



EDITORIAL UNIVERSIDAD DE TALCA  
Vicerrectoría Académica

Colección e-book

# INDAGACIÓN DE SITUACIONES COMPLEJAS MEDIANTE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Martin Schaffernicht

# e-book



# **Indagación de situaciones dinámicas mediante la dinámica de sistemas**

**Tomo I: Fundamentos**

**Martin Schaffernicht**



# **INDAGACIÓN DE SITUACIONES DINÁMICAS MEDIANTE LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

Martin Schaffernicht

**EDITORIAL UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**Vicerrectoría Académica**  
**COLECCIÓN E-BOOK**  
**Serie de libros electrónicos**



Registro de propiedad intelectual © N° 174.928

ISBN OBRA COMPLETA: 978-956-7059-92-8  
ISBN TOMO I: 978-956-7059-93-5

**EDITORIAL UNIVERSIDAD DE TALCA**

Talca- Chile, julio de 2009

Diseño de portada:  
Marcela Albornoz Dachelet

Corrección de textos:  
María Cecilia Tapia Castro

*Para Paula, Gabriela y Magdalena.*

# Prólogo

En nuestros días, se ha hecho un lugar común decir que el mundo es cada vez más globalizado y complejo, y que vivimos en una época de sobreoferta de informaciones. Se nos advierte sobre la brecha digital, que amenaza de excluir del desarrollo futuro a los que no tienen acceso al computador.

Como seres humanos, tenemos la esperanza de ser libres, libres de decidir y de actuar. Esta libertad deriva de la libertad de pensar. Sólo quien piensa libre puede ser libre. Pensar libre es tener ideas claras sobre “las cosas”, saber reconocer cuando una idea es dudosa, saber lo que uno no comprende y saber indagar. No se puede comprender todo, pero es peor no darse cuenta.

La humanidad ha generado diversas disciplinas que ayudan a pensar libremente. Una de ellas es la dinámica de sistemas.

Fundada durante los años '50 del siglo XX, la dinámica de sistemas es una disciplina que se apoya en algunas ideas básicas:

- vivimos en un mundo en el cual la mayor parte de las cosas cambian en el tiempo;
- nuestras acciones de hoy afectan, de múltiples maneras, las situaciones que tengamos que enfrentar mañana; asimismo, muchos de nuestros problemas de hoy son consecuencias de nuestras acciones de ayer;
- es nuestra manera de pensar en las cosas la que determina nuestras acciones;
- nuestro juicio intuitivo es fácilmente engañado por estas situaciones complejas; construir representaciones sistemáticamente y someterlas a la prueba de la simulación mejora nuestra comprensión, nos permite pensar mejor y nos da la oportunidad de actuar mejor.

Si bien cada una de estas ideas es bastante accesible al sentido común, la *praxis* de esta disciplina requiere una cierta destreza en el manejo de sus técnicas, que solamente se forma en el ejercicio práctico críticamente reflejado.

Existen excelentes textos para estudiar la dinámica de sistemas; lamentablemente están redactados en inglés. Las pocas excepciones son de carácter introductorio o eminentemente de ejercicio. La comunidad hispanohablante carecía de un texto que presente los aspectos teóricos y técnicos de la disciplina.

Este libro y el material que lo acompaña, es un intento por cerrar una primera parte de esta brecha. Se concibió para las personas deseosas de introducirse en la dinámica de sistemas con sus supuestos paradigmáticos, sus conceptos y sus técnicas. El presente texto no repite lo que los manuales anteriores ya han escrito; más bien, presenta el resto.

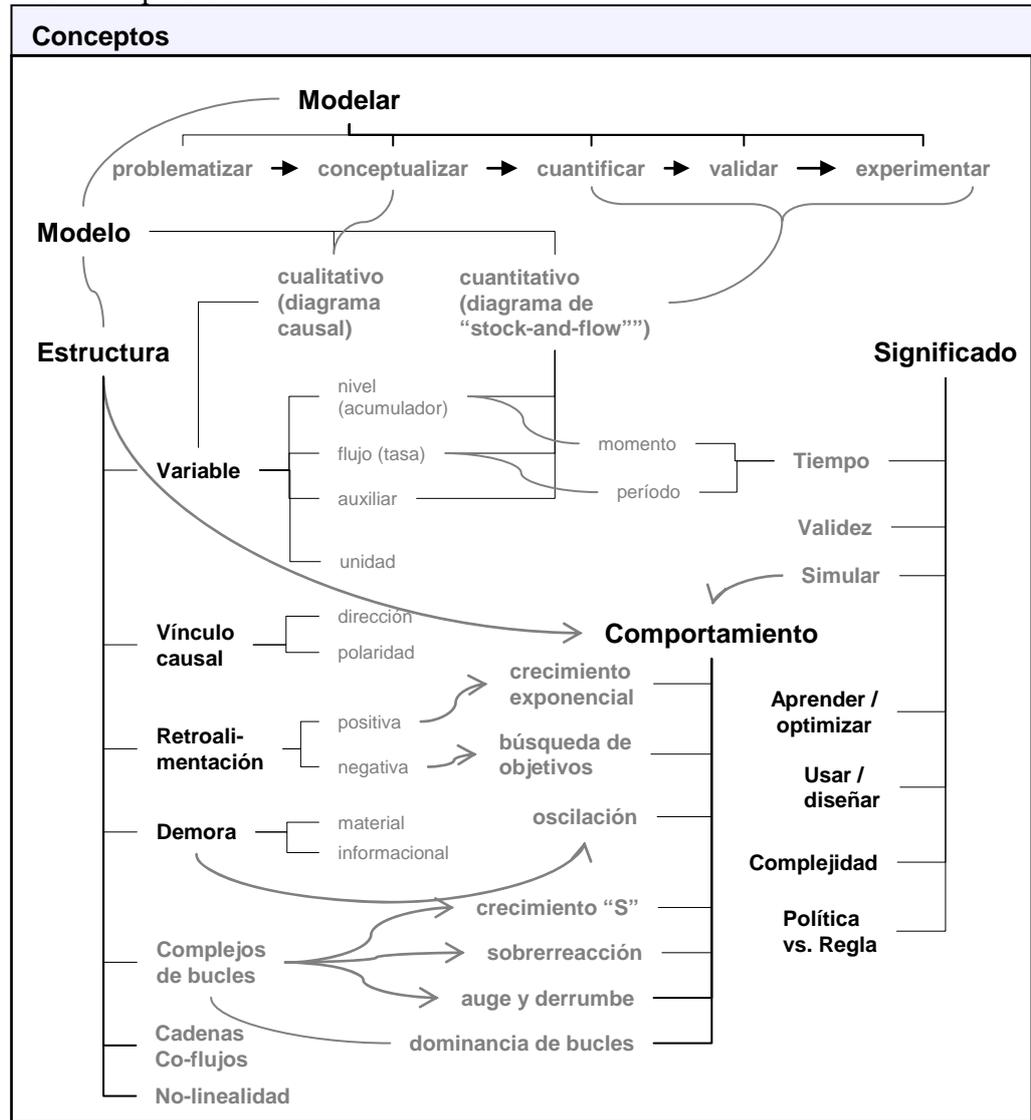
En su primera parte, se ofrece un acercamiento desde el ámbito metodológico. Luego el lector es introducido en el dominio de la causalidad circular y el arte de los diagramas de bucle causal. También se pone gran énfasis en aprender, detalladamente, sobre los dos tipos fundamentales de variables: acumuladores y los flujos. Esto sienta las bases para avanzar hacia estructuras de más alto nivel.

La segunda parte está dedicada al estudio de la estructura y conducta de seis formas básicas de sistema retroalimentado. El lector adquiere las bases que le permitirán reconocer determinados patrones en las situaciones que enfrenta.

La tercera parte agrega estructuras más específicas para enriquecer el vocabulario sistémico.

Para facilitar un trabajo productivo, cada unidad cuenta con una sección de orientación que explica los objetivos, los conceptos y las competencias. Éstos se declaran en forma de diagramas, ya que el manejo de ellos es muy importante en nuestra disciplina.

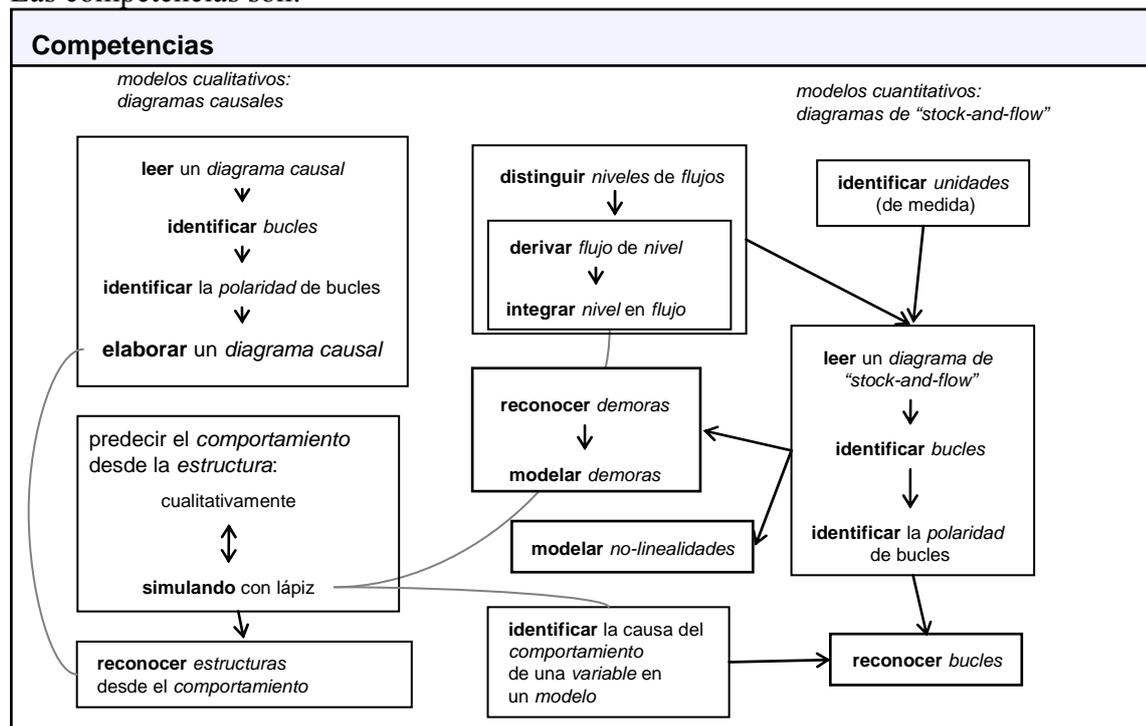
Los conceptos del libro son:



En este diagrama, aparecen todos los conceptos tratados en este libro. Los conceptos más genéricos están en fuentes de tamaño mayor. Hay tres tipos de vínculos entre ellos:

Las líneas rectas negras representan a la descomposición conceptual, muy comparable a la arborescencia de los archivos en un computador o los capítulos y subcapítulos en un libro. Las flechas grises significan “causa”; por ejemplo, “Estructura causa Comportamiento”. Las líneas simples en gris expresan un lazo de tipo “tiene que ver con”. En cada capítulo, el diagrama correspondiente mostrará los conceptos propios del capítulo en su contexto global.

Las competencias son:



En este diagrama, también hay líneas grises, que también significan “tiene que ver con”. Las flechas negras indican relaciones de precedencia. Por ejemplo, poder “leer un diagrama causal” viene antes de “identificar bucles”. Los verbos aparecen en letras negritas, para subrayar el aspecto “hacer”. Las palabras en cursivas, son conceptos que forman parte también del mapa de conceptos del libro.

Hay material interactivo que insistimos mucho el lector use durante el estudio de cada capítulo. Los modelos de simulación pueden ser descargados del sitio web del libro ([dinamicasistemas.atalca.cl/LibroDocente](http://dinamicasistemas.atalca.cl/LibroDocente)). Cada unidad termina con un resumen, referencias bibliográficas y recomendaciones para ahondar en los temas.

Apropiarse del contenido de este libro habilitará al lector a “hablar” dinámica de sistemas: podrá usar y estudiar modelos de simulación, podrá estudiar diversos textos más avanzados y podrá dar los primeros pasos para modelar las situaciones que enfrenta.

Lamentablemente, estudiar este texto no es sino un paso inicial en la senda del aprendizaje de la dinámica de sistemas. A partir de esta etapa, hay dos direcciones a seguir: la dirección horizontal y la vertical. En la dirección horizontal, se aprenderán más modelos. Como el lector podrá imaginarse, en casi 50 años de desarrollo, se ha generado un número impresionante de modelos. También se ha intentado sintetizar las estructuras más recurrentes en modelos genéricos. Su estudio es como ir ampliando el vocabulario. Después de haberse apropiado de los contenidos del Tomo 1, el lector estará capacitado para realizar este aprendizaje solo.

El sentido vertical agrega otros tipos de competencias. Más allá de llegar a comprender un modelo y sacarle provecho, la creación de nuevos modelos es una habilidad de más alto nivel, con sus propias reglas del arte.

Haber logrado desarrollar y validar un modelo de una situación es haber creado un conocimiento nuevo, un acto que da testimonio de la capacidad de pensar libremente.

El presente texto está enfocado en los conceptos de la dinámica de sistemas y a su comprensión práctica. Un segundo tomo será dedicado a la generación de modelos confiables; en él, se revisarán los métodos para la conceptualización, la cuantificación y la validación de modelos.

Espero, sinceramente, que este texto sirva como ayuda para los primeros pasos del camino hacia esta libertad de la que se hablaba al comienzo.

