (ej.: no hay ejemplos porque el autor del libro no es un genio ni un artista).

LOS PROBLEMAS DE HOY PROVIENEN DE LAS ACCIONES DE AYER

Las Acciones no producen solo efectos sobre el Estado Real, sino que también afectan a otras partes del sistema o al estado de otros sistemas. Los efectos secundarios de las acciones de hoy no son inmediatos (ej.: hoy apartas un petrolero de la costa, y luego tienes durante años la marea negra).

UN CASO MUY PARTICULAR

Dios es el ser que por definición consigue por su simple voluntad que el Estado Real sea igual que el Estado Deseado siempre y de forma instantánea.

3.5. El comportamiento humano

Podemos utilizar el Esquema Estado Real - Deseado para analizar algunos de los múltiples aspectos del comportamiento humano.

LA PERSONALIDAD

De las múltiples facetas de la personalidad podemos hablar de una personalidad agresiva como aquella que corresponde a una persona que pretende cerrar con rapidez la Diferencia que existe. Por el contrario una persona tranquila sería la que es capaz de tolerar una Diferencia durante un prolongado periodo de tiempo. Podemos considerar a una persona introvertida como aquella que oculta su Estado Deseado, no su Estado Real, porque no quiere recibir críticas sobre el mismo. Una persona reflexiva será aquella que pondera mucho los costes de la Acción y los efectos secundarios de la misma.

SALUD MENTAL

Podríamos definir como una persona mentalmente sana aquella que percibe su Estado Real correctamente, y que realiza Acciones: 1.- proporcionales a la Diferencia 2.- encaminadas a cerrar la Diferencia y 3.- que valora el Esfuerzo necesario y los Efectos secundarios que tendrá.

MEMORIA

La Memoria recoge no sólo la experiencia de la persona basada en los hechos pasados sino también el Estado Deseado. Ambas cosas definen la identidad del individuo. La película Memento (2001) es un buen ejemplo de pérdida del Estado Deseado y su redefinición continuada. En esta película el personaje padece una dolencia por la que su memoria se limita a la última media hora y por lo tanto desconoce quienes son sus familiares, amigos, su casa, su auto, quienes le ayudaron y quienes le perjudicaron en el pasado. Y es consciente de que el amigo o enemigo de ahora será olvidado muy en breve, y ellos también lo saben. Su Estado Deseado es ambiguo porque en no sabe con certeza si el es (o ha sido) siempre policía o ladrón, ya que la identidad de la persona existe en tanto en cuanto esta tiene memoria de si misma.

CAPACIDADES DE LA PERSONA

Decimos que una persona tiene más capacidades que otra cuando dispone de un conjunto de instrumentos mentales que le permiten lograr su Estado Deseado mediante Acciones con un menor esfuerzo. Las capacidades deben de ser desarrolladas porque necesita valorar su Estado Real, el Esfuerzo y los Efectos Secundarios, y esto requiere un conocimiento del entorno que no es innato.

MOTIVACION

Podemos pensar en la motivación como el conjunto de elementos que acaban ayudando a la persona a definir su propio Estado Deseado. La formación del Estado Deseado no se hace sobre el vacío sino en base a una realidad cotidiana. Aquella persona que en su infancia y juventud percibe y valora muy diferentes opciones es la que va seleccionando opciones y formando en definitiva un Estado Deseado sólido. Sin duda a lo largo de la vida la persona va definiendo sucesivos Estados Deseados, pero como en la famosa película del ciudadano Kane, son sus motivaciones iniciales las que marcarán toda su vida.

EMOCIONES

La percepción del Estado Real al transmitirse a la Memoria para ser almacenada evoca por asociación recuerdos, que pueden provocar emociones en sentido positivo (euforia) o negativo (depresión).

CONDUCTA SOCIAL

La persona puede buscar ayuda en los otros para cerrar su Diferencia en base a la persuasión, la búsqueda de personas con intereses comunes, ... La conducta social de una persona puede llegar a ser agresiva si no recibe voluntariamente la ayuda que el individuo demanda.

RELACIONES HUMANAS

La capacidad de percibir las necesidades, el Estado Deseado, del otro y compartirlas define a las personas con buenas relaciones interpersonales. El caso concreto de un matrimonio es la máxima expresión de esta capacidad de compartir un Estado Deseado con otra persona. Así podemos verlo tanto como una forma de compartir un Estado Deseado en su forma más profunda como un “intercambio” de Estados Deseados, en el que cada uno de los miembros del matrimonio valora el Estado Deseado de la pareja tanto o más que el suyo propio.

Este hecho es muy importante desde el punto de vista de la estabilidad personal, ya que como veíamos antes hay muchos factores que inducen a una persona a modificar su Estado Deseado, esto no es tan fácil cuando el Estado Deseado de una persona se halla ligado a otra persona.

Afirman los antropólogos que no existe ninguna explicación para el crecimiento desmesurado del volumen del cerebro humano que no sea la necesidad de lograr una armonía entre los miembros del grupo al que pertenece. Se observa que aquellas especies que viven en grupos pequeños o como individuos aislados presentan un volumen del cerebro mucho menor que aquellas otras especies que viven en grupos, y este volumen es proporcional al tamaño del grupo al que pertenecen.

PERCEPCION

Un aspecto básico en la valoración de la Diferencia – que anticipa la Acción -es la correcta percepción de la realidad propia y del entorno. Las personas tienen un sistema neuronal muy preciso para percibir su propio estado. Es imposible simplificar pero cuando una persona no percibe correctamente su Estado Real no existe ningún mecanismo que pueda hacer prevalecer otra opinión sobre su percepción de la realidad, y únicamente una persona de toda confianza suya le puede abrir alguna duda en su incorrecta percepción. Por otra parte nuestra percepción del entorno, cada vez más tecnificado hace que los errores de percepción puedan tener consecuencias irreversibles. Un niño no puede percibir el peligro que hay en un enchufe, y como este hay cientos de trampas mortales a nuestro alrededor para las que necesitamos una apropiada educación.

ANSIEDAD, ESTRÉS, DEPRESION

Cuando un individuo mantiene de forma prolongada una Diferencia importante, se provocan estados de ánimo como son: ansiedad, estrés o depresión. Estos son síntomas de un próximo colapso del sistema. Sus efectos son la ausencia de Acciones eficientes en el sentido de mejorar su Estado Real, y por ello, en muchos casos el camino más sencillo es la reconsiderar la viabilidad de su Estado Deseado.

En resumen hemos visto en este capítulo como podemos abordar el análisis del comportamiento humano de una forma dinámica, bien sea centrándonos en alguno de sus componentes esenciales de este comportamiento: el estado real, el estado deseado, la diferencia entre ambos, la acción que se genera, o bien en las relaciones que existen entre ellos. Más adelante en el capítulo de Ejercicios veremos cómo podemos formalizar algunos de estos análisis del comportamiento humano modelando aspectos cuantitativos y cualitativos en un mismo modelo.



4. EJERCICIOS PRÁCTICOS



Ejercicios prácticos

A continuación hay una colección de ejercicios prácticos creados y seleccionados para lograr un aprendizaje fácil, completo y progresivo de esta metodología. No es necesario realizarlos en su totalidad, sino que se ofrece la posibilidad de escoger aquellos ejercicios que el lector encuentre más amenos o más afines con su área de actividad profesional.

A pesar de este aviso se han detectado frecuentes casos de adicción a la creación de modelos, de forma que algunas personas una vez completado dos o tres ejercicios encuentran dificultades para hacer una pausa y seguir con sus habituales ocupaciones.

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 alumno la necesaria habilidad para identificar estas estructuras, que son la base de cualquier modelo.

Si el lector desea hacer sólo un reducido grupo de ejercicios para conocer esta metodología, podemos decir que una selección básica que permite un aprendizaje rápido y muy completo de todos los aspectos de esta metodología consiste en realizar los casos:

- 4.1. Dinámica poblacional
- 4.2. Ecología de una reserva natural
- 4.3. Efectos de la agricultura intensiva
- 4.9. Gestión dinámica de existencias

Podemos agrupar los ejercicios en función a las similares características del contenido de algunos modelos.

Grupo 1. Ejercicios de introducción

Estos ejercicios tienen el propósito de hacernos percibir los límites de nuestra intuición cuando nos enfrentamos a una cierta complejidad, unos retrasos temporales o alguna realimentación. Con ello veremos los comportamientos posibles e imposibles que se pueden producir en un sistema. También tienen el propósito de guiar al lector en los iniciales pasos de instalación del software.

- 4.1. Dinámica poblacional
- 4.17. Llenando un vaso
- 4.20. Desarrollo de una epidemia
- 4.24. Dinámica de un depósito

Grupo 2. Ejercicios de formulación

Estos ejercicios pretenden mostrar al lector como trabajar con situaciones medianamente complejas e introducirlas en el ordenador, tanto con parámetros cuantitativos como cualitativos.

- 4.7. Ingestión de tóxicos
- 4.10. Emisiones de CO₂

- 4.12. Averías
- 4.15. Control de calidad
- 4.18. Estudio de una catástrofe
- 4.19. El joven ambicioso
- 4.26. Reactor químico

Grupo 3. Uso ecuaciones y tablas

Los ejercicios de este grupo pretenden dar al alumno formación sobre la creación de ecuaciones para recoger las relaciones entre dos elementos y utilizar tablas en los casos que es más conveniente.

- 4.2. Ecología de una reserva natural
- 4.3. Efectos de la agricultura intensiva
- 4.4. La pesca del camarón en Campeche

Grupo 4. Retrasos y oscilaciones

Este grupo de modelos permite al lector conocer uno de los aspectos más característicos de esta metodología que es la existencia de retrasos, ya sea materiales o de información, y ver la dinámica que generan.

- 4.5. Conejos y zorros
- 4.6. Problemática ganadera
- 4.9. Gestión dinámica de existencias
- 4.13. Gestión dinámica de un proyecto

Grupo 5. Las realimentaciones

Percibir correctamente la existencia de una realimentación nos abre en general la puerta a la comprensión de una dinámica y la solución en estos casos no suele ser costosa.

- 4.21. Dinámica de dos relojes
- 4.27. La farola de Darder

Grupo 6. Abordando la complejidad

La realidad suele esconder bajo una aparente complejidad estructuras realmente simples. Los modelos de simulación nos permiten aproximarnos a la percepción de esas estructuras que son la causa de los problemas que deseamos resolver.

- 4.8. Los Barays de Angkor
- 4.14. Un modelo de empresa innovadora
- 4.25. Estudio de los movimientos oscilatorios

Podemos también hacer una ordenación de los casos en base a su temática organizándolos en cuatro grandes áreas: Ambiental, Empresarial, Social y Mecánica.

Area Ambiental

Son modelos que abordan problemáticas relacionadas con la ecología y el medio ambiente, donde podemos apreciar algunas de las problemáticas de este tipo de entornos de trabajo caracterizados con frecuencia por la escasez de datos históricos y la dificultad de obtener datos precisos de todos los parámetros que intervienen.

- 4.1. Dinámica poblacional
- 4.2. Ecología de una reserva natural
- 4.3. Efectos de la agricultura intensiva

- 4.4. La pesca del camarón en Campeche
- 4.5. Conejos y zorros
- 4.6. Problemática ganadera
- 4.7. Ingestión de tóxicos
- 4.8. Los Barays de Angkor

Area Empresarial

Estos modelos ofrecen con frecuencia nuevas formas de enfocar los tradicionales problemas que existen en los entornos productivos y con frecuencia ofrecen soluciones más eficaces y más sencillas de explicar que los tradicionales métodos de Investigación Operativa.

- 4.9. Gestión dinámica de existencias
- 4.10. Emisiones de CO₂
- 4.11. Como producir más y mejor
- 4.12. Averías
- 4.13. Gestión dinámica de un proyecto
- 4.14. Un modelo de empresa innovadora
- 4.15. Control de calidad
- 4.16. Impacto de los Planes de Negocio

Area Social

En esta área los modelos de simulación permiten formalizar conceptos y soluciones con un cierto rigor tanto cuando las variables que intervienen son cuantitativas como cuando son de ordena cualitativo.

- 4.17. Llenando un vaso
- 4.18. Estudio de una catástrofe
- 4.19. El joven ambicioso
- 4.20. Desarrollo de una epidemia
- 4.21. Dinámica de los dos relojes
- 4.22. El Efecto Mariposa

Area Mecánica

Los modelos generados con esta metodología se aplican desde sus orígenes a los sistemas de control con realimentación de sistemas y mecanismos físicos. El software que aquí se utiliza permite además una comprensión más clara de la dinámica de estos sistemas.

- 4.24. Dinámica de un depósito
- 4.25. Estudio de los movimientos oscilatorios
- 4.26. Reactor químico
- 4.27. La farola de Darder
- 4.28. El Número de Oro

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

4.1. Dinámica poblacional

- Instalación del software y funcionamiento del mismo
- Comportamiento natural de un sistema.

- Modelos de simulación vs. Hoja de cálculo
- 4.2. Ecología de una reserva natural
 - Aprender a transformar un texto literario en un texto formal
 - Manejo de tablas exteriores para relaciones no lineales
 - Construcción de un modelo por etapas
 - Periodo de la simulación
 - Simulación de diferentes políticas de gestión
- 4.3. Efectos de la agricultura intensiva
 - Importancia del horizonte de simulación
 - Las unidades de medida nos ayudan
 - Puntos de ruptura sin señales de alarma
 - Uso de expresiones matemáticas
- 4.4. La pesca del camarón en Campeche
 - Comparación de la realidad y el modelo
 - Uso de expresiones lógicas y matemáticas
 - Uso de funciones aleatorias
- 4.5. Conejos y zorros
 - Causa de las oscilaciones
 - Análisis de sensibilidad
- 4.6. Problemática ganadera
 - Integración de varios submodelos en otro mayor
 - La causa de las oscilaciones
 - Explicar los resultados
- 4.7. Ingestión de tóxicos
 - Uso de funciones complejas
 - Simulación automática de cambios
- 4.8. Los Barays de Angkor
 - Uso de conceptos cualitativos
 - Aprender a transformar un texto literario en un texto formal
 - Diagrama causal explicativo
- 4.9. Gestión dinámica de existencias
 - Ver el manejo de tablas exteriores para relaciones no lineales
 - Gráficos multivariantes
 - Uso de funciones de retraso temporal
- 4.10. Emisiones de CO₂
 - Abordando la complejidad
- 4.11 Como producir más y mejor
 - Influencia de los retrasos
 - Creación de un diagrama causal
 - Explicar el comportamiento del modelo
- 4.12. Averías
 - Uso de tablas internas
 - Funcionamiento del Reference Mode
- 4.13. Gestión dinámica de un proyecto
 - Construcción de un modelo por etapas
 - Estado inicial de las variables
 - Manejo de las unidades temporales
 - Uso de funciones lógicas

- Variables de control
- 4.14. Un modelo de empresa innovadora
 - Trasladar un texto a un modelo
 - Uso de funciones lógicas
 - Modelos sin realimentación
- 4.15. Control de calidad
 - Uso de tablas internas
 - Uso de retardos y funciones test
- 4.16. Impacto de los Planes de Negocio
 - Uso de parámetros aleatorios
 - Gráficas con símbolos numéricos
- 4.17. Llenando un vaso
 - Modelización de un comportamiento lógico
 - Uso de tablas internas
- 4.18. Estudio de una catástrofe
 - Modelos multinivel
 - Comportamiento previsto vs. comportamiento real del modelo
- 4.19. El joven ambicioso
 - Uso de conceptos no cuantificables
 - Explicar los resultados
- 4.20. Desarrollo de una epidemia
 - Manipulación de flujos
 - Uso de la simulación automática SyntheSim
- 4.21. Dinámica de los dos relojes
 - Sistemas con realimentación
- 4.22. El Efecto Mariposa
 - Métodos de integración
 - Uso de gráficas XY
- 4.23. Análisis del turismo de invierno
 - Uso de las Shadow variables y la función Time
 - Añadir recuadros
- 4.24. Dinámica de un depósito
 - Comparar el comportamiento previsto y el resultado del modelo
- 4.25. Estudio de los movimientos oscilatorios
 - Uso de variables cinemáticas y dinámicas en sistemas físicos.
- 4.26. Reactor químico
 - Modelado de reacciones químicas
 - Del modelo analógico al discreto.
- 4.27. La farola de Darder
 - Funciones condicionales y Funciones estadísticas
 - Análisis de sensibilidad de los parámetros
 - Pensamiento lineal vs. Pensamiento dinámico
 - Autoevaluación final
- 4.28. El Número de Oro
 - Uso de múltiples pantallas
 - Salida de resultados en forma de listado
- 4.29. Ingestión de tóxicos
 - Uso de las Shadow variables y la función Time

El capítulo que 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.



Área Ambiental



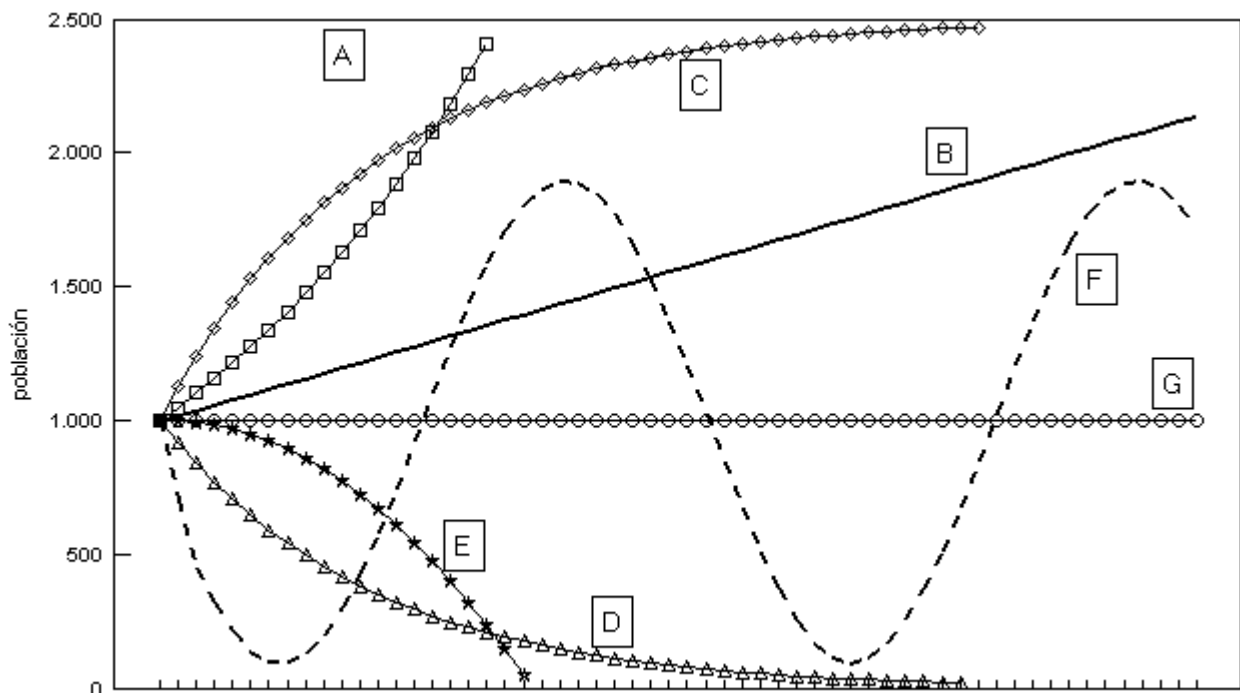
4.1. DINAMICA POBLACIONAL

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, cuáles de las trayectorias siguientes son posibles y cuales son imposibles?



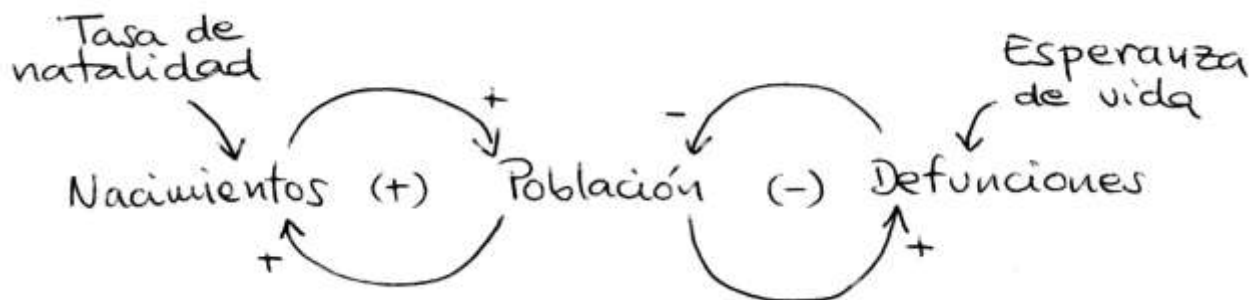
(Respuesta en la página siguiente. Se puede utilizar un Diagrama causal o uno de flujos).



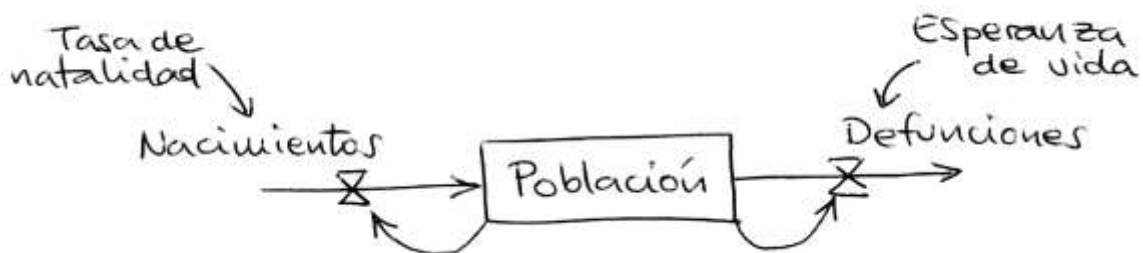
Vamos a utilizar un Diagrama Causal y vamos a representar los elementos del sistema, que en este caso son: *Población*, *Tasa de Natalidad*, *Nacimientos*, *Esperanza de Vida* y *Defunciones*.

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 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 cómo 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

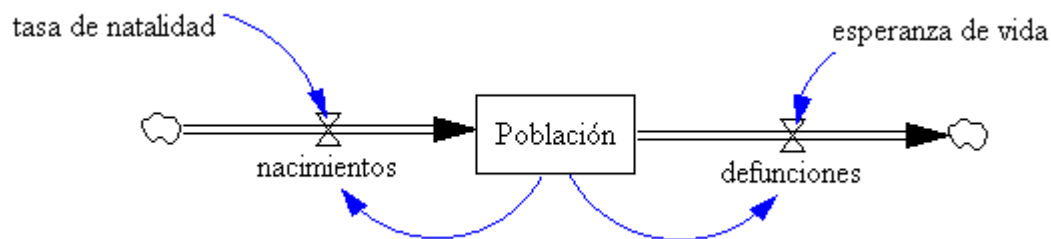
Colocar el CD en el lector. Desde la pantalla inicial de Windows pulsar en el icono de "Mi PC" ... (esperar unos segundos).. Unidad D: ... Carpeta Software Vensim ... y pulsar en Icono Venple32. Aceptar el "agreement" leyéndolo hasta el final. Escoger la versión de "Install Vensim for learning and personal 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.


INTRODUCCION DEL MODELO EN EL ORDENADOR

1. En la pantalla inicial teclear File>New Model
2. Aceptar los valores por defecto de Initial time, Final time, etc. Pulsar OK
3. 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 Población dentro del recuadro y pulsar Intro.




4. 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 y pulsar Intro. Repetimos estos pasos para crear el flujo defunciones así: Colocar el cursor **dentro** del rectángulo que dice Población, pulsar una vez, desplazar el cursor a la derecha y pulsar otra vez. Escribir defunciones dentro del rectángulo, y pulsar Intro.

5. Dibujar las Variables auxiliares

Pulsar el icono . Llevar el cursor al área de dibujo (en la zona encima de nacimientos) y pulsar una vez. Escribir tasa de natalidad dentro del recuadro que aparece y pulsar Intro. Repetirlo con esperanza de vida en la zona encima de defunciones.

6. 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.

Con el icono  seleccionado pulsar en el círculo que se halla en cada flecha y desplazarlo un poco para dar forma curvada a la flecha.

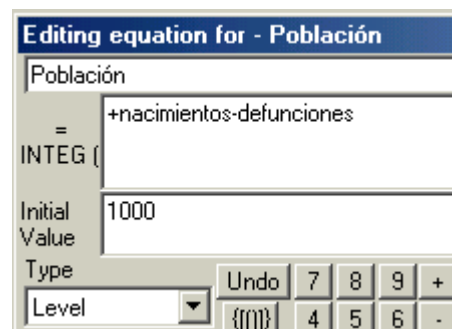
El esquema ha de quedar como se muestra en la figura de la página anterior.

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 en negro todos los literales.

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



Pinchar el literal defunciones, en la nueva pantalla seleccionar en el área de variables la de Población, luego señalar dividir (/) y seleccionar esperanza de vida. Pulsar 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.

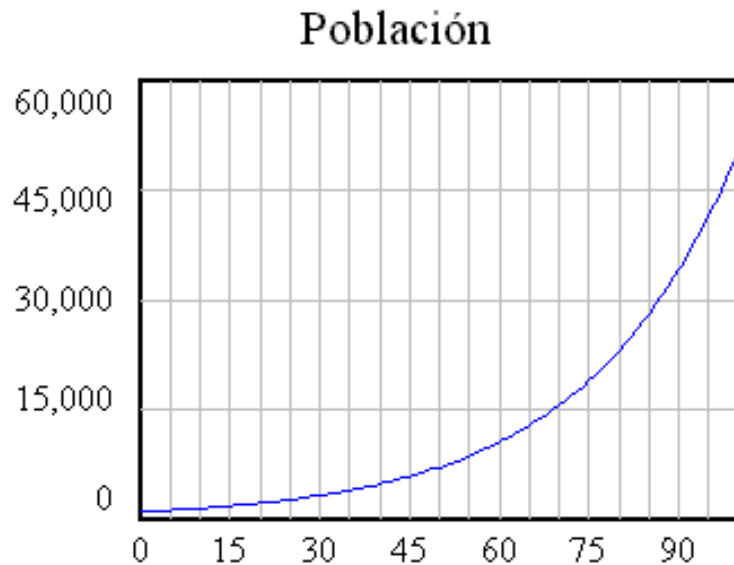
En el menú de la barra superior escoger Model > Check Model ha de aparecer Model is OK.



EJECUTAR EL MODELO


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 iconos para ver la evolución temporal de un elemento y sus causas:




La evolución temporal de un elemento determinado: 

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 cuatro 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:

Windows - Control Panel - Graphs - New – Sel (escoger las variables) - Display

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

ACCESORIOS

Para guardar el modelo teclear File - Save o el icono



Para listar las ecuaciones e imprimirlas, usar el icono:



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



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



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

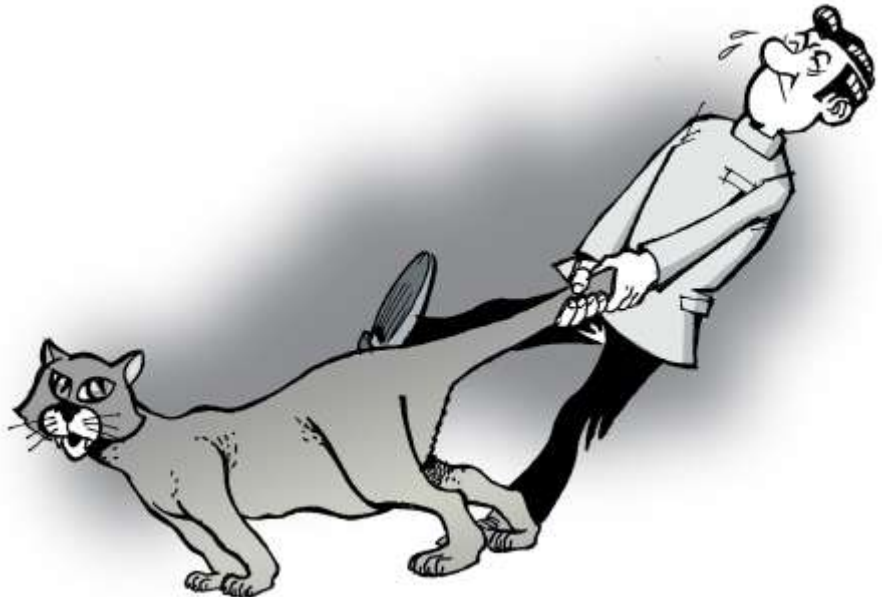


4.2. ECOLOGIA DE UNA RESERVA NATURAL

La Meseta de Kaibab es una superficie extensa y llana en el extremo norte del Gran Cañón de 1.000.000 acres. En 1907 el Presidente Roosevelt tomó la decisión de crear la Reserva Nacional de Caza del Gran Cañón, la cual incluía la Meseta de Kaibab. Se siguió la política de dar una recompensa para incentivar la caza de pumas que eran los depredadores naturales del ciervo. En un breve plazo se cazaron cerca de 500 pumas. Como resultado del exterminio de pumas y de otros enemigos naturales del ciervo, la población de ciervos empezó a crecer muy rápidamente. La manada de ciervos se incrementó desde los 5.000 antes de 1907 a unos 50.000 en unos 15 años.

Cuando la población de ciervos creció los empleados del Servicio Forestal empezaron a advertir de que los ciervos podrían agotar la comida disponible en la meseta. Durante los inviernos de 1924 y 1925 murió casi el sesenta por ciento de la población de ciervos de la meseta.

La población de ciervos de la Meseta de Kaibab continuó disminuyendo durante los siguientes años, y finalmente se estabilizó en unos 10.000 hacia 1940.



DISEÑO DE UNA POLÍTICA

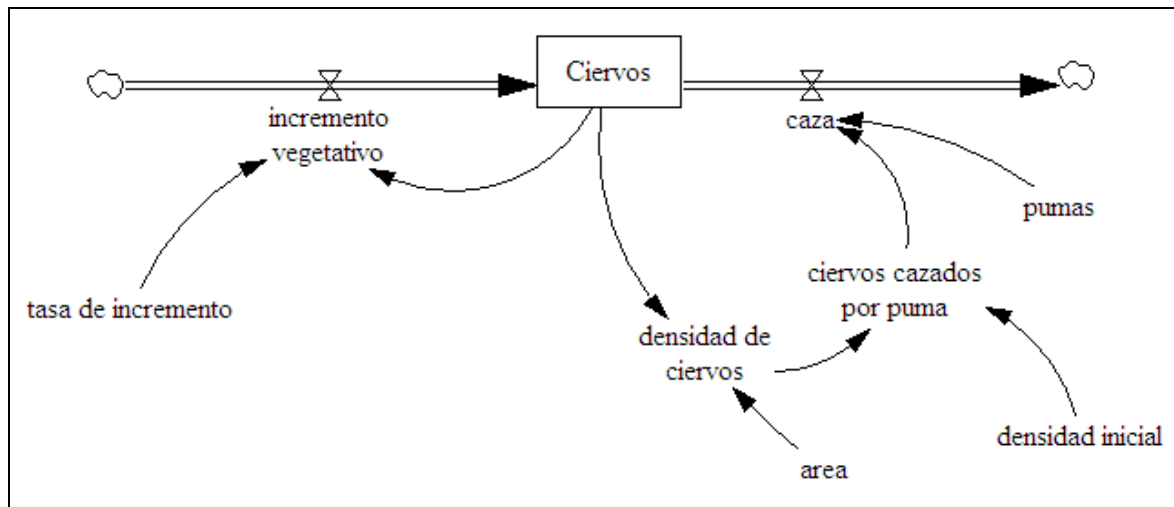
Ahora imagine que usted es un empleado del Servicio Forestal en 1930 y que ha sido encargado de la definición de una política para la gestión de la evolución de la población de ciervos de la Meseta de Kaibab. Para examinar algunas alternativas que le acerquen al problema usted decide crear un modelo.

Su principal preocupación es el crecimiento y rápido descenso de la población de ciervos observada en el período de 1900 a 1930, y su posible evolución futura desde 1930 a 1950. Por ello el periodo de análisis de su modelo abarcará desde 1900 a 1950, y el tema principal a analizar es la evolución del número de ciervos.

Una vez que haya creado el modelo correcto podrá utilizarlo para examinar el impacto de diferentes alternativas. Trate de conseguir un aumento estable del tamaño de la manada de ciervos de la meseta a partir de 1930 que es la fecha de su llegada.

La información histórica sobre la Meseta de Kaibab se halla en la obra "Conceptos de Ecología" de E. Kormondy. El modelo se basa en un trabajo de D. Meadows y M. Goodman.

VERSION 1



Definir en el Model – Settings:

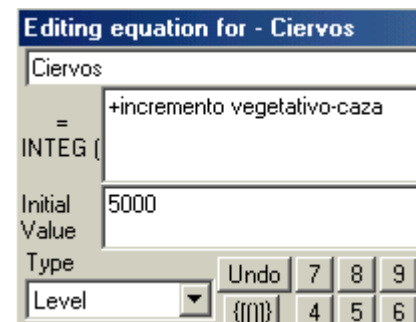
INITIAL TIME = 1900 FINAL TIME= 1950 TIME STEP=1 Units for time = año
(Atención: algunas versiones del software no aceptan la ñ en el Model Settings)

- (01) $\text{caza} = \text{pumas} * \text{ciervos cazados por puma}$
Units: ciervos/año

La caza total de ciervos es igual al número de pumas que existe por la cantidad de ciervos al año que caza cada puma.

- (02) $\text{Ciervos} = +\text{incremento vegetativo} - \text{caza}$
Initial value: 5000
Units: ciervos

Los ciervos varían en función del incremento vegetativo (nacimientos-muertes naturales) y de la caza que hacen los pumas. Los ciervos iniciales son 5000.



- (03) $\text{densidad de ciervos} = \text{Ciervos} / \text{area}$
Units: ciervos/acres
Es el número de ciervos por acre.

- (04) $\text{densidad inicial} = 0.005$
Units: ciervos/acres
Resultado de 5.000 ciervos/1.000.000 acres

- (05) $\text{incremento vegetativo} = \text{Ciervos} * \text{tasa de incremento}$
Units: ciervos/año
Es el producto del número de ciervos por su tasa de incremento vegetativa (neta).

(06) pumas= 500
Units: pumas

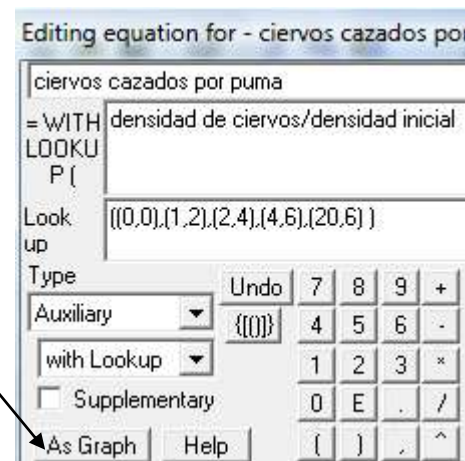
(07) area = 1000000
Units: acres

(08) tasa de incremento = 0.2
Units: 1/año

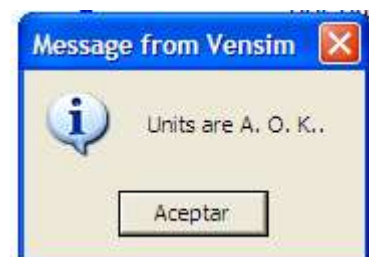
Este porcentaje se toma, a falta de datos mas precisos, de la siguiente forma: vamos a considerar el incremento vegetativo neto, o sea nacimientos menos defunciones. Si cada hembra tuviese una cría al año la tasa sobre el total de población sería del 0,5. Suponiendo que los ciervos viven 10 años, le tendríamos que restar 0,1. Total 0,4. Ahora bien como no todas las hembras tendrán cría, unas por muy jóvenes y otras por muy viejas, consideraremos que la tasa se reduce del 0,4 al 0,2.

(09) ciervos cazados por puma =
WITH LOOKUP (densidad de
ciervos /densidad inicial
Lookup
(0,0) , (1,2) , (2,4) , (4,6) , (20,6)
Units: ciervos/pumas/año

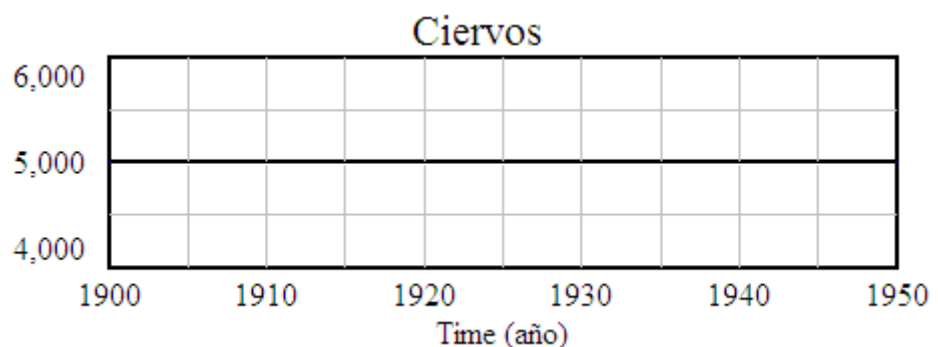
Cuando la densidad es 0 la caza es 0, punto (0,0) y cuando la densidad real es igual a la densidad inicial cada puma caza a 2 ciervos al año, punto (1,2). A medida que aumenta la densidad van aumentando las capturas. Ver Nota explicativa del As Graph en la página siguiente y de los valores tomados al final de este ejercicio.



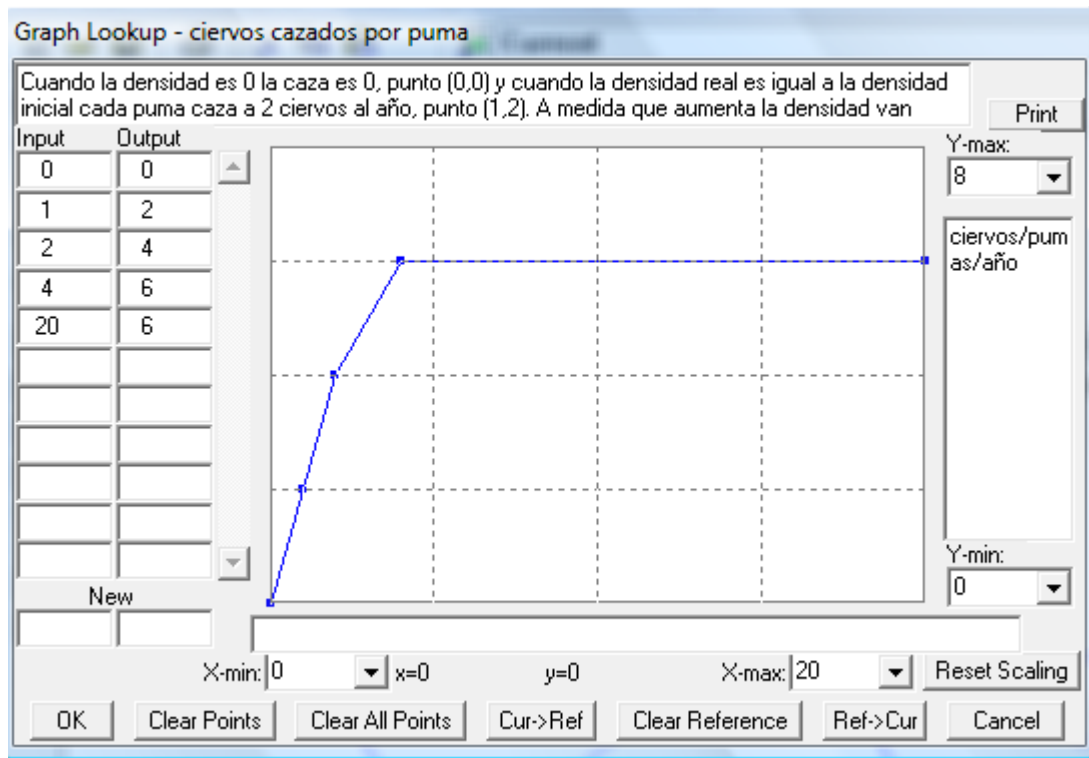
Podemos verificar que las unidades son correctas pulsando Model – Units Check



El número total de ciervos permanece constante en este modelo. Podríamos haber simplificado mucho el modelo omitiendo la tabla y poniendo en su lugar una constante, ya que de hecho funciona siempre sobre el mismo punto, en (1,2) , pero esta tabla nos será de gran utilidad para poder simular en el modelo diferentes políticas de gestión.



Pulsando el botón de As Graph podemos definir con más comodidad los puntos de la tabla:

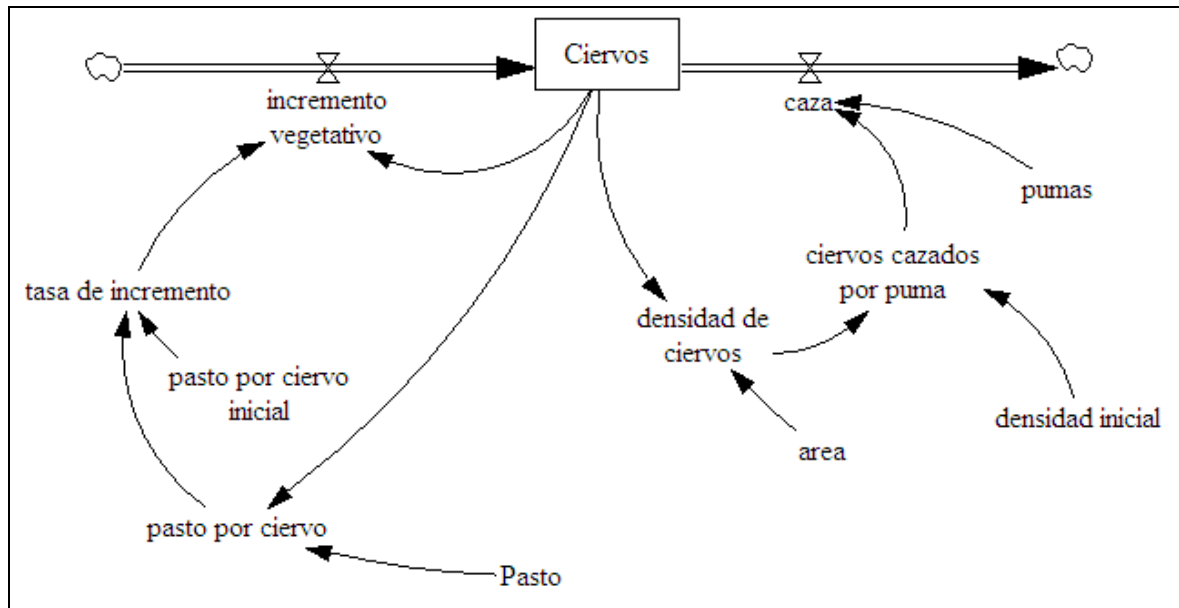


En este punto es conveniente guardar el modelo creado (File – Save) en el directorio que prefiera con el nombre kaibab1.mdl.



Los resultados obtenidos son correctos si no hubiese habido intervención humana. Ahora vamos a introducir en una nueva versión del modelo el exterminio de los pumas. También vamos a mejorar la formulación de la tasa de incremento que hemos tomado constante y la vamos a poner en relación a la cantidad de pasto por ciervo que existe en cada período. Esta nueva versión del modelo será la kaibab2.mdl

VERSION 2

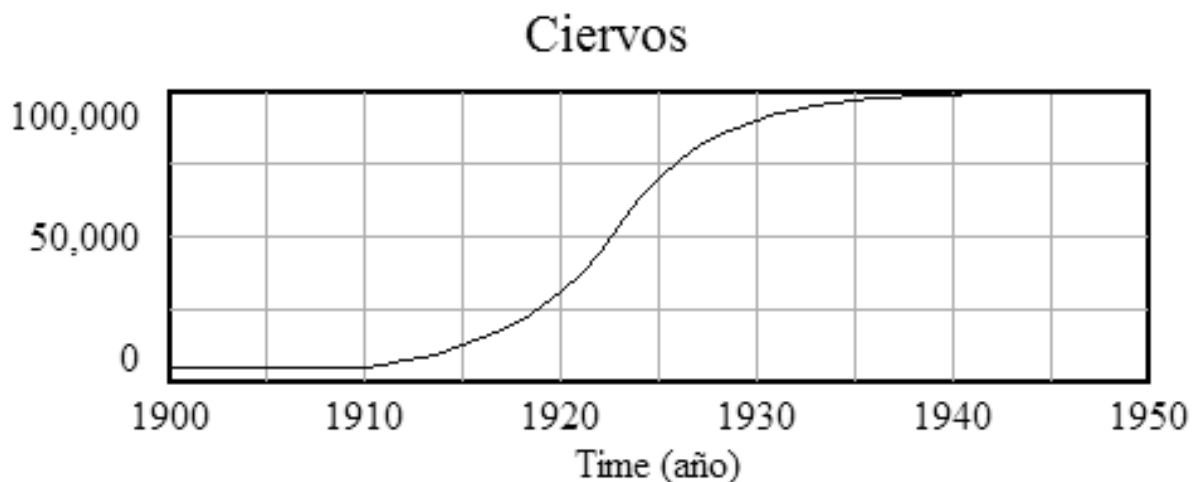


- (01) $\text{area} = 1000000$
Units: acres
- (02) $\text{caza} = \text{pumas} * \text{ciervos cazados por puma}$
Units: ciervos/año
La caza total de ciervos es igual al numero de pumas que existe por la cantidad de ciervos al año que caza cada puma.
- (03) $\text{Ciervos} = +\text{incremento vegetativo} - \text{caza}$
Inicial value: 5000
Units: ciervos
Los ciervos varían en función del incremento vegetativo (nacimientos-muertes naturales) y de la caza que hacen los pumas. Los ciervos iniciales son 5000.
- (04) $\text{ciervos cazados por puma} = \text{WITH LOOKUP} (\text{densidad de ciervos} / \text{densidad inicial})$
Lookup: (0,0), (1,2), (2,4), (4,6), (20,6)
Units: ciervos/pumas/año
- (05) $\text{densidad de ciervos} = \text{Ciervos} / \text{area}$
Units: ciervos/acres
Es el número de ciervos por acre.
- (06) $\text{densidad inicial} = 0.005$
Units: ciervos/acres
- (07) $\text{incremento vegetativo} = \text{Ciervos} * \text{tasa de incremento}$
Units: ciervos/año

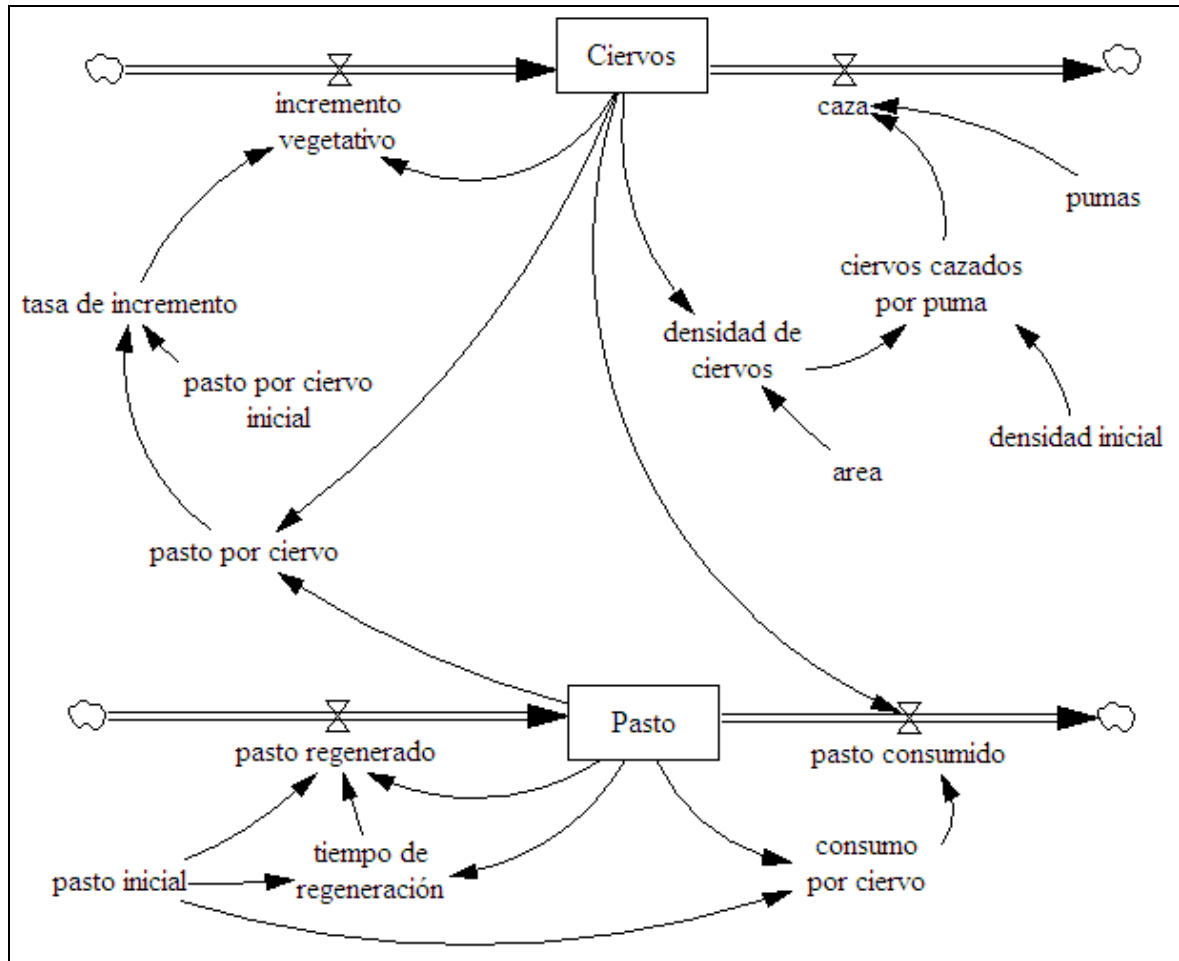
- (08) $\text{Pasto} = 100000$
 Units: toneladas
 En esta simulación tomamos un valor constante
- (09) $\text{pasto por ciervo} = \text{Pasto} / \text{Ciervos}$
 Units: toneladas/ciervos
 Es la cantidad de pasto de que dispone cada ciervo al año.
- (10) $\text{pasto por ciervo inicial} = 20$
 Units: toneladas/ciervos
 El valor inicial es de 100.000 toneladas/ 5.000 ciervos = 20
- (11) $\text{pumas} = 500 - \text{STEP}(500, 1910)$
 Units: pumas
MODIFICADO Eliminamos los pumas en 1910. La función $\text{STEP}(N,T)$ nos permite simularlo ya que reproduce una disminución de 500 en el año 1910.
- (12) $\text{tasa de incremento} = \text{WITH LOOKUP} (\text{pasto por ciervo} / \text{pasto por ciervo inicial})$
 Lookup: $(0, -0.6), (0.05, 0), (0.1, 0.2), (1, 0.2)$
 Units: 1/año
 La tasa de incremento depende de la cantidad de pasto que existe. Cuando el pasto es abundante la tasa de incremento de los ciervos es del 20% anual, punto (1,0.2) y cuando no existe pasto la tasa implica una disminución neta del 60% de los ciervos, punto (0,-0.6). Ver Nota explicativa al final de este ejercicio.

COMPORTAMIENTO OBSERVADO


Una vez suprimidos los pumas los ciervos crecen rápidamente, pero la cantidad de comida por ciervo disminuye, lo que provoca una disminución de su tasa de incremento neta.



VERSION 3



- (01) $area = 1000000$
Units: acres
- (02) $caza = pumas * ciervos \text{ cazados por puma}$
Units: ciervos/año
La caza total de ciervos es igual al numero de pumas que existe por la cantidad de ciervos al año que caza cada puma.
- (03) $Ciervos = +incremento \text{ vegetativo} - caza,$
Initial value: 5000
Units: ciervos
Los ciervos varían en función del incremento vegetativo (nacimientos-muertes naturales) y de la caza que hacen los pumas. Los ciervos iniciales son 5000.
- (04) $ciervos \text{ cazados por puma} = \text{WITH LOOKUP} (densidad \text{ de ciervos} / densidad \text{ inicial})$
Lookup $(0, 0), (1, 2), (2, 4), (4, 6), (20, 6)$
Units: ciervos/pumas/año

- (05) `consumo por ciervo = WITH LOOKUP (Pasto/pasto inicial
Lookup (0,0) , (0.2,0.4) , (0.4,0.8) , (1,1)`
Units: toneladas/ciervos/año
Toma como entrada (x) la relación entre el pasto real y el pasto inicial o normal, y toma el valor (y) del consumo en toneladas por ciervo al año. Cuando el pasto real y el inicial coinciden el consumo es 1, punto (1,1) cuando el pasto real es 0 no hay consumo, punto (0,0). Ver Nota explicativa al final de este ejercicio.
- (06) `densidad de ciervos= Ciervos / area`
Units: ciervos/acres
Es el número de ciervos por acre.
- (07) `densidad inicial= 0.005`
Units: ciervos/acres
- (09) `incremento vegetativo=Ciervos*tasa de incremento`
Units: ciervos/año
Es el producto del número de ciervos por su tasa de incremento vegetativa (neta).
- (10) `Pasto= pasto regenerado-pasto consumido`
Inicial value: pasto inicial use botón: 
Units: toneladas
Es un valor que depende del pasto consumido y del que regenera en cada periodo.
- (11) `pasto consumido= Ciervos*consumo por ciervo`
Units: toneladas/año
Se calcula como la cantidad de ciervos que existe en cada período por el consumo medio de pasto de cada uno de ellos.
- (12) `pasto inicial= 100000`
Units: toneladas
Es el valor que teníamos en 1900.
- (13) `pasto por ciervo= Pasto/Ciervos`
Units: toneladas/ciervos
Es la cantidad de pasto de que dispone cada ciervo al año.
- (14) `pasto por ciervo inicial= 20`
Units: toneladas/ciervos
El valor inicial es de 100.000 toneladas/ 5.000 ciervos = 20
- (15) `pasto regenerado= (pasto inicial-Pasto)/tiempo de
regeneración`
Units: toneladas/año
Si el tiempo de regeneración fuese de 1 año, cada año se igualarían en pasto real y el inicial, cuando no es así y cuanto mayor sea el tiempo de regeneración más lentamente se producirá el ajuste entre pasto inicial y pasto real.

(16) pumas= 500-STEP(500,1910)
Units: pumas

(17) tasa de incremento = WITH LOOKUP (pasto por ciervo/
pasto por ciervo inicial
Lookup: (0,-0.6), (0.05,0), (0.1,0.2), (1,0.2)
Units: 1/año

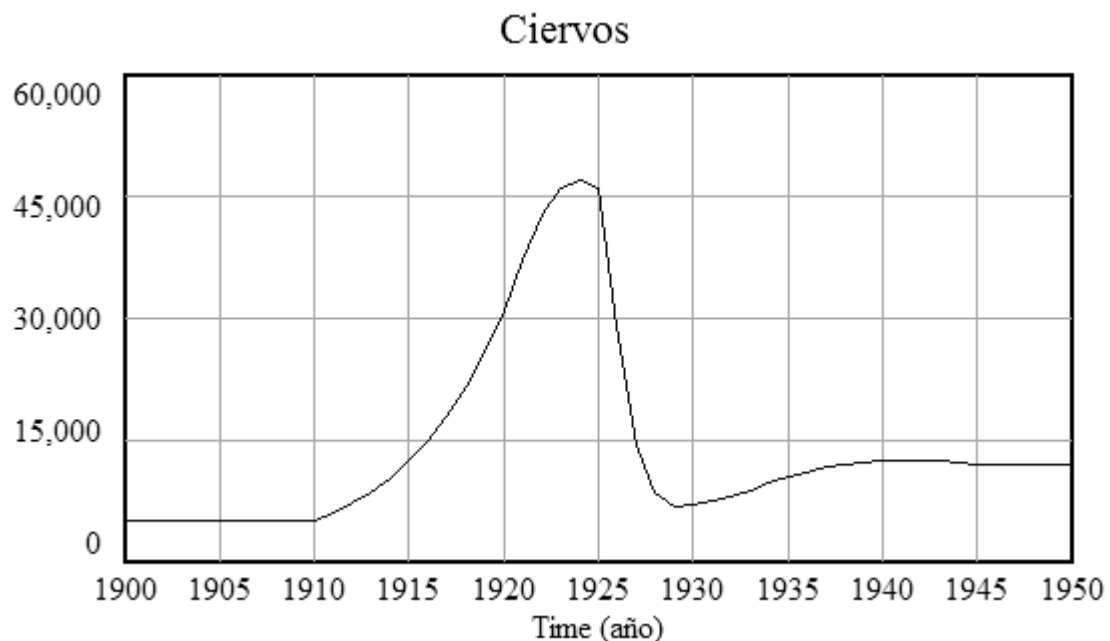
La tasa de incremento depende de la cantidad de pasto que existe. Cuando el pasto es abundante la tasa es del 20% anual, punto (1,0.2) y cuando no existe pasto la tasa implica una disminución neta del 60%, punto (0,-0.6)

(18) tiempo de regeneración = WITH LOOKUP(Pasto/pasto inicial
Lookup: (0,40), (0.5,1.5), (1,1)
Units: año

Toma como entrada (x) el porcentaje entre pasto real y pasto normal, y ofrece como salida (y) el tiempo en años de regeneración, que va desde 1 a 40 años. Cuando el pasto real el pasto inicial coinciden el tiempo de regeneración es 1, punto (1,1) y cuando no hay pasto real el tiempo de regeneración es 40 años, punto (0,40)

COMPORTAMIENTO OBSERVADO

Ejecutando el modelo podemos observar una evolución en el número de ciervos muy similar a la que nos describen que sucedió realmente y por lo tanto podemos considerar que este modelo es ya una buena base para la introducción en el de políticas de gestión que nos permitan actuar con una nueva visión de sus consecuencias.



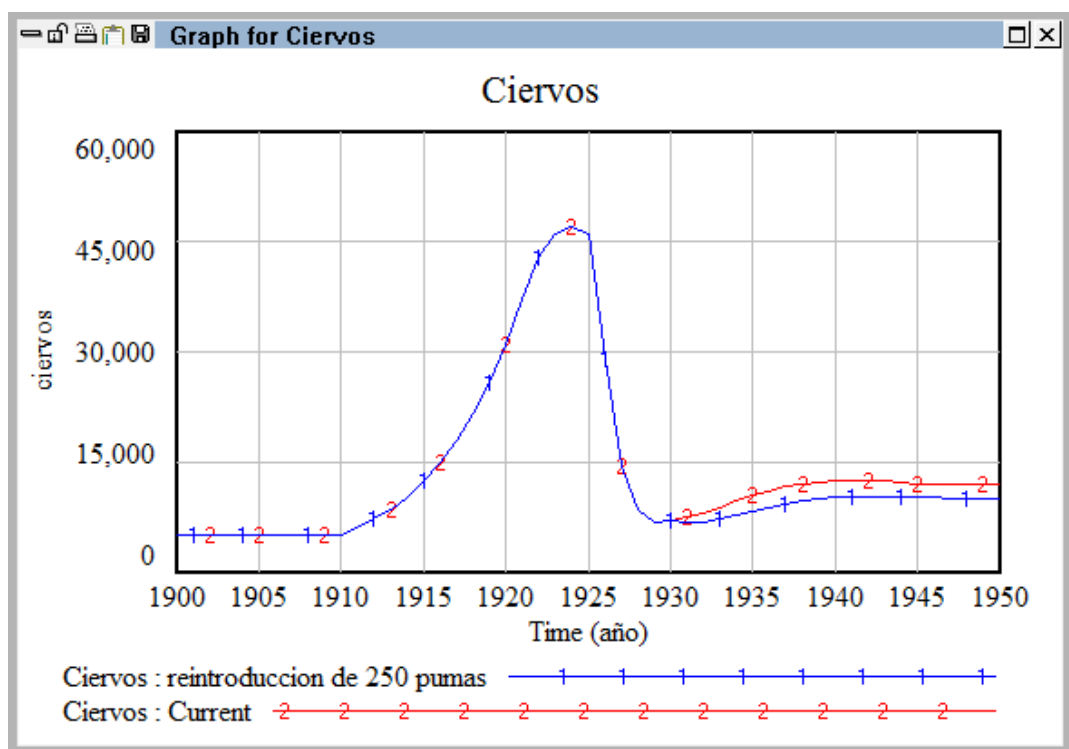
Estudio de políticas de gestión

Existen diversas políticas que pueden simularse con el modelo, algunas son actuaciones en una sola variable o dirección y otras son una combinación de actuaciones. Podemos pensar en tres actuaciones: reintroducir los pumas, dar pasto durante un tiempo, y por último introducir cazadores que eliminen a los ciervos enfermos. Otras no son físicamente posibles, como podría ser aumentar el área de la reserva ya que nos indican que ésta se halla rodeada de montañas.

Nuestra intuición nos suele indicar que retornar al Paraíso Perdido anterior a la manipulación del hombre blanco es siempre una buena idea, y eso se traduce en intentar un retorno al pasado. Para hacerlo vamos a simular una primera reintroducción de 250 pumas en 1930 y vamos a ver las consecuencias en el modelo. Para esto modificaremos la ecuación de los pumas:

$$\text{pumas} = 500 - \text{STEP}(500, 1910) + \text{STEP}(250, 1930)$$

Cuando ejecutemos el modelo aparecerá el mensaje “Dataset Current already exists. Do you want override it?” le señalaremos No y daremos un nombre a la nueva simulación, para ver ambas de forma comparativa. Para numerar las gráficas – lo que es de utilidad si vamos a hacer copias en blanco y negro – hemos de ir a la barra superior: Options – options – y marcar ‘Show Line Markers on Graph Lines’



El resultado de esta actuación como podemos ver en la gráfica de la página siguiente no mejora la evolución del número de ciervos, sino que reduce la cantidad de estos.

Nota explicativa de las tablas del modelo

Primero un prologo. Si sabemos que "A mas cantidad de lluvia cayendo, hay mas proporción de personas con paraguas", podemos intentar hallar una ecuación matemática que recoja esta relación, pero esto será muy complicado. Por el contrario podemos hacer unas observaciones del tipo: Si caen 0 litros/hora el porcentaje de gente con paraguas es .. 0%, si caen 50 litros el porcentaje es del 100%, si caen 10 litros el porcentaje es del 30%, y así. Una tabla es una representación en papel de estos puntos. De forma que cuando lluevan 20 litros, el modelo interpolará entre los valores más próximos que hemos decidido, y en esa parte del modelo tomará que por ejemplo hay el 65% de personas con paraguas.

En este modelo no tenemos muchos datos cuantitativos. Solo 5.000 ciervos y 1.000.000 acres. Tampoco nos piden precisión, nos piden soluciones. Consideramos que de los 5000 ciervos la mitad son hembras, y que tienen una cría al año (como las vacas, yeguas, etc. que todos tenemos mas próximas) Tasa de incremento = 50%. No obstante, dado que hay una proporción de hembras muy viejas o muy jóvenes que no van a tener descendencia, bajaremos esa proporción al 30%.

Ya que nos interesa la Tasa Neta, hemos de descontar las defunciones. No sabemos la esperanza de vida, pero por similitud con otros animales podemos considerar unos 10 años.

Una población distribuida linealmente en edad, con una esperanza de vida de 10 años, pierde cada año el 10% de sus miembros. Ergo ... el 50% máximo lo pasamos al 30% (más realista) y a este le quitamos el 10% ... Nos queda una tasa del 20%. Este es el valor que tomamos en el modelo Kaibab 1 como Tasa de incremento. Ya sabemos que no "era" real, pero es un valor razonable. Después cuando tengamos el modelo completado si vemos que este parámetro influye mucho en el comportamiento general del modelo y haremos un estudio mas detallado de este aspecto, para obtener este valor con mas precisión.

En el Kaibab 1, donde reproducimos una situación de equilibrio de 5000 ciervos, no importan los valores de la **Tabla de ciervos cazados por puma**, sólo un valor es importante, el de que con una densidad de ciervos igual a la densidad inicial cada puma caza 2 ciervos/año (y). El resto de valores de la tabla no actúa, ya que siempre esta versión del modelo trabaja sobre este único punto.

En todas las tablas suele haber un punto (x,y) que es esencial y que se toma en base a una hipótesis. En este caso si se hubiese supuesto por ejemplo que con una densidad de ciervos igual a la inicial cada puma caza 5 Ciervos/año, se obtendría que para conseguir un sistema en equilibrio, donde sabemos entran 1000 ciervos al año, y deben por lo tanto de ser cazados el mismo numero, debían existir 200 pumas ($200 \times 5 = 1000$).

El resto de puntos de las tablas responden a un cierto "sentido común", que es irrefutable en cuanto a la pendiente, positiva o negativa, de la relación. "A más densidad más caza", implica una pendiente positiva. Y también conocemos algún punto seguro. Si densidad de ciervos =0, la caza = 0, ya que por muchos ciervos que haya, y difícilmente un puma cazará más de 1 ciervo al mes (tomamos un máximo de 6 al año) etc.

Estos no son modelos de previsión sino de "comparación" de políticas alternativas. Y no es necesario un ajuste muy preciso del modelo para decidir cual de las posibles políticas es la mejor.

En la **Tabla de la tasa de incremento** se parte del punto de equilibrio que nos indican (100.000 Tm de pasto entre 5.000 ciervos son 20 Tm/ciervo) y se le asigna el valor 0,2 para la tasa de incremento (como en Kaibab 1). ¿El resto de valores? Hay que preguntarse: ¿Cual será la tasa de incremento anual cuando no haya comida (comida/ciervo=0) ? ¿será la tasa de incremento también igual a 0 y ya tenemos otro punto de la curva? ... pues seguramente no, ya que si durante un año no hay comida la tasa de incremento va a ser negativa, y próxima a -1 (que implicaría que todos mueren). Así que tomamos una tasa de -0,6. Y esto nos define otro punto. El resto de puntos son valores que se pueden colocar con una cierta lógica, pero que no responden a una información adicional (que no tenemos). Si se observa que estos valores que se intrapolan influyen mucho en el resultado final, se hace alguna investigación posterior más detallada, en caso contrario no se dedican esfuerzos a este tema.

En la **Tabla del tiempo de regeneración** el comportamiento es exponencial ya que se parte del concepto de que la regeneración partiendo de 1 acre de hierba no va a seguir la serie de valores 2, 3, 4, 5 , etc., sino que será algo mas parecido a la multiplicación celular: 2, 4, 8, 16, 32 ... Y así en concreto lo que se define es que cuando la proporción (pasto/pasto normal) sea 0 el tiempo de regeneración será de 40 años, punto (0,40) y luego a medida que esta proporción aumenta va disminuyendo el tiempo de regeneración.

En cuanto a la última tabla, la **Tabla del consumo por ciervo**, simplemente se toman valores razonables que recojan la idea de que con menos alimento disponible, los ciervos van a comer menos cantidad, ya que tendrán que desplazarse de un lugar a otro. Su utilidad adicional es que podemos variarla y simular el efecto de los diferentes comportamientos de los animales. El punto 1,1 y el 0,0 están muy claros ya que representan la situación normal, y la de ausencia total de comida.



4.3. EFECTOS DE LA AGRICULTURA INTENSIVA

Uno de los más grandes misterios de la historia de la Humanidad ha sido el repentino colapso de una de los principales centros de la civilización Maya en Centroamérica justo en el momento en el que aparentemente era un foco de cultura, arquitectura y población, hacia el año 800 d.C.

Nadie conoce exactamente porqué esta próspera sociedad de varios millones de personas no pudo tomar en su momento las medidas correctoras necesarias para evitar el colapso de su cultura. Las recientes investigaciones muestran una gradual tensión entre población y medio ambiente que finalmente pudo haber sido crucial en el colapso. El medio ambiente tropical es notoriamente frágil. A través del conocimiento de lo que los Mayas hicieron podemos extraer conclusiones que nos permitan conservar mejor nuestro entorno. Un conocimiento que puede ser especialmente valioso para los países del Tercer Mundo.

Justo antes del cataclismo, las nuevas investigaciones sugieren que la población alcanzaba una densidad de 200 a 500 personas por kilómetro cuadrado. Esta densidad de población sugiere casi con certeza que poseían avanzados sistemas de agricultura o un comercio a gran escala.

Durante el transcurso de 2 a 4 generaciones Mayas, lo que probablemente abarca menos de 100 años, la población cayó a lo que había sido 2000 años antes, que era 20 habitantes por kilómetro cuadrado o menos, y en ocasiones muy distantes entre sí. Además, después del colapso, zonas enteras han permanecido casi deshabitadas durante mil años, prácticamente hasta mediados de este siglo.

Algunos cambios ambientales que aún hoy en día son apreciables parecen haber sido los desencadenantes de la total pérdida de población. Lagos que eran aparentemente centros de encuentro en la época Maya aún no han recuperado el grado de productividad que hicieron de sus orillas un buen lugar para vivir hace más de 1000 años.



Estos indicios sobre el pasado han sido hallados durante una investigación de ocho años por científicos de la Florida State University y de la University of Chicago. Sus trabajos mostraron un crecimiento casi exponencial de la población Maya durante por lo menos 1700 años en las tierras bajas tropicales de lo que actualmente es Guatemala.

Las cifras de población se doblaban cada 408 años, de acuerdo con las nuevas estimaciones. Esta tendencia puede haber cogido a los Mayas en una trampa sorprendente. Su población crecía a un ritmo estable, y durante muchos siglos el crecimiento era demasiado lento para que cada generación pudiera aperebirse de lo que estaba ocurriendo.

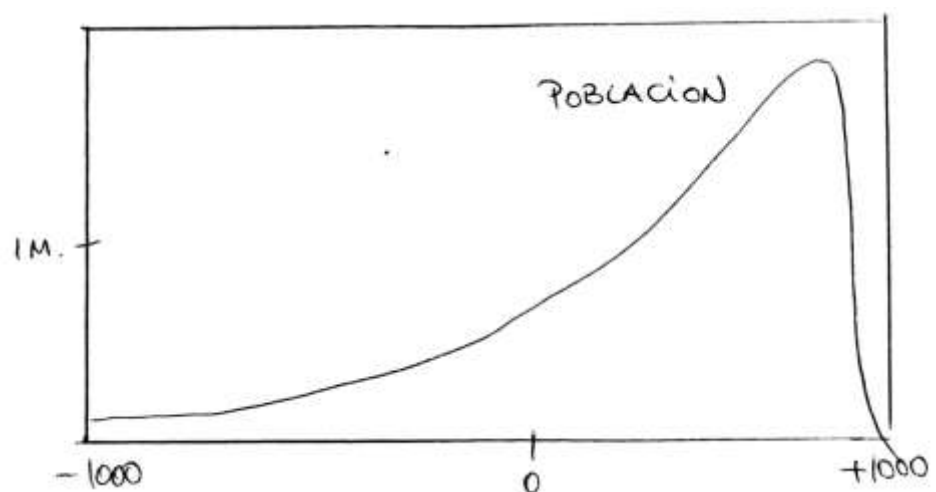
La creciente presión durante siglos sobre el medio ambiente puede haber llegado a un punto imposible de mantener. Incluso es posible que esta presión haya sido imperceptible, hasta que se produjo la huida masiva de la población en el final. Los especialistas creen que en otras regiones más al Norte, la calidad de vida de las civilizaciones Mayas parece también haberse deteriorado aunque sin alcanzar una caída de población tan espectacular. Las nuevas estimaciones para las tierras llanas del sur se basan principalmente en un estudio detallado de los edificios residenciales que fueron construidos, ocupados y abandonados durante siglos.

Los estudios se han centrado en una región que posee dos lagos adyacentes, ahora con el nombre de Yaxha y Sacnab hacia el norte de Guatemala. La zona se empezó a habitar hace unos 3000 años y los primeros enclaves agrícolas aparecen sobre el año 1000 a.C. La tierra fue ampliamente deforestada hacia el año 250 d.C.

La agricultura que fue intensificada gradualmente parece haber ido acumulando sus efectos perjudiciales a un entorno originalmente verdoso. A esto hay que añadir el incremento de los asentamientos humanos y de otros trabajos de arquitectura de mayor envergadura. Los nutrientes esenciales de la tierra fueron arrastrados o se deslizaron hasta ir a parar a los lagos, disminuyendo la productividad de las tierras agrícolas.

El incremento en fosfatos en los lagos procedentes de la agricultura y residuos humanos muestran que la contaminación pudo haber agravado el daño al entorno. Los científicos han confirmado las estimaciones sobre la población en el incremento de los fosfatos que se produjo paralelo al incremento de la población. Los autores de la investigación señalan que es la primera vez que se puede justificar una correlación entre el incremento de población y el del daño al medio ambiente que lleva aparejado el primero.

Basado en el artículo
"Study Depicts Fall of
Mayan Civilization" de
Harold M. Schmeck en
New York Times
(23/10/1979)



RESUMEN

La población máxima alcanzada poco antes del año 1000 d.C. era de varios millones de personas (consideraremos 2 millones hacia el año 700 d.C. ya que el informe habla de 1700 años desde el inicio, hacia el año 1000 a.C.). La densidad final se hallaba entre 200 y 500 habitantes por km² (consideraremos 400). Una población de 2 millones de habitantes con una densidad de 400 habitantes por km² implica una superficie de 5.000 km² (que inicialmente consideraremos casi enteramente cubierta de selva).

Aunque se desconocen las tasas de natalidad y de mortalidad, una población que se duplica cada 408 años implica una tasa de incremento del 0,17%, ya que $1 \times (1 + 0,0017)^{408} = 2$

Parece ser que el colapso de la civilización que se tradujo en la emigración masiva se debió a un exceso de población que agotó los recursos naturales disponibles. También parece que la contaminación de los lagos es más que un simple indicador del número de habitantes que la causa de los problemas de dicha civilización.

SUPERFICIE SELVÁTICA: Inicialmente de 5.000 km², que se transforma en Superficie agrícola en base a la deforestación. **SUPERFICIE AGRÍCOLA:** Inicialmente tomaremos 8 km² que es lo necesario para mantener a la población inicial.

DEFORESTACION: Son los km² que se transforman en superficie agrícola.

DEMANDA DE ALIMENTOS: Se calcula como el consumo de alimentos por habitante multiplicado por el número de habitantes.

INCREMENTO NETO: La tasa de crecimiento neto de la población del 0,17% según hemos calculado.

EMIGRACIÓN: Salida de población por falta de alimentos.

DIFERENCIA: Diferencia entre la Demanda de alimentos y la Producción de alimentos.

PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS: Calculada como la Superficie agrícola por la productividad del suelo agrícola.

CONSUMO POR PERSONA: Constante en 400 kilos por habitante y año.

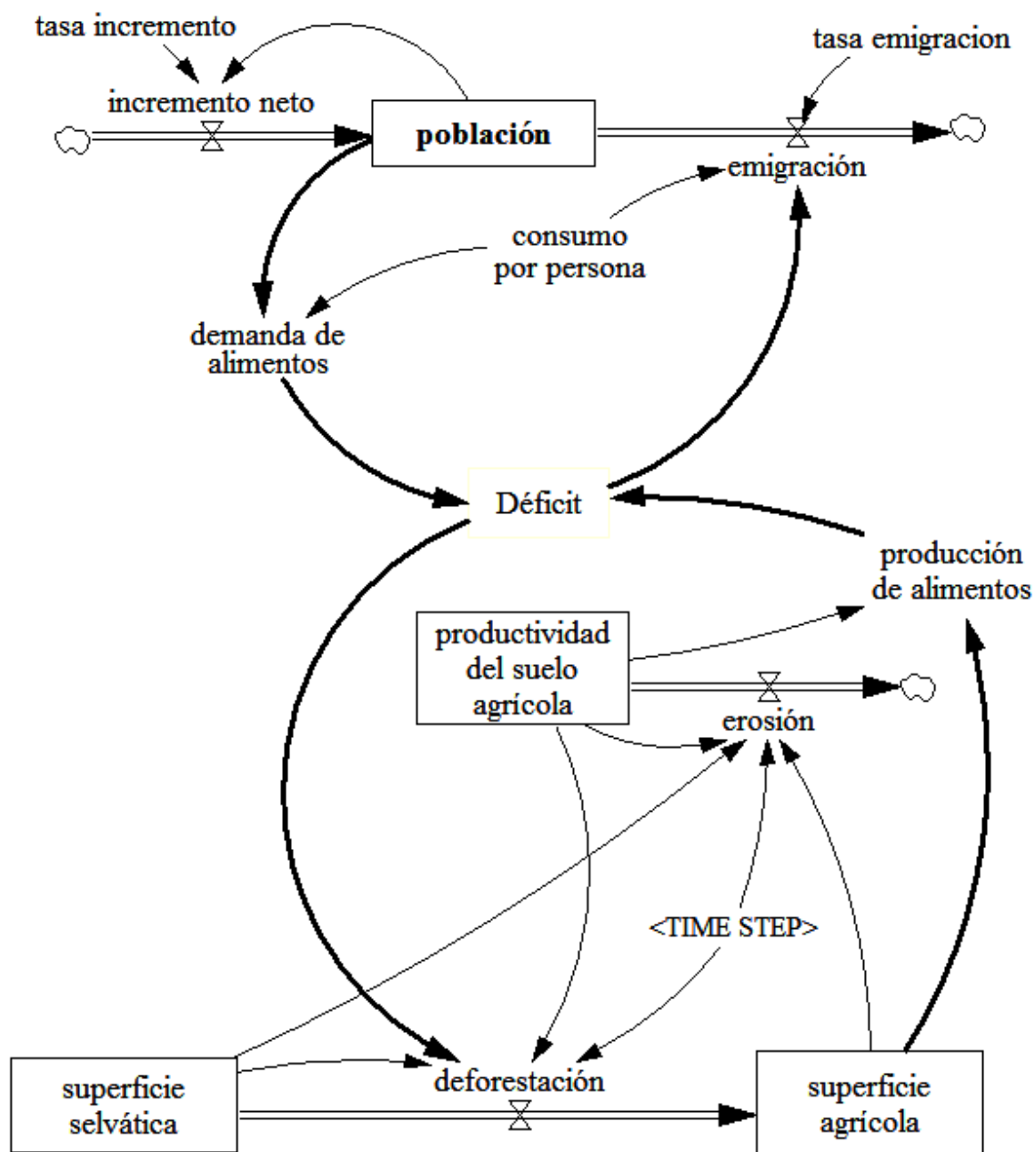
EROSIÓN: Variación de la productividad del suelo agrícola, medida en kilos de alimento por km². Se calcula como una función cuadrática del cociente entre la Superficie Agrícola y la Superficie Selvática para recoger el efecto de que aumenta con la Superficie Agrícola.

PRODUCTIVIDAD DEL SUELO AGRÍCOLA: Medida en kilos de alimento por km².

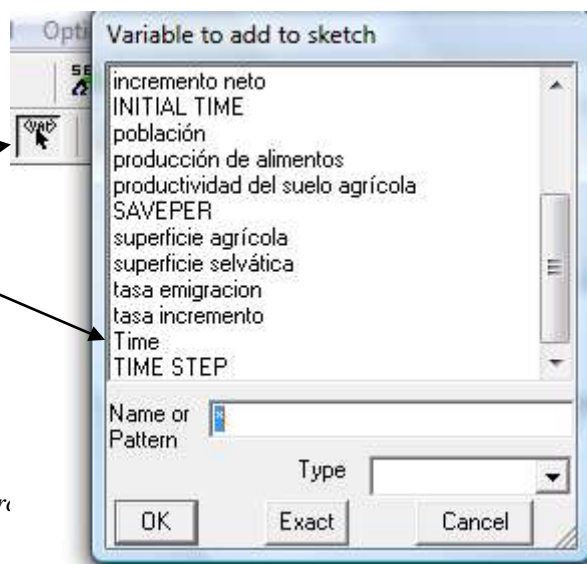
POBLACIÓN: Inicial de 100.000 habitantes en el año 1000 a.C. en base a que $2.000.000 = 100.000 * (1 + 0,0017)^{1800}$, ya que nos dicen que en el momento del colapso había 2.000.000 de personas.

DISEÑO DE UNA POLÍTICA

Ahora si usted pudiese retroceder 3000 años, indique que política podría establecerse para evitar el agotamiento de los recursos naturales.



Para añadir el TIME STEP en un diagrama es necesario pulsar el icono de Shadow variables y después escoger la variable TIME STEP de la lista.



NIVELES

población = incremento neto - emigración

Initial value: 100000 (ver nota final)

Units: persona

100.000 habitantes iniciales es la cifra aproximada que si se duplica en períodos de 408 años (dato) entre -1000 y +800 ofrece una cifra de población final de varios millones de habitantes (dato).

superficie agrícola = deforestación

Initial value: 8

Units: km2

El valor inicial se obtiene de considerar un consumo de 40.000.000 kg al año, para 100.000 habitantes y una productividad inicial del suelo de 5.000.000 kg/km2 y año.

superficie selvática = -deforestación

(ver nota final)

Initial value: 5000

Units: km2

La cifra inicial se obtiene del dato de densidad 400 hab/km2 y de la población final de 2.000.000 de habitantes.

productividad del suelo agrícola = -erosión

(ver nota final)

Initial value: 5000000

Units: kg/(km2*año)

El dato inicial de 5.000.000 kg/km2 permite obtener 40.000.000 kg por el cultivo de 8km2, que es igual a la demanda inicial de alimentos de 100.000 personas con un consumo de 400 kg al año.