Martin Schaffernicht

# Contenido

<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>III</b>
<b>PARTE 1 – HACIA UN LENGUAJE PARA PENSAR CÍCLICAMENTE .....</b>	<b>1</b>
1. ¿POR QUÉ ESTUDIAR LA DINÁMICA DE SISTEMAS? .....	3
<i>Sobre este capítulo</i> .....	3
<i>El desafío</i> .....	4
<i>El pensamiento y la acción sistémicos</i> .....	9
<i>Lo que modelamos en dinámica de sistemas</i> .....	15
<i>Bloques de construcción mentales para el pensamiento sistémico</i> .....	25
<i>Modelar para aprender y saber</i> .....	28
<i>Haciendo el punto</i> .....	28
2. MODELOS Y MODELAR .....	33
<i>Sobre este capítulo</i> .....	33
<i>Fases de un proyecto de modelamiento</i> .....	34
<i>Fuentes de datos</i> .....	39
<i>Documentación</i> .....	40
<i>Hacia el modelamiento: criterios para evaluar un modelo</i> .....	43
<i>Haciendo el punto</i> .....	43
3. CAUSALIDAD Y DIAGRAMAS DE BUCLE CAUSAL .....	47
<i>Sobre este capítulo</i> .....	47
<i>Introducción</i> .....	48
<i>Definiciones</i> .....	49
<i>Componentes de un Diagrama de Bucle Causal</i> .....	50
<i>10 Reglas para un buen modelado</i> .....	79
<i>Haciendo el punto</i> .....	89
<i>Soluciones de los Ejercicios</i> .....	91
<i>Conclusión práctica: los criterios para evaluar un modelo</i> .....	103
4. FLUJOS Y ACUMULADORES .....	105
<i>Sobre este capítulo</i> .....	105
<i>La interpretación matemática de niveles y flujos</i> .....	116
<i>Aproximación usando reglas</i> .....	117
<i>La relación entre flujos y acumuladores</i> .....	125
<i>Integración gráfica</i> .....	126
<i>Derivación gráfica</i> .....	127
<i>Formación de la intuición</i> .....	127
<i>Haciendo el punto</i> .....	140
<b>PARTE 2 – LAS ESTRUCTURAS DE RETROALIMENTACIÓN Y SUS CONDUCTAS TÍPICAS .....</b>	<b>143</b>
<i>Introducción a la parte 2</i> .....	145
<i>Acerca de las estructuras básicas y su comportamiento</i> .....	146
5. RETROALIMENTACIÓN POSITIVA Y AMPLIFICACIÓN .....	149
<i>Presentación conceptual</i> .....	149
<i>Elaboración práctica</i> .....	152
6. RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA Y ESTABILIZACIÓN .....	159
<i>Presentación conceptual</i> .....	159
<i>Elaboración práctica</i> .....	162
7. OSCILACIÓN.....	171
<i>Presentación conceptual</i> .....	171
<i>Elaboración práctica</i> .....	173
8. CRECIMIENTO EN “S”.....	179
<i>Presentación conceptual</i> .....	179

<i>Elaboración práctica</i> .....	180
<i>Ejercicio de modelamiento</i> .....	186
9.    SOBRERREACCIÓN .....	187
<i>Presentación conceptual</i> .....	187
<i>Elaboración práctica</i> .....	188
10.   AUGE Y DERRUMBE .....	195
<i>Presentación conceptual</i> .....	195
<i>Elaboración práctica</i> .....	196
<i>El punto sobre la parte 2</i> .....	204
<b>PARTE 3 – ESTRUCTURAS ESPECÍFICAS</b> .....	<b>205</b>
11.   DEMORAS .....	207
<i>Acercamiento</i> .....	208
<i>Definición del Concepto</i> .....	209
<i>Tipos de Demora</i> .....	210
<i>Haciendo el punto</i> .....	225
12.   CADENAS Y COFLUJOS .....	227
<i>Sobre este capítulo</i> .....	227
<i>Cadenas</i> .....	228
<i>Elaboración práctica: maduración de recursos humanos</i> .....	231
<i>Coflujos</i> .....	238
<i>Haciendo el punto</i> .....	241
13.   NO LINEALIDADES .....	243
<i>Sobre este capítulo</i> .....	243
<i>La no linealidad</i> .....	244
<i>Haciendo el punto</i> .....	254
14.   ACERCA DE LA DOMINANCIA DE CIERTOS BUCLES .....	255
<i>Sobre este capítulo</i> .....	255
<i>Bucles y dominancia</i> .....	256
<i>Haciendo el punto</i> .....	258
15.   DETECTAR BUCLES DE RETROALIMENTACIÓN .....	259
<i>Sobre este capítulo</i> .....	259
<i>Detección metódica de bucles en modelos</i> .....	260
<i>Experimentos con el modelo</i> .....	260
<i>Más allá del modelo</i> .....	264
<i>Haciendo el punto</i> .....	265
<b>EPÍLOGO</b> .....	<b>267</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>269</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>272</b>



*Parte 1 –  
Hacia un lenguaje  
para pensar  
cíclicamente*



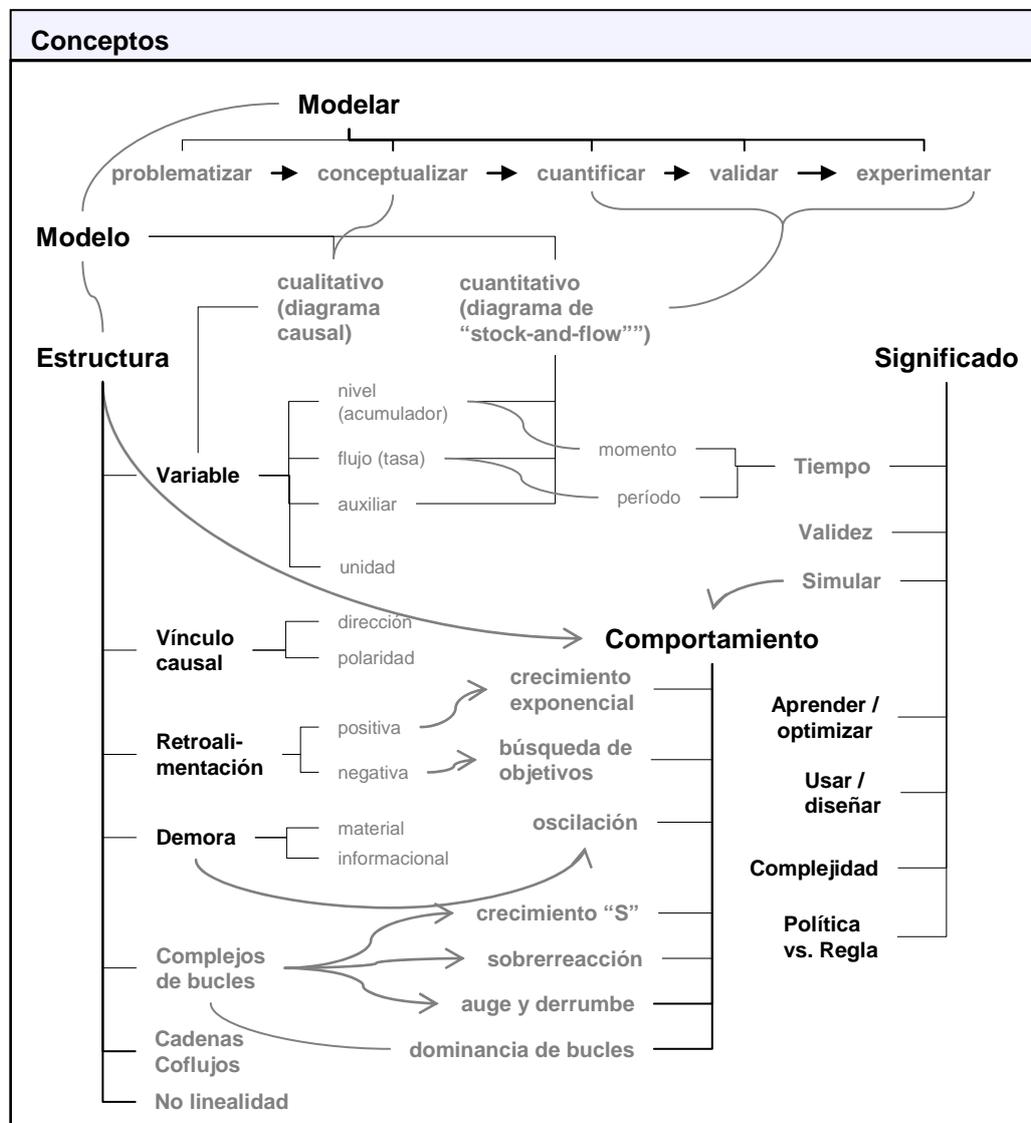
# 1. ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

## Sobre este capítulo

### Objetivos

Aprender la dinámica de sistemas requiere tiempo y esfuerzo. Este capítulo tiene el objetivo de dar una vista panorámica de la disciplina y, a la vez, entregar buenas razones para estudiarla:

### Conceptos



## El desafío

¿Cuántas veces nuestros intentos por superar un problema terminan empeorando la situación o nos dejan con un nuevo problema (o quizás una nueva manifestación del mismo problema)? Aquí vamos a discutir cuatro fenómenos relevantes:

### Resistencia frente a nuevas políticas de decisión

Llamamos “políticas” a los conjuntos de reglas de decisión o de acción que se emplean para hacer frente a las situaciones. Por ejemplo, cada persona tiene una “política” de alimentación; cada empresa tiene una política de promoción; cada país tiene una política frente al desarrollo de la economía no oficial.

¿Cuántas veces algún sistema parece reaccionar de manera que se contradice exactamente con lo que se busca obtener?

Ejemplos:

- en la industria de automóviles, se han introducido muchas innovaciones que aumenten la seguridad de los pasajeros, aumentando, por ejemplo, la estabilidad del vehículo en la vía. Sin embargo, no retroceden los accidentes (porque los conductores ahora van más rápido).
- mucho se ha intentado hacer para combatir el desempleo desde los años '70; sin embargo, de alguna manera se mantuvo durante más de 3 décadas.
- mucho se está intentado contra el terrorismo internacional. ¿Con éxito?

Cuando un sistema sigue comportándose de manera indeseada o vuelve a hacerlo después de mejoras iniciales, hablamos de “resistencia frente a nuevas políticas”. Lo que al actor le aparece como una “resistencia”, es la consecuencia de una comprensión insuficiente de la situación o bien del “sistema”. Hay varias posibilidades que no se excluyen mutuamente:

- la estructura del sistema incluye vías de efectos causales que el actor no tiene contemplado y que facultan al “sistema” a volver a su estado o mantenerse en él;
- el comportamiento generado por la estructura es demasiado complejo para haber sido anticipado correctamente.

¿Cómo descubrir estas vías de vínculos causales?



Seguramente usted conoce ejemplos de *resistencia a nuevas políticas*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

## Efectos laterales

Nuestras acciones tienen efectos - ¿quién lo dudaría? La idea detrás del término de “efecto *lateral*” es que algunos de los efectos de nuestras acciones nos sorprenden, porque no los teníamos contemplados: puesto que surgen al lado de lo que tuvimos previsto, los llamamos “laterales”.

¿Cuántas veces una intervención tiene efectos imprevistos que generan resistencia o nuevos problemas?

Ejemplos:

- el progreso industrial genera contaminación.
- el crecimiento económico y el progreso médico contribuyen a la explosión de la población y la masificación de la miseria.
- por dejar de comer chocolate, uno se pone a fumar más.
- para escapar a la dependencia de los proveedores de los recursos de generación de electricidad, algunos países adoptaron la energía nuclear. En este entonces, se quiso creer que ya se iba a desarrollar una manera de tratar los desechos nucleares, y no se incorporó su tratamiento en el cálculo de costos. Ahora empezamos a ver que los desechos deberán ser vigilados por milenios, y que el costo de la energía nuclear *Sí* debería incluir esta parte. Sin embargo, algunos países (por ejemplo: Francia) generan la mayor parte de su energía con plantas nucleares y no pueden cambiar su estrategia en un plazo de una o dos generaciones humanas. Esta es una nueva dependencia que no estaba contemplada.
- Hasta fines de los '90, Chile generó buena parte de su energía eléctrica con plantas hidráulicas. Luego, el surgimiento de las variaciones de lluvia (El Niño – La Niña) generó problemas de suministro en años secos. Para no depender tanto del agua, apareció como buena opción la importación de gas natural de Argentina, país que cuenta con amplias reservas. Sin embargo, cuando por causas de la crisis Argentina, este país adoptó nuevas políticas de abastecimiento interno, Chile tuvo que enfrentar nuevamente una situación problemática.

Los “efectos laterales” son laterales solamente para el actor quien no los tenía contemplados. Son consecuencia de las dos posibles faltas descritas en la sección sobre resistencia a políticas: no reconocer vías causales y/o no anticipar correctamente el tipo de comportamiento. En ninguno de los ejemplos mencionados, los actores descuidaron intencionalmente algunos aspectos: a veces no se dan cuenta, y otras veces se estiman irrelevantes (más de esto en la sección sobre ceguera).



Seguramente usted conoce ejemplos de *efecto lateral*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

## Comportamiento contraintuitivo

Todo “sistema” es un asunto dinámico, algo que hace cosas, tiene “comportamiento”. Frente a él, hay actores que quieren o deben asegurar que el comportamiento no se escape de ciertos límites. Cuando intervienen en este sentido, intentan anticipar el comportamiento típico: “si yo hago *esto*, entonces el otro hará *esto otro...*”. Muchas veces, nuestra apreciación intuitiva del sistema tiene defectos y lo que realmente el sistema hace nos parece contraintuitivo.

¿Cuántas veces el sistema reacciona de una manera completamente opuesta a nuestras expectativas?