FLUJOS

deforestación=MIN(Déficit/MAX(productividad del suelo agrícola,1),superficie selvática*0.04)/ TIME STEP

Units: km2/año (ver nota final)

En esencia se deforesta la cantidad de km2 necesarios para cubrir el Déficit de alimentos que se necesitan, lo que es función tanto del Déficit de alimentos (kg) y de la productividad del suelo agrícola (kg/km2). La función MAX se utiliza para que no aparezca un error al dividir por 0. La función MIN se usa para que como máximo se desforeste la superficie de selva que existe, y dadas las limitaciones físicas que esta sea un 4% del total de selva. La variable de TIME STEP, que vale 1, indica que cada año se deforesta la cantidad de selva necesaria para producir los alimentos que se necesitan.

emigración = (Déficit/consumo por persona)*tasa emigracion

Units: persona/año

La variación debida a falta de alimentos la obtenemos de la relación entre el Déficit (kg/año) y consumo por persona (kg/(persona*año)), donde las unidades después de dividir son (personas/año). Lo corregimos por el factor "tasa de emigración" (5%) ya que consideramos conservadoramente que sólo emigra el 5% de los que no tienen comida ese año.

$\text{erosión} = \text{productividad del suelo agrícola} * \text{MIN}(1, (\text{superficie agrícola} / \text{superficie selvática})^2) / \text{TIME STEP}$

Units: $\text{kg}/(\text{km}^2 * \text{año})/\text{año}$ (ver nota final)

Se considera que la erosión es proporcional a la productividad existente del suelo y también de la relación que existe entre la superficie agrícola y la selvática de una forma cuadrática (para no usar una tabla).

$\text{incremento neto} = \text{población} * \text{tasa incremento}$

Units: persona/año

El porcentaje del 0,17% recoge el neto entre nacimientos y defunciones. Así, la población alcanza 2.000.000 de personas tras 1800 años, partiendo de 100.000

VARIABLES AUXILIARES

$\text{demanda de alimentos} = \text{consumo por persona} * \text{población}$

Units: $\text{kg}/\text{año}$

$\text{Déficit} = \text{demanda de alimentos} - \text{producción de alimentos}$

Units: $\text{kg}/\text{año}$

$\text{consumo por persona} = 400$

Units: $\text{kg}/(\text{persona} * \text{año})$

Corresponde a algo más de 1 kg de alimentos, básicamente vegetales, por persona y día.

$\text{producción de alimentos} = \text{productividad del suelo agrícola} * \text{superficie agrícola}$

Units: $\text{kg}/\text{año}$

$\text{tasa emigración} = 0.05$

Units: $1/\text{año}$

porcentaje de personas que emigran por falta de alimentos.

$\text{tasa incremento} = 0.0017$

(ver nota final)

Units: $1/\text{año}$

Que la población se duplica cada 408 años es un dato. El porcentaje de 0,170 % aplicado de forma continua hace que al cabo de 408 una cifra se duplique: $(1+0.0017)^{408}=2$

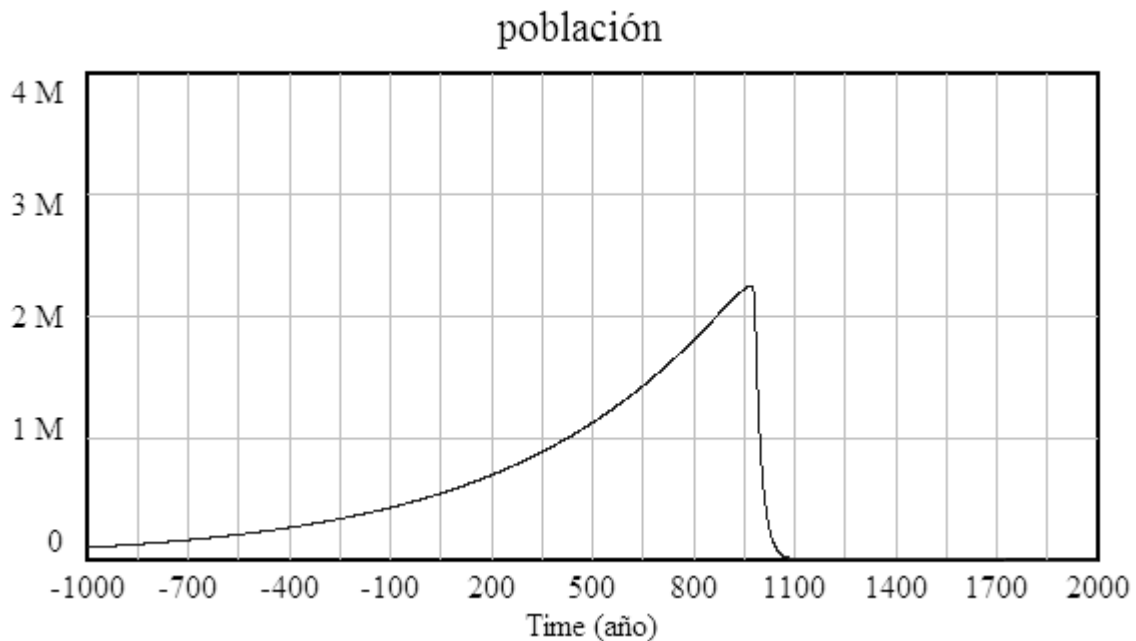
CONTROLES

Podemos modificar las fechas inicial y final con la opción Model – Settings. Simularemos desde el año -1000 al año 2000 para ver la evolución de la población hasta nuestros días.

$\text{TIME STEP} = 1$ $\text{INITIAL TIME} = -1000$ $\text{FINAL TIME} = 2000$

Units for time = año

En ocasiones, dependiendo de la versión del software, no es posible usar la ñ en Units for time.



La evolución de la población que obtenemos en el modelo es prácticamente idéntica a la que nos describe el artículo de prensa, y por lo tanto a partir de aquí ya tenemos una cierta base para simular el efecto de posibles actuaciones correctoras.

Nota final

TASA DE INCREMENTO

El dato que tenemos al respecto es que la población se duplicaba cada 408 años. Es un dato curioso para aparecer así en un artículo de prensa. Lo normal es que el periodista hubiese puesto 400, pero no lo ha hecho. Bien si tenemos una población que se duplica cada 408 años, ¿qué tasa anual de incremento tiene? pues exactamente 0,1700% o sea que tenemos que $(1+0,0017)^{408}=2$. Seguramente el que hizo los cálculos obtuvo el valor 0,17% pero al periodista eso le pareció confuso, y prefirió poner el periodo de duplicación de la población, sin redondeo. No podemos trabajar con más precisión de los datos base que tenemos. Seguramente el investigador que hizo los cálculos obtuvo unos resultados muy precisos, pero no creo que fuesen tanto como para diferenciar entre una tasa de incremento del 0.00170033407 que es $2^{(1/408)}$ y 0.001704515 que es $2^{(1/407)}$ y después pasó el filtro de la persona que escribió el artículo, que no podía poner 408,x años. Es fácil pensar que el resultado del estudio fue una tasa del 0.17% (sin más decimales).

POBLACION INICIAL

Necesitamos disponer de la cifra de población inicial, pero solo disponemos de una estimación de la población final antes del colapso de “varios millones de personas”. Vamos a tomar una población final de 2.000.000 de personas y conociendo la tasa de incremento podemos deducir que la población inicial era de 94.000 personas. Ya que partimos de una estimación de la cifra final podemos redondear la cifra inicial a 100.000 personas.

SUPERFICIE SELVATICA

Partimos de que por las razones que sean (otras poblaciones próximas es la hipótesis mas razonable, o bien accidentes geográficos como son los ríos), no podían expandirse ilimitadamente, y su zona natural era de unos 5000 km².

DEFORESTACION

La "deforestación" es la cantidad de Selva que se transforma cada año en Superficie Agrícola (son pues km²/año). ¿En base a qué deciden los Mayas cuantos km² adicionales de campos necesitan? Calculan el "Déficit" que tienen de alimentos (kg.), y lo dividen por la "productividad del suelo agrícola" (kg/km²*año), y así obtienen cuantos km² han de deforestar. Eso es todo. El resto de elementos de la ecuación se añaden para evitar comportamientos irreales o compulsivos, o divisiones por cero.

Así el MAX(productividad,1) se usa para que aunque la productividad descienda mucho, nunca llegue a ser absolutamente 0, lo cual es irreal y por otra parte nos provocaría una división entre 0 que colapsaría el modelo. Por otra parte el MIN(....., superficie selvatica*0.04) se hace para que se deforeste la cantidad necesaria, pero si esta fuese una barbaridad, por ejemplo que se deseara deforestar el 50% de la selva, ya que esto sería físicamente imposible, el modelo simularía como máximo una deforestación del 4% de la superficie selvática.

Estos juegos de hipótesis nos permiten avanzar en un modelo. Este modelo es un ejercicio que tiene una formulación un poco compleja ya que no se utilizan Tablas.

Veamos el significado de estos parámetros de otra forma:

- a) El "1" de la expresión MAX(productividad,1) tiene la siguiente utilidad: Queremos calcular la Deforestación (km²) como la división simple entre el déficit de alimentos (kg.) y la productividad (kg/km²). Y esto es lo que contiene la fórmula en esencia. No obstante, si la productividad que es inicialmente 5.000.000 llegase a ser igual a 0 el resultado de la división sería infinito y el modelo se bloquearía. Para evitar esto, decimos que el cociente sea el MAX(productividad,1) o sea que tomaremos el valor máximo entre la productividad y 1, de forma que si la productividad fuese 0 tomaríamos 1 y el modelo no se bloqueará. Esa es la única utilidad de incluir el "1", evitar que el modelo se bloquee.
- b) En relación al 4% de la expresión MIN(....., superficie selvatica*0.04), podemos decir que es una hipótesis "escondida" en el modelo, que no se suele hacer y que no queda elegante hacerlo. El sentido de este valor es que no es razonable pensar que se va a deforestar lo que se desee de forma automática y sin ningún límite, y ponemos como límite que como máximo se deforestará el 4% de la superficie selvática en un solo año.
- c) Por ultimo dividimos por TIME STEP para recoger y simular la rapidez con la que esta decisión se lleva a la práctica. Tomamos un valor igual a 1 que significa que lo harán cada año, sin demorarlo en varios años.

PRODUCTIVIDAD

Crear un modelo es en muchas ocasiones como ensamblar un puzzle. Suponemos que no pasaban hambre ya que no indicios de tal hecho, pero tampoco derrochaban los escasos y costosos alimentos. Además no existían silos o almacenes de víveres. En base a esto establecemos que el consumo en el año -1000 era: 100.000 personas x 400 kilos/persona y año = 40.000.000 kilos/año (el 400 es un numero razonable, solo eso). Ya veremos donde nos lleva.

La productividad era igual al consumo, en vista a los razonamientos anteriores. Por lo tanto producían 40.000.000 kilos/año. Y si tomamos una superficie cultivada (razonable) de 8 km², obtenemos que la productividad había de ser $40.000.000/8 = 5.000.000$ kilos/km². Hemos hecho pues dos hipótesis razonables, el consumo anual de 400 kg. y la superficie cultivada de 8 km².

Lo importante es que se mantenga la igualdad consumo = producción, ya que si nos hemos equivocado y consumían 300 kg., pues el consumo era de 30.000.000, y si la productividad la aceptamos, la superficie cultivada sería de 6 km². Podemos jugar con los números, pero al final el esquema ha de ser consistente. Este modelo no es la realidad, intenta aproximarse a ella con los datos que tenemos y unas hipótesis razonables.

EROSION

Este concepto recoge la pérdida de productividad del suelo, que por simplicidad se usa el término de "erosión". Ya que podemos suponer que conocían abonos ni nada similar hemos de trabajar con la idea de que la productividad de los suelos agrícolas iba a ir disminuyendo. Es la pieza que nos falta para acabar el puzzle. La última pero vital para que todo el resto encaje perfectamente.

La cuestión es ¿En base a qué disminuye la productividad del suelo a lo largo del tiempo?, y ¿cómo puedo modelarlo de una forma sencilla? (esto es un modelo para en un curso no para una tesis). Es útil recodar el modelo de la Gestión de una Reserva Natural cuando trabajábamos con el tiempo de regeneración del pasto. El concepto de Erosión viene a ser la inversa del concepto de Tiempo de Regeneración del Pasto.

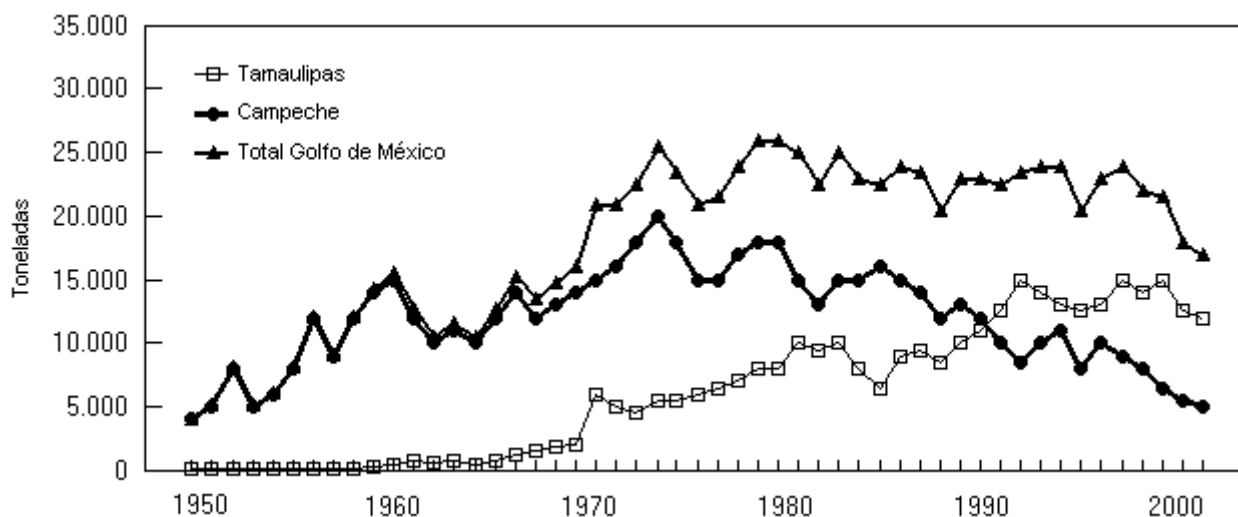
La definición finalmente tomada se basa en relacionar la erosión con la productividad (a mas productividad más perdida, en números absolutos), y también en base a la proporción de superficie agrícola y la selvática, ya que cuando esta proporción sea muy importante la erosión será mayor que cuando la proporción sea pequeña. Podemos avanzar incluso que esta relación no va a ser lineal sino cuadrática ya que cuando la superficie agrícola pase del 10% al 20% del total la erosión no se duplicará sino que muy posiblemente se multiplique por 4. Por lo tanto elevamos este cociente al cuadrado.

Para reproducir la relación cuadrática elevamos al cuadrado al cociente entre la superficie agrícola y la selvática. La expresión $(\text{superficie agrícola}/\text{superficie selvática})^2$ es siempre mucho menor que 1 ya que los valores iniciales son 8 y 5000, por lo tanto $(8/5000)^2$ será un valor muy pequeño. No obstante le ponemos un límite para evitar bloqueos del modelo, y es que este valor sea igual a 1, para ello utilizamos la función Min (1,...) que tomará siempre el valor resultante del cociente entre las dos superficies al cuadrado, y como situación límite será igual a 1, es decir que la erosión será igual al valor de la productividad en aquel momento.

4.4. LA PESCA DEL CAMARON EN CAMPECHE

En México la pesquería de camarón es la tercera más importante después de la mojarra y el ostión en el litoral del Golfo de México. En el litoral Pacífico sólo es superada por el atún y la sardina. El valor económico de la producción hace a esta pesquería la más importante del país ya que aporta el 40% de los ingresos pesqueros. Los barcos camaroneros son el 66% de la flota pesquera de altura actual, en 1970 eran el 82% .

En la Sonda de Campeche, al sur del Golfo de México, la especie más importante era el camarón rosado. En los años setenta se capturaban más de 20.000 toneladas por año. Las capturas disminuyeron constantemente desde mediados de esa década y actualmente se capturan 4.000 toneladas por año. Los pescadores acusan a PEMEX, la empresa petrolera estatal, de causar el colapso al ocupar sus áreas de pesca y contaminar, a pesar de que la pesca se hace más al norte y las corrientes marinas concentran la contaminación al sur.



Capturas de camarón totales, en Tamaulipas y Campeche

A pesar de que las estimaciones apuntan claramente a la sobreexplotación, entre los investigadores ha surgido una polémica interesante. Uno de los mejores investigadores del país sugirió que dado que el número de barcos había disminuido, la mortalidad por pesca también debió de haber disminuido, por lo tanto, si la captura ha disminuido la población de camarones debe de haber aumentado (y tal vez esté escondida en alguna parte). Si la población disminuía debía ser por otra causa.

Apoyaba su argumento con el Modelo de Schaeffer (el de Verhulst-Pearl pero aplicándolo a biomasa en vez del número de individuos e incluyendo la pesca) asumiendo la pesquería en equilibrio (la captura iguala el crecimiento poblacional). En base a ese modelo si baja la actividad de captura, medida en número de barcos, la población aumenta.

Sin embargo, se puede argumentar que los barcos de ahora son más potentes que a mediados de los setenta, las redes más grandes, los viajes más largos (60 días ahora contra 15 días entonces). La población de camarones está más concentrada en unos pocos lugares y es más vulnerable a la flota. Ahora existe una flota con la cuarta parte del número máximo histórico de barcos. A pesar de eso, el argumento usando el modelo de Schaeffer se sigue esgrimiendo. Más que el modelo en si, el problema está en su uso en este caso.

El primer problema está en asumir equilibrio al ajustar el modelo a los datos observados, equivale a que la captura observada haya sido igual al crecimiento poblacional. Ese supuesto se hacía para simplificar el proceso de estimar los parámetros, que incluía una linearización de los datos para hacer una regresión. Actualmente, muchos autores aconsejan abandonar ese supuesto y se han propuesto métodos de “no equilibrio” (que simplemente aceptan que las capturas puedan ser diferentes del crecimiento poblacional). El modelo tiene la forma:

$$\frac{dB}{dt} = rB\left(1 - \frac{B}{K}\right) - C$$

$$C = f^* q^* B$$

B = Biomasa de la población

r = Tasa de crecimiento de la biomasa

K = Biomasa máxima de la población

C = Captura

f = Esfuerzo pesquero

q = Coeficiente de capturabilidad, la fracción de la biomasa capturada por cada unidad de esfuerzo

El segundo problema es que ese modelo no nos dice nada de cómo reacciona la flota a los cambios en la captura. Hilborn y Walters (1992) propusieron una modificación que incluye la modificación del esfuerzo de acuerdo con la renta (ganancia neta):

$$\frac{df}{dt} = k(Cp - cf)$$

k = Constante que determina la velocidad de entrada y salida del esfuerzo

p = Precio de venta del producto de la captura

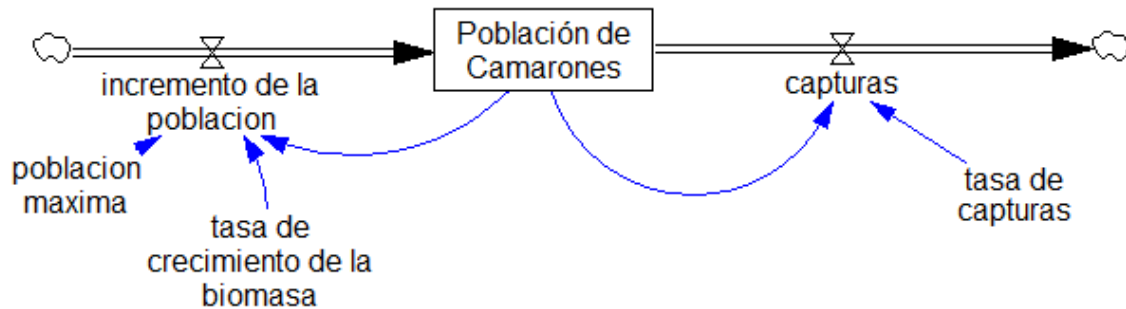
c = Costo de operación por unidad de esfuerzo

Cuando la renta es positiva nuevos barcos entran a la pesquería, si ésta es negativa los barcos salen de ella, ambas a una velocidad determinada por k . Cuando el número de barcos disminuye la población aumenta y viceversa. Esto podría causar oscilaciones en la población de camarones, en las capturas y el esfuerzo.

Autores citados:

Hilborn, R y C.J. Walters 1992 Quantitative Fisheries Stock Assessment; Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman & Hall. New York. Hoppennsteadt, F.C. 1982 Mathematical methods of population biology. Cambridge University Press. London.

Versión 1. Modelo de Shaeffer



CONTROLES (Model – Settings)

TIME STEP = 1 INITIAL TIME = 1950 FINAL TIME = 2000 Units=año

NIVEL

Población de Camarones =
incremento de la poblacion-
capturas

Initial value: 30000

Units: toneladas

FLUJOS

incremento de la población
=tasa de crecimiento de la biomasa*Población de Camarones
*(1-(Población de Camarones/ poblacion maxima))

Units: toneladas/año

capturas = tasa de capturas*Población de Camarones

Units: toneladas/año

Asumimos unas capturas iniciales del 10% de la población, siendo 30.000 *0,10 = 3.000 Tm de capturas al año.

VARIABLES AUXILIARES

tasa de capturas = 0.1

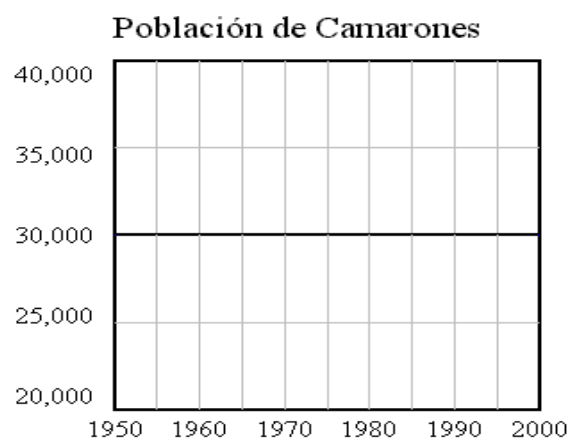
Units: 1/año

poblacion maxima = 37500

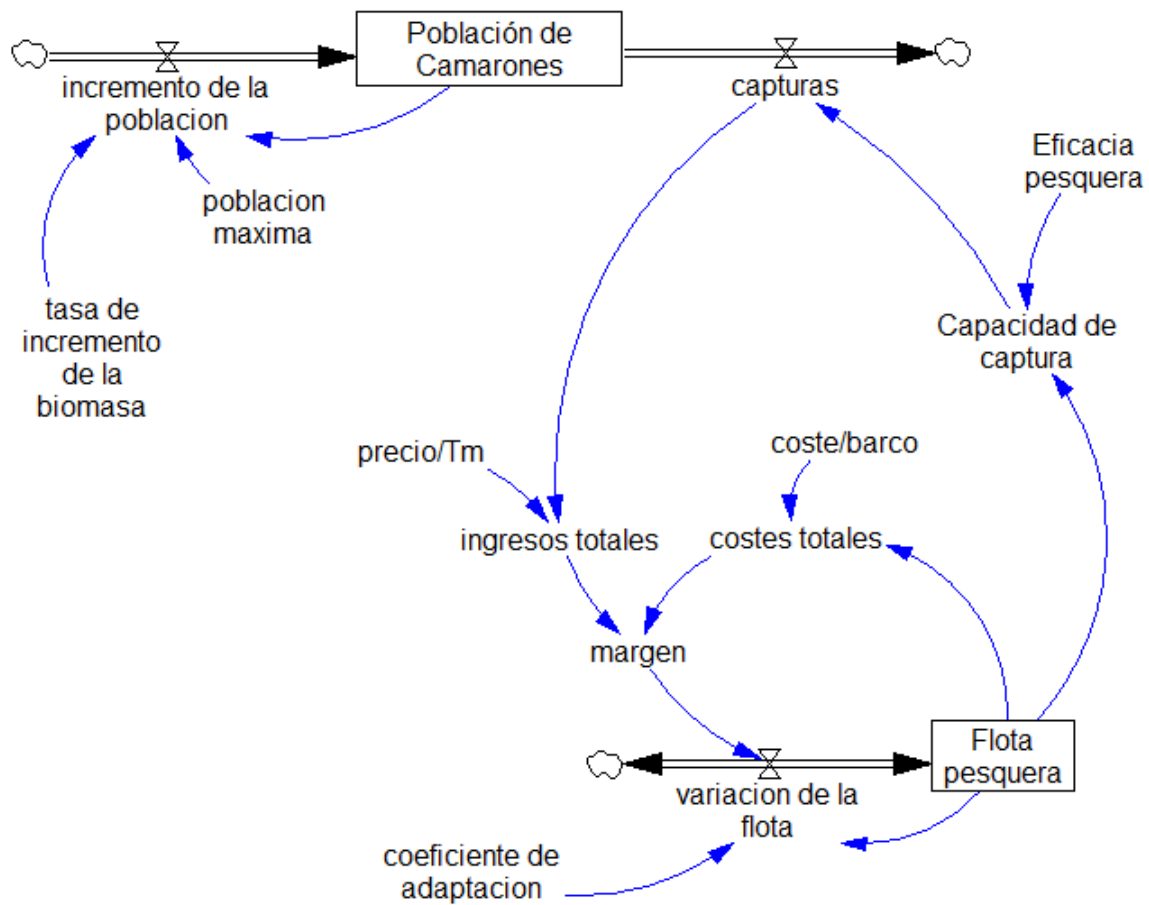
Units: toneladas

tasa de crecimiento de la biomasa = 0.5

Units: 1/año



Versión 2. Hilborn y Walters en equilibrio



NIVELES

Población de Camarones= +incremento de la poblacion-capturas

Initial value: 30000

Units: toneladas

Flota pesquera= variacion de la flota

Initial value: 50

Units: barcos

FLUJOS

incremento de la población = tasa de incremento de la biomasa*Población de Camarones* (1-(Población de Camarones/poblacion maxima))

Units: toneladas/año

capturas = Capacidad de captura

Units: toneladas/año

variacion de la flota = IF THEN ELSE(margen>0.2, Flota pesquera *coeficiente de adaptacion, 0)

Units: barcos/año

cuando el margen es superior al 20% del coste total se produce un incremento del numero de barcos.

VARIABLES AUXILIARES

Capacidad de captura = Flota pesquera*Eficacia pesquera

Units: toneladas/año

es el producto de la cantidad de barcos que existen por la cantidad de capturas que cada uno puede realizar

coeficiente de adaptación = 0.05

Units: 1/año

% de incremento o disminución anual del número de barcos en función del margen. El modelo se muestra poco sensible a este parámetro.

coste/barco = 1

Units: \$/barcos/año

millones de \$ al año de amortización y mantenimiento del barco.

costes totales = Flota pesquera*coste/barco

Units: \$/año

Eficacia pesquera = 60

Units: toneladas/barcos/año

valor inicial de 3.000 Tm de capturas/ 50 barcos=60Tm / barco

ingresos totales = capturas*

precio/Tm

Units: \$/año

margen=(ingresos totales-costes totales)/costes totales

Units: Dmnl (sin dimensiones)

valor relativo del margen, función de los costes.

poblacion maxima = 37500

Units: toneladas

se toma un valor para conseguir una población estable de capturas de 3000 tm/año

precio/Tm = 0.02

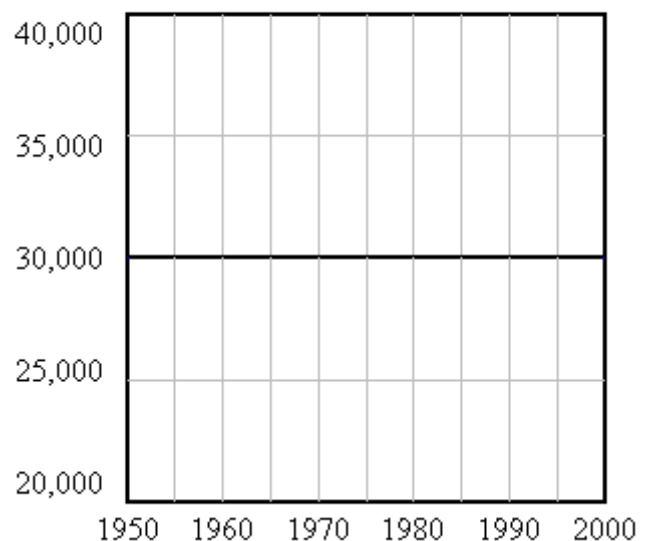
Units: \$/toneladas

cifra en millones de \$ por tonelada de camarón

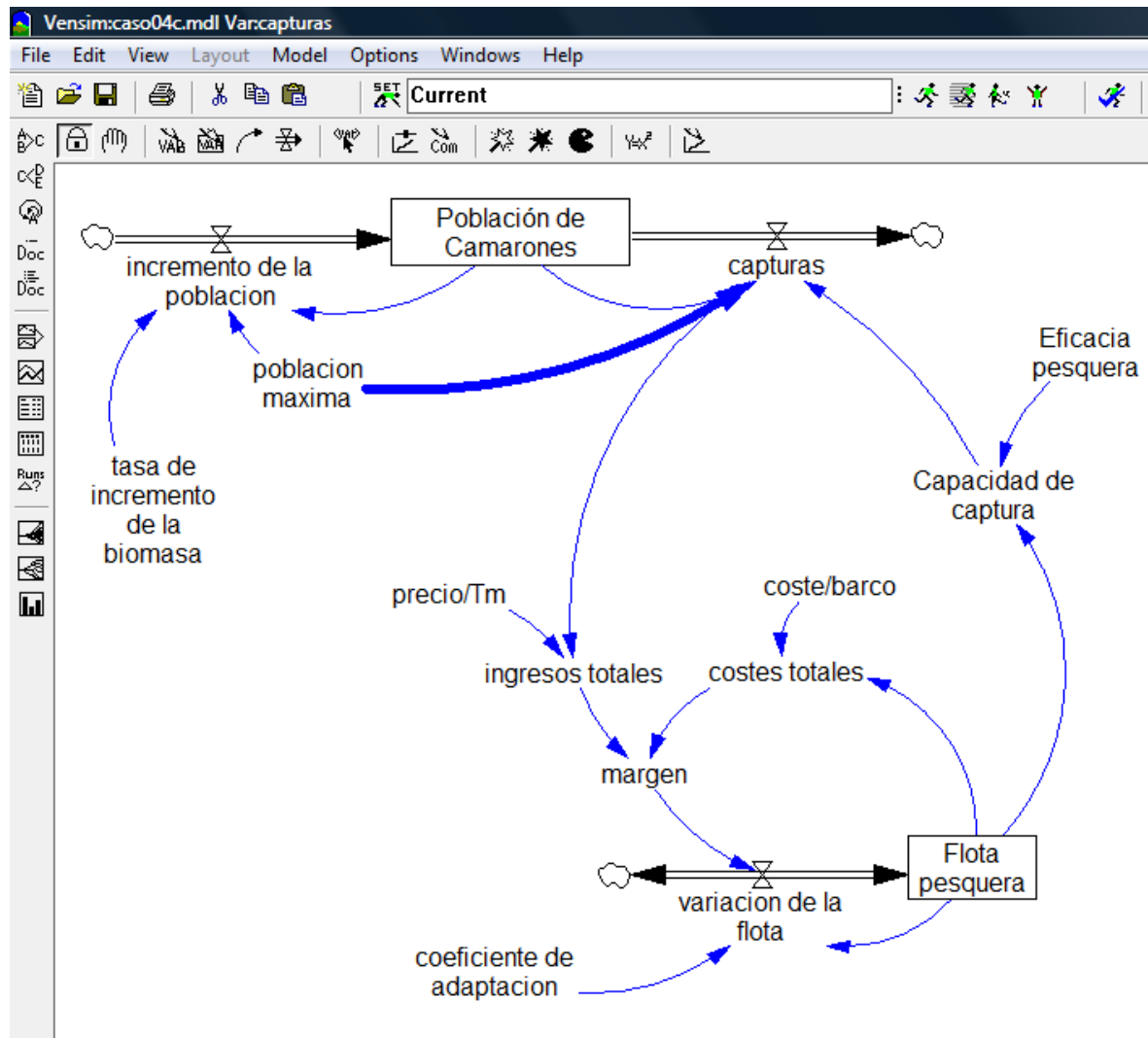
tasa de incremento de la biomasa=0.5

Units: 1/año

Población de Camarones



Versión 3. Hilborn y Walters sin equilibrio



Para incluir una imagen junto al diagrama es necesario tenerla en formato bmp, visualizarla, y copiarla. Despues hay que colocarse en la pantalla de Vensim, pulsar al icono Com y señalar la opcion Custom Metafile.



NIVELES

Población de Camarones = +incremento de la poblacion-capturas
Initial value: 30000

Units: toneladas

Se toma un valor inicial superior al máximo de capturas anuales que fue 20000 tm.

Flota pesquera = variacion de la flota
Initial value:50

Units: barcos

Número de barcos

FLUJOS

incremento de la población = tasa de incremento de la biomasa*Población de Camarones*(1-(Población de Camarones/poblacion maxima))

Units: toneladas/año

capturas=Capacidad de captura*(Población de Camarones /poblacion maxima)* RANDOM NORMAL(0.8,1.2,1.0,0.1,5.0)

Units: toneladas/año

Es función de la Capacidad y de la Población real en relación a la máxima.

MODIFICADO

Se añade un componente aleatorio para simular fenómenos ocasionales.

variacion de la flota = IF THEN ELSE(margen>0.2, Flota pesquera *coeficiente de adaptacion*margen, -Flota pesquera *coeficiente de adaptacion*ABS(margen))

MODIFICADO

Units: barcos/año

cuando el margen es superior al 20% del coste total se produce un incremento del número de barcos, sino se produce una disminución. La variación de la flota es proporcional al margen real de forma que es más intensa cuando los márgenes son muy altos.

VARIABLES AUXILIARES

Capacidad de captura = Flota pesquera*Eficacia pesquera

Units: toneladas/año

es el producto de la cantidad de barcos que existen por la cantidad de capturas que cada uno puede realizar

coeficiente de adaptación = 0.05

Units: 1/año

% de incremento o disminución anual del número de barcos en función del margen. El modelo se muestra poco sensible a este parámetro.

$\text{coste/barco} = 1$

Units: \$/barcos/año

millones de \$ al año de amortización y mantenimiento del barco.

$\text{costes totales} = \text{Flota pesquera} * \text{coste/barco}$

Units: \$/año

Costes en millones de \$ al año.

$\text{Eficacia pesquera} = 60 + \text{RAMP}(3, 1950, 2050)$

Units: toneladas/barcos/año

Valor inicial de 3.000 Tm de capturas / 50 barcos = 60 Tm / barco. Incremento del 5% anual en la eficacia (incremento de la productividad)

MODIFICADO

$\text{ingresos totales} = \text{capturas} * \text{precio/Tm}$

Units: \$/año

ingresos en millones de \$ al año.

$\text{margen} = (\text{ingresos totales} - \text{costes totales}) / \text{costes totales}$

Units: Dmnl

valor relativo del margen, en función de los costes.

$\text{poblacion maxima} = 37500$

Units: toneladas

se toma un valor que permite conseguir una población estable con unas capturas de 3000 toneladas al año

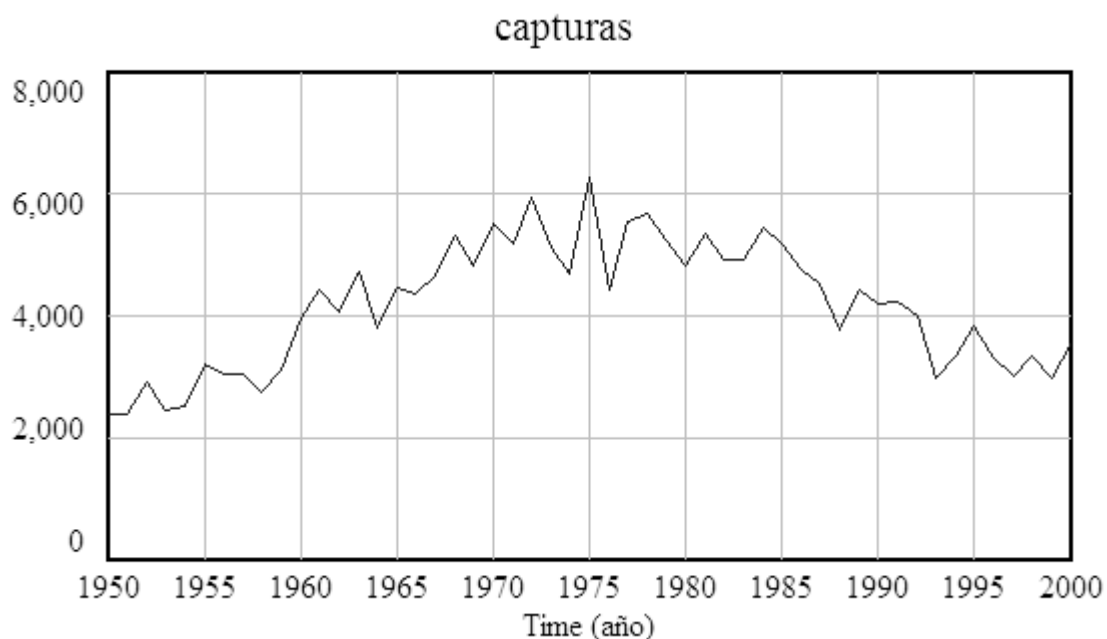
$\text{precio/Tm} = 0.02$

Units: \$/toneladas

ingresos en millones de \$ por tonelada de camarón

$\text{tasa de incremento de la biomasa} = 0.5$

Units: 1/año

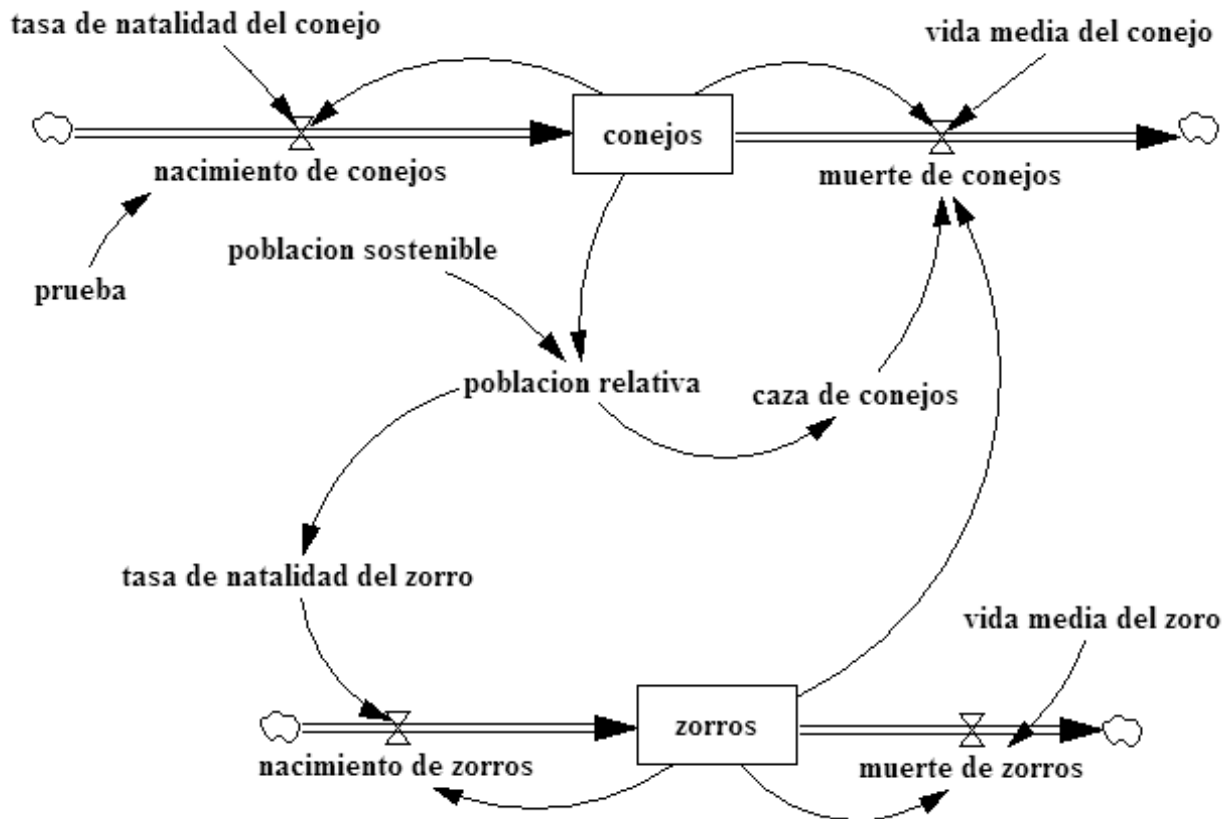


4.5. CONEJOS Y ZORROS

Este modelo recoge la dinámica de dos poblaciones típicas de presa y depredador, que puede servir para analizar problema del tipo “la población de conejos tiene importantes oscilaciones que queremos reducir”. Una investigación previa nos señala como causantes de estas oscilaciones a los zorros, y hacemos una lista de los elementos que se relacionan con el problema, del tipo:

- población de conejos
- población de zorros
- nacimientos de conejos
- muertes de conejos
- vida media del conejo
- tasa de natalidad del conejo
- nacimientos de zorros
- defunciones de zorros
- vida media del zorro
- tasa de natalidad del zorro
- necesidades alimenticias del zorro
- población sostenible de conejos

Una buena forma de identificar los **Niveles** de un sistema suele ser hacer una fotografía mental del sistema, y asignar la característica de Nivel a aquellos elementos que aparecen en la imagen. En este caso tendríamos como Niveles a las poblaciones de Conejos y Zorros. Los **Flujos** son las variaciones temporales de los Niveles, y aquí vamos a considerar los nacimientos y defunciones tanto de conejos como de zorros. El resto de elementos son variables auxiliares.



En nuestro caso vamos a diseñar el modelo para que reproduzca una situación estable de las poblaciones y después simularemos en una prueba el efecto de un pequeño cambio o perturbación en alguna de las variables, en concreto en los nacimientos de conejos. De esta forma podremos ver con claridad si la estructura del sistema amortigua, o amplifica este pequeño cambio, o bien si se crean oscilaciones.

Los datos de que disponemos en base a la investigación previa, nuestra experiencia, bibliografía, o un estudio específico realizado, son los siguientes. Existe una población sostenible de 500 conejos, que tomaremos a la población inicial del sistema. Se reproducen a una tasa de 2 conejos por conejo al año, es decir nacen 1.000 conejos. La muerte de conejos ha de ser también de 1.000 conejos para mantener el equilibrio. Con una vida media de 2,5 años mueren 200 conejos al año, y por lo tanto los zorros cazan 800 conejos. Si cada zorro caza 20 conejos al año, tendremos una población inicial de 40 zorros. Con una vida media del zorro de 4 años van a morir 10 zorros al año, y esta es la misma cifra de los que nazcan, para mantener estable la población de zorros.

Controles

Se definen al hacer File – New Model o bien con la opción Model – Settings

FINAL TIME = 50 INITIAL TIME = 0 TIME STEP = 1 Units for time = año

Niveles

conejos = +nacimiento de conejos - muerte de conejos

initial value: población sostenible → Choose Initial Variable...

Units: conejos

zorros = +nacimiento de zorros - muerte de zorros

initial value: 40

Units: zorros

Flujos

nacimiento de conejos = (conejos * tasa de natalidad del conejo) + prueba

Units: conejos/año

muerte de conejos = (conejos/vida media del conejo) + (caza de conejos*zorros)

Units: conejos/año

La muerte de los conejos tiene dos orígenes, 1) de la cantidad de conejos que hay y de su vida media, y 2) de la caza de conejos que hagan los zorros.

nacimiento de zorros = zorros *tasa de natalidad del zorro

Units: zorros/año

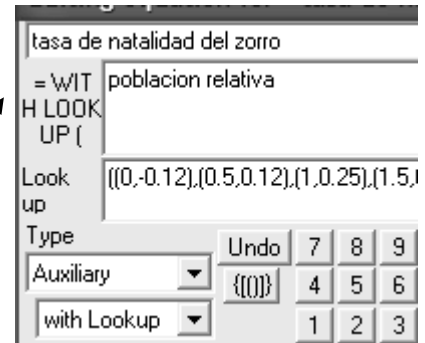
muerte de zorros = zorros/vida media del zorro
Units: zorros/año

Variables auxiliares

vida media del conejo = 2.5
Units: año

vida media del zorro = 4
Units: año

tasa de natalidad del conejo = 2
Units: 1/año
crían 2 conejos cada año, por conejo existente



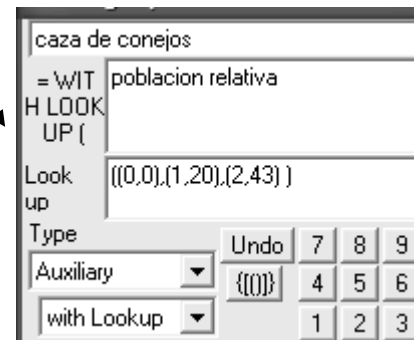
tasa de natalidad del zorro = WITH LOOKUP (población relativa
Lookup (0, -0.12), (0.5, 0.12), (1, 0.25), (1.5, 0.27), (2, 0.30)
Units: 1/año

caza de conejos = WITH LOOKUP (población relativa
Lookup (0, 0), (1, 20), (2, 43)
Units: conejos/año/zorros

población relativa = conejos/población sostenible
Units: Dmnl
Dmnl significa sin dimensiones o unidades.

población sostenible = 500
Units: conejos

prueba = pulse(10, 1) * 100
Units: conejos/año



Ver página siguiente

Puede hallar información detallada de las tablas (Loopk up) y de la las funciones (Pulse) en el anexo de este texto.

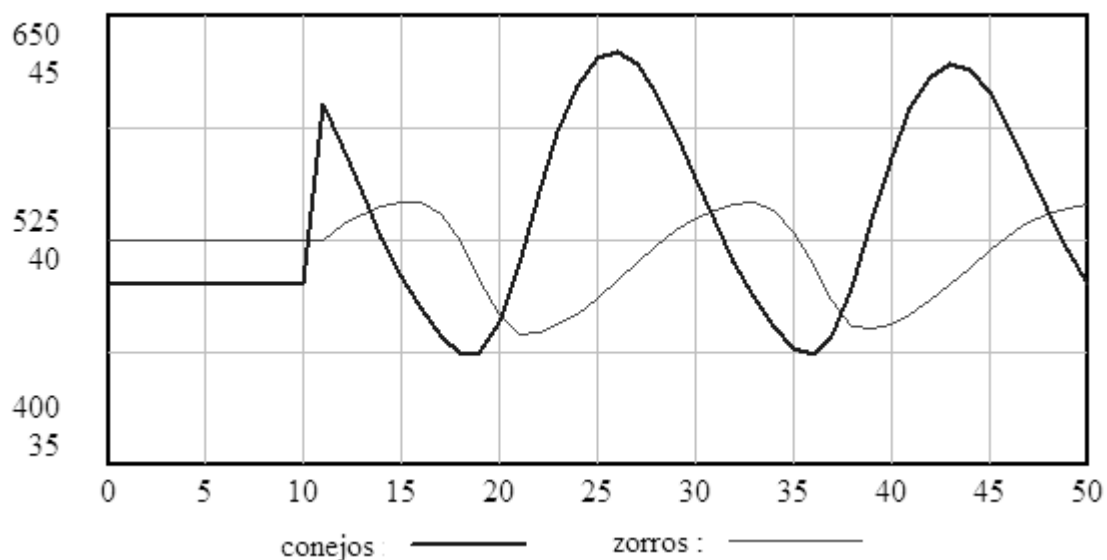
Cuando queremos representar que una variable depende de otra pero no podemos hallar una ecuación matemática que lo represente podemos usar una tabla (Look up) donde ponemos un conjunto de puntos que conocemos de esa relación, por ejemplo cuando el precio=3 las ventas=6, cuando el precio=2 las ventas=12, serian los puntos (3,6) y (2,12) En la simulación cuando el precio sea por ejemplo = 2,5 el software indicará que las ventas son = (12+6)/2= 9.


La función Pulse provoca un cambio puntual de la variable en un periodo determinado y después vuelve a su valor inicial, en ese periodo la función pulse vale 1 en los otros vale 0. Si deseamos que la prueba valga 0 o 100 hemos de multiplicar el Pulse por 100.

En relación a la variable *prueba* es necesario indicar que en ocasiones queremos probar un cambio en la estructura del modelo, para hacer un 'what if' de una forma muy explícita, y para ello creamos una variable llamada *prueba* en la que introducimos el cambio en el modelo que queremos ensayar. Esta opción es más clara que modificar las ecuaciones del modelo para hacer la prueba, y es más fácil de explicar al usuario final del modelo.

Comportamiento observado en el modelo

Se observa que este sistema responde a una pequeña perturbación produciendo un régimen oscilatorio de amplitud prácticamente constante.



Para ver la evolución de dos variables en una misma gráfica pulsar el icono  y a continuación las opciones Graph – New, y seleccionar las variables que le interesan señalando sus escalas respectivas si es necesario.

4.6. PROBLEMÁTICA GANADERA

En España periódicamente 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 [Producción – Consumo → Existencias de embutidos] En general la cantidad de embutido que el público consume depende del precio. [Precio del embutido → Embutido consumido por persona].

Para construir el modelo inicial de la venta de embutidos, se puede presuponer que el número de cerdos sacrificados es de 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 $0,80 \times 100 = 80$ 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. [Sacrificio de cerdos x Peso por cerdo x Ratio útil del cerdo → Producción].



Como media, cada persona normalmente consume sobre 1,5 kilos de embutido cada mes. Si consideramos a la población 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. [Población x Embutido consumido por persona → Consumo].

El precio del embutido depende del precio del cerdo [Precio del cerdo → Precio del embutido]. 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 las existencias disminuyen en relación a su situación normal, los tocineros están dispuestos a pagar precios más altos en sus compras de cerdos. Cuando sus existencias están altas, los tocineros tienden a reducir sus compras y el precio del cerdo disminuye. [Cobertura → Precio del cerdo].

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.

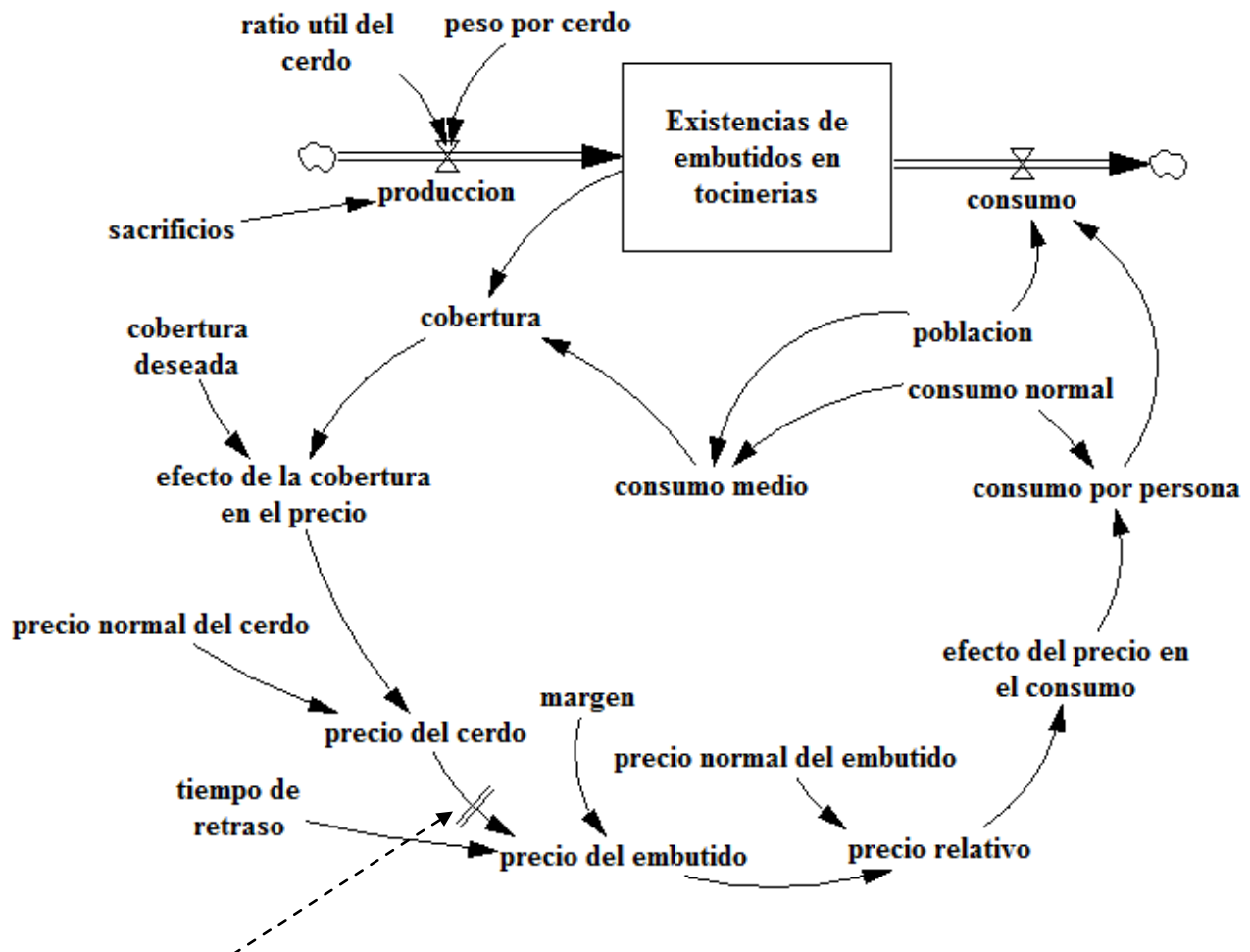
PASOS A SEGUIR

Pasos a seguir:

- 1.- Hacer el modelo de la parte 1. Comprobar que si los sacrificios se mantienen constantes en 750.000 cerdos/mes (modificar la ecuación suprimiendo el Pulse), las variables se mantienen estables.
- 2.- Añadir la función Pulse en la ecuación de los sacrificios como se indica en la documentación, y ejecutar el modelo para ver el comportamiento que se muestra en la gráfica situada después de las ecuaciones.
- 3.- Hacer el modelo de la parte 2. Comprobar que las variables permanecen estables al simular.
- 4.- Unir los dos submodelos como se indica en el texto más adelante. Las variables que son comunes en ambos modelos son "sacrificios" y "precio del cerdo", y estas variables son los enlaces para unir ambos submodelos.

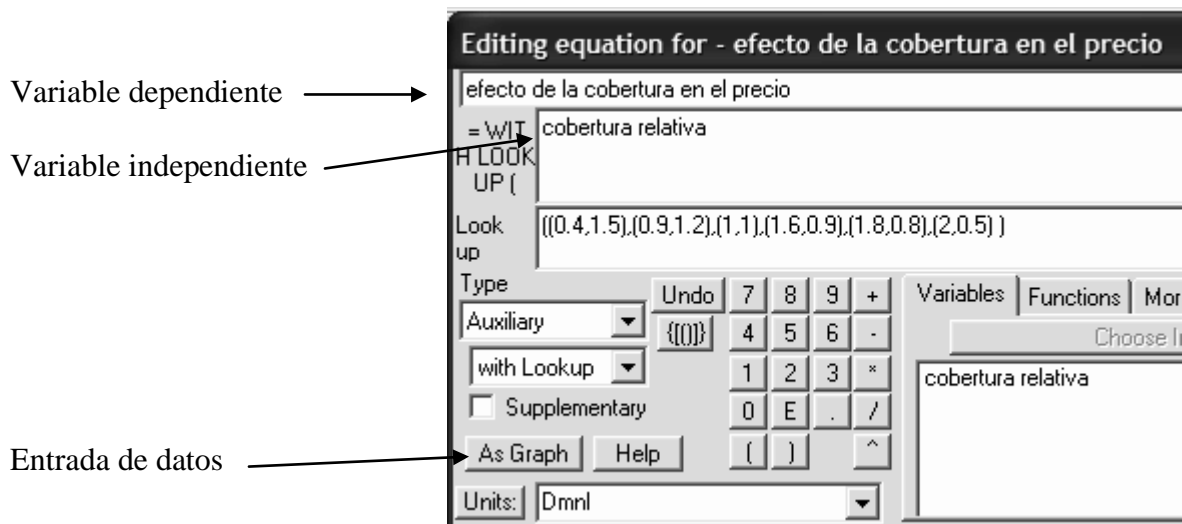
Ejemplo basado en un caso del libro Computer Simulation de Nancy Roberts et al. Addison Wesley

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.



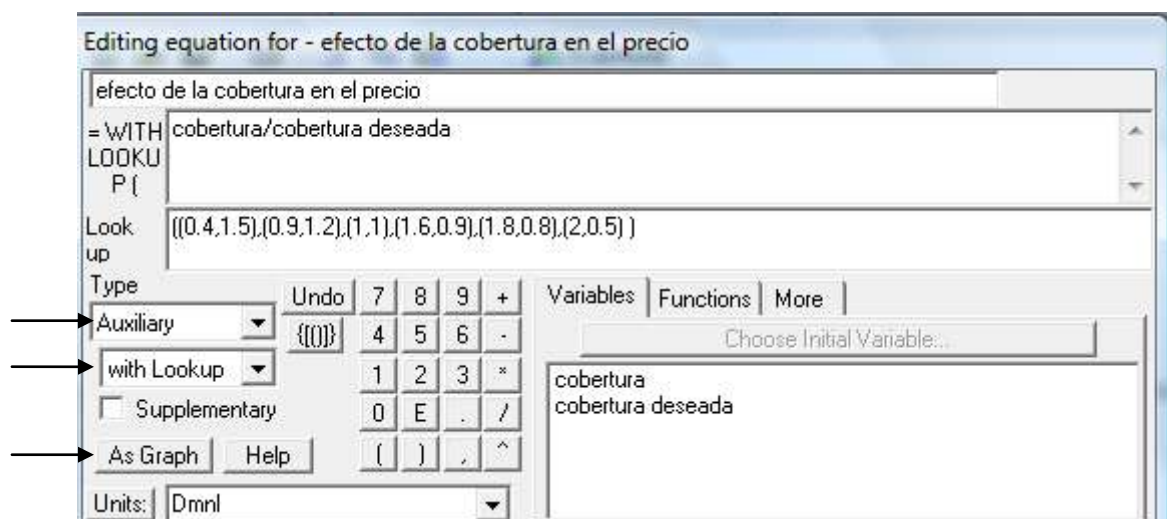
RETRASOS: Para dibujar la señal de que existe un retraso, con el icono de la mano activo, pulsar con el botón derecho sobre el pequeño círculo de la relación y marcar "Delay mark"

TABLAS: En aquellas ocasiones donde no podemos definir la relación entre dos variables con una relación aritmética podemos utilizar una tabla. Para hacerlo hemos de definir la variable dependiente como Type: Auxiliary – with Lookup. Hemos de indicar cuál es la variable dependiente, y entrar los pares de valores utilizando el botón de As Graph. Ver más detalles en el Anexo II



Model Settings: Inicial Time = 0 Final Time = 48 Time Step = 1 Units for time = mes

- (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) $\text{cobertura deseada} = 0.5$
 Units: mes
 Los tocineros desean tener existencias para cubrir medio mes de ventas.
- (03) $\text{consumo} = \text{poblacion} * \text{consumo por persona}$
 Units: kilos/mes
- (04) $\text{consumo medio} = \text{poblacion} * \text{consumo normal}$
 Units: kilos/mes
- (05) $\text{consumo normal} = 1.5$
 Units: kilos/persona/mes
- (06) $\text{consumo por persona} = \text{consumo normal} * \text{efecto del precio en el consumo}$
 Units: kilos/(mes*persona)
- (07) $\text{efecto de la cobertura en el precio} = \text{WITH LOOKUP}(\text{cobertura}/\text{cobertura deseada}, \text{Lookup: } (0.4, 1.5), (0.9, 1.2), (1, 1), (1.6, 0.9), (1.8, 0.8), (2, 0.5))$
 Units: Dmnl



La tabla en la variable efecto de la cobertura en el precio sirve para calcular el precio del cerdo en función de la cobertura relativa. Nos dicen que "...los tocineros tienden a tener almacenados la cantidad correspondiente a medio mes de ventas". Por lo tanto cuando la cobertura sea de 0,5 meses, igual a la cobertura deseada que

es de 0,5 meses, la cobertura relativa será igual a 1 el precio del cerdo será igual que el precio normal. Esto lo vamos a representar en la tabla con el punto (1,1) , para ello es necesario recordar la ecuación:

$$\text{precio del cerdo} = \text{efecto de la cobertura en el precio} * \text{precio normal del cerdo}$$

A partir de este punto (1,1), establecemos unas hipótesis razonables en el sentido de que cuando la cobertura relativa baje de 1 a 0,4, es decir que los tocineros se están quedando sin existencias, el precio del cerdo se incrementará desde 1 hasta 1,5 veces el precio normal porque estarán dispuestos a pagar más para llegar su almacén. Y por contra, cuando la cobertura pase de 1 a 2 meses, lo que significa que los tocineros tienen muchos más embutidos de los que desean, el precio del cerdo pasará desde 1 hasta 0,5 porque los toniceros no desean comprar más cerdo y eso hará bajar los precios.

Esta forma de trabajar con valores relativos tiene la ventaja que podemos establecer las relaciones de forma independiente de los valores absolutos. Así las tablas son relativamente fáciles de entender, ya que hablamos de que un X% de incremento de A produce un Y% de incremento de B.

En resumen se trata de establecer una relación entre la cobertura que existe en cada momento y el precio del cerdo, siguiendo la idea de que cuando la cobertura es la deseada (0,5 meses) el precio del cerdo será el normal. Y a partir de ese punto, si la cobertura baja, el precio aumenta, y si la cobertura aumenta, el precio disminuye.

(08) efecto del precio en el consumo = WITH LOOKUP (precio relativo

Lookup: (0.5,1.5) , (1,1) , (1.5,0.9) , (2,0.75)

Units: Dmnl

Cuando el precio relativo es igual a 1, el efecto del precio en el consumo también es igual a 1 y consumo por persona es igual al normal, por ello el punto de equilibrio es el (1,1). A partir de este punto, si el precio disminuye, el consumo aumenta, y al contrario, si el precio aumenta, el consumo disminuye.

En concreto si el precio relativo del embutido se reduce un 50% el consumo por persona aumenta un 50%, punto (0.5,1.5) y si el precio relativo aumenta un 100% el consumo se reduce un 25%, punto (2,0.75), ya que la ecuación es consumo por persona = consumo normal * efecto del precio en el consumo.

(09) Existencias de embutidos en tocinerias= +produccion-consumo

Inicial value: 30000000

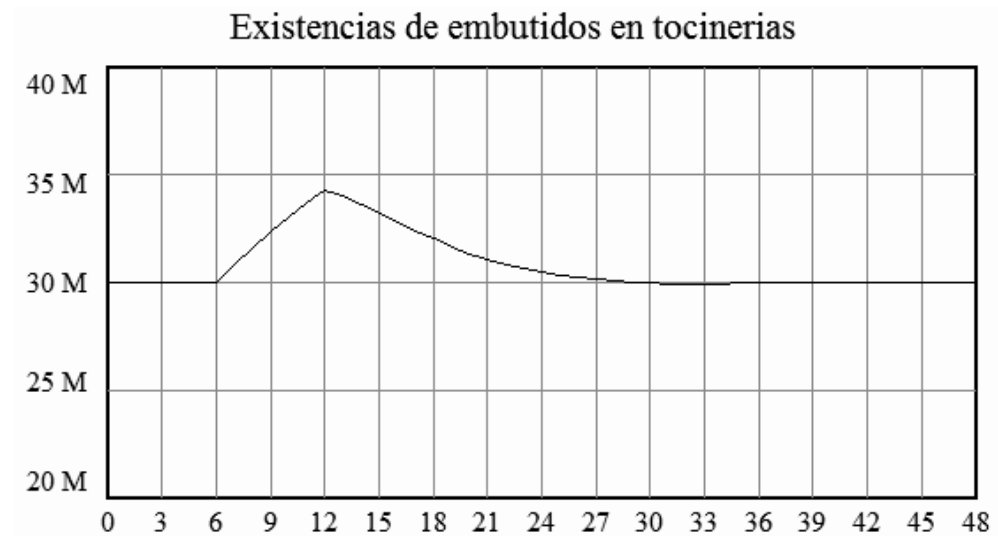
Units: kilos

(10) margen= 7

Units: euros/kilo

- (11) peso por cerdo = 100
Units: kilos/cerdos
- (12) poblacion = 40000000
Units: persona
La población española es de 40.000.000 personas aproximadamente.
- (13) precio del cerdo= efecto de la cobertura en el
precio*precio normal del cerdo
Units: euros/kilo
- (14) precio del embutido = smooth (precio del cerdo+margen,
tiempo de retraso)
Units: euros/kilo
Hay un cierto retraso desde que el precio del cerdo aumenta hasta que este incremento se repercute en el precio del embutido. Ver “retrasos” en la página 283
- (15) precio normal del cerdo =3
Units: euros/kilo
- (16) precio normal del embutido= 10
Units: euros/kilo
- (17) precio relativo = precio del embutido/precio normal del
embutido
Units: Dmnl
- (18) produccion= sacrificios*peso por cerdo*ratio util del
cerdo
Units: kilos/mes
- (19) ratio util del cerdo= 0.8
Units: Dmnl
Porcentaje del peso del cerdo que se aprovecha para embutidos.
- (20) sacrificios= 750000 + 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 ese valor durante el periodo.
- (21) tiempo de retraso= 3
Units: mes

Comportamiento observado:



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).

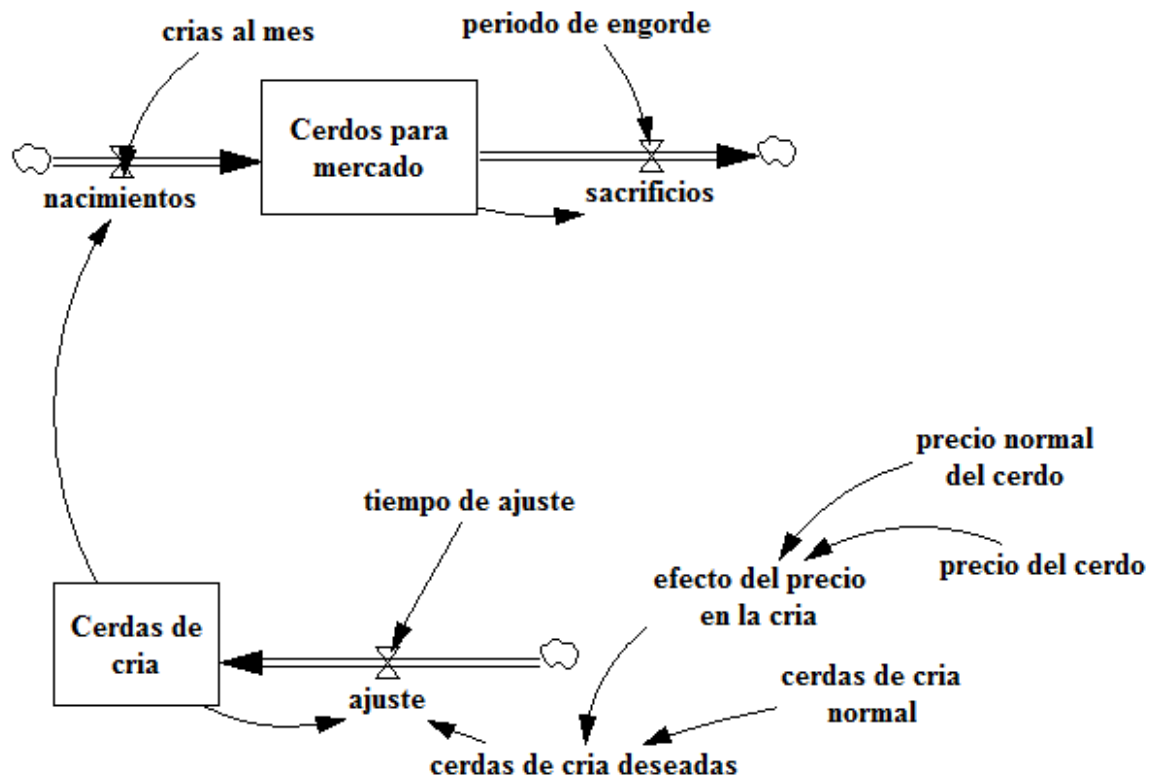
Los ganaderos modifican el tamaño de su piara ajustando el número de marranas, es decir de su "ganado para crianza". Cuando el precio del cerdo es superior al normal, los ganaderos generalmente desean incrementar el tamaño de su piara, y cuando el precio del cerdo es menor que el normal, procuran disminuir el tamaño de su piara. [Precio del cerdo → Cerdas de cría]

DISEÑO DEL MODELO

1) 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. 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).

2) 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 $PULSE(6,6)*0.3$



Model Settings: Initial Time = 0 Final Time = 48 Time Step = 1 Units for time = mes

(01)
$$\text{ajuste} = (\text{cerdas de cria deseadas} - \text{Cerdas de cria}) / \text{tiempo de ajuste}$$

Units: cerdos/mes

Existe un tiempo de ajuste entre el valor de Cerdos de Cría deseados y los reales.

(02)
$$\text{Cerdas de cria} = \text{ajuste}$$

Initial value: 500000

Units: cerdos

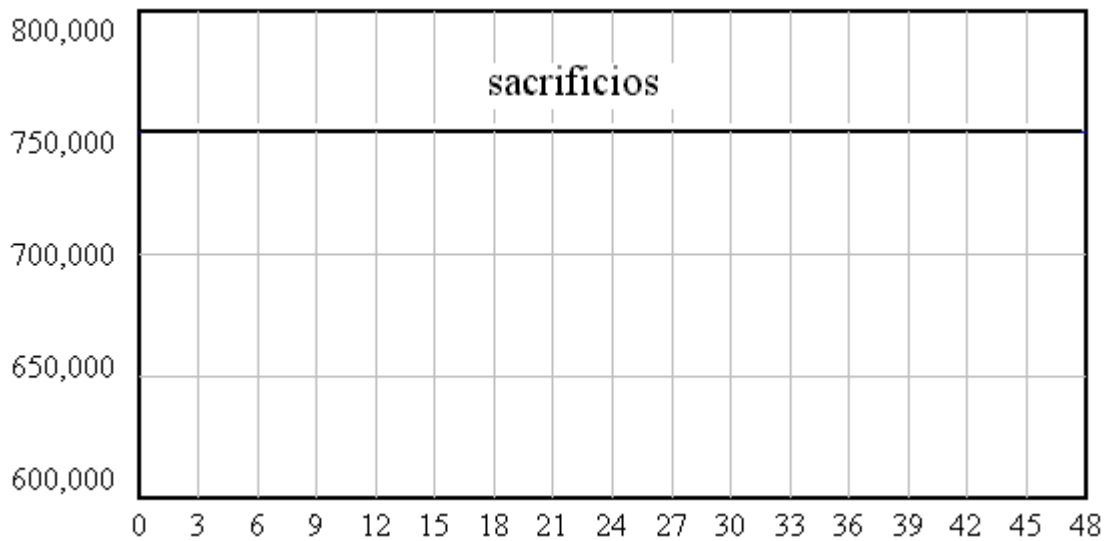
Llamadas "marranas" son las cerdas destinadas a la crianza.

Por simplicidad consideraremos que no se aprovecha su carne.



- (03) cerdas de cria normal= 500000
Units: cerdos
- (04) cerdas de cria deseadas = cerdas de cria normal * efecto del precio en la cria
Units: cerdos
- (05) Cerdos para mercado= nacimientos-sacrificios
Initial value: 4500000
Units: cerdos
- (06) 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 cría tiene 1,5 crías al mes
- (07) efecto del precio en la cria= WITH LOOKUP(precio del cerdo/precio normal del cerdo
Lookup: (0,0.2), (0.3,0.4), (1,1), (2,1.2), (3,1.8)
Units: Dmnl
La tabla recoge la relación entre el precio del cerdo y el precio normal del cerdo por una parte y los cerdos de cría deseados por otra. A un mayor precio del cerdo en relación al normal, los ganaderos se desean tener más cerdos de cría. En una situación normal tenemos un precio del cerdo de 3 euros por kilo y una cantidad de 500.000 cerdas de cría. En la tabla esta situación se recoge con el punto (1,1). Ahora bien si el precio del cerdo aumenta el cociente precio del cerdo/precio normal del cerdo también aumenta, y en esta situación lo normal es que haya más crías deseados. En concreto vamos a simular como casos extremos que si el precio del cerdo fuese 0, el numero de cerdas de cría deseadas seria un 20% del normal, punto (0,0.2) y por el contrario si el precio del cerdo se triplica entonces los ganaderos quieren tener un 80% más de cerdas de cría, punto (3,1.8)
- (08) nacimientos= Cerdas de cria*crias al mes
Units: cerdos/mes
- (09) periodo de engorde= 6
Units: mes
Consideraremos un periodo de engorde de 6 meses por lo que en cada periodo sacrificaremos la sexta parte del nivel de Cerdos para el mercado.
- (10) precio del cerdo= 3
Units: euros/kilo
- (11) precio normal del cerdo= 3
Units: euros/kilo
- (12) sacrificios= Cerdos para mercado/periodo de engorde
Units: cerdos/mes
- (13) tiempo de ajuste= 3
Units: mes

Comportamiento observado:



Parte 3. Combinación de los dos modelos.

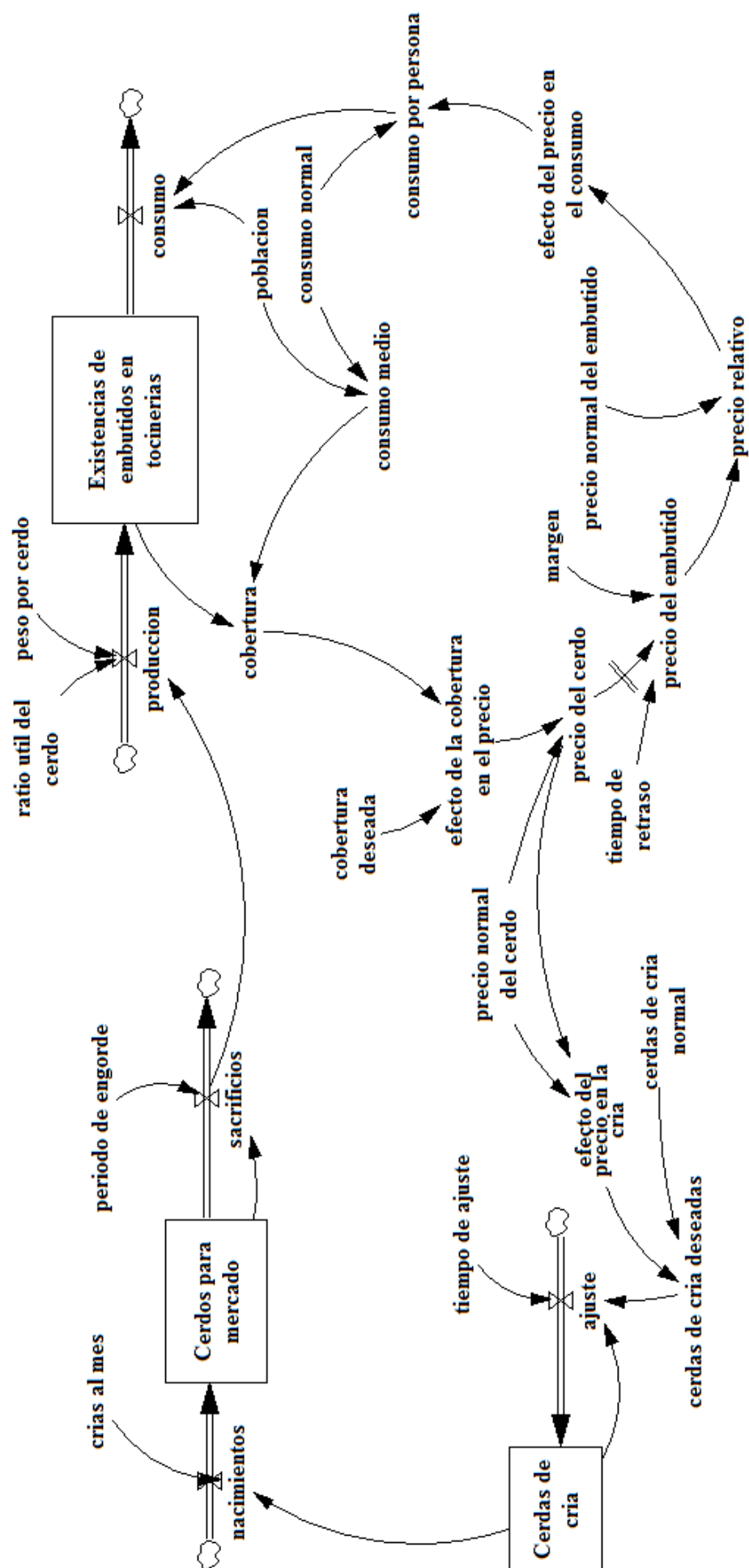
Vamos ahora a combinar los dos modelos desarrollados en las partes 1 y 2. Para hacer esto, todo lo que es necesario es usar el precio del cerdo del modelo 1 en lugar del precio del cerdo exógeno del modelo 2, y tomar el volumen de sacrificios del modelo 2 en lugar de la variable exógena en el modelo 1.

Cómo hacerlo.

- Cerrar los dos sub-modelos, y abrir el modelo cerdos1.mdl, hacer Edit Select All y Edit Copy
- Abrir el modelo cerdos2.mdl, se cerrará el modelo cerdos1.mdl, hacer Edit Paste y mover todo lo que se ha importado hacia la derecha de la pantalla. Pulsar sobre la pantalla.
- Suprimir las variables duplicadas, que son “precio normal del cerdo 0”, “sacrificios 0” y “precio del cerdo”. A continuación dibujar las relaciones necesarias.
- Guardar el modelo como cerdos3.mdl

Suprimir de la ecuación de sacrificios la función PULSE. Ejecutar el modelo y examinar los resultados. El modelo se hallará en equilibrio. Ahora 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 como se indica en las ecuaciones. 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").



- (01) $\text{ajuste} = (\text{cerdas de cria deseadas} - \text{Cerdas de cria}) / \text{tiempo de ajuste}$
Units: cerdos/mes
- (02) $\text{Cerdas de cria} = \text{ajuste}$
Initial value: 500000
Units: cerdos
- (03) $\text{cerdas de cria normal} = 500000$
Units: cerdos
- (04) $\text{cerdas de cria deseadas} = \text{cerdas de cria normal} * \text{efecto del precio en la cria}$
Units: cerdos
- (05) $\text{Cerdos para mercado} = \text{nacimientos} - \text{sacrificios}$
Initial value: 4500000
Units: cerdos
- (06) $\text{cobertura} = \text{Existencias de embutidos en tocinerias} / \text{consumo medio}$
Units: mes
- (07) $\text{cobertura deseada} = 0.5$
Units: mes
- (08) $\text{consumo} = \text{poblacion} * \text{consumo por persona}$
Units: kilos/mes
- (09) $\text{consumo medio} = \text{poblacion} * \text{consumo normal}$
Units: kilos/mes
- (10) $\text{consumo normal} = 1.5$
Units: kilos/persona/mes
- (11) $\text{consumo por persona} = \text{consumo normal} * \text{efecto del precio en el consumo}$
Units: kilos/(mes*persona)
- (12) $\text{crias al mes} = 1.5$
Units: 1/mes
- (13) $\text{efecto de la cobertura en el precio} = \text{WITH LOOKUP}(\text{cobertura} / \text{cobertura deseada}$
Lookup: (0.4, 1.5), (0.9, 1.2), (1, 1), (1.6, 0.9), (1.8, 0.8), (2, 0.5)
Units: Dmnl

- (14) efecto del precio en el consumo = WITH LOOKUP(precio relativo
Lookup: (0.5,1.5), (1,1), (1.5,0.9), (2,0.75)
Units: Dmnl
- (15) efecto del precio en la cria= WITH LOOKUP(precio del cerdo/precio normal del cerdo
Lookup: (0,0.2), (0.3,0.4), (1,1), (2,1.2), (3,1.8)
Units: Dmnl
- (16) Existencias de embutidos en tocinerias= +produccion-consumo
Inicial value: 30000000
Units: kilos
- (17) margen= 7
Units: euros/kilo
- (18) nacimientos= Cerdas de cria*crias al mes
Units: cerdos/mes
- (19) periodo de engorde= 6
Units: mes
- (20) peso por cerdo = 100
Units: kilos/cerdos
- (21) poblacion = 40000000
Units: persona
- (22) precio del cerdo= efecto de la cobertura en el precio*precio normal del cerdo
Units: euros/kilo
- (23) precio del embutido= SMOOTH(precio del cerdo+margen, tiempo de retraso)
Units: euros/kilo
- (24) precio normal del cerdo= 3
Units: euros/kilo
- (25) precio normal del embutido= 10
Units: euros/kilo
- (26) precio relativo = precio del embutido/precio normal del embutido
Units: Dmnl

(27) $\text{produccion} = \text{sacrificios} * \text{peso por cerdo} * \text{ratio util del cerdo}$

Units: kilos/mes

(28) $\text{ratio util del cerdo} = 0.8$

Units: Dmnl

(29) $\text{sacrificios} = (\text{Cerdos para mercado} / \text{periodo de engorde}) + \text{PULSE}(6, 6) * 10000$

Units: cerdos/mes

Sin añadir la función PULSE que simula un cambio puntual, el modelo funciona en equilibrio

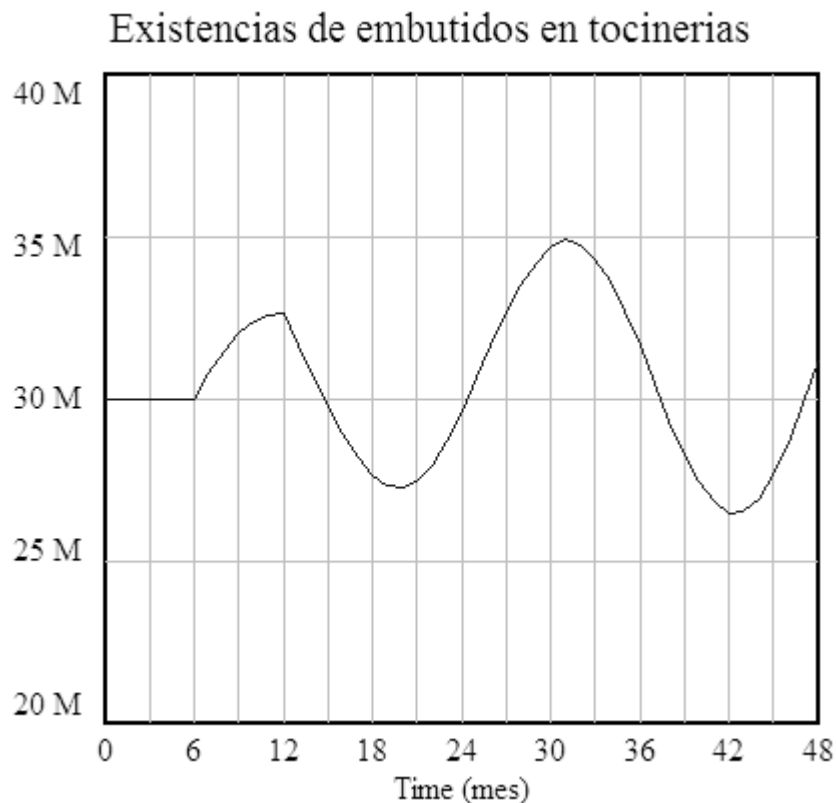
(30) $\text{tiempo de ajuste} = 3$

Units: mes

(31) $\text{tiempo de retraso} = 3$

Units: mes

Comportamiento observado:



ESTRATEGIAS

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.

En la gráfica podemos ver las oscilaciones que se producen como consecuencia de una alteración relativamente breve de uno de los parámetros del sistema.

Las oscilaciones de un sistema pueden ser de tres tipos:

- 1) Estables. Son aquellas que mantienen su periodo y amplitud (la diferencia entre el valor máximo y el mínimo) a lo largo del tiempo. Corresponden a un sistema estable, aunque con variaciones cíclicas de los valores de sus parámetros.
- 2) Decrecientes. Son aquellas oscilaciones que muestran una tendencia a la disminución de su amplitud. Son sistemas estables.
- 3) Crecientes. Son las que como en este ejercicio muestran una tendencia a un aumento de la amplitud. Son sistemas inestables.

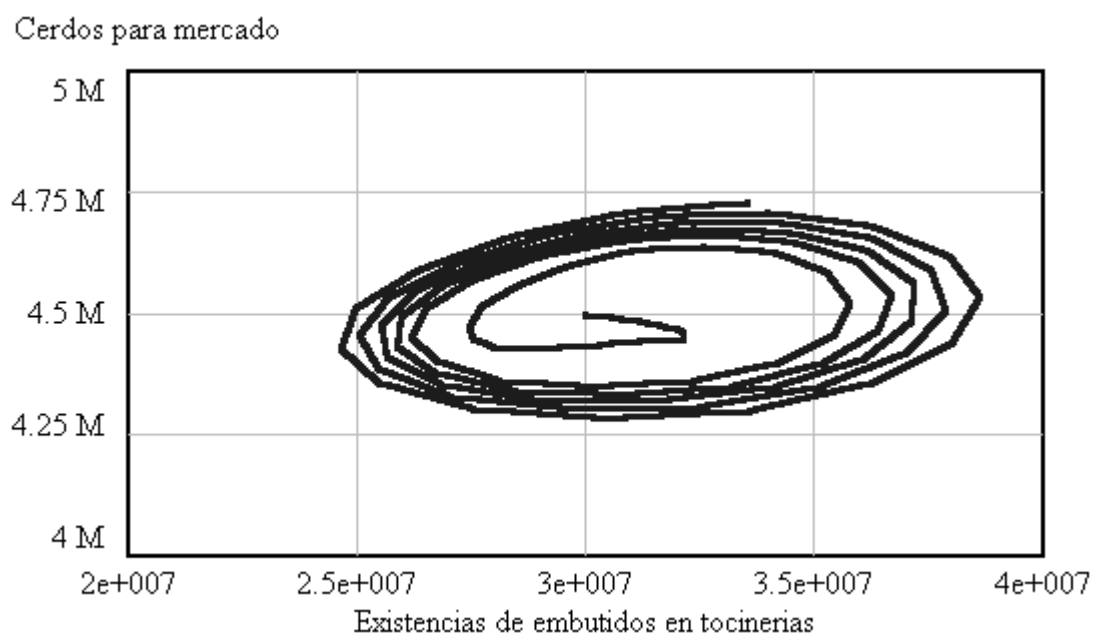
GRAFICAS X-Y

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

Para ello iremos al Control Panel – Graph – New y definiremos las dos variables que deseamos visualizar conjuntamente. En este caso utilizaremos la Existencia de embutidos y los Cerdos para el mercado.



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



4.7. EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL

La intervención del hombre en el medioambiente que lo rodea y del cual forma parte, provoca indefectiblemente alguna alteración en el ecosistema afectado. Una de las herramientas más difundidas para la valoración previa de los efectos ambientales de cualquier proyecto antes de su ejecución es la Evaluación de Impacto Ambiental, vigente y de aplicación obligatoria en muchos países alrededor del mundo.

Actualmente, el término Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) sirve para referirse a una serie de diferentes actividades, pero surgió y fue institucionalizado en el sentido de prever las consecuencias futuras sobre la calidad ambiental de las decisiones que se toman hoy.

Hay también varias definiciones de impacto ambiental, de la cual es remarcable la de Watherm, 1988, según la cual es “el cambio en un parámetro ambiental, en un determinado período y en una determinada área, que resulta de una actividad dada, comparado con la situación que ocurriría si esa actividad no hubiera sido iniciada”. Esta definición tiene la particularidad de introducir la dimensión dinámica de los procesos del medioambiente como base para la comprensión de las alteraciones ambientales.

Consideremos, por ejemplo, el caso de una gran obra de ingeniería y como afecta al ecosistema que invade. Normalmente genera reducción del espacio habitable, de la disponibilidad de alimentos, cierto nivel de contaminación etc. que son, entre otras, algunas de las razones que determinan un cambio sobre los equilibrios entre las especies existentes en los momentos previos al comienzo de los trabajos. Los cambios no son inmediatos, y paulatinamente las especies se acomodan a nuevas relaciones de equilibrio en las cuales juega un papel fundamental su forma de interrelación.

Las relaciones entre las especies

Un ecosistema es un sistema complejo donde especies tanto vegetales como animales conviven en variadas formas de interrelación. La disponibilidad de suelo, agua y el clima son, por supuesto, elementos fundamentales en la determinación de las características de cada especie, pero también las especies tienen relaciones generadas por sus necesidades básicas de alimentarse y reproducirse.

Un caso típico es la relación entre la víctima y del depredador. Normalmente, la víctima constituye el alimento del depredador, así que para ambos es importante que se llegue a un cierto equilibrio entre ambas poblaciones, o en caso contrario el depredador debería cambiar de dieta o se extinguiría también él mismo. Otra forma es cuando dos especies compiten por un tercer elemento (vegetal o animal) que constituye el alimento para ambos, y a la vez ejercen alguna forma adicional de influencia entre sí en lo que hace a la reproducción y el crecimiento. El área disponible para ambas es capaz de soportar una cierta cantidad de individuos de cada especie, que una vez alcanzada se mantiene estable siempre y cuando no se presenten condiciones adversas. Si se disminuye la superficie disponible, se contamina el ambiente o se baja la productividad del suelo seguramente el

conjunto debe arribar a un nuevo equilibrio, que en casos extremos podría significar la desaparición de las especies más débiles.

Lotka (1925) y Volterra (1926) propusieron casi al mismo tiempo un modelo que describe variaciones en la abundancia de dos especies que usan los mismos recursos y entran en competencia.

El modelo conocido como Lotka-Volterra parte de la ecuación de crecimiento exponencial pero incorpora en la misma dos elementos importantes:

1. La carga biótica máxima del medio para cada especie.

Carga biótica máxima es la cantidad de ejemplares de una especie que un determinado ecosistema puede sostener como máximo.

2. Los efectos inhibidores mutuos entre especies.

El efecto inhibidor de una especie sobre otra es el grado de influencia negativa de una especie sobre la otra. Al competir por los recursos (espacios, alimentos), las especies se imponen límites mutuamente.

En el caso extremo, una especie hace desaparecer a la otra.

Tomemos dos especies formadas por un cierto número de individuos N_1 y N_2 con tasas de crecimiento poblacional r_1 y r_2 . La carga biótica máxima para la especie 1 es K_1 , mientras que para la especie 2 es K_2 . Además, α es el efecto inhibidor de 2 sobre 1, y β lo es de 1 sobre 2.

De esta forma el sistema de ecuaciones resulta:

$$dN_1/dt = r_1 N_1 (1 - N_1/K_1 - \alpha N_2/K_1)$$

$$dN_2/dt = r_2 N_2 (1 - N_2/K_2 - \beta N_1/K_2)$$

El comportamiento de este sistema presenta cuatro posibilidades básicas según los valores adoptados por α , β , K_1 y K_2 .

- $K_2 > K_1/\alpha$ y $K_1 > K_2/\beta$ equilibrio inestable
- $K_2 < K_1/\alpha$ y $K_1 < K_2/\beta$ equilibrio estable
- $K_2 < K_1/\alpha$ y $K_1 > K_2/\beta$ especie 1 elimina especie 2
- $K_2 > K_1/\alpha$ y $K_1 < K_2/\beta$ especie 2 elimina especie 1

De las ecuaciones anteriores se deduce que las especies 1 y 2 del sistema serán constantes si

$$N_1/K_1 + \alpha N_2/K_1 = 1$$

$$N_2/K_2 + \beta N_1/K_2 = 1$$

El modelo que se describe a continuación representa la teoría de Lotka-Volterra con algunos agregados que permiten plantearse cómo afecta una reducción del área del ecosistema.

Simulación de la fórmula de Lotka-Volterra en una hoja de cálculo

Podemos validar con ayuda de una hoja de cálculo si dos especies están en equilibrio dentro de un ecosistema, para ello podemos usar la expresión siguiente. El resultado con los valores indicados es una variación cero para ambas especies.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		r1	0,01			
3		N1	2000			
4		K1	2300			
5		alfa	0,5			
6		variación	=C5*C7*(1-(C6/C7)-(C8*C12/C7))			
7						
8		r2	0,03			
9		N2	600			
10		K2	1000			
11		beta	0,2			
12		variación	=C11*C12*(1-(C12/C13)-(C14*C6/C13))			
13						

Impacto de una reducción en el área del ecosistema

Vamos a crear un modelo para simular el impacto ambiental que produce una variación en la superficie del ecosistema.

De hecho vamos a modificar las fórmulas anteriores añadiendo la variable (S) que representa la variación porcentual de la superficie, de la forma siguiente:


$$\begin{aligned} dN1/dt &= r1 \ N1 \ (1 - N1/S \ K1 - \alpha \ N2/S \ K1) \\ dN2/dt &= r2 \ N2 \ (1 - N2/S \ K2 - \beta \ N1/S \ K2) \end{aligned}$$

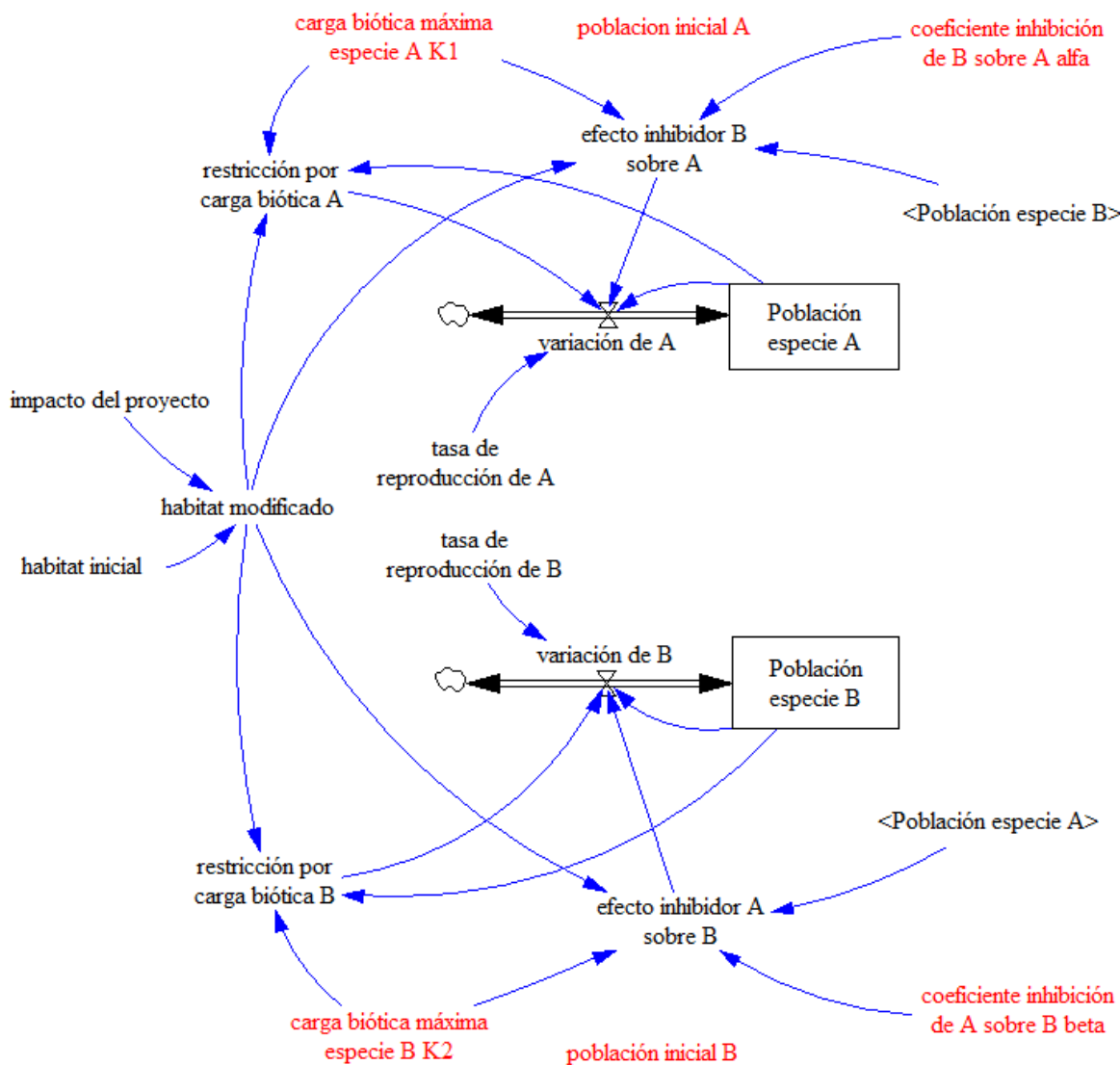
Para simular el impacto ambiental de una ampliación o reducción de la superficie del ecosistema definimos la variable hábitat inicial = 1 y la variable impacto del proyecto = 0, por último definimos la variable hábitat modificado como la diferencia entre ambas a partir del periodo 100 (meses). Si asignamos a la variable impacto del proyecto un valor positivo (0.2 por ejemplo) estaremos simulando una ampliación de la superficie de un 20%, si le asignamos un valor negativo simularemos una disminución de la superficie.

Model – Settings

INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 600 TIME STEP= 1 Units for time = mes

Diagrama de flujos

- Para dibujar un flujo bidireccional pulsar, con el icono de la mano activado, con el botón derecho del ratón sobre el pequeño círculo que hay en el segmento donde deseamos añadir la punta de flecha y seleccionar la opción Arrowhead.
- En rojo se indican las variables que son características propias de las especies, y en negro las que recogen cálculos. Para cambiar el color de un texto seleccionarlo y cambiar su color en la barra inferior.
- Las variables que son un valor inicial de un Nivel no necesitan unirse a éste con una flecha.
- Para crear duplicados de variables como <Población especie B> pulsar el icono de Shadow variable  y escoger la variable deseada.



Ecuaciones

- (01) carga biótica máxima especie A $K_1=2300$
Units: Ejemplares de A
Es la cantidad máxima de ejemplares de A que pueden existir en el ecosistema
- (02) carga biótica máxima especie B $K_2=1000$
Units: Ejemplares de B
Es la cantidad máxima de ejemplares de B que pueden existir en el ecosistema
- (03) coeficiente inhibición de A sobre B $\beta=0.2$
Units: Ejemplares de B/Ejemplares de A
Representa cuantos ejemplares de B se ven afectados por la presencia de ejemplares de A en competencia
- (04) coeficiente inhibición de B sobre A $\alpha=0.5$
Units: Ejemplares de A/Ejemplares de B
Representa cuantos ejemplares de A se ven afectados por la presencia de ejemplares de B en competencia
- (05) efecto inhibidor A sobre B= coeficiente inhibición de A sobre B $\beta \cdot \text{Población especie A} / (\text{carga biótica máxima especie B } K_2)$
*habitat modificado)
Units: Dmnl
Es la limitación al crecimiento de B como consecuencia de la presencia de la especie competidora A
- (06) efecto inhibidor B sobre A= coeficiente inhibición de B sobre A $\alpha \cdot \text{Población especie B} / (\text{carga biótica máxima especie A } K_1)$
*habitat modificado)
Units: Dmnl
Es la limitación al crecimiento de A como consecuencia de la presencia de la especie competidora B
- (07) habitat inicial= 1
Units: Dmnl
Tomamos el valor 1 como área inicial, sin influencia del proyecto, donde las especies A y B cohabitan en equilibrio estable
- (08) impacto del proyecto= 0
Units: Dmnl
La acción del proyecto se traduce en una cantidad de superficie que disminuyen o aumentan, tomaremos un valor de negativo (entre 0 y -1) si el ecosistema reduce su superficie, y un valor mayor de 0 si aumenta su superficie.
- (09) habitat modificado= habitat inicial+STEP(impacto del proyecto,100)
Units: Dmnl

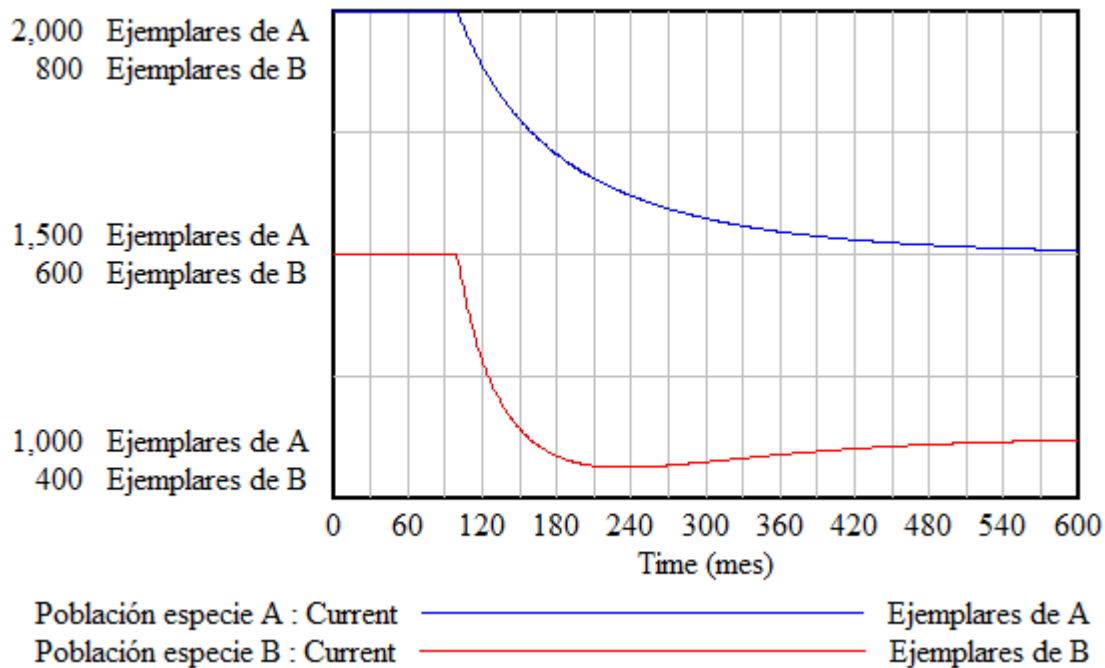
El hábitat inicial varía según se desarrolle o no el proyecto de una forma puntual en el periodo 100, para esto utilizamos la función STEP.

- (12) poblacion inicial $A = 2000$
Units: Ejemplares de A
- (13) Población especie A= variación de A
Initial value: poblacion inicial A
Units: Ejemplares de A
Numero de ejemplares de A vivos en dado instante.
- (14) Población especie B= variación de B
Initial value: población inicial B
Units: Ejemplares de B
Numero de ejemplares de B vivos en dado instante.
- (15) población inicial $B = 600$
Units: Ejemplares de B
- (16) restricción por carga biótica A= Población especie A/(carga biótica máxima especie A K_1 *hábitat modificado)
Units: Dmnl
Representa las limitaciones impuestas al crecimiento de la especie A como consecuencia del área disponible y la carga que es capaz de soportar.
- (17) restricción por carga biótica B= Población especie B/(carga biótica máxima especie B K_2 *hábitat modificado)
Units: Dmnl
Representa las limitaciones impuestas al crecimiento de la especie B como consecuencia del área disponible y la carga que es capaz de soportar.
- (18) tasa de reproducción de A= 0.01
Units: 1/mes
Combina nacimientos y defunciones de A
- (19) tasa de reproducción de B= 0.03
Units: 1/mes
Combina nacimientos y defunciones de B
- (20) variación de A=tasa de reproducción de A*Población especie A*(1-restricción por carga biótica A-efecto inhibidor B sobre A)
Units: Ejemplares de A/mes
Es el flujo de ejemplares de A, que puede ser positivo o negativo dependiendo de que sean mayores los nacimientos que las defunciones o viceversa.
- (21) variación de B = tasa de reproducción de B*Población especie B*(1-restricción por carga biótica B -efecto inhibidor A sobre B)
Units: Ejemplares de B/mes
Es el flujo de ejemplares de B, que puede ser positivo o negativo dependiendo de que sean mayores los nacimientos que las defunciones o viceversa.

Simulación

La ejecución del modelo con los valores indicados muestra un ecosistema estable.

Podemos simular el impacto de reducir un 25% la superficie del ecosistema asignando el valor -0.25 a la variable 'impacto del proyecto'.



Podemos observar como la especie A cae de 2.000 a 1.500 ejemplares de una forma progresiva a partir del período 100. En cambio la especie B tiene una caída inicial mucho más brusca pero después recupera parte de la caída.

La incorporación de relaciones más complejas y realistas entre variables claves del mismo, tales como la tasa de reproducción, la tasa de migración, la eventual contaminación sobre la capacidad de carga biótica del sistema y su influencia sobre la tasa de reproducción de las especies etc. permitirán un mayor conocimiento sobre la evolución del sistema frente acciones que desestabilizan de su equilibrio.

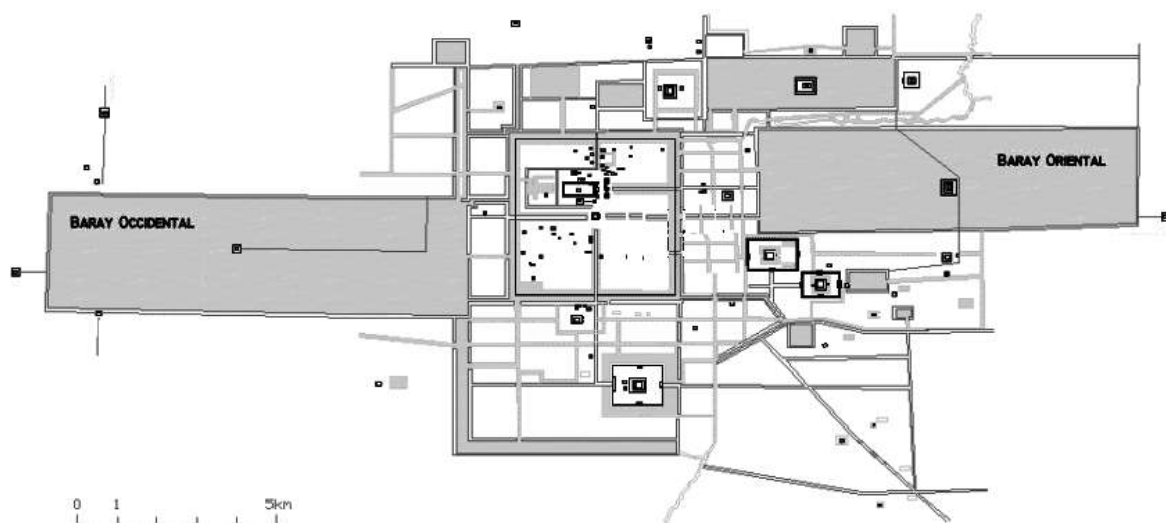
4.8. LOS BARAYS DE ANGKOR

La ciudad de Angkor fue la capital del imperio Kmer desde los siglos VIII al XIV. Estaba situada donde la actual Camboya, junto al delta del río Mekong y a unos 400 Km al Norte de la actual capital Phnom Penh. El nombre de esta ciudad provenía del sánscrito “nagara”, que significa: Ciudad capital.

El emplazamiento de esta área era de gran importancia para los negocios entre Irán, India, China y las provincias mediterráneas del imperio romano. Gracias a sus buenas relaciones comerciales rápidamente llegó a ser una ciudad con gran prosperidad económica, cultural y tecnológica; y como consecuencia de la gran prosperidad aumentó también la población.

Hasta el siglo IX fue un imperio débil formado por muchos reinos independientes que se llamó Andripura, pero a principios del siglo IX el rey Joyavarman II conquistó el área llamada Aninditapura y fundó el imperio Kmer. Durante el reinado de Indravarman I, en el año 880, la capital se trasladó a Harihalaya a 15 Km del actual Angkor. Su población estaba formada por unas 100.000 personas que obtenían 4.400 Tm de arroz al año. En esa época se construyó el templo de Preah-Ko, el centro de Bakong con su pirámide de cinco pisos y el primer Baray. Los Baray eran piscinas rectangulares de dimensiones variables que servían para acumular el agua para el riego del arroz y también regular las inundaciones anuales producidas por los monzones.

Este primer Baray tenía unas dimensiones de 3,8 Km. de largo y 1 Km. de ancho y capacidad para 10 millones de metros cúbicos. Estas dimensiones proporcionaban agua suficiente para regar 40 Km² de cultivos de arroz. Con su red de canales y alimentado por el río Stung Roluos, el imperio Kmer logró multiplicar su capacidad de generar alimentos y riqueza y eran capaces de obtener 130 Tm/Km² al año en 3 cosechas.



En el año 897, Yasovarman I empezó la construcción de un segundo Baray llamado “oriental”. En medio de él construyó una isla, Loley, y en ella un asharama dedicado a los antepasados del Rey. Este Baray era cinco veces mayor que el primero, 7 Km. de largo y 2.5 de ancho, con una capacidad de unos 50 millones de m^3 de agua que tomaba del río Stung Siem Reap que hizo posible que se cultivase hasta 200 Km^2 más de terreno. Este rey también trasladó la capital a lo que se considera el primer Angkor. Realizó la ciudad capital protegida por una muralla de 4 Km. por 4 Km.

Finalmente, en el año 1010, Sûryavarman I construyó un tercer Baray llamado “occidental”, mayor que los anteriores, 8 Km. por 2 Km., alimentado por el río Stung Puok y con 57 millones de m^3 de agua. El área cultivable se incrementó en 100 Km^2 más.

Los reyes posteriores reorganizaron los Baray pero sin incrementar su capacidad. Poco a poco, a un ritmo del 0,1% anual de su capacidad los Baray dejaron de ser factibles debido al incremento de barro y el descenso de su capacidad de almacenamiento de agua. Con este modelo estudiaremos el comportamiento evolutivo de los principales parámetros del sistema y sus variables.

Datos claves del modelo:

3 barays con un total de 117 Mm3 en total.

Área de Irrigación de 340 Km^2 .

Tres cosechas implicaban 130 Tm de arroz por Km^2 .

Consumo por persona es de 44 Kg de arroz/año.

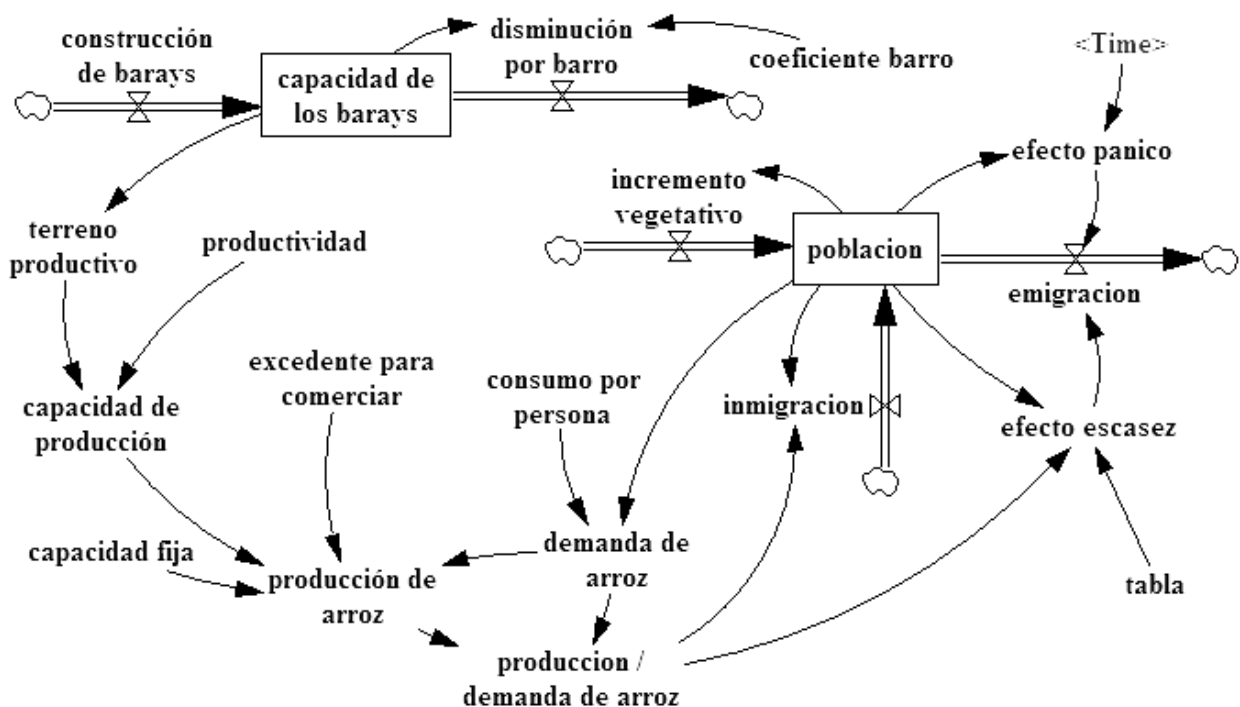
Si hay sobreproducción se produce inmigración, la escasez provoca le migración

Catástrofe cuando el barro llega a cubrir el 75% de la capacidad del Baray.

Coefficiente por barro 0,1% anual de la capacidad de los Barays

Población inicial: 100.000 personas

Horizonte de simulación: años 800 a 1500



Construcción del Modelo. Aspectos a destacar:

Uso del elemento Time

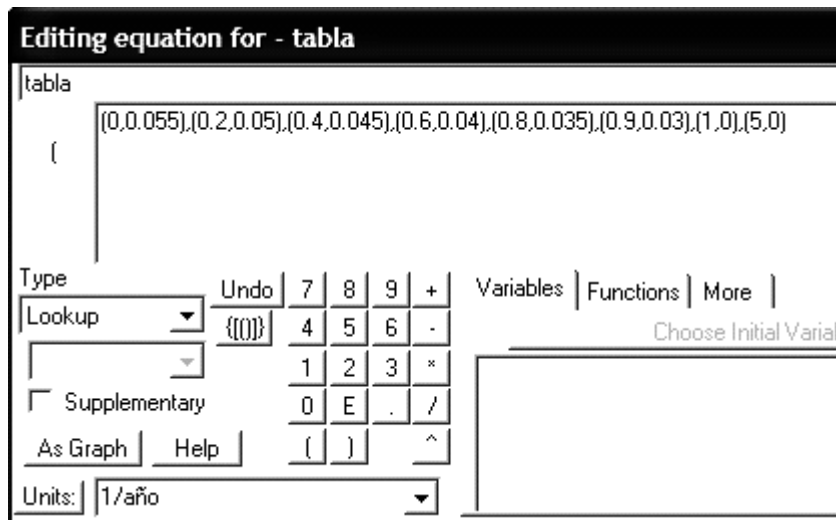
En ocasiones deseamos definir la evolución de un elemento del sistema a determinados periodos de tiempo, es decir deseamos introducir el Tiempo como variable del sistema. En este caso pulsamos el mismo icono que hemos empleado para crear las Shadow Variables y ahí encontraremos la variable Time, la seleccionamos y la podremos utilizar como un elemento cualquiera del sistema.



Si hemos definido el horizonte temporal del periodo 0 al 100, la variable Time tomará los valores 0, 1, 2, 3, etc. En cambio el modelo trabaja desde el periodo 2000 al 2020, la variable Time valdrá 2000, 2001, 2002, etc.

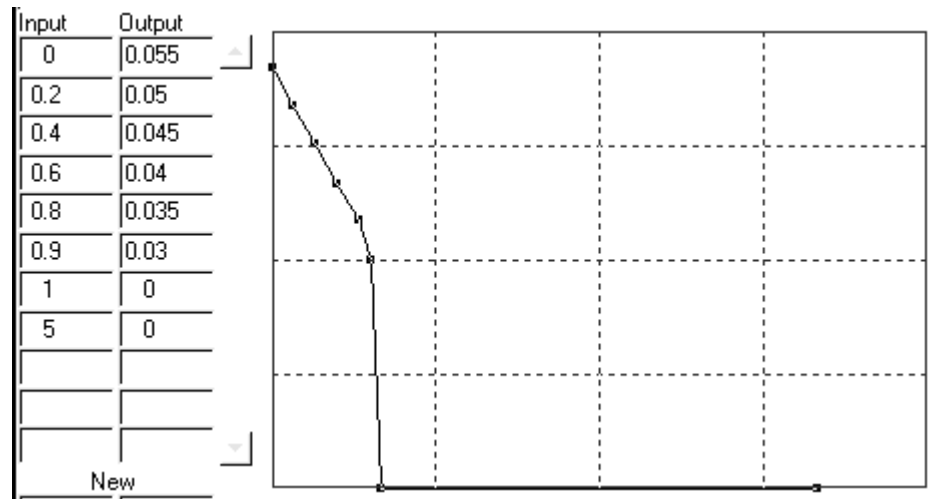
Tablas externas

Para mostrar la relación que existe entre dos variables, una independiente y la otra dependiente, acudimos a las ecuaciones. En ocasiones no hallamos una ecuación aritmética que represente esta relación y utilizamos una Tabla. Las Tablas son un conjunto de puntos que muestran el valor que toma la variable dependiente cuando la variable independiente diferentes valores. Así el punto (0.6,0.04) representa que consideramos que cuando la variable independiente toma el valor 0.6, la variable dependiente toma el valor 0.04.



En este caso consideramos que el “efecto escasez” es la variable dependiente, que es función de la variable independiente “producción/demanda de arroz”. Para representar esto en el modelo, al escribir la ecuación de la “tabla” seleccionamos el Type = Lookup.

Si pulsamos el botón de As Graph, podemos entrar los datos mas cómodamente y además ver su representación gráfica. En este caso representamos que cuando el cociente entre producción y demanda es igual o mayor que 1 la escasez tiene el valor 0.



Función 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.

Función 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

Función 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.

Ecuaciones del modelo,


INITIAL TIME=800 FINAL TIME=1500 TIME STEP=1 Units for time=año

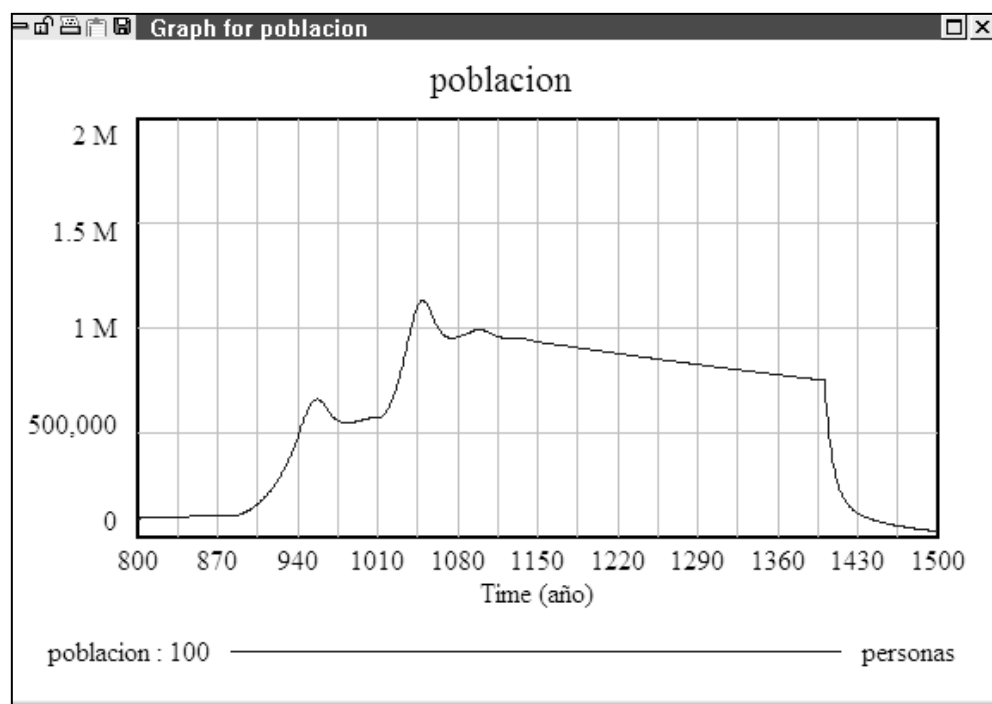
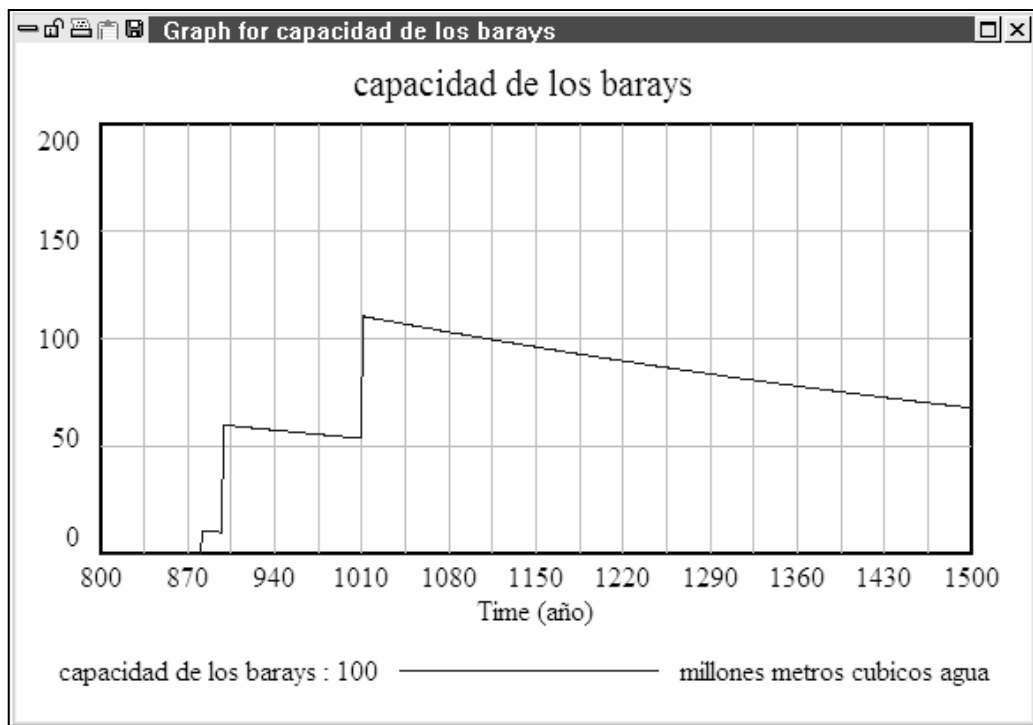
- (01) capacidad de los barays = construcción de barays -
disminución por barro
Inicial value: 0
Units: Mm3
Millones de metros cúbicos de agua
- (02) capacidad de producción = terreno productivo*
productividad
Units: Tm/año
- (03) capacidad fija = 4400
Units: Tm/año
- (04) coeficiente barro = 0.001
Units: 1/año
Coeficiente que recoge la pérdida de capacidad por acumulación de barro
- (05) construcción de barays=10*PULSE(880,1)+50*PULSE(897,1)
+ 57 * PULSE(1010,1)
Units: Mm3/año
Construcción del primer baray en el año 880, del segundo en el 897 y del tercero en el 1010, con sus capacidades respectivas, en total 117 millones de m3
- (06) consumo por persona = 0.044
Units: Tm/persona/año
Toneladas de arroz por persona y año
- (07) demanda de arroz = poblacion*consumo por persona
Units: Tm/año
- (08) disminución por barro = capacidad de los barays*
coeficiente barro
Units: Mm3/año
- (09) efecto escasez=poblacion*tabla(produccion/demanda de
arroz)
Units: persona/año
Se produce emigración debido a la escasez de alimentos, de una forma no lineal sino tal y como se recoge en la tabla.
- (10) efecto panico=IF THEN ELSE(Time>1200:AND:poblacion<
750000 , poblacion*0.1 , 0)
Units: persona/año

Se produce un pánico a partir del año 1200 cuando la población cae por debajo de las 750.000 personas, que afecta anualmente al 10% de la población.


- (11) $\text{emigración} = \text{MAX}(\text{SMOOTH}(\text{efecto escasez}, 10), \text{efecto panico})$
 Units: persona/año
 La población emigra si hay escasez o bien aunque no hay escasez si se produce un pánico porque la expectativas no son buenas.
- (12) $\text{excedente para comerciar} = 0.2$
 Units: Dmnl
 % que se desea producir de arroz en exceso para comerciar con otros productos.
- (13) $\text{incremento vegetativo} = 0.002 * \text{poblacion}$
 Units: persona/año
 Se toma como tasa de incremento vegetativo neto (nacimientos menos muertes) un 0,2%
- (14) $\text{inmigración} = \text{SMOOTH}(\text{IF THEN ELSE}(\text{produccion} / \text{demanda de arroz} > 1.2, 0.05 * \text{poblacion}, 0), 20)$
 Units: persona/año
 Se produce inmigraciones cuando la producción supera en más de un 20% a la demanda de arroz. Estas inmigraciones equivalen al 5% de la población, y tienen un cierto retraso temporal.
- (17) $\text{población} = +\text{inmigracion} + \text{incremento vegetativo} - \text{emigracion}$
 initial value: 100000
 Units: persona
- (18) $\text{produccion} / \text{demanda de arroz} = \text{producción de arroz} / \text{demanda de arroz}$
 Units: Dmnl
- (19) $\text{producción de arroz} = \text{MIN}(\text{capacidad de producción}, \text{demanda de arroz} * (1 + \text{excedente para comerciar})) + \text{capacidad fija}$
 Units: Tm/año
 Toneladas de arroz al año. Se produce el mínimo entre la capacidad de producción y la demanda teniendo en cuenta el excedente para comerciar, y la cantidad fija.
- (20) $\text{productividad} = 130$
 Units: Tm/Km2/año
 Tm por Km2 obtenidas en 3 cosechas anuales.
- (21) $\text{tabla} = (0, 0.055), (0.2, 0.05), (0.4, 0.045), (0.6, 0.04), (0.8, 0.035), (0.9, 0.03), (1, 0), (5, 0)$
 Units: 1/año
- (22) $\text{terreno productivo} = \text{capacidad de los barays} * 340 / 117$
 Units: Km2
 Se cultivan 340 Km2 con 117 Mm3


Simulaciones

Pulsamos el icono  y podemos ver el comportamiento de las variables del sistema pulsando dos veces sobre el nombre de la variable que deseamos ver y después escogiendo entre los iconos de la izquierda de la pantalla el formato de visualización (gráfico o tabla). Obtendremos las gráficas siguientes

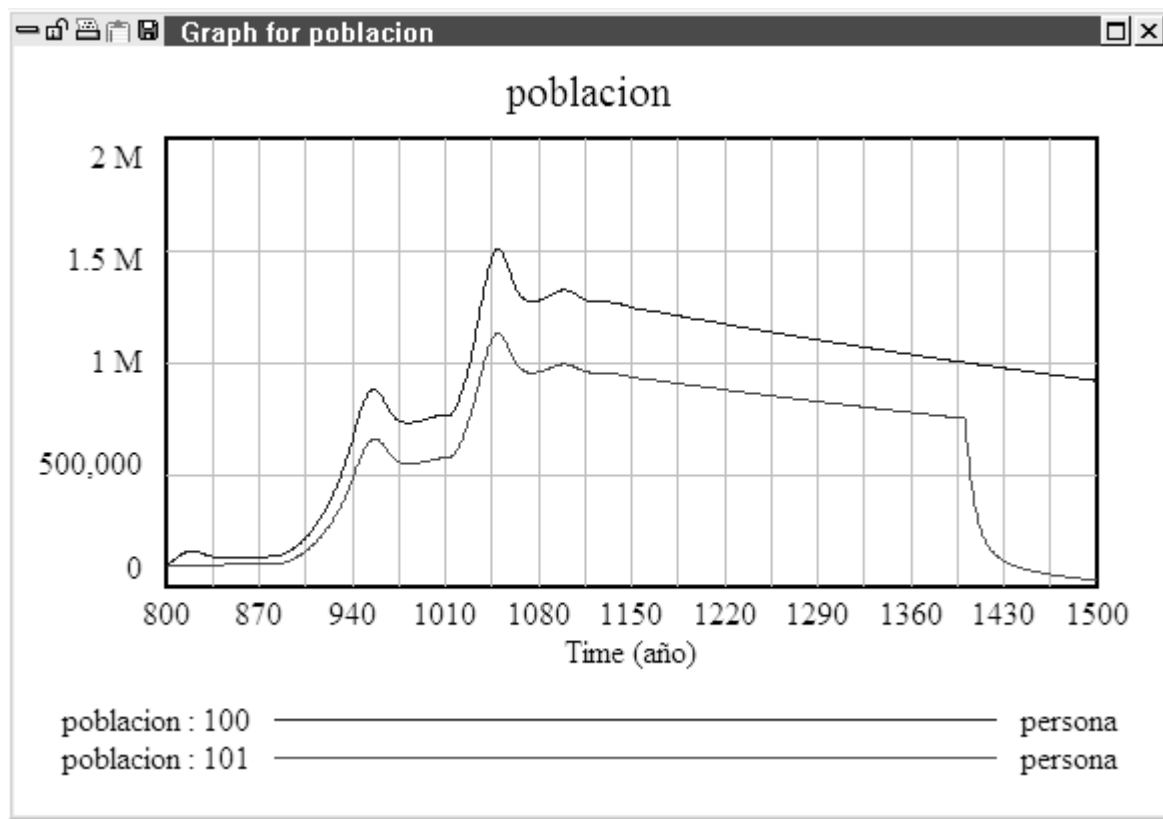


Podemos ver el efecto de simular diferentes alternativas y ver los resultados sobre la misma gráfica. Supongamos que queremos simular el efecto de un consumo por persona de 0.033 en vez de los 0.044 Tm/persona del modelo original.

Para hacer pulsamos sobre el icono  y al hacerlo se nos colorean las constante del sistema. Pulsamos sobre el nombre de la variable “consumo por persona”, y nos aparece el valor original, lo sustituimos por el nuevo y pulsamos Intro.

A continuación pulsamos el icono  y aparece el mensaje “Dataset Current already exists. Do you want override it? “ respondemos No, y damos un nuevo nombre a la simulación.

Al visualizar los resultados obtenemos las graficas de ambas simulaciones.



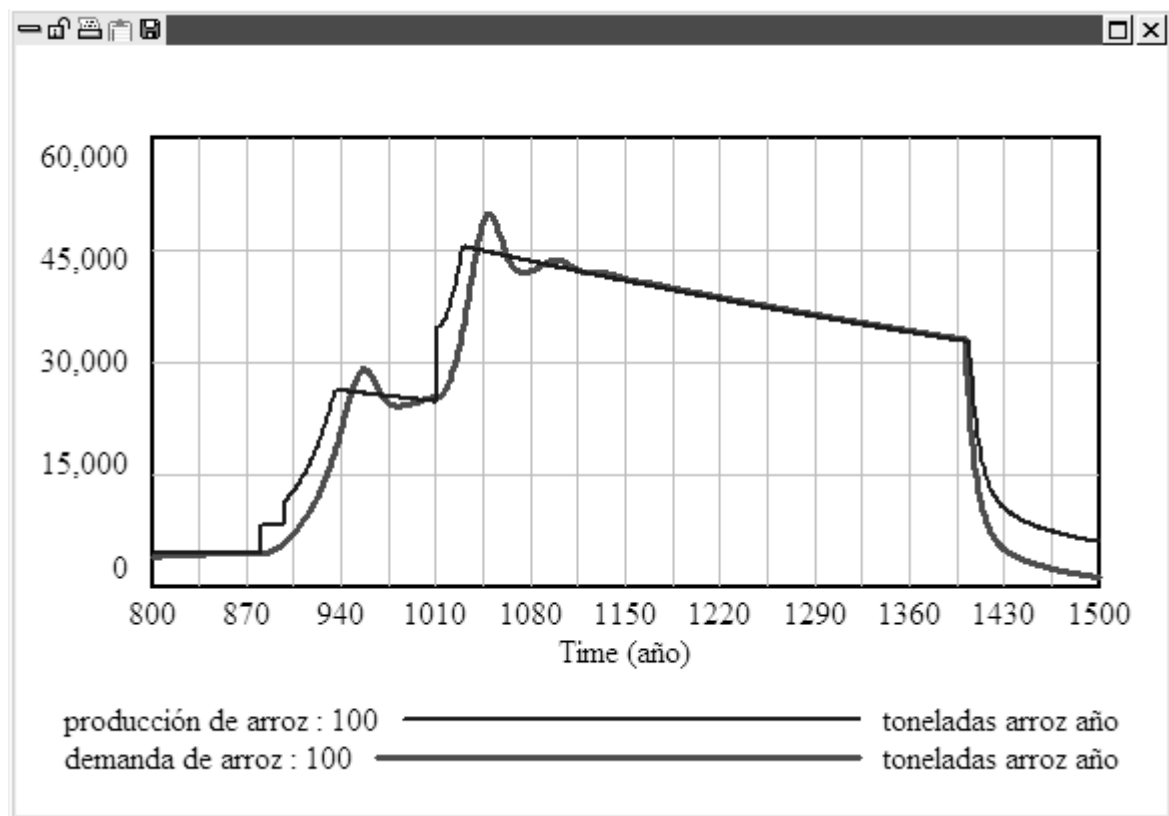
Si deseamos manipular diferentes simulaciones, seleccionando unas y ocultando otras hemos de ir a la barra superior por la opción Windows – Control Panel – Dataset y dejar en la ventana derecha sólo las simulaciones que deseamos ver, pasando a la parte izquierda las que no deseamos ver o borrar.

Por último si deseamos ver el comportamiento de varios elementos en una misma gráfica podemos hacerlo acudiendo a una opción muy similar que es Windows – Control Panel – Graph – New y seleccionar las variables deseadas.

The dialog box 'GRAPH' is shown with the following settings:

- Name: GRAPH
- Quick: Quick
- Hide: Title, X Label, Legend (all unchecked)
- Title: (empty)
- X-Axis: (empty)
- X-min: (empty)
- X-max: (empty)
- X-divisions: (empty)
- Lbl-Interval: (empty)
- Y-div: (empty)
- Stamp: (empty)
- Comment: (empty)
- Type: Norm (selected), Cum, Stack
- Dots: (unchecked)
- Fill: (unchecked)
- Width: (empty)
- Height: (empty)
- Scale: (empty)
- Variable: (empty)
- Dataset: (empty)
- Label: (empty)
- LineW: 2
- Units: (empty)
- Y-min: (empty)
- Y-max: (empty)
- As WIP Graph (maxpoints): (unchecked)
- Copy to...: (empty)
- Test output: (unchecked)
- Soft Bounds: (unchecked)

El resultado es el siguiente.





Área Empresarial



4.9. GESTION DINÁMICA DE LAS 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 la demanda prevista.

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.

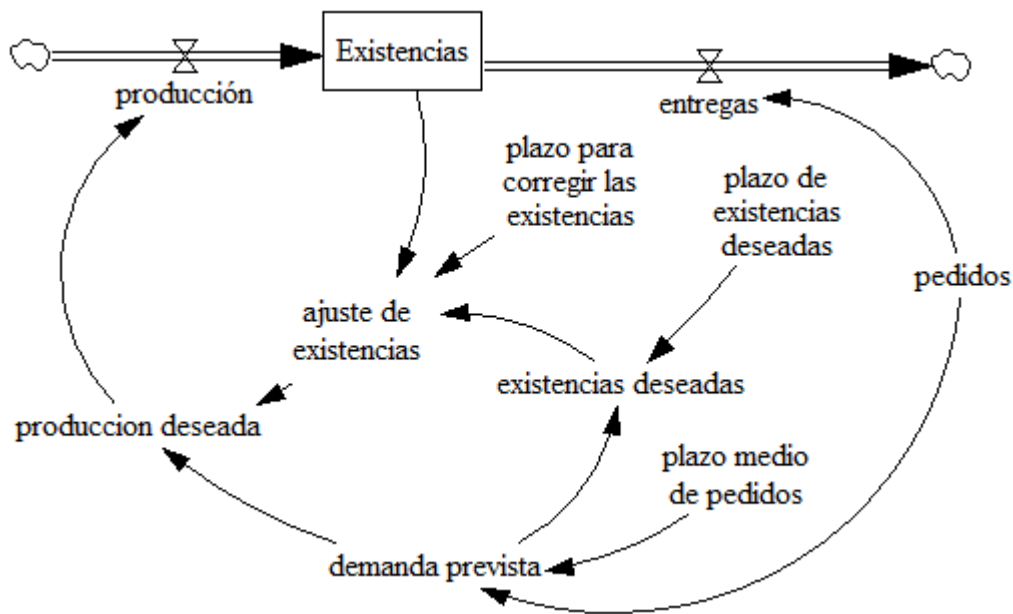
1. Sin ayuda del ordenador, dibuje el comportamiento que usted espera que genere el modelo cuando se produce un incremento del 10% en los pedidos, partiendo de una situación de equilibrio. Especifique el comportamiento de los pedidos, producción deseada, producción, existencias y existencias deseadas.

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".



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.

INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 60 TIME STEP = 1 Units for time=semana

- (01) $\text{ajuste de existencias} = (\text{existencias deseadas} - \text{Existencias}) / \text{plazo para corregir las existencias}$

Units: unidades/semana

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

- (02) $\text{demanda prevista} = \text{SMOOTH}(\text{pedidos}, \text{plazo medio de pedidos})$

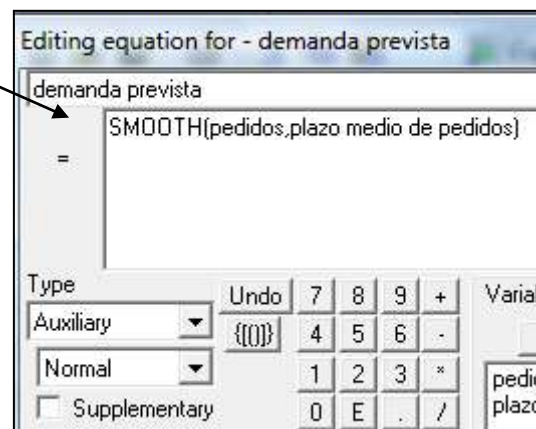
Units: unidades/semana

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.

- (03) $\text{entregas} = \text{pedidos}$

Units: unidades/semana

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.



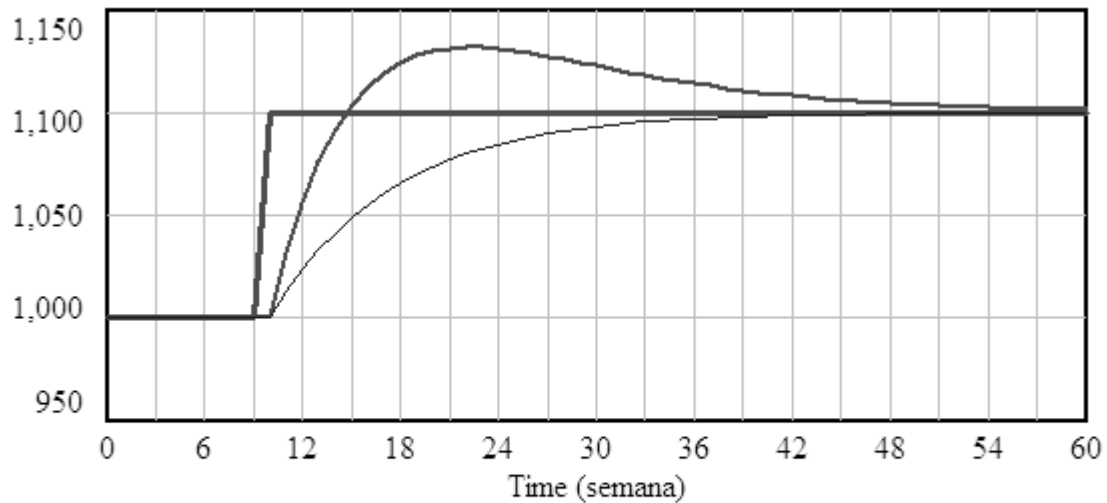
- (04) $\text{Existencias} = +\text{producción} - \text{entregas}$
 Initial value= 4000
 Units: unidades
 Las existencias iniciales corresponden a una situación de equilibrio, con una media de pedidos = 1000 unidades, y unas existencias deseadas de 4 semanas = 4.000 unidades.



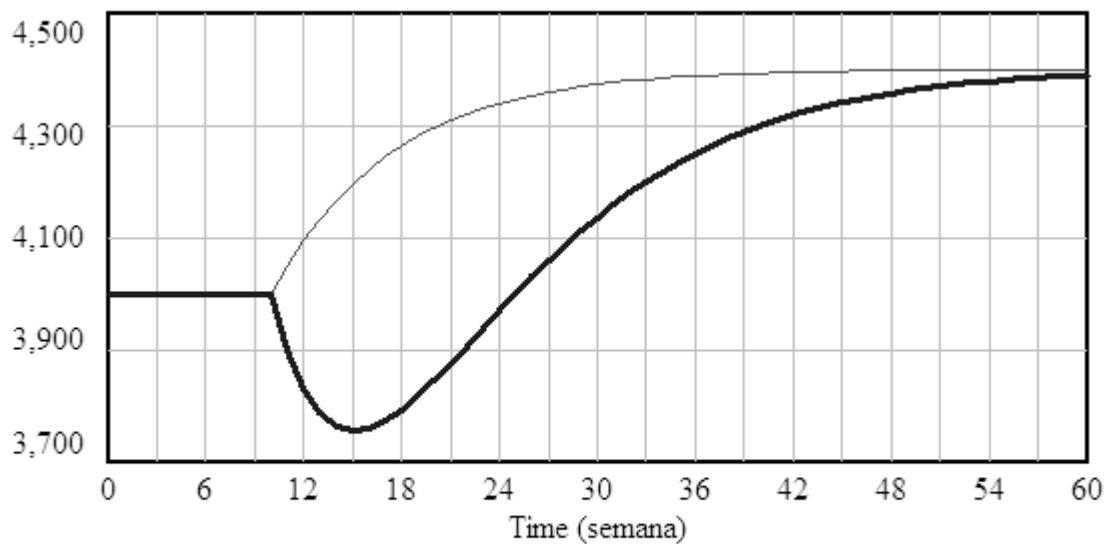
- (05) $\text{existencias deseadas} = \text{demanda prevista} * \text{plazo de existencias deseadas}$
 Units: unidades
 Las existencias deseadas de productos acabados han de ser las necesarias para cubrir cuatro semanas de demanda prevista.
- (06) $\text{pedidos} = 1000 + \text{step}(100, 10)$
 Units: unidades/semana
 Hacemos que los pedidos se incrementen un 10% en la semana 10
- (07) $\text{plazo de existencias deseadas} = 4$
 Units: semana
 Cobertura de las existencias deseadas
- (08) $\text{plazo medio de pedidos} = 8$
 Units: semana
 Es el plazo de tiempo para calcular la media de los pedidos
- (09) $\text{plazo para corregir las existencias} = 8$
 Units: semana
 Es el plazo de tiempo necesario para corregir las existencias
- (10) $\text{produccion deseada} = \text{demanda prevista} + \text{ajuste de existencias}$
 Units: unidades/semana
 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.
- (11) $\text{producción} = \text{produccion deseada}$
 Units: unidades/semana
 La producción real coincide con la deseada ya que la empresa dispone de un equipo de producción holgado.

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 seleccionar las variables y la escala.



demanda prevista : Current
pedidos : Current
producción : Current



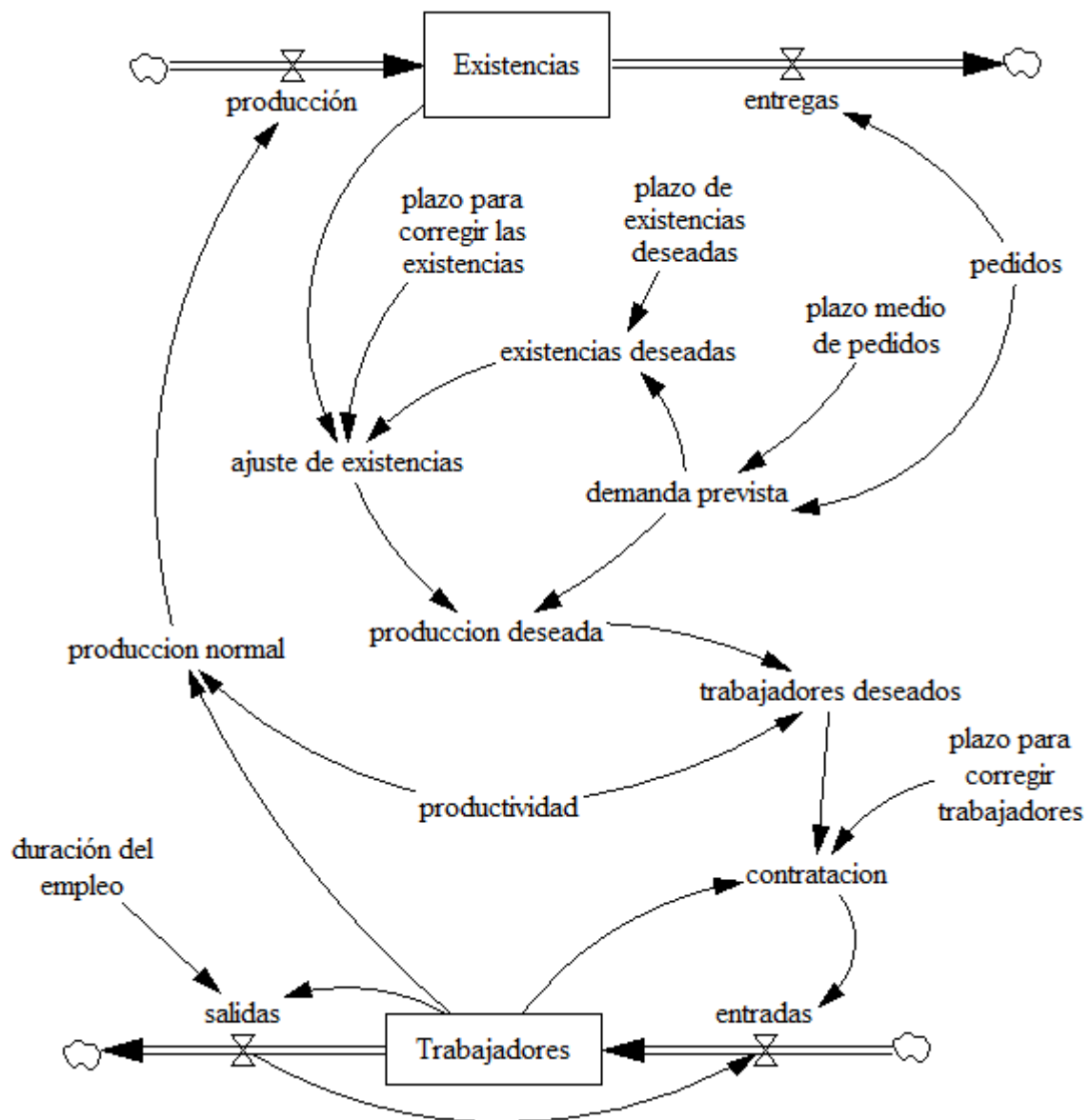
Existencias
existencias deseadas

Hasta el periodo 15 los pedidos y las entregas son superiores a la producción, y eso provoca que las Existencias disminuyan.

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 en relación con la situación deseada. Los empleados deben avisar de su marcha con dos semanas de anticipación aunque esto no es significativo. El número de trabajadores deseados se calcula 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.

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.

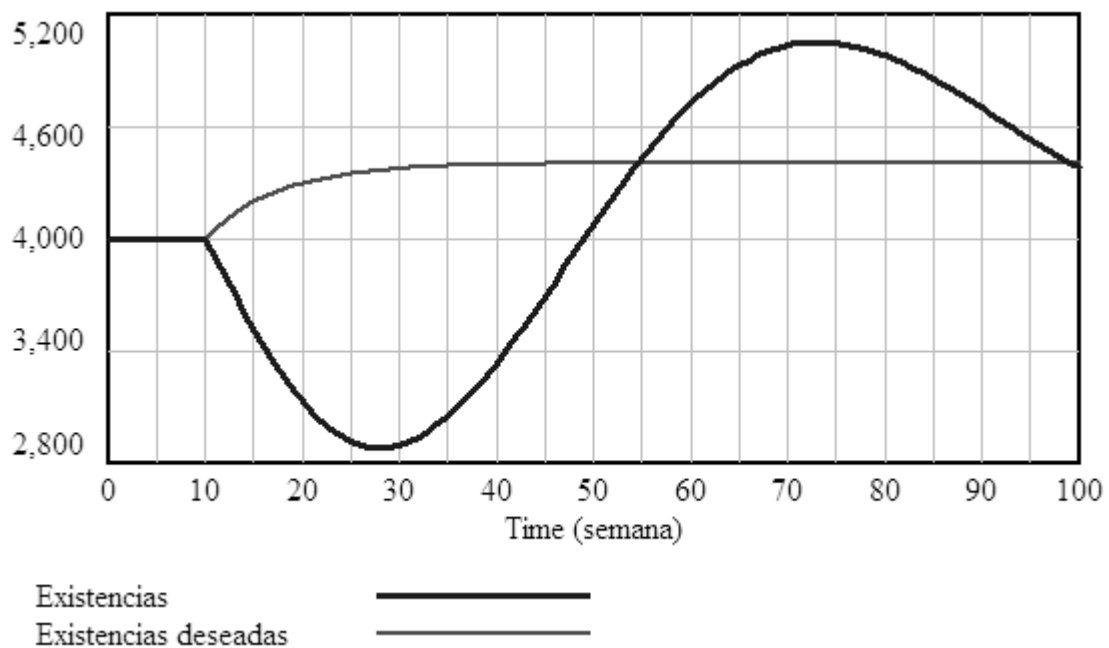
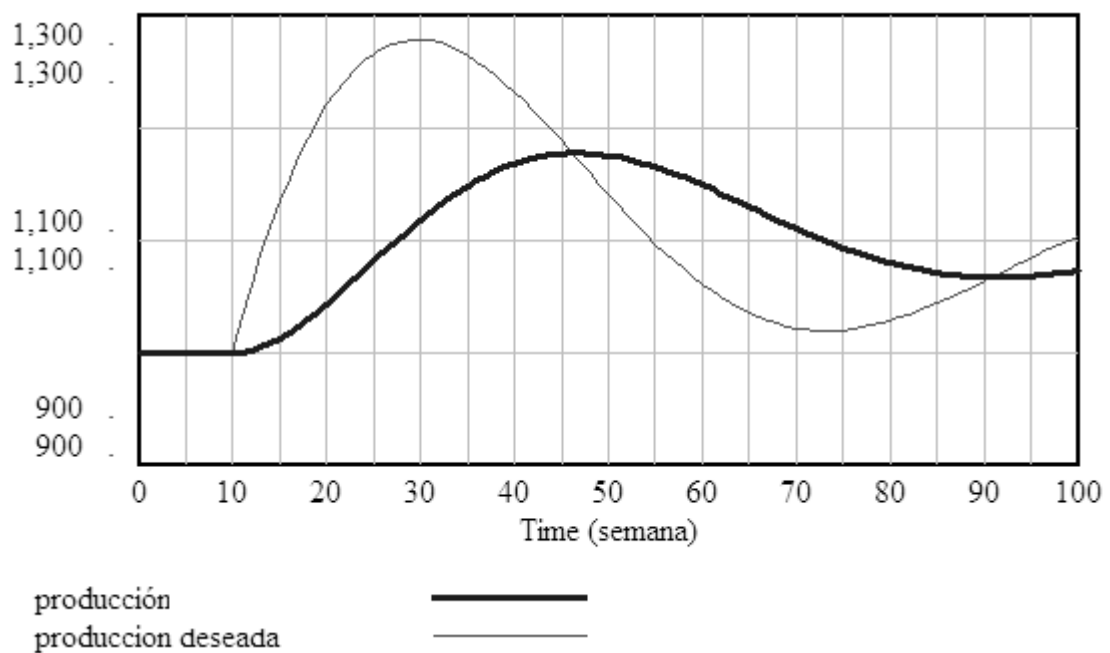
Modifique los parámetros recibidos para comprender mejor su influencia en el comportamiento observado: Modifique "plazo para corregir existencias" y observe sus repercusiones. ¿Modificar el "plazo para corregir trabajadores" tiene los mismos efectos?

Ir a Model – Settings y ampliar el plazo a: FINAL TIME = 100

- (01) $\text{ajuste de existencias} = (\text{existencias deseadas} - \text{Existencias}) / \text{plazo para corregir las existencias}$
Units: unidades/semana
- (02) $\text{contratacion} = (\text{trabajadores deseados} - \text{Trabajadores}) / \text{plazo para corregir trabajadores}$
Units: personas/semana
- (03) $\text{demanda prevista} = \text{SMOOTH}(\text{pedidos}, \text{plazo medio de pedidos})$
Units: unidades/semana
- (04) $\text{duración del empleo} = 50$
Units: semana
- (05) $\text{entradas} = \text{salidas} + \text{contratacion}$
Units: personas/semana
- (06) $\text{entregas} = \text{pedidos}$
Units: unidades/semana
- (07) $\text{Existencias} = +\text{producción} - \text{entregas}$
Initial value = 4000
Units: unidades
- (08) $\text{existencias deseadas} = \text{demanda prevista} * \text{plazo de existencias deseadas}$
Units: unidades

- (09) pedidos= 1000+step(100,10)
Units: unidades/semana
- (10) trabajadores deseados= produccion deseada/productividad
Units: personas
- (11) plazo de existencias deseadas= 4
Units: semana
- (12) plazo medio de pedidos= 8
Units: semana
- (13) plazo para corregir las existencias= 8
Units: semana
- (14) plazo para corregir trabajadores= 24
Units: semana
- (15) produccion deseada= demanda prevista + ajuste 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) salidas= Trabajadores/duración del empleo
Units: personas/semana
- (20) Trabajadores= +entradas-salidas
Initial value = 50
Units: personas

Las siguientes gráficas nos muestran como efectivamente 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.

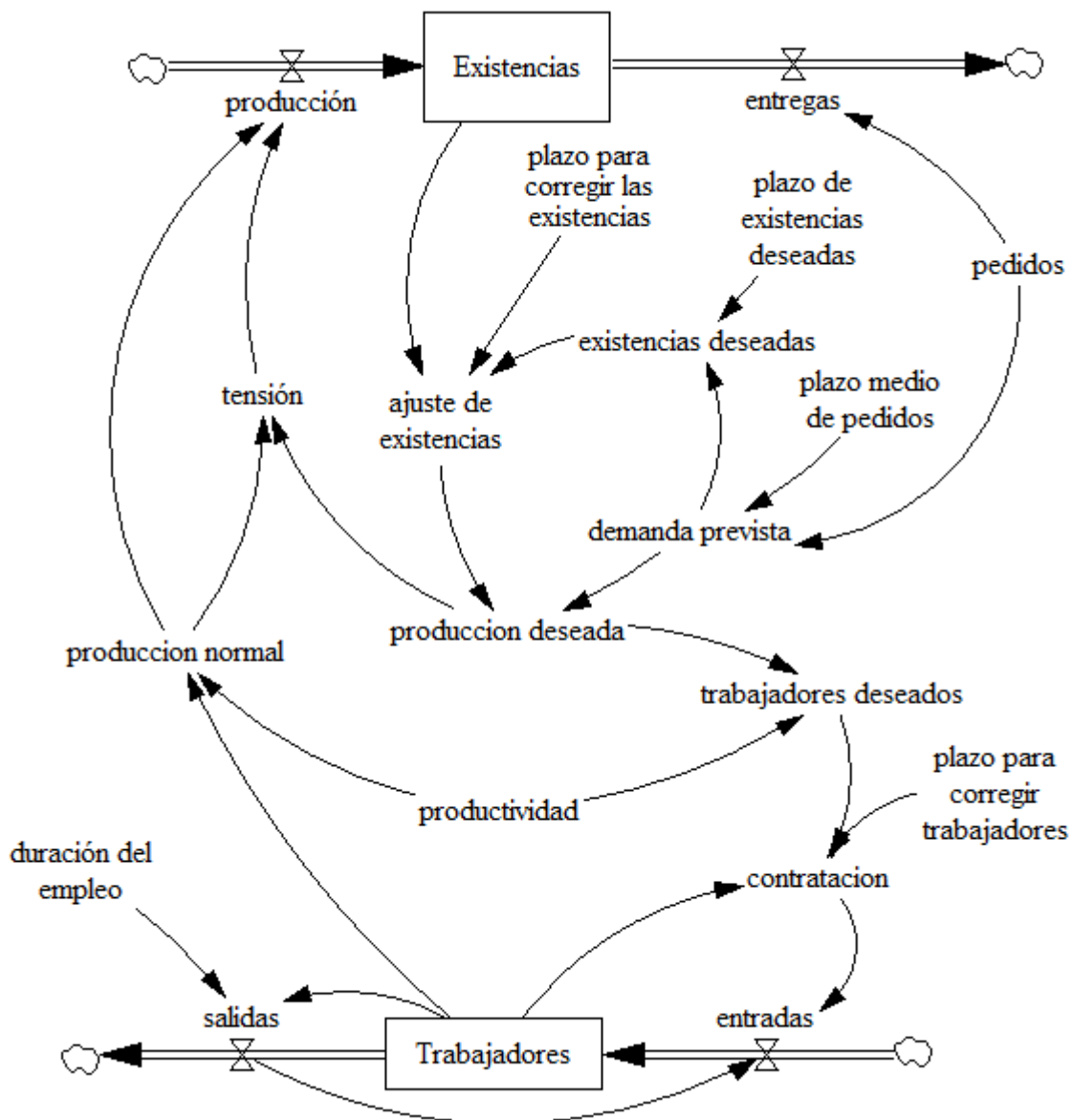


Las existencias disminuyen de la semana 10 a la 28 debido a que la producción es inferior a las entregas, a partir de la semana 28 la producción es mayor que las entregas y las existencias se van recuperando.

ESTUDIO DE UNA ESTRATEGIA

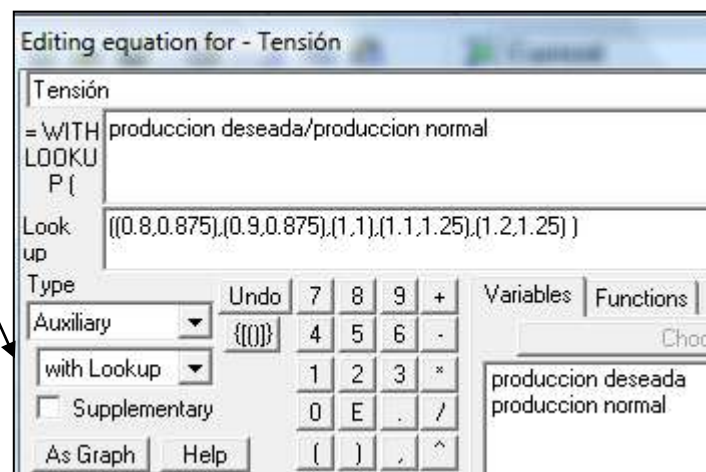
Al objeto de reducir las tensiones de producción que se producen, que son la diferencia relativa entre la producción deseada y la producción normal, la empresa quiere conocer si debe plantear la posibilidad de realizar jornada flexible (horas extras) en las próximas negociaciones con el sindicato.

La jornada de trabajo es de 40 horas. Las negociaciones preliminares con el sindicato indican 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.