Ejemplos:

- para reducir los problemas de pobreza en las ciudades de EE.UU en los '60, se construyen viviendas de bajo costo (pensando que así la gente tendría vivienda y no se iría, abandonando la ciudad a gente más pobre aún). ¿Suena plausible? Sin embargo, los problemas aumentaron: los barrios que se lanzaron en la construcción de estas viviendas, rápidamente atrajeron poblaciones más pobres; los que pudieron, se salvaron moviéndose a otra parte, y en efecto los problemas de pobreza y de criminalidad empeoraron.
- en algunos lugares universitarios, se observó que los estudiantes se ausentan en una asignatura A para prepararse a pruebas en otra asignatura B. Es una conducta indeseada por ser muy poco constante en el trabajo de cada asignatura. Para reducir la falta a clases en A por prueba en B, se inventó la "semana de pruebas", semana durante la cual se realizan todas las pruebas y no hay clase: así no hay la posibilidad de faltar en A para prepararse para B (y viceversa). ¿Suena intuitivo? Sin embargo, ahora los alumnos faltan en A y B en la semana antes de la semana de prueba, y también en la semana posterior debido al cansancio de la concentración de pruebas.
- Santiago de Chile cuenta con más de 6 millones de habitantes que tienen cada vez más automóviles. Sin la posibilidad de ampliar la red de calles, ello resulta en crecientes problemas de congestión vehicular. Para combatir esta congestión, en Santiago se decidió cobrar por el uso de las carreteras urbanas; la idea es que al tener que pagar, muchas personas dejarían de usar su automóvil personal (compartirían autos o usarían la locomoción pública). ¿Suena intuitivo? El día de hoy, es muy temprano para sacar conclusiones, pero: ¿qué harán las personas cuya elasticidad respecto del costo del uso de las autopistas urbanas las hace preferir renunciar a otras cosas? ¿Cuántas de las otras personas usarán las otras calles, prefiriendo pagar con tiempo (de congestión) al uso del transporte público?
- Hace unas 4 décadas, China introdujo una política firme de control de natalidad, con el propósito de frenar la explosión poblacional: una familia no tiene derecho a más de un descendiente. ¿Suena intuitivo? Sin embargo, en China es muy importante tener un descendiente masculino; por lo cual muchos progenitores, al darse cuenta de que su descendiente era de sexo femenino, terminaron con su vida, para poder

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

intentarlo otra vez. 40 años después, faltan millones de mujeres en relación con la cantidad de hombres.

Hablar de “contraintuitivo” supone implícitamente que hay una “intuición” y que el sistema se comporta de otra manera que la intuitiva. Esto se debe nuevamente a las dos insuficiencias (no reconocer vías causales y/o no traducirlas correctamente en comportamiento anticipado). Lea más sobre el tema en **Business Dynamics** (Sterman, 2002), capítulo 1.



Seguramente usted conoce ejemplos de *comportamiento contraintuitivo*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

### La ceguera o miopía del actor situado

En los diversos papeles que desempeñamos en la vida, nos importan - por motivación interna o por obligación - determinadas condiciones en nuestro entorno. Por ejemplo, un gerente de producción debe cuidar la calidad de los productos; un gerente de finanzas, el presupuesto; un responsable de carabineros, la seguridad...

Cuando algo no es como necesitamos o deseamos que sea, entonces actuamos de modo de reducir la diferencia: a veces lo llamamos corregir; otras veces es más bien aprovechar una oportunidad. Esto, lo hacemos intuitivamente en los casos rutinarios, que ya nos son tan familiares que no necesitamos pensar en ellos para hacerlos. Prácticamente todo lo que hacemos tiene este aspecto de vigilar-y-corregir: caminar, andar en bicicleta, mover los ojos sobre el texto que se lee... y en estas acciones intuitivas, tomamos en cuenta ciertos aspectos y otros no. También cuando tenemos que reflexionar para saber lo que vamos a hacer, nuestra manera de mirar la situación nos la muestra de un modo particular, y por esto mismo puede ser que no vemos todo lo que sería importante.

Intuitivamente, asociamos causalmente lo que aparece junto en el tiempo: son fácilmente asociados

- un relámpago y un trueno a los 0,5 segundos;
- una fiesta con exceso de consumo de alcohol y un dolor de cabeza al día siguiente;
- una siesta en la playa en pleno sol y una piel quemada;
- una campaña de publicidad y un cambio en las ventas.

Lo lejano en el tiempo nos dificulta la percepción:

- Si usted tiene una prueba de estadística en dos días y la prueba de dinámica de sistemas en dos semanas, ¿irá a la clase de dinámica de sistemas mañana?

- Si usted ha conocido (en la fiesta mencionada arriba) una persona sumamente atractiva y la atracción es mutua, ¿la posibilidad de tener un nacimiento en nueve meses interviene en su conducta sexual?
- Si usted fuma, ¿le importa el riesgo de tener una enfermedad grave 30 años más tarde?
- Las emisiones industriales que causan o agravan el cambio climático, que a su vez expone a graves riesgos a nuestros hijos e hijas (que usted quizás aún no tiene), ¿nos debe importar?
- Cuando Francia impuso muy duras condiciones a Alemania en Versalles al término de la Primera Guerra Mundial, ¿habrán pensado en la posibilidad que esto mismo puede sentar las bases de un futuro conflicto?



Seguramente usted conoce ejemplos de esta *miopía en el tiempo*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

También lo alejado en el espacio nos cuesta percibirlo como parte de "nuestro" sistema:

- todos sabemos que los gases de los spray dañan la capa de ozono, y que la radiación solar adicional daña. El hoyo se encuentra sobre la región polar del hemisferio sur, donde están Chile y Argentina. ¿Los chilenos dejan de usar los spray con gases nocivos? ¿A un francés, le debe importar? ¿Usted usa estos gases?
- todos opinamos que en nuestro país (respectivo), debe ser evitada (o disminuida) la desigualdad, y estamos dispuestos a renunciar a algo nuestro para ayudar. Sabemos que gran parte de la población del planeta se encuentran en condiciones peores. ¿Qué hacemos?
- todos sabemos que es injusto y cruel tener que vivir en una zona de guerra u otros conflictos armados, donde gran cantidad de personas mueren por actos de violencia. ¿Cuántas personas "civiles" mueren cada día por acciones bélicas en nuestro planeta sin ser partícipes del combate o de las fuerzas armadas? Por cierto que no se les concede un memorial comparable a las víctimas de los atentados a las Torres Gemelas en Nueva York, pero ¿nos conmocionó de la misma manera?



Seguramente usted conoce ejemplos de esta *miopía en el espacio*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

También hay condiciones más bien humanas o sociales que pueden hacer que en una determinada situación, no deseemos ver lo que podríamos ver. Eric Wolstenholme (2004) identificó 10:

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

- 1) *ceguera completa*: exclusión completa de lo relacionado con efectos de más largo plazo, muchas veces en situaciones donde hay exigencias de corto plazo muy elevadas: "pan para hoy, hambre para mañana".
- 2) *ceguera parcial*: desestimación de efectos laterales, que puede ser parte del ámbito de responsabilidad de otros, o simplemente se pretende que "esta vez no habrá problemas".
- 3) *se ve pero se elige cerrar los ojos*: los efectos laterales se reconocen, pero se cree que "esto es lo que hay", habrá que vivir con esto.
- 4) *se ve, pero hay miedo de actuar*: cuando las metas están fijadas en el corto plazo y se es responsable por el logro de las metas, entonces actuar en pro del largo plazo significa un costo en el corto plazo, que es preferible no pagar.
- 5) *se ve, pero no se cree*: los efectos laterales están a la vista, pero no hay pruebas duras (acuerdo de Kyoto), y se sigue adelante.
- 6) *se ve, pero no se aceptan los riesgos de actuar*: cuando las perspectivas de crecimiento dejan ver la necesidad de invertir, pero la inversión significa riesgos, se puede elegir no invertir a pesar del conocimiento.
- 7) *se ve, pero el plazo en el cual se verán los efectos laterales es demasiado largo para ser tomado en consideración*.
- 8) *se ve, pero se ignora por motivos políticos*.
- 9) *se ve, pero se ignora porque se cree que nadie se dará cuenta*.
- 10) *se ve, pero demasiado tarde*.



Seguramente usted conoce ejemplos de estas *cegueras*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

## El pensamiento y la acción sistémicos

Muchas de las situaciones que enfrentamos tienen múltiples componentes interrelacionados y en permanente reconfiguración: son "sistémicas". Hay más de una definición de lo que es un "sistema". Según Peter Senge (1995, p. 94), la palabra deriva del verbo griego *sunístánai*, que significa "causar una unión". Esto da a pensar que cuando una persona dice que (por ejemplo) la economía es un sistema, no necesariamente la economía es un sistema en el mundo real: lo es en los ojos de quien habla. Y esto es suficiente. Cada uno de nosotros vive en el mundo que ve desde su lugar, desde su punto de vista; nadie tiene un acceso privilegiado al mundo "real". Todos actuamos desde la *realidad* que *vemos*, y luego nuestras acciones intervienen en la realidad "real", que reaccionará de una u otra manera. Entonces si acordamos clasificar a la economía como un sistema, mientras las acciones que generamos desde esta idea resulten en efectos aceptables, no tenemos razones para cambiar de opinión.

Un "sistema" es un conjunto de componentes (muchas veces subsistemas) que interactúan. Como conjunto, tienen un borde o una frontera mediante la cual el sistema se diferencia del resto del mundo. También el conjunto muestra comportamientos "como un todo", tanto así que muchas veces le

adscribimos un objetivo. Tener un objetivo no es, sin embargo, un atributo necesario para ser considerado “sistema”. Muchos sistemas naturales son como son porque así resultaron del proceso de la evolución; no hay una entidad que haya diseñado el ecosistema (para tal o cual propósito), pero no deja de ser un sistema.

En el mundo social, nos enfrentamos con:

- sistemas artificiales: los productos tecnológicos como televisor, computador o teléfono móvil.
- sistemas mezclados: empresa, familia, mercado, dinero, universidad y otras entidades que los economistas llaman “instituciones”. No son producto directo de la evolución natural, pero tampoco han sido diseñados deliberadamente.
- sistemas naturales: el clima, las plantas y los animales, el planeta. (Resulta intrigante reflexionar hasta qué punto el poder tecnológico de la humanidad transforma algunos sistemas naturales en sistemas mezclados: piense en el cambio climático y todas sus consecuencias.)



Seguramente usted conoce ejemplos de estos *sistemas*. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

En un “sistema”, las partes son *interdependientes*. Ello significa que el pensamiento “lineal” - A causa B - es inadecuado porque no deja ver que, directa o indirectamente, B vuelve a influir en A.

Tome como ejemplo las guerras de precio y otros fenómenos de escalamiento: un competidor acaba de bajar los precios de un producto; en respuesta (para evitar pérdida de compradores) nuestra empresa baja sus precios. Luego esto asusta a la empresa competidora, que a su vez baja los precios aún más ... cada una de las empresas parece aplicar la regla “si el otro baja sus precios, entonces yo los bajo aún más”.

Hasta el derrumbe de la Unión Soviética al inicio de los '90, las dos superpotencias siguieron la misma regla en la carrera de armamento tan característica de la Guerra Fría; hoy, 25 años más tarde, nuestro planeta desborda todavía de armas nucleares, químicas y biológicas. La consecuencia de esto es que por un periodo desconocido (pero muy largo), vigilar estos objetos absorberá recursos de un volumen importante.

Un caso famoso son los cambios de política de contribuciones anunciados, donde un regulador piensa: la gente consume demasiado del servicio X, entonces aumentamos la tarifa, y el anuncio hace que la gente se apresure a usar lo más que pueda antes del cambio: frecuentemente, la causalidad es circular. Por ejemplo, el seguro de salud puede haber detectado muy altos costos de dentista, por lo cual decide bajar la cobertura a estas prestaciones. Desde el momento cuando esta medida se anuncia (lo que debe ser hecho

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

con anticipación), todos los que puedan intentarán tratarse los dientes antes del cambio: así se observará un crecimiento de costos, donde se quiso obtener una baja. Tales episodios han ocurrido en muchos países.

Hay un distrito industrial en el este de EE.UU. en el cual las emisiones industriales son tan fuertes durante los días de la semana que la atmósfera se llena en el tiempo de cinco días (lunes - viernes) y todos los fines de semana, el tiempo está malo (Sterman, 2002).



Seguramente usted conoce ejemplos de esto. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

Se piensa entonces que actuaríamos mejor si solo percibimos y pensamos mejor. Esto es el *pensamiento sistémico*, que se ha definido de diferentes maneras. Ya no será una sorpresa encontrarse con diferentes definiciones de lo que es este pensamiento. En este libro, nos limitaremos a las que se usan dentro de la dinámica de sistemas.

Barry Richmond, uno de los pioneros del software de modelamiento, propuso (1993; 1994):

- *pensamiento dinámico*, en términos de procesos y flujos en lugar de eventos aislados. Cuando intentamos generar una estrategia para reducir la desigualdad en la distribución de la riqueza en los países en vía del desarrollo, podemos fijarnos en cómo está la situación en el año actual: esta es una visión *estática*. Una visión *dinámica* sería cuando nos basamos en cómo la situación ha evolucionado durante los pasados 40 años. Un buen ejemplo de este enfoque son los informes del Programa Objetivos de desarrollo del Milenio de Naciones Unidas ([www.un.org/spanish/millenniumgoals](http://www.un.org/spanish/millenniumgoals)).