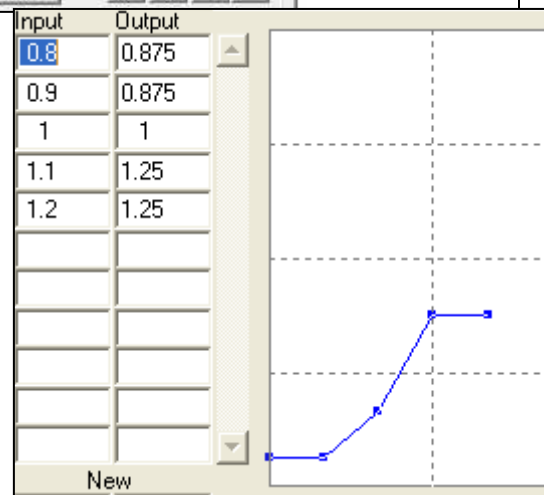


- (01) $\text{ajuste de existencias} = (\text{existencias deseadas} - \text{Existencias}) / \text{plazo para corregir las existencias}$
Units: unidades/semana
- (02) $\text{contratacion} = (\text{trabajadores deseados} - \text{Trabajadores}) / \text{plazo para corregir trabajadores}$
Units: personas/semana
- (03) $\text{demanda prevista} = \text{SMOOTH}(\text{pedidos}, \text{plazo medio de pedidos})$
Units: unidades/semana
- (04) $\text{duración del empleo} = 50$
Units: semana
- (05) $\text{entradas} = \text{salidas} + \text{contratacion}$
Units: personas/semana
- (06) $\text{entregas} = \text{pedidos}$
Units: unidades/semana
- (07) $\text{Existencias} = +\text{producción} - \text{entregas}$
Initial value = 4000
Units: unidades
- (08) $\text{existencias deseadas} = \text{demanda prevista} * \text{plazo de existencias deseadas}$
Units: unidades
- (09) $\text{pedidos} = 1000 + \text{step}(100, 10)$
Units: unidades/semana
- (10) $\text{trabajadores deseados} = \text{produccion deseada} / \text{productividad}$
Units: personas
- (11) $\text{plazo de existencias deseadas} = 4$
Units: semana
- (12) $\text{plazo medio de pedidos} = 8$
Units: semana
- (13) $\text{plazo para corregir las existencias} = 8$
Units: semana
- (14) $\text{plazo para corregir trabajadores} = 24$
Units: semana

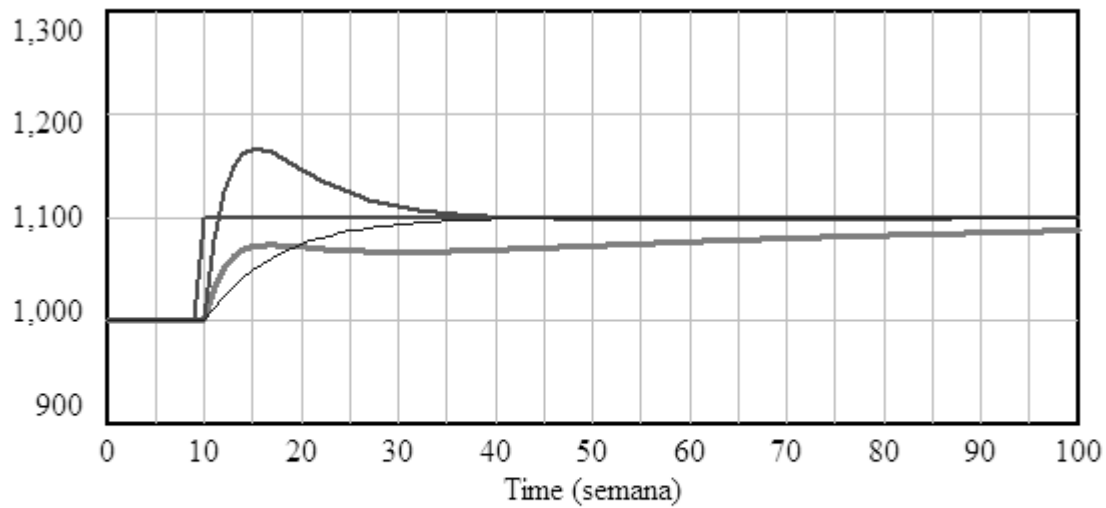
- (15) `produccion deseada= demanda prevista+ajuste de existencias`
Units: unidades/semana
- (16) `produccion normal= Trabajadores*productividad`
Units: unidades/semana
- (17) `producción= produccion normal*tensión`
Units: unidades/semana
- (18) `productividad= 20`
Units: unidades/personas/semana
- (19) `salidas= Trabajadores/duración del empleo`
Units: personas/semana
- (20) `Trabajadores= +entradas-salidas`
Initial value= 50
Units: personas
- (21) `tensión=with Lookup(produccion deseada/produccion normal`
Units: Dmnl
`(0.8,0.875),(0.9,0.875),(1,1),(1.1,1.25),(1.2,1.25))`



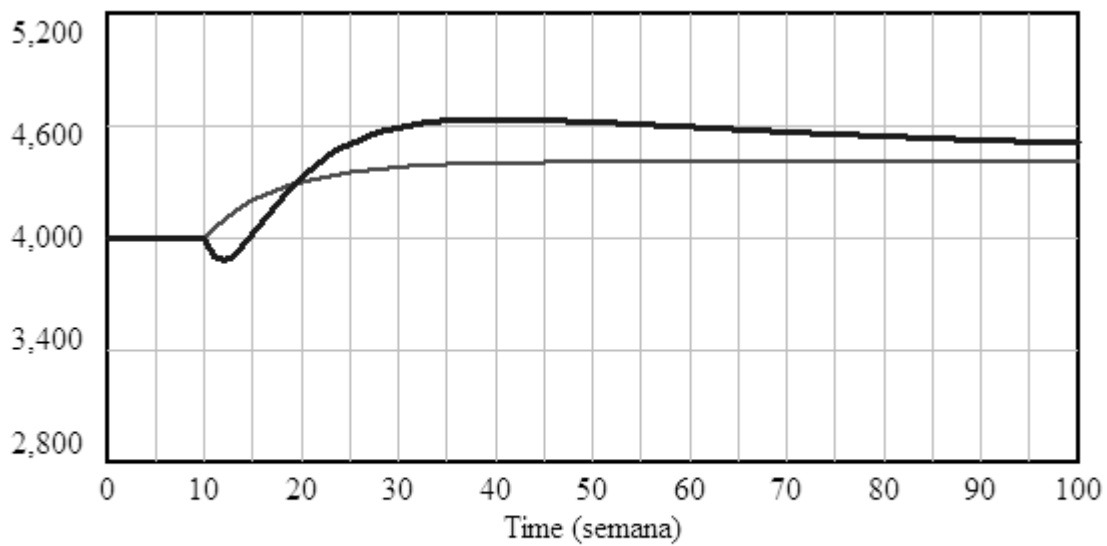
Pulsando en el botón de **As Graph** es posible entrar los pares de valores de la tabla que existe en la ecuación de la respuesta a la tensión, que definen cada punto, de forma más cómoda.



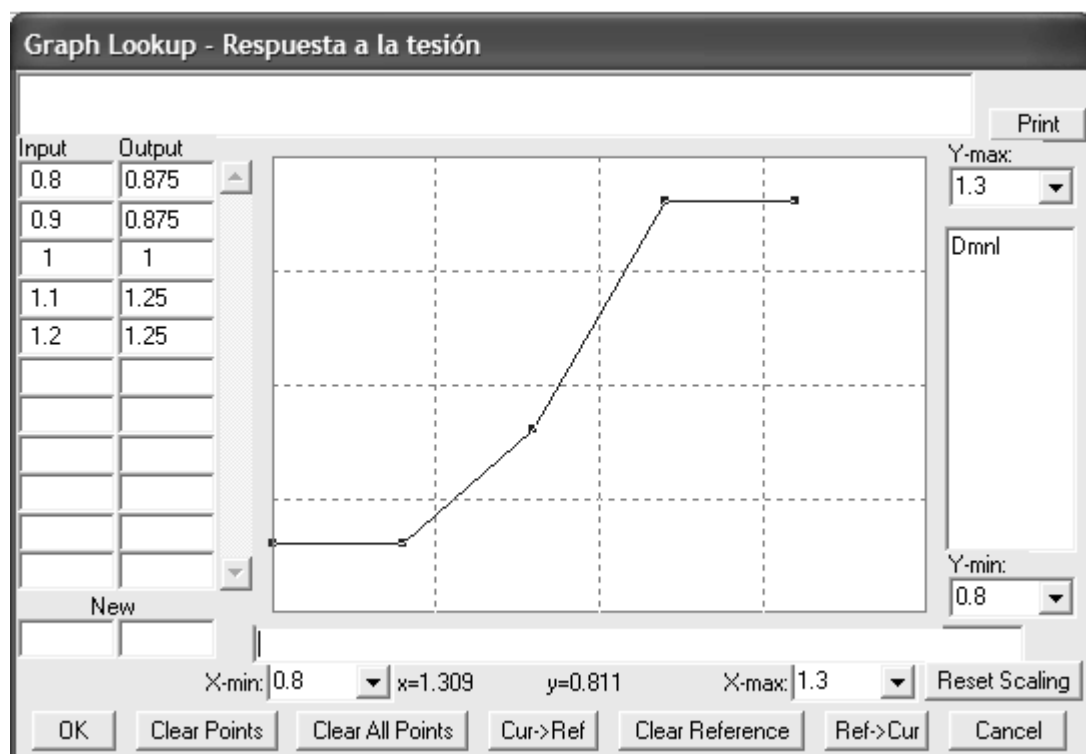
Podemos observar como la introducción del elemento de Tensión ha provocado una disminución en la amplitud y en la intensidad de las oscilaciones de todos los parámetros del sistema. Pruebe para diferentes valores de "tensión".



demanda prevista
pedidos
producción
produccion deseada



Existencias
Existencias deseadas



Nota explicativa de la Tabla

La tabla sirve para calcular el valor de la "tensión" el cual se calcula como el cociente de la "producción normal" y la "producción deseada". La "tensión" la utilizamos para calcular la "producción". Tenemos una entrada (x) en la tabla que es el cociente entre "producción normal" y "producción deseada" y una salida (y) que es la "tensión".

Los pares de valores entre paréntesis nos definen puntos. El punto (0.8,0.875) indica que cuando el cociente es 0.8 la "tensión" es igual a 0.875. Sabemos que si no hay problemas, la "producción normal" ha de ser igual a la "producción deseada", y por lo tanto el cociente valdrá igual a 1. Y queremos que cuando no haya problemas como en esta situación, la "tensión" también sea igual a 1 para que no afecte a la "producción". Para representar esto definimos el punto (1,1).

Como sabemos que van a haber variaciones del cociente, 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 "tensión" vamos a tener cuando el cociente sea 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 un cociente igual a 1.2 ¿que valor asignamos como 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.

4.10. EMISIONES DE CO2

Nos piden que hagamos un sencillo modelo de las emisiones de CO2 a la atmósfera, que sea genérico y adaptable posteriormente a un período y entorno geográfico determinado. Nos piden que nos basemos en la "Identidad de Kaya".

La "Identidad de Kaya" dice que las emisiones de CO2 son igual al Producto Interior Bruto o PIB (€) por la Intensidad de Energía (Kw/€) y por el Vector Producción de Energía (CO2/Kw).

$$CO2 (tm) = PIB (€) \times Intensidad de Energía (Kw/€) \times Vector Producción (CO2/Kw)$$

La Intensidad de Energía es la cantidad de energía demandada por cada unidad de PIB anual. Podemos pues calcular la energía total demandada en base al PIB.

El Vector Producción de Energía incluye las emisiones de CO2 por cada Kw de energía producido, y la distribución porcentual de las diferentes fuentes de energía: carbón, fuel, gas, nuclear y renovables (hidroeléctrica, eólica y otras). Así pues podemos calcular las emisiones de CO2 en base a la energía demandada y al Vector de Producción.

Al objeto de fijar algunos parámetros iniciales se nos indica que la emisión de CO2 por Kw producido es alta con el carbón, media con el fuel, baja con el gas, y no existen emisiones significativas con el resto de fuentes. Por otra parte el Vector de Producción de Energía está formado en un 50% por fuel, 30% por nuclear, 10% por gas y el resto a partes iguales entre carbón y renovables.

Se nos pide que el modelo permita, además de introducir diferentes escenarios del PIB, la posibilidad de introducir posibles mejoras tanto en la eficiencia de la Intensidad Energética como en las emisiones de CO2 por unidad de Kw producido de las diferentes fuentes de energía.

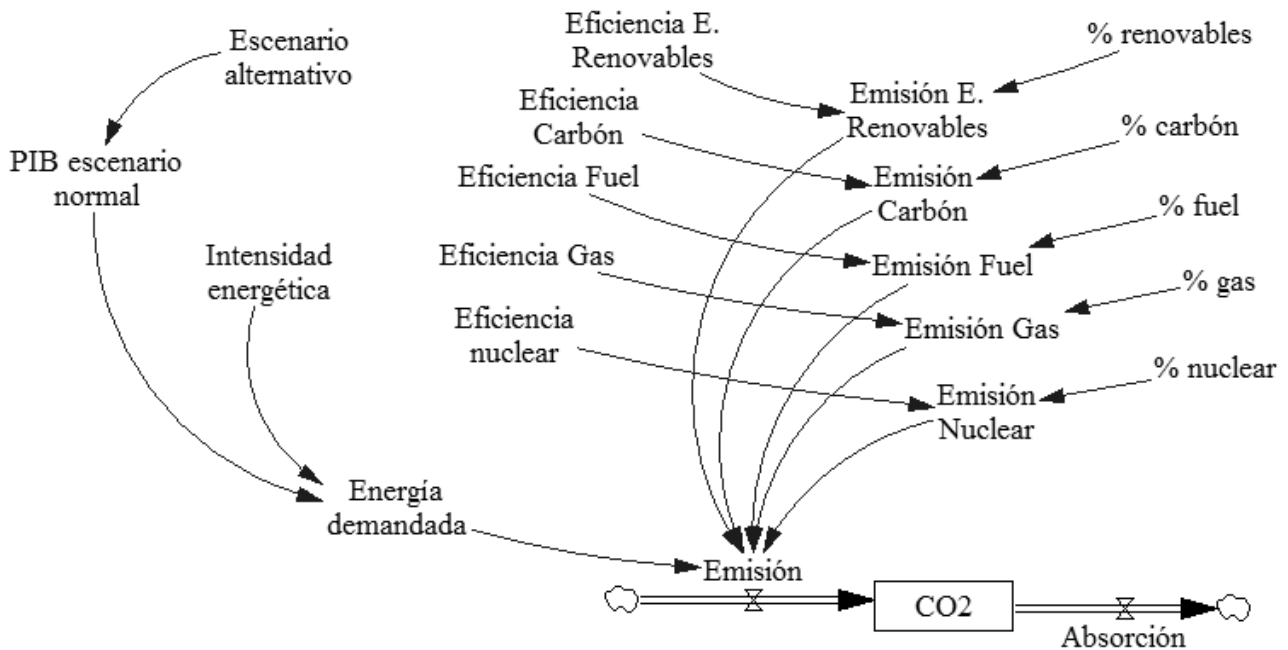
Deseamos crear pues un modelo que recoja todos estos aspectos, y en el que el nivel de CO2 en la atmósfera sea constante. Se propone el siguiente esquema:

$$Emisión = PIB \times Intensidad de Energía \times Vector Energético$$

Siendo las unidades de medida respectivas:

$$CO2 = € \times Kw/€ \times CO2/Kw$$

El modelo permite recoger la Identidad de Kaya, para calcular las emisiones de CO2 en base a la Energía demandada y al Vector Energético, y también introducir los parámetros genéricos que nos indican.



Se trata de un modelo sobre emisiones, que es un Flujo. Se ha añadido un Nivel, correspondiente a la cantidad total de CO2 en la atmósfera, aunque en sentido estricto no es necesario. Podemos observar como con los parámetros que nos indican la cantidad de emisiones se mantiene constante, igual que lo son los parámetros utilizados.

Definimos en Model -Settings: INITIAL TIME = 1900 y FINAL TIME = 2100

- (01) % carbón= 0.05
Units: Dmnl (dimensionless = sin dimensiones)
- (02) % fuel= 0.5
Units: Dmnl
- (03) % gas= 0.1
Units: Dmnl
- (04) % nuclear= 0.3
Units: Dmnl
- (05) % renovables= 0.05
Units: Dmnl
- (06) Absorción = 12500
Units: CO2/Año
- (07) CO2= +Emisión-Absorcion,
Inicial value: 10000000
Units: CO2
Toneladas de CO2 en la atmósfera
- (08) Eficiencia Carbon = 3
Units: CO2/Kw

- (09) Eficiencia E. Renovables= 0
Units: CO2/Kw
- (10) Eficiencia Fuel = 2
Units: CO2/Kw
- (11) Eficiencia Gas = 1
Units: CO2/Kw
- (12) Eficiencia Nuclear = 0
Units: CO2/Kw
- (13) Emisión=Energía demandada*(Emisión Carbón+Emisión E. Renovables+Emisión Fuel+Emisión Gas+Emisión Nuclear)
Units: CO2/Año
- (14) Emisión Carbón=% carbón*Eficiencia Carbon
Units: CO2/Kw
- (15) Emisión E. Renovables=% renovables*Eficiencia E. Renovables
Units: CO2/Kw
- (16) Emisión Fuel=% fuel*Eficiencia Fuel
Units: CO2/Kw
- (17) Emisión Gas=% gas*Eficiencia Gas
Units: CO2/Kw
- (18) Emisión Nuclear=% nuclear*Eficiencia Nuclear
Units: CO2/Kw
- (19) Energía demandada=PIB con escenario normal*Intensidad Energetica
Units: Kw/año
- (20) Escenario alternativo= 1
Multiplicador del PIB. Si su valor es 1 el escenario es el constante. Esta variable se usa para simular el impacto de diferentes escenarios con ayuda de funciones Step.
Units: € /año
- (21) Intensidad Energetica=10
Units: Kw/€
Podemos simular el impacto de nuevas tecnologías de ahorro de consumo.
- (22) PIB con escenario normal=1000*Escenario alternativo
Units: €/año
Escenario con crecimiento del PIB = 0 o también definido como Business as Usual.
Un valor de 1.000 miles de millones de euros representa a un país como España.

4.11. COMO PRODUCIR MAS Y MEJOR

El conflicto que existe entre las soluciones a corto y a largo plazo es un conocido patrón de comportamiento en muchos sistemas, de forma que aquellas soluciones que son efectivas a corto plazo no lo son en el medio plazo y a la inversa. Así en el mundo de la empresa son conocidas las limitaciones que tiene una política de mantenimiento preventivo, que si bien es vital en un horizonte a medio plazo, ocasionan paradas en la producción a corto plazo que nadie quiere asumir.

De igual forma en el ámbito de la calidad el respeto a unas estrictas normas de calidad en la empresa son la base para lograr un merecido prestigio entre sus clientes, que se traduzca a medio plazo en la fidelidad de los clientes y un mayor margen comercial. No obstante, una política estricta en normas de calidad provoca a corto plazo mayores costes al desechar lotes de producción que no cumplen las normas.

En el ámbito de la formación de personal un incremento de las horas destinadas a esta actividad incrementa la productividad, la calidad y los resultados de la empresa a medio plazo, pero a corto plazo implican unos costes y una menor disponibilidad del personal para producción.

Dentro de la empresa podemos también observar esta situación en la necesidad de potenciar la mejora de los procesos productivos, y con ello aumentar la productividad futura a medio plazo, o bien dedicar todos los esfuerzos disponibles a atender las necesidades inmediatas de producción. Podemos ver una excelente aproximación a este tema en el trabajo “Nobody Ever Gets Credit for Fixing Problems that Never Happened” de Nelson P. Repenning and John D. Sterman (2001).

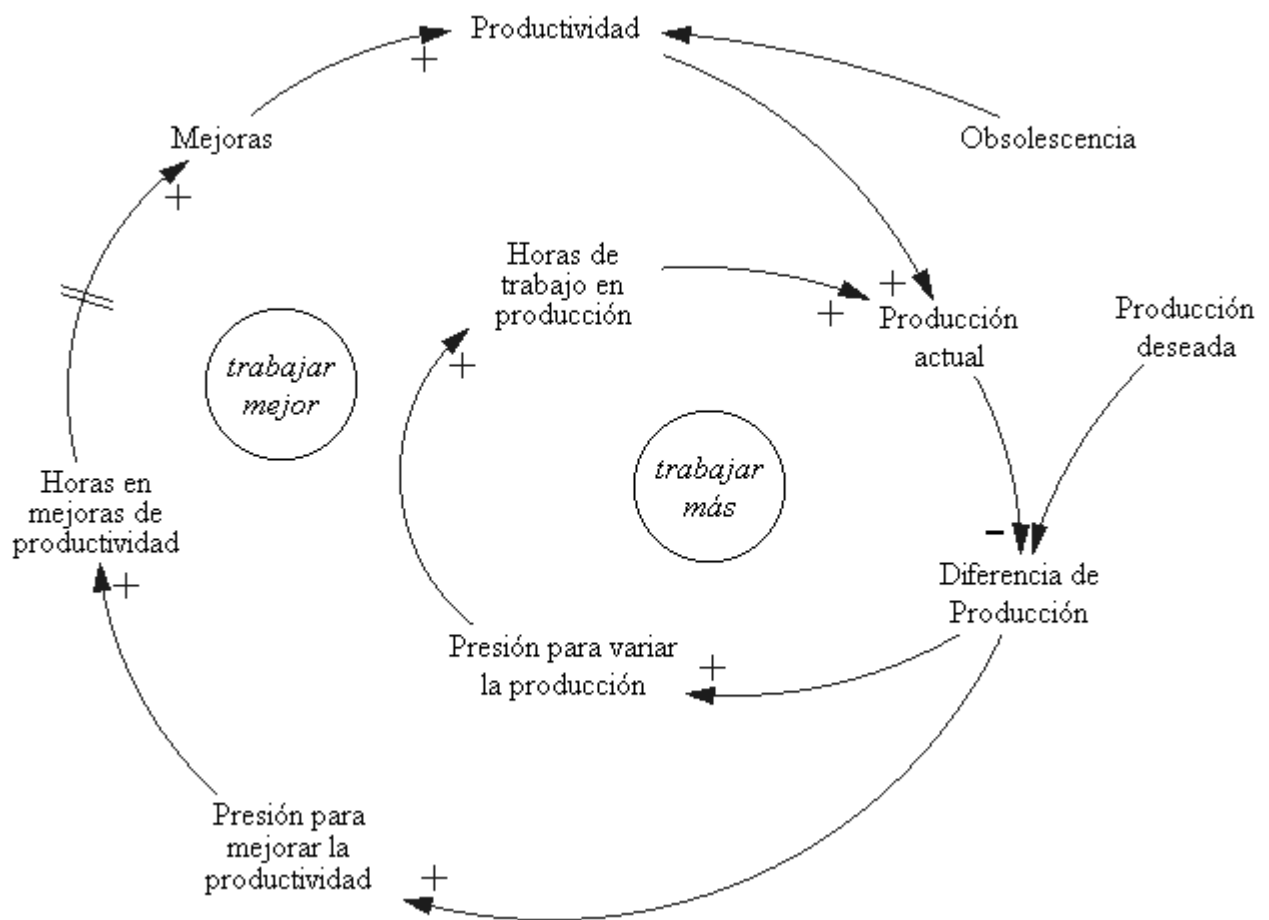
La causa básica de este conflicto entre el corto y el medio plazo se encuentra en el hecho de que determinadas acciones proporcionan resultados inmediatos mientras que en otras acciones existe un apreciable retraso desde que se ejecutan hasta que se observan los resultados de la misma.

Este ejercicio práctico pretende ilustrar esta realidad. También pretende mostrar la utilidad del diagrama causal como instrumento para analizar una situación caracterizada por la existencia de bucles de realimentación y retrasos.

El grupo de trabajo Columbus 07 pertenece a una empresa dedicada al desarrollo de software aerospacial y está formado por informáticos. Cada empleado dispone de gran autonomía en relación a la cantidad de horas de trabajo semanales. También dispone de gran libertad para distribuir estas horas entre dos tareas básicas: por una parte la producción de programas informáticos para atender los proyectos en curso, y por otra parte el análisis de los instrumentos informáticos –formación- para mejorar su **productividad**. Por tratarse de un sector de actividad muy dinámico es importante dedicar muchas horas a las **mejoras** de productividad porque existe una rápida **obsolescencia**.

Semanalmente el empleado recibe información comparativa entre la **producción real** y la **producción deseada** que desarrolla. En base a la **diferencia de producción** que se percibe se le hace **presión para variar la producción**. Esta presión se traduce en un ajuste inmediato de las **horas de trabajo en producción**. También se hace **presión para mejorar la productividad** por ser un aspecto clave, y se pretende lograr así dedique más horas a la mejoras de productividad.

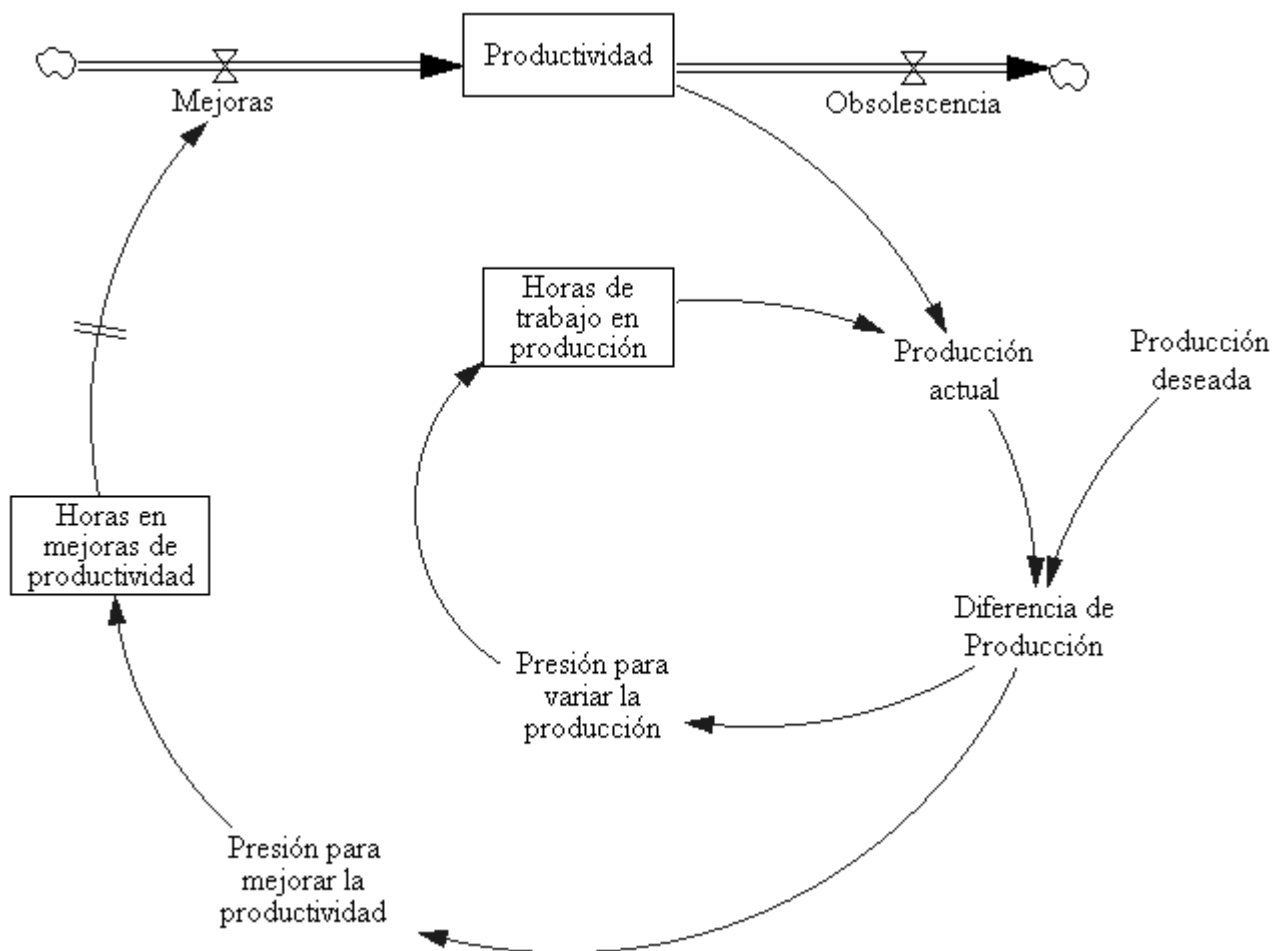
El diagrama causal formado con los elementos señalados en negrita anteriormente nos permite ilustrar esta situación. Podemos identificar dos bucles de realimentación con los nombres de “trabajar más” y “trabajar mejor”.



Podemos observar que son dos bucles negativos, ya que sólo tienen una relación negativa, y en definitiva comparan el estado real de producción con el estado deseado y ajustan el estado real mediante dos procesos diferentes: la variación de las horas de trabajo – que permite incrementos de producción inmediatos- y la mejora en productividad – que requiere algo más de tiempo para mostrar sus efectos-.

La existencia de un retraso en el bucle “trabajar mejor” va a provocar que el bucle de “trabajar más” sea el más activo y el que ofrezca resultados con más rapidez. Esta es la causa de que en las empresas ante una necesidad de mayor producción se presione más en aumentar las horas de trabajo que en aumentar la productividad.

Vamos a transformar el diagrama causal en un diagrama de flujos para poder así trabajar con un modelo en el ordenador. Las transformaciones necesarias serán mínimas. Unicamente vamos a definir como niveles la Productividad y las Horas de trabajo, sean en producción o sean en mejoras de productividad. Consideraremos que éstas últimas varían semanalmente según la presión que en cada ámbito se recibe.



Necesitamos ahora disponer de alguna información adicional para crear las ecuaciones del modelo. Consideraremos que el empleado dedica usualmente 35 horas semanales a tareas de producción y 5 horas a tareas de mejoras de la productividad. La producción deseada es de 3.500 unidades. La productividad por hora de trabajo es de 100 unidades/semana. Se estima en 20 semanas el retraso que existe entre las horas dedicadas a mejorar la productividad y el momento en el que éstas se manifiestan.

Con la distribución de horas de trabajo anterior se observa que la productividad se halla estable, con pérdidas por obsolescencia y mejoras equilibradas en el equivalente a 5 líneas/semana. Con estas indicaciones podemos formular las ecuaciones del modelo. Tomaremos un horizonte temporal de 100 semanas:

Producción deseada = 3500

Producción actual = Productividad * Horas de trabajo en producción

Productividad = +Mejoras - Obsolescencia

Initial value: 100

Diferencia de Producción = Producción deseada - Producción actual

Horas de trabajo en producción = Presión para variar la producción

Initial value: 35

Horas en mejoras de productividad = Presión para mejorar la productividad

Initial value: 5

Presión para mejorar la productividad = Diferencia de Producción / 500

Presión para variar la producción = Diferencia de Producción / 100

Mejoras = DELAY3I(Horas en mejoras de productividad, 20, 5)

Obsolescencia = 5

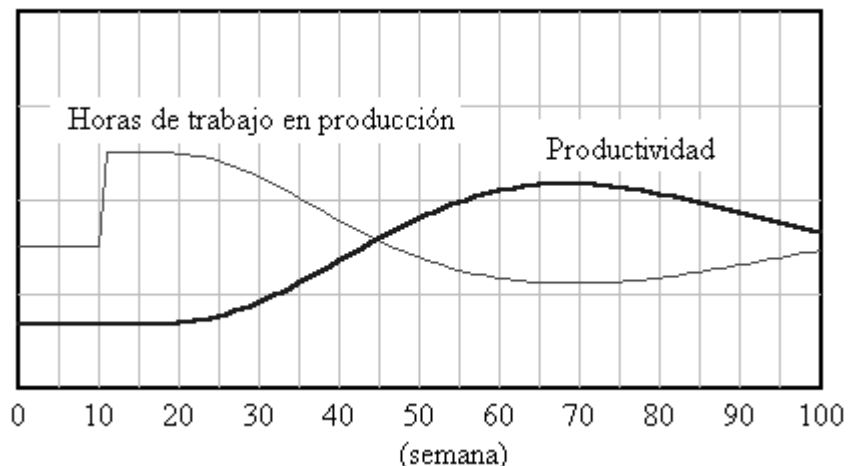
Tomamos como Presión para mejorar la producción las unidades que existen como Diferencia dividido por la Productividad inicial, que son 100. La presión para mejorar la productividad ha de ser mucho menor, ya que no se esperan resultados inmediatos, y por ello tomamos un factor de 5 veces el valor de la productividad.

Con estos parámetros observamos que todos los elementos del sistema y en especial la Productividad se mantienen constantes. Es importante disponer de un modelo que represente al sistema en equilibrio para así poder apreciar mejor el efecto de cambios en su estructura o en las condiciones del mismo.

Para observar mejor la dinámica del sistema vamos a ver el efecto de un incremento de 1000 unidades de la producción deseada en la semana 10. Modificaremos la ecuación de la forma siguiente:

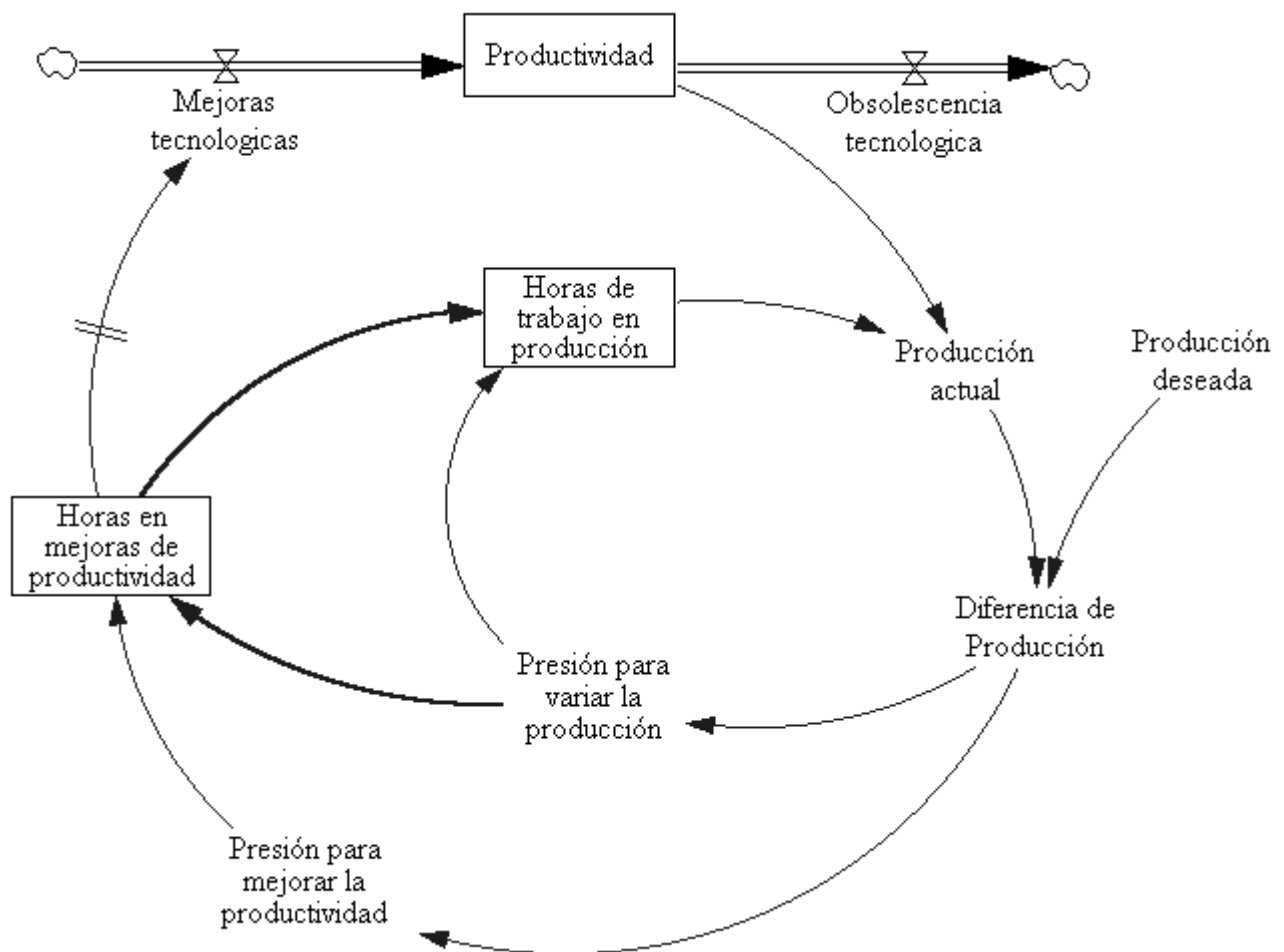
Producción deseada = 3500 + step(1000, 10)

Podemos observar el siguiente comportamiento, y en resumen, un incremento en la producción deseada se traduce en primer lugar en un aumento de las horas de trabajo en producción. También se produce una presión para aumentar la productividad, la cual a medida que va mejorando permite reducir el número de horas de trabajo en producción.



Este modelo permite explicar la realidad de muchas empresas, donde si bien son necesarios esfuerzos de producción ocasionales, las progresivas mejoras de productividad permiten retornar a la situación inicial tras un cierto tiempo. Por el contrario en otras ocasiones nos encontramos con que **la presión para aumentar la producción influye en las horas dedicadas a la mejora de la productividad**. Esto provoca una progresiva disminución del nivel de productividad, lo que es causa de que aún sean necesarias más horas de trabajo para cumplir con la producción deseada. Y aparece un bucle perverso donde cada vez los empleados se ven obligados a trabajar más mientras que la productividad no deja de descender.

Además el empleado observa que si dedica menos **horas a mejoras de productividad** dispone de **más horas para trabajo en producción**, con lo que al disminuir rápidamente la diferencia entre la producción real y la deseada recibe menos presiones de todo tipo. Podemos ver representado en el diagrama estos dos comportamientos en las flechas más oscuras.



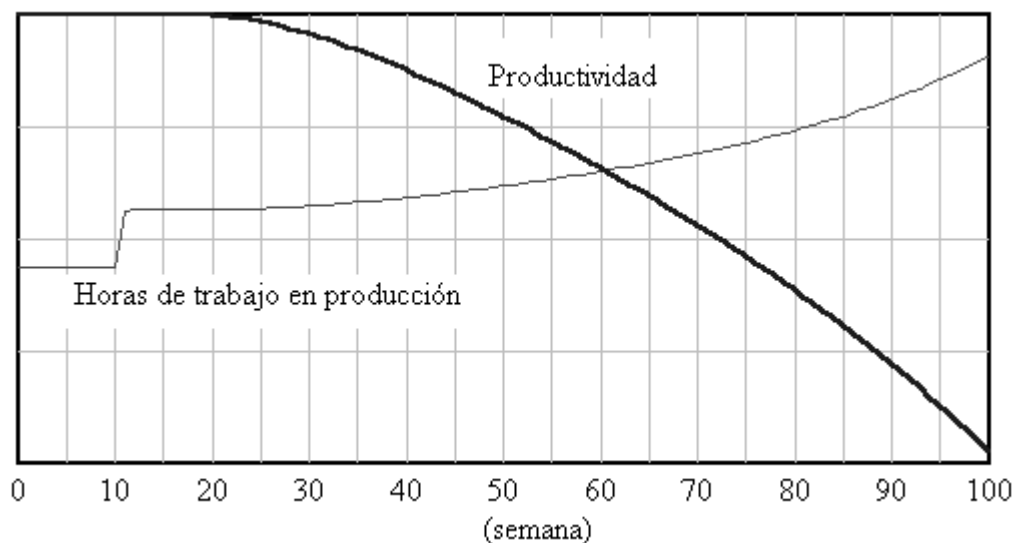
Para representar esta nueva situación hemos de modificar en el modelo anterior dos ecuaciones:

Horas en mejoras de productividad= Presión para mejorar la productividad-Presión para variar la producción/4

Horas de trabajo en producción= Presión para variar la producción-(Horas en mejoras de productividad-5)/5

En la primera de las ecuaciones tomamos en consideración la Presión para variar la producción, reduciendo su proporción en relación con la Presión para mejorar la productividad, de forma que aunque actúe no llegue a anularla. En la segunda de las ecuaciones incluimos el efecto de las Horas en mejorar la productividad, que inicialmente eran 5.

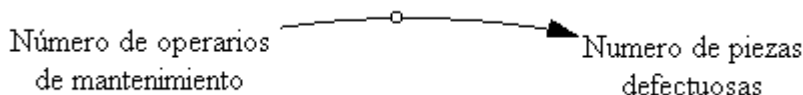
La dinámica que estas nuevas relaciones generan es especialmente atractiva a corto plazo ya que la producción real se ajusta con mucha rapidez a la producción deseada, pero fatal a medio plazo porque la obsolescencia de la productividad no es compensada con nuevas mejoras. Así podemos observar como la productividad muestra una progresiva disminución mientras que en paralelo se produce un incremento de las horas de trabajo dedicadas a producción.



En conclusión podemos observar cómo la tendencia natural del sistema puede ser corregir la diferencias entre la producción deseada y la real en base a sucesivos recursos a “trabajar más”. Esta situación es lógica ya que se consigue el propósito deseado con gran rapidez. No obstante si el recurso a “trabajar más” impide el necesario proceso de “trabajar mejor” es inevitable una dinámica en la que cada vez son necesarias más horas de trabajo debidas a una pérdida de la productividad.

4.12. AVERIAS

Deseamos simular los efectos que provocará una disminución número de operarios de mantenimiento en el número de piezas defectuosas. Tenemos pues un sistema con dos elementos: numero de operarios de mantenimiento y número de piezas defectuosas. Creamos un nuevo modelo File – New Model con periodo inicial = 0 y periodo final = 24 meses.



Supondremos que el número de operarios pasa de 10 a 5 en el mes 6, para hacerlo usaremos la funcion Step:

Numero de operarios de mantenimiento=10-step(5,6)

Editing equation for - Número de operarios de mantenimiento

Número de operarios de mantenimiento

= 10-step(5,6)

Definiremos que el Numero de piezas defectuosas depende del numero de operarios, de forma que cuando hay 10 operarios las piezas defectuosas al mes son 0, si hay 8 operarios tendremos 100 piezas, si hay 6 tendremos 200 piezas, si hay 4 tendremos 400, si hay 2 tendremos 600 y si hay 0 tendremos 800 piezas.

Editing equation for - Numero de piezas defectuosas

Numero de piezas defectuosas

= WIT Número de operarios de mantenimiento

H LOOKUP

UP (

Look up

Type

Auxiliary

with Lookup

Supplementary

As Graph

Help

Variables

Functions

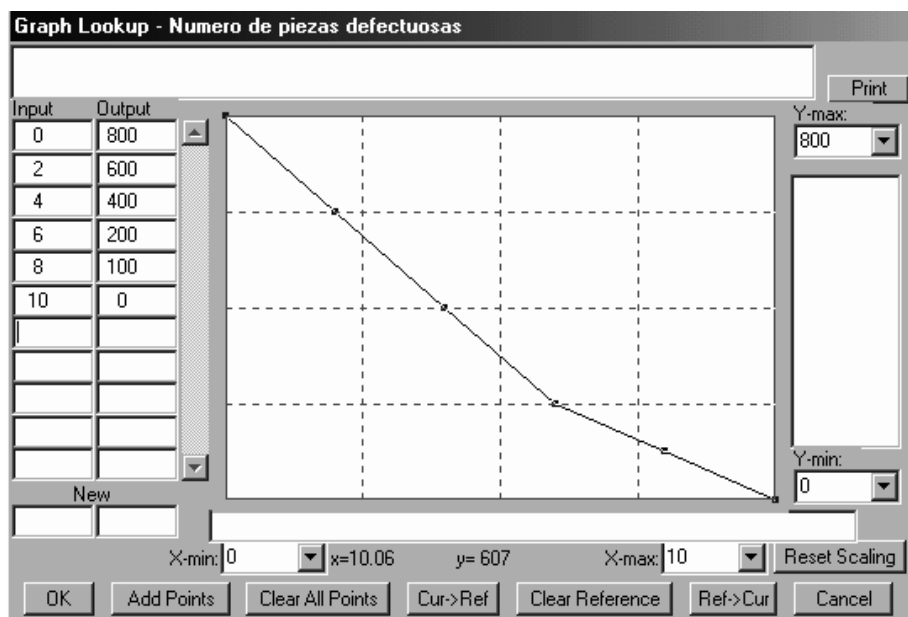
More


Choose Initial Variable

Número de operarios de mantenimiento

Utilizaremos para esto una Tabla interna. Para ello seleccionaremos como Type de la variable Numero de piezas defectuosas: Auxiliary with Lookup.

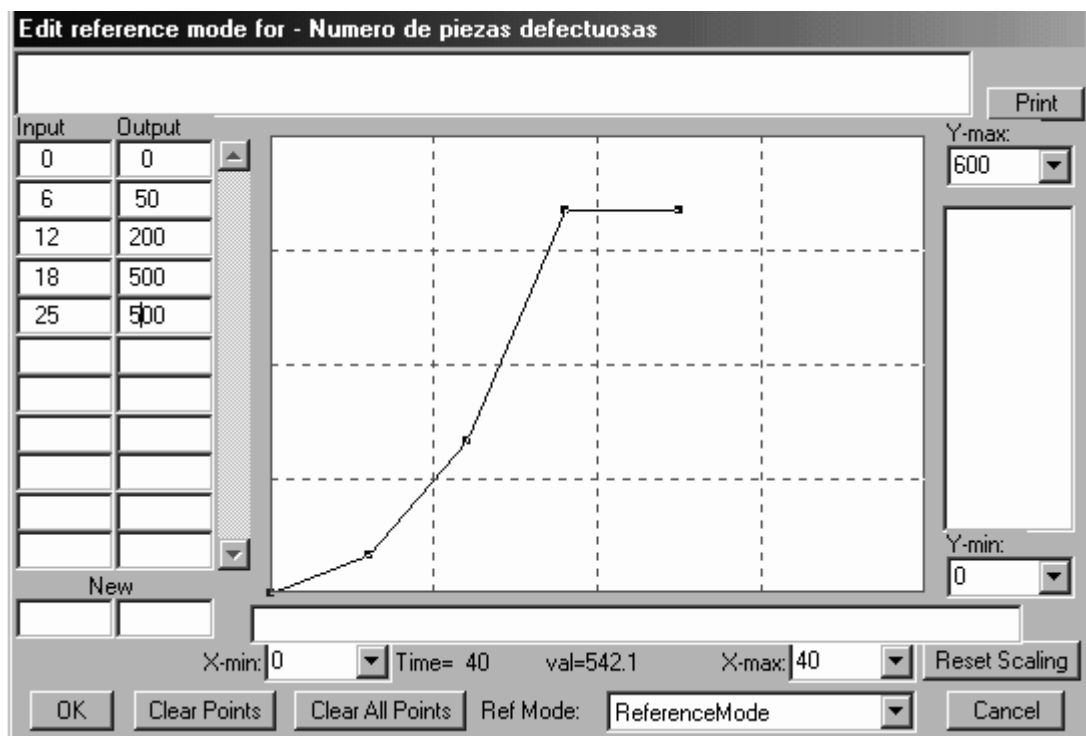
Pulsaremos el botón de AsGraph e introduciremos los puntos definidos como pares de valores de la variable independiente (Input) y la dependiente (Output). Una vez entrados los datos pulsamos OK.



Antes de ejecutar el modelo, hacemos una previsión de lo que va a suceder y queremos comparar nuestra previsión con el resultado del modelo. Nuestra previsión se introduce en el modelo utilizando el icono de Reference Mode (o Comportamiento de Referencia). Podemos entrar más de una previsión  asignando diferentes nombres a cada una.

Pulsamos en el icono Reference Mode y después sobre la variable Numero de Piezas defectuosas. Cuando a continuación nos pregunta si deseamos asignar algún nombre diferente pulsamos Abrir.

A continuación aparece un menú similar al de la Tabla, pero como Input vamos a entrar meses, y como Output el Número de Piezas defectuosas que nosotros esperamos observar. Es decir vamos a dibujar la gráfica que esperamos obtener. En este caso esperamos obtener 50 piezas defectuosas en el mes 6, 200 en el 12, 500 en el 18 y también 500 piezas en el 25.



Pulsamos OK y ejecutamos el modelo y podemos observar gráficamente la evolución prevista (en rojo) junto con los resultados del modelo (en azul).



Siempre es muy conveniente dibujar el comportamiento que esperamos observar en las variables del modelo ya que el resultado del modelo ha de servirnos para validar nuestra percepción inicial o bien ha de permitirnos entender en que aspectos nuestra percepción no era correcta.

4.13. 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.

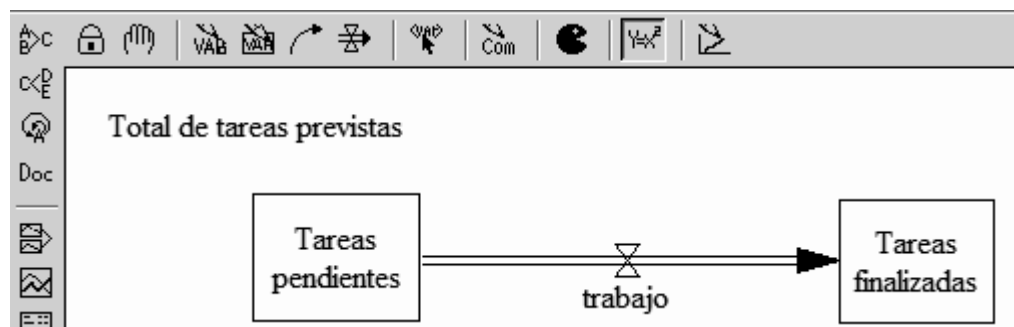


Pulsamos **File – New Model** y señalamos INITIAL TIME = 0, FINAL TIME =24, y Time units= mes

En este modelo ponemos TIME STEP = 0.0625 porque si TIME STEP=1 haríamos 24 pasos en la simulación (Final Time – Initial Time), pero en este caso queremos que se haga el cálculo cada 2 días. Ponemos 2 días expresados en meses = 2 días x (12 meses / 365 días) = 0.065 y escogemos la opción predeterminada más próxima, que es 0.0625.

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.



Tareas finalizadas = trabajo

Initial value: 0

Units: tareas

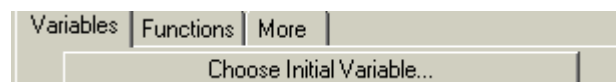
[Ver nota 1 a pie de página .](#)

Tareas pendientes = -trabajo

Initial Value: Total de tareas previstas

Units: tareas

[Ver nota 2 a pie de página .](#)



Total de tareas previstas = 1000

Units: tareas

trabajo = 100

Units: tareas/mes

Nota:

(1) 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.

(2) Usaremos la tecla de Choose Initial Variable para seleccionar “Total de tareas previstas”

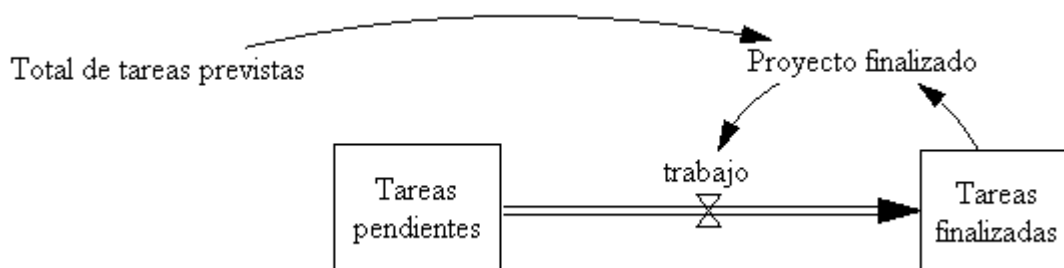
(3) No hacer Units Check hasta la versión 5 del modelo.

Simulamos y obtenemos la siguiente evolución de las Tareas finalizadas. No es un comportamiento correcto porque únicamente hemos de realizar 1000 tareas. Ver nota explicativa de los valores de Tareas pendientes al final de este capítulo.



Modelo 2. Parar al acabar las tareas.

Es necesario introducir en el modelo un mecanismo que nos detenga el proceso cuando el proyecto se acabe.



Proyecto finalizado = IF THEN ELSE(Tareas finalizadas >= Total de tareas previstas, 1, 0)

Tareas finalizadas = trabajo
 Initial value: 0
 Units: tareas

Tareas pendientes = -trabajo,
 Initial value: Total de tareas previstas
 Units: tareas

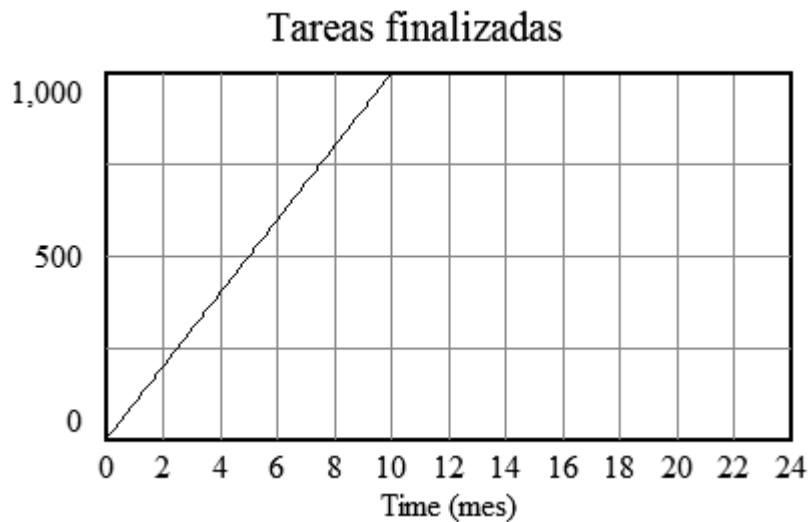
Total de tareas previstas = 1000
 Units: tareas

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.

trabajo =IF THEN ELSE(Proyecto finalizado=1,0,100)

Units: tareas/mes

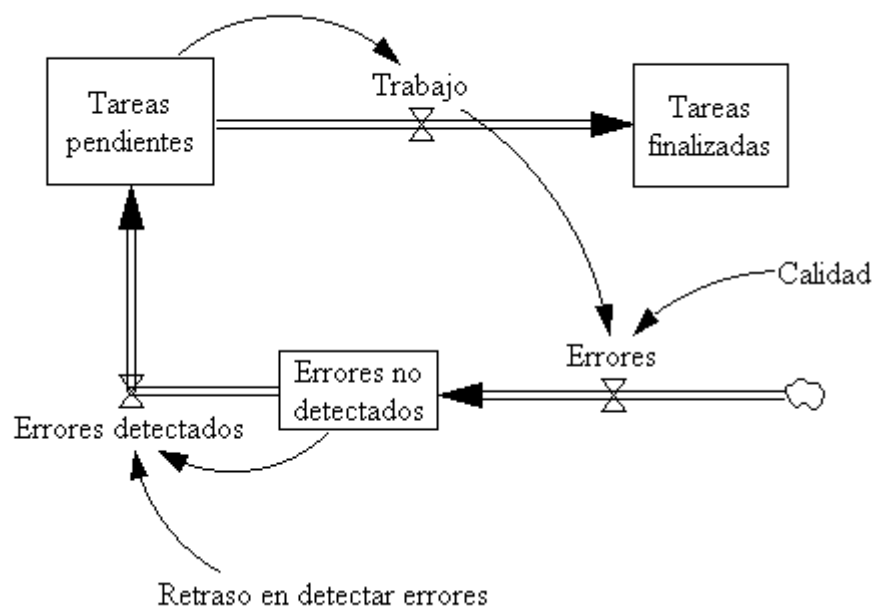
Cuando el valor de Proyecto finalizado sea 1 (está acabado) se harán 0 tareas.



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. También vamos a modificar la ecuación del Trabajo.

Total de tareas previstas



Calidad = 0.9

Units: Dmnl

Calidad de los trabajos dados como finalizados. Calidad no tiene dimensión.

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.

Errores detectados = Errores no detectados/Retraso en detectar errores

Units: tareas/mes

Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.

Errores no detectados = Errores-Errores detectados

Initial value: 0

Units: tareas

Retraso en detectar errores = 3

Units: mes

Tareas finalizadas = Trabajo

Initial value: 0

Units: tareas

Tareas pendientes= -Trabajo+Errores detectados

Initial value: Total de tareas previstas

Units: tareas

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.

Trabajo = MIN(100,Tareas pendientes)

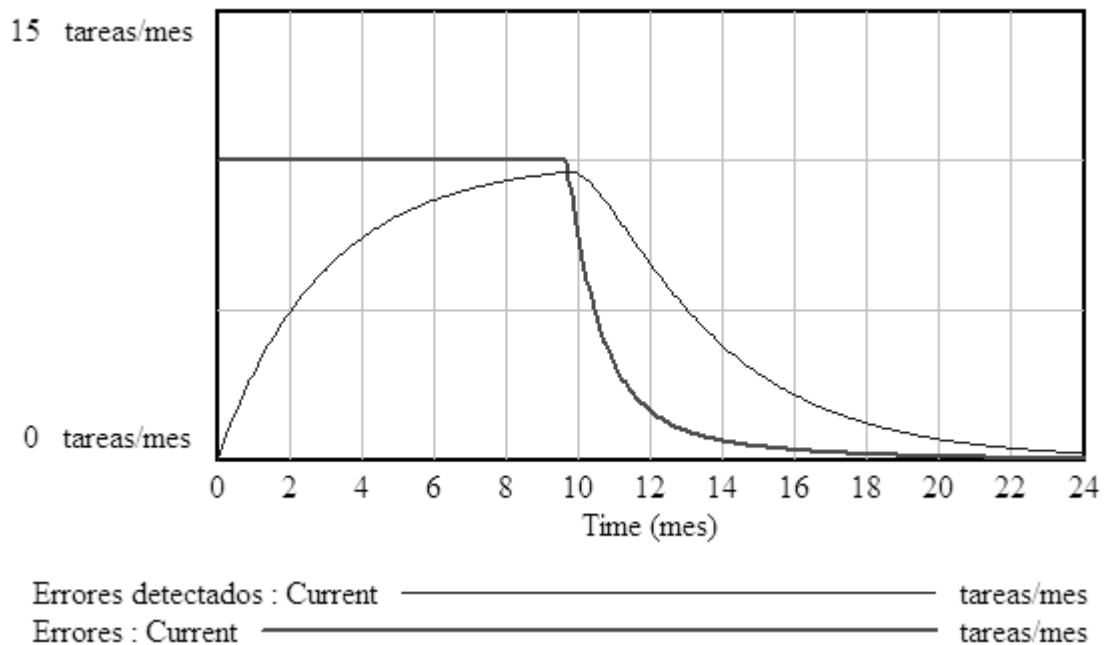
Units: tareas/mes

Como máximo se hacen 100 tareas al mes. Usamos la función MIN para que cuando en un período queden menos de 100 tareas pendientes, se hagan todas las tareas que queden pendientes.

Si hacemos Model – Units Check en esta versión del modelo y la siguiente nos dice que hay un error, lo dejamos así por simplicidad. En la última versión del modelo se soluciona.

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.

Para ver la evolución de dos variables en la misma pantalla ir a la barra superior y seguir por Windows – Control Panel – Graph – New y seleccionar las variables que se desee. Colocar una señal a la izquierda para verlas en la misma escala, y después dar Ok y Display.



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.

Calidad = 0.9

Units = Dmnl

Calidad de los trabajos dados como finalizados. Calidad no tiene dimensión (Dmnl)

$\text{Errores} = \text{Trabajo} \cdot (1 - \text{Calidad})$

Units: tareas/mes

Los errores serán función de la cantidad de trabajo hecho por el porcentaje de trabajo que no cumple las Normas.

$\text{Errores detectados} = \text{Errores no detectados} / \text{Retraso en detectar errores}$

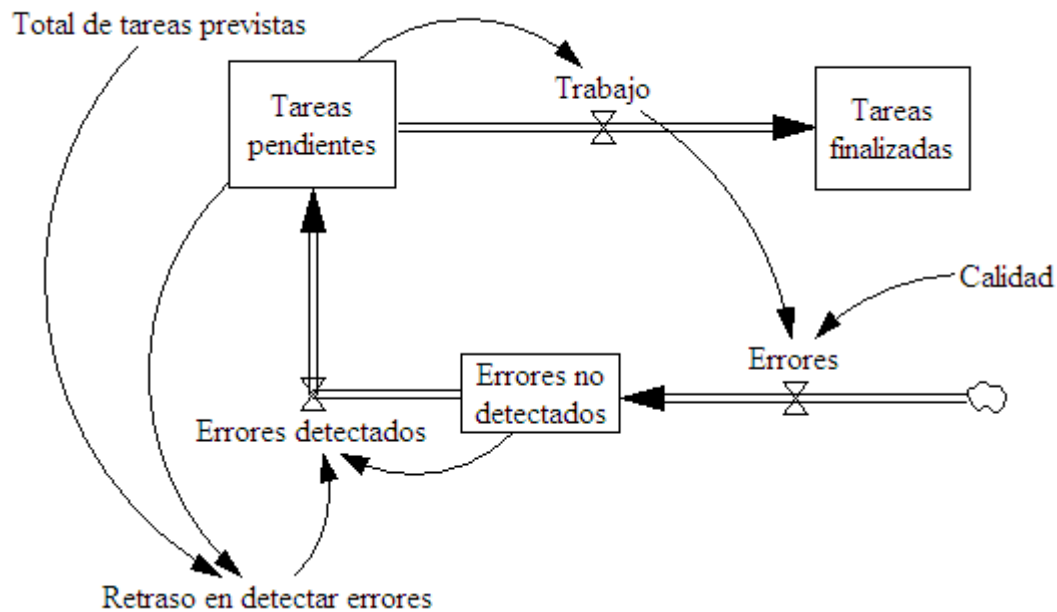
Units: tareas/mes

Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.

$\text{Errores no detectados} = \text{Errores} - \text{Errores detectados}$

Initial value: 0

Units: tareas

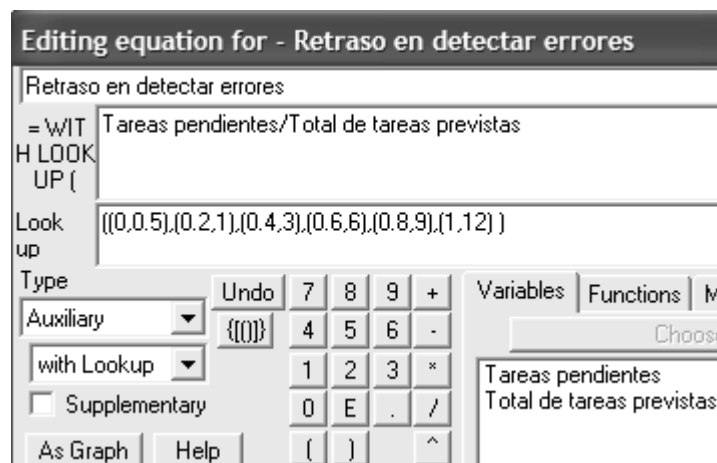


Retraso en detectar errores = WITH LOOKUP (Tareas pendientes/Total de tareas previstas)
 (0,0.5),(0.2,1),(0.4,3),(0.6,6),(0.8,9),(1,12)

Units: mes

Se reconsidera la constante de Retraso en detectar errores que habíamos puesto en el modelo 3, y se hace que sea función de la cantidad de tareas pendientes que hay y de las previstas.

En esta tabla recogemos la idea lógica 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, donde cualquier error es detectado con más rapidez. El punto (0,0.5) indica que cuando las tareas pendientes son 0 los errores se detectan en 0.5 meses. El punto (1,12) indica que cuando las tareas pendientes = tareas previstas se tarda 12 meses.



Tareas finalizadas = Trabajo

Initial Value: 0

Units: tareas

Tareas pendientes = -Trabajo+Errores detectados

Initial value: Total de tareas previstas

Units: tareas

Total de tareas previstas = 1000

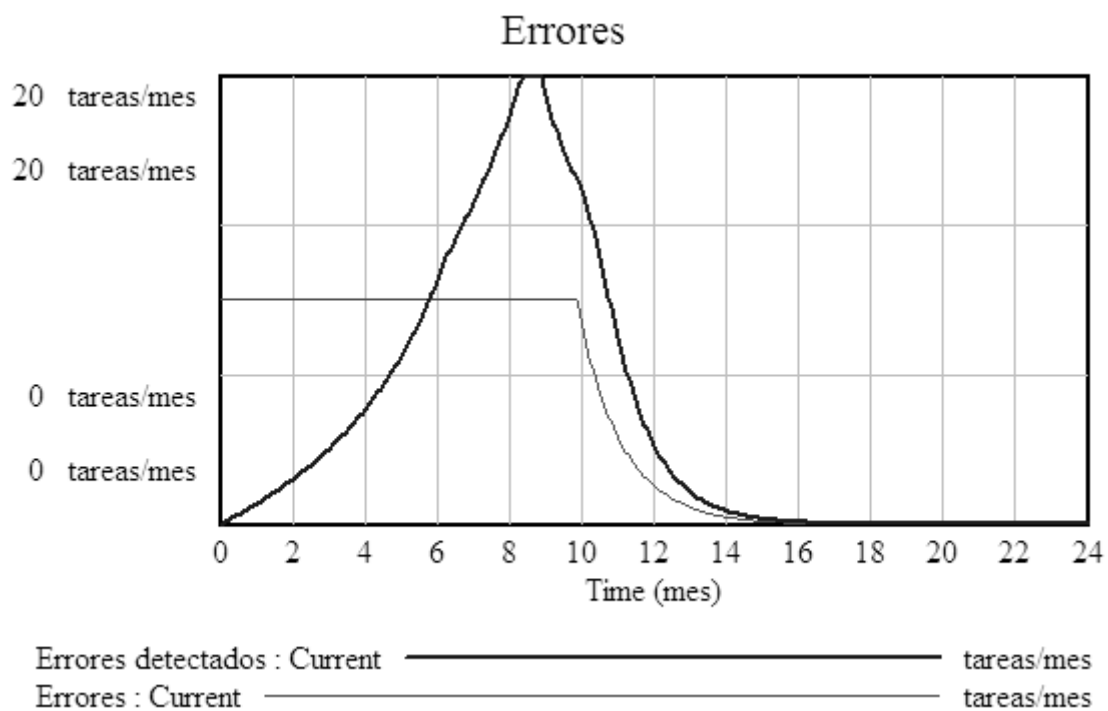
Units: tareas

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.

Trabajo = MIN(100,Tareas pendientes)

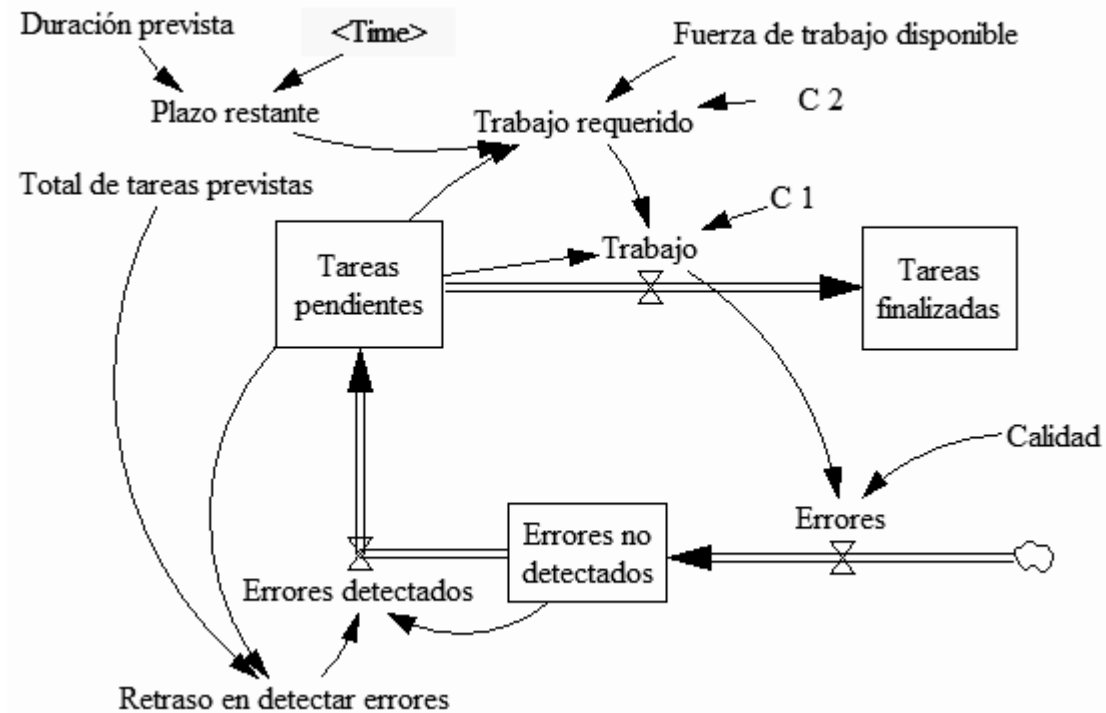
Units: tareas/mes

Como máximo se hacen 100 tareas al mes



Modelo 5. La presión de la fecha de entrega.

En todo proyecto existe una fecha de finalización y entrega, que va a modificar el ritmo de trabajo y la cantidad de los recursos empleados.



$$C1 = 1$$

Units: mes

Constante que indica la velocidad de adaptación entre el trabajo requerido y el realmente empleado.

$$C2 = 1$$

Units: mes

Constante que indica la velocidad de adaptación entre la fuerza de trabajo disponible y el trabajo requerido en cada periodo.

$$\text{Calidad} = 0.9$$

Calidad de los trabajos dados como finalizados

$$\text{Duración prevista} = 10$$

Units: mes

Hay 1000 tareas a un ritmo previsto de 100 al mes

$$\text{Errores} = \text{Trabajo} * (1 - \text{Calidad})$$

Units: tareas/mes

Los errores serán función de la cantidad de trabajo hecho por el porcentaje de trabajo que no cumple las Normas.

Errores detectados = Errores no detectados/Retraso en detectar errores

Units: tareas/mes

Tomaremos una fracción constante de los errores pendientes de detectar.

Errores no detectados = Errores-Errores detectados

Inicial value: 0

Units: tareas

Fuerza de trabajo disponible = 250

Units: tareas/mes

Corresponde a la capacidad de producción máxima

Plazo restante = MAX(Duración prevista-Time,0)

Units: mes

Es una forma sencilla de contar el plazo residual en cada momento, empezando por 10 meses hasta llegar a 0. Seleccionar la variable <Time> usando el icono:



Retraso en detectar errores= WITH LOOKUP (Tareas pendientes/Total de tareas previstas)
((0,0.5),(0.2,1),(0.4,3),(0.6,6),(0.8,9),(1,12))

Units: mes

Tareas finalizadas = Trabajo

Inicial value: 0

Units: tareas

Tareas pendientes = -Trabajo+Errores detectados

Inicial value: Total de tareas previstas

Units: tareas

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.

Trabajo = IF THEN ELSE(Tareas pendientes/C 1<1,0,Trabajo requerido)

Units: tareas/mes

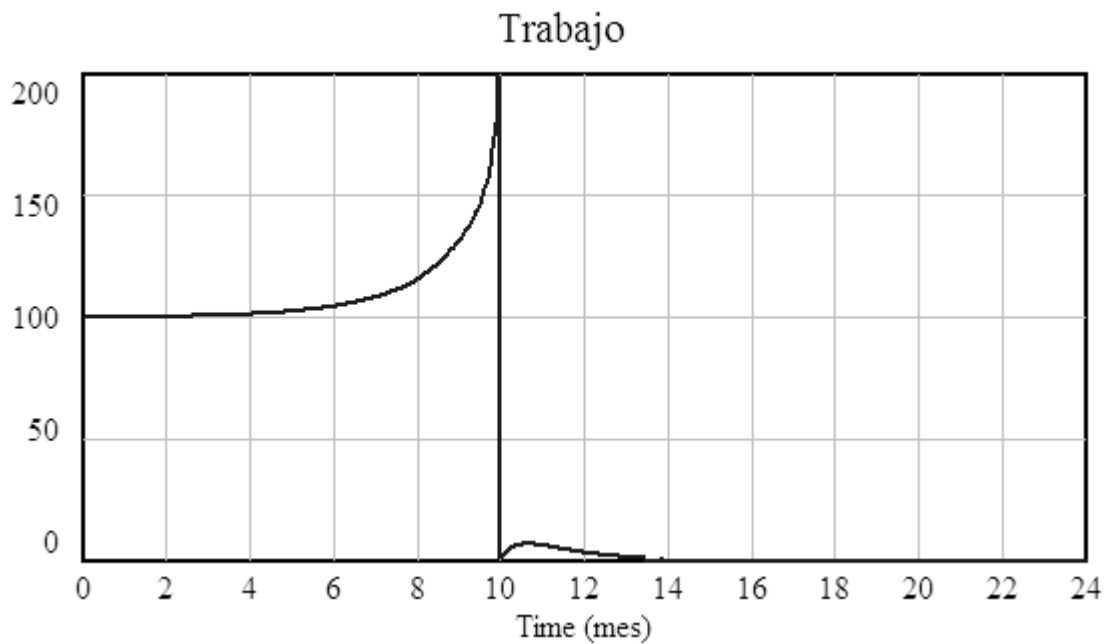
Si las tareas pendientes son menor que 1 (son = 0) no se hace ninguna, en caso contrario se hace el Trabajo requerido.

Trabajo requerido= MIN(Fuerza de trabajo disponible,XIDZ(Tareas pendientes, Plazo restante,Tareas pendientes/C 2))

Units: tareas/mes

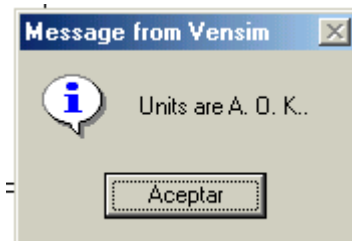
La cantidad de trabajo requerido será como máximo la Fuerza de trabajo disponible. Se calcula como el cociente entre las Tareas pendientes (tareas) y el Plazo restante (meses). La función XIDZ nos ofrece este cociente excepto cuando el Plazo restante es 0, en cuyo supuesto el resultado son las Tareas pendientes/C2.

.



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.

Podemos comprobar que las unidades empleadas en el modelo sean correctas cuando hacemos Model - Units Check.

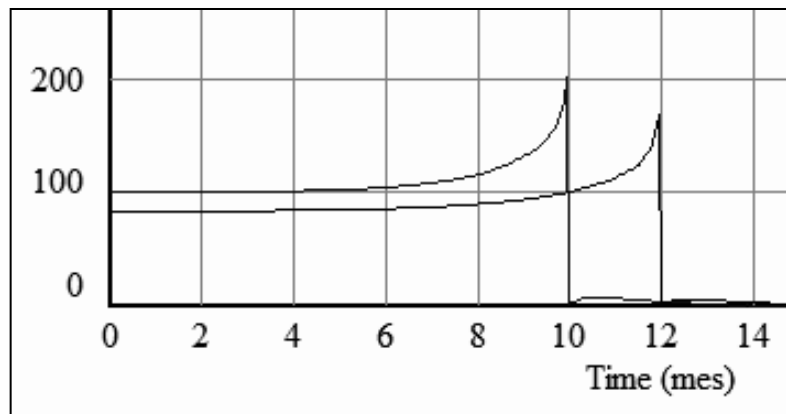


Con frecuencia lograr que el modelo se halle correcto desde el punto de vista de las unidades obliga a añadir un gran número de variables auxiliares, que en general solo añaden una complejidad innecesaria al modelo. La persona que construye el modelo debe de valorar la conveniencia de añadir o no todas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

Una vez que tenemos el modelo correcto podemos emplearlo para realizar diferentes análisis de sensibilidad a variaciones de diferentes parámetros del modelo, como por ejemplo:

- a) Un aumento de la Calidad hasta 0.95
- b) Disponer de una fuerza de trabajo disponible de 100 o de 150 tareas/mes.
- c) Un menor retraso en la detección de los errores, modificando la tabla.
- d) Un cambio en la Duración prevista de 10 a 12 meses.

Así podemos observar como por ejemplo en la simulación d) un cambio en la Duración prevista no modifica el comportamiento observado del Trabajo, únicamente aproxima o aleja el fenómeno de acumulación de tareas.



Nota Modelo 1. Variación de tareas pendientes

Tareas Pendientes disminuye en su valor 6,25 en cada periodo debido a que 1 día expresado en meses sería $1/30 = 0,03333$; 2 días son $1/30 * 2 = 0,06666$; es decir 1 mes está dividido en 14,94 partes (cada 2 días) y como se completan 100 tareas por mes en cada periodo de 2 días se completa 6,69 tareas. Al tomar un Time Step de 0,625, se divide cada mes en 16 partes de tal forma que en cada periodo se completan $100/16 = 6,25$ tareas. Las Tareas pendientes varían en función del -trabajo (-6,25 tareas) y por ese motivo en cada periodo de 2 días disminuyen 6,25.

Table Time Down		
Time (mes)	"Tareas pendientes"	Tareas pendientes
0		1000
0.0625	Runs:	993.75
0.125	Current	987.5
0.1875		981.25
0.25		975
0.3125		968.75
0.375		962.5
0.4375		956.25

4.14. UN MODELO DE EMPRESA INNOVADORA

El gerente de una empresa recién creada, buen amigo nuestro, nos llama para solicitarnos consejo pues acaban de nombrarle para ese importante puesto. Su aspecto no parece precisamente alegre.

Según nos explica se trata de una pequeña empresa que es el cuarto intento de una gran empresa farmacéutica por introducirse en el campo de los productos elaborados con ayuda de la biotecnología. Las anteriores intentos fueron empresas fallidas que siguieron un camino muy similar: después de obtener algunos éxitos científicos que se plasmaron en nuevas líneas de productos, y de conseguir poner en marcha la fabricación de sus productos, la casa matriz las tuvo que cerrar debido a las fuertes pérdidas que periódicamente presentaban. Nuestro amigo no desea que tal cosa vuelva a suceder.

Para su disgusto ya le han asignado a cuatro directores de Área: Investigación, Comercial, Producción y Finanzas, con los que nos pide que nos entrevistemos. Considera que la amplia experiencia de estas personas en las anteriores empresas podrá sernos de utilidad.

Tras las cuatro entrevistas, extensas y sinceras, repasamos las notas, un tanto desordenadas, que hemos podido tomar (*entre paréntesis figura el número de la ecuación del modelo*)

Sr. Director del Área de Investigación

- * La empresa actúa en un entono muy dinámico, con un nivel científico que aproximadamente se duplica cada cinco años. (01)
- * Dispone de un equipo científico reducido pero que considera buen conocedor de los campos de investigación que tiene en expectativa. Considera posible avanzar científicamente un 25% más rápido de como lo hace su entorno. (17)
- * El nivel científico de la propia empresa en su primer campo de investigación previsto supera en un 20% al nivel científico del entorno, y este margen científico se irá ampliando cuando ponga a trabajar el equipo de investigación. (13)(21)
- * Tiene previsto obtener una nueva línea de productos cada 24 meses, para ello escogerá campos de dificultad científica acorde con los recursos de investigación disponibles. Su previsión es obtener la primera línea en 12 meses. (14)(18)(24)
- * La empresa lanza nuevos productos cuando finaliza la investigación de una línea de productos. Se suelen lanzar unos 10 productos por cada línea de productos. Las características de estos productos permanecen constantes hasta la aparición de una nueva

línea de productos, hecho que se aprovecha para actualizar tecnológicamente todos los productos anteriores. (26)(27)

* Si pudiésemos medir la calidad de los productos, esta sería igual al valor del nivel científico propio de la empresa en el momento de lanzar una nueva línea de productos, permaneciendo constante hasta la aparición de una nueva línea de productos, en cuyo momento se actualiza con el nuevo valor del nivel científico de la empresa. (03)(15)

Sr. Director del Area Comercial

* Los productos de la empresa se dirigen a un mercado profesional y muy competitivo, donde los precios han de reflejar el margen de calidad que el producto posee en cada momento. (25)

* Los productos de la empresa poseen un margen de calidad que es la diferencia entre la calidad de los productos y el nivel científico del entorno. (19)

* Su objetivo es operar un mercado local para poseer alguna ventaja adicional sobre sus competidores. Los clientes se suelen captar con gran rapidez tras la aparición de una nueva línea de productos y su consumo es de 1 producto al mes. (22)(23). Cada nueva línea de productos permite captar 100 nuevos clientes. (06)(07)

Sr. Director del Area de Producción

* El Area de Producción no presenta una problemática compleja. Se produce en función de los pedidos que se reciben si la capacidad de producción instalada lo permite, y rápidamente se entrega, ya que por las características de los productos los pedidos no servidos inmediatamente son cancelados. (11)

* La capacidad de producción es de 100 unidades de producto al mes, y se decide en función del número de productos que la empresa desea producir ya que las especiales características de los productos requieren maquinaria específica para cada uno. (04) (05)

Sr. Director del Area Financiera

* Ingresos: La empresa factura y cobra prácticamente al contado, que es la práctica usual en el sector. La facturación es el resultado de las entregas realizadas, que es igual a los pedidos recibidos, y el precio vigente. (16)

* Costes: La empresa tiene unos costes prácticamente fijos procedentes de su estructura administrativa y de investigación, unos 10 millones mensuales, y otros variables, materias primas y personal, que prácticamente son el 50% de la facturación. (08)(09)(10)

* Beneficio: Se asume que la empresa presentará perdidas hasta la obtención de la primera línea de productos, pero la casa matriz desea que a partir de ese momento la empresa sea autosuficiente financieramente. (02)

Al despedirnos del flamante nuevo Gerente acordamos vernos la semana próxima para exponerle las estrategias básicas que consideramos debe seguir en su nueva empresa.

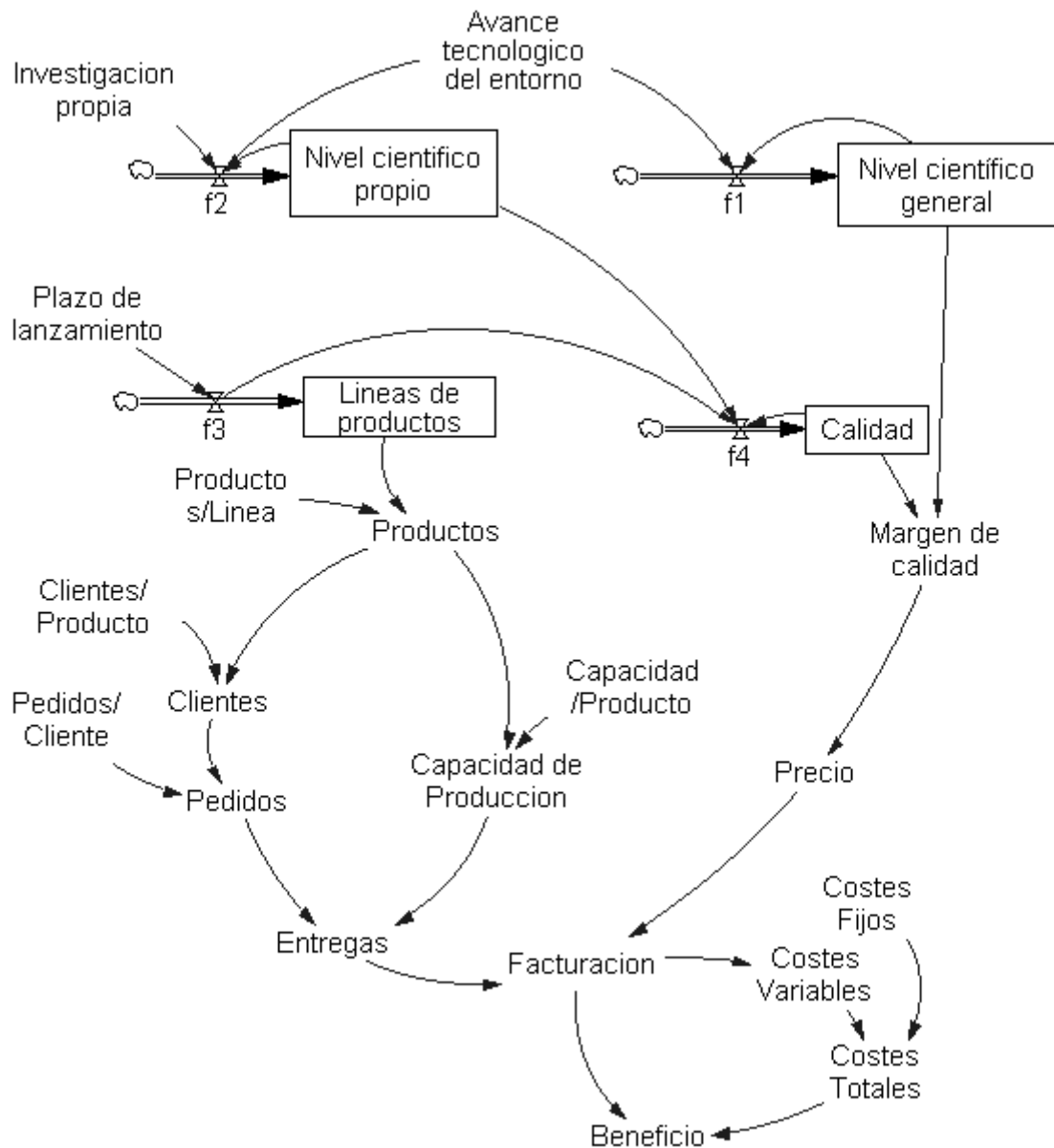
EJERCICIO: ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

Construya un modelo que reproduzca la esencia de las anteriores notas, y cuando estudie su comportamiento preste atención especial a estos aspectos esenciales:

1. La evolución de la facturación, y en consecuencia del beneficio, viene determinada por la evolución del precio de los productos.
2. El precio de los productos es máximo en el lanzamiento de una nueva línea de productos, ya que los productos disponen de una calidad ampliamente superior a lo que la competencia, el entorno, puede ofrecer.
3. Los precios tienen una tendencia a la baja, ya que después de su lanzamiento, van apareciendo productos similares de la competencia que harán que la empresa deba disminuir sus precios si quiere mantener a sus clientes.