## Presentación General 2.1 Progresos hacia los objetivos de desarrollo del Milenio

### ODM: resumen por regiones

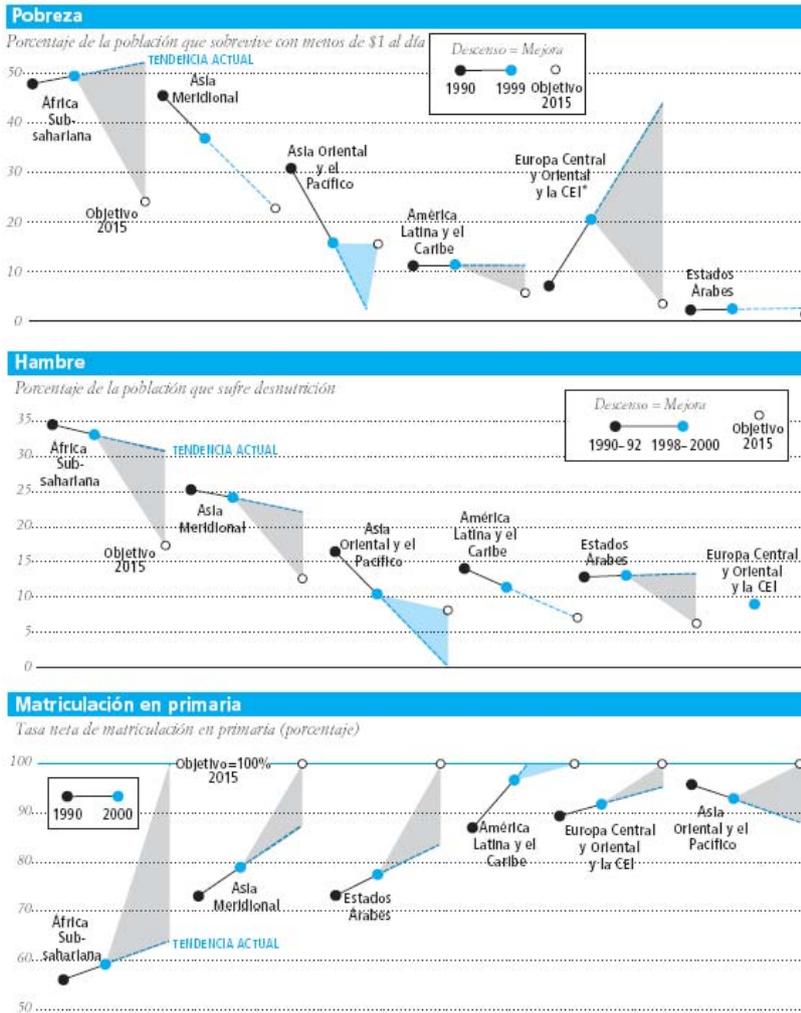


Ilustración 1: enfoque dinámico (Fuente: Informe sobre desarrollo humano 2003, p. 51)

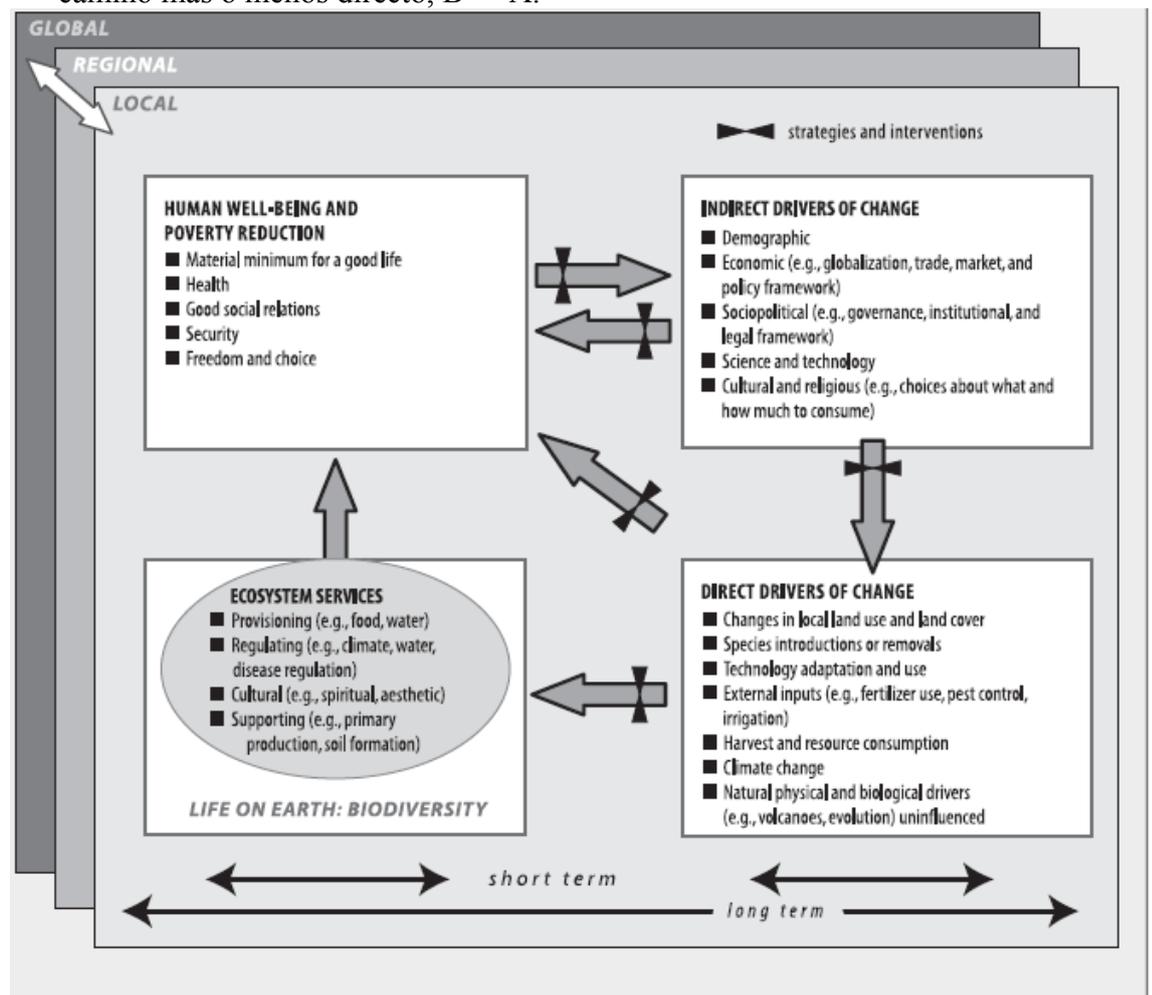
En este gráfico se presenta el desarrollo de las regiones geográficas respecto de tres de los Objetivos del Milenio, junto con adónde llegará si todo sigue igual y adónde deberían llegar para cumplir el objetivo hasta el año 2015.

- *el sistema como causa*: los eventos no son el fruto del azar, sino que consecuencia de las estructuras operantes en el sistema. Las cosas no pasan al azar o “porque sí”: son reguladas por la estructura del sistema. Para esto, es necesario adoptar el pensamiento dinámico. Por ejemplo, habrá razones estructurales por qué Asia oriental podrá alcanzar los Objetivos de Milenio de reducción de pobreza y de hambre mejor que América Latina, pero no así en el caso de la cobertura escolar básica.
- *pensamiento de bosque*: no basta con ver los árboles, se ve también el bosque como un todo. Muchas veces, nos ocupamos de los eventos, interactuamos con individuos y con casos particulares. Al retroceder unos pasos, podríamos ver que por muy particular que pueden ser estos casos, hay un patrón, algo que tienen en común.
- *pensamiento operacional*: tenemos que pensar en términos de la cadena entera de efectos que terminan produciendo un resultado final. Hay que

## ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

tomar en cuenta cada uno de los elementos que participan de la transmisión del efecto. Por ejemplo, acostumbramos escuchar en las noticias que el banco central (u otra institución responsable de la política monetaria de un país) ha aumentado la tasa de interés para proteger la economía de un sobrecalentamiento (que resultaría en una mayor inflación). Pero ¿cómo exactamente llegamos desde un cambio de la tasa de interés del instituto emisor a la inflación en el país? ¿Por qué funciona? Se recomienda tener claridad sobre la “mecánica” de la transmisión de estos cambios.

- *pensamiento de causalidad circular* (ciclo cerrado): el mundo no es dominado por cadenas causales unidireccionales: si A -> B, por algún camino más o menos directo, B -> A.



*Ilustración 2: una visión circular de la relación entre ecosistema y bienestar humano. Fuente: "Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment", p. 9.*

Podemos observar primero que el sistema “local” es solamente un subsistema del “regional”, que a su vez es subsistema de “global”. Luego vemos cuatro sectores – bienestar, factores determinantes indirectos del cambio, factores determinantes directos del cambio y servicios de ecosistema (por ejemplo, los bosques nos rinden muchos servicios como producción de oxígeno, estabilización del suelo etcétera). Queda en evidencia que un cambio en los factores directos volverá a afectar las condiciones en las cuales estos factores se manejan.

- *pensamiento cuantitativo*: prestar atención a las cantidades nos da un ancla en lo que es directamente observable. Esto ayuda a disciplinar nuestra tendencia natural a hacer inferencias y tomarlas como la “realidad”. Considere la declaración “las ventas han bajado horriblemente”, y otra “las ventas del mes de marzo son 5% más bajas que las de febrero y empeoran la tendencia por 3 puntos”. Probablemente, la segunda nos servirá más para construir un camino hacia un futuro mejor.
- *pensamiento científico*: la combinación de pensamiento lógicamente coherente y prueba empírica (también en simulación) ayuda a discriminar entre ideas válidas y otras ideas. Es la búsqueda de rigor en el pensamiento: ¿de verdad lo que me parece tan obvio es lógicamente correcto? ¿De verdad hay observaciones directas que avalen lo que creo y no hay evidencias contrarias? Podemos aceptar que nuestras ideas y creencias no son “la realidad”, pero eso no es el punto; lo importante es basar nuestras acciones en las mejores ideas disponibles y no cometer errores que hayan sido evitables.

Günther Ossimitz, investigador en el contexto del aprendizaje del pensamiento sistémico desde la perspectiva austriaca, publicó (2002):

- *pensar en términos de estructuras interrelacionadas*: un sistema es un conjunto de componentes que interactúan y causan un comportamiento global; por lo tanto, no podemos intervenir en una de sus partes sin arriesgar efectos en otras partes y posiblemente retroefectos sobre la parte intervenida (ya se han mencionados los efectos laterales, comportamiento contraintuitivo y la resistencia a políticas). Entonces al acostumbrarnos a pensar en términos de redes de componentes interdependientes, tenemos una oportunidad de evitar estas malas sorpresas.
- *pensamiento dinámico*, lo que significa tomar en cuenta la evolución de las variables en el tiempo, no sólo fotografías momentáneas; en este aspecto, Ossimitz coincide con lo expresado por Richmond.
- *pensar en términos de modelos*: tenemos que preservar la conciencia de que siempre percibimos, pensamos y actuamos a través de nuestro *modelo* de una situación compleja, el que es usualmente mucho menos complejo que la situación "real". Tal como el mapa no es el territorio – solamente permite navegar en él – el modelo no es el sistema. Tiene una validez definida, es decir es útil solamente en relación con el propósito para el cual fue desarrollado, y no hay garantía de que, en el tiempo, no vayamos a tener que revisarlo y cambiarlo.
- *acción adecuada para el sistema*: tenemos que actuar de manera a mantener la conducta del sistema bajo control. Recordemos que buscamos gobernar a los sistemas, influir en su conducta de acuerdo a nuestras necesidades y nuestros deseos. Entonces *pensar* correctamente es solamente un instrumento para el fin de *actuar* exitosamente.

John Sterman, profesor del MIT (donde trabajó Jay Forrester) y director de su grupo de dinámica de sistemas, postula lo siguiente (Sweeny y Sterman, 2000):

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

- comprender cómo la *conducta del sistema emerge* desde las interacciones de los actores en el sistema, en el tiempo (complejidad dinámica);
- descubrir los procesos de *retroalimentación* (positiva y negativa) que - hipotéticamente- están detrás de los patrones de conducta observados;
- identificar las relaciones de *flujos y acumuladores*;
- reconocer *demoras* y comprender su impacto;
- identificar *no linealidades*;
- reconocer y desafiar las *fronteras* de modelos mentales y articulados.

Esta última definición está eminentemente marcada por el universo conceptual de la dinámica de sistemas, y usa todos los conceptos esenciales.

Por cierto, cada una de estas propuestas es una manera particular de pensar sobre un tema común. Este curso tiene la aspiración de ayudarle a desarrollar su pensamiento sistémico. Claro está que el periodo de un semestre es corto y usted no debe esperar transformarse en un experto; sin embargo, será capaz de reconocer y razonar en términos de algunos bloques de construcción.

## **Lo que modelamos en dinámica de sistemas**

### Modelamiento de políticas y decisiones

#### *El administrador convierte información en acción (en información)*

Queremos ayudar a personas con alguna responsabilidad frente a situaciones complejas. Esto nos aleja de la idea de modelar "el sistema", porque una persona con una determinada responsabilidad no se enfrenta a "el sistema". Más bien, tiene que lidiar con situaciones en las cuales "el sistema" se manifiesta de diversas maneras: el responsable tiene un punto de vista particular, es lo que llamamos un agente situado. Desde este punto de vista, enmarcado en la necesidad de cumplir de la mejor forma con su responsabilidad, él tiene una vista selectiva de "el sistema". Lo mismo ocurre cuando trabajamos con grupos de responsables, solamente que en este caso, suelen existir varios puntos de vista.

Necesitamos, entonces, tener algo de imaginación - un modelo mental - de lo que hace un responsable. Su responsabilidad consiste, en términos genéricos, en asegurar que determinadas condiciones se cumplan. Por ejemplo, un vendedor es responsable de realizar una meta de ventas; un gerente de producción es responsable de la calidad y de la cantidad de su producción; un responsable de proyecto debe conducir los diversos aspectos del proyecto, para realizarlo en el tiempo y con el presupuesto disponible...

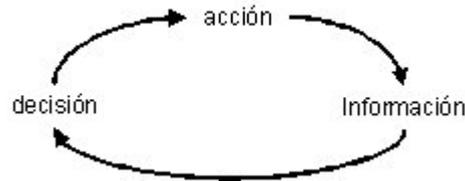
Un responsable debe entonces saber lo que tiene que lograr, apreciar la situación actual y, en base de las diferencias detectadas, tomar acciones correctivas. En este sentido, cada acción es la encarnación de una decisión e influye en algún proceso que se está realizando: nuestras acciones son guiadas por nuestras decisiones.



*Ilustración 3: sistema de control*

Hay decisiones implícitas en procesos físicos y decisiones explícitas que toma alguna persona; en el primer caso, muchas veces el estado físico de los factores importantes interviene en la decisión, en el segundo caso es la "información acerca del" estado actual de los factores que, en general, comporta una demora y otras transformaciones.

A la vez, las acciones cambian el proceso y, de una u otra manera, el mundo cambia. En consecuencia, se genera nueva información, que luego se toma en cuenta para las futuras decisiones. Por ejemplo, un responsable de bodega, al detectar que tiene muy poco de un determinado artículo, hace un pedido a su proveedor. En acto de pedir termina cambiando la cantidad disponible, lo que modifica la base sobre la cual él toma sus decisiones de pedido.



*Ilustración 4: ciclo IDA según Forrester (1994, p. 53)*

***Nuestras decisiones son guiadas por políticas de decisión***

A cada responsable, se le presenta una multitud de informaciones, pero solamente algunas son tomadas en cuenta para decidir. Este filtro selectivo depende de factores culturales, organizacionales e individuales.

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

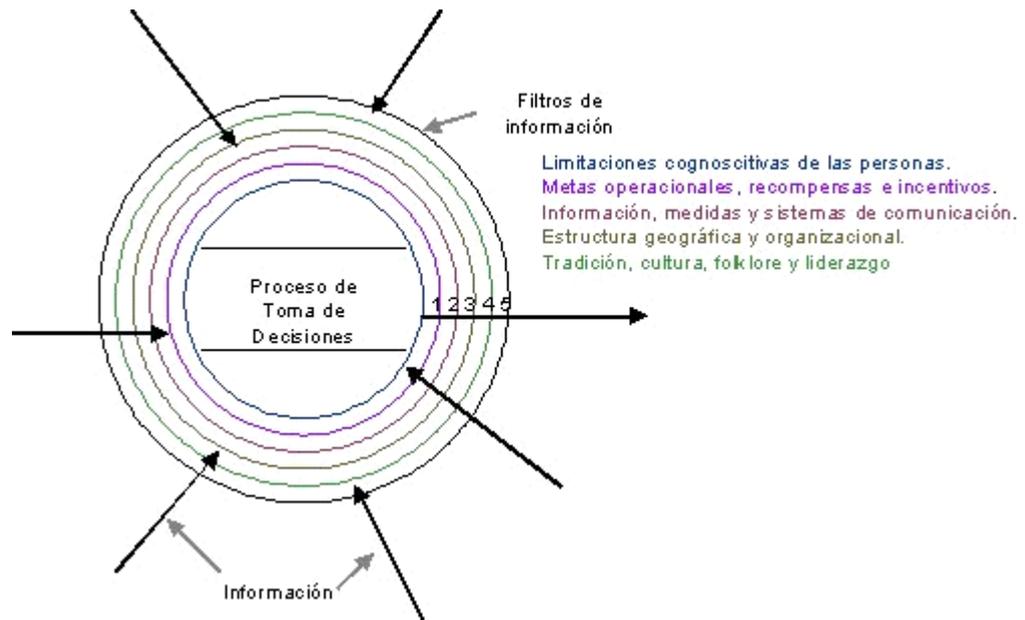


Ilustración 5: fuentes de información para decidir (adaptado de Morecroft, 1994, p. 16)

Además, las reglas de acción que permiten derivar una determinada acción correctiva desde un determinado perfil de diferencia entre lo deseado y lo actual no son predefinidas: también son producto de decisiones tomadas en base a informaciones. Por esta razón, igualmente son afectadas por estos factores.

Esto es lo que llamamos política: el conjunto de reglas que guían al responsable, según las cuales selecciona informaciones y genera decisiones.



Ilustración 6: aprendizaje en doble bucle

Las políticas se revelan en el discurso sobre y en la acción de decidir. Muy a menudo, parte de las reglas son implícitas, es decir las políticas de decisión declaradas pueden diferir de las verdaderamente usadas. Esto nos plantea un gran desafío: sólo si logramos descubrir las verdaderas políticas en uso, tenemos una oportunidad de revisar lo que genera las decisiones.

Esto es muy importante: si un responsable tiene un problema, es que sus acciones pasadas tuvieron efectos laterales adversos, y han producido o no

han evitado el problema. Por lo tanto, debe existir un defecto en sus decisiones. Pero puesto que ellas se generaron en el marco de las políticas de decisión actuales, ninguna mejora duradera de las decisiones se puede lograr sin revisar estas políticas. Como remarcó Albert Einstein: "no podemos pretender cambiar el mundo con las mismas herramientas que hemos usado para generarlo en su forma presente".

En dinámica de sistemas, afirmamos que muchos problemas que tenemos, son consecuencia de acciones nuestras, decididas en el marco de "políticas de decisión" que pueden ser explícitas o implícitas. Nuestra meta es llegar a explicitar las políticas de decisión, revisarlas y mejorarlas, porque de este modo podemos superar el problema de forma duradera.

## La función de los modelos

Según el diccionario (<http://dictionary.reference.com/search?q=model>), la palabra "modelo" es un diminutivo derivado del latín "modus" o forma; literalmente un modelo es una forma de tamaño reducido. De acuerdo con esto, hay diferentes sentidos como:

1. Objeto pequeño que represente a otro, usualmente más grande;
2. Trabajo o construcción preliminar que sirve como plan del cual un producto final puede ser hecho: un modelo de barro para una estatua.
3. Un trabajo tal que puede ser usado en pruebas o para perfeccionar un producto final
4. Descripción esquemática de un sistema, una teoría o un fenómeno que reproduce sus propiedades conocidas o desconocidas y que puede ser usado para seguir estudiando sus propiedades.
5. Un patrón o estilo genérico para un objeto: mi auto es un modelo de este año.
6. Un ejemplar digno de ser imitado (sinónimo de ideal).

La raíz indo-europea de la palabra es "med", lo que significa "toma medidas apropiadas", y de la cual también derivaron palabras como medicina, moderno, modesto y comodidad (según el diccionario de Bartleby en <http://www.bartleby.com/61/roots/IE305.html> ).

Las definiciones 2 y 3 hablan de cuando el modelo se elabora en la intencionalidad de *diseñar* un objeto que debe existir en el futuro. La definición 4 se refiere a cuando el modelador intenta *comprender* adecuadamente algo que ya existe. A veces, la meta de un proyecto es comprender o explicar un fenómeno – por ejemplo en el ámbito de las ciencias. Pero cuando se trata de solucionar problemas concretos o rediseñar un sistema social en marcha, se trata de diseñar algo que aún no existe. La comprensión de lo que existe es un prerequisite, pero diseñar va más lejos.

Mientras en diversas industrias es usual construir modelos concretos (un auto o avión pequeño que se pone en un canal de viento para evaluar sus características de aerodinámica; también aparece en la industria textil y la

## ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

moda en general). Para la dinámica de sistemas, se trata más bien de modelos abstractos.

Tenemos modelos de diversos grados de formalización. Se dice que un texto es un modelo informal; los diagramas son modelos semiformales, porque en su construcción nos sometemos a algunas reglas de vocabulario y sintaxis que los hacen menos flexibles que nuestro lenguaje usual. Finalmente, la matemática permite la existencia de modelos formales; son los únicos que pueden ser tratados con la precisión de lo numérico. A veces, hay solución analítica, pero en nuestro caso es la simulación: la ejecución paso a paso de instrucciones de cálculo, que se aplican para determinar los valores de las diferentes variables.

Ya que nos interesamos en cómo las cosas cambian con el tiempo, se excluyen los modelos estáticos por no tener la noción del tiempo. En dinámica, no hacemos el supuesto de que el mundo social buscaría siempre un equilibrio estático: al contrario, el cambio es la regla en el mundo de las organizaciones. Asumimos, además, que muchas relaciones entre variables no son lineales.

Otro aspecto importante es que no se asume una causalidad lineal, sino que justamente se postula que la mayoría de los sistemas tienen una lógica operacional cerrada, con causalidad circular. Esto es así en la empresa y otros sistemas sociales, pero también en los sistemas naturales en los cuales interviene el hombre. Así se ha mostrado, por ejemplo, que sobre partes muy industrializadas de la costa este de Estados Unidos, surgió un ciclo de mal tiempo de siete días: de lunes a viernes, se acumulan inmisiones industriales, hasta que el fin de semana el tiempo se pone lluvioso (Sweeny y Sterman, 2002).

Muchos modelos en las ciencias sociales se elaboran con el fin de poder predecir el probable desarrollo de ciertas variables en el futuro. Para este fin, la relevancia estadística de las variables y sus conexiones causales es suficiente, ya que las variaciones de una variable dependiente pueden ser explicadas por las de una variable independiente: se puede mostrar, de modo repetible, cómo se propaga la influencia causal. Es así que se ha mostrado en estudios de la UNESCO, que en América Latina los alumnos de escuelas y colegios donde los docentes están conformes con su salario, obtienen un rendimiento escolar más alto.

En dinámica de sistemas, intentamos rediseñar sistemas, intervenir en ellos, cambiarlos. Esto va más allá que explicarlos y nos pone en cercanía del modelamiento de la ingeniería. En el ejemplo del estudio de la UNESCO, ¿sería justificada una política de mejoramiento que propone aumentar los salarios, esperando que ello se tradujera en un aumento del rendimiento escolar? Por cierto, se deberían considerar todos los (otros) factores que posiblemente inciden en lo que termina el rendimiento escolar.

Desde esta ambición de poder diseñar lo que aún no es, se deriva un conjunto de principios (abajo).

Puede leer más sobre estos temas en Forrester, 1961, capítulo 4.

## De sistemas y modelos

La dinámica de sistemas parte del supuesto que el actor humano crea y “enacta” un sistema de actividad (SA) que interactúa con sistemas físicos (SF) - que pueden ser naturales o artificiales – de manera circular: adentro del SA toma decisiones y las implementa, influyendo de manera intencional o no al SF; luego el SF es parte de lo que influye al SA.



*Ilustración 7: interrelación entre los sistemas físico y de actividad*

De esta circularidad viene la complejidad dinámica que enfrenta nuestro juicio intuitivo a un serio problema. A modo de ayuda, la dinámica de sistemas ofrece la elaboración de modelos.

## Diferentes clases de modelos para diferentes funciones

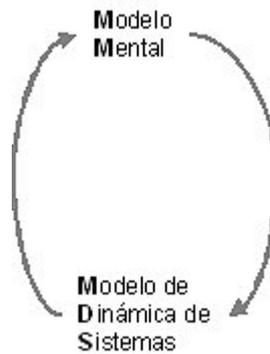
Se piensa que el actor humano percibe el mundo y actúa en él, a través de estructuras mentales dentro de las cuales hay un especial interés para los modelos mentales: “un modelo de un sistema dinámico es una representación interna relativamente accesible y duradera, pero limitada, de un sistema externo cuya estructura mantiene la estructura percibida de este sistema” (Doyle y Ford, 1998, p. 17; traducción del autor).



*Ilustración 8: interrelación entre el modelo mental y los sistemas*

El dinamista elabora modelos cualitativos y cuantitativos – los llamaremos modelos de dinámica de sistemas (MDS) - en base de estos modelos mentales y con el propósito de desarrollarlos, lo que genera un segundo ciclo cerrado:

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

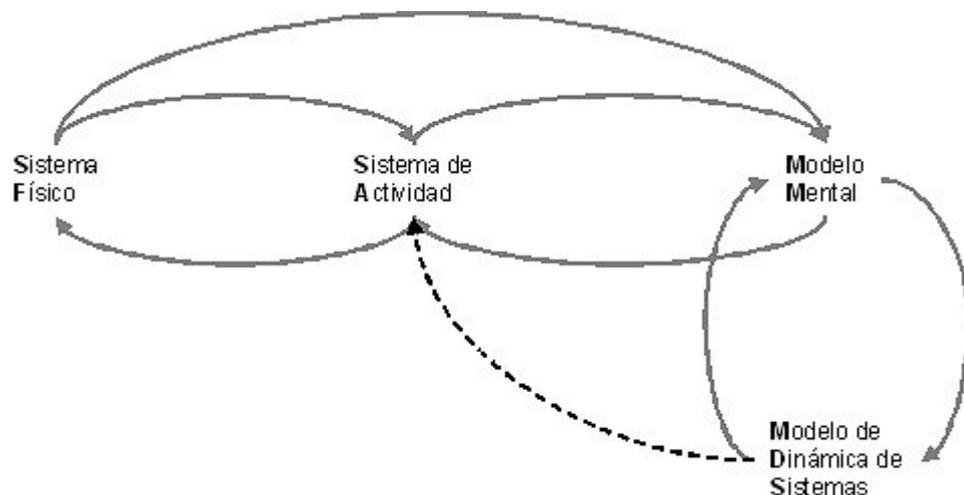


*Ilustración 9: interrelación entre modelo mental y modelo de dinámica de sistemas*

Conviene de este punto en adelante distinguir entre la esfera de las ideas (los contenidos mentales) y la esfera física (el mundo “real”); si bien el actor humano sólo accede al mundo real a través de las ideas, confiamos en que este mundo real sea lo suficiente estable para que el desarrollo de ideas rigurosamente desarrolladas aumente nuestro éxito.