Nota: entre paréntesis figura el número de la ecuación del modelo.

Ejemplo basado en la Tesis Doctoral de Juan Martín García (1990). Existe una versión más completa en <http://www.geocities.com/martin3162/musica.htm>



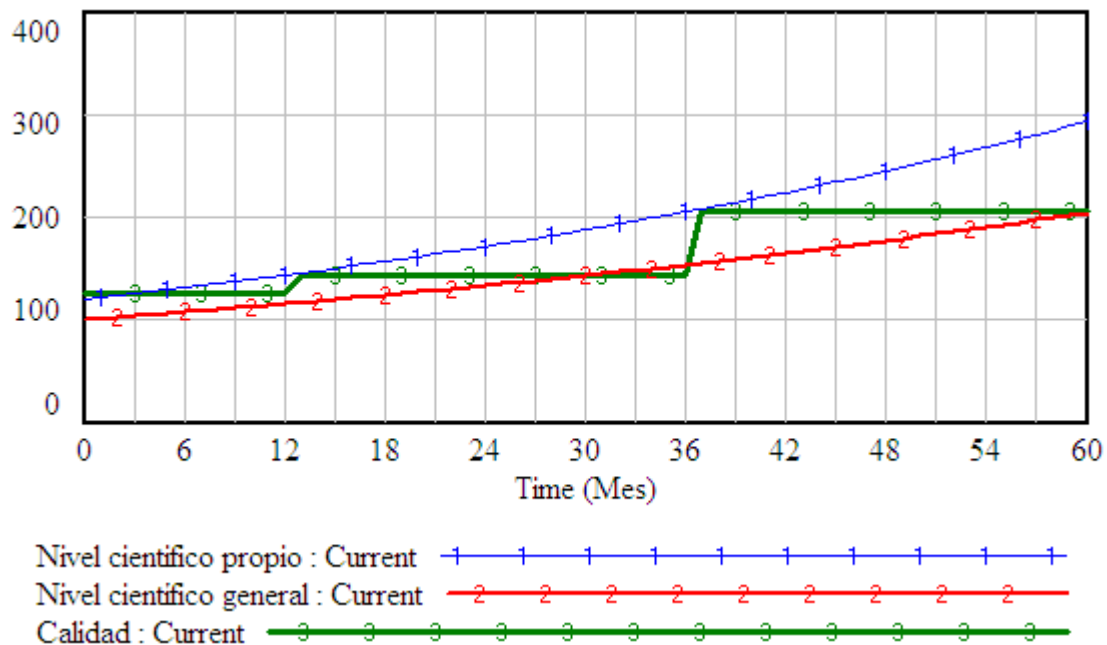
Model – Settings:

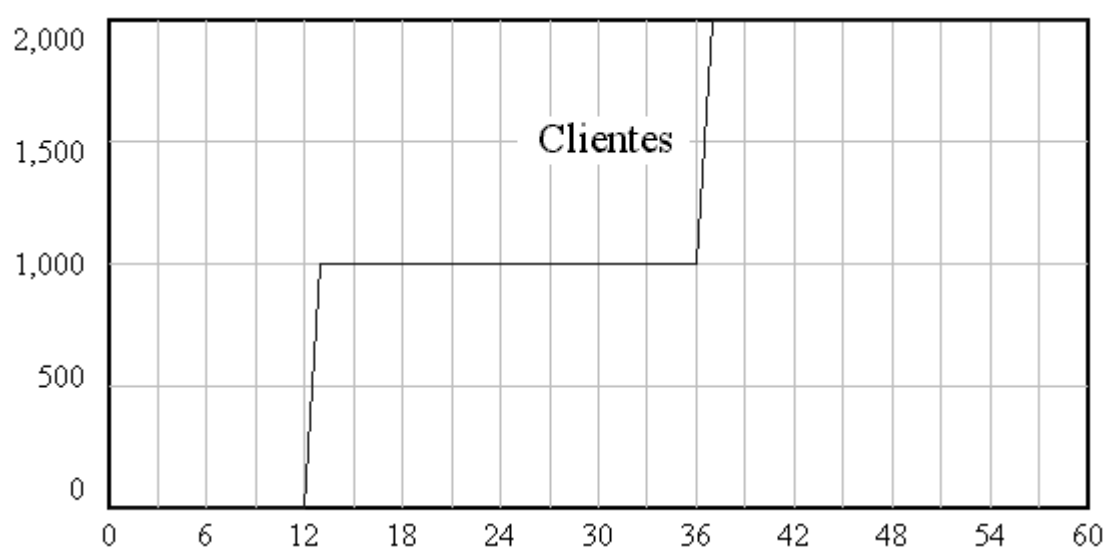
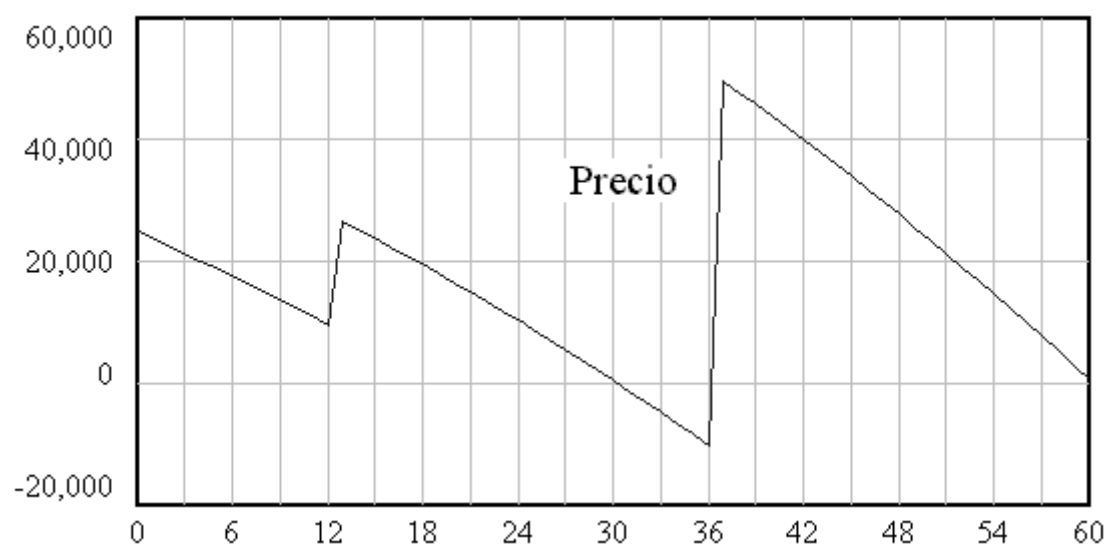
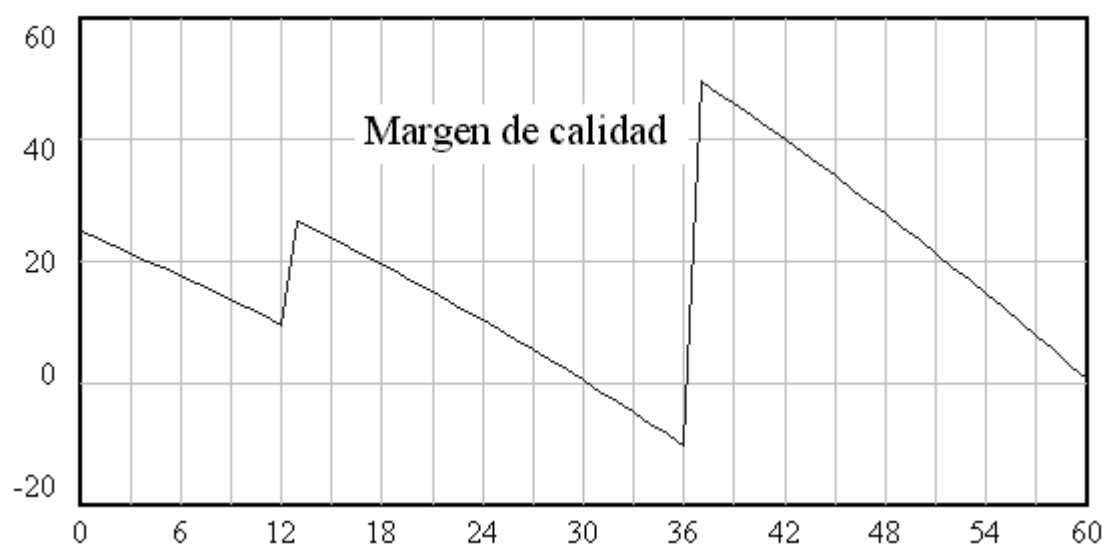
INITIAL TIME= 0 FINAL TIME =60 TIME STEP = 1 Units for time= mes

- (01) Avance tecnologico del entorno = 0.012
Nos dicen que se duplica cada 5 años, o sea 60 meses. Por lo tanto tenemos que $(1+x)^{60}=2$, y despejando la x tenemos que es igual a 1,2 mensual.
- (02) Beneficio = Facturacion-Costes Totales
- (03) Calidad = f4
Valor inicial: 125
Es la calidad de los productos de la empresa. Al crearse la empresa (mes 1) ya tiene acumulados unos conocimientos superiores en un 25% al nivel científico general.

- (04) $\text{Capacidad de Producción} = \text{Productos} * \text{Capacidad} / \text{Producto}$
- (05) $\text{Capacidad} / \text{Producto} = 100$
- (06) $\text{Clientes} = \text{Productos} * \text{Clientes} / \text{Producto}$
- (07) $\text{Clientes} / \text{Producto} = 100$
- (08) $\text{Costes Fijos} = 10$
- (09) $\text{Costes Totales} = \text{Costes Variables} + \text{Costes Fijos}$
- (10) $\text{Costes Variables} = \text{Facturacion} * 0.5$
- (11) $\text{Entregas} = \text{MAX}(\text{Pedidos}, \text{Capacidad de Produccion})$
- (12) $f1 = \text{Avance tecnologico del entorno} * \text{Nivel científico general}$
- (13) $f2 = \text{Avance tecnologico del entorno} * \text{Investigacion propia} * \text{Nivel científico propio}$
- (14) $f3 = \text{PULSE TRAIN}(12, 1, \text{Plazo de lanzamiento}, 60)$
- (15) $f4 = \text{IF THEN ELSE}(f3=1, \text{Nivel científico propio} - \text{Calidad}, 0)$
 Los aumentos de calidad se producen solo cuando se lanza una nueva línea de productos ($f3=1$). Esta línea incorpora en su calidad todo el nivel científico de la empresa aun no presente en la calidad de los productos (Nivel científico propio-Calidad).
- (16) $\text{Facturacion} = \text{Precio} * \text{Entregas}$
- (17) $\text{Investigacion propia} = 1.25$
 Nos indican que el equipo de investigadores de la empresa puede conseguir un 25% más de avance tecnológico en el campo propio de la empresa, sobre los avances tecnológicos del entorno.
- (18) $\text{Lineas de productos} = f3$
 Valor inicial 0
 En la empresa no se lanzan los productos de forma individual sino que forman líneas de productos.
- (19) $\text{Margen de calidad} = \text{Calidad} - \text{Nivel científico general}$
- (20) $\text{Nivel científico propio} = f2$
 Valor inicial 120
 Es el nivel científico de la empresa.

- (21) Nivel científico general = f1
 Valor inicial 100
 Es el nivel científico de los aspectos que son en general públicos del sector de actividad de la empresa.
- (22) Pedidos = Clientes*Pedidos/Cliente
- (23) Pedidos/Cliente = 1
- (24) Plazo de lanzamiento = 24
 Periodo objetivo que la empresa decide que debe de transcurrir entre la aparición de nuevas líneas de productos. En el momento de lanzamiento de una nueva línea de productos éstos incorporan toda la tecnología del nivel científico propio.
- (25) Precio = Margen de calidad*1000
 Al tratarse de un mercado muy competitivo el cliente paga en función del margen de calidad (calidad del producto menos nivel científico general) del producto. Tomamos que cada unidad de ese diferencial se paga a 1000 euros.
- (26) Productos= Lineas de productos*Productos/Linea
 Los productos son adaptaciones de las líneas de productos a diferentes tipos de clientes.
- (27) Productos/Linea = 10





DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA ESTABILIZADORA

Si deseamos obtener una cierta estabilidad en el beneficio de esta empresa, una posible estrategia pasa por bloquear el proceso de disminución de los precios como consecuencia de la presión de los competidores con productos similares. Diseñe una forma de conseguirlo.

Deberá ser el propio Gerente quien en cada caso, en base a las características específicas de los productos y los clientes, diseñe las políticas comerciales que le permitan conseguir mantener los precios. Estas políticas no podrán basarse en las prestaciones tecnológicas de los productos, inalterables hasta la obtención de una nueva línea de productos, sino en las restantes prestaciones no tecnológicas, como presentación, garantías, servicio post-venta, etc.

DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA EXPANSIVA

Como complemento a la anterior estrategia podemos intentar hallar alguna forma de paliar las discontinuidades en la facturación y el beneficio que se producen por la aparición intermitente de nuevas líneas de productos.

Una posible estrategia se basa en salir del mercado local en búsqueda de nuevos clientes de una forma agresiva, al objeto de conseguir una mayor estabilidad en el crecimiento de la facturación. Para ello será necesario abordar progresivamente nuevos mercados tras la obtención de cada nueva línea de productos, al objeto de conseguir también una progresiva captación de nuevos clientes. Diseñe una estrategia para conseguirlo.

4.15. CONTROL DE CALIDAD

La empresa ECOCHIP es una empresa de tamaño mediano dedicada a la fabricación de circuitos integrados. Los circuitos integrados son pequeños componentes electrónicos de materiales semiconductores que tienen las mismas prestaciones que circuitos electrónicos completos (amplificadores, osciladores, etc.). Debido a lo delicado del proceso productivo empleado, únicamente del 30 al 50% de la producción es utilizable. Por ello, todas las unidades producidas deben ser controladas antes de ser vendidas.

Existe preocupación en la empresa por las repercusiones de la calidad de los productos en la imagen de la empresa. ECOCHIP ha observado que en ocasiones sus compradores devuelven muchas unidades defectuosas, mientras que en otras épocas se producen muy pocas devoluciones.

Los gestores de ECOCHIP se hallan muy sensibilizados por esta situación, y cuando perciben un incremento de reclamaciones y devoluciones contratan a más personal para el control final para así aumentar la minuciosidad de este proceso. La cuantía de estas nuevas contrataciones se halla condicionada por el número de controladores existente y la frecuencia de las reclamaciones recibidas (06).

Las grandes dificultades del proceso de control final requiere algunos meses de formación, aunque algunos controladores aprenden con más rapidez que otros. Los controladores en formación no verifican circuitos integrados para la venta, ya que en ECOCHIP no desean correr el riesgo de que controladores inexpertos puedan dejar pasar unidades defectuosas. Los nuevos empleados que reciben formación como controladores son directamente instruidos por controladores expertos. Un controlador experimentado asignado en tareas de formación de un nuevo empleado debe dedicar la mitad de su tiempo a esta tarea (08), y el resto de tiempo realiza los usuales controles de productos acabados.

ECOCHIP no tiene ninguna política específica para reducir el número de controladores, pero deja que la natural dinámica de este personal corrija los excesos que se puedan producir (02).

Actualmente, la fuerte demanda obliga a los controladores a seguir en su trabajo el mismo ritmo de la producción. Por ello, el tiempo dedicado a la comprobación final de un circuito integrado depende del volumen de producción (10).

Los clientes parecen percibir fluctuaciones en la calidad de los productos que la empresa ECOCHIP les suministra. Así, durante algunos períodos los clientes devuelven muchas unidades defectuosas, mientras que en otros períodos se reciben muy pocas devoluciones.

Nota: entre paréntesis figura el número de la ecuación del modelo.

Lo anterior implica que un buen modelo debe mostrar una tendencia hacia la fluctuación en la calidad de los productos de la empresa ECOCHIP. Cuando el número de controles a realizar por empleado aumentan debido al incremento en las ventas, la calidad final disminuye. Transcurrido un tiempo se contrata a nuevos controladores. Este incremento de controladores inicialmente reduce el número de controladores efectivos, hasta que los nuevos controladores están suficientemente capacitados y pueden ayudar en el control. Las nuevas tareas de formación reducen aún más la calidad observada. Sin embargo, cuando el período de formación finaliza, la cantidad de controles a realizar por empleado disminuye y la calidad observada aumenta.

Recogemos la siguiente información cualitativa:

- Actualmente hay 80 controladores más 20 controladores en formación (07) (09)
- Cada controlador permanece de media en la empresa 16 meses (02) (17)
- Son necesarios 4 meses de formación para que un controlador en formación pase a ser controlador (11) (18)
- El valor de calidad aceptable estándar es 1 (03).
- Actualmente se producen 7000 chips al mes, que se corresponden con igual cifra de pedidos.
- Realizaremos un Test simulando que a partir del periodo 10 existe un incremento en los pedidos de 700 chips al mes (19).
- Se considera cada unidad devuelta como una reclamación.
- Las devoluciones se recibe con un retraso de 3 meses (16).
- La calidad observable tiene un retraso de 3 meses sobre el valor de la calidad actual (05).
- La producción se ajusta a la media de los pedidos de los últimos 6 meses (13).
- Los pedidos que se reciben son función de la calidad observable (14).
- Analizaremos un periodo de 60 meses.

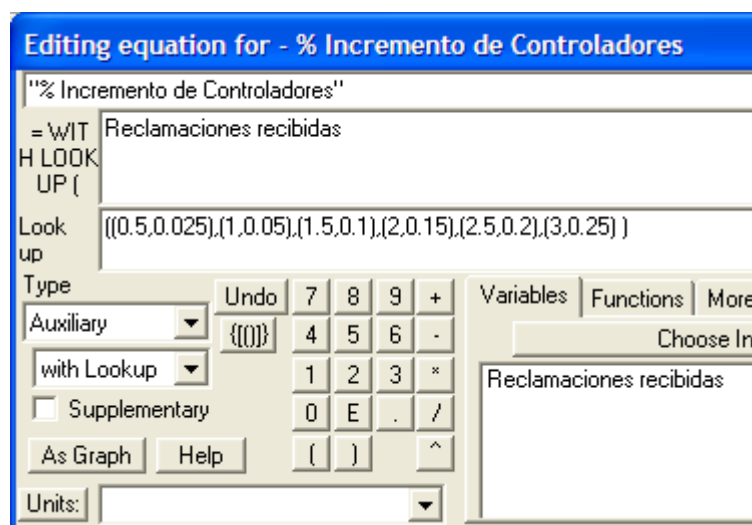
Nota: entre paréntesis figura el número de la ecuación del modelo.

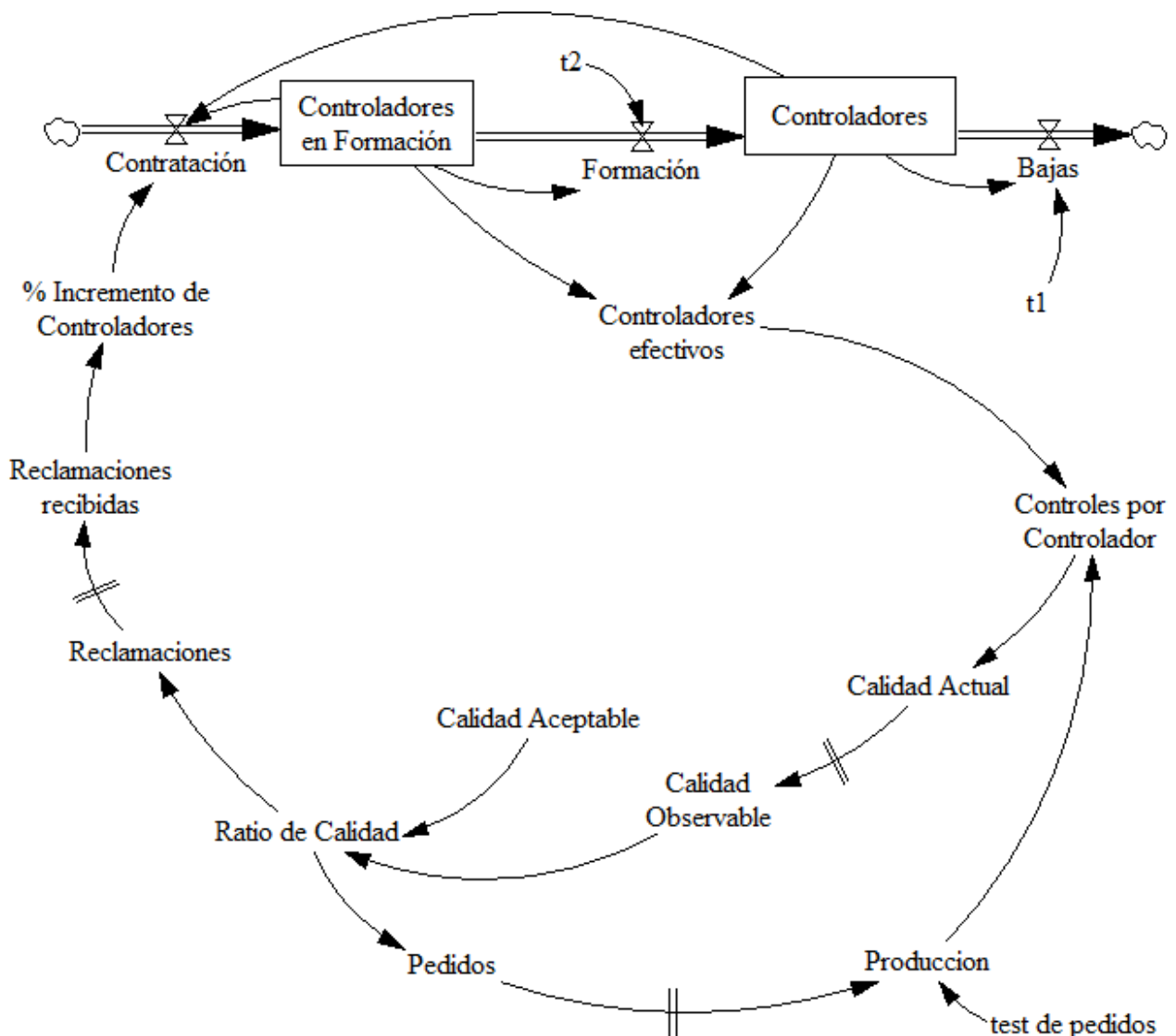
En base a esta información:

1. Estudie la situación descrita y realice un conciso resumen del problema y del comportamiento que el modelo debe explicar. Identifique las políticas de gestión que, en su opinión, pueden causar este comportamiento.
2. Desarrolle un breve diagrama causal basado en su análisis.
3. Construya el correspondiente diagrama de flujos y compárelo con el que encontrará a continuación. En el Diagrama se han dibujado las variables que van a incorporar tablas internas subrayando el nombre de la variable, y se han señalado los retrasos en las flechas.
4. Escriba las ecuaciones según encontrará más adelante. Tome nota en especial en este caso práctico del uso de Tablas Internas, Retrasos, Funciones, y de un elemento de Test para probar diferentes escenarios. El test está activado si el tiempo de la función Step es inferior al horizonte de simulación.
5. Ejecute su modelo en el ordenador. Compare el comportamiento obtenido con el esperado en base a su análisis.
6. Experimente con cambios estructurales o de los parámetros empleados que puedan aliviar el problema. Defina que modificaciones en las políticas de gestión empleadas pueden ofrecer una calidad de los productos más estable. Deseamos minimizar las fluctuaciones de calidad para mantener el volumen de pedidos.

Nota previa:

Para el uso de las Tablas internas, que nos reproducen la relación que existe entre dos variables con la ayuda de una tabla, defina la variable dependiente del tipo “Auxiliary – with Lookup” y entre los valores de los puntos de la tabla utilizando el botón de “As Graph”, y señale la variable independiente (la causa) entre las opciones que aparecen en la pantalla.



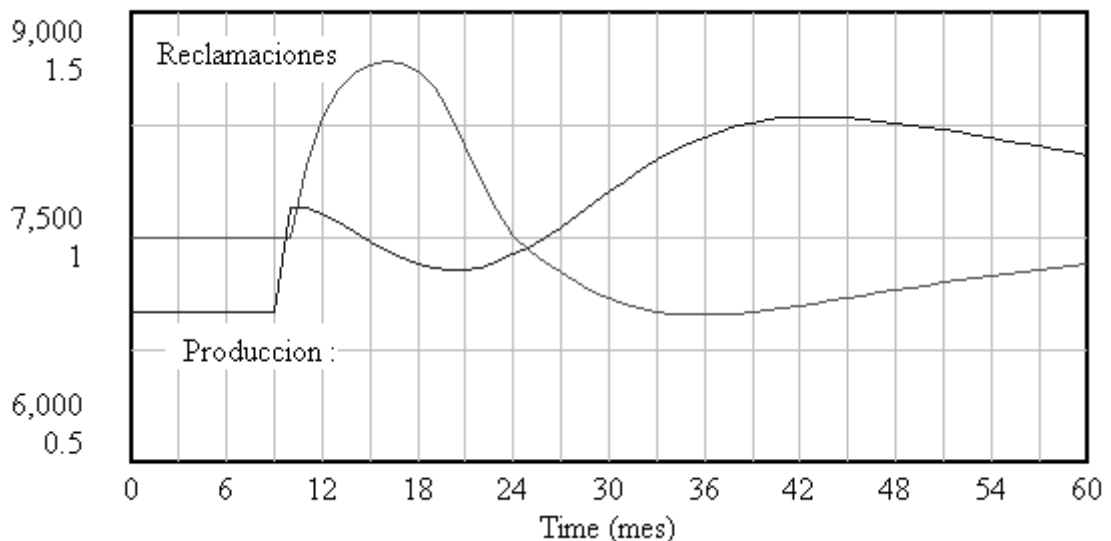
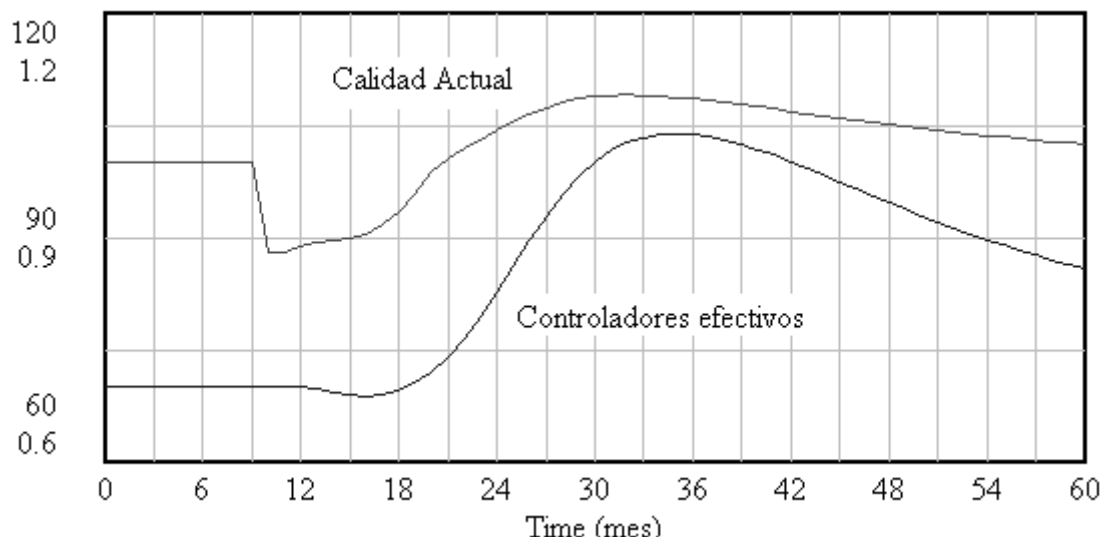


Defina en Model - Settings: INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 60 TIME STEP = 1

Ecuaciones:

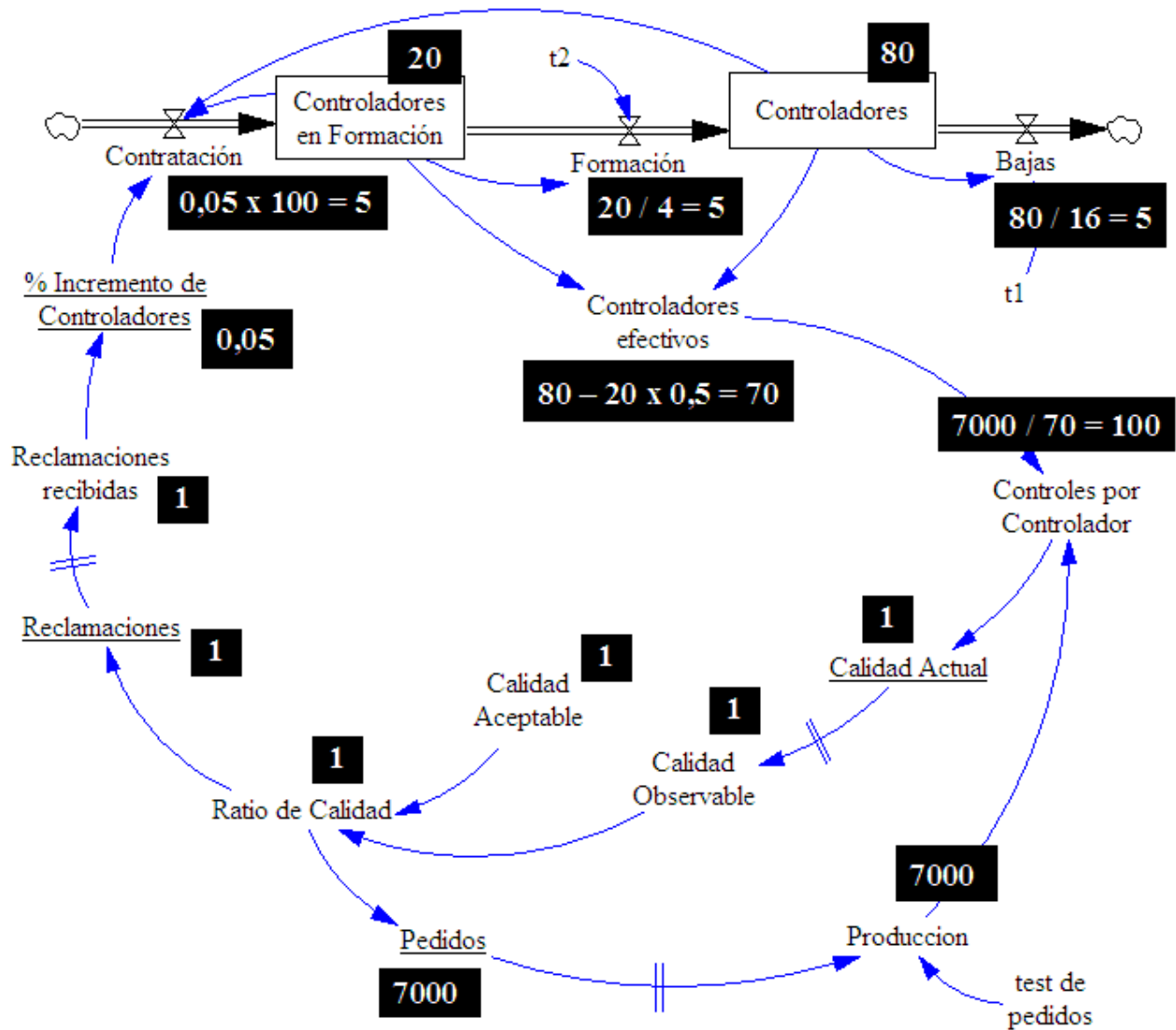
- (01) % Incremento de Controladores = WITH LOOKUP (Reclamaciones recibidas
Lookup: ((0.5,0.025),(1,0.05),(1.5,0.1),(2,0.15),(2.5,0.2),(3,0.25))
- (02) Bajas= Controladores/t1
- (03) Calidad Aceptable=1
- (04) Calidad Actual = WITH LOOKUP (Controles por Controlador
Lookup: ((50,1.25),(75,1.1),(100,1),(125,0.7),(150,0.6),(175,0.5),(200,0.4))
- (05) Calidad Observable= SMOOTHI(Calidad Actual,3 , 1)
- (06) Contratación=
% Incremento de Controladores*(Controladores+Controladores en Formación)

- (07) Controladores = +Formación-Bajas
Initial value: 80
- (08) Controladores efectivos = Controladores-0.5*Controladores en Formación
- (09) Controladores en Formación = Contratación-Formación
Initial value: 20
- (10) Controles por Controlador = Produccion/Controladores efectivos
- (11) Formación = Controladores en Formación/t2
- (12) Pedidos = WITH LOOKUP (Ratio de Calidad
Lookup: (0,0),(0.5,4000),(1,7000),(1.5,11000)
- (13) Produccion = SMOOTH(Pedidos, 6)+test de pedidos
- (14) Ratio de Calidad = Calidad Observable/Calidad Aceptable
- (15) Reclamaciones = WITH LOOKUP (Ratio de Calidad
Lookup: (0.5,4),(0.75,2),(1,1),(1.25,0.5)
- (16) Reclamaciones recibidas = SMOOTHI(Reclamaciones,3,1)
- (17) t1= 16
- (18) t2= 4
- (19) test de pedidos= STEP (700, 10)



DETALLE DE LOS VALORES INICIALES DE LAS VARIABLES

Estos valores nos reproducen una situación inicial de equilibrio en el sistema. Cuando es posible, es importante conseguir un modelo que reproduzca una situación de equilibrio del sistema ya que así podemos analizar mejor la causa de las variaciones y oscilaciones que aparecen en el sistema.



4.16. IMPACTO DE LOS PLANES DE NEGOCIO

Los planes de negocio (Business Plan) tienen como finalidad facilitar el logro de los objetivos y metas más importantes de una empresa, organización o corporación: ello adquiere especial importancia en un mundo turbulento, incierto y competitivo. La utilización de un plan de negocio puede minimizar los riesgos de todos los niveles en la gestión empresarial de las empresas, en especial en las de nueva creación, ya que en estos casos el 90% de ellas no consigue superar los tres años de existencia. Es importante pues conseguir determinar los factores endógenos que pueden afectar el crecimiento de las empresas.

Todo plan de negocios tiene como objetivo la obtención de beneficios tanto sean sociales, ambientales o puramente económicos, y en todos ellos se plantea como mínimo el objetivo de lograr un razonable retorno de la inversión (ROI) ya sea a nivel empresarial o institucional para poder volver a generar recursos de nueva utilización.

En el mundo económico y en especial en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) el detallado cálculo del ROI permite minimizar el riesgo de fracaso, en especial en las de nueva creación, durante los tres primeros años de existencia.

Los planes de negocio son la prospección interactiva que hacemos de los futuros escenarios posibles, externos e internos, para tratar de diseñar por anticipado conjuntos de acciones que posiblemente nos conduzcan a alcanzar los objetivos.

El plan de negocio no convertirá ideas malas en buenos negocios, pero permitirá darse cuenta a tiempo, y evitar contratiempos mayores. Las buenas ideas convertidas en buenos planes de negocios generan mejores negocios, y serán la base para iniciar un replanteamiento estratégico más ambicioso cuando las circunstancias lo requieran.

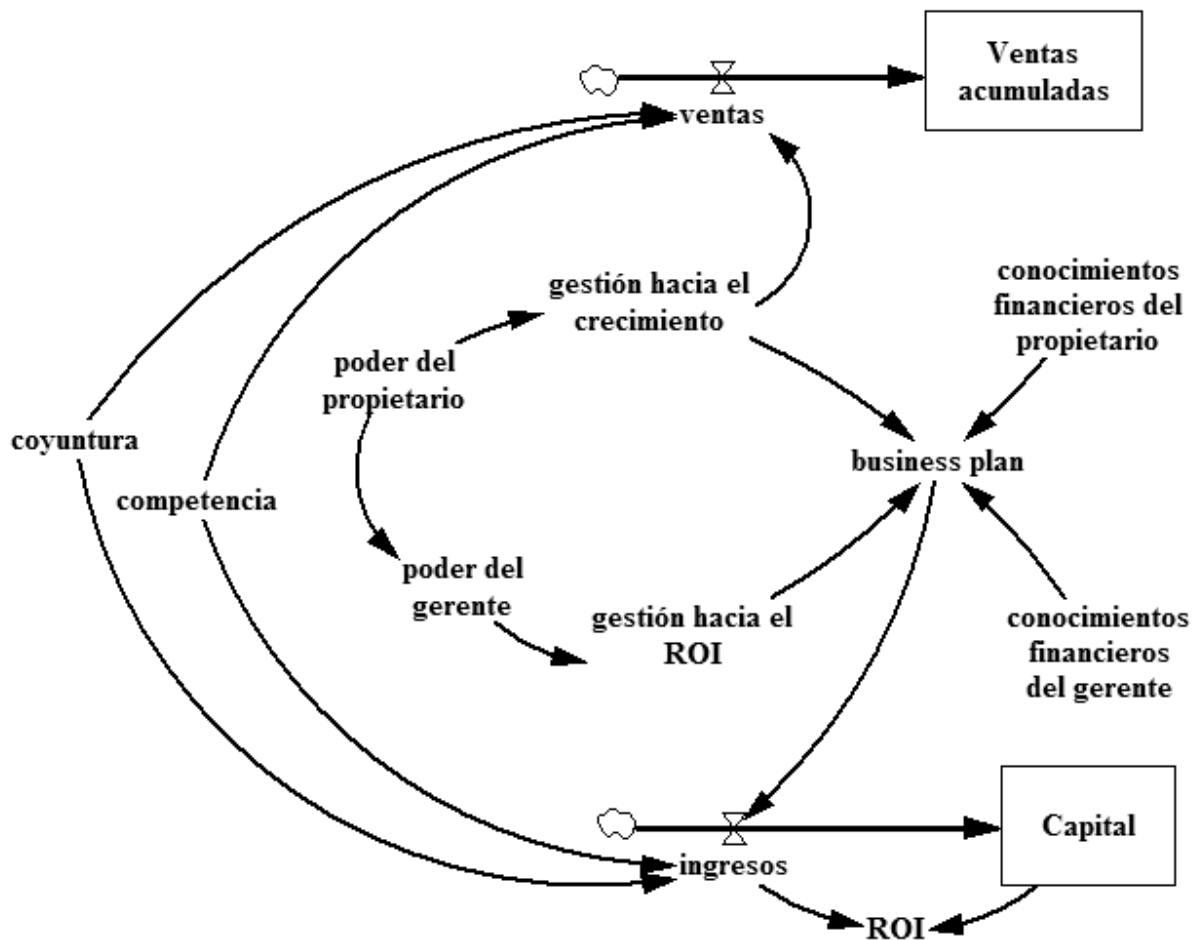
La determinación de las mínimas variables de carácter cualitativo, como entorno, coyuntura, mercado y las de carácter cuantitativo como: capital, ingresos o ventas que son necesarios para la formulación de planes de negocio, pueden permitir a las pequeñas empresas valorar inicialmente su viabilidad económica a nivel de retorno de la inversión (ROI) durante los primeros años, y así asegurar su implementación.

En todo este marco nos encontramos muchas veces de forma muy relevante con el conflicto de intereses y opiniones entre gerentes y propietarios, que darán lugar a la creación del modelo que se expone a continuación.

El modelo

Indicamos en Model – Settings los parámetros de la simulación:

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



- (01) $\text{business plan} = (\text{gestión hacia el ROI} \times \text{conocimientos financieros del gerente}) + (\text{gestión hacia el crecimiento} \times \text{conocimientos financieros del propietario})$
 Esta variable va señalar la calidad del business plan de la empresa, de forma que si existe una gestión hacia el ROI máxima, que es la voluntad de hacerlo, junto con unos buenos conocimientos financieros del gerente, obtendremos un excelente business plan, en cambio si la gestión se halla más orientada hacia el crecimiento a cualquier precio el business plan no se realizará o será de muy baja calidad. Las variables de gestión hacia el ROI más gestión hacia el crecimiento suman 1, de forma que en esta ecuación recogemos el peso relativo de cada política.
- (02) $\text{Capital} = \text{ingresos}$
 Inicial value = 10
 Tomaremos la variable Capital como la simple acumulación de los ingresos (netos) y asignaremos un valor inicial al capital igual a 10.
- (03) $\text{competencia} = \text{RANDOM NORMAL}(-1, 0, -0.5, 0.5, 777)$
 Será un factor negativo o perjudicial para la evolución de la empresa tanto desde el punto de vista de las ventas como de los ingresos. Su valor se hallará entre -1

(impacto muy negativo) y 0 (sin impacto apreciable), con una media de -0,5 y una desviación típica también de 0.5. Con esta variable recogemos la permanente presión que van a hacer los competidores.

- (04) conocimientos financieros del gerente = 1
Aceptaremos que el gerente dispone de las competencias financieras necesarias para desarrollar el cargo que ocupa.
- (05) conocimientos financieros del propietario = 0.5
Tomamos unos conocimientos medios ya que no suele ser un experto en finanzas sino una persona con una idea sobre un producto o un servicio, y una voluntad de distribuirlo de forma masiva mediante una empresa.
- (06) coyuntura = $\text{RANDOM NORMAL}(-1, 1, 0, 0.5, 777)$
Tomamos unos valores entre -1 y 1 para indicar una coyuntura desfavorable (-1) o favorable (1). La media es 0 porque se halla centrada y la desviación típica es de 0.5. Con esta variable recogemos el impacto de situaciones del entorno (clientes, proveedores, tipos de interés, tipo de cambio, etc.) favorables y desfavorables en la actividad de la empresa de una forma alterna y aleatoria.
- (08) gestión hacia el crecimiento = poder del propietario
Consideramos que la empresa se orienta al crecimiento en función del mayor o menor poder del propietario. El motivo es que el gerente suele ser una persona enamorada del producto de la empresa, y en parte porque halaga su ego, desea conseguir la mayor facturación y crecimiento, en detrimento del beneficio.
- (09) gestión hacia el ROI = poder del gerente
Consideramos que la empresa se orienta al crecimiento en función del mayor o menor poder del gerente. A diferencia del propietario, el gerente tiene como objetivo básico mantener su empleo y salario, para lo que es vital que la empresa tenga beneficios.
- (10) ingresos = $\text{business plan} + \text{coyuntura} + \text{competencia}$
La variable ingresos recoge tanto los efectos, positivos o negativos, de la existencia de un plan de negocio, de la coyuntura y de la presión de la competencia.
- (12) poder del gerente = $1 - \text{poder del propietario}$
El poder del gerente se lo otorga el propietario mediante una delegación de funciones que puede ser total (valor=1) o puramente simbólica (valor=0).
- (13) poder del propietario = 0.8
Tomamos un poder del propietario muy importante, ya que el máximo es 1.
- (14) $\text{ROI} = \text{ingresos} / \text{Capital}$
La definición del Return of Investment es igual al cociente de los ingresos obtenidos entre el capital invertido, y equivale al número de años necesarios para recuperar el capital.



Área Social



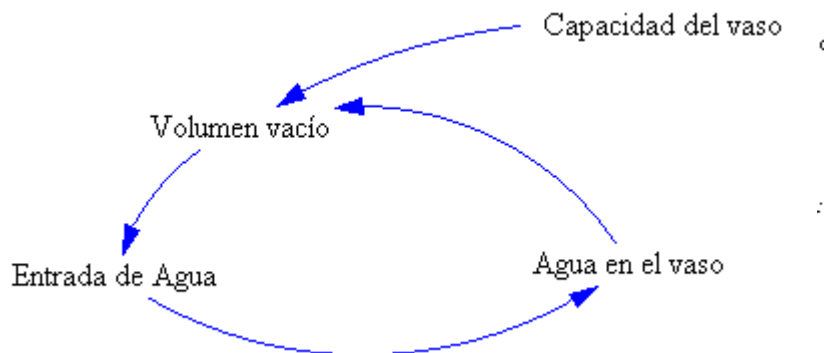
4.17. LLENANDO UN VASO

Todos tenemos en nuestra casa un mecanismo automático que llena el depósito de agua del baño cuando nosotros lo vaciamos. Este mecanismo no necesita nuestra intervención para cumplir su cometido. Existe una boya que actúa como medidor del nivel de agua, y un mecanismo regula de forma autónoma el caudal de agua que entra para que se llene el depósito y una vez lleno se detenga el flujo de agua. Todo este proceso funciona correctamente si se cumple una condición: que exista gravedad.

Ahora a analizar un tema similar ya que vamos a hacer un modelo de simulación en el que una persona llena un vaso de agua. Supondremos que se cumple una condición: que la persona actúe con lógica.

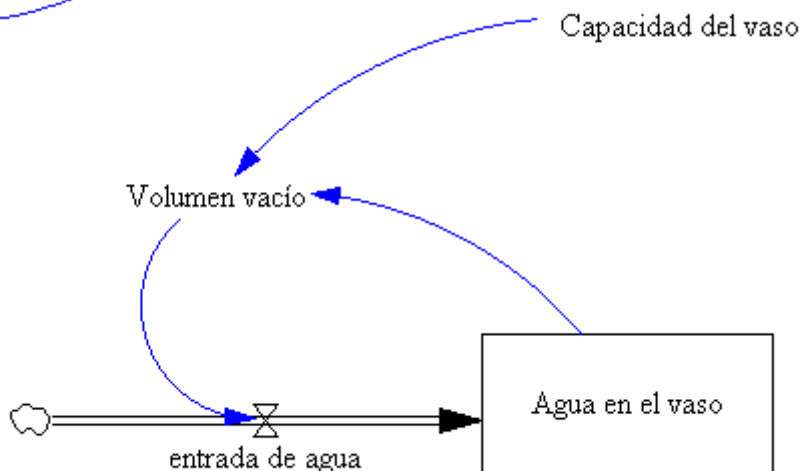
Para hacer el modelo vamos a hacer un **Diagrama Causal**. Sabemos que:

- a más entrada de agua, mayor será el nivel de agua en el vaso.
- a mayor nivel de agua en el vaso, menor será el volumen vacío.
- a mayor volumen vacío, mayor será la entrada de agua.



Para hacer el **Diagrama de Flujos**, es necesario:

- hacer una foto mental al sistema. Lo que sale en la foto es un Nivel.
- definir como Flujos los elementos que hacen variar el Nivel.
- el resto de elementos del sistema son Variables Auxiliares.



Parámetros del modelo (en Model – Settings)

INITIAL TIME=0 FINAL TIME=60 TIME STEP=1 Units for time = segundo

Ecuaciones del modelo

- (1) Agua en el vaso= entrada de agua
Inicial value: 0
Units: cm3
- (2) Capacidad del vaso= 250
Units: cm3
- (3) Volumen vacío= Capacidad del vaso-Agua en el vaso
Units: cm3
- (4) entrada de agua = WITH LOOKUP (Volumen vacío
Lookup = (0,0),(50,10),(100,30),(150,50),(200,50),(250,50)
Utilizamos una tabla para definir el comportamiento de dejar entrar agua en función al volumen vacío del vaso. Así cuando el vaso esté vacío dejaremos entrar 50 cm3/segundo, punto (250,50) y cuando el volumen vacío sea 0 la entrada será 0, punto (0,0). Para definir la variable con la tabla, seleccione Type:Auxiliary y “with Lookup”, después entre los datos pulsando la opción de “As Graph” que aparece a continuación.
Units: cm3/segundo



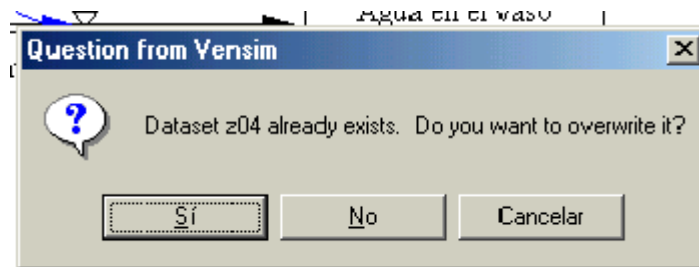
Ejecute y simule



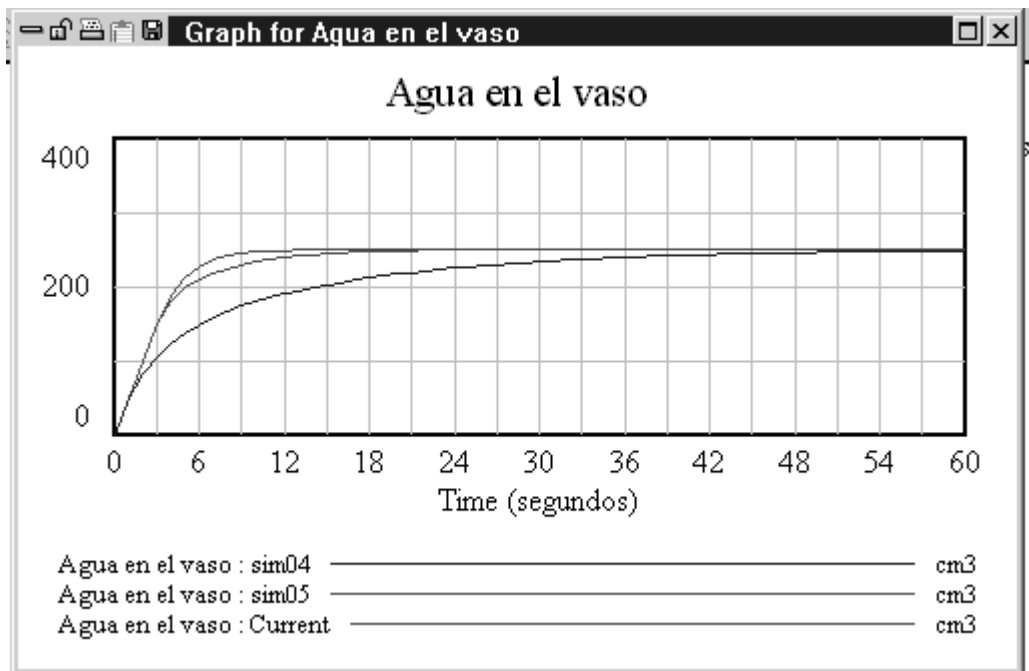
La primera ejecución del modelo, con el icono de Run, recibe el nombre de Current.

Simule diferentes comportamientos modificando la Tabla que se halla en Entrada de Agua. Recuerde que los puntos señalan cuanta agua entra por segundo (output) en función de la cantidad de Agua que hay en el vaso (input).

Para visualizar conjuntamente todas las simulaciones, responda No cuando aparezca la siguiente pantalla, y señale a continuación un nombre para la simulacion (rapida, lenta, etc.).



El resultado ha de ser similar al siguiente:



de forma que podremos observar gráficamente el resultado de diferentes comportamientos ante un mismo Estado real y Deseado.

4.18. ESTUDIO DE UNA CATASTROFE

La Tierra de los Bosques es una región próspera situada en una región templada con abundante vegetación. Sus habitantes llevan una existencia feliz y placentera. En total son 1.000.000 de personas y esta cifra se ha mantenido estable en los últimos años.

Actualmente el 40% son jóvenes de menos de 20 años. Un 50% de la población es adulta, entre 20 y 70 años, y los otros son ancianos.

Por otra parte sabemos que sus parámetros poblacionales son los siguientes: su esperanza de vida es de 80 años, que la tasa de natalidad de la población adulta es del 6% anual, y que las tasas de mortalidad son el 2,5% para los jóvenes y del 2% para los adultos. Todos estos parámetros se han mantenido estables y no se espera que tengan modificaciones en el futuro.



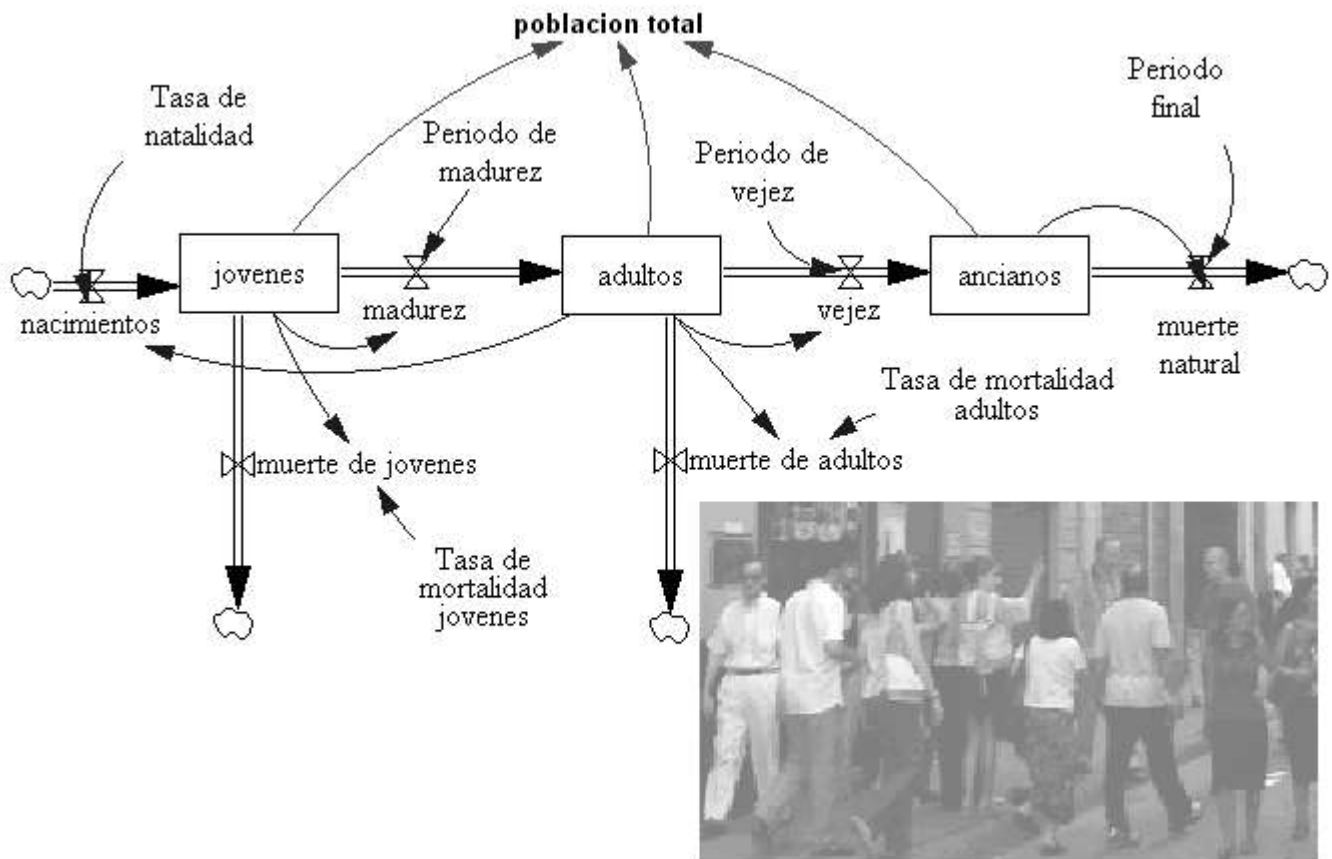
Una noche desgraciada del verano del año 2005 se desata un terrible incendio, y durante una larga semana el fuego avanza sin control arrasando todo a su paso. Los servicios de emergencia consiguen poner a salvo a todos los jóvenes y los ancianos, pero cuando cesa el incendio descubren que el total de víctimas es de 100.000 personas siendo todas ellas adultas.

Se desea hacer una estimación de cual será la evolución del número de personas totales de la Tierra de los Bosques tras la catástrofe, sabiendo que los parámetros poblacionales (esperanza de vida, tasa de natalidad y tasas de mortalidad) van a permanecer constantes. Más concretamente se nos pide determinar el número de años que tardará la población en recuperar el valor de 1.000.000 de personas.

Para hacer este estudio vamos a hacer un sencillo modelo de simulación, de forma que se situaremos su fecha de inicio en el año 2000, y el horizonte temporal alcance 50 años.

Vamos a construir una primera versión del modelo en un escenario de población estable, del 2000 al 2050 recogiendo los parámetros que nos han facilitado. Después en una segunda versión introduciremos la muerte de 100.000 adultos en el año 2005 y evaluaremos su impacto hasta el año 2050.

A continuación se muestra un esquema que permite reproducir la situación estable de la población.



Nota: para añadir una imagen junto al diagrama de flujos, vaya a su editor de imágenes, abra una imagen y seleccione un área de ella, luego haga Copy. Vaya a la pantalla del Vensim pulse el icono superior "Com", pulse en la pantalla del modelo, y active la opción Metafile (pulsando sobre el círculo que aparece a la izquierda de la palabra Metafile) y OK. Se importa la parte de la imagen que hemos copiado.

Una segunda opción para añadir una imagen es pulsar el botón Import que aparece en la ventana que se abre cuando pulsamos sobre el icono Com y después en la pantalla. En esta opción hemos de seleccionar un fichero con una imagen en formato bmp. Se importa la imagen completa que tengamos en el fichero.

Pulsar File – New Model y en la ventana que se abre indicar:

INITIAL TIME = 2000 FINAL TIME = 2050 TIME STEP = 1

Units for time = año

(algunas versiones del software no aceptan la ñ)

NIVELES

adultos = +madurez-vejez-muerte de adultos

Initial value: 500000

Units: personas

jovenes = +nacimientos-madurez-muerte de jóvenes

Initial value: 400000

Units: personas

ancianos = +vejez-muerte natural

Initial value: 100000

Units: personas

FLUJOS

madurez= jóvenes/Periodo de madurez

Units: personas/año

muerte de adultos= adultos*Tasa de mortalidad adultos

Units: personas/año

muerte de jóvenes= jóvenes*Tasa de mortalidad jóvenes

Units: personas/año

muerte natural=ancianos/Periodo final

Units: personas/año

nacimientos= adultos*Tasa de natalidad

Units: personas/año

vejez= adultos/Periodo de vejez

Units: personas/año

VARIABLES AUXILIARES

Periodo de madurez= 20

Units: año

Número de años que tardan los jóvenes en pasar a adultos

Periodo de vejez= 50

Units: año

Número de años que tardan los adultos en pasar a ancianos

Periodo final= 10

Units: año

Número de años de vida en el grupo de ancianos

Tasa de mortalidad adultos= 0.02

Units: 1/año

Tasa de mortalidad jóvenes= 0.025

Units: 1/año

Porcentaje de jóvenes que mueren antes de llegar a adultos

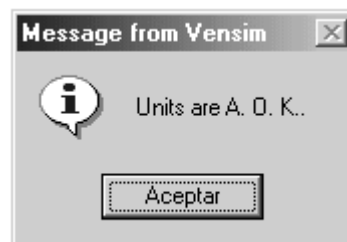
Tasa de natalidad=0.06

Units: 1/año

poblacion total= adultos+jóvenes+ancianos

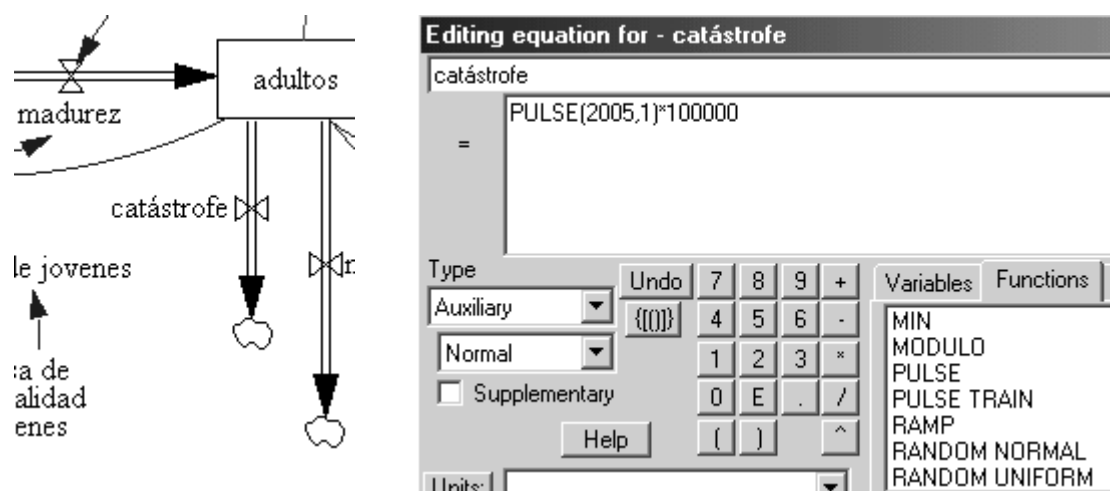
Units: personas

Si seguimos la opción de Model –Units Check ha de aparecer el mensaje siguiente



Este modelo permite reproducir una situación estable. A continuación se modificará para simular la catástrofe que afecta a 100.000 adultos. El primer efecto será sin duda una reducción de la población desde 1.000.000 a 900.000 personas, y queda por determinar la evolución futura. Sin duda la intuición del lector ya le indica cual va a ser ésta. Antes de seguir debería anotar el número de años aproximado que cree que tardará la población en volver a su cifra inicial de 1.000.000 personas.

Para simular los efectos de la catástrofe en el 2005 con un coste de 100.000 personas adultas, se crea un nuevo flujo de salida del nivel de adultos, y se utiliza la función PULSE, indicando que será en el periodo 2005 y tendrá una duración de 1 periodo, un año. Es necesario modificar además la ecuación de adultos para incluir el nuevo flujo.



Puede ver el detalle de la función PULSE en el capítulo de Funciones, Tablas y Retrasos, pero básicamente toma el valor 0 hasta el periodo t (2005 en este caso), y durante n periodos (1 en nuestro modelo) toma el valor 1. Queremos simular que salen 100.000 personas y por ese motivo multiplicamos el resultado de la función PULSE (que es 1) por la cifra de 100.000.

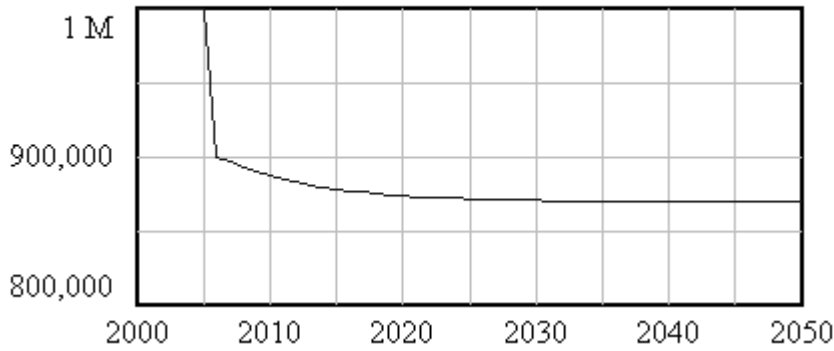
Antes de simular podemos preguntarnos por el escenario que intuimos al cabo de 20 años, es decir:

- la población permanecerá estable en $1.000.000 - 100.000 = 900.000$
- la población recuperará su valor inicial al cabo de pocos años
- la población recuperará su valor inicial al cabo de muchos años.

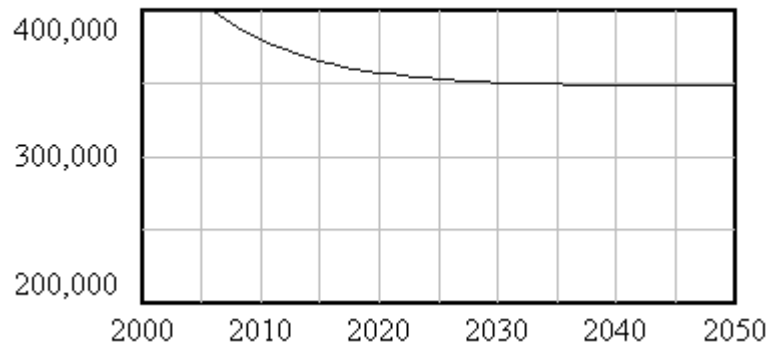
Es importante antes de ejecutar un modelo anotar en un papel los resultados que esperamos observar en base a nuestra experiencia o intuición. Así, cuando obtenemos los resultados de la simulación podremos ver si éstos confirman nuestras expectativas. Si confirman nuestras expectativas, podemos tener aún una mayor confianza en ellas y en nuestra capacidad de percibir esa realidad. Ahora bien, si los resultados del modelo no confirman nuestras expectativas, hemos de verificar en primer lugar que no hay ningún error en el modelo, y si no es así, reconsiderar las bases de nuestras expectativas previas.

En este caso la evolución de la población nos muestra una evolución contraria a los escenarios esperados, ya que la población ni se estabiliza en el nuevo valor ni se recupera sino que aún disminuye más antes de estabilizarse.

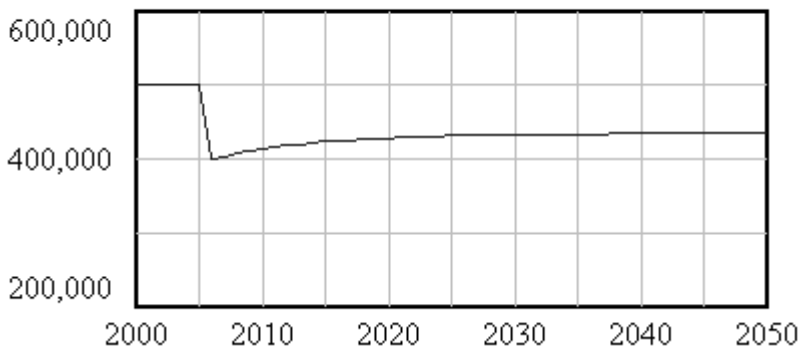
poblacion total



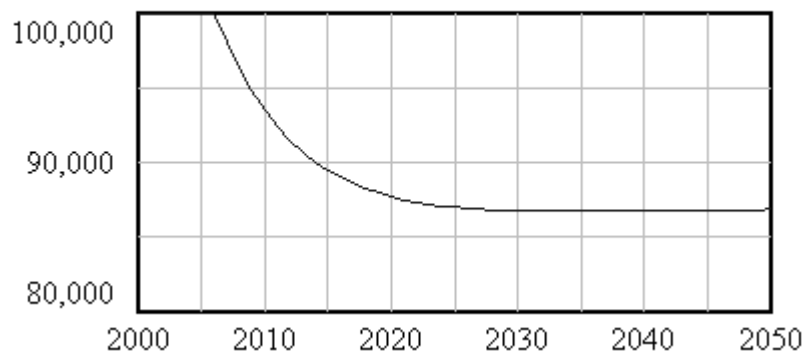
jovenes



adultos



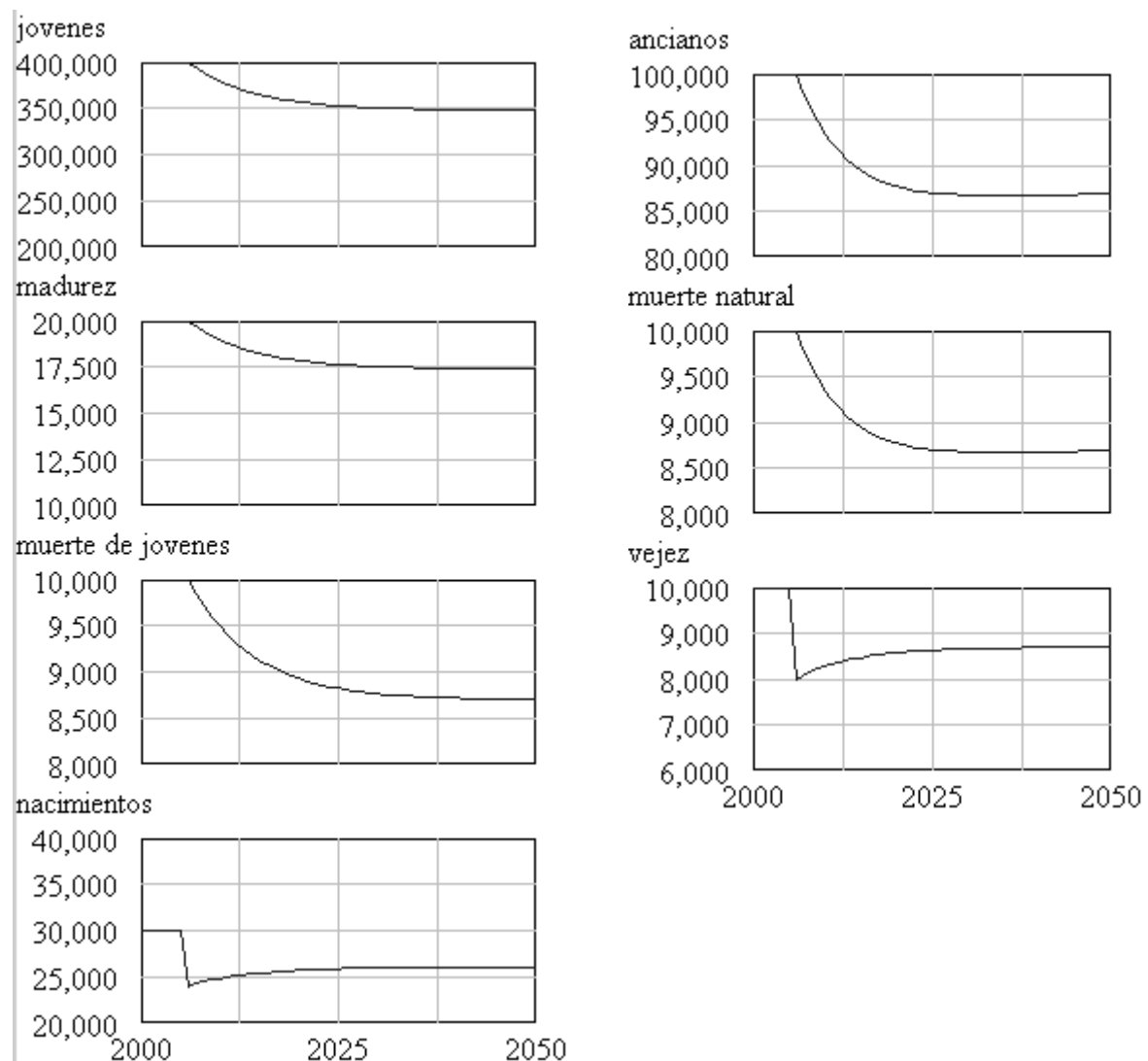
ancianos



Comentarios

El modelo nos muestra con claridad una evolución del número total de personas que no coincide con nuestras expectativas ya que ni la población se mantiene en la cifra de 900.000 personas ni se recupera la cifra del total de la población en el amplio horizonte que hemos tomado, sino que se estabiliza en un valor claramente inferior a las 900.000 personas.

Podemos hacer un seguimiento de lo que sucede en los diversos colectivos a través de las gráficas que nos muestran la evolución de una variable y de aquellas que la influyen.



4.19. EL JOVEN AMBICIOSO



Un joven de 20 años, al finalizar sus estudios básicos, nos comenta que ha oído a su padre mil veces decir que se ha "matado trabajando desde que era un chaval", y esto, visto las úlceras y problemas de corazón que tiene, debe ser algo más que una frase hecha. Tiene claro que no quiere acabar así.

De nuestra conversación con él, sacamos los siguientes apuntes, un poco desordenados:

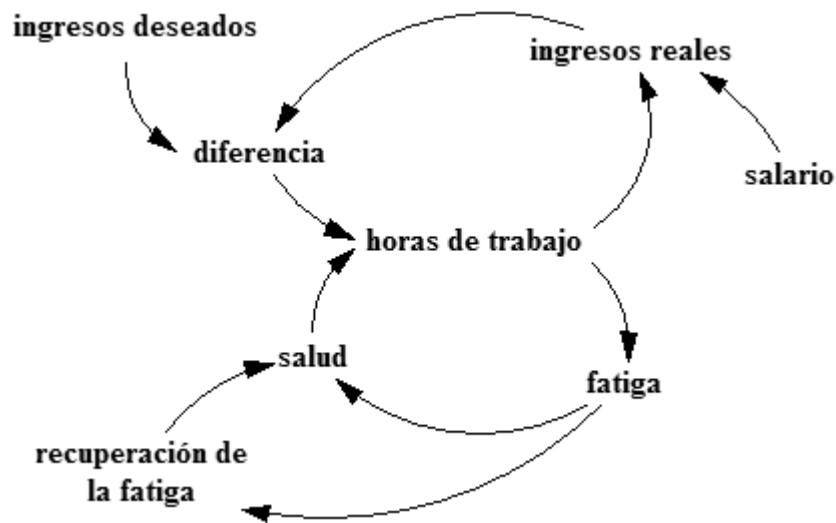
- *Sus ingresos deseados son de 5.000 euros al año.*
- *Horas de trabajo: supone puede encontrar trabajo, ya que tiene salud y ganas de trabajar.*
- *Salario por hora: sólo con estudios básicos calcula unas 5 euros/hora.*
- *Ingresos reales: son función del salario y las horas trabajadas.*
- *Necesita algunas horas de descanso, - cuando se ha fatigado como todos, para él descanso es todo: dormir, comer, etc.*
- *Salud: no tiene ningún problema.*
- *Fatiga: aunque es joven no es una máquina, la fatiga será función de las horas que trabaje.*
- *Gastos: de momento seguirá viviendo con sus padres (gastos = 0)*
- *Teniendo en cuenta sus ingresos deseados (5.000 euros) y el salario por hora (5 euros/hora), calculamos que debería trabajar 1.000 horas al año (4 al día).*
- *Vista la experiencia de su padre, sabe que si llegase a trabajar 12 horas al día como hace él, su salud se resentiría.*
- *Espera casarse y tener hijos a los 35, entonces necesitará mayores ingresos, tal vez unos 20.000 euros al año.*

Nuestro amigo, antes de tomar la decisión sobre el camino que desea seguir en la vida, y sólo para poner en orden sus ideas, **nos pide que le hagamos un sencillo modelo que le ayude a planificar mejor su futuro.**

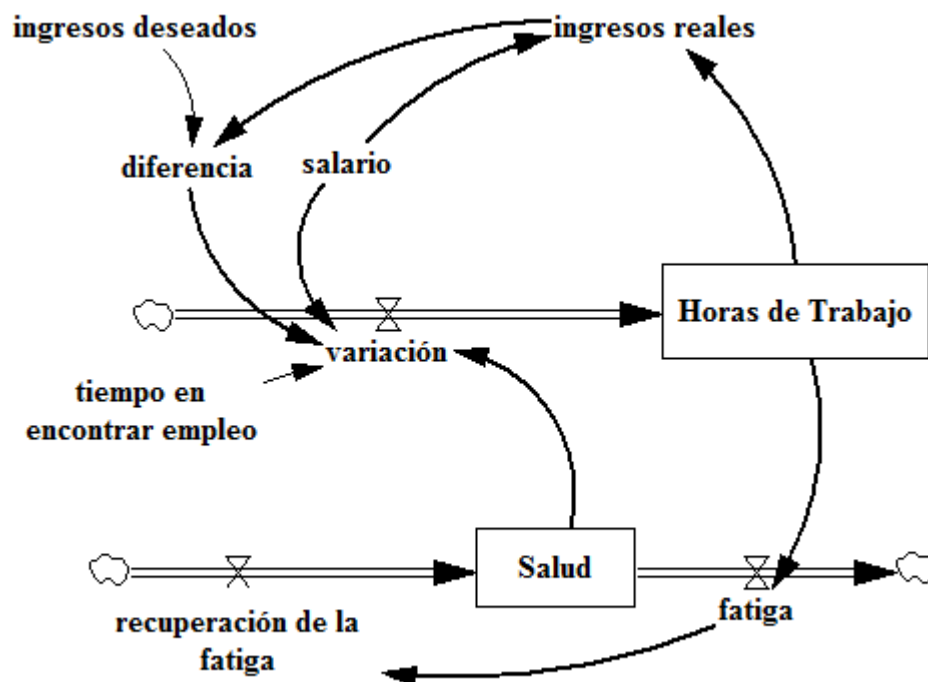
Comentarios:

- El modelo debe de abarcar toda la vida laboral (de 20 a 65 años).
- Hay dos aspectos que preocupan mucho al joven: la salud y los ingresos.
- Necesita que le planteemos alguna alternativa, no que le adivinemos su futuro.
- Se pueden incorporar al modelo los elementos que creamos necesarios para plantear alternativas.

Estructuramos toda la información recibida en el siguiente diagrama causal, que tiene dos zonas: la económica y la relativa a la salud.



La traducción del Diagrama Causal al Diagrama de Flujos es necesaria para poder trabajar en el ordenador y no es un proceso automático, sino que con mucha frecuencia requiere crear nuevos elementos como Flujos. Una posible solución es la que se indica. Se han definido en el Diagrama de Flujos las Horas de Trabajo como un Nivel por necesidades del modelo, pero también sería posible otro modelo con una estructura diferente.



Ecuaciones del modelo

Model – Settings: INITIAL TIME = 20 FINAL TIME = 65 TIME STEP=1

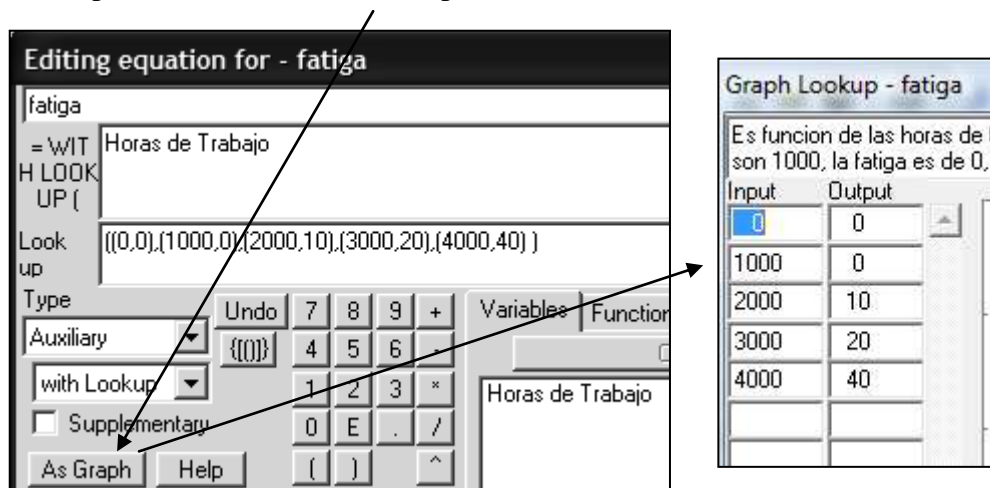
diferencia = ingresos deseados-ingresos reales

Es la diferencia entre los ingresos deseados en ese momento menos los ingresos reales que obtiene.

fatiga = WITH LOOKUP (Horas de Trabajo
((0,0),(1000,0),(2000,10),(3000,20),(4000,40))

Es función de las horas de trabajo anual, según recogemos en la Tabla. Cuando las horas de trabajo son 1000, la fatiga es de 0, cuando trabaja 2000 horas la fatiga es de 10, y va aumentando. Fuente Wikipedia Holanda 1300 Corea: 2300 horas al año.

En la ecuación, indicar que esta variable es del tipo Auxiliary with Lookup y entrar los datos pulsando el botón de As Graph



Horas de Trabajo = variación

Valor inicial: 0

Son las horas de trabajo anual que realiza. Inicialmente 0.

ingresos deseados = 5000+STEP(15000,35)

Inicialmente son de 5.000 euros anuales, y a partir de los 35 años recogemos la idea que deseará 20.000 debido a compromisos familiares.

ingresos reales = salario*Horas de Trabajo

Los ingresos reales son el producto del salario por las horas de trabajo que realiza

recuperación de la fatiga = WITH LOOKUP (fatiga
((0,0),(10,10),(20,15),(30,20),(40,20))

Vamos a considerar que la Recuperación es función de la Fatiga, de forma que si no existe Fatiga (entendida como pérdida de salud) a lo largo de la jornada, al final no hay nada que recuperar. Esta función está en la Tabla. El punto (0,0) indica que cuando no hay fatiga no hay recuperación, el punto (10,10) indica que cuando hay

una fatiga moderada, hay una recuperación igual, y cuando la fatiga es elevada, con valores de 20, 30 o 40 la recuperación no iguala totalmente la fatiga.

salario=5

El salario es de 5 euros a la hora. La evolución de las variables del modelo inicial nos muestra que a los 65 años será una persona mal de salud y de ingresos.