### Dos posibles roles para el modelo

Surge la pregunta de si el MDS tiene la única función de interactuar con, e influir en el MM, o si es posible también que se use como plan de construcción para el SA:



*Ilustración 10: los posibles roles del modelo*

Para elaborar una respuesta, es preciso definir de qué se compone el SA. El ser humano tiene la posibilidad de interactuar directamente con el sistema que desea gobernar (el SF), en este caso se trata de acción. Pero también puede elaborar artefactos y luego interactuar con el SF usándolos; “artefacto” es aquí un término para referirse a reglas, procedimientos, softwares, mecanismos y máquinas.

La primera manera de ver los MDS es entonces que su elaboración y uso hace cambiar los MM, y luego los actores adaptarán su acción directa o el

diseño de sus artefactos. Y la manera alternativa es de postular su uso para diseñar directamente los artefactos del SA.

La diferencia es importante, ya que pone de manifiesto dos paradigmas diferentes. Usaremos dos autores para ilustrar este punto.

Un Mullah se trasladó con su camello hacia Medina; en su camino, se cruzó con una manada de camellos y tres jóvenes de aspecto triste. “¿Qué les pasó, amigos?”, preguntó el Mullah, y el mayor respondió: “Nuestro padre murió.” “Que Allah lo bendiga. Lo lamento por Ustedes” dijo el Mullah. “Pero ¿seguramente les dejó algo para Ustedes?” El joven replicó “Sí, estos 17 camellos. Esto es todo lo que tenía.” A lo cual el Mullah respondió “Entonces alégrese. ¿Qué más los preocupa?” El mayor de los jóvenes continuó: “La cosa es que según su testamento, yo obtengo la mitad de los camellos, mi hermano medio un tercio y el menor una novena parte. Intentábamos todo lo posible, pero con 17 camellos no se puede.” A lo cual el Mullah contestó: “Si esto es todo, entonces tomen mi camello por un momento, y veremos lo que pasa.” Ahora el hermano mayor obtuvo con 9 camellos la mitad de los 18. El hermano medio recibió su tercera parte, lo que da 6. De los 3 camellos restantes, el hermano chico recibió 2 (la novena parte de 18), y el Mullah recuperó el suyo, lo montó y se fue, no sin saludar sonriente a los tres jóvenes felices.

Heinz von Foerster comenta esta historia con “de la misma manera que se necesitaba el último camello, necesitamos la “realidad” como un bastón que botamos cuando tenemos todo claro” (<http://www.ibs-networld.de/ferkel/von-foerster-03.shtml> , traducción del autor).

En la obra inicial **Industrial dynamics** (Forrester, 1961), y de manera muy intensa en **Designing the future**, Jay Forrester hace la analogía entre la manera cómo se diseñan los aviones y las organizaciones: “organizaciones construidas por comités e intuición no tienen más éxito de lo que tendría un avión construido con los mismos métodos. Frecuentemente, se destina capital riesgo para financiar empresas en las cuales las políticas, los productos y los mercados se eligen de tal manera que el fracaso es predeterminado. De la misma manera que en un avión mal diseñado, que ningún piloto puede hacer volar exitosamente, ningún gerente del mundo real puede conducir tales corporaciones mal diseñadas al éxito” (traducido por el autor).

La posición de von Foerster – no tomar un MDS por más que un “bastón” para obtener un buen MM – clasifica el MDS como algo desechable. Recordamos el "Absolutum obsoletum – cuando finalmente funciona, ya no sirve” de Stafford Beer (1981). En cambio, Forrester parece haber pensado en algo comparable con los planes de construcción de un avión; sin embargo, los diseños o planes de construcción de tales artefactos no se botan; muy a contrario, se vuelven a revisar y mejorar para la próxima versión.

## Estructura de un modelo

*Un modelo tiene una estructura física y otra de políticas de decisión.*

Cada situación que enfrenta un responsable, contiene una parte del mundo material o físico. Por ejemplo, en el mundo del bodeguero, hay un sistema

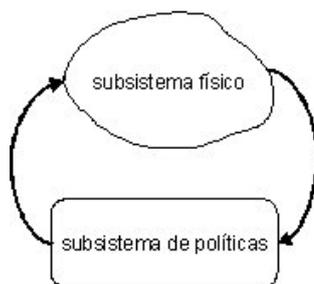
## ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

de transporte que conecta la bodega con el proveedor. Este sistema obedece a leyes físicas y otras regularidades que son como son y no pueden ser cambiadas. Transportar mercadería de un lugar a otro siempre tomará tiempo. Fabricar un producto en varias etapas mediante la combinación de módulos que, a su vez, deben ser ensamblados, siempre tomará tiempo.

En esta parte, decimos que en el sistema físico se toman decisiones implícitas. Por ejemplo, cuando un termostato activa la calefacción porque la temperatura medida es inferior a la actual, es una decisión implícita. El termostato no realiza una deliberación consciente. Simplemente hay un componente en él que cambia su forma, en función de la temperatura ambiente, y de esta manera establece o interrumpe un contacto (*switch*) físico. En este sentido, las decisiones implícitas del sistema físico, muy a menudo se basan en el estado real del sistema en cada momento. Otros ejemplos incluyen los fenómenos de crecimiento en el ámbito de lo vivo (plantas, animales).

Junto con el sistema físico, hay un sistema organizacional de políticas de decisión. Por ejemplo, hay una planta en la cual se realiza la producción. En esta planta, se han definido ciertas variables claves que se monitorean - por ejemplo la cantidad de desechos por errores de producción - según las cuales se ajustan otras variables (en el sistema físico) mediante decisiones: por ejemplo, la velocidad de una línea de ensamblaje puede ser regulada en función de los desechos. O la composición de un vino (cepas que se mezclen) en función de los gustos de los compradores en los diferentes mercados.

En esta parte, hablamos de decisiones explícitas. Usualmente, estas decisiones no se toman en función del estado real del sistema, sino que en función de la información disponible sobre este estado. La velocidad de la línea de ensamblaje se decide en función de la información "número de desechos por lote de producción", no por los desechos mismos. La decisión de la viña se hace en base a información proveniente de un estudio de mercado, no directamente desde el gusto de los compradores. Esto significa que las decisiones explícitas no son, en general, conectadas a cambios en el sistema físico (como en el termostato), sino que la información sobre los cambios, con la consecuente demora que la confección y el transporte de la información significan. Por ejemplo, un jefe de tienda de una empresa de multitiendas toma sus decisiones al final del día, con un resumen de ventas, y no en cada instante (de acuerdo a la realización de cada venta individual). También significa que las distorsiones, la incompletitud y la incerteza inherente a la información influyen en las decisiones.



*Ilustración 11: relación entre políticas y sistema físico*

### ***Flujos y estados***

Se distinguen variables de flujo y variables de nivel.

Nuestro mundo está constituido por procesos. Un proceso es algo inherentemente dinámico, es el cambio o el movimiento de algo sobre el tiempo. Esto es algo que debemos representar en nuestros modelos de las situaciones, que siempre son parte de "el sistema" o simplemente del mundo.

Sin embargo, no podemos percibir directamente lo que cambia, los procesos. Cuando usted va al cine a ver una película, a sus ojos se le presentan imágenes estáticas. El movimiento no se ve, se construye adentro de su sistema cognitivo (nervioso). Nosotros solamente podemos "percibir" como son las cosas en un determinado momento, no como cambian. Por lo tanto, debemos poder representar "como son las cosas" en nuestros modelos.

En un modelo, ponemos variables y conexiones para re-presentar algo (la combinación entre subsistema físico y subsistema de políticas). Para representar a lo que es, usamos variables de estado. Para representar lo que cambia, usamos variables de flujo. Ambos tipos de variables se necesitan mutuamente: los flujos cambian a los estados, y sin estados (lo que hay) no habría flujos (cambiar lo que hay).



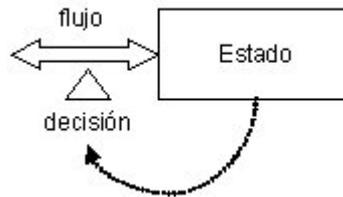
*Ilustración 12: flujo y estado*

Las decisiones actúan sobre los flujos: cuando el bodeguero hace un pedido, es un flujo. La cantidad de pedidos que el proveedor debe procesar cambia a raíz de él. Cuando el proveedor manda lo pedido, es un flujo: cambia la cantidad de pedidos por procesar y cambia la cantidad de artículos en la bodega del bodeguero.

Las decisiones se informan desde los estados: ya que no podemos percibir directamente los flujos, la decisión del bodeguero debe haberse basado en estados. Comparar la cantidad del artículo en la bodega con la cantidad

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

deseada es una comparación entre dos estados. Proveer en respuesta al "pedido que hay" es reaccionar a un estado.



*Ilustración 13: el sistema cerrado mínimo*

En dinámica de sistemas, las variables de estado se llaman "nivel" y son definidas como "la cantidad de (algo) que se encuentre en este estado en este momento".

Hay un tercer tipo de variable en nuestros modelos: las variables auxiliares ayudan a explicitar las transformaciones de información que se realizan en la toma de decisiones. En el ejemplo de la bodega, la diferencia entre "lo que hay" y "lo que debe haber" puede ser almacenada en una variable auxiliar, ya que se trata de información.

## **Bloques de construcción mentales para el pensamiento sistémico**

### **Retroalimentación**

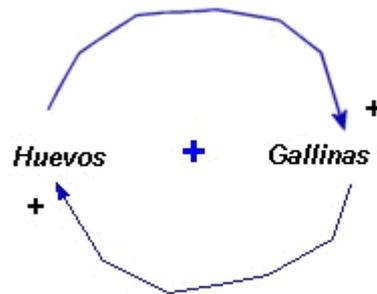
Lo que hacemos, no es sin efectos; y muchas veces, tiene mucho más efectos de lo que imaginamos. Los efectos se manifiestan primero en alguna parte donde lo vemos bien; por ejemplo, una campaña de publicidad tendrá algún efecto inmediato en el comportamiento de los consumidores. Pero también tiene otros efectos menos directos, por ejemplos del lado de los competidores; ahora bien, si en respuesta de nuestra campaña, un gran competidor lanza una campaña mayor, bien puede ser que el efecto a más largo plazo de nuestra campaña sea una reducción de la demanda para nuestros productos.

Cuando algún efecto de una acción vuelve a afectar al actor de alguna manera, se habla de retroalimentación.

Es un tema central en la dinámica de sistemas, ya que ayuda donde los actores humanos tienen una tendencia a "no ver" efectos lejanos en el espacio o el tiempo. Se piensa que los comportamientos contraintuitivos, los efectos laterales y la resistencia de los sistemas, son consecuencia de una ceguera en relación con bucles de retroalimentación más lentos (que toman más tiempo) o más amplios (que pasan por variables más alejadas).

Un ejemplo simple de retroalimentación es la relación entre gallina y huevo. Si cada gallina produce una misma cantidad de huevos por día, añadir una nueva gallina significa obtener más huevos; y con un poco de paciencia, los

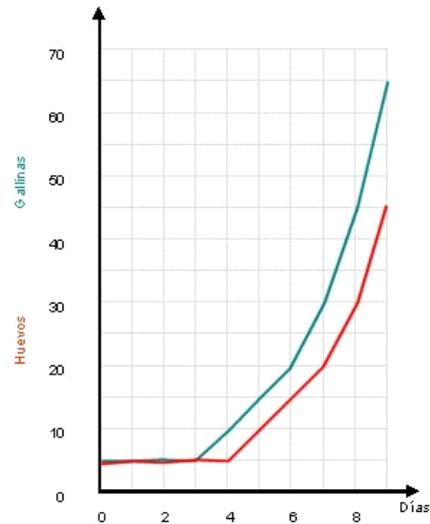
huevos adicionales resultarán en más gallinas. Esto es un ejemplo de retroalimentación positiva, ya que el aumento de gallinas inicial recibe un refuerzo desde los huevos adicionales:



*Ilustración 14: de huevos y gallinas*

Calculemos para convencernos: asumimos que los huevos toman tres días hasta que salga una nueva gallina, y que ésta se ponga a producir huevos un día después de "nacer".

Periodo	Gallinas	Huevos
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	10	5
5	15	10
6	20	15
7	30	20
8	45	30
9	65	45



*Ilustración 15: siempre más – crecimiento exponencial*

Ahora analicemos lo que pasa cuando el terreno de las gallinas es dividido por rutas, y los animales deben cruzar las rutas (naturalmente hay una cierta probabilidad de que una gallina sea aplastada al cruzar la ruta). Por más gallinas, más operaciones de "cruzar" habrá, pero ¿qué pasará entonces con el número de gallinas (vivas)?

### Flujos y Acumuladores

Cuando se razona a través de modelos articulados (explícitos), se hace usando variables y vínculos entre ellas. Una variable es algún atributo de un objeto que puede tener diferentes valores en el transcurso del tiempo. Un

## ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

vínculo describe alguna relación entre dos variables; en nuestro caso, solamente nos interesan vínculos causales. Al describir nuestra experiencia del mundo en forma de variables, en general suponemos implícitamente que todas las variables sean del mismo tipo. Usamos nombres extensos como "presión del aire" o abreviados como "PA", pero pasamos por alto que hay diferentes tipos de fenómeno en el mundo.

Todos sabemos que la *velocidad* de un automóvil es algo diferente a la *aceleración*: esta última es el cambio de velocidad. Entre estas dos variables - velocidad y aceleración - hay una relación bien especial, pues cuando mantenemos la aceleración positiva y constante, la velocidad aumenta más que linealmente (intente calcularlo mentalmente por un periodo de 5 segundos, partiendo con 10 Km/h y una aceleración de 100% por segundo).

¿Usted ha pensado alguna vez que una cuenta de ahorro que gana intereses es muy similar? Resulta que algunas variables se refieren a cantidades de "algo" que podemos medir en un determinado momento, y si nadie agrega más o quita algo, se quedan en el "acumulador". Otras variables se refieren al cambio que ocurre durante un determinado periodo. La diferencia tiene efectos sorprendentes, y es bien difícil de apreciar intuitivamente sin equivocarse.

Usted se preguntará si estos dos tipos de variables son "reales" o se usan siempre cuando se modela. Hay diferentes enfoques de modelamiento, algunos al nivel de actores y entidades individuales, otros enfoques se interesan en los agregados de entidades. La dinámica de sistemas pertenece al segundo tipo de enfoque. Según otra manera de organizar los enfoques, algunos se basan en "eventos discretos", otros en flujos continuos; nuevamente, la dinámica de sistemas es del segundo tipo.

Por lo anterior, nuestras variables aparecen en nuestros modelos para articular agregados de entidades en los diversos lugares del sistema; puesto que adoptamos una mirada dinámica, nos interesa poder representar cómo los grupos de entidades se mueven de una parte a otra en el sistema. Entonces necesitamos los dos tipos de variable; presumiblemente cualquier estilo de modelamiento basado en agregados y con una mirada dinámica va a necesitar variables de flujo y de acumulación.

## Demoras

¿Usted cree que muchas personas logran dejar de fumar porque 20 años más tarde tendrán problemas de salud? ¿Cuando tiene mucha hambre, usted come lento porque sabe que entre el primer mordisco y la sensación de satisfacción pasan alrededor de 15 minutos (y entonces si come rápido se va a sobrealimentar)?

Algunos procesos son más lentos que otros, pero todos operan. Cuando un vínculo causal opera más lentamente, hablamos de "demora". Experimentos muestran que especialmente las demoras dificultan el reconocimiento de bucles causales.

## Fronteras

Posiblemente usted ha escuchado del "efecto mariposa": el meteorólogo Lorenz, en algún momento, se dio cuenta que el clima puede devenir tan sensible a pequeños cambios que hasta el movimiento de las alas de una mariposa puede tener efectos masivos, por ejemplo la formación de una tormenta. Fue uno de los momentos iniciales de la teoría del "caos determinista", que puede modelarse con bastante simpleza.

Es un buen ejemplo para plantear la pregunta ¿qué debe ser tomado en cuenta en un modelo? Si creemos que hasta lo que queda lejos en espacio y tiempo puede volver a afectarnos, ¿hasta dónde tenemos que ampliar las fronteras del modelo? Intuitivamente, tendemos a excluir elementos importantes, por razones cognitivas o motivacionales.

## Modelar para aprender y saber

Investigaciones empíricas muestran que las personas sin previo entrenamiento en la materia, tienen grandes dificultades para pensar sistémicamente (según cualquiera de las definiciones). Hasta resulta un desafío demasiado grande articular la relación entre un flujo y un nivel para la mayoría de nosotros. Lo que no logramos apreciar intuitivamente, el modelamiento nos ayuda a aprenderlo. Y esto es lo que propone la dinámica de sistemas: la elaboración sistemática de modelos en base de los bloques de construcción, con, además, la posibilidad de someter estas ideas a la prueba de la simulación.

## Haciendo el punto

### Resumen

En este capítulo, se han presentado los puntos básicos más importantes para justificar y para describir la dinámica de sistemas.

*Los sistemas sociales se resisten a ser cambiados.* Tienen mecanismos internos de estabilización. Solamente al conocer éstos, podemos esperar identificar puntos de apalancamiento que permitan un cambio duradero.

*Nuestras intervenciones producen efectos laterales.* Debido a los múltiples canales causales, frecuentemente circulares, cada acción tiene diversos efectos, algunos de los cuales pueden poner en peligro el logro de lo que motivó la misma acción. Modelamos para evitar los efectos laterales.

*La conducta de los sistemas sociales suele ser contraintuitiva.* Nuestra intuición no toma en cuenta la complejidad dinámica que deriva de la retroalimentación.

*El actor humano tiene una cognición limitada.* Percibimos lo que es cercano en el espacio y en el tiempo, pero muchas veces existen procesos lentos y/o que cubren un espacio amplio. Adicionalmente, en muchas situaciones elegimos no ver.

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

*El pensamiento sistémico no es innato.* Nos cuesta apreciar cómo interactúan un flujo y un acumulador, y no logramos percibir bucles de retroalimentación.

*Modelamos procesos físicos y políticas de decisión.* Si queremos cambiar exitosamente un sistema, tenemos que partir de cómo opera. Las políticas de decisión regulan cómo decidimos, y una mejora a este nivel causa decisiones y acciones más exitosas.

*Modelamos para comprender bien y para poder cambiar exitosamente.* Se puede modelar para explicar lo que existe y modelar para diseñar lo que – aún- no existe. Nosotros estamos en el segundo grupo.

*Modelamos todo como flujos y acumulaciones.* Cada cosa que podemos distinguir en el mundo es un acumulador - algo que podemos contar en un determinado momento - o bien un flujo que, durante un periodo de tiempo, cambia lo que hay en un acumulador.

*El bloque de construcción básico del modelo es el bucle de retroalimentación.* Los sistemas capaces de generar su propia conducta son autorreferenciales. Un sistema – y los modelos que lo representen – es un conjunto de bucles de retroalimentación en superposición.

*En general, los diferentes procesos tienen velocidades diferentes.* Cada proceso requiere tiempo. Los más lentos son *demorados* en relación con los más veloces, lo que aumenta la complejidad dinámica del sistema.

*Sólo lo que es esencial para explicar la conducta modelada, se pone dentro del modelo.* Nos interesa solamente la parte estructural del sistema “real” que participa en generar la conducta estudiada. Por lo tanto, definimos una frontera que divide entre el sistema modelado y el resto del mundo.

*Modelamos para aprender.* Nos interesa diseñar políticas de decisión que logren una acción exitosa, minimizando los efectos laterales. Esto va más allá de reproducir correlaciones, no pretende encontrar la verdad sino que dar una respuesta útil a una pregunta, y genera la base para intentos de optimización.

## Bibliografía

Doyle and Ford, 1999. “Mental model concepts revisited: some clarifications and a reply to Lane”, *System Dynamics Review* **15**(4), (Winter 1999): 411-415

Forrester, 1961: **Industrial dynamics**, MIT Press, capítulo 4

Forrester, 1994: “Policies, decisions and information sources for modeling”, en Morecroft and Sterman, 1994

Morecroft, 1994: “Executive knowledge, models and learning”, en Morecroft and Sterman, 1994

Morecroft and Sterman, 1994: **Modeling for learning organizations**, Productivity Press

Ossimitz, 2002: “Stock-Flow-Thinking and Reading stock-flow-related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities”, 2002 *Proceedings of the International System Dynamics Conference*, Palermo, Italy

Richmond, 1993. “Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond”, *System Dynamics Review* Vol. 9, no. 2 (Summer 1993):113-133

Richmond, 1994. “System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It”, *Proceedings of the International Systems Dynamics Conference* in Sterling, Scotland

Sweeny y Sterman, 2002: “Cloudy skies: assessing public understanding of global warming”, *System Dynamics Review* **18**(2):207

Sweeny y Sterman, 2000: “Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory”, *System Dynamics Review* **16**(4): 249–286

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, John Wiley, capítulo 1

Sterman, 2002: “All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist”, *System Dynamics Review* **18**(4) – Winter 2002, p. 501-531

Wolstenholme, 2004: "Using generic archetypes to support thinking and modelling”, *System Dynamics Review* **20**(4): 341-156

De manera complementaria, se recomiendan los siguientes libros:

Beer, 1981: **The brain of the firm**, John Wiley

Richardson, 1991: **Feedback thinking in the social sciences**, Pegasus Communications

Senge, 1990: **La quinta disciplina**, Granica

Senge, Ross, Smith, Roberts y Kleiner 1995: **La quinta disciplina en la práctica**, Granica

Senge, Ross, Smith, Roberts y Kleiner 2000: **La danza del cambio**, Granica

Los informes sobre los Objetivos del Milenio están en la Internet en:

[www.unmillenniumproject.org/reports/spanish.htm](http://www.unmillenniumproject.org/reports/spanish.htm)

Los informes sobre el Desarrollo Humano están en:

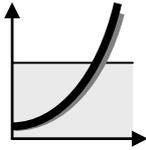
[www.undp.org/spanish](http://www.undp.org/spanish)

[hdr.undp.org/reports/global/2004/espanol](http://hdr.undp.org/reports/global/2004/espanol)

Los documentos sobre la relación entre ecosistema y bienestar humano están en:

[www.millenniumassessment.org](http://www.millenniumassessment.org)

¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

### *Preguntas de concepto*

1. ¿Qué se entiende por “resistencia frente a nuevas políticas”?
2. ¿Qué es un “efecto lateral”?
3. ¿Por qué el comportamiento de un sistema puede ser contraintuitivo?
4. ¿Qué es un “sistema”?
5. ¿Por qué somos “ciegos” o “miopes”?
6. ¿Qué es el “pensamiento sistémico”?
7. ¿Qué es el ciclo IDA?
8. ¿Qué es una “política”?
9. ¿Cuál es la función de un modelo?
10. ¿Por qué modelamos?
11. ¿De qué está hecho un modelo?
12. ¿Cuáles son los conceptos principales de la dinámica de sistemas?

### *Preguntas de reflexión y diálogo*

1. En el mundo de hoy, en su país, en su ciudad y en su organización, seguramente hay unos asuntos que – a su juicio – son preocupantes o problemáticos, y que han resistido los intentos de superarlos en el tiempo. Elija uno de estos asuntos, descríbalos brevemente, discútalos con colegas o compañeros.
2. ¿Alguna vez ha intentado solucionar un problema complejo, y después de estar seguro de haber encontrado una o *la* solución, resultó algo imprevisto, alguna sorpresa desagradable? Elija uno de estos episodios descríbalos brevemente, discútalos con colegas o compañeros.

### *Preguntas de lectura*

Peter Senge et al., **La quinta disciplina en la práctica**, la parte sobre “Pensamiento sistémico”

- ¿Qué es el comportamiento de referencia?
- ¿Qué es un modelo mental?
- ¿Cómo llegar a comprender una situación compleja?



# 2. Modelos y modelar

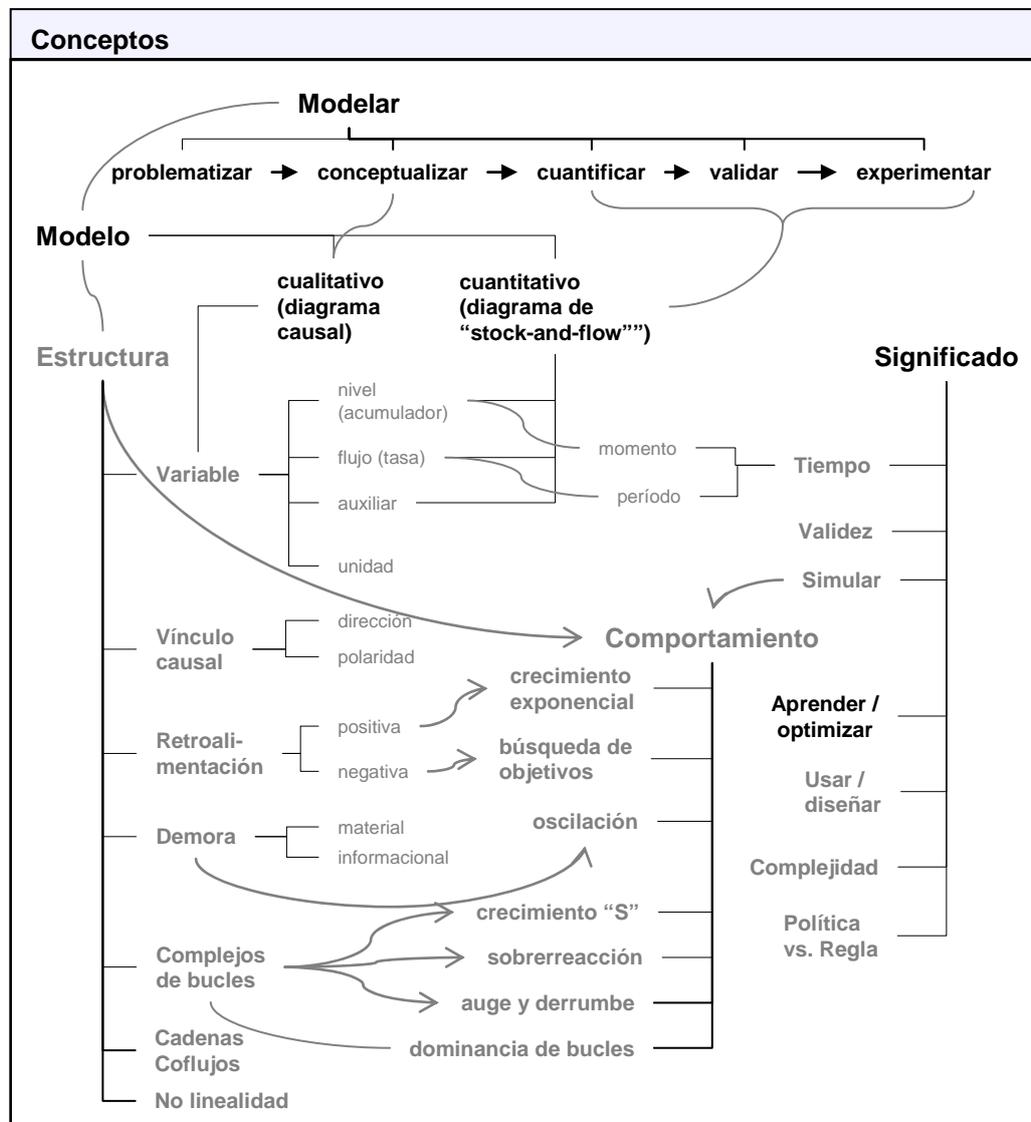
## Sobre este capítulo

### Objetivos

En este capítulo, se introduce el proceso de modelado de la dinámica de sistemas:

Luego se dan algunas recomendaciones para orientar la praxis del modelador.

### Conceptos



## Fases de un proyecto de modelamiento

A lo largo de los años desde el primer texto de referencia (Forrester, 1961), la manera de organizar proyectos de modelamiento ha sido globalmente constante, pero evolucionó en detalles. Aquí la presentamos en los términos usados por Sterman (2000, capítulo 3), que ha entrado en el vocabulario estándar.

### Definir el problema

Cada modelo es una construcción humana en la que aparecen solamente algunos aspectos del mundo – los que son *relevantes*. No todas las cosas que podrían ser descritas (y modeladas) son relevantes. Por ejemplo:

- un modelo de un avión para evaluar sus características de aerodinámica, no requiere una representación de los elementos interiores del avión
- un modelo de la inflación en un país no requiere la representación de cada actor económico
- un modelo de gestión de bodega de una librería no requiere representación de cada texto individual.

En este sentido, no modelamos para descubrir “la verdad”. Mejor así, ya que ningún modelo es universalmente verdadero: todos tienen un ámbito de *validez* definido.

Lo que define este ámbito es el propósito del modelo: comprender la aerodinámica del avión, explicar la inflación de un país, optimizar una bodega de libros.

Si un modelo debe permitir elaborar respuestas, entonces el primer paso imprescindible es definir muy claramente cuál es la pregunta.

¿Cuál es el problema que resolver? ¿Cuál es la pregunta a responder?

En general, quienes “poseen” el problema lo pueden describir en términos de algunas variables. Pueden decir los valores actuales en relación con los deseados. Pero los datos actuales no son “comportamiento”; en este sentido, nosotros no buscamos la situación problemática, sino que la evolución problemática: “nuestros aviones tienen *cada vez peor* aerodinámica”, “nuestra inflación *ha ido en aumento*”, “nuestros costos de bodega *suben*”.

Las *series de tiempo* o *líneas en el tiempo* de estas variables constituyen un “comportamiento de referencia”. Es la expresión del problema y también una marca de comparación para la validación del modelo (mediante el cual queremos, entre otras cosas, poder explicar la génesis del problema).

Si llegamos a comprender las causas estructurales que son el trasfondo del aumento de costos de bodega, entonces tenemos la oportunidad de cambiarlas, de modo de deshacer el problema.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

**Hacer una pregunta pertinente (que el modelo ayude a responder).** El modelo será válido sólo para el propósito de responder a esta pregunta. Si no es importante la pregunta, tampoco lo podrá ser la respuesta.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

***Propósito, conveniencia y frontera***

- ¿Cuál es el propósito del modelo?
- ¿Cuál es la frontera? ¿Están los ítems importantes siendo tratados de manera endógena? ¿Qué variable importante ha sido asumida como exógena o excluida? ¿Se ha excluido a variables por falta de datos “duros”?
- ¿Cuál es el horizonte de tiempo relevante? ¿El modelo contiene las entidades que pueden cambiar de manera significativa en este periodo? ¿Es el nivel de agregación coherente con el propósito?

**Elaborar un modelo conceptual o una hipótesis dinámica**

Una vez que el propósito del modelo queda definido y el comportamiento de referencia con él, se trata de proponer una primera aproximación a la estructura detrás de estos comportamientos.

Tenemos que declarar variables y conexiones causales entre ellas, de manera de poder dar cuenta de cómo se generan los comportamientos problemáticos. Para ello, disponemos de tres fuentes de información: la experiencia de las personas involucradas (su base de información mental), fuentes escritas diversas y datos numéricos publicados.

Es importante que los destinatarios del modelo (los clientes, los usuarios) tengan la oportunidad de intervenir en este proceso, proponiendo, revisando, criticando: ellos son parte de un sistema que genera su problema, ellos deben comprender el modelo, ellos deberán aceptar sus consecuencias. Nosotros solamente ayudamos.

Esta primera aproximación puede tomar la forma de un “diagrama de bucle causal” (ver próximo capítulo) o de un “diagrama de flujos y acumuladores” (ver capítulo 4). El trabajo con diagramas causales requiere menos conocimientos técnicos, pero ha sido criticado por ser menos riguroso. La diferencia es que los diagramas causales como articulación de las creencias que se tienen, pueden usarse de modo “top-down”, lo que fácilmente conduce a la incorporación de suposiciones (o “pre-juicios”) que no han sido cuestionados. Ello es problemático, ya que la dinámica de sistemas postula un pensamiento operacional, que parte desde la detección de los elementos hacia las estructuras menos directas, de modo “bottom-up”.

Un buen compromiso parece ser el uso de los llamados “diagramas de influencia” (Wolstenholme, 1990), que son básicamente diagramas de bucle causal donde para cada variable, se indica si es de tipo flujo o acumulador.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

**Identificar todos los factores que se creen importantes (técnicos, legales, económicos, psicológicos...).** El modelo sólo podrá generar descubrimientos con el material que se pone en él. Un factor que no se coloca corta todos los bucles de retroalimentación que pasan por él e influye, por lo tanto, en las posibilidades de comportamiento. Es preferible una estimación aproximada a la decisión de excluir algo importante (el análisis de sensibilidad ayudará a absorber la inseguridad resultante).

**Preservar la estructura circular de las retroalimentaciones.** El modelo se comportará como el sistema modelado, a condición que estos bucles sean parte de él. No siempre habrá evidencia empírica a priori de su existencia; nos tenemos que basar en la convicción de quienes conocen bien el sistema.

### Cuantificar el modelo

Un diagrama de bucle causal es interesante y su análisis (cualitativo) muchas veces genera ideas y descubrimientos interesantes. Sin embargo, necesitamos la ayuda de herramientas para llegar a comprender estos modelos. En el caso de la dinámica de sistemas, esto significa la formulación de un modelo formal, con variables de flujo y de nivel, representadas internamente como ecuaciones diferenciales y simuladas por algoritmos de integración.

La cuantificación pasa por la elaboración de los flujos físicos y de las políticas en términos de estas variables, la estimación de las funciones que enlacen a las variables y la estimación de los valores de parámetros.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

**Representar la distorsión de la información.** Tenemos que imitar la situación real: si un gerente debe decidir en base de información con “ruido”, así tiene que hacerlo nuestro modelo. El peligro es de modelar algo que no es, y por lo tanto perder toda posibilidad de validar el modelo o de descubrir algo con relevancia práctica.

**Representar los retardos (las demoras).** Si en el sistema real, un gerente se basa en un informe mensual de ventas, es importante incluir esto en el modelo (y no hacer depender la decisión del flujo de los datos de venta día por día, por ejemplo). El mismo peligro de modelar algo irreal existe también aquí.

**Cada variable debe referirse a una entidad identificable en el mundo real.** Modelamos para intervenir en el sistema. Por lo tanto, buscamos evaluar lo que pasará probablemente. Para esto, es importante no introducir componentes *ad-hoc* al modelo: si parece necesario introducir algo, es porque el modelo no se comporta como el sistema; pero si esto ocurre, significa que aún no comprendemos suficientemente bien el sistema, y no

podremos, por lo tanto, averiguar sobre posibles futuros (ni logramos reproducir el pasado).

**La unidad de medida de la variable deberá ser la de la entidad real.** En el mundo, las cosas son las cosas: si hay que usar minutos de emisión televisiva para influir en los consumidores, son “minutos de emisión”, no el valor de estos minutos en pesos u otras monedas.

**Distinguir cantidades actuales de cantidades conocidas.** Muchos de los procesos en el mundo son secuencias fluidas de micro-eventos que ocurren constantemente. En general, nuestras decisiones no se basan en ellos, sino que en alguna transformación:

**No suponer a priori que el sistema es estable o lineal.** En el ámbito de los sistemas sociales, hay buenas razones para asumir que existen muchos efectos no lineales y no todos los sistemas tienden a ser estables *per se*. Presuponer la linealidad y la tendencia hacia la estabilidad es entonces quitarse posibilidades *a priori*.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

### *Estructuras física y de decisiones*

- ¿El modelo observa las leyes básicas de la física, como por ejemplo la conservación de la materia? ¿Las ecuaciones son consistentes en su dimensionalidad y sin artefactos arbitrarios de conversión?
- ¿La estructura de niveles y flujos es explícita y coherente con el propósito?
- ¿El modelo asume que el sistema esté en equilibrio todo el tiempo o permite dinámicas fuera del equilibrio?
- ¿Se han tomados en cuenta las demoras, restricciones y cuellos de botella?
- ¿Se supone que las personas sean “racionales” y optimicen su rendimiento? ¿Se toman en cuenta las limitaciones cognitivas, restricciones organizacionales, motivaciones no económicas y factores políticos?
- ¿Las decisiones tomadas en el modelo se basan en las mismas informaciones que tienen los tomadores de decisión reales? ¿Hay demoras, distorsión y ruido?

### Validar el modelo

¿Cómo llegamos a confiar en el modelo? La pregunta es delicada: nos proponemos intervenir en el sistema modelado, en base a recomendaciones que derivan del modelo. Si el modelo corresponde lo suficiente al sistema, entonces las consecuencias de nuestra intervención en el modelo – probablemente- serán similares a las consecuencias en el sistema representado. Entonces, ¿cómo podemos saber que el modelo es confiable?

Hay una amplia gama de pruebas que conoceremos más en adelante, que en su conjunto nos ayudan a delimitar el ámbito de validez de un modelo.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

### ***Robustez y sensibilidad respecto de supuestos***

- ¿El modelo es robusto respecto de variaciones extremas en los valores de “input” o en las políticas de decisión?
- ¿Las recomendaciones derivadas, son sensibles con respecto a variaciones plausibles en los supuestos, valores de parámetros, agregación y fronteras?

### ***Pragmatismo y uso del modelo***

- ¿Se documentó el modelo? ¿La documentación está públicamente disponible? ¿Se puede usar el modelo en su computador?
- ¿Qué tipos de datos se usaron para desarrollar y probar el modelo?
- ¿Cómo se ha descrito el proceso de modelar usado para desarrollar y probar el modelo, y cómo establecieron su confianza en él? ¿Terceros independientes y críticos han revisado el modelo?
- ¿Los resultados son reproductibles? ¿Los modeladores han usado algún artefacto (no documentado) para obtener sus resultados?
- ¿Cuánto cuesta ejecutar el modelo? ¿El presupuesto permite un análisis de sensibilidad serio?
- ¿Cuánto tiempo se requiere para revisar y actualizar el modelo?
- ¿El modelo es usado por sus modeladores o por terceros?
- ¿Cuáles son los sesgos, ideologías y agendas políticas de los modeladores y de los usuarios? ¿Cómo podrían éstos influir – intencionalmente o no – los resultados?

## **Explotar el modelo**

Necesitamos un modelo explicativo, con el propósito de hacer experimentos de cambio. Se dice de la simulación que compacta el tiempo y el espacio: podemos simular en segundos y en una pequeña pantalla lo que en el mundo físico toma años y pasa a miles de kilómetros de distancia.

Una vez que tengamos confianza en el modelo, vamos a elaborar diferentes escenarios de cambio, y los sometemos a series de simulación para averiguar su sensibilidad. Así podemos establecer lo que muy probablemente pasará cuando se implemente cada una de las diferentes alternativas, y podemos derivar una recomendación: ¿cuál es el cambio que probablemente más nos convenga para superar el problema inicial?

## **Implementar las consecuencias, modelar y evaluar**

Tradicionalmente, los dinamistas terminan su trabajo entregando su recomendación. Sin embargo, aún no ha cambiado nada en el mundo “real”. Si queremos que la comprensión generada durante el modelamiento ayude efectivamente a mejorar la situación, entonces es útil especificar de qué manera nuestras recomendaciones deben ser implementadas para cobrar efecto.

Según la visión de la dinámica de sistemas como parte de un doble bucle de aprendizaje (Sterman, 2000, p. 48), entonces no debemos parar una vez hecha la recomendación: tenemos que volver desde la esfera de las ideas a la de la acción.

La implementación tendrá sus efectos: algunos pueden ser los anticipados por el modelo, pero otros pueden no serlo. En este sentido, la implementación también es como una prueba empírica, que permite comprender dónde el modelo puede y debe ser revisado y mejorado.

## Fuentes de datos

Dentro de una organización, las fuentes de datos son múltiples: hay personas que, después de trabajar durante años aquí, tienen una base de experiencia enorme. También hay fuentes escritas como manuales y reportes. Y por cierto, hay bases de datos y otros repositorios de información numérica. Cada una de estas fuentes de dato tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Los datos numéricos son precisos, pero sólo disponibles por lo que se midió. El comportamiento medido del sistema da cuenta de su dinámica en el marco de una situación histórica en particular, y no significa que el mismo sistema no pueda comportarse de otro modo en una constelación distinta. En este sentido, no es posible extrapolar del comportamiento pasado hacia el futuro sin precauciones. Tampoco es posible ver la estructura del sistema en estos datos, ya que se refieren solamente a lo que se ha observado directamente. Adicionalmente, puede ser que ciertos aspectos no han sido el objeto de mediciones y simplemente no se encuentran registrados.

Por ejemplo, puede ser que en una universidad, se registra la asistencia de los estudiantes