Salud= recuperación de la fatiga-fatiga

Valor inicial: 100

Tomamos una escala de +100 a -100, de forma que al principio, un joven de 20 años, su salud es 100 y aumentará en función de la fatiga, y disminuirá por la recuperación.

tiempo en encontrar empleo =5

Units = año

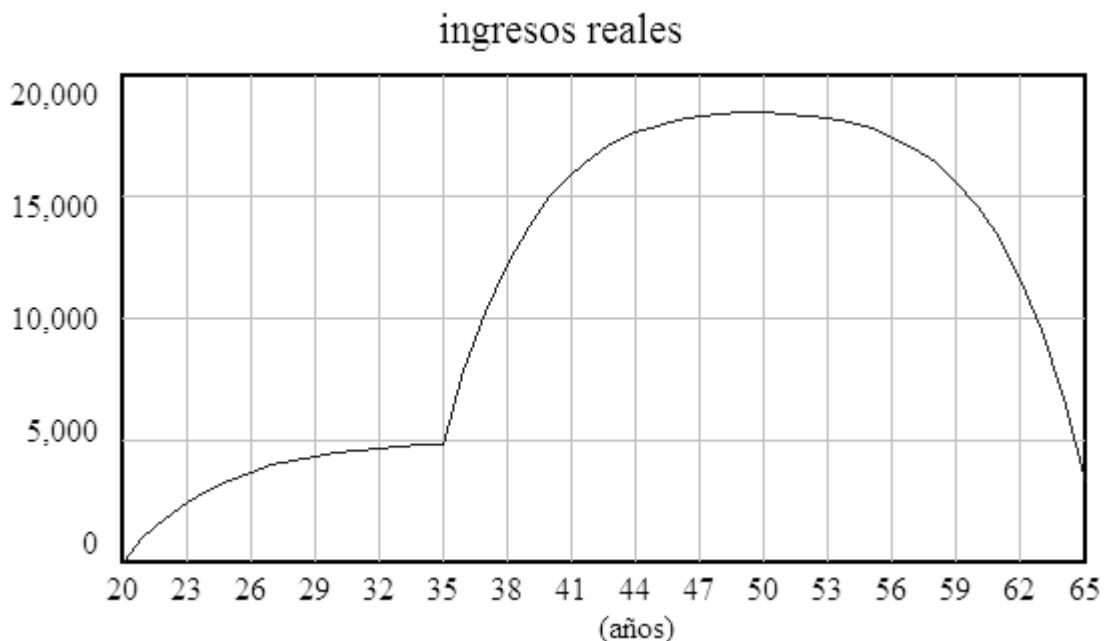
Recogemos la idea que tardará 5 años en encontrar todo el empleo que desee.

$\text{variación} = (\text{diferencia}/(\text{tiempo en encontrar empleo} * \text{salario})) * (\text{Salud}/100)$

En función de la Diferencia (euros) y del salario (euros/hora) calculamos cuantas horas mas necesita trabajar. Ya que esta variación no será instantánea la dividimos por el tiempo que tardará en encontrar todo el empleo que desee. Consideramos que aumentará las horas de trabajo en función que la salud (+100 a -100) de lo permita. Si su salud es 100 podrá aumentar las horas de trabajo todo lo que desee.

Resultados:

Los resultados del modelo no le son muy satisfactorios, ya que acaba pobre (los ingresos no llegan a 5.000 euros) y muy enfermo.



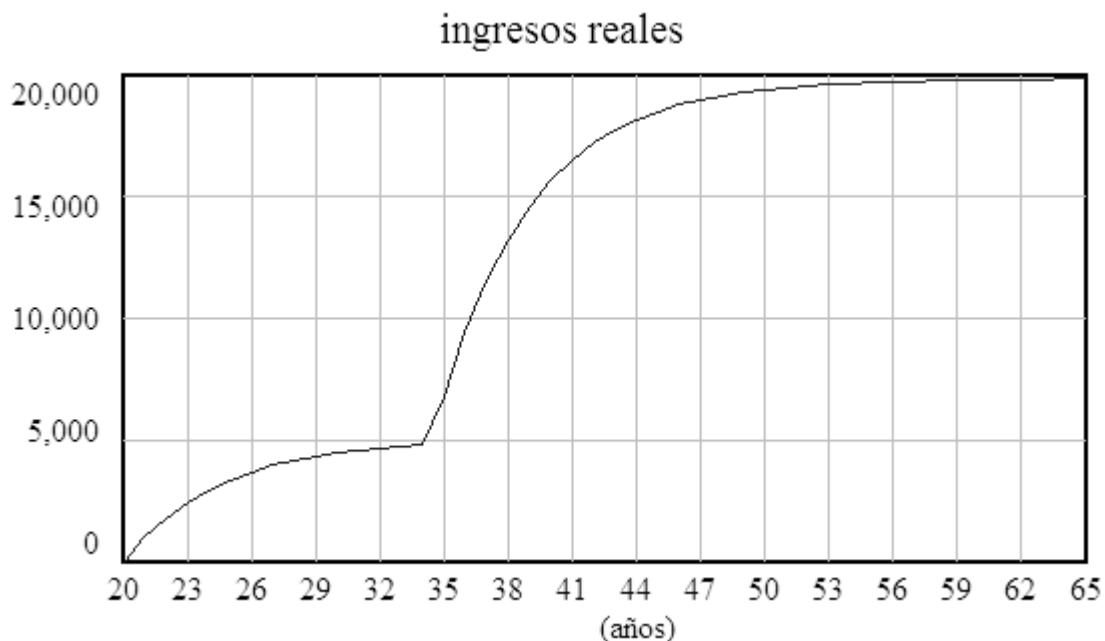
Propuesta:

Decide aprovechar hasta los 35 años que trabaja pocas horas (1000 horas al año) para estudiar algo más, de forma que a esa edad pueda obtener un mayor salario.

Introducimos este cambio en la ecuación del salario.

Editing equation for - salario	
salario	
	5+STEP(2,35)

Los resultados de la simulación le muestran que llegará a la jubilación con menos salud de la que tiene ahora, pero sin haberse "matado a trabajar", y con el nivel de ingresos deseado.



Nuestra recomendación final a la vista de los resultados del modelo es que **aproveche el tiempo estudiando** para que pueda conseguir un mayor salario al cumplir los 35 años.

Comentarios finales:

En este modelo hemos visto como utilizar elementos cualitativos, como la salud y la fatiga, junto con elementos cuantitativos, como las horas de trabajo y los ingresos, y el uso de tablas para representar relaciones entre elementos sin emplear fórmulas matemáticas.

4.20. DESARROLLO DE UNA EPIDEMIA

Supongamos una población inicialmente sana, en la cual aparece un cierto número de infectados por una enfermedad contagiosa. Un individuo podrá transmitir o infectarse de la enfermedad de otros individuos. La transmisión de la enfermedad se produce debido a la proximidad física. Durante el proceso infeccioso, los individuos pueden pasar por todos o algunos de los siguientes estados:



- Susceptibles (S), estado en el cual el individuo puede ser contagiado por otra persona que esté infectada;
- Infectado (I), estado durante el cual el individuo se halla infectado y puede además infectar a otros;
- Recuperado (R), o curado, estado durante el cual el individuo no puede ni ser infectado por haber adquirido inmunidad (temporal o permanente) ni infectar (por haber recuperado o haber pasado la etapa contagiosa de la enfermedad).

Entre las enfermedades infectocontagiosas encontramos dos grupos principales:

- Las que confieren inmunidad al infectado (temporal o permanente) una vez recuperado, la mayoría de origen viral (sarampión, varicela, poliomielitis); y
- Las que, una vez recuperado, el individuo vuelve a ser susceptible inmediatamente, entre las que encontramos las causadas por agentes bacterianos (enfermedades venéreas, peste, algunas meningitis) o protozoos (malaria).

Teniendo en cuenta los distintos estadios relacionados con un proceso infeccioso, los modelos epidemiológicos se dividen en tres grandes grupos:

SIR: El modelo susceptible-infectado-recuperado, relacionado con las enfermedades que confieren inmunidad permanente y un ciclo típico incluye los tres estados. Esto no quiere decir que todos los individuos de una población deban pasar por estos, algunos no serán infectados y permanecerán sanos, o sea siempre en estado S, otros serán inmunizados artificialmente por vacunación, o algún otro método y pasarán a ser R sin haber estado infectados.

SIRS: El modelo susceptible-infectado-recuperado-susceptible, idéntico al anterior, pero aplicable a casos en que la inmunidad no es permanente y el individuo vuelve a ser susceptible después de un cierto periodo, tal como la gripe.

SIS: El modelo susceptible-infectado-susceptible; se usan en casos en que la enfermedad no confiere inmunidad y el individuo pasa de estar infectado a susceptible nuevamente, saltando la etapa R.

Un modelo puede tener en cuenta la dinámica vital de la población (nacimientos, muertes, movimientos migratorios) dependiendo del horizonte temporal analizado, y de las características de la enfermedad y de la población estudiada.

EL MODELO

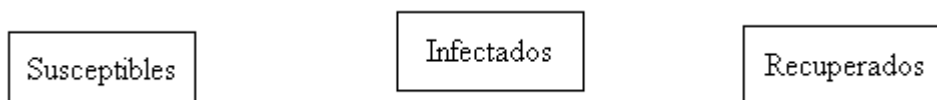
Vamos a utilizar como referencia de nuestro modelo a uno de los modelos epidemiológicos más conocidos de la literatura biológica. Es el modelo SIR de Kermack y Mc Kendrick, <http://mathworld.wolfram.com/Kermack-McKendrickModel.html> que se expresa como:

$$\begin{cases} S' = -\beta SI \\ I' = \beta SI - \gamma I \\ R' = \gamma I \end{cases}$$

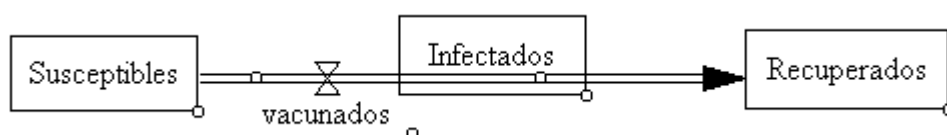
siendo S la población susceptible de enfermar, I la población infectada, y R la población que ha pasado la enfermedad y se halla recuperada. Existen dos constantes que son la tasa de infección (beta) y la tasa de curación o recuperación (gamma).

Para dibujar el Diagrama de Flujos pulsamos Model – New File, indicamos Initial Time = 0, Final Time = 20, Time Step=1 para indicar que deseamos simular 20 periodos, y seguimos los siguientes pasos.

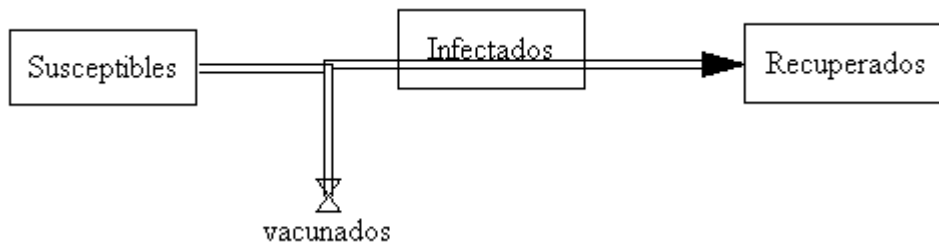
Creamos los 3 niveles



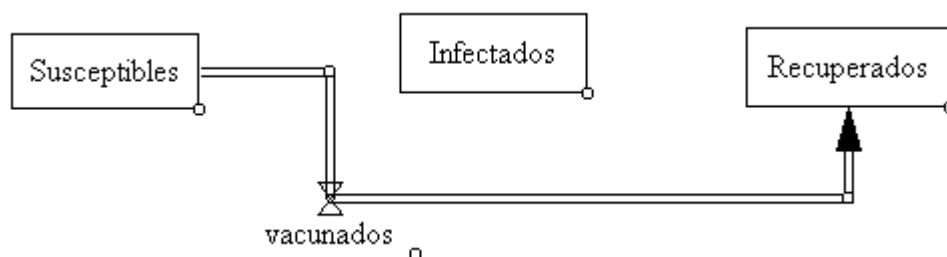
Añadimos el flujo de vacunados



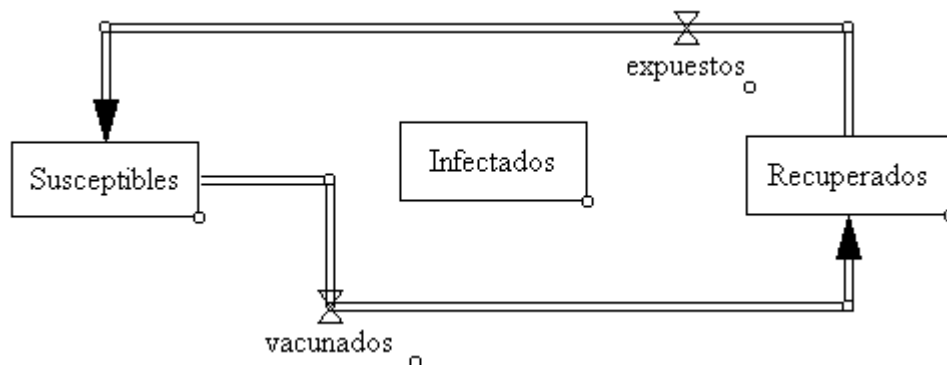
Desplazamos el flujo hacia abajo



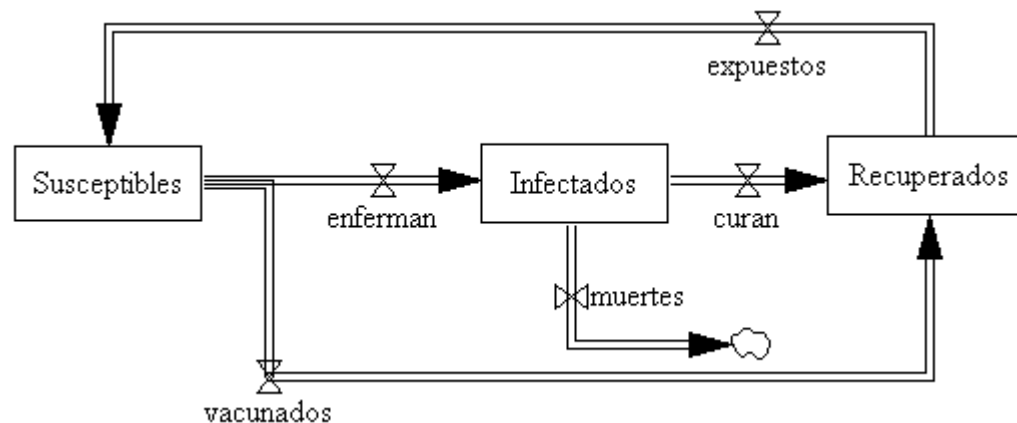
Pulsamos en el círculo situado sobre el canal del flujo y lo desplazamos abajo a la derecha para dibujar la entrada en recuperados.

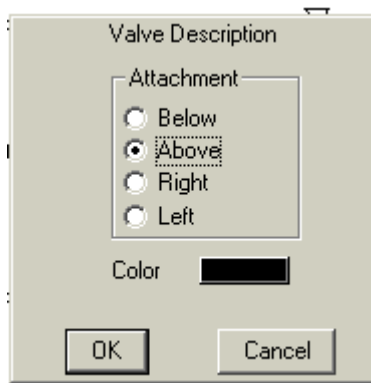


Dibujamos el flujo de expuestos y repetimos el proceso. obteniendo un conjunto de flujos que se realimentan.



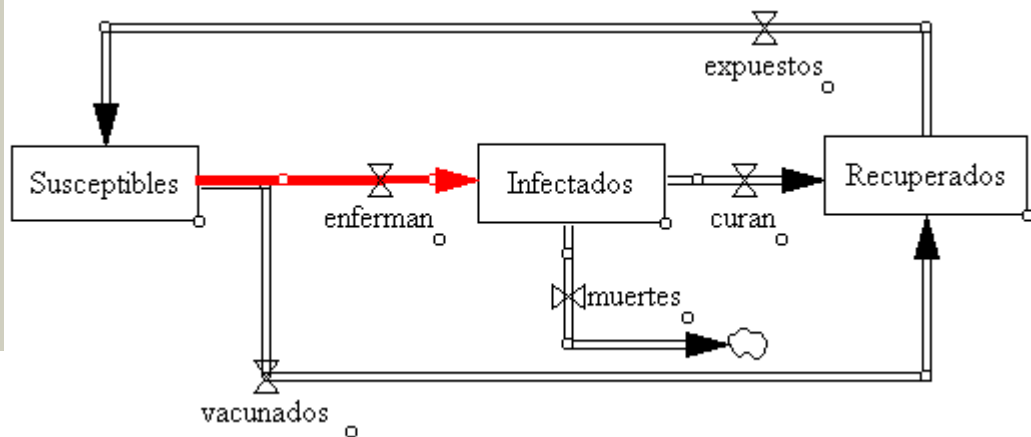
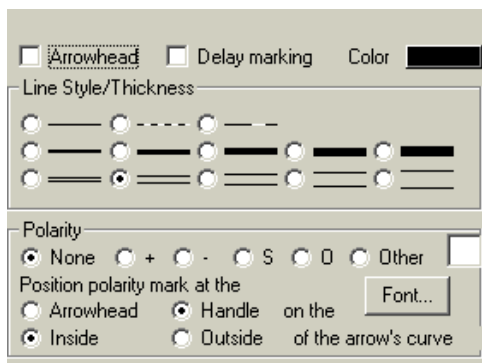
Completamos el modelo con los flujos de enferman, curan y mueren.



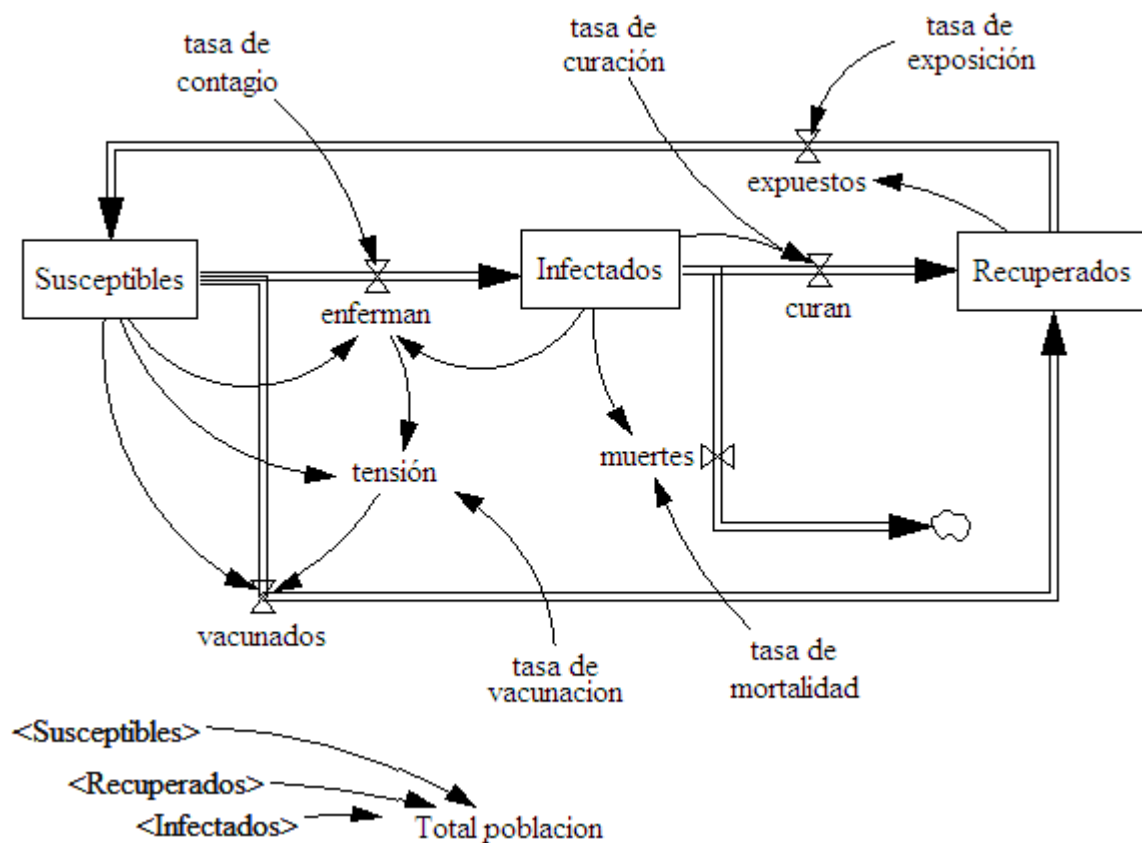



Pulsando con el ratón derecho sobre el símbolo del flujo de muertes podemos modificar la situación del texto, y su color.

Pulsando con el botón derecho del ratón sobre los círculos que hay en las flechas o los flujos es posible modificar los colores de los mismos para resaltar determinadas relaciones en el modelo.

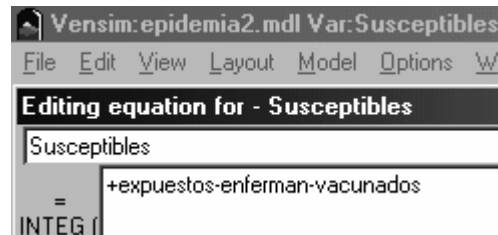


Para añadir los elementos duplicados, dibujados entre < >, utilizaremos el icono:



Podemos añadir elementos duplicados (o shadow variables). Pulsando  se nos abre un menú donde podemos escoger la variable que deseamos copiar. La utilidad de estas copias es evitar que se produzcan excesivos cruces de flechas en el modelo. En nuestro caso crearemos la variable Total Población como suma de los tres posibles estados, usando variables duplicadas de éstos.

El software ya nos pre-escribe las ecuaciones de los Niveles en base a como hayamos dibujado los flujos.



Las ecuaciones son sencillas ya que los Niveles varían en función de las entradas y salidas que les hemos asignado, con su signo correspondiente, y los flujos son en general el producto del valor de un nivel por el de una tasa.

No obstante hay algunas formulas un poco más complejas, son las de:


“enferman”

Aplicamos en la ecuación la fórmula del modelo de Kermack y Mc Kendrick, según la que el número de personas que enferman se puede calcular como el producto del número de personas susceptibles, por el de personas infectadas por la tasa de contagio.

“tensión”

Creamos el concepto de tensión para recoger el hecho de que en función al número de personas que enferman en relación a las que son susceptibles de enfermar se produce una mayor cantidad de vacunaciones.

Atajo

Es posible dibujar un canal de flujo con varias esquinas como el de “expuestos” manteniendo pulsada la tecla de Shift  y con el cursor ir haciendo click primero dentro del nivel de salida, después en cada una de las esquinas del canal y finalmente en el nivel de entrada.

Recuerde entrar el nombre del flujo en la ventana que se abre porque si pulsa Intro y deja en blanco esa ventana el flujo se crea sin nombre y después no se puede escribir la ecuación del nivel correctamente.

EL MODELO

CONTROLES (Model – Settigs)

Initial Time=0 Final Time =20 Units=mes Time Step =1

NIVELES

Susceptibles = +expuestos-enferman-vacunados

Initial Value =900

Infectados = +enferman-curan-muertes

Initial Value =100

Recuperados = curan+vacunados-expuestos

Initial Value =0

FLUJOS

curan = Infectados*tasa de curación

enferman = Susceptibles*tasa de contagio*Infectados

expuestos = Recuperados*tasa de exposición

muertes = Infectados*tasa de mortalidad

vacunados = Susceptibles*tensión

VARIABLES AUXILIARES

tasa de contagio= 0.001

tasa de curación= 0.4

tasa de exposición= 0.05

tasa de mortalidad= 0.1

tasa de vacunacion= 0.5


tensión=(enferman/Susceptibles)*tasa de vacunacion

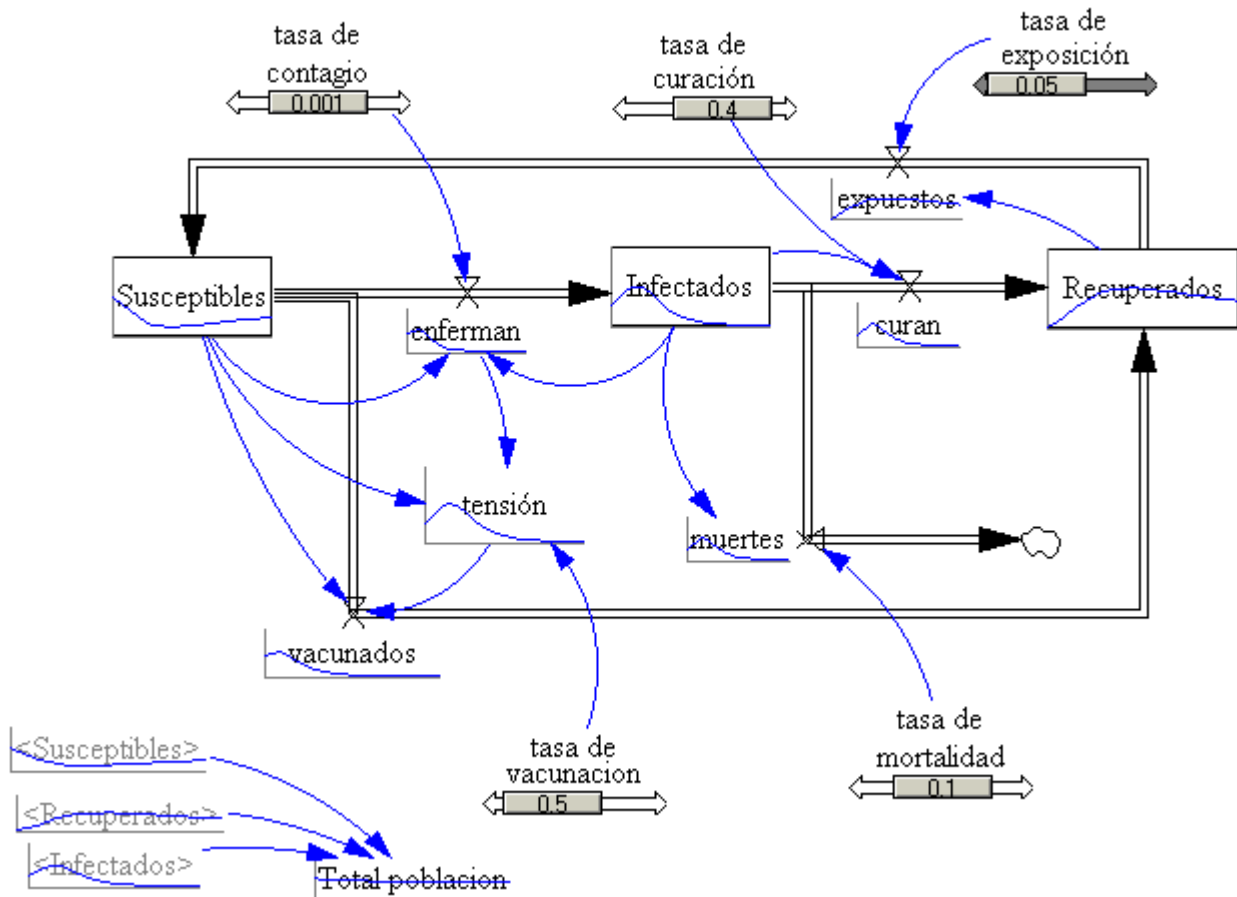
Total poblacion=Infectados+Recuperados+Susceptibles

Nota 1: En este modelo no entraremos información sobre las unidades de las variables ya que el propósito del mismo es aprender a dibujar un diagrama de flujos complejo.

Nota 2: Es normal que el software nos de un mensaje de aviso de que la variable Total población no se utiliza, ya que es un elemento que no influye en ningún otro elemento.

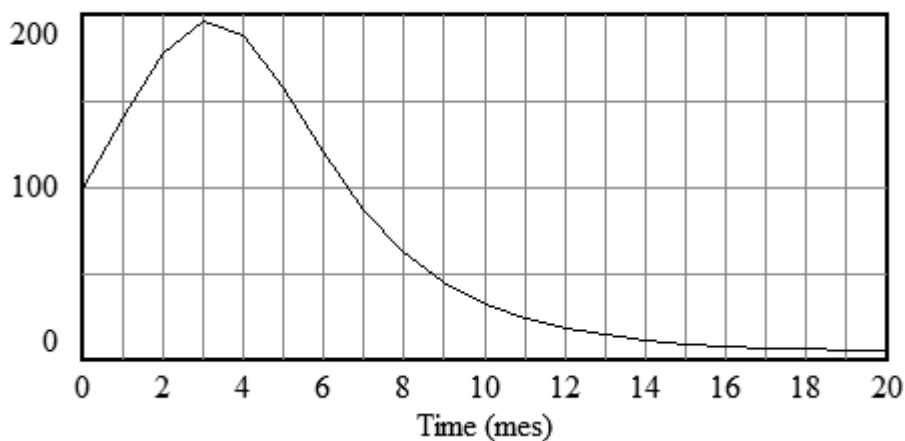
SIMULACIONES

Pulsando en el icono de simulación automática  podemos observar de forma simultánea la evolución de cada una de las variables del modelo, y también simular el efecto en las variables de cambios en las tasas que son constantes desplazando los cursores a derecha e izquierda.



Pulsando en los iconos de la izquierda de la pantalla podemos ver con más detalle el comportamiento de alguna variable especialmente significativa.

Infectados



4.21. DINÁMICA DE LOS DOS RELOJES

Un soldado se detenía cada día a las 8 de la mañana en una joyería y ajustaba su reloj comparando con el cronómetro situado en uno de los escaparates. Un día el soldado entró en la tienda y felicitó al dueño por la exactitud del cronómetro.

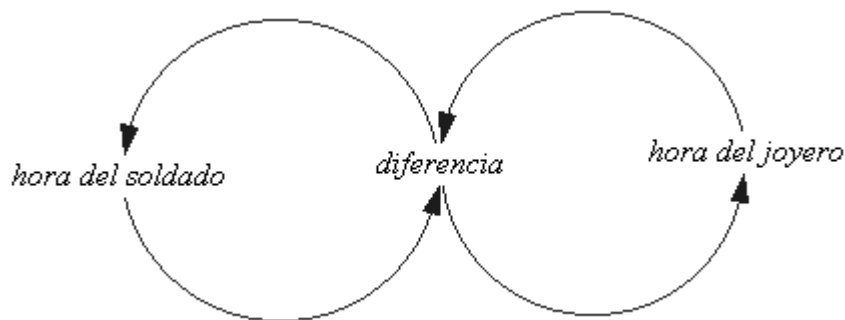
- "¿Está usted de acuerdo con las señales de la hora de Westminster?", preguntó el soldado.

- "No", contestó el dueño de la joyería, "lo ajusto según el disparo del cañón a las 5 en el castillo, dígame, soldado, ¿porqué se detiene todos los días y comprueba la hora de su reloj?".

El soldado contestó, "yo soy quien dispara el cañón".

Sabiendo que el cronómetro del joyero se retrasa 1 minuto cada 24 horas, y el reloj del soldado se atrasa 1 minuto cada 8 horas, ¿Cuál es el error total en la hora del cañón en el castillo después de 15 días?

Podemos resumir la situación en el diagrama causal siguiente:



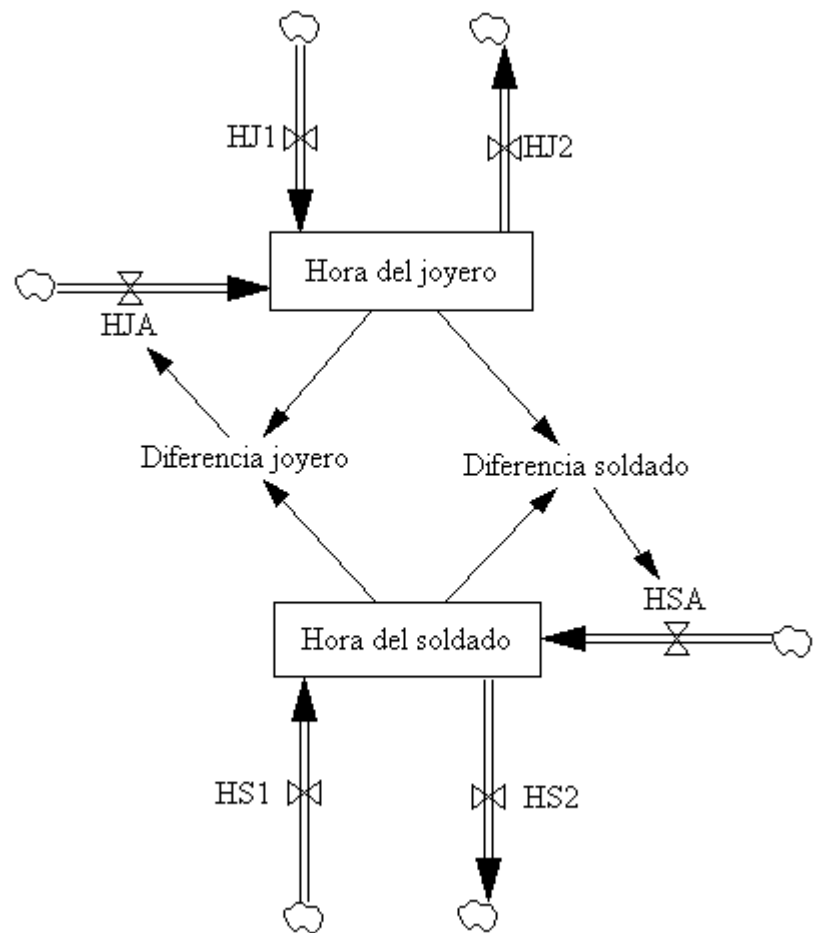
Para introducir este esquema en el ordenador hemos de traducirlo al formato del diagrama de flujos. Este modelo presenta la particularidad de que el tiempo es la variable Nivel. Hemos pues de diferenciar el tiempo real (24 horas al día, 1440 minutos) del tiempo medido por los relojes, siendo este último algo casi físico que podemos manipular.

Podemos imaginar 1 minuto medido = 1 bola de tenis, siendo los relojes de ambos cajas en las que entran y salen estas bolas.

Tomando como referencia el diagrama de flujos indicado defina las ecuaciones. Para ver la solución gire la página.

Parámetros:

- 1) Cada día tiene 24 horas, o sea 1440 minutos.
- 2) El reloj del joyero cuenta (entra) 1440-3 minutos y el del soldado cuenta (entra) 1440-1 minutos.
- 3) De cada uno de esos relojes salen 1440 minutos.
- 4) Cada uno ajusta su reloj (entran o salen) la diferencia de minutos que uno tiene respecto al otro.
- 5) Hemos de ver el estado del sistema al cabo de 15 días.



```

Hora del joyero = +HJ1 + HJA - HJ2
Inital value: 0
Hora del soldado = +HSA + HS1 - HS2,
Inital value: 0
Diferencia joyero = Hora del soldado - Hora del joyero
Diferencia soldado = Hora del joyero - Hora del soldado
HSA = Diferencia soldado
HS1 = 1440-3
HS2 = 1440
HJA = Diferencia joyero
HJ1 = 1440-1
HJ2 = 1440
INITIAL TIME = 0
FINAL TIME = 15
TIME STEP = 1

```

En este caso el resultado en formato gráfico no es muy útil ya que nos solicitan un dato un una fecha determinada, no su evolución histórica.

Utilizaremos los iconos



que se hallan en la parte izquierda de la pantalla.

Los resultados de la simulación en formato tabla vertical de salida, nos indican que al cabo de 15 días la diferencia será de 31 minutos.

Table Time Down		
Time (Day)	"Hora del soldado"	Hora del soldado
0		0
1	Runs:	-3
2	Current	-4
3		-7
4		-8
5		-11
6		-12
7		-15
8		-16
9		-19
10		-20
11		-23
12		-24
13		-27
14		-28
15		-31

4.22. EL EFECTO MARIPOSA

En el proceso de creación de un modelo de simulación es frecuente encontrar que los elementos del sistema se comportan de manera sorprendente e incluso totalmente inesperada. También puede ocurrir que los cambios que efectuamos en las condiciones iniciales produzcan efectos contrarios o muy distintos a los previstos, y aún más, que pequeños cambios en los valores iniciales generen grandes diferencias en el comportamiento de los elementos del sistema.

Quizás sin saberlo hemos creado un modelo de simulación con una estructura y una forma de relación entre variables tal que, bajo determinadas condiciones, presenta una forma de comportamiento que se conoce como caos. Una definición del caos establece que es "un comportamiento aperiódico en un sistema determinista que muestra gran sensibilidad respecto a las condiciones iniciales".

No es necesario que el modelo de simulación tenga un aspecto extremadamente complejo, con muchas variables, parámetros y retroalimentaciones. Los numerosos estudios realizados respecto al tema establecen que con tres ecuaciones diferenciales y una no-linealidad en alguna de ellas tenemos las condiciones necesarias para que el sistema presente bajo ciertas condiciones un comportamiento caótico.

En las últimas décadas del siglo XX la Teoría del Caos ha despertado considerable interés, ya que muestra la realidad interconectada que nos rodea y llena de bucles de retroalimentación, donde cada elemento integrante actúa para modificar el comportamiento del medio que la rodea, pero no lo hace en forma independiente sino obedeciendo a un comportamiento integrado del conjunto. Esta teoría es particularmente útil para abordar el estudio de los fenómenos sociales, siempre complejos y difíciles de resolver en términos de relaciones lineales causa-efecto.

Afortunadamente hay ejemplos de fenómenos físicos o de sistemas puramente matemáticos que facilitan la comprensión de los comportamientos caóticos antes de pasar a situaciones mucho más difíciles de modelar, como son los fenómenos sociales. Entre ellos, el péndulo forzado como fenómeno físico o una ecuación diferencial de tercer orden como modelo matemático. Tenemos otro ejemplo aún más conocido por sus repercusiones cinematográficas, originado en el trabajo del meteorólogo Edward Lorenz, quien hace más de cuarenta años construyó un sistema de tres ecuaciones diferenciales con el objeto de modelar de manera sencilla el comportamiento meteorológico, con el cual logró una respuesta tan sorprendente como llamativa y que se conoce popularmente como el "Efecto mariposa".

En la década de 1960 el meteorólogo Edward Lorenz inició una serie de investigaciones orientadas a resolver el problema de la predicción meteorológica. Trabajando sobre una atmósfera bidimensional rectangular, cuya zona inferior está a una temperatura mayor que la zona superior, y partiendo de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y balance térmico, desarrolló un sistema simplificado formado por tres ecuaciones diferenciales, que pueden escribirse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}dx/dt &= a (y - x) \\dy/dt &= r.x - x.z - y \\dz/dt &= x.y - c.z\end{aligned}$$

Es importante observar que se trata de tres ecuaciones diferenciales que presentan dos no linealidades, los productos “ $x.y$ “ y “ $x.z$ ”. Por ello este sistema reúne las condiciones para que aparezcan comportamientos caóticos en sus variables de estado (las “variables de estado” se denominan Niveles en Dinámica de Sistemas).

Podemos representar estas ecuaciones con un modelo de simulación dinámica. No obstante es necesario tener en cuenta que las ecuaciones precedentes resultan de un proceso usual en el análisis de fenómenos físicos y químicos, consistente en la adimensionalización de las variables. Consecuencia de este proceso es la aparición de agrupaciones de parámetros (por ejemplo densidad, viscosidad, longitudes características) conocidas como números adimensionales, que en definitiva establecen relaciones entre las fuerzas impulsoras del cambio en el sistema en estudio, o sea de su dinámica.

El modelo creado está formado de tres Niveles, denominados Flujo Convectivo, Diferencia de Temperatura Horizontal y Diferencia de Temperatura Vertical, que dependen de sus respectivos Flujos, que son: Variación del flujo convectivo, Variación de temperatura horizontal y Variación de temperatura vertical. Por otra parte, existen tres parámetros adimensionales: el Número de Prandtl, que establece una relación entre la viscosidad y la conductividad térmica del fluido, el Número de Rayleigh, que cuantifica la transmisión de calor en una capa de fluido con producción interna de calor por radiación, y la Altura, que representa el espesor de la capa en estudio.

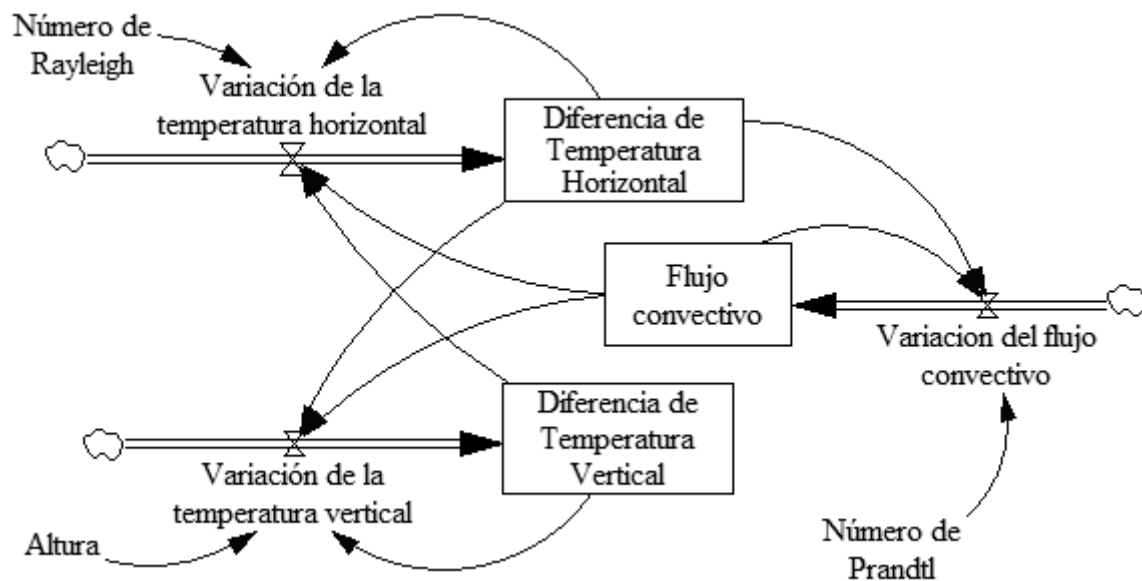
En esencia, el modelo establece la relación entre el flujo convectivo y las variaciones de temperatura en la masa de aire, la cual es de por sí compleja dado que una diferencia de temperatura produce un flujo convectivo, pero a su vez este flujo modifica la diferencia de temperatura, todo ello condicionado a las propiedades del medio estudiado, tales como viscosidad, densidad, o conductividad térmica, las cuales se encuentran agrupadas en los números adimensionales que aparecen como parámetros del modelo.

Se describe a continuación un modelo de simulación con los siguientes valores:

Número de Prandtl = 10
Número de Rayleigh = 28
Altura = 8/3

y los siguientes valores iniciales de los Niveles:

Flujo Convectivo = 0
Diferencia de Temperatura Horizontal = 1
Diferencia de Temperatura Vertical = 0



En Model Settings indicaremos los siguientes valores:

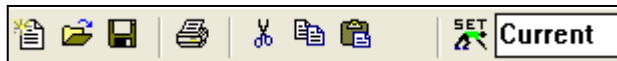
Initial Time = 0 Final Time = 50 Time Step = 0.0078125

Ecuaciones del modelo

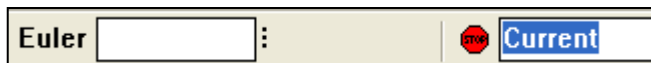
- (01) $\text{Altura} = 8/3$
- (02) $\text{Diferencia de Temperatura Horizontal} = \text{Variación de la temperatura horizontal}$
Initial value = 1
- (03) $\text{Diferencia de Temperatura Vertical} = \text{Variación de la temperatura vertical}$
Initial value = 0
- (04) $\text{Flujo convectivo} = \text{Variación del flujo convectivo}$
Initial value = 0
- (05) $\text{Número de Prandtl} = 10$
- (06) $\text{Número de Rayleigh} = 28$
- (07) $\text{Variación de la temperatura horizontal} = \text{Flujo convectivo} * (\text{Número de Rayleigh} - \text{Diferencia de Temperatura Vertical}) - \text{Diferencia de Temperatura Horizontal}$
- (08) $\text{Variación de la temperatura vertical} = \text{Flujo convectivo} * \text{Diferencia de Temperatura Horizontal} - \text{Altura} * \text{Diferencia de Temperatura Vertical}$
- (09) $\text{Variación del flujo convectivo} = \text{Número de Prandtl} * (\text{Diferencia de Temperatura Horizontal} - \text{Flujo convectivo})$

METODO DE INTEGRACION

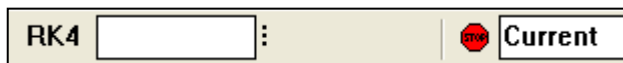
Los modelos van incorporando en el cálculo del estado de los Niveles un pequeño error en cada período de la simulación. Cuando deseamos minimizar este error podemos utilizar el método de integración de Runge Kutta. Para seleccionar este método de integración, una vez que haya construido el modelo pulse en el icono SET.



La barra de los iconos se transformará de la siguiente forma:



Pulse sobre la palabra Euler hasta que aparezca RK4

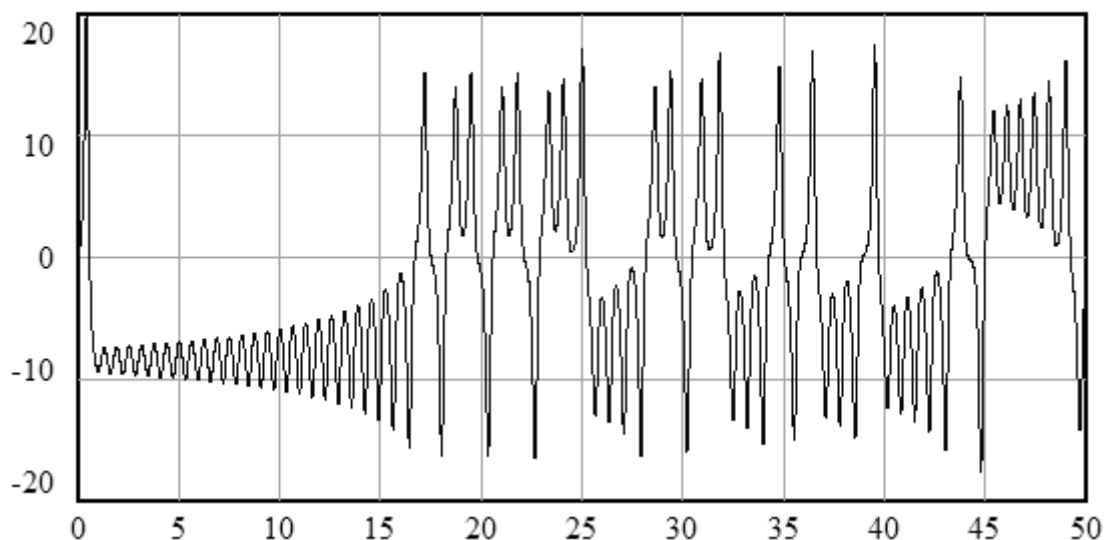


Ya puede ejecutar el modelo, pulse en el botón rojo y después en el icono RUN



Al realizar la simulación se observa un comportamiento sumamente complejo para las variables de estado o Niveles.

Flujo convectivo

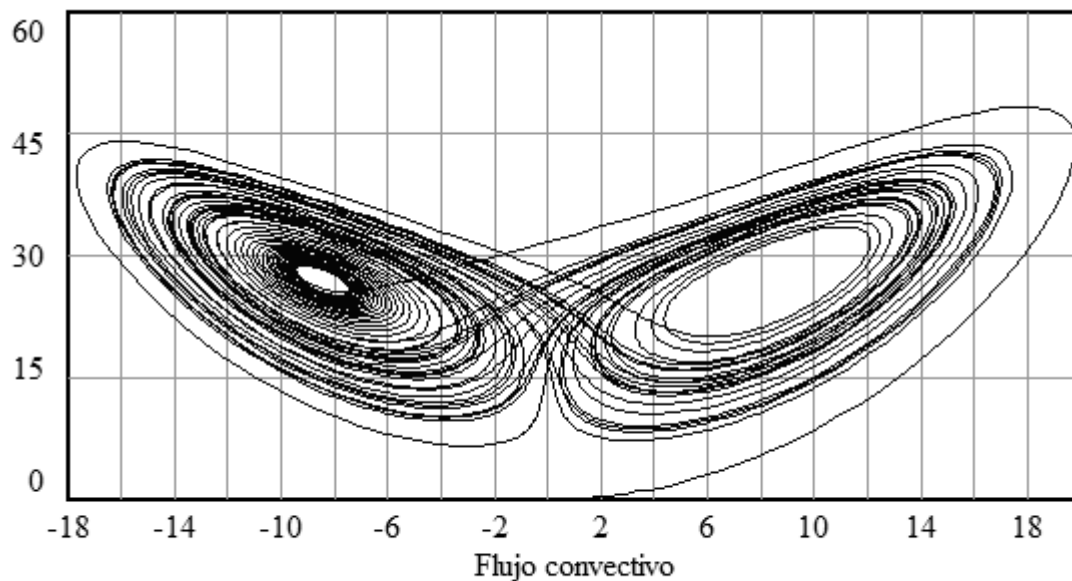


Podemos construir un gráfico XY que nos compare la evolución conjunta de dos variables, por ejemplo el gráfico del Flujo Convectivo (en el eje X) en relación a la Diferencia de Temperatura Vertical (en el eje Y). Para hacerlo acudimos al menú de la barra superior: Windows – Control Panel – New y seleccionamos las variables tal y como se indica en la siguiente figura:

Name	grafico1		Quick	Hide:	<input type="checkbox"/> Title	<input type="checkbox"/> X Label	<input type="checkbox"/> Legend
Title							
X-Axis	Flujo convectivo		Sel	X Label			
X-min		X-max		X-divisions	<input type="checkbox"/> LblInterval	Y-div	
Stamp			Comment				
Type	<input checked="" type="radio"/> Norm <input type="radio"/> Cum <input type="radio"/> Stack		<input type="checkbox"/> Dots	<input type="checkbox"/> Fill	Width	Height	
Scale	Variable	Dataset	Label	LineW	Units	Y-min	Y-max
<input type="checkbox"/>	Diferencia de Ten	Sel				0	60
		Sel					

En rigor, lo que estamos haciendo es graficando el espacio de fases. El espacio de fases es el espacio matemático formado por las variables que describen un sistema dinámico. Cada punto del espacio de fases representa un posible estado del sistema. La evolución en el tiempo del sistema se representa con una trayectoria en el espacio de fases.

El estudio del espacio de fases reviste un interés especial. Los sistemas disipativos presentan regiones del espacio de fases hacia la cual convergen las trayectorias que parten de una determinada región, llamada “cuenca del atractor”. Hay atractores predecibles, de estructura simple, como el punto o el ciclo límite. Pero hay otros atractores, conocidos como atractores extraños, en los cuales pequeñas diferencias en las posiciones iniciales conducen a posiciones que divergen totalmente. Este es precisamente el caso del atractor de Lorenz, con su curiosa forma similar a una mariposa.



Diferencia de Temperatura Vertical : current

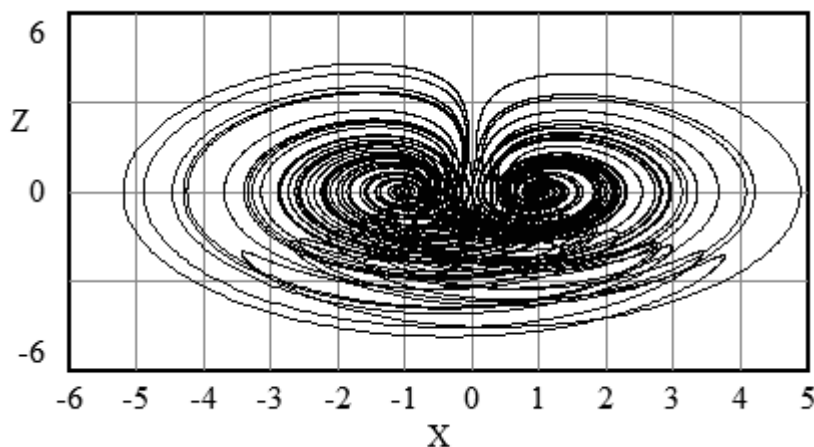
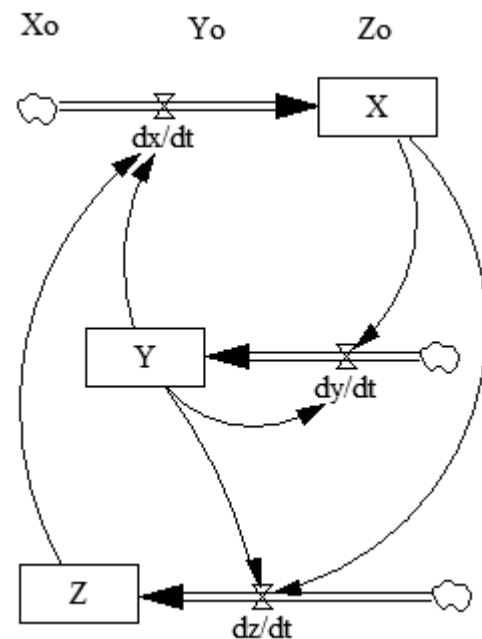
Es probable que las evoluciones temporales de las variables, en general complejas, no permitan sacar conclusiones rápidas ni efectuar predicciones válidas, pero el análisis del espacio de fases si nos permite ver hacia donde converge el estado del sistema, y entre que valores máximos y mínimos de sus variables evoluciona. Todo esto constituye una información de gran valor cuando se aborda el estudio de las complejas situaciones que caracterizan al mundo en que vivimos.

Edward Lorenz descubrió este inesperado comportamiento en 1963, cuando efectuaba las primeras simulaciones con el modelo que estaba estudiando. Sin proponérselo, había desarrollado un valioso ejemplo práctico de comportamiento caótico, que venía a afirmar lo que ya se había planteado en forma teórica muchos años antes. En 1890 Henri Poincaré publicó un artículo describiendo el hecho de que el sistema sol-tierra-luna no puede ser explicado bajo la mecánica tradicional. En sus palabras: "sucede que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales impactan grandemente en el fenómeno final. Un pequeño cambio al principio provoca enormes errores al final. La predicción se vuelve imposible". Posteriores estudios acerca del tema han permitido desarrollar numerosos ejemplos de sistemas físicos, químicos, biológicos y matemáticos que presentan este fenómeno de impredecibilidad, el cual ha sido llamado "caos determinista".

Hallamos un buen ejemplo en el libro de Julien Sprott titulado "Chaos and Time-Series análisis" en el cual propone entre otros un sencillo modelo con tres variables, representado por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} dx/dt &= y*z \\ dy/dt &= x-y \\ dz/dt &= 1-x*y \end{aligned}$$

Se omiten las ecuaciones del modelo, por su gran similitud con las descritas en el modelo de Edward Lorenz. Pruebe el lector con valores iniciales de X, Y y Z = 1, observará una total estabilidad y después tome el valor inicial de Y=0.99 y obtendrá la gráfica siguiente.



La visión sistémica y las poderosas herramientas de cálculo existentes permiten analizar muy rápidamente los problemas de comportamiento caótico, con la ventaja de disponer de una clara imagen visual de la estructura del sistema y sus interrelaciones. Asimismo, es inmediata la construcción de los espacios de fases y la búsqueda de atractores, lo cual no debe ser visto como un mero ejercicio matemático.

4.23. ANÁLISIS DEL TURISMO DE INVIERNO

La pequeña población de Blancas Colinas se halla situada en la cordillera de los montes Pirineos del norte de España. Si bien hace años la actividad forestal era la principal fuente de ingresos, desde los años 70, con la apertura de las pistas de esquí, ha sufrido una radical transformación siendo hoy en día la actividad turística la mayor fuente de actividad e ingresos para sus habitantes.

La gestión del fenómeno turístico plantea importantes retos a la gestión municipal. De ser un fenómeno minoritario para personas de alto poder adquisitivo en los años 70, ha pasado a ser un fenómeno de masas para personas con un poder adquisitivo cada vez menor. No han sido ajenos a este fenómeno los mismos habitantes de la ciudad que han permitido una importante construcción de hoteles para atender la estancia en la ciudad de las personas que acuden a las pistas de esquí. La ciudad dispone de 10 hoteles con capacidad para 200 personas cada uno.

El municipio ofrece servicios públicos tanto las personas que acuden a las pistas de esquí y se hospedan en hoteles, como las que no se hospedan. Los hoteleros presionan para que el municipio mejore las infraestructuras de todo tipo, aparcamientos públicos, centros de atención médica, parques y jardines, estado de las calles y accesos a la ciudad, etc. Si bien las finanzas públicas tienen en la actividad turística una importante fuente de ingresos también representa una importante fuente de gastos.

El municipio desea disponer de un instrumento que le permita evaluar los efectos de la actividad turística en sus finanzas para realizar simulaciones de escenarios y políticas futuras. Vamos a crear un modelo que contemple tanto la problemática de la gestión municipal como la del sector hotelero, para así poder identificar los aspectos clave del sistema formado por ambos, y simular diferentes alternativas. Es importante recordar que varios modelos pueden ser correctos para representar una misma realidad, y que lo importante es que sean útiles para tomar decisiones sobre el problema estudiado.

Se construye un modelo que nos muestra la evolución anual, con 3 áreas diferentes:

AREA DE TURISTAS

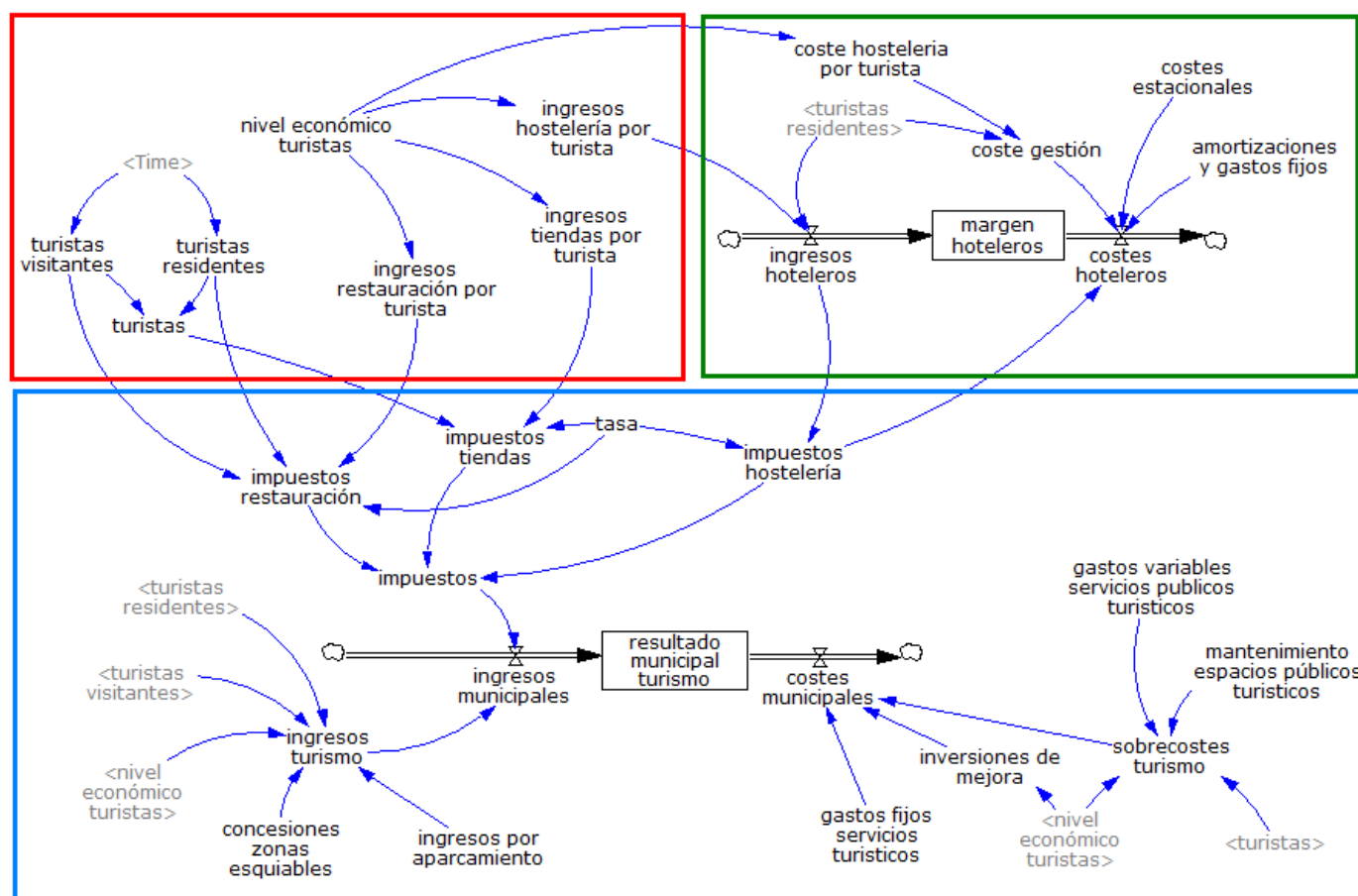
Incluye como elementos los turistas residentes, que son los que se hospedan en hoteles, y los turistas visitantes que son los que no se hospedan en hoteles del municipio, y lo hacen en poblaciones cercanas. Incluye el “nivel económico de los turistas” que es un indicador del nivel medio de renta de las personas que acuden a las pistas de esquí. También incluye los ingresos en restauración, tiendas y hostelería que aportan los turistas.

AREA DE HOTELES

Se incluyen los elementos que influyen en la evolución del margen de los hoteleros, sus ingresos y sus costes. Los costes se detallan en costes de gestión de los turistas, costes estacionales, amortizaciones y gastos fijos e impuestos a la hostelería.

AREA MUNICIPIO

Se incluyen los aspectos esenciales que influyen en los ingresos y gastos del municipio por el turismo. Como ingresos se incluyen los procedentes de impuestos por restauración, tiendas y hostería, así como los procedentes de otras actividades como son las concesiones a zonas esquiabiles, y a los ingresos por aparcamiento. Como costes vinculados al turismo se incluyen los gastos fijos y variables de servicios turísticos, mantenimiento extraordinario y el presupuesto habitual de inversiones de mejora.



Aspectos a destacar en la construcción del modelo:

SHADOW VARIABLES

Al objeto de simplificar la presentación del modelo se utilizan las “Shadow Variables”, éstas no son más que duplicados de la variable original que se repiten en diversas partes del modelo.

Pulsar el icono



y escoger del desplegable que aparece el elemento que deseamos duplicar.

Para modificar la ecuación de un elemento duplicado, es necesario modificar el elemento original, ya que no es posible hacerlo sobre el duplicado. Si se desea suprimir un elemento duplicado utilizar el icono de Cortar, no el de Borrar, ya que en este último caso también suprime el original.


USO DE LA FUNCION TIME

En ocasiones deseamos definir la evolución de un elemento del sistema a determinados periodos de tiempo, es decir deseamos introducir el Tiempo como variable del sistema. En este caso pulsamos el mismo icono que hemos empleado para crear las Shadow Variables y ahí encontraremos la variable Time, la seleccionamos y la podremos utilizar como un elemento cualquiera del sistema.

Si hemos definido el horizonte temporal del periodo 0 al 100, la variable Time tomará los valores 0, 1, 2, 3, etc. En cambio el modelo trabaja desde el periodo 2000 al 2020, la variable Time valdrá 2000, 2001, 2002, etc.

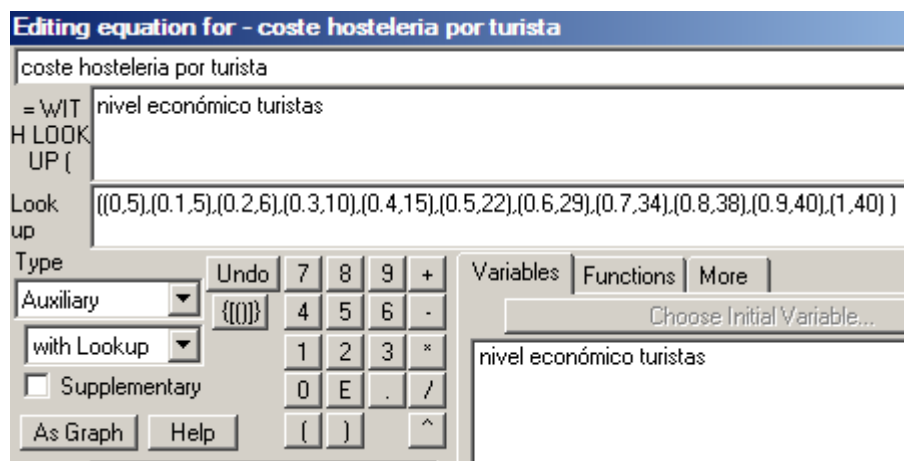
RECUADROS

En ocasiones deseamos delimitar determinadas zonas del modelo para obtener mayor claridad. Estas zonas corresponden a agrupaciones de elementos que tienen características comunes.

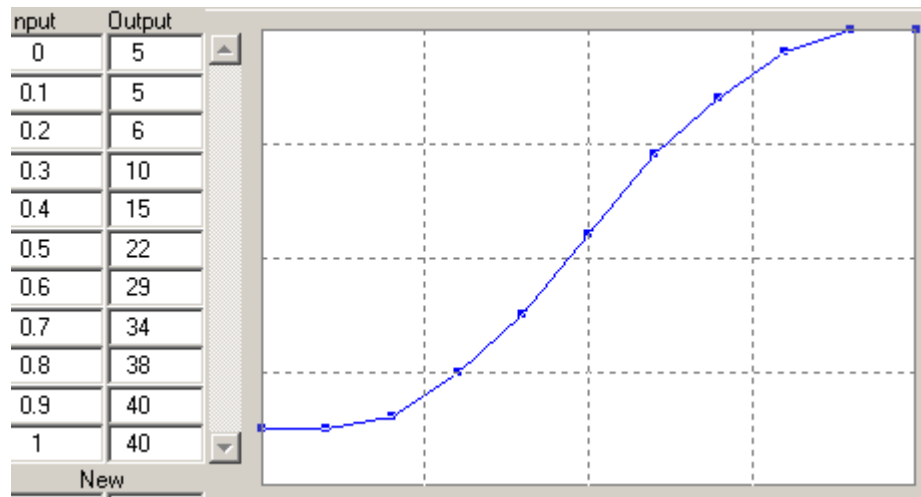
Para crear estos recuadros pulsaremos el icono  , después pulsaremos sobre la pantalla donde tenemos el modelo, y en la ventana que se nos abra seleccionaremos la opción Box, en Shape Color escogeremos el color que deseamos, y en Thickness el grueso del trazo. A continuación pulsaremos OK y ajustaremos el tamaño del recuadro.

TABLAS

Para mostrar la relación que existe entre dos variables, una independiente y la otra dependiente, acudimos a las ecuaciones. En ocasiones no hallamos una ecuación aritmética que represente esta relación y utilizamos una Tabla. Las Tablas son un conjunto de puntos que muestran el valor que toma la variable dependiente cuando la variable independiente diferentes valores. Así el punto (40,100) representa que consideramos que cuando la variable independiente toma el valor 40, la variable dependiente toma el valor 100.



En este caso consideramos que el “coste hostelería por turista” es la variable dependiente, que es función de la variable independiente “nivel económico turistas”. Para representar esto en el modelo, al escribir la ecuación del “coste hostelería por turista” seleccionamos el Type = Auxiliary with Lookup. En la zona superior seleccionamos la variable independiente, en este caso el “nivel económico turistas”, y pulsamos el botón de As Graph para introducir los valores que definen la relación entre ambas variables.



PARAMETROS DEL MODELO

Al hacer File – New Model y crear el modelo definimos los siguientes parámetros:
 INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 365 Units for time = día TIME STEP = 1
 o los modificamos después con la opción Model - Settings

ECUACIONES DEL MODELO

- (01) amortizaciones y gastos fijos= 6500
 Units: €/día
 Capacidad máxima de 2.000 turistas residentes = 2.000 camas = 1.000 habitaciones
 ; coste inmovilizado 60.000 € / habitación = 60.000.000 € inmovilizado hotelero;
 amortización en 25 años = 2.400.000 € de gastos amortización anual = 6.500 €
 gastos amortización diaria
- (02) concesiones zonas esquiabiles= 1000
 Units: €/día
 Ingresos municipales por licencias de explotación y permisos
- (03) coste gestión= turistas residentes*coste hosteleria por turista
 Units: €/día
- (04) coste hosteleria por turista = WITH LOOKUP (nivel económico turistas
 (0,5),(0.1,5),(0.2,6),(0.3,10),(0.4,15),(0.5,22),(0.6,29),(0.7,34),(0.8,38),
 (0.9,40),(1,40)
 Units: €/turista/día

- (05) $\text{costes estacionales} = \text{STEP}(2000,0) - \text{STEP}(2000,90) + \text{STEP}(2000,330) - \text{STEP}(2000,365)$
 Units: €/dia
 Refuerzo de personal auxiliar y de seguridad. 10 hoteles x 4 personas = 40 personas x 50 € /dia = 2.000 €/dia - Meses: enero, febrero, marzo y diciembre. Deben contratarse por meses.
- (06) $\text{costes hoteleros} = \text{costes estacionales} + \text{coste gestión} + \text{impuestos hostelería} + \text{amortizaciones y gastos fijos}$
 Units: €/dia
- (07) $\text{costes municipales} = \text{inversiones de mejora} + \text{gastos fijos servicios turísticos} + \text{sobrecostes turismo}$
 Units: €/dia
- (08) $\text{gastos fijos servicios turísticos} = 500$
 Units: €/dia
 Amortización y otros gastos fijos de servicios turísticos
- (09) $\text{gastos variables servicios públicos turísticos} = 3$
 Units: €/(dia*turista)
 Servicio de información al turismo, dotación sanitaria, folletos, etc.
- (10) $\text{impuestos} = \text{impuestos hostelería} + \text{impuestos restauración} + \text{impuestos tiendas}$
 Units: €/dia
- (11) $\text{impuestos hostelería} = \text{tasa} * \text{ingresos hoteleros}$
 Units: €/dia
- (12) $\text{impuestos restauración} = \text{ingresos restauración por turista} * (\text{turistas visitantes} + (\text{turistas residentes}/2)) * \text{tasa}$
 Units: €/dia
- (13) $\text{impuestos tiendas} = (\text{ingresos tiendas por turista} * \text{turistas}) * \text{tasa}$
 Units: €/dia
- (14) $\text{ingresos hostelería por turista} = 85 * \text{nivel económico turistas}$
 Units: €/(dia*turista)
 Ingresos por turista y día en habitación hotelera, sin incluir ingresos adicionales de restauración y otros servicios
- (15) $\text{ingresos hoteleros} = \text{ingresos hostelería por turista} * \text{turistas residentes}$
 Units: €/dia
- (16) $\text{ingresos municipales} = \text{impuestos} + \text{ingresos turismo}$
 Units: €/dia
- (17) $\text{ingresos por aparcamiento} = 5$

Units: $\text{€}/(\text{dia} \cdot \text{turista})$

5 euros por turista y día, ya sea por aparcamiento en coche propio o por tomar el transporte público a las zonas esquiabiles

- (18) ingresos restauración por turista = $30 \cdot \text{nivel económico turistas}$
Units: $\text{€}/(\text{dia} \cdot \text{turista})$
- (19) ingresos tiendas por turista = $15 \cdot \text{nivel económico turistas}$
Units: $\text{€}/(\text{dia} \cdot \text{turista})$
- (20) ingresos turismo = concesiones zonas esquiabiles + ingresos por aparcamiento*
(turistas residentes + turistas visitantes) * nivel económico turistas
Units: $\text{€}/\text{dia}$
- (21) inversiones de mejora = $(\text{STEP}(20000,95) - \text{STEP}(20000,180)) \cdot \text{nivel económico turistas}$
Units: $\text{€}/\text{dia}$
Las obras de mejora se realizan cuando el número de turistas es bajo para evitar molestias, y así se aprovecha el buen tiempo.
- (22) mantenimiento espacios públicos turisticos = 2
Units: $\text{€}/(\text{dia} \cdot \text{turista})$
Gastos de limpieza y vigilancia
- (23) margen hoteleros = +ingresos hoteleros - costes hoteleros
Initial value: 0
Units: €
Tomamos 0 como valor al inicio del año.
- (24) nivel económico turistas = 0.5
Units: Dmnl
Un valor 0 es un turismo básico, un valor 1 representa al turismo de categoría alta.
- (25) resultado municipal turismo = +ingresos municipales - costes municipales
Initial Value: 0
Units: €
Tomamos 0 como valor al inicio del año.
- (26) sobrecostes turismo = mantenimiento espacios públicos turisticos * turistas * $(1/\text{nivel económico turistas})$ + gastos variables servicios públicos turisticos * turistas
Units: $\text{€}/\text{dia}$
Se considera que un mayor nivel económico reduce los costes de mantenimiento de los espacios públicos turísticos, porque hacen uso de espacios privados.
- (27) tasa = 0.15
Units: Dmnl
Porcentaje sobre la facturación que recibe el municipio.

(28) turistas = turistas residentes + turistas visitantes

Units: turista

(29) turistas residentes = WITH LOOKUP (Time

(0,2000),(30,2000),(35,1800),(60,1800),(65,1200),(90,1200),(95,200),
(175,200),(180,300),(240,300),(245,200),(295,200),(300,1200),(330,1200),
(335,2000),(365,2000)

Units: turista

Número de turistas en función del día del año. La temporada alta, cuando hay más visitantes, es en los meses de invierno (en España de diciembre a marzo).

(30) turistas visitantes = WITH LOOKUP (Time

(0,3000),(30,3000),(35,1000),(60,1000),(65,600),(90,600),(95,100),(295,100),(300,500),
(330,500),(335,2000),(365,2000)


Units: turista


Número de turistas en función del día del año. La temporada alta, cuando hay más visitantes, es en los meses de invierno (en España de diciembre a marzo).


UNIDADES

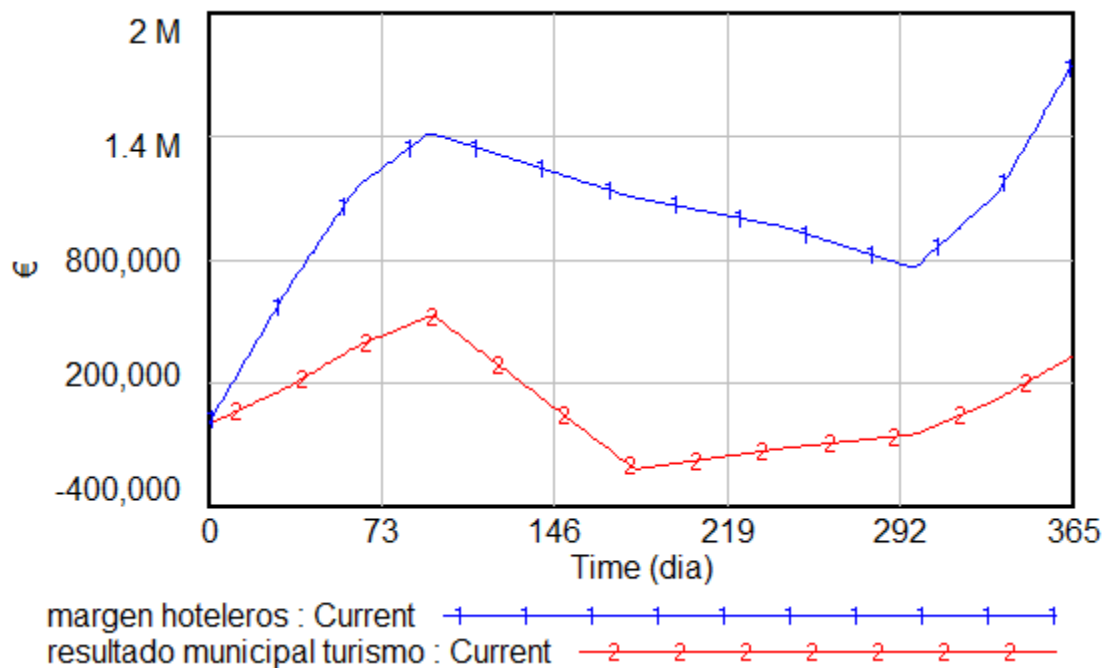
Para conseguir un modelo lo más simplificado posible algunos parámetros (como los 15 € de ingresos en tiendas por turista) se incluyen dentro de las ecuaciones en vez de crear una variable adicional. Esto provoca que el Units Check no indique OK.

SIMULACION



Ejecute el modelo, para ello primero pulse el icono  , situado en la parte superior, la simulación es casi inmediata.


Con la tecla  pulsada pulse con el botón izquierdo del ratón sobre la variable ‘margen hoteleros’ y luego en ‘resultado municipal turismo’, verá que el nombre de ambas variables cambia a texto en blanco sobre fondo negro.

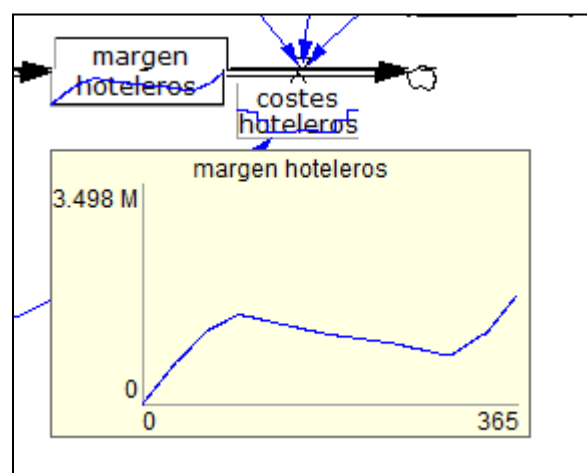
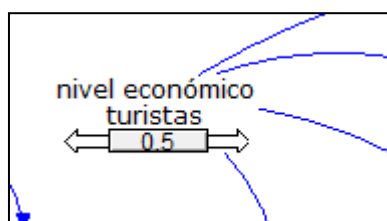
A continuación pulse sobre el  icono situado a la derecha. Se abre una ventana que muestra la evolución de las dos variables como se muestra en la figura siguiente.



A continuación podemos tener interés en simular el impacto de cambios en el ‘nivel económico de los turistas’ en la evolución de las variables del sistema. Para ello podemos abrir la ecuación de esta variable, modificar el valor de 0.5, volver a ejecutar el modelo y ver la evolución de las variables del sistema con el nuevo valor.

Tenemos una segunda opción que es pulsar el icono , al hacerlo se modifica el aspecto de la variables cuyos valores podemos variar de forma temporal (sin que cambien las ecuaciones del modelo). Pulsamos sobre ‘nivel económico de los turistas’ y cambiamos el valor. Pulsamos Intro y luego el icono , para poder ver el comportamiento de las variables que nos interesa.

La tercera opción es pulsar el icono , al hacer los elementos del sistema que son constantes aparecen con un cursor debajo del nombre. Al desplazar el cursor de ‘nivell económico de los turistas’ podemos observar como varían todas las variables del sistema. Si colocamos el cursor sobre una variable veremos la gráfica ampliada.





Área Física



4.24. DINÁMICA DE UN DEPÓSITO



Vamos a simular 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 el 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.

DIAGRAMA CAUSAL

En este sistema existen tres elementos a considerar, el contenido del depósito, la entrada de líquido y la salida de líquido. Dibuje un diagrama causal que recoja estas relaciones:

- 1) “a más entrada habrá más contenido (relación positiva)”
- 2) “a mayor salida habrá menos contenido (relación negativa)”
- 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 ha de dibujar un sistema con dos bucles negativos (que tienen un número impar de relaciones con signo negativo en cada bucle) que estabilizarán el sistema. Consulte la solución en la página siguiente.

Diagrama causal

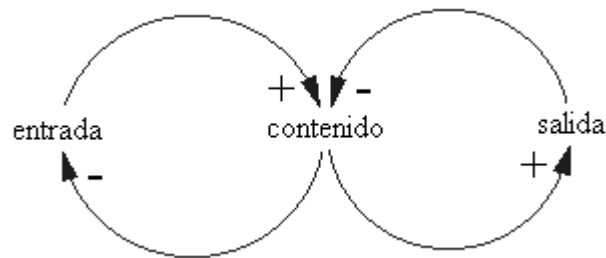


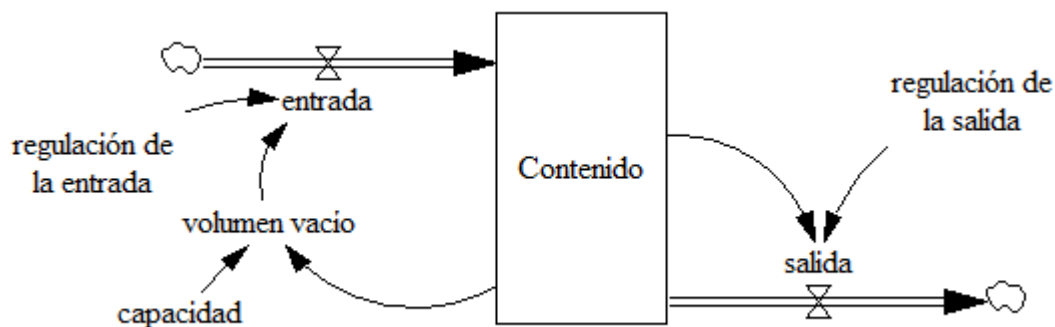
DIAGRAMA DE FLUJOS

El software del ordenador no puede ejecutar un modelo basado en el Diagrama Causal, necesita que se lo traduzcamos a un formato de Diagrama de Flujos o de Forrester.

El primer paso para dibujar el Diagrama de Flujos es localizar las variables que representan acumulaciones, que definiremos como Niveles, para hacerlo es fácil hacer una foto mental del sistema, y lo que aparece en la foto son estas variables. Sus unidades son kg., m², litros, personas, coches, ... y las representamos dentro de un rectángulo.

El segundo paso es localizar las variables que representan la variación de los Niveles, a estas variables las denominamos Flujos, sus unidades son las mismas que el Nivel que regulan y tienen además una componente temporal, son pues: kg/minuto, personas/hora, etc. Es posible que el Flujo se haya omitido en el Diagrama Causal y deba añadirse en el Diagrama de Flujos.

El resto de elementos del sistema reciben el nombre de Variables Auxiliares, y no es necesario emplear una simbología específica. Pueden ser constantes o variables.



EL MODELO

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).

NIVEL

Contenido = entrada-salida

Initial value: 50

Units: litros

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

FLUJOS

entrada= volumen vacio*regulación de la entrada

Units: litros/hora

La entrada es función del volumen 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 es propio de nuestro diseño del sistema.

salida = Contenido*regulación de la salida

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 es propio de como definimos el sistema.

volumen vacio = capacidad-Contenido

Units: litros

CONSTANTES

Capacidad = 100

Units: litros

regulación de la entrada= 0.10

Units: 1/hora

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

regulación de la salida= 0.10

Units: 1/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.

CONTROLES

FINAL TIME = 100 INITIAL TIME = 0 TIME STEP = 1 Units for time =hora

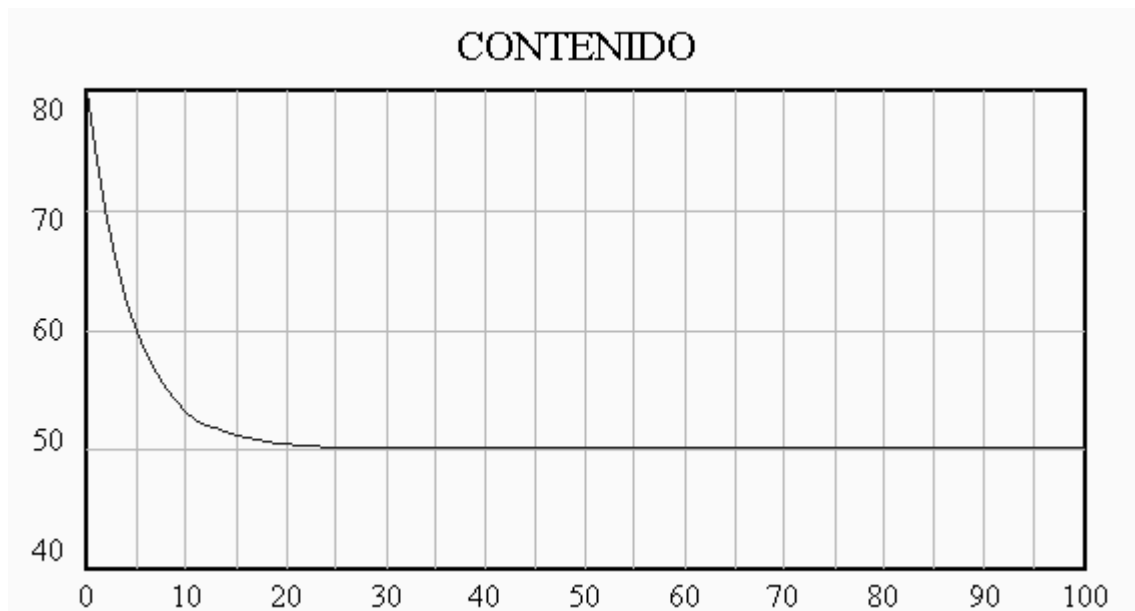
Los valores de las variables de control se pueden definir al inicio, cuando se pulsa File – New Model, o más adelante siguiendo la opción Model – Setings. Recuerde que la variable tiempo se puede escribir en español (hora, mes, día, ...)

SIMULACIONES

Simulación 1. ¿Qué comportamiento cabe 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?

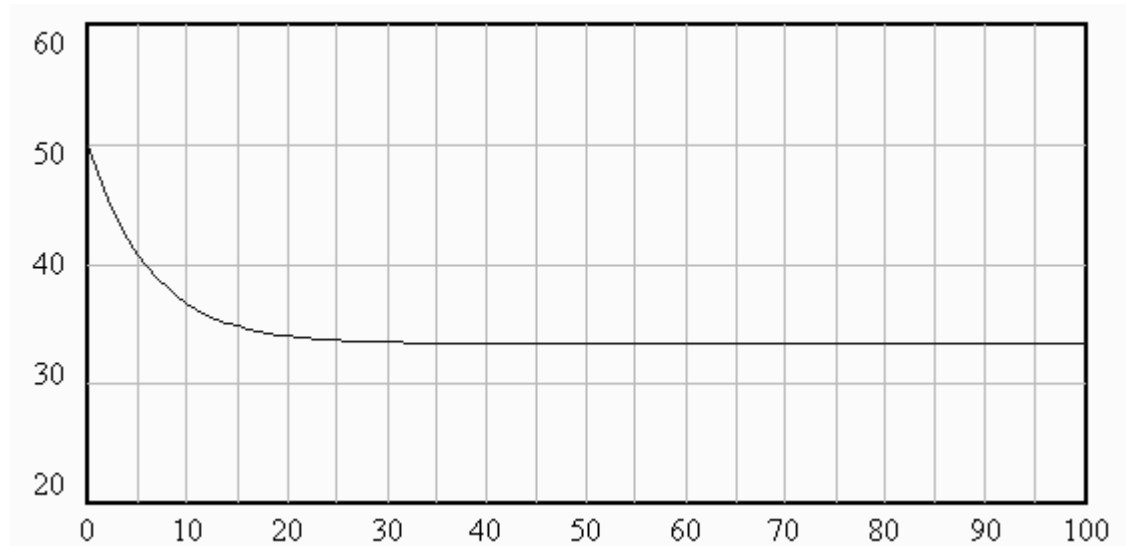
Si inicialmente el depósito se llenase a un ritmo de $1/10$ del volumen vacío del depósito ($50 / 10 = 5$), y siendo la salida de $1/10$ de su contenido el contenido ($50 / 10 = 5$) el contenido sería constante.

Simulación 2. ¿Qué sucede si inicialmente en el depósito hay 80 litros?

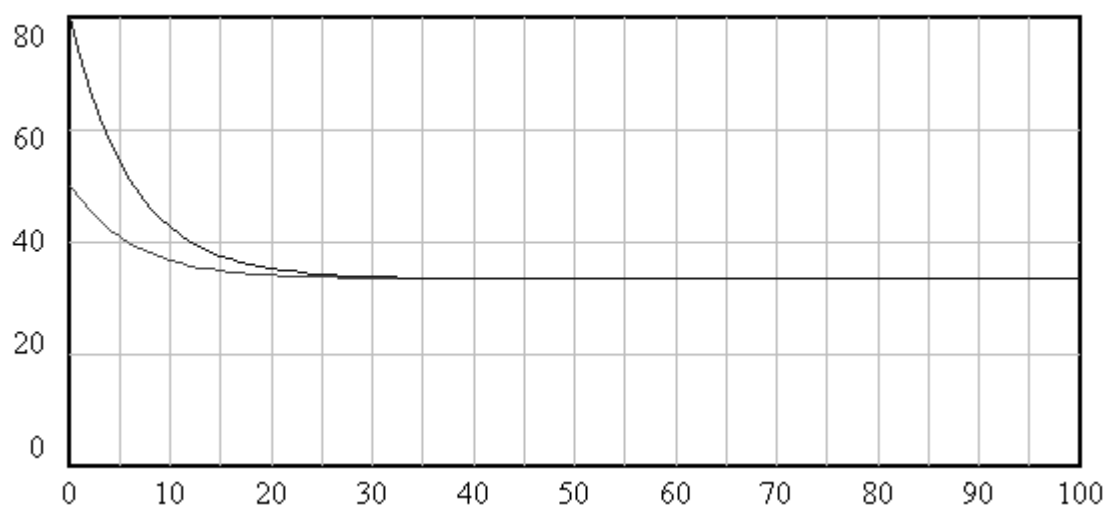
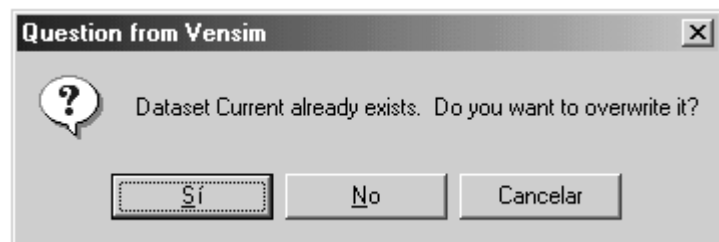


Si inicialmente en el depósito hay 80 litros, el depósito se vacía hasta alcanzar un contenido de 50 litros.

Simulación 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?



Si el volumen inicial es de 80 litros el volumen del depósito se estabiliza en el mismo valor, de 33,3 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.

4.25. ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS OSCILATORIOS



El estudio de los movimientos oscilatorios siempre ha sido motivo de conflicto, sobre todo para los alumnos. ¿Cuál es ese conflicto? En los cursos de Mecánica, hasta el estudio de los osciladores, se ven sistemas cuyo mayor grado de complejidad se da en casos con valores de aceleración constante. A partir de allí, dicha variable cinemática también cambia su valor en función del tiempo, lo que ocasiona en los alumnos cierto desconcierto. Desconcierto que aumenta cuando resuelven las ecuaciones diferenciales para hallar las variables cinemáticas (posición, velocidad y aceleración) y / o las variables dinámicas (cantidad de movimiento y fuerza), y pierden la capacidad de análisis del comportamiento del sistema desde el punto de vista físico, sobre todo cuando analizan el comportamiento de las variables que influyen – o no - en los citados movimientos.

Para tratar de solucionar esta situación, se propone una alternativa de estudio de los distintos Osciladores, utilizando la Dinámica de Sistemas como herramienta.

El Movimiento Oscilatorio Forzado

Se va a analizar el movimiento oscilatorio en una dimensión, que describe un sistema formado por un péndulo de resorte - un cuerpo de masa m , suspendido del extremo de un resorte ideal de constante elástica k -, cuando se lo perturba –se estira, o se comprime– respecto de su posición de equilibrio x_0 , una distancia x .

El movimiento oscilatorio forzado se produce cuando sobre un cuerpo actúa, además de una fuerza elástica, $-k \cdot x$ y una de rozamiento, $-b \cdot v_x$, una fuerza armónica del tipo:

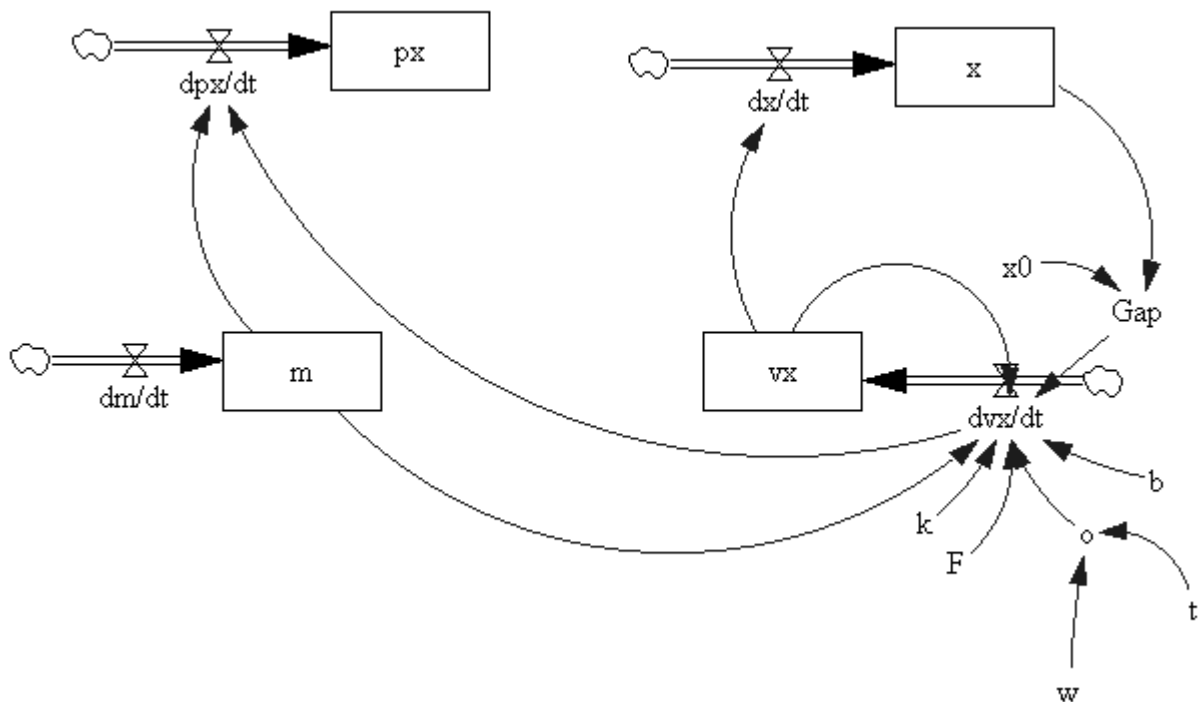
$$F(t) = F \cdot \cos (wt)$$

donde w es la frecuencia de variación de la fuerza, t el tiempo, y F su intensidad máxima.

La ecuación del movimiento resulta:

$$-k \cdot x - b \cdot [dx/dt] + F(t) = m \cdot [d^2x/dt^2]$$

El modelo del movimiento oscilatorio forzado se presenta a continuación:



Este modelo tiene 4 niveles:

- la cantidad de movimiento px , que se modifica por el flujo dpz/dt (o sea, la fuerza en x);
- la posición x , que se modifica por el flujo dx/dt (la velocidad en x);
- la velocidad vx , afectada por el flujo dvz/dt (la aceleración en x); y
- la masa m , afectada por el flujo dm/dt (en este modelo la masa no varía en el tiempo).

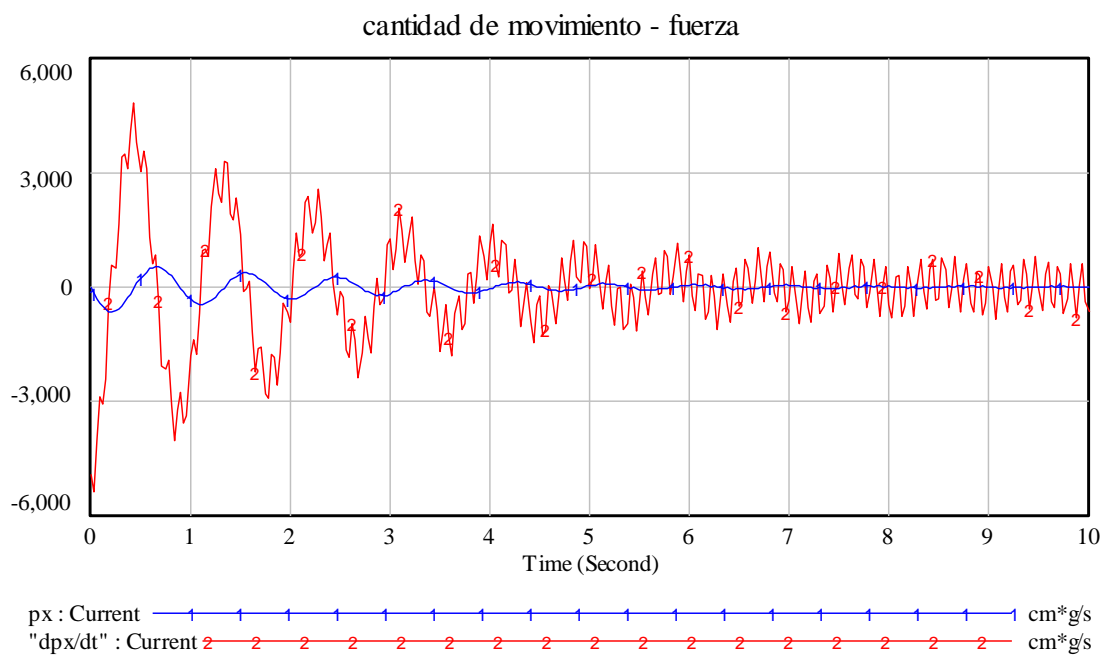
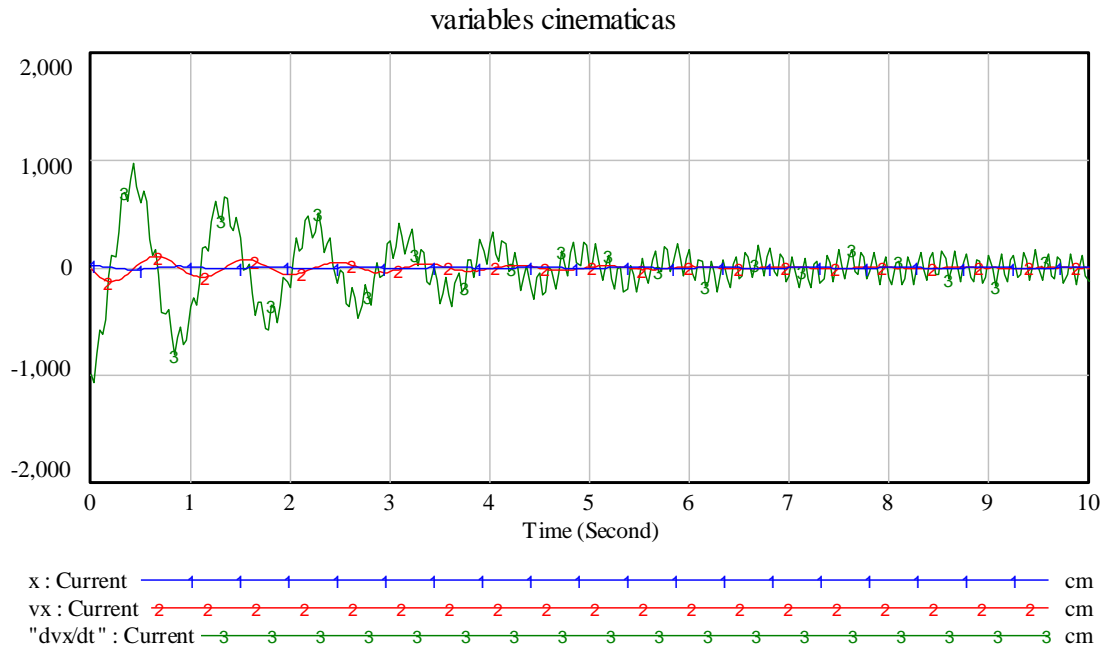
La aceleración está influenciada por las siguientes variables auxiliares:

- la constante elástica del resorte k ;
- la masa m ;
- la diferencia o Gap entre la posición x (nivel) y la posición de equilibrio x_0 ;
- la constante de amortiguamiento b ;
- la fuerza F ;
- la fase o , que es igual al producto de la frecuencia w y el tiempo t .

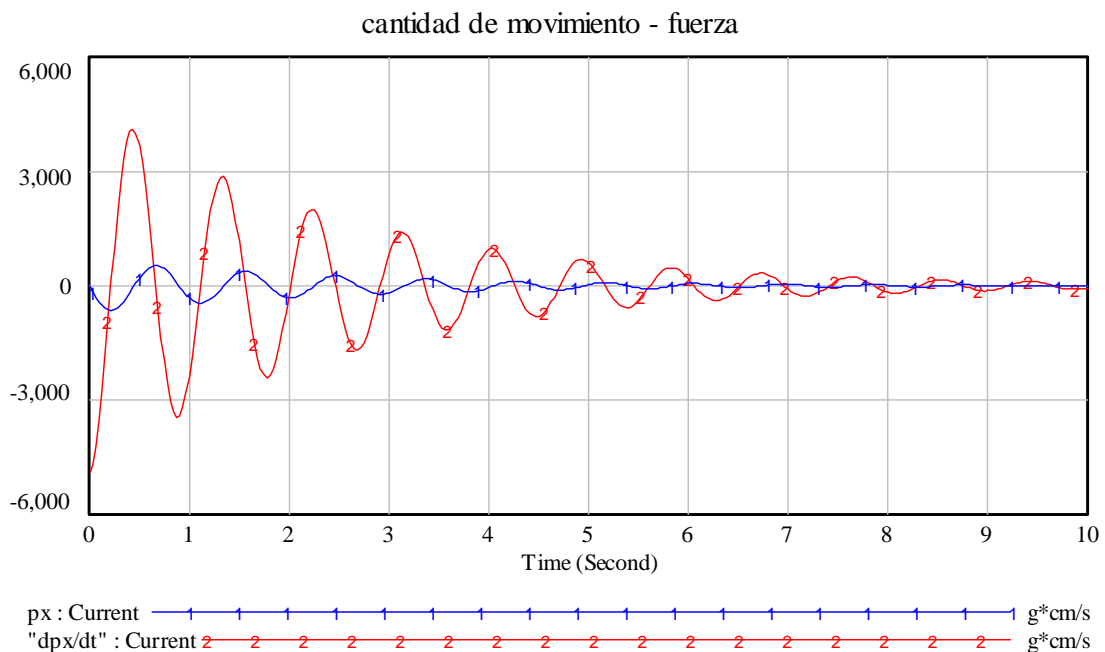
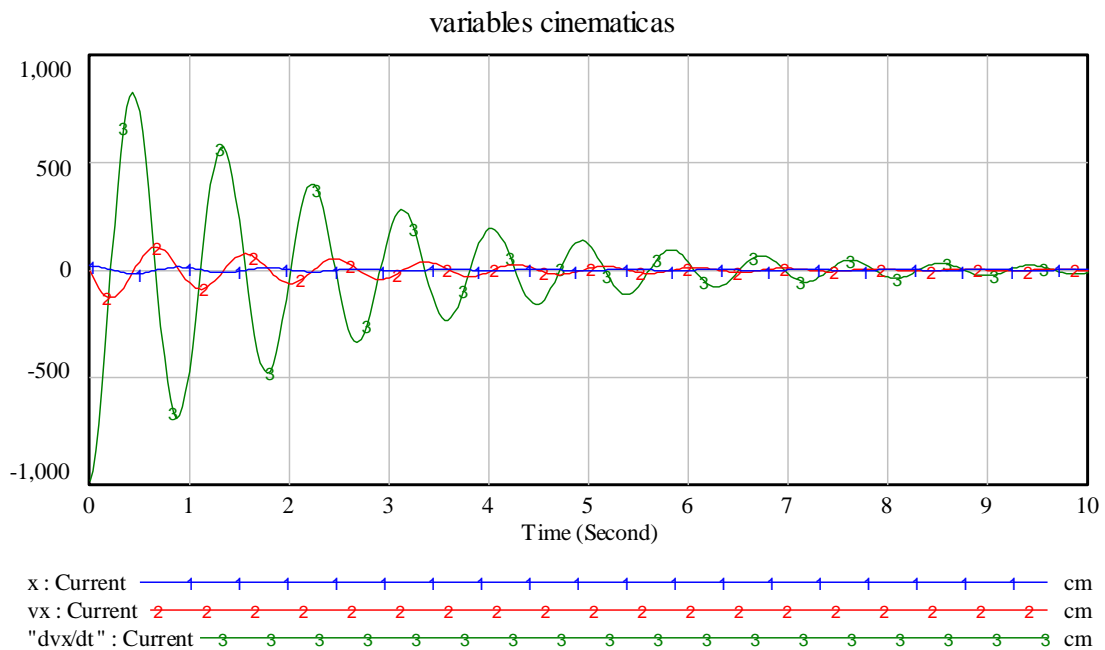
El modelo puede utilizarse para analizar las variables cinemáticas (posición, velocidad y aceleración), o dinámicas (cantidad de movimiento y fuerza).

Si bien se pueden analizar las variables en forma individual, se agrupan en dos gráficos: uno que involucra las cinemáticas, y otro para cantidad de movimiento y fuerza.

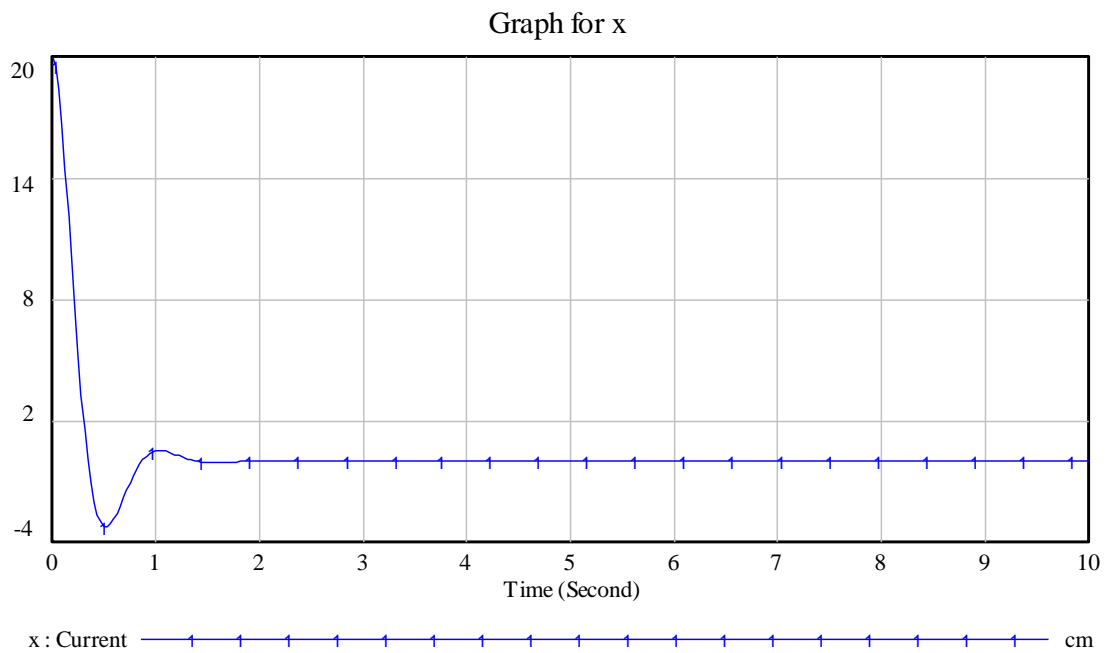
Como resultado de la simulación, las gráficas que se obtienen son las siguientes:



Si en este modelo le damos a F el valor de cero, se tendrá un movimiento oscilatorio amortiguado. Las gráficas obtenidas son las siguientes:



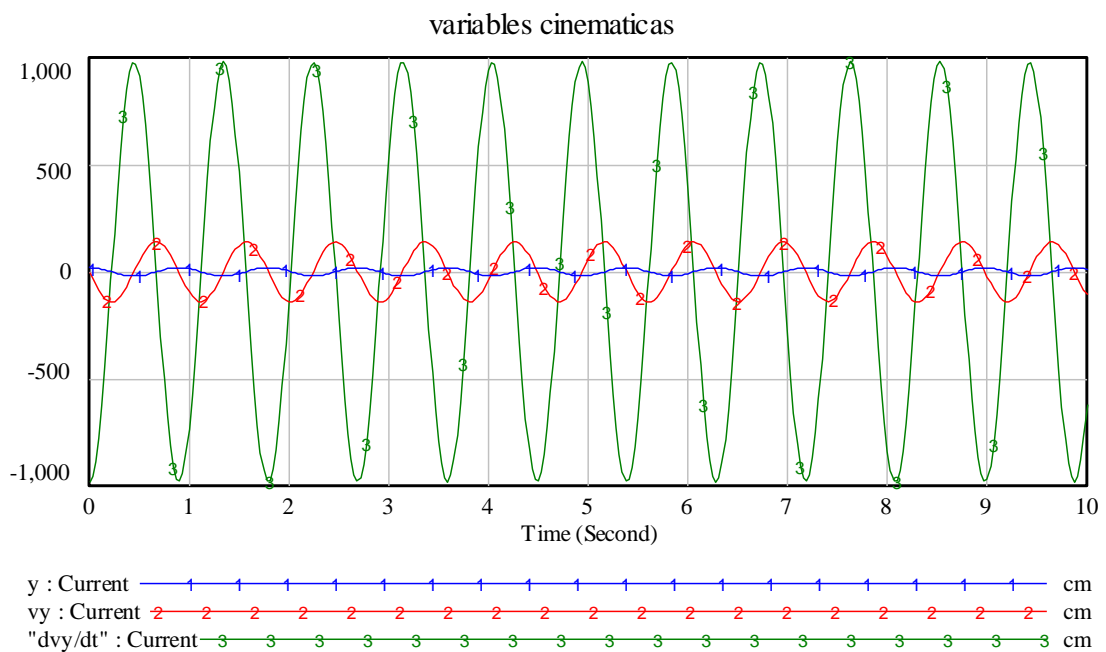
Incluso, tiene una ventaja adicional: se puede analizar si existe movimiento oscilatorio amortiguado. ¿Cómo se hace? Simplemente, cambiando el valor de la constante de amortiguamiento b , y realizando la simulación. El siguiente gráfico nos lo muestra.

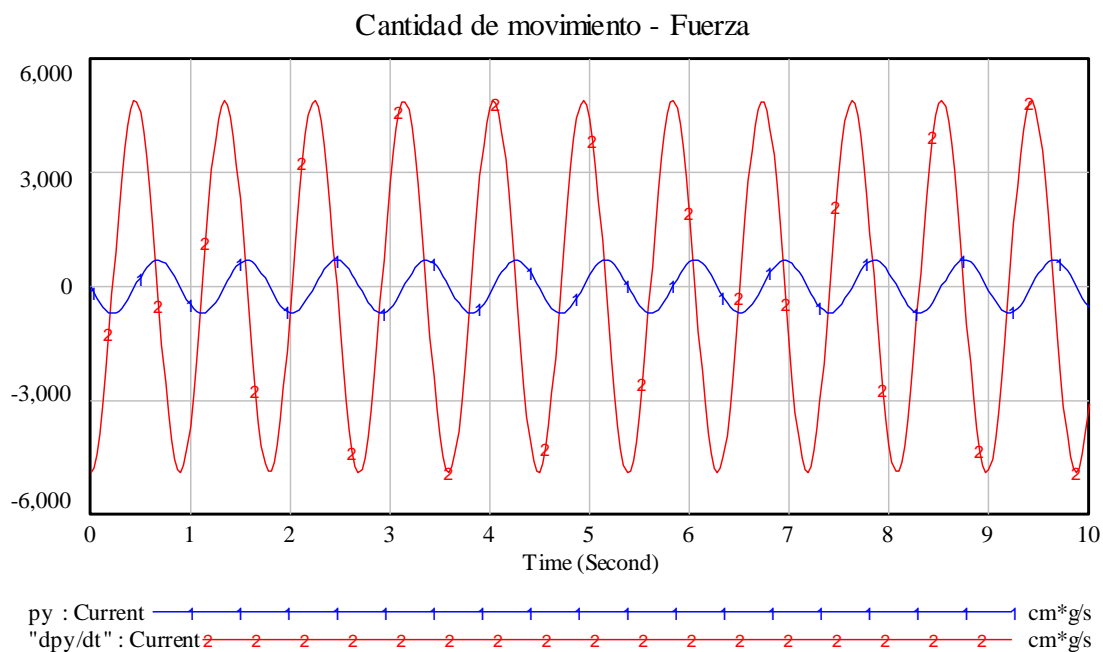


En conclusión, se puede analizar muy fácilmente con este modelo si existen oscilaciones para distintos valores de b .

Si al modelo del oscilador amortiguado se le da el valor de $b = 0$, se tendrá un movimiento oscilatorio armónico. Esto muestra claramente de la gran utilidad educativa que tiene la Dinámica de Sistemas.

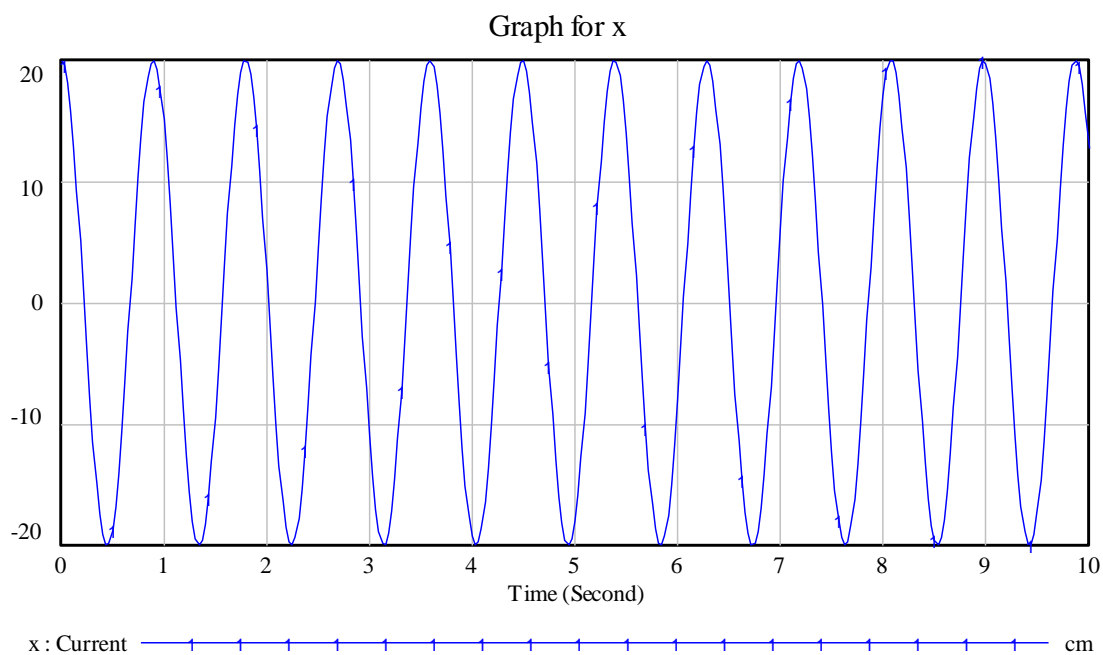
Las representaciones gráficas obtenidas para las variables elegidas se muestran a continuación.





Cambiando los valores de las variables que influyen en el movimiento, se puede analizar cómo se comporta el mismo. Por ejemplo, para el oscilador armónico simple, se puede vislumbrar el cambio en la amplitud, la longitud de onda, y la frecuencia (o el período, que es su recíproco) cuando se cambian los valores de k ó m en el modelo.

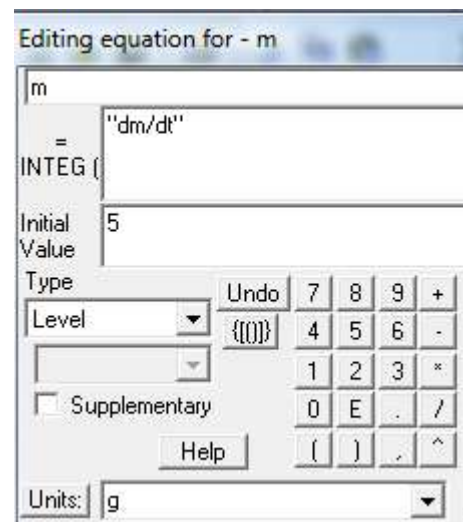
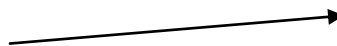
Las siguientes gráficas muestran los valores de la posición x en función del tiempo, de acuerdo a los valores del modelo original:



Indique en el Model – Setting: INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 10
TIME STEP = 0.03125 Units for time = s (segundos)

Las ecuaciones del modelo del oscilador forzado son las siguientes:

- (01) $b = 4$
Units: g/s
- (02) $dm/dt = 0$
Units: g/s
- (03) $dpx/dt = m \cdot dvx/dt$
Units: g * cm/s*s
- (04) $dvx/dt = Gap \cdot k/m - (b/m) \cdot vx + (F/m) \cdot \sin(o)$
Units: cm/s*s
- (05) $dx/dt = vx$
Units: cm/s
- (06) $F = 700$
Units: dyn
- (07) $Gap = x_0 - x$
Units: cm
- (08) $k = 245$
Units: dyn/cm
- (09) $m = dm/dt$
initial value: 5
Units: g
- (10) $o = w \cdot t$
Units: Dmnl (sin dimensiones)
- (11) $px = dp_x/dt$
initial value: '
Units: g*cm/s
- (12) $t = \text{RAMP}(1, 0, 10)$
Units: s
- (13) $vx = dvx/dt$
Initial value = 0
Units: cm/s
- (14) $w = 750$
Units: 1/s
- (15) $x = dx/dt$
Initial value = 20
Units: cm
- (16) $x_0 = 0$
Units: cm



Las gráficas anteriores se han realizado en el modelo modificaciones en los siguientes parámetros:

- Para la gráfica en donde no existe movimiento oscilatorio amortiguado, $b = 35 \text{ g/s}$
- Para la gráfica de x en función del tiempo en donde se modifica el valor de la masa, $m = 50 \text{ g}$
- Para la gráfica de x en función del tiempo en donde se modifica el valor de la constante elástica del resorte, $k = 500 \text{ dyn / cm}$.

Conclusiones

Podemos obtener del modelo creado las conclusiones siguientes:

- Cuando aumenta la masa, aumenta el período del movimiento oscilatorio armónico;
- Cuando aumenta la constante k , disminuye el período del citado movimiento .

En consecuencia, existe una relación directa entre el período de oscilación y la masa del péndulo de resorte, e inversa entre dicho período y la constante elástica del resorte. En consecuencia, se podría escribir:

$$T = m / k$$

La expresión matemática del período en función de la masa y de la constante elástica del resorte, se puede hallar mediante el procesamiento de los datos numéricos de la simulación, o a través de las ecuaciones diferenciales que resultan de la aplicación de la segunda ley de Newton.

Mediante este trabajo se ha intentado explicar el gran aprovechamiento educativo que se puede hacer usando la Dinámica de Sistemas para el análisis de los Movimientos Oscilatorios Forzado, Amortiguado y Armónico.

Empleando el mismo modelo, y modificando los valores de las variables según el caso a estudiar, se obtienen gráficas que facilitan enormemente el análisis, la comprensión y la discusión del sistema analizado.

4.26. DISEÑO DE UN REACTOR QUIMICO

Una característica distintiva de los procesos industriales es su estructura compleja, generalmente constituida por muchas etapas, cada una de las cuales consta de numerosos subcomponentes. Su descripción matemática genera ecuaciones que van desde las muy sencillas hasta las muy complicadas.

Se suma a esto la falta de un exhaustivo conocimiento de las características de los subcomponentes, y el elevado grado de interrelación entre las variables, generador de no linealidades que dificultan la resolución exacta de las ecuaciones.

De este modo, el diseño de plantas nuevas y la optimización de existentes, dos tareas inherentes a la actuación de los ingenieros de proceso y proyecto, requieren muchas veces de criterios intuitivos. Tampoco por razones de economía y seguridad es posible realizar excesivas simulaciones de laboratorio o a escala piloto, o experimentar con plantas existentes.

De este modo, el análisis sistémico y la creación de modelos de simulación dinámica aparecen como una forma muy atractiva de abordar el problema.

Características fisicoquímicas del proceso considerado

El presente modelo simula el comportamiento de un reactor discontinuo, perfectamente mezclado, de volumen constante, con un sistema de regulación de la temperatura mediante un serpentín interior, donde se lleva a cabo una reacción en fase gaseosa de primer orden, del tipo:



En la figura se muestra un esquema simplificado del reactor, con el agitador que asegura mezclado perfecto y el serpentín de enfriamiento, por el que circula una corriente de refrigerante a T_m , con un caudal suficiente para no experimentar un significativo cambio de temperatura.

Las ecuaciones que representan los balances de materia y energía son:

Balance de materia para el componente A:

$$dn_A / dt = -k n_A$$

donde

n_A = numero de moles de A en un tiempo t

k = constante de velocidad de reacción de primer orden, 1/hr, y depende de la temperatura en la forma $k = A_1 \cdot \exp(-B_1/T)$, donde A_1 y B_1 son propias de una cierta reacción y T la temperatura absoluta

Balance de energía:

$$C_v (dT/dt) = \Delta H_R (-k n_A) - U A (T - T_m)$$

Donde: C_v = capacidad calorífica de la mezcla contenida en el reactor, a volumen constante Btu / mol lb °F

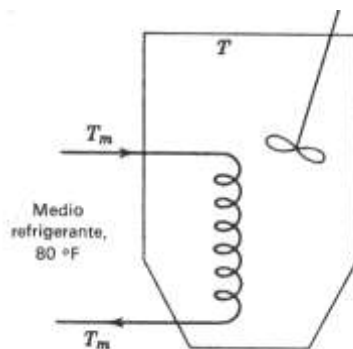
ΔH_R = calor de reacción Btu/mol-lb A

U = coeficiente global de transmisión de calor Btu/h ft² °R

T = temperatura del reactor, °R

T_m = temperatura del medio refrigerante, °R

A = área de transferencia de calor, provista por el serpentín, ft²



La reacción de conversión de A en los productos B y C es exotérmica, por lo que durante su desarrollo genera una cantidad de calor, que se puede calcular a partir de su calor de reacción, ΔH_R . De este modo, de no aplicarse un sistema de enfriamiento, la temperatura del reactor aumentará constantemente. Hay además otros factores que deben tenerse en cuenta.

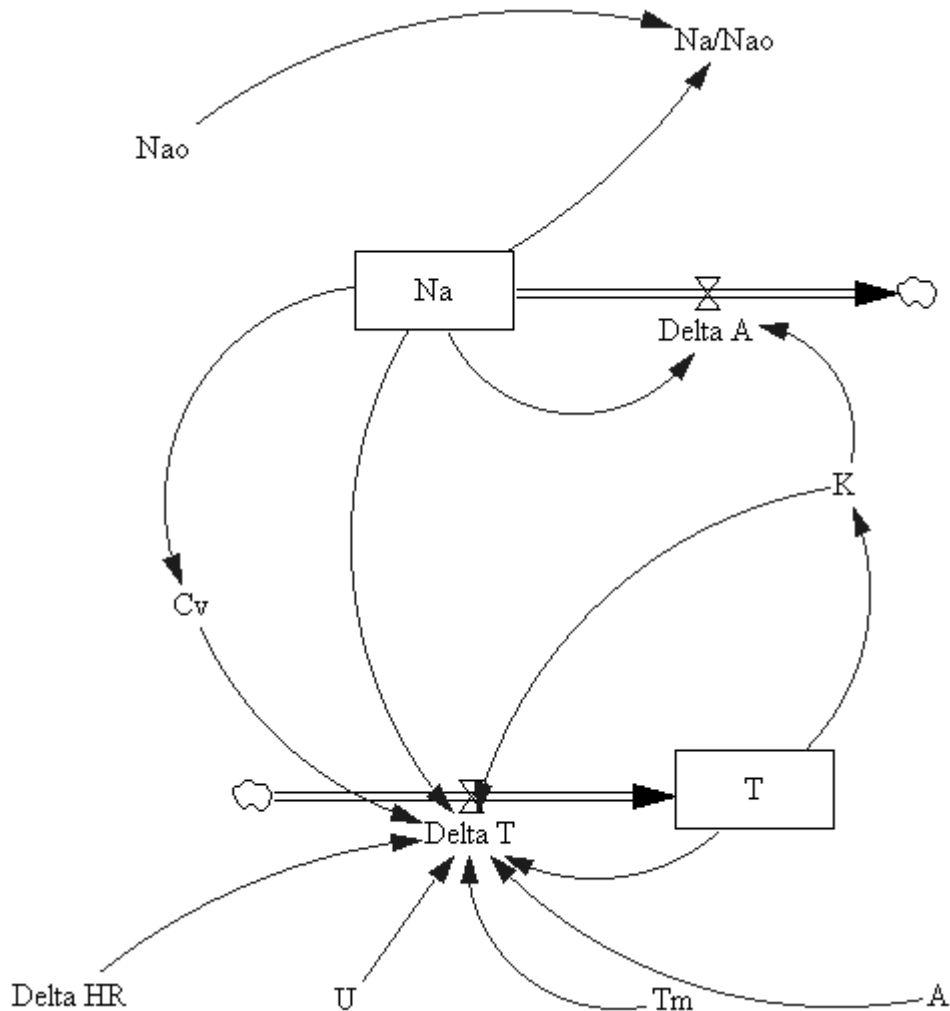
- 1) La elevación de la temperatura en el reactor está relacionada a la capacidad calorífica global de la mezcla contenida, y esta va variando con el avance de la reacción puesto que A es paulatinamente sustituido por B y C. Para una cierta composición en el reactor será:

$$C_v = n_A C_A + n_B C_B + n_C C_C$$

Donde los n_i son los moles de cada componente a un tiempo t , y las C_i son las capacidades caloríficas respectivas, consideradas constantes para cualquier valor de Temperatura. Dada una cierta estequiometría de reacción, la expresión puede simplificarse expresándola únicamente en función de n_A .

- 2) La constante k de reacción depende de la temperatura, y por otra parte, la generación de calor del número de moles de A presentes en el reactor a un tiempo t , como puede verse en la ecuación de balance de energía. Esto genera una doble vinculación entre las ecuaciones representativas del proceso, e introduce dificultades para su resolución.

Para la construcción de un modelo de simulación dinámica se han considerado dos niveles: en uno se produce la desaparición de A por reacción, en el otro la acumulación de calor por reacción y su disipación por refrigeración, que se mide a través de la temperatura. Se ha conservado la simbología de las ecuaciones, que por otra parte son las usuales en el campo de la ingeniería química.



Los datos utilizados en el modelo son:

- $n_{Ao} = 0.1$ (número de moles presentes al comienzo de la reacción)
- $k = 0.5 * 10^{10} * \exp(-1.394 * 10^4/T)$
- $\Delta H_R = -2500$ Btu/mol-lb A
- $U = 3$ Btu/h ft² °R
- $T = 600$ °R (inicial de la masa contenida en el reactor)
- $T_m = 540$ °R
- $A = 0.2$ ft²
- $C_A = 30$ Btu / mol lb °F
- $C_B = 25$ Btu / mol lb °F
- $C_c = 25$ Btu / mol lb °F

Considerando la estequiometria de la reacción, puede expresarse

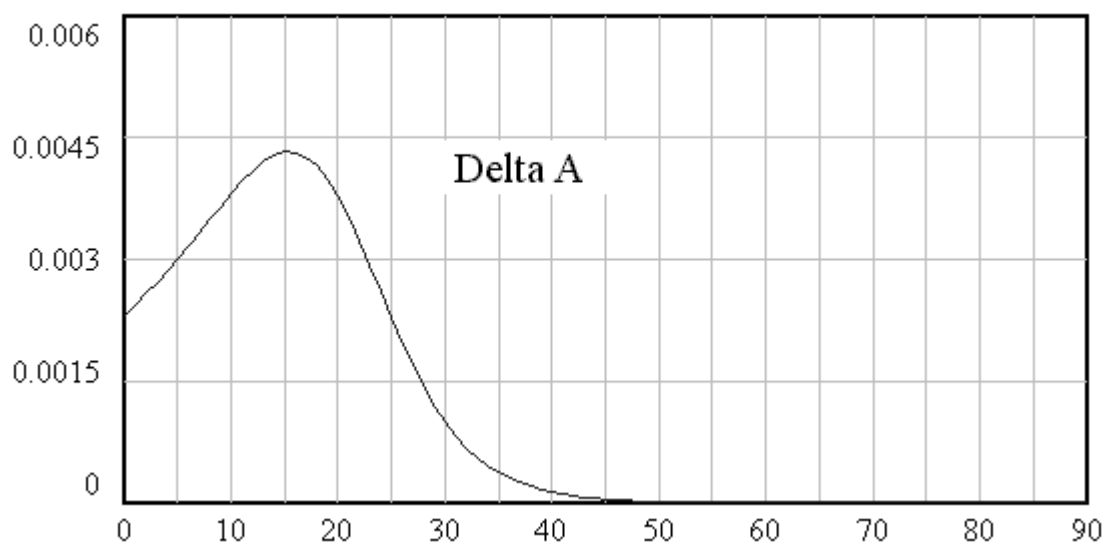
$$C_v = 5 - 20 \cdot n_A$$

Ecuaciones del modelo, con los siguientes parámetros en el Model – Settings

INITIAL TIME= 0 FINAL TIME= 90 TIME STEP=0.0625

- (01) $A = 0$
- (02) $C_v = 5 - 20 \cdot N_a$
- (03) $\Delta A = K \cdot N_a / 60$
- (04) $\Delta HR = -2500$
- (05) $\Delta T = (\Delta HR \cdot (-K \cdot N_a) - U \cdot A \cdot (T - T_m)) / (C_v \cdot 60)$
- (06) $K = 1.712 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-1.394 \cdot 10000 / T)$
Units: 1/hr
- (07) $N_a = -\Delta A$
Initial value: N_{ao}
Units: mol/lb
- (08) $N_a / N_{ao} = N_a / N_{ao}$
- (09) $N_{ao} = 0.1$
- (10) $T = \Delta T$
Initial value: 600
Units: Grados R
- (11) $T_m = 540$
- (12) $U = 3$

El modelo reproduce el comportamiento obtenido mediante la aplicación de modelos analógicos más complejos como los de Himmelblau y Bischoff que se describen en “Análisis y simulación de procesos” (Ed. Reverté.1976). Permite ver con claridad el comportamiento de este reactor ideal bajo diferentes condiciones de operación, puesto que es posible cambiar la temperatura del refrigerante, el área de transferencia de calor, la temperatura inicial de proceso y el coeficiente global de transferencia de calor.



4.27. LA FAROLA DE DARDER

Los científicos se ocupan del estudio de fenómenos desconocidos y tratan de encontrar sus causas, con el propósito de erradicar las ancestrales supersticiones populares. La investigación aquí desarrollada se centra en el estudio de un fenómeno eléctrico sin una aparente explicación lógica.

Se trata de una farola que tiene un misterioso comportamiento cuando llega la noche. Así, cuando oscurece la bombilla de la farola se enciende y apaga a intervalos de 2 segundos, hasta que finalmente al cabo de pocas horas – siempre antes de la llegada del amanecer- la bombilla se funde. Y así bombilla tras bombilla todas son destruidas.

La farola no presenta ninguna anomalía en sus componentes mecánicos ni eléctricos, de forma que todas las pruebas realizadas por diversos técnicos no han permitido detectar ningún defecto de fabricación. También se ha comprobado que la instalación es general y que la tensión que recibe es estable.

Se han probado diferentes marcas de bombillas, la instalación ha sido revisada en innumerables ocasiones, existen farolas similares en los alrededores que funcionan sin problemas, y no se ha encontrado ninguna causa razonable a este extraño fenómeno.

LOS EQUIPOS INVESTIGADORES

PRIMER EQUIPO DE INVESTIGACION

Para estudiar el fenómeno se formó un primer equipo de investigación formado por un ingeniero eléctrico especializado en conducciones subterráneas, un perito mecánico con amplia experiencia en montajes industriales y un reputado aparejador local.

Este primer equipo redactó un detallado documento descriptivo del emplazamiento de la farola, y de sus componentes físicos y eléctricos. No pudo encontrar la causa del extraño comportamiento en el plazo de tiempo de que dispusieron.

Finalmente el valioso documento se perdió por un extraño problema eléctrico en el ordenador donde lo tenían almacenado.

SEGUNDO EQUIPO DE INVESTIGACION

Se formó a continuación un segundo equipo con un perfil muy diferente. Se contó con la colaboración de una vidente especialista en fenómenos paranormales, un jardinero jubilado y su ayudante, un administrador de fincas urbanas, una dotación de la policía municipal conocedora de la zona, y también se contó con la colaboración desinteresada de los vecinos y antiguos porteros de la finca donde se halla situada la farola.

Las reuniones de este segundo grupo fueron desde el primer momento muy conflictivas debido a la vehemente postura de alguno de los vecinos, y el deseo de dirigir la investigación por parte de la dotación de la policía municipal.

Para intentar llegar a algún acuerdo se añadió a este segundo equipo la asesoría de un gabinete de psicólogos especializado en trastornos de la conducta, un famoso psiquiatra argentino, un periodista americano, un biólogo y un técnico paisajista.

Este segundo equipo no llegó a redactar ningún documento por las persistentes diferencias de criterio entre algunos de sus miembros que hizo imposible acordar un escrito final.

TERCER EQUIPO DE INVESTIGACION

Finalmente, se encargó de la investigación un estudiante de creación de modelos de simulación con Dinámica de Sistemas, el cual deseaba poder utilizarlo como trabajo de campo en el estudio de los fenómenos contraintuitivos.

Sus resultados, que son los que se muestran a continuación, permitieron comprender las causas del fenómeno y como conclusión se hizo una propuesta fácil de llevar a la práctica para solucionar el problema.

INFORME FINAL DEL TERCER EQUIPO DE INVESTIGACION

SITUACION

La farola objeto de estudio se halla situada en la fachada de una finca en la calle Doctor Francesc Darder 18 de Barcelona. La calle lleva el nombre de un explorador y biólogo que trajo desde Namibia el cuerpo disecado de un enigmático hechicero de raza negra, el cual estuvo expuesto al público durante más de cincuenta años en la población de Banyoles.

La finca donde se halla la farola está rodeada de una zona ajardinada, y dispone de dos farolas idénticas en la fachada principal. Pueden verse imágenes de la finca en <http://www.qdq.com> La farola que presenta el enigmático comportamiento es la que se halla situada junto a la escalera central de acceso.

Justo enfrente a la farola estudiada existe una capilla católica. A menos de cien metros de la farola se halla el Consulado de EE.UU. con todos sus complejos equipos de comunicación.

DESCRIPCION DE LA FAROLA

La farola es metálica con un pie de color blanco, y en su parte superior tiene un cilindro metálico con aberturas laterales del mismo color, en cuyo interior se coloca la bombilla.

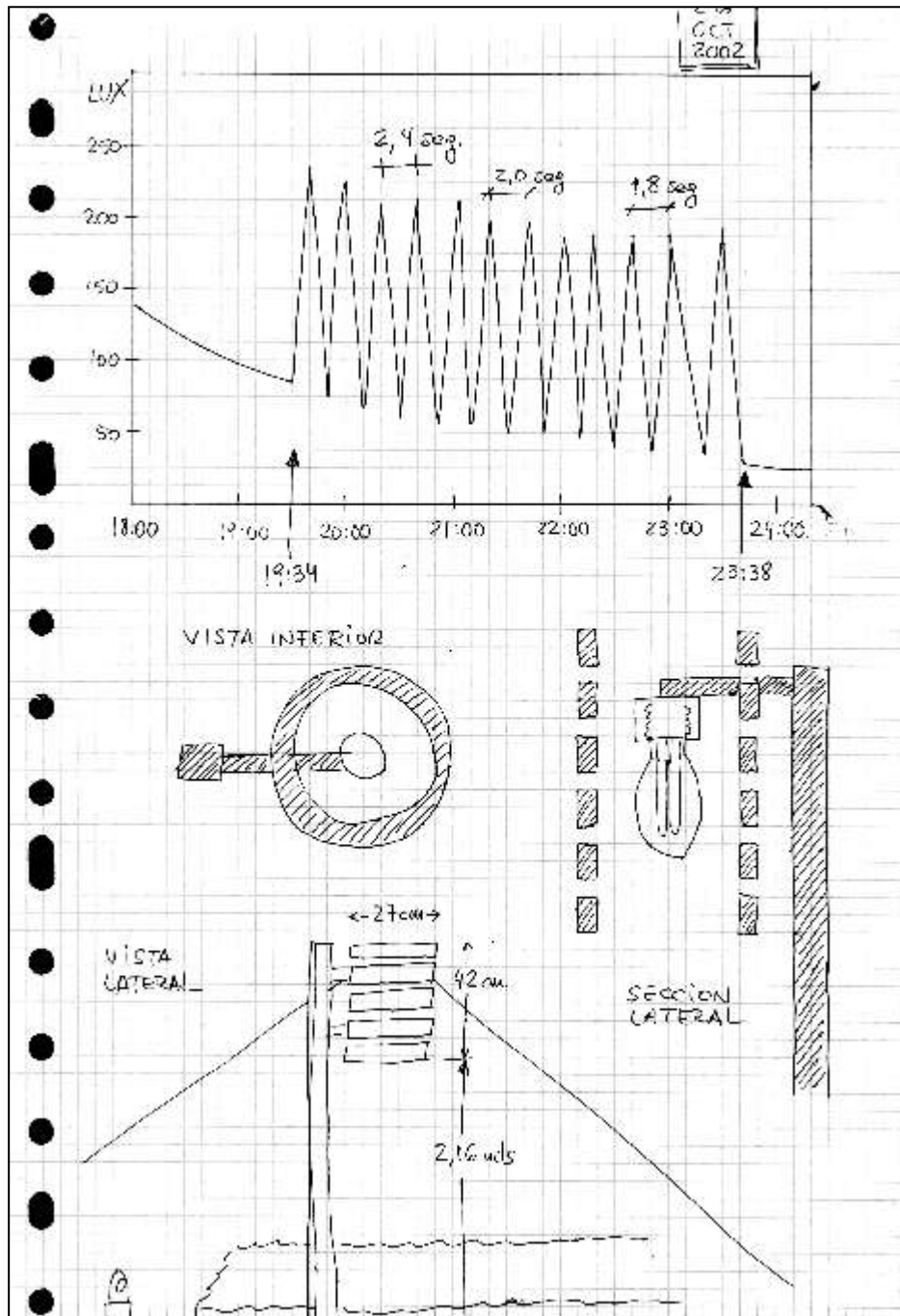
La farola aloja en su interior una bombilla de 250 watios y está conectada a 220 voltios de corriente. Se utilizan bombillas de calidad, de la marca Philips de bajo consumo y larga duración para las farolas situadas en la misma finca. En la investigación se han probado varios tipos de bombillas, de diferentes marcas y modelos (todas pagadas por el estudiante).

El encendido de la farola es automático y para ello dispone de un accesorio blanco adosado a la pared más cercana que al oscurecer enciende automáticamente la farola, y al amanecer la apaga.



El investigador realizó el esquema de la página siguiente. En la parte superior del documento podemos observar la secuencia de encendidos y apagados que se observa.

La hora en la que se produce el primer encendido (que depende de la fecha de observación ya que el encendido es automático por sensor), y el intervalo que existe entre diferentes encendidos. Tras una larga espera se registró la hora en la que la bombilla se funde.



En la zona central del documento tenemos unas secciones de la farola, y en la zona inferior un dibujo con las medidas de la farola.

TEORIAS

El estudiante que forma el tercer equipo de investigación comenzó su trabajo recogiendo las teorías que existían sobre el mismo.

La opinión de algunos vecinos del inmueble sitúa la causa de este comportamiento en la existencia de fuertes vientos laterales que entran por las rendijas de la farola y hacen que la bombilla se golpee contra la farola y por eso se funde la bombilla. Esta teoría no explica porqué se funden las bombillas cuando no hace viento ni porqué sólo se funden las bombillas en una de las lámparas.

Otra teoría que se recogió hacía referencia a los rezos que se hacen en la cercana capilla por la noche, que provocan la ira del hechicero negro que trajo el biólogo Sr. Darder.

También se especulaba sobre la existencia de un campo magnético procedente de algún equipo secreto instalado en el Consulado de EE.UU, situado muy cerca, pero el hecho de que todos los otros equipos eléctricos del edificio funcionasen con normalidad no avalaban esta teoría.

ANALISIS DEL PROBLEMA CON UN MODELO DINÁMICO DE SIMULACION

El estudiante del tercer equipo de investigación decidió prescindir de las teorías existentes por su falta de rigor y porque no explican en modo alguno el fenómeno, y decidió hacer un modelo dinámico de simulación.

Estructuró el modelo según un diagrama causal, y después construyó el Diagrama de Forrester antes de introducirlo en el ordenador. La gráfica siguiente muestra el modelo final donde se incluyen los elementos básicos del sistema estudiado.

En resumen, el modelo recoge que el sensor enciende la bombilla cuando la luz natural es menor que un valor deseado, y la apaga cuando es mayor que ese valor.

Al construir el modelo se observó que cuando se enciende la bombilla, porque la luz natural es escasa, la luz de la bombilla ilumina al sensor de luz, y esto provoca que el sensor detecte que existe abundante luz, y apague la bombilla. Al apagarse la bombilla, como que la luz natural es escasa, el sensor detecta que falta luz y enciende la bombilla, y así sucesivamente... hasta que se funde la bombilla.

La farola similar situada a escasos metros de la estudiada no presenta este comportamiento porque está regulada por un temporizador, no por un sensor, que enciende y apaga la bombilla siempre a la misma hora, y por lo tanto no existe ningún proceso de realimentación.



DIAGRAMAS CAUSALES

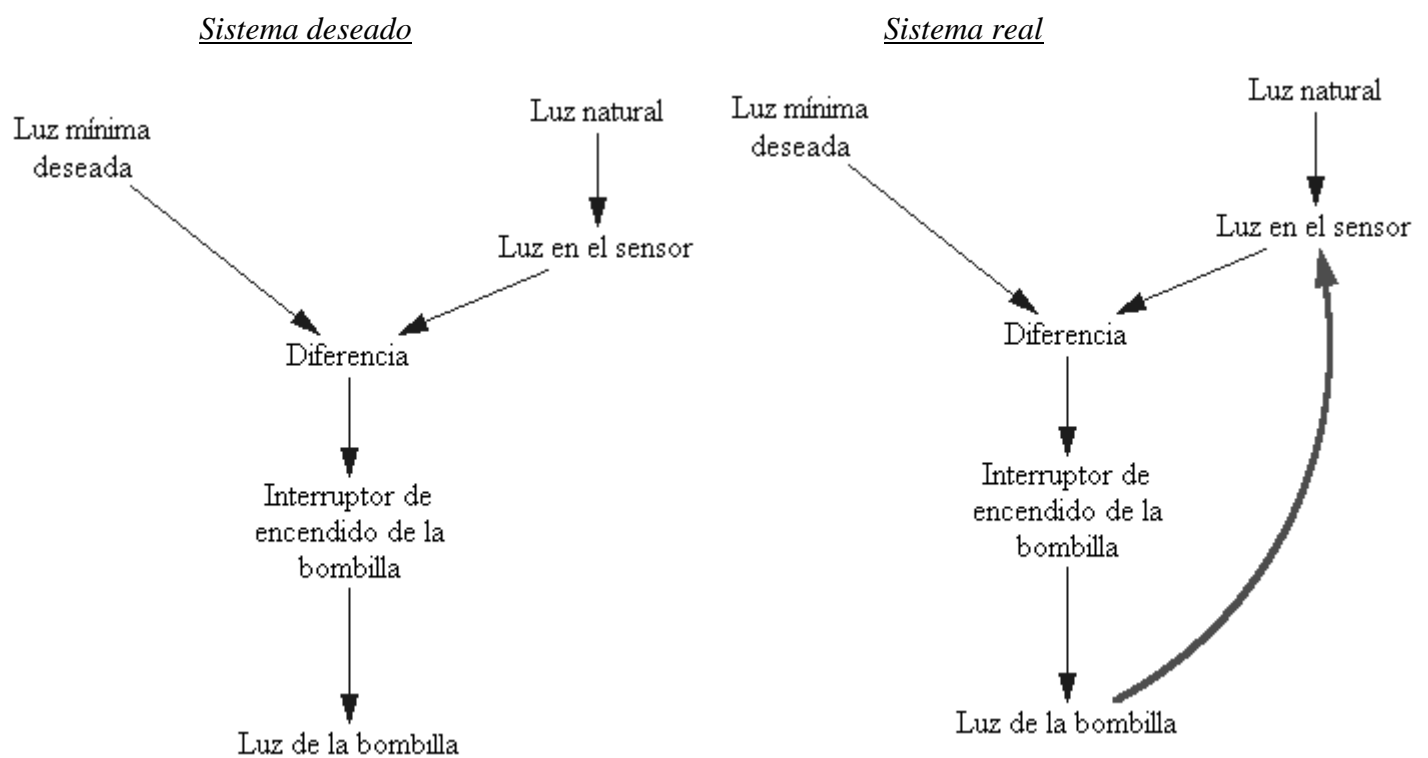
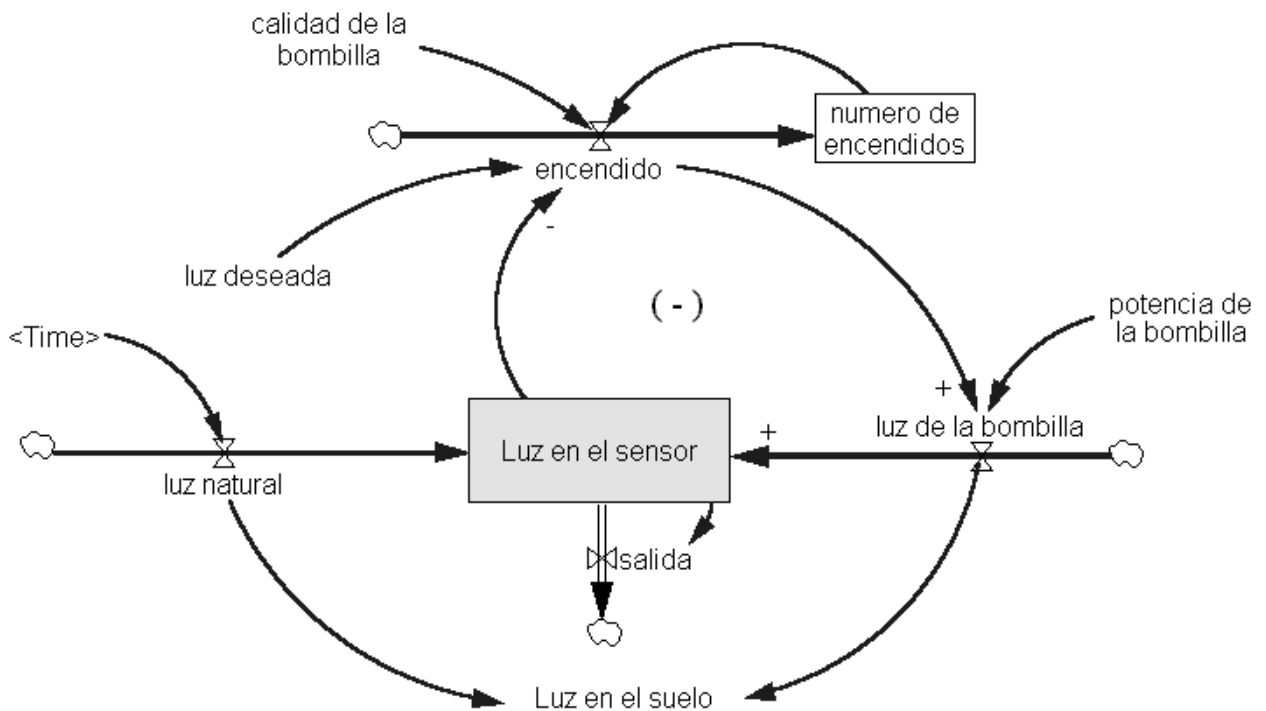
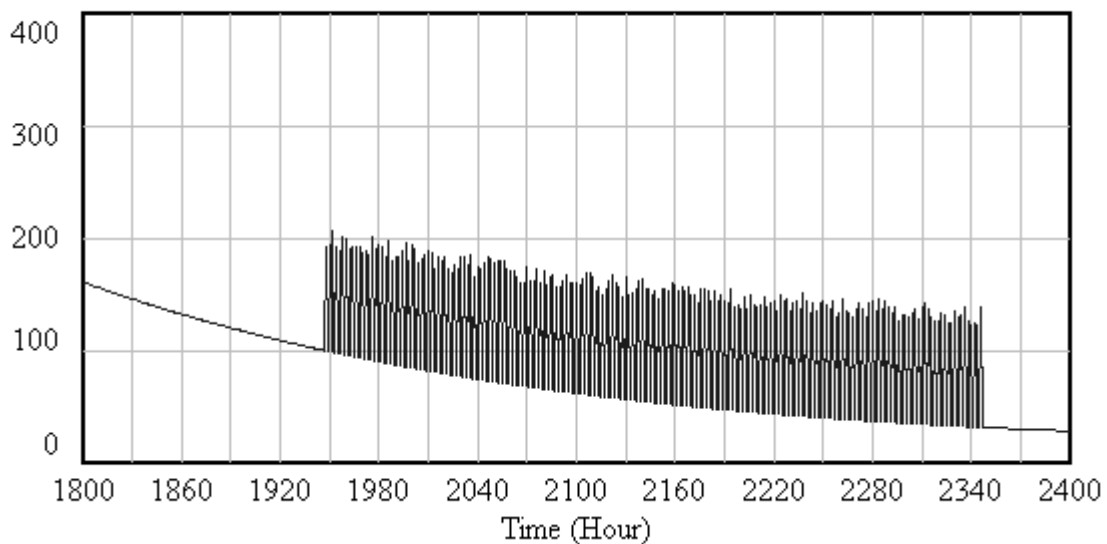


DIAGRAMA DE FLUJOS DEL SISTEMA REAL.

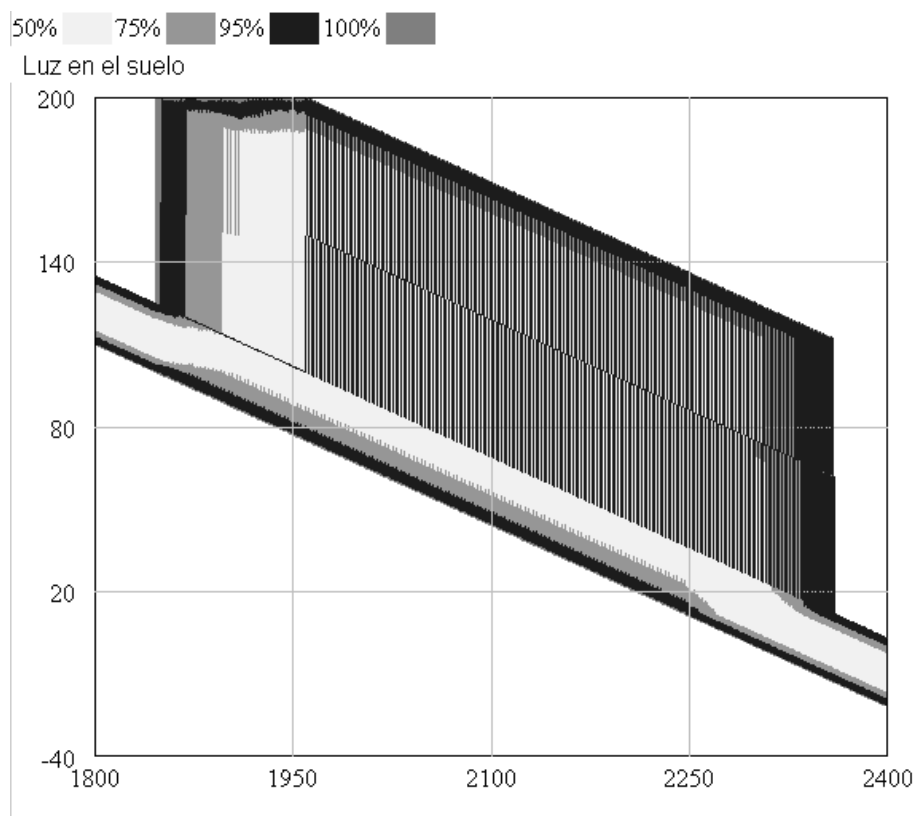


El comportamiento del modelo del sistema real muestra las oscilaciones que se producen a partir del momento en el que la luz natural en el sensor desciende hasta un determinado valor.

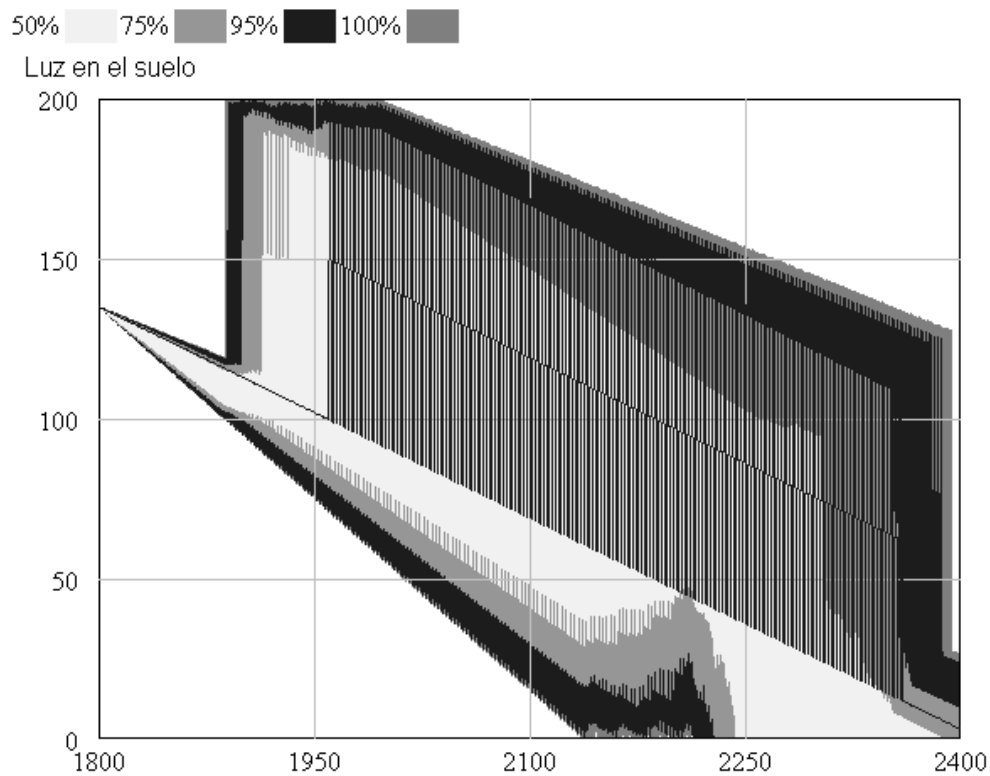
Luz en el sensor



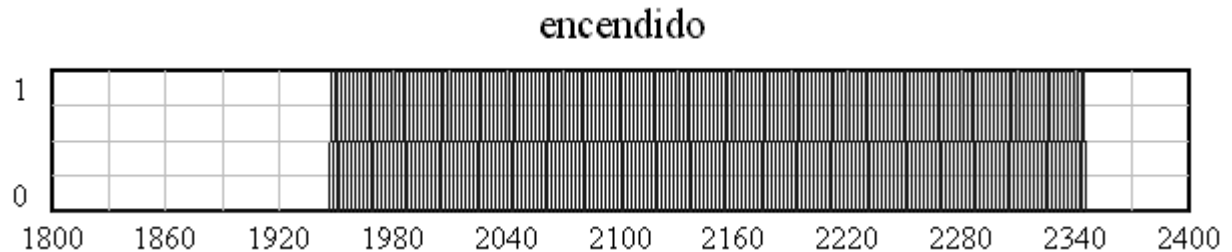
Se realizaron análisis de sensibilidad a variaciones del valor inicial de la cantidad de luz natural, ya que los fenómenos meteorológicos provocan una mayor o menor cantidad de luz natural en los días claros y menor en los días nublados (las siguientes simulaciones se realizaron con Vensim PLE Plus).



Se simuló la sensibilidad a la velocidad en la que disminuye la luz natural. Esta velocidad es función de la época del año, ya que en verano es mayor que en invierno porque el Sol se eleva más sobre el horizonte.



Y en resumen podemos observar como el modelo reproduce la secuencia de encendidos y apagados del interruptor de la bombilla, que es la causa de que finalmente la bombilla se rompa tras unas horas.



EJERCICIO AVANZADO

Utilice el diagrama de flujos mostrado anteriormente como base para la construcción de las ecuaciones. No existe una única solución pero es importante que el modelo reproduzca un comportamiento similar al observado en la realidad.

Puede usar los siguientes parámetros: Periodo inicial 1800 (18:00 horas), periodo final 2400 (24:00 horas). Deberá recordar el uso de la función IF THEN ELSE para la ecuación de los encendidos. La función RAMP le será de utilidad para la ecuación de la luz natural. Y finalmente puede utilizar la función RANDOM NORMAL para la ecuación de la potencia de la bombilla.

El tiempo normal para hacerlo es de unas **tres horas**, aunque el modelo sólo tiene diez variables, por lo tanto no se impaciente.

Para ver una posible solución gire la página.

```
(01) calidad de la bombilla= 200
(02) encendido=IF THEN ELSE(Luz en el sensor<=luz desada, 1, 0)*IF THEN
ELSE(numero de encendidos>=calidad de la bombilla, 0, 1)
(03) FINAL TIME = 2400
(04) INITIAL TIME = 1800
(05) luz de la bombilla=IF THEN ELSE(encendido=1, potencia de la bombilla, 0)
(06) luz desada= 100
(07) Luz en el sensor= luz de la bombilla+luz natural-salida
(08) luz en el suelo= MAX(0,luz de la bombilla+luz natural)
(09) luz natural= 160-RAMP(0.22,1800,2400)*(2400/TIME)^3
(10) numero de encendidos= encendido
(11) Initial value: 0
(12) potencia de la bombilla= RANDOM NORMAL(90, 110, 100, 20, 777)
salida= Luz en el sensor
```


4.28. EL NÚMERO DE ORO

Fibonacci (o Leonardo Pisano) fue un matemático que vivió parte de su vida en Pisa (Italia) entre 1170 y 1250. Se decía de él que era un hombre dedicado a resolver cuestiones que no tenían valor práctico. En una oportunidad, se le planteó el siguiente problema:

"En un patio cerrado, se coloca una pareja de conejos para ver cuántos descendientes produce en el curso de un año, y se supone que cada mes a partir del segundo mes de su vida, cada pareja de conejos da origen a una nueva. Calcular la cantidad de parejas de conejos al cabo de un año"

La solución fue una sucesión de números que se hizo célebre y se conoce como Sucesión de Fibonacci. En ella, cada término resulta de la suma de los dos anteriores. De este modo será: 1,1,2,3,5,8..... Estos números dan la cantidad de parejas de conejos a medida que pasan los meses.

La curiosidad de saber si era posible reproducir esa situación mediante un modelo dio lugar al presente capítulo, que probablemente no tenga ningún valor práctico. El modelo es extremadamente sencillo y consta de dos flujos, Flujo 1 y Flujo 2, dos niveles, Caja 1 y Caja 2 y dos variables auxiliares, N1 y N2, que permiten cambiar los valores iniciales de Caja 1 y Caja 2. Veamos como se genera la sucesión de Fibonacci.

Un análisis de cómo trabaja el software permite entenderlo. Simplificando la nomenclatura, y haciendo Flujo 1 = F1, Flujo 2 = F2, Caja 1 = C1 y Caja 2 = C2, y trabajando estas variables como variables con subíndices que hacen referencia al tiempo, tendremos los valores iniciales:

$$t=0 \quad F1(0) = 1 \quad C1(0) = 1 \quad F2(0) = 1 \quad C2(0) = 1$$

Veamos en $t = 1$ y $t = 2$

$$\begin{array}{lllll} t=1 & F1(1) = 2 & C1(1) = 1 & F2(1) = 1 & C2(1) = 2 \\ t=2 & F1(2) = 3 & C1(2) = 2 & F2(2) = 2 & C2(2) = 3 \end{array}$$

Del diagrama del modelo podemos ver que $F1 = C2$ y que $F2 = C1$. Además, que en cualquier instante t el valor del flujo y del nivel que define ese valor son el mismo, así por ejemplo $F1(1)=C2(1) = 2$ y $F2(1)=C1(1)=1$. Pero también debemos recordar que el valor de un nivel determinado en un instante de tiempo determinado resulta de sumar el valor que tenía en el periodo de tiempo anterior, más las entradas menos las salidas en el periodo de tiempo anterior.

Así, para un período de tiempo cualquiera " n " tendremos

$$\begin{array}{l} t=n \\ F1(n) = C2(n) \\ C1(n) = C1(n-1) + F1(n-1) - F2(n-1) \\ F2(n) = C1(n) \\ C2(n) = C2(n-1) + F2(n-1) \end{array}$$

Sustituyendo F1 y F2 en términos de C1 y C2 y simplificando obtenemos:

$$(1) \quad C1(n) = C2(n-1)$$

$$(2) \quad C2(n) = C2(n-1) + C1(n-1)$$

Trabajando sobre la ecuación (2), resulta que:

$$(3) \quad C2(n-1) = C2(n-2) + C1(n-2)$$

Pero $C2(n-2) = C1(n-1)$ así que reemplazando todo en (1)

$$C1(n) = C1(n-1) + C1(n-2)$$

Que es precisamente lo que hace la sucesión de Fibonacci, es decir, cada nuevo término resulta de la suma de los dos anteriores. Y de ahí que en la Caja 1 (y en realidad en todas las variables) aparece la sucesión.

Pero avancemos más: si se efectúa el cociente entre cada término y el anterior se obtiene la Proporción Aurea, que converge al **Número de Oro**, es decir, 1.618034.

Ahora bien: ¿habrá una relación entre esta sucesión que explicaba la dinámica de crecimiento poblacional de un caso teórico sobre conejos?

La segunda parte de este sencillo modelo la explica. Si utilizamos la Proporción Aurea tal como se calcula en el primer bloque como tasa de crecimiento vegetativo, obtenemos la solución al problema de los conejos que le plantearon a Fibonacci.

Dando valores enteros a N1 y N2 (preferiblemente $N1 < N2$, puede experimentarse el comportamiento del modelo.

EL MODELO

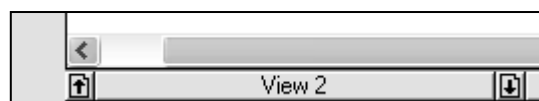
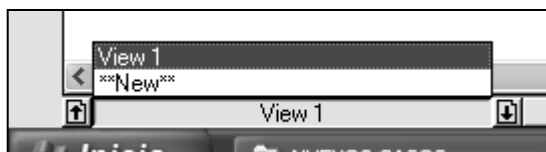
El Model – Settings vamos a indicar los valores

INITIAL TIME = 0

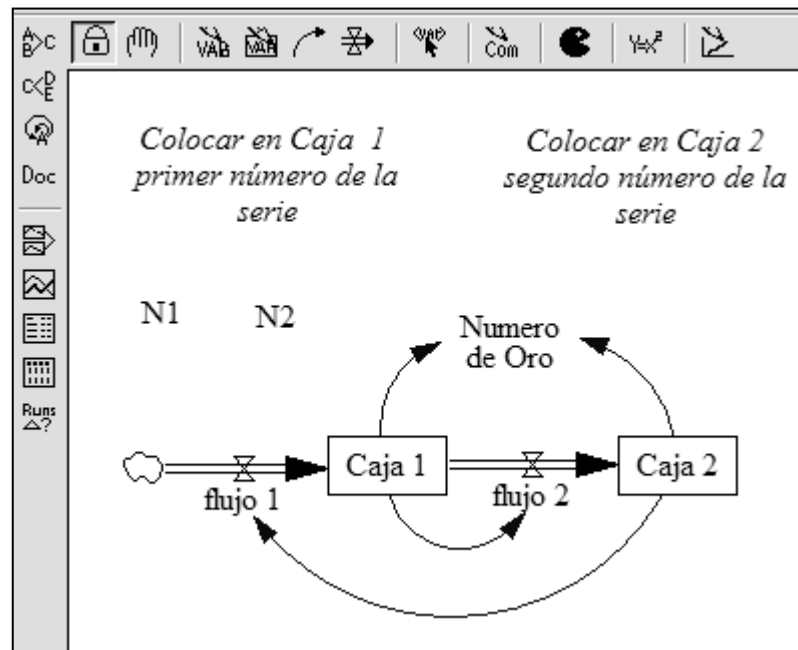
FINAL TIME = 12

TIME STEP = 1

Vamos a trabajar con dos pantallas, en una pantalla calcularemos el Número de Oro como se ha descrito, y en otra pantalla lo aplicaremos al cálculo de la población de conejos. Para ello crearemos una segunda ventana (View 2), para ello primero pulsaremos botón View 1 situado en la parte inferior izquierda de la pantalla, y escogeremos la opción “New”.

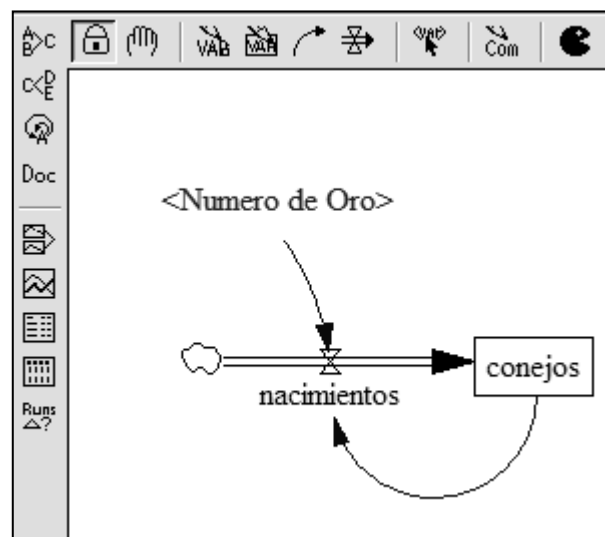


En la primera pantalla (View 1) colocaremos las siguientes variables, que nos permitirán calcular el Número de Oro:



El texto explicativo “Colocar en Caja ...” se añade a la pantalla utilizando el icono

En la segunda pantalla colocaremos las variables para calcular la evolución del número de conejos.

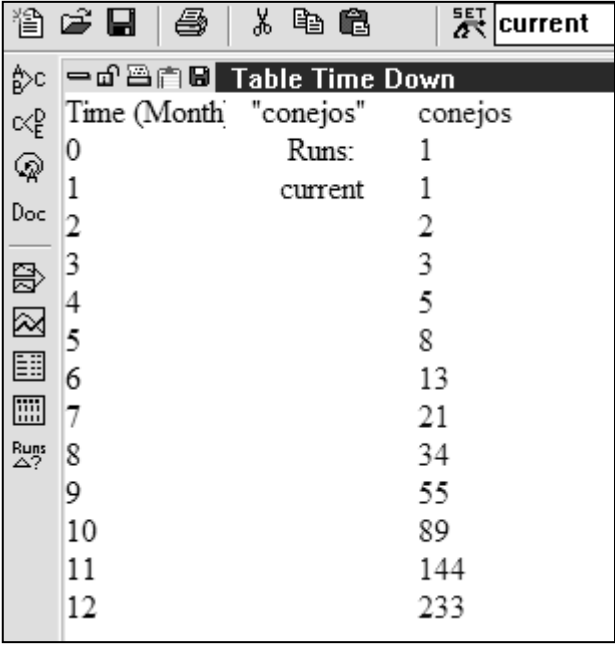


En esta pantalla utilizaremos la variable “Numero de Oro” que se calcula en la primera pantalla, para ello la crearemos como Shadow Variable utilizando el icono

Las ecuaciones del modelo son:

- (01) Caja 1 = flujo 1-flujo 2
Valor inicial: N1
- (02) Caja 2 = flujo 2
Valor inicial: N2
- (03) conejos = nacimientos
Valor inicial: 1
- (04) flujo 1= Caja 2
- (05) flujo 2= Caja 1
- (06) N1 = 1
- (07) N2 = 1
- (08) nacimientos = conejos*(Numero de Oro-1)
- (09) Numero de Oro = Caja 2 / Caja 1

Podemos visualizar los resultados utilizando alguno de los iconos de la izquierda de la pantalla que nos muestra los resultados en formato de tabla de números.



Time (Month)	"conejos"	conejos
0	Runs:	1
1	current	1
2		2
3		3
4		5
5		8
6		13
7		21
8		34
9		55
10		89
11		144
12		233

4.29. INGESTION DE TOXICOS

El ser humano ha reconocido el carácter venenoso de determinadas plantas y animales desde los primeros estadios de su historia. No obstante, el enorme desarrollo de las actividades industriales, en particular las químicas, determinó la creación de una gran cantidad de sustancias químicas artificiales, tanto en calidad de materias primas como de residuos de determinados procesos, muchas de las cuales presentan efectos adversos para los seres vivos, y de ellos, los seres humanos.

El estudio de estas sustancias y sus efectos sobre el hombre ha determinado el surgimiento de una ciencia relativamente nueva, la toxicología, que en su desarrollo ha incorporado conocimientos de otras ciencias, como la fisiología, la farmacología, la bioquímica y la epidemiología. Se desprende de esto que el estudio de la problemática derivada de la exposición a sustancias tóxicas requiere del concurso de varias disciplinas y en consecuencia de una visión más global que la de cada disciplina en particular. Resulta entonces interesante mirar estos problemas desde la óptica de la Dinámica de Sistemas, que integra los distintos elementos que los componen en un modelo de análisis y medición que opera sistemáticamente y en consecuencia permite observar las mutuas influencias entre los mismos.

Cuando un organismo se expone a una sustancia tóxica se desencadenan una serie de procesos extremadamente complejos de absorción, distribución, metabolización y eliminación (ADME) cuyas velocidades son muy difíciles de calcular.

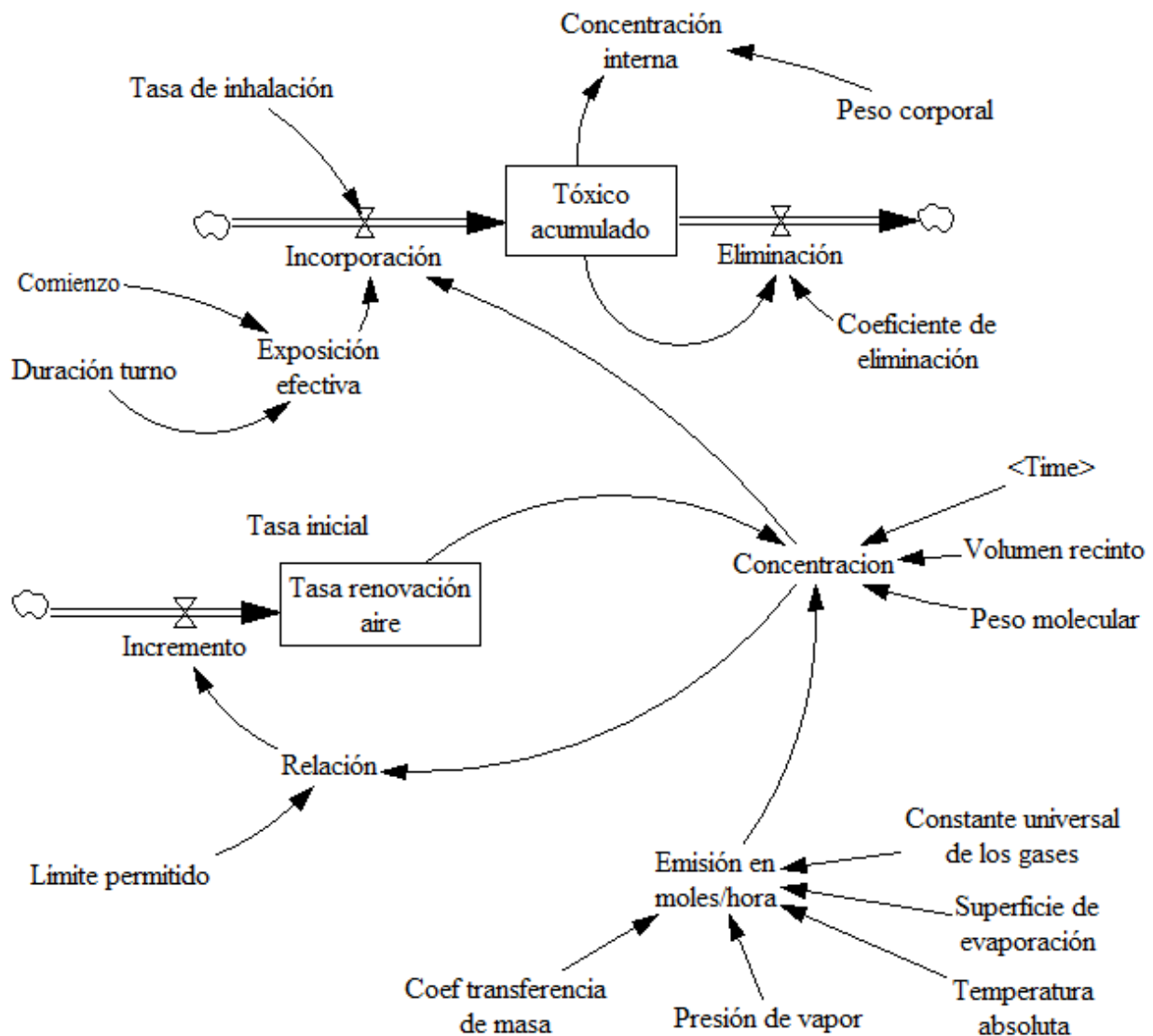
El esquema más sencillo permite imaginar un organismo que recibe una determinada cantidad de tóxico, y a la vez elimina una proporción del mismo. Si la eliminación es muy rápida, es probable que el organismo pueda tolerar nuevas cantidades en forma fraccionada. Pero si es muy lenta, la exposición durante un periodo largo puede dar lugar a una acumulación que alcance e incluso sobrepase el umbral de toxicidad, con todas sus consecuencias, desde reacciones alérgicas a la muerte.

Sin embargo, la sola peligrosidad de una sustancia no alcanza para caracterizar el riesgo de intoxicarse. Se deben considerar todos aquellos factores que contribuyen a que el tóxico sea realmente incorporado al organismo, tales como el escenario de la exposición, la concentración en el medio contaminado, la vía, frecuencia y duración de la exposición y las características del individuo.

Por otra parte, el análisis de riesgo es en si mismo una herramienta de gestión que permite implementar medidas de mitigación. En el modelo siguiente, que simula la emisión de un tóxico en estado gaseoso y su inhalación por un individuo expuesto se recoge estos aspectos organizados de la siguiente manera:

- 1) La **emisión** del tóxico desde una fuente puntual, calculada en **moles/hora**, para una cierta **Temperatura** ambiente expresada en $^{\circ}\text{K}$, desde una **superficie** de evaporación medida en m^2 . La **presión de vapor** es la de la sustancia en consideración, a la temperatura del ambiente. El régimen de transferencia al ambiente queda caracterizado por un **coeficiente de transferencia de masa**.

- 2) El escenario está constituido por el recinto donde está contenida la fuente de emisión. Su **volumen** permite calcular la **concentración** efectiva, que se expresa en mg/m^3 al multiplicar la emisión en moles/hora por el peso molecular de la sustancia. Esta concentración se compara con el **límite permitido** (en este caso la dosis de referencia para inhalación), y a través de la relación entre ambas, se regula la **tasa de renovación** de aire, como medida de mitigación.



- 3) Finalmente, el nivel **Tóxico acumulado** representa la cantidad en el organismo expuesto. En el mismo se recibe una cantidad denominada **Incorporación**, que se mide en mg/hora , que está determinada por la variable **Concentración**, la **Tasa de inhalación**, que es el volumen horario de aire respirado por un individuo sano, y la **Exposición efectiva**, que permite simular una semana laboral con un cierto turno de trabajo (**Duración del turno**), descansos diarios y descansos de fin de semana.

El **Tóxico acumulado** disminuye por **Eliminación**, la que responde a una cinética de primer orden, es decir, la cantidad acumulada es proporcional a la cantidad presente en función del **Coefficiente de Eliminación**. Como dato adicional se calcula la **Concentración interna**, dividiendo el tóxico acumulado por el **peso corporal**.

Model – Settings:
 INITIAL TIME = 0 FINAL TIME = 168 (7 días x 24 horas) Units for time= hora

Ecuaciones del modelo

- (01) Coef transferencia de masa= 8.7
 Units: m/hora
 Mide la velocidad de transferencia desde la fase líquida a la fase vapor

- (02) Coeficiente de eliminación= 0.035
 Units: 1/hora
 Contiene toda la complejidad del proceso orgánico para la eliminación del tóxico.
 A mayor coeficiente mayor eliminación

- (03) Comienzo= 0
 Units: hora

- (04) Concentracion= Emisión en moles/hora*Peso molecular*(1-
 EXP(-Tasa renovación aire*Time))/(Tasa renovación aire*
 Volumen recinto)
 Units: mg/m³
 Concentración de tóxico en el aire

- (05) Concentración interna=Tóxico acumulado/Peso corporal
 Units: mg/kg
 Concentración interna del tóxico

- (06) Constante universal de los gases=8.314
 Units: kg*m*m/(s*s*mol*K)
 Constante universal de los gases



- (07) Duración turno= 8
 Units: hora
 Duración del turno de trabajo

- (08) Eliminación=Coeficiente de eliminación*Tóxico acumulado
 Units: mg/hora
 Simula una cinética de eliminación de primer orden, es decir proporcional a la
 concentración de tóxico presente en el organismo

- (09) $\text{Emisión en moles/hora} = \text{Superficie de evaporación} * \text{Presión de vapor} * \text{Coef transferencia de masa} / (\text{Constante universal de los gases} * \text{Temperatura absoluta})$
 Units: mol/hora
 moles en equilibrio en la fase gas
- (10) $\text{Exposición efectiva} = \text{PULSE TRAIN}(\text{Comienzo}, \text{Duración turno}, 24, 119)$
 Units: Dmnl
 Representa las horas diarias, durante las cuales hay exposición al tóxico mientras trabaja, en cuyo caso la respuesta de PULSE TRAIN es 1, y no se expone mientras descansa, dado que PULSE TRAIN es cero.
- (12) $\text{Incorporación} = \text{Exposición efectiva} * \text{Concentración} * \text{Tasa de inhalación}$
 Units: mg/hora
- (13) $\text{Incremento} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Relación} > 1.1, 1, \text{IF THEN ELSE}(\text{Relación} \leq 0.9, -0.5, 0))$
 Units: 1/hora/hora
 Permite variar la tasa de renovación, de acuerdo al valor de relación
- (15) $\text{Límite permitido} = 0.0003$
 Units: mg/m³
 Es la máxima concentración ambiental admitida que asegure la salud
- (16) $\text{Peso corporal} = 64$
 Units: kg
 Peso del individuo expuesto al tóxico
- (17) $\text{Peso molecular} = 200600$
 Units: mg/mol
 Peso molecular del tóxico expresado en mg
- (18) $\text{Presión de vapor} = 0.301$
 Units: kg*m/(s*s*m*m)
 Presión de vapor de la sustancia que se está evaporando (Pascal= N/m², N=Newton=kg*m/s²)
- (19) $\text{Relación} = \text{Concentración} / \text{Límite permitido}$
 Units: Dmnl
 Relación entre la concentración del ambiente y la concentración de exposición permitida
- (21) $\text{Superficie de evaporación} = 0.02$
 Units: m*m
 Superficie libre a través de la cual se produce la evaporación del tóxico (en m²)

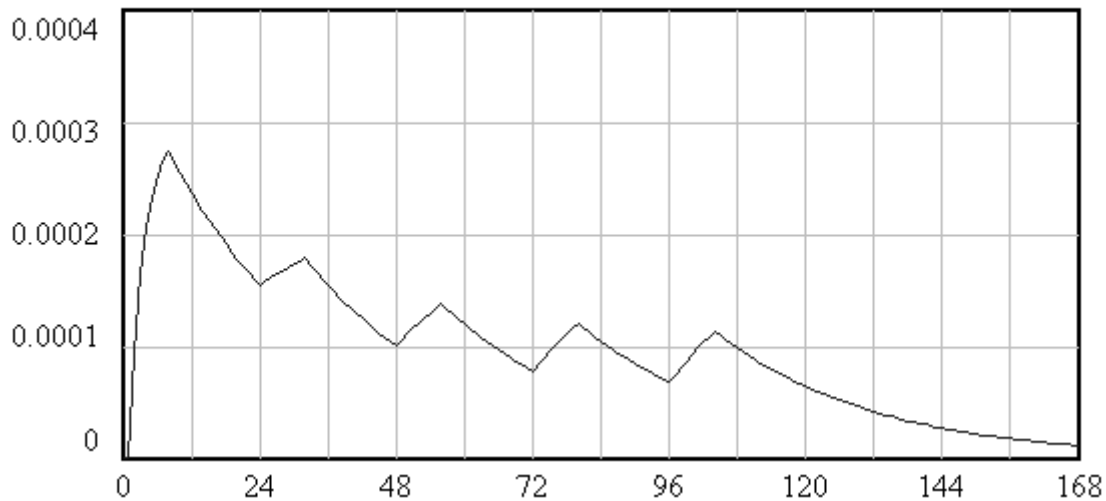
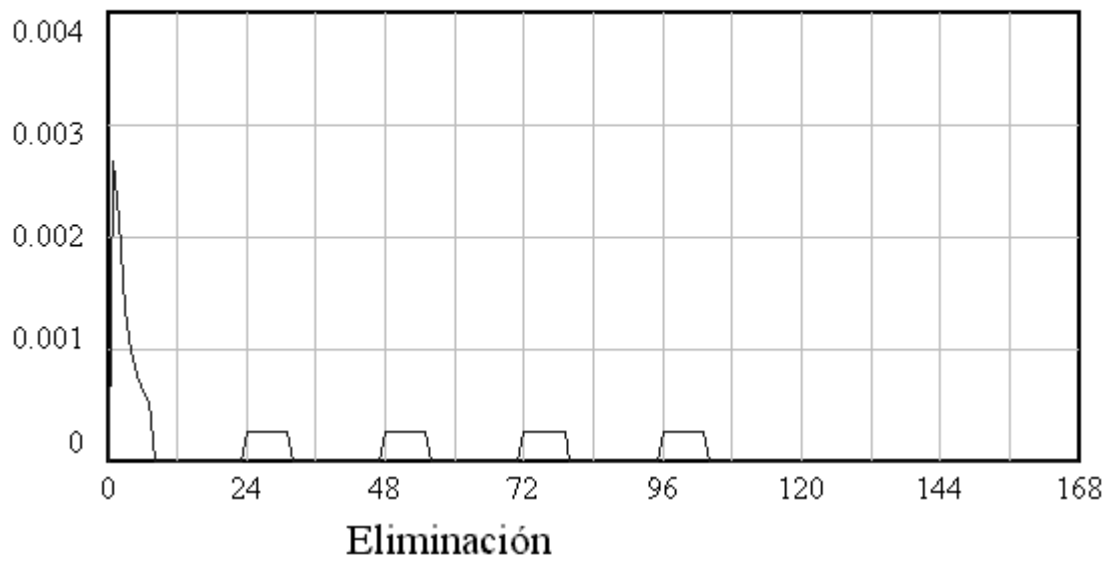
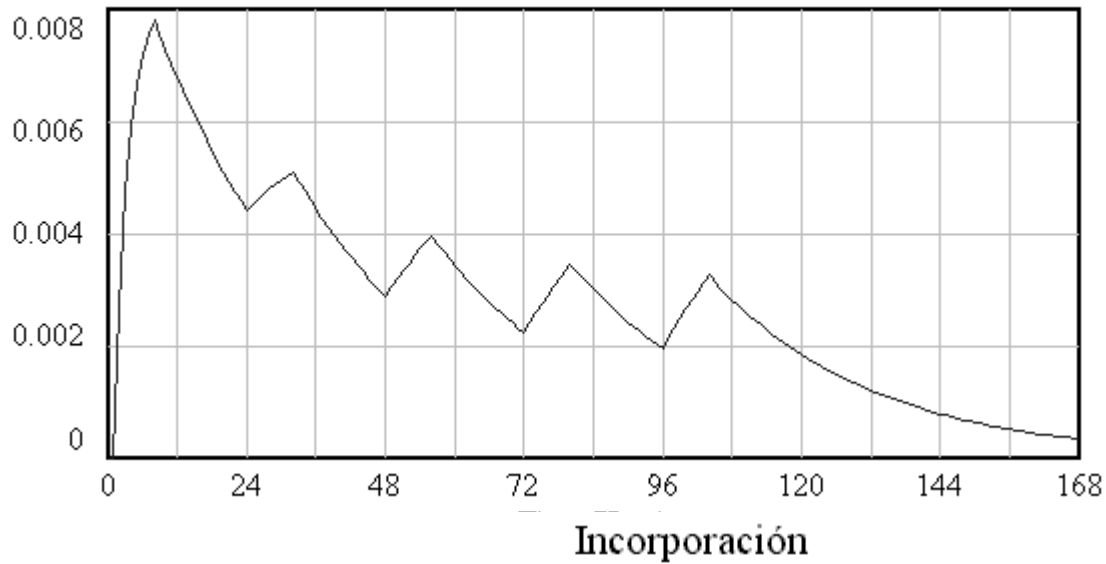
- (22) Tasa de inhalación= 0.8
Units: m3/hora
La inhalación normal de aire de un adulto, en m3/h
- (23) Tasa inicial= 1
Units: 1/hora
El número inicial de veces por hora que se renueva el aire
- (24) Tasa renovación aire= Incremento
Initial value: Tasa inicial
Units: 1/hora
Número de veces por hora que se renueva el aire, variable para cumplir con el límite permitido
- (25) Temperatura absoluta= 298
Units: K
Temperatura absoluta del ambiente en estudio
- (27) Tóxico acumulado= +Incorporación-Eliminación
Initial value: 0
Units: mg
Es la cantidad de tóxico que se va acumulando durante la semana laboral
- (28) Volumen recinto= 1000
Units: m3
Volumen del recinto donde se produce la emisión de tóxico y la exposición al mismo

COMENTARIOS

- a) Observe que es posible definir que el valor inicial de un Nivel sea una variable. En este caso indicamos que el Nivel de Tasa de Renovación del Aire toma como valor inicial el valor de la variable Tasa inicial
- b) Cuando tenemos un diagrama causal muy complejo podemos utilizar las “shadow variables” que no es más que una copia de la variable original. Su uso evita que exista un excesivo número de flechas que se cruzan en el diagrama. 
- c) Compruebe el uso del icono  Para ello desplace los cursores en la pantalla y podrá ver la sensibilidad del sistema a cambios en la Concentración y otras constantes.
- d) Puede hacer que determinados sucesos se produzcan en una determinada fecha, para ello ha de pulsar el icono de “shadow variable” y escoger la variable <Time>. Su uso es el mismo que el de cualquier otra variable del modelo.

Podemos observar el resultado de las principales variables del modelo.

Tóxico acumulado





5. GUIA PARA CREAR UN MODELO



Guía para crear un modelo

Una vez vista ya la parte de teoría y los ejercicios, el lector debería de poder abordar la creación de un modelo de simulación sobre el tema que a él especialmente le interesa. A continuación se ofrecen unas indicaciones 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 y prácticos 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.

Es necesario seguir un cierto orden en este proceso. El esquema 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 posible que en algunas ocasiones sea necesario retroceder y repetir alguna de ellas a la luz de la nueva percepción que hemos adquirido del tema que estamos analizando.



ESQUEMA

A - CREAR EL DIAGRAMA CAUSAL

- 1.- DEFINIR EL PROBLEMA
- 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

5.1. Creación del 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 válidas 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 simultanea 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.

5.2. Creación del 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 “4. Construcción 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.

5.3. Exponer las conclusiones

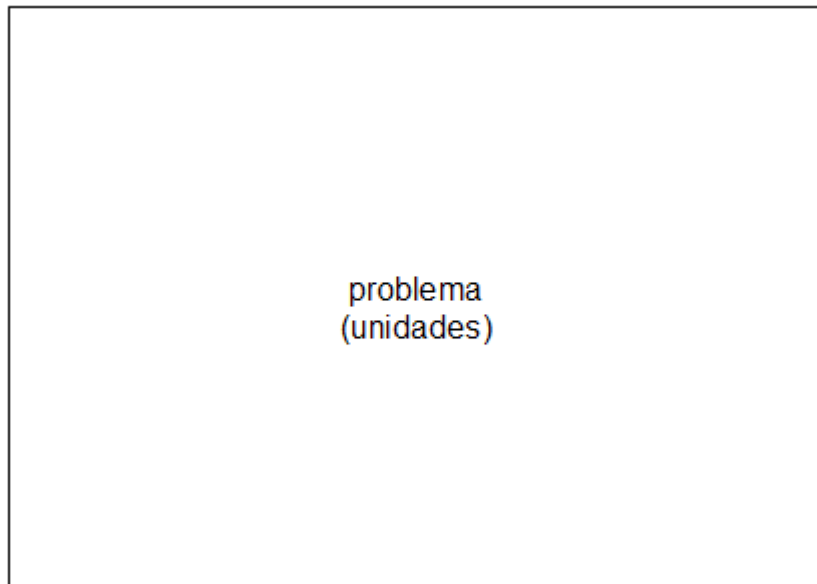
La etapa final consiste en la elaboración de las conclusiones una vez que consideramos que hemos completado el proceso de simulación. Han de ser concisa, indicando la propuesta o propuestas con claridad. Podemos acompañarla de algún diagrama causal que no es necesario que sea el del modelo completo sino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

Es conveniente evitar títulos para las conclusiones similares a “Construcción de un modelo de simulación para el estudio” y utilizar en cambio títulos como “Estudio del problema ...” porque en realidad al usuario final no le interesa mucho saber si hemos hecho un modelo de simulación, una hoja de cálculo o un programa informático.

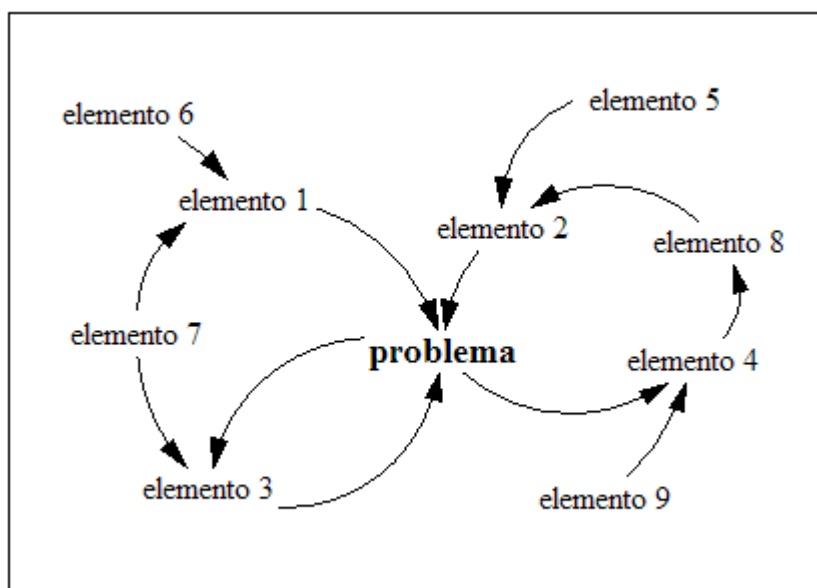
En definitiva el usuario final quiere entender las propuestas que le llevamos y como es lógico le hemos de convencer de su bondad, si el modelo nos ayuda en este último aspecto lo utilizaremos pero en general explicar el modelo va a requerir un gran esfuerzo de atención por parte del usuario que no suele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

5.4. Plantilla para crear un modelo

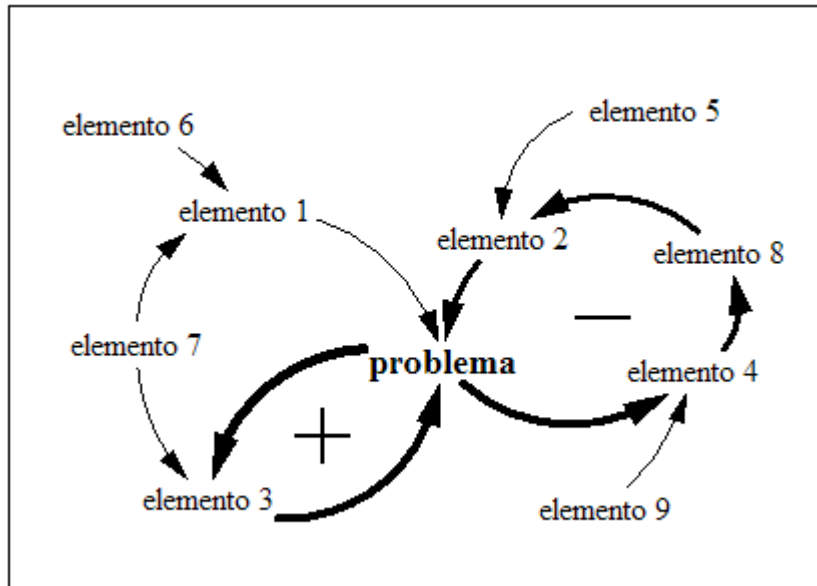
Escriba en cinco o seis palabras el problema en el centro de la hoja. Defínalo a través de un concepto que pueda variar a lo largo del tiempo e indique las unidades de medida del mismo. Si el problema se centra en un parámetro no cuantificable (como la salud) utilice una escala del 0 al 100 para valorar el estado del problema en todo momento.



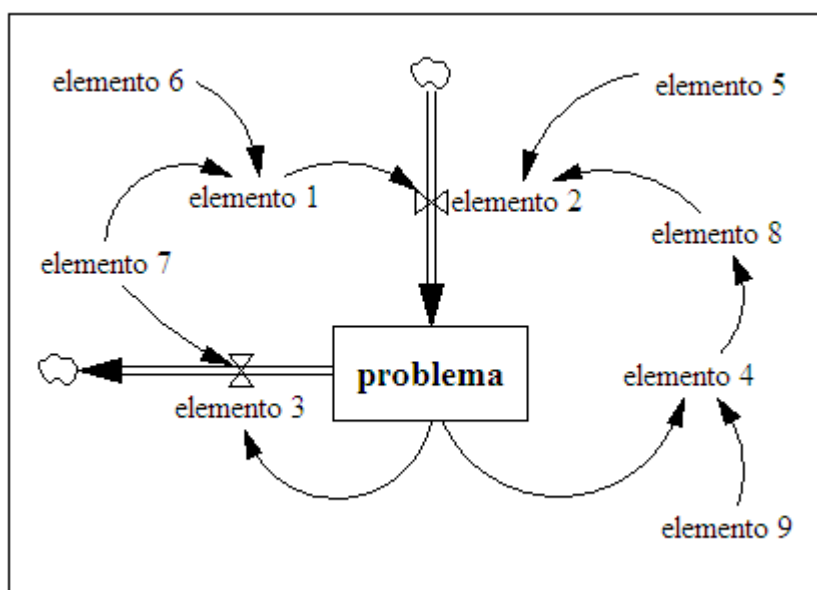
A continuación escriba los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema y las relaciones que cree que existen entre ellos, en un Diagrama Causal. Se trata de una primera versión, es necesario seleccionar los factores más relevantes que influyen en el problema. Más adelante la reconsiderará si es necesario incluir nuevos elementos o bien suprimir alguno.



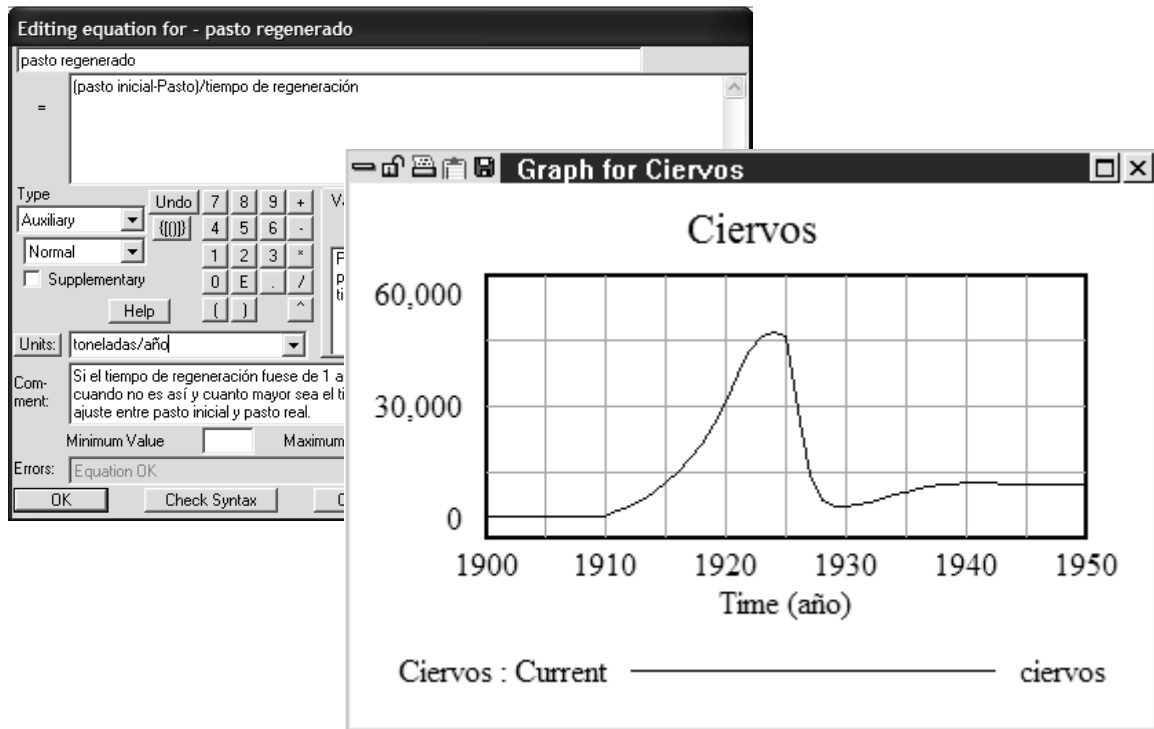
Indique los bucles y los signos de estos bucles, ya que ellos le pueden dar la clave del comportamiento actual del sistema y le van a permitir manipularlo según su propósito. Así es posible que le interese potenciar algunos bucles positivos para modificar con rapidez la situación actual, o bien tal vez le interese potenciar los bucles negativos para estabilizar el comportamiento actual del sistema.



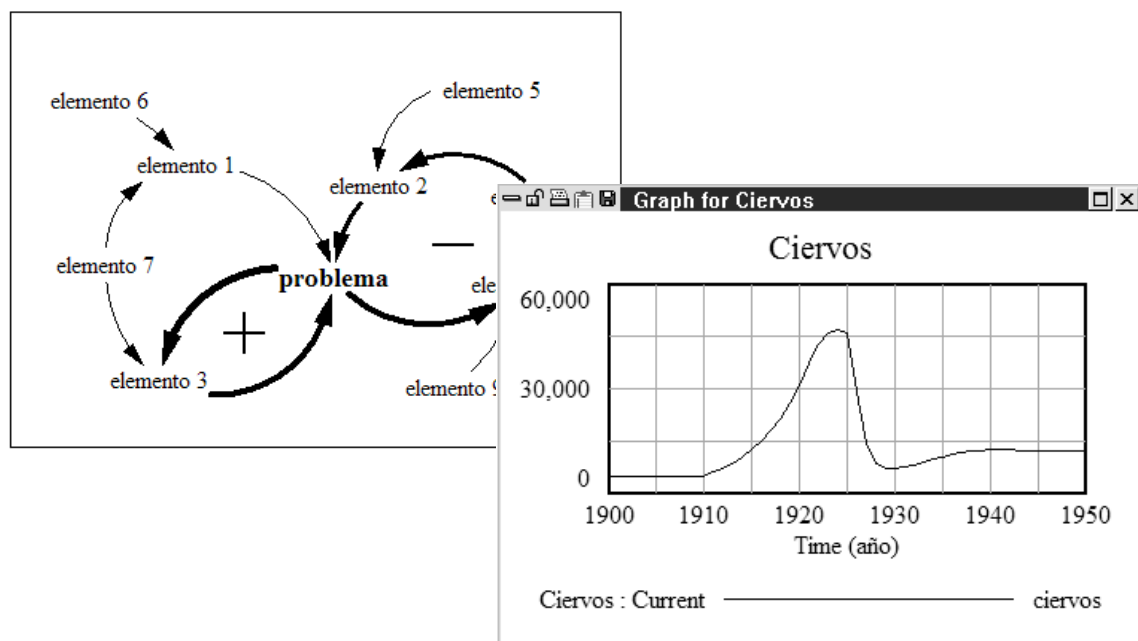
Es posible que llegado a este punto ya pueda ofrecer unas conclusiones sobre las acciones que es conveniente realizar para manipular el sistema según sus propósitos, si es así hágalo y no continúe con los siguientes pasos. Si el análisis basado en el Diagrama Causal no le permite aún establecer unas conclusiones entonces construya el Diagrama de Flujos. Es posible que este paso le ayude a reconsiderar algunas relaciones definidas en el Diagrama Causal.



El siguiente paso consiste en definir matemáticamente o con ayuda de tablas las relaciones entre los elementos. Es conveniente definir las variables reproduciendo una situación estable del sistema, para así poder ver con más facilidad el impacto de posibles acciones que deseamos estudiar.



Por último es necesario transmitir las conclusiones a nuestro cliente, y para ello lo mejor es utilizar el Diagrama Causal y las graficas con las simulaciones que se obtienen con el modelo, sin mostrar ni el Diagrama de Flujos ni las ecuaciones si no lo pide expresamente.



Tanto si cree poder desarrollar usted solo todo este proceso como si observa que tiene dificultades en seguir sus etapas, un buen consejo es que acuda al Anexo 5 Cursos de Formación.



6. EPÍLOGO



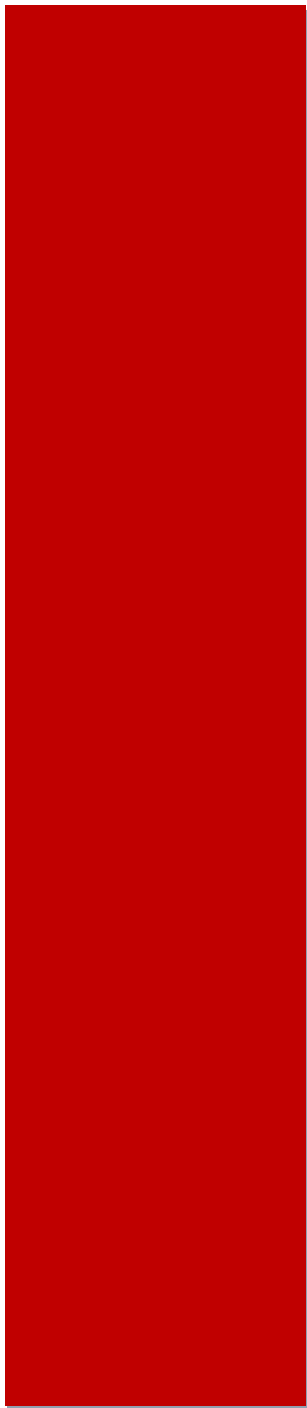


Para construir un modelo de simulación necesitarás que la Fuerza te acompañe. El camino siempre es largo, peligroso y sobre todo ... muy emocionante. No tengas miedo.

Si has adquirido el Conocimiento a través de este libro, como espero y deseo, utilízalo con buen fin, se paciente y generoso, y trata de obrar siempre con bondad. Así serás Caballer@ del siglo XXI.



ANEXOS



1. HISTORIA Y CONCEPTOS BASICOS

CIBERNETICA

La palabra Cibernética derivada del griego "Kybernetes" apareció por primera vez con Platón, y en el siglo XIX con André Marie Ampere para referirse a los modos de Gobierno.

Desde 1943 un grupo de científicos encabezado por el Matemático Nobeit Wiener había reconocido la necesidad de elegir un término para designar un nuevo cuerpo de teorías e investigaciones. En 1947 decidieron adoptar la palabra Cybernetics que fue popularizada en su libro (1948) titulado "Cybernetics, or the study of control and communication in the animal and machine" y desde entonces el término no ha dejado de mantener un interés creciente. De hecho la cibernética se desarrollo como ciencia profundamente "transdisciplinar" que estudia el control y el autocontrol (Wiener) o la ciencia de la eficacia de la acción (Couffignal).

SISTEMAS

Algunas definiciones de sistema :

- "Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados" (Von Bertalanffy, 1968)
- "Un sistema se define como cualquier conjunto de variables que el observador selecciona de las disponibles en la "máquina real" (Ashby, 1952)
- "Por el momento será suficiente pensar en un sistema como un grupo de objetos físicos en una parte limitada del espacio que permanece identificable como un grupo a través de una longitud de tiempo apreciable." (Bergmann, 1957)
- Un todo que está compuesto de muchas partes. Un conjunto de atributos" (Cherry, 1957)
- "Conjunto de partes que trabajan para lograr un objetivo común" (Forrester)
- "Una unidad compleja formada de muchos hechos a menudo diversos sujetos a un plan común o cumpliendo un propósito común" (Tercer Nuevo Diccionario Internacional de Websters)

La existencia de un objetivo común del sistema como característica esencial del mismo que aparece en las definiciones más recientes no debe ocultarnos que los diferentes sujetos del sistema pueden tener objetivos contrapuestos entre si. Así podemos pensar que en un partido de futbol cada jugador intenta realizar un esfuerzo físico mínimo para evitar fatiga y lesiones a costa de sus propios compañeros de equipo, pero en conjunto, sin renunciar a sus objetivos individuales se comportan para lograr un objetivo común que es la victoria.

El papel del entrenador del equipo consiste precisamente en lograr una mínima armonía entre los objetivos contrapuestos de los jugadores, a través de lo que conocemos como "motivación".

SISTEMAS ABIERTOS

La aproximación sistémica integra el método analítico-reduccionista que reduce el sistema a sus elementos para estudiar y entender los tipos de interacciones que existen entre ellos, suponiendo que se pueda superar los efectos de los elementos no considerados. Así este método es adecuado por los sistemas cerrados. Sin embargo Bertalanffy sabía que muchos sistemas por su propia naturaleza y definición no son sistemas cerrados. Si separamos un organismo viviente de su entorno morirá debido a la carencia del oxígeno, agua, y alimentos. Los organismos son sistemas abiertos que no pueden sobrevivir sin intercambiar continuamente materia y energía con su entorno.

En los últimos años de la década de los veinte Bertalanffy escribía: "Ya que el carácter fundamental de un objeto viviente es su organización, el acostumbrado examen de las partes y procesos aislados no puede darnos una explicación completa de los fenómenos vitales. Este examen no nos informa acerca de la coordinación de partes y procesos. Así, la tarea primordial de la biología debería ser la de descubrir las leyes de los sistemas biológicos (a todos los niveles de organización). Creemos que los intentos de hallar un fundamento para la biología teórica apuntan a un cambio básico en la concepción del mundo. A esta nueva concepción, considerada como un método de investigación, la llamaremos "biología organísmica" y en tanto y en cuanto se propone ser explicativa, "teoría de sistemas del organismo". El programa organísmico fue el germen de lo que más tarde se conocería como la Teoría General de Sistemas remplazando el término organismo por entidades organizadas tales como grupos sociales, personalidad, o ingenios tecnológicos.

Según Bertalanffy (1942): "En determinadas condiciones, los sistemas abiertos se aproximan a un estado independiente del tiempo, el llamado estado uniforme". Este estado uniforme se caracteriza por un orden relativamente alto expresado en la existencia de desniveles acusados entre los componentes del sistema.

TEORIA GENERAL DEL SISTEMAS

La "Teoría General de Sistemas" fue desarrollada por el biólogo Ludwig von Bertalanffy en el año 1940, al principio esta teoría no estaba enfocada a los fenómenos de regulación y mucho menos a la noción de la información, pero con más ventaja epistemológica para conseguir la unidad de la ciencia que la cibernética. Contrariamente de la cibernética, Bertalanffy se interesaba particularmente en sistemas abiertos.

El enfoque sistémico pone en primer plano el estudio de las interacciones entre las partes y entre éstas y su entorno. Aparecen relaciones comunes en distintos sistemas de diferente naturaleza, lo que lleva a la construcción de Sistemas Generales: se puede considerar un Sistema General como una clase de Sistemas Particulares con la misma estructura de relaciones, de modo que cualquiera de ellos puede tomarse como modelo de los demás. De allí viene la necesidad de construir distintas Teorías para distintos Sistemas Generales, según el contexto formal en el que los diversos autores desarrollan sus investigaciones. Ahora bien, podemos construir también una Teoría General de Sistemas

para el tratamiento sistemático de las propiedades de cualquier Sistema General. Será una teoría matemática formal, sin contenido material específico.

Una Teoría General de Sistemas, idealmente aplicable a cualquier sistema real o imaginable, deberá poder tratar sistemas con cualquier número de variables de carácter continuo o discreto. Así, por ejemplo, según Mesarovic, un sistema es cualquier subconjunto de un producto cartesiano generalizado.

La importancia de las interacciones en el enfoque sistémico hará necesario distinguir entre las variables de entrada generadas por el entorno y las variables de salida generadas por el propio sistema. A su vez, en los sistemas complejos con diferentes estados internos deberemos tomar en consideración la transición temporal entre los mismos, sea mediante procesos determinísticos o probabilísticos. En los casos de mayor interés sistémico, la salida de un sistema reacciona sobre su entrada a través de un bucle de retroalimentación que provoca un proceso no lineal.

Por tanto, los procesos derivados de la regulación y el equilibrio que son usuales en sistemas abiertos vivos o electrónicos serían de especial interés para la Teoría General de Sistemas.

DINAMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas se entiende, en el sentido de Forrester (1968), como una metodología para entender el cambio, utilizando las ecuaciones en diferencias finitas o ecuaciones diferenciales. Dada la representación de estos procesos podemos estudiar la dinámica del conjunto de los estados disponibles por el sistema que es el tema central de la modelación. La Dinámica de Sistemas tiene su origen en la década de los años 30 cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos, que son instrumentos en los que existe una retroalimentación desde la salida a la entrada.

En la década de los años 50, aprovechando los iniciales avances de la Informática, Jay Forrester desarrolla en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) la Dinámica Industrial. Con este instrumento, que aúna el enfoque sistémico y la simulación por ordenador, consigue avanzar en la resolución de problemas que se producen en el seno de la empresa industrial. Al final de la década publica "Industrial Dynamics" (1961).

La década siguiente, los años 60, es la década de traspaso desde el mundo de la industria al ámbito social, al final de la década aparecen los primeros resultados "Principles of Systems" (1968), "Urban Dynamics" (1969), "World Dynamics" (1971) para el Club de Roma, "Counterintuitive Behavior of Social Systems" (1971) y "The life Cycle of Economic Development" (1973). Cabe mención aparte el libro de D.L.Meadows "Dynamics of Growth in a finite World" (1972). El gran mérito de este libro es haberse publicado un año antes de la crisis de materias primas de 1973, y haber vaticinado en parte sus consecuencias.

A partir de entonces las aplicaciones, que se pueden seguir a través de los títulos publicados, se extienden a múltiples ámbitos, incluso a la ecología, que encuentra en la

Dinámica de Sistemas una ayuda muy válida para el estudio de los complejos fenómenos que se producen en la naturaleza. Recientemente se observa una cierta publicidad de las aplicaciones de esta metodología a la ecología. Así aparecen en la prensa artículos que comentan los feed-backs entre diferentes elementos de los ecosistemas, su complejidad, la existencia de puntos-palanca o leverage-points, la existencia de puntos sin retorno, etc.

Su generalización al estudio de procesos socioeconómicos basada en modelos mentales no cabe duda que comporta notables dificultades, aunque es innegable que viene a cubrir una laguna existente entre los instrumentos de análisis de estos procesos que se caracterizan por su complejidad y por la existencia de múltiples relaciones de retroalimentación.

La aplicación de la Dinámica de Sistemas a la socioeconomía se basa en que en este ámbito, también se pueden definir sistemas, compuestos por unos elementos que se relacionan entre sí de forma estable, entre los cuales rigen o se cumplen unas leyes, como son las de la lógica, las de mercado, las de la demografía, etc.

A medida que este instrumento ha ido adquiriendo experiencia y se han multiplicado sus aplicaciones, dentro de un ámbito limitado, aquellos que más lo utilizan lo han ido desarrollando en aspectos parciales, más o menos según sus gustos y necesidades.

RETROALIMENTACION

La cibernética introduce la idea de circularidad a través del concepto de retroalimentación, bucle o feed-back, rompiendo con la ciencia newtoniana clásica en la que los efectos se encadenan de forma lineal.

La idea de circularidad desarrollada por Wiener se centra en el feed-back negativo que permite la autorregulación del sistema antes posibles perturbaciones. En 1963, Maruyama estudió el feed-back positivo que, a diferencia del negativo, amplifica la desviación (sistemas "amplificadores").

La utilización de este concepto puede permitir explicar la evolución de los sistemas sociales en los cuales existen los dos tipos de retroalimentación.

LA CIBERNETICA Y LAS CIENCIAS SOCIALES

Norbert Wiener, el padre de la cibernética, era firmemente partidario de la aplicación de la cibernética a las ciencias sociales y la sociedad. Wiener se muestra convencido en sus libros "The Human Use of Human Beings" y "Cybernetics, or the study of control and communication in the animal and machine" de que el comportamiento Humano, de animales y de maquinas puede explicarse mediante los principios de la cibernética: comunicación, control de la entropía a través del aprendizaje mediante bucles de retroalimentación (Feed-back), etc.

Los cibernéticos estudiaron el sistema nervioso con el fin de entender la cognición Humana, llegando a la conclusión de que las observaciones independientes del observador

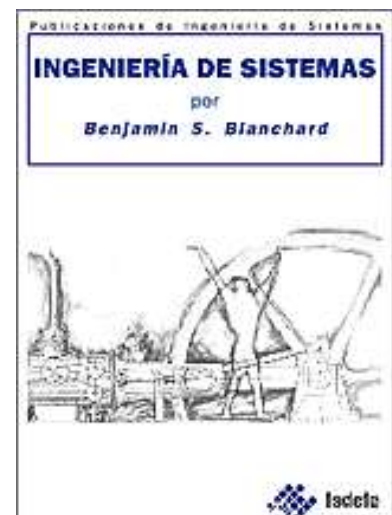
no son físicamente posibles. Cuando un escritor escribe en inglés está usando una estructura en su sistema nervioso que es resultado de la interacción con el lenguaje que ha tenido desde que era niño.

Aparte de la desventaja obvia de la subjetiva influencia del investigador en sus modelos sociales, a veces puede actuar como catalizador en procesos de cambio. En la psicología el campo de la terapia familiar rastrea sus orígenes directamente de la cibernética (Watzalwick, 1967). En la terapia familiar los comportamientos inusuales pueden ser resultados de interacciones dentro de la familia. "Sostenemos básicamente que los sistemas interpersonales -grupos de desconocidos, parejas matrimoniales, familias, relaciones psicoterapéuticas, o incluso internacionales, etc.-pueden entenderse como circuitos de retroalimentación, ya que la conducta de cada persona afecta la de cada una de las otras y es, a su vez, afectada por éstas" (Paul Watzalwick).

2. 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

3. 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 independendencia 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)

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.

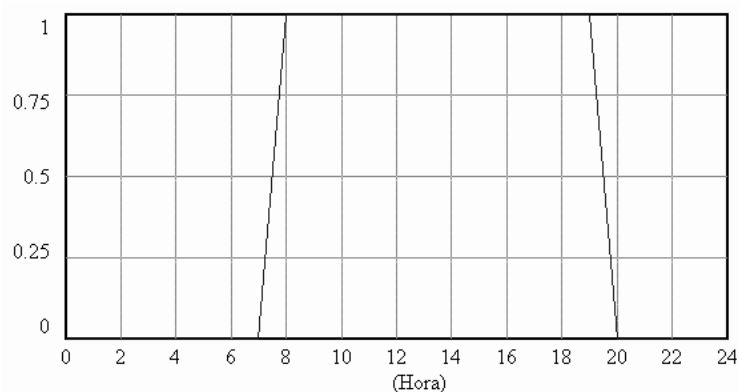
Velocidad del más lento = $\text{Min}(\text{Velocidad de A}, \text{Velocidad de B})$

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 durante B períodos. Antes y después el valor de la función es 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, entre las 8 y las 20 horas, y vale 0 cuando está cerrado.

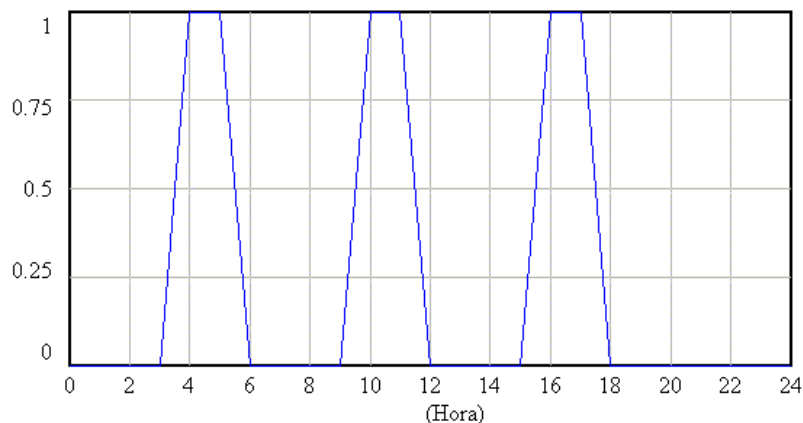


PULSE TRAIN (A,B,C,D)

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)

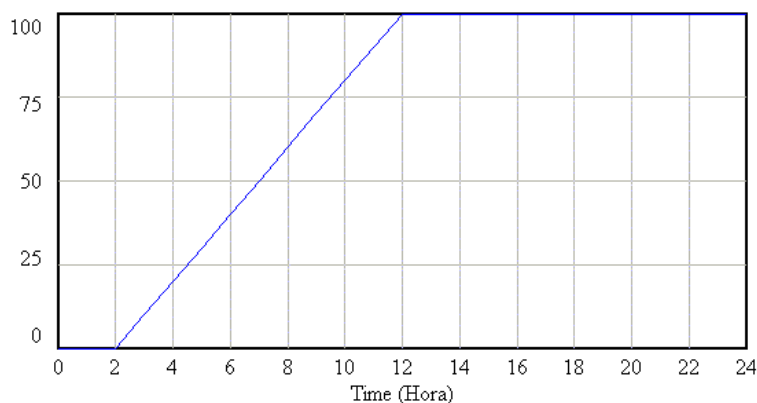


RAMP(S,T1,T2)

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)

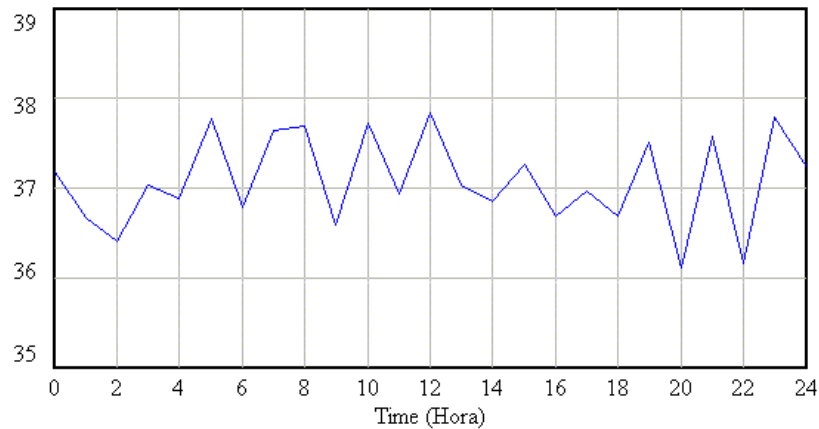


RANDOM UNIFORM(m,x,s)

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)**

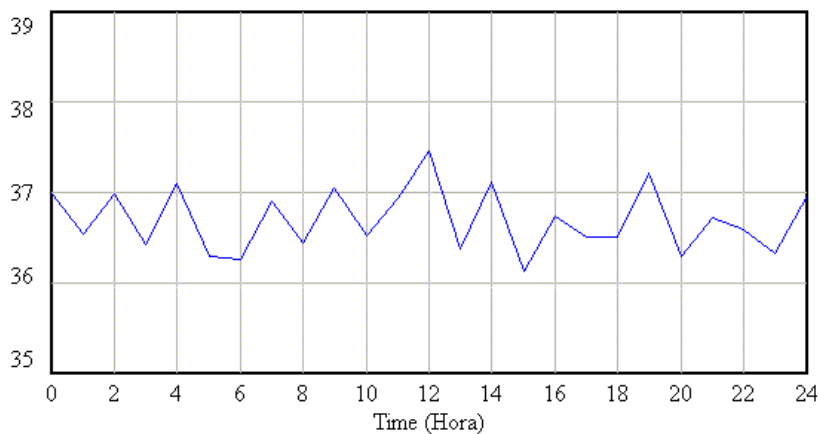


RANDOM NORMAL(m, n, p, x,s)

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.

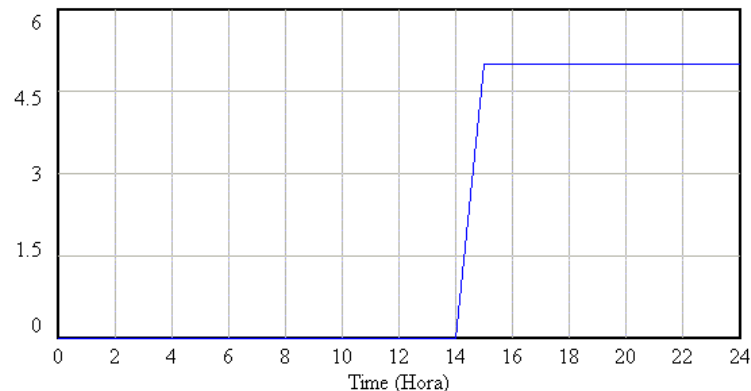
SQRT(X)

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", y que la relación ente ambos es compleja, de forma que no puede definirse con una relación aritmetica (del tipo $b=4a+2$). En estos casos se usan las Tablas.

El software Vensim nos ofrece la posibilidad de crear Tablas en dos formatos, unas tablas que llamaremos **externas**, donde la tabla se añade como un elemento (que no lo es) en el Diagrama de Flujos, y otras que llamaremos **internas**, donde la tabla se coloca dentro de la fórmula de la variable dependiente.

Problema a estudiar

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 (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)

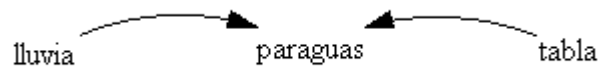
punto 3 (50,100)

Vamos a crear un pequeño modelo que nos calcule el porcentaje de personas que llevan paraguas en funcion de la cantidad de lluvia que cae.

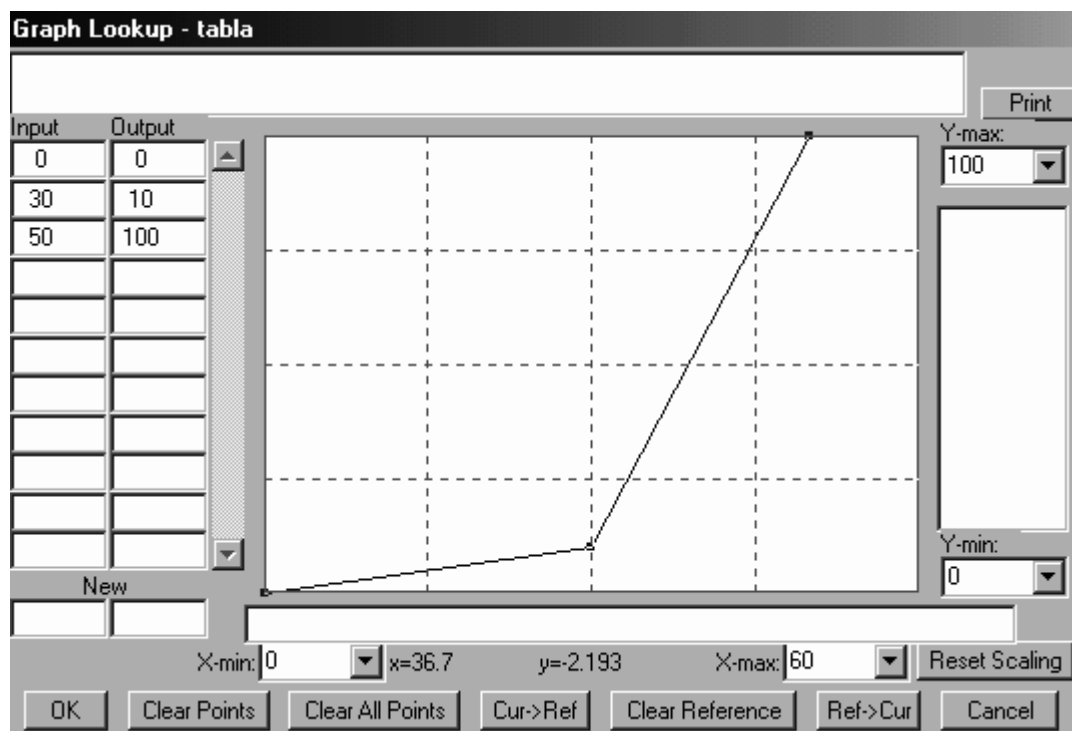
Tabla externa

Es necesario seguir estos pasos:

- abrir el Vensim y hacer File - New Model - ok
- crear una variable auxiliar llamada *lluvia*, otra llamada *paraguas* y otra llamada *tabla*
- dibujar una flecha desde *lluvia* a *paraguas* y otra desde *tabla* a *paraguas*.



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

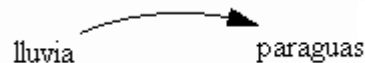


- hacer ok y ok
- pulsar el icono Run a Simulation
- observar el comportamiento de lluvia y paraguas.

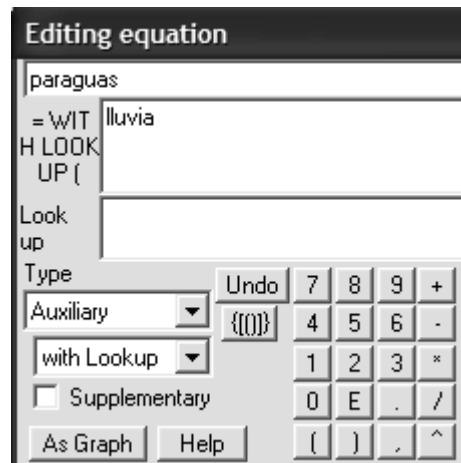
Tabla interna

Es necesario seguir estos pasos:

- abrir el Vensim y hacer File - New Model - ok
- crear una variable auxiliar llamada *lluvia* y otra llamada *paraguas*
- dibujar una flecha desde *lluvia* a *paraguas*



- escribir la ecuación de **lluvia=ramp(1,1,50)** ya que con ello simulamos que la lluvia se incrementa 1 litro cada periodo desde el periodo 1 al periodo 50.
- escoger la opción Type Auxiliary with Lookup



- escribir la ecuación de **paraguas=With Lookup(lluvia)**
- pulsar el icono AsGraph
- en la columnas Input / Output entrar en las 3 primeras filas las parejas de valores: (0,0) , (30,10) y (50,100) como se indicaba en la explicación de las tablas externas.
- hacer ok y ok
- pulsar el icono Run a Simulation
- observar el comportamiento de lluvia y paraguas

La decisión de utilizar una tabla externa o interna es una cuestión de estilo de la persona que hace el modelo, no obstante las tablas externas crean una cierta confusión en los Diagramas de Flujos ya que parecen ser elementos del sistema cuando en realidad no lo son. Las tablas internas tienen la limitación de que no podemos escribir ecuaciones del tipo $a = b \times \text{tabla}(c)$ combinando varios elementos en la ecuación, sino sólo las del tipo $a = \text{tabla}(c)$.

En ambos ejemplos 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.

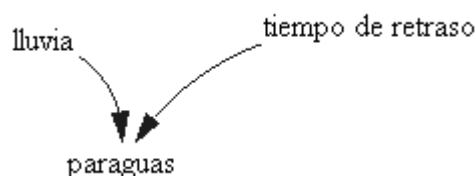
RETRASOS MATERIALES

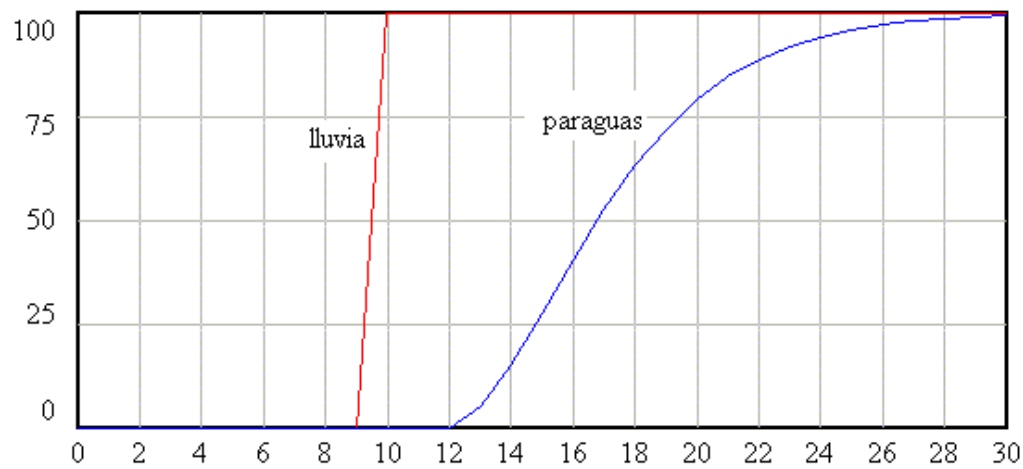
SMOOTH(X,T)	Retraso exponencial de primer orden, para la variable X y periodo T
SMOOTHI(X,T,N)	Igual que SMOOTH pero empezando la simulacion en el valor N en vez del X.
DELAY3(I,T)	Retraso exponencial de tercer orden, para el valor I y el periodo T .
DELAY3I(I,T,N)	Igual que DELAY3 pero empezando la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

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

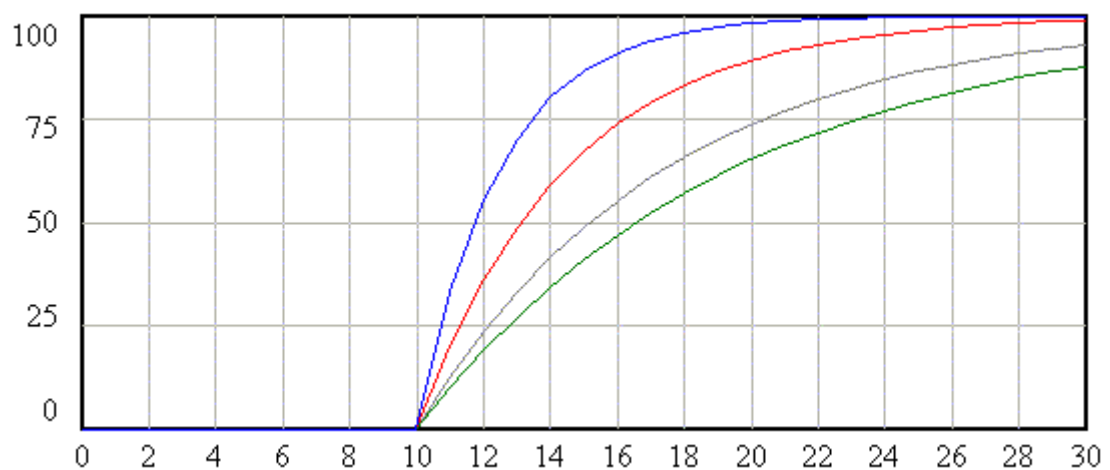
Ejemplo: Imaginemos que queremos simular la relación entre el momento que empieza a llover (minuto 10) y el porcentaje de personas que llevan paraguas. A continuación vemos el pequeño modelo y las ecuaciones con un retraso de tercer orden.

```
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.



Los retrasos de información se usan en las ecuaciones de las Variables Auxiliares mientras que los retrasos materiales se emplean en las ecuaciones de los Flujos.

4. PREGUNTAS FRECUENTES

¿Cómo funciona una función de retraso temporal?

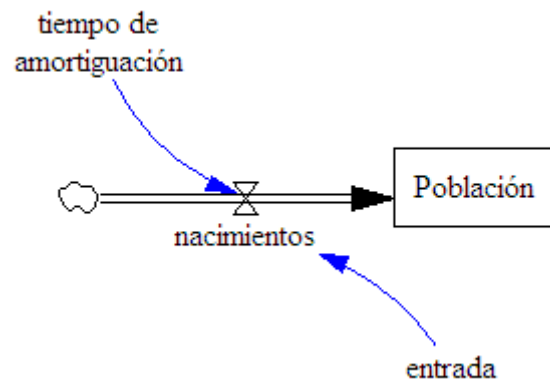
Veamos el funcionamiento de una función de retraso temporal como es Smooth. Hagamos el modelo siguiente:

```
Población = nacimientos
Initial value=0

nacimientos = SMOOTH(entrada,
tiempo de amortiguacion)

entrada=step(100,10)

tiempo de 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

	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

¿Cuál 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 más 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 se suele utilizar la Dinámica de Sistemas para hacer predicciones ya que 1.- nosotros si que podemos y queremos manipular el sistema, y 2.- en general no tenemos muchos datos de la situación de partida.

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

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.

¿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 sería 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 me 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 deseemos realizarnos 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 definición 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. Sino 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.

5. 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**

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

Los 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.

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.

6. SOFTWARE

No pretendo en este capítulo 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 descargue en Internet el software Vensim PLE ® que es gratuito para usos educativos y personales, no caduca, 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 hacer modelos que en los años 80 requerían los equipos de cálculo 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, y 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.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aracil, J. (1992) Introducción a la Dinámica de Sistemas. Ed. Alianza Editorial AU.Textos. Madrid
- Bertalanffy L.W. (1968) Teoría general de los sistemas. Ed. Fondo de cultura México
- Checkland, P. (1999). Systems Thinking, Systems Practice: A 30-Year Retrospective. NY: John Wiley and Sons
- Delgado Gutierrez, J.A. (2002) Análisis Sistémico: Su aplicación a las comunidades humanas. Cie Dossat 2000 Madrid.
- Donnadieu, G. et Karsky, M. (2000) La Systémique, penser et agir dans la complexité. Editions Liaisons. Paris
- Forrester, J. W. (1971). Principles of Systems. Norwalk, CT: Productivity Press.
- Forrester, J. W. (1971). World Dynamics. Norwalk, CT: Productivity Press.
- Goodman, M. R. (1974). Study Notes in System Dynamics. The MIT Press.
- Fuchs, H (2002) Modeling of uniform dynamical systems. Orell Fussli Verlag AG. Zurich.
- López-Díaz Delgado, E. Iniciación a la simulación dinámica. Ed. Ariel Economía Madrid.
- Martín García, Juan (2004). Sysware ISBN 84-609-2462-9
- 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.
- Prigogine, I. - Stengers, I. (1984). Order Out of Chaos. NY: Bantam Books.
- 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.
- Senge, P. (1999) La quinta disciplina. Ed. Granica. Barcelona
- Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. NY: McGraw-Hill Higher Education.
- 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.

8. 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 convencieron de la gran necesidad de disponer de libros sobre esta materia y me impulsaron a dedicar el esfuerzo necesario para dar forma a esta obra.

Este 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:

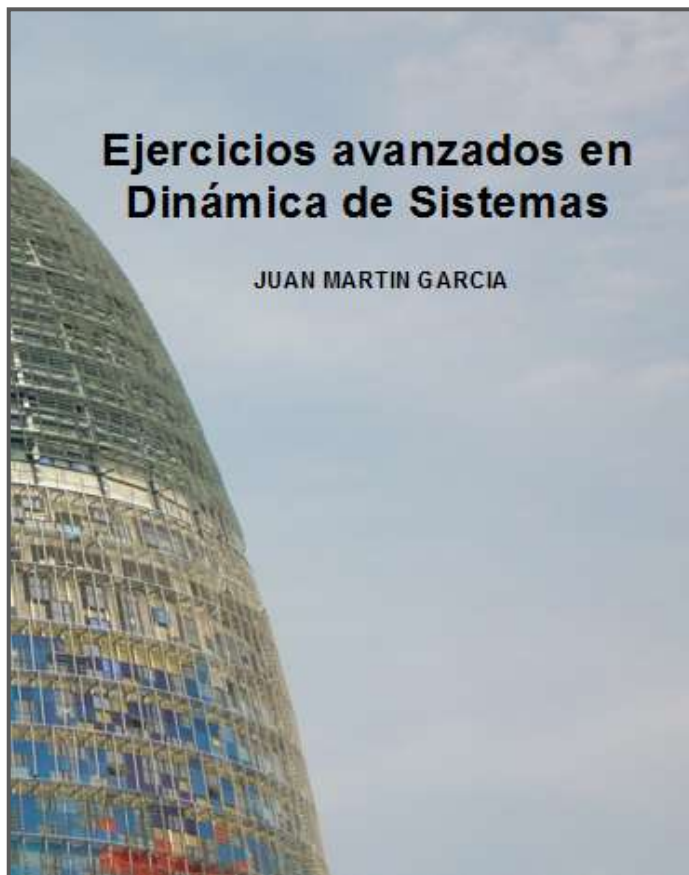
- Mario Guido Pérez: Ingeniero Químico, Argentina, en los modelos del Reactor químico, Ingestión de Tóxicos, El efecto mariposa y El número de oro.
- Claudio M. Enrique: Profesor de la UNL, Santa Fe, Argentina, en el modelo Estudio de los movimientos oscilatorios.
- Enric Rubio: Profesor de La Salle, URL, Barcelona, en el modelo Impacto de los planes de negocio.
- Alessandra Antonini, de Italia, Doctoranda en la UPC, Barcelona, en el modelo del Sector turístico.
- Josep Maria Bañeres: Profesor de La Salle, URL, Barcelona, en el modelo Los Barays de Angkor.
- Gustavo Adolfo Juárez: Profesor de Universidad de Catamarca, Argentina, en el modelo Desarrollo de una epidemia.
- José Ignacio Fernández Méndez: Profesor de la UNAM, Méjico, en el modelo Pesquería de Campeche.
- Mohamed Nemiche: Doctor en Física, Marruecos, en Historia y conceptos básicos.



y también Antoni Lacasa Ruiz, Dibujante, quien 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.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA BIBLIOGRAFIA RECOMEDADA



Ejercicios avanzados en Dinámica de Sistemas

Primera edición 2008

ISBN 84 6122792-1

Contenido:

1. Creación de aging chains
2. Creación de diagramas complejos
3. Uso de variables cualitativas
4. Importación de datos y exportación de resultados
5. Creación de Juegos de simulación
6. Simulación interactiva
7. Diseño de pantallas de entrada y salida
8. Análisis de sensibilidad con el Método de Montecarlo
9. Validación de modelos

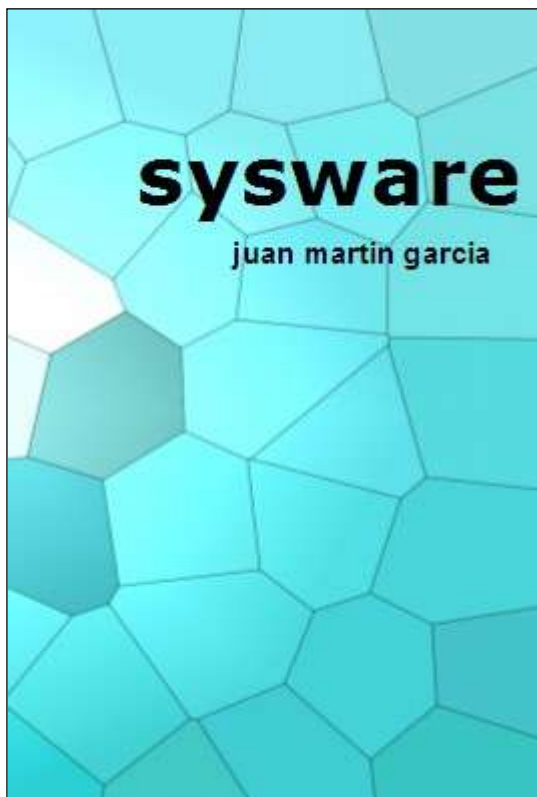
Este libro es la continuación del libro "Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas" y permite conocer el uso de nuevas prestaciones del software. Estas nuevas prestaciones, además de dar mayor solidez y rigor a los modelos, facilitan la posterior explicación de los resultados de las simulaciones y las conclusiones que se derivan. Requiere disponer del software Vensim PLE Plus o superiores

Compras en <http://www.dinamica-de-sistemas.com/>

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA BIBLIOGRAFIA RECOMEDADA

SYSWARE

La toma decisiones empresariales en un mundo complejo



CONTENIDO

1. Modelos mentales
2. Las Ciencias de la Complejidad
3. La Teoría General de Sistemas
4. Clasificación de los sistemas
5. Los sistemas estables
6. System Thinking – Pensamiento Sistémico
7. System Dynamics - Dinámica de Sistemas
8. Ejercicios prácticos
9. Dynamic Management – Gestión Dinámica

Primera edición 2004
Segunda edición 2006
ISBN 84-609-2462-9

En el nuevo siglo que justo hemos empezado se nos van a plantear a todos nosotros importantes retos para los que necesitaremos herramientas radicalmente diferentes a las que hemos utilizado con mayor o menor éxito hasta ahora.

El concepto de **sysware** es integrador de tres aplicaciones de la Teoría General de Sistemas en el ámbito empresarial: System Dynamics o Dinámica de Sistemas, System Thinking o Pensamiento Sistémico, y Dynamic Management o Gestión Dinámica.

Para la génesis de este nuevo concepto se ha tomado como base o raíz el concepto de sistema, **sys**, que es el autentico eje sobre el que gravitan estas aplicaciones de la Teoría General de Sistemas, y se ha incorporado el concepto de herramienta o mercancía, **ware**, para designar un conjunto de disciplinas con un nexo común ligadas todas ellas al ámbito empresarial.

Este es un libro pensado y dirigido en un principio a gestores de empresas, pero en realidad se dirige a todos en general ya que todos gestionamos los recursos que tenemos a nuestro alcance, desde nuestro propio y escaso tiempo, hasta nuestros ingresos mensuales, sean altos o modestos, y por lo tanto todos pueden encontrar en este libro una ayuda en sus cotidianas labores gestoras.

Compras en <http://www.dinamica-de-sistemas.com/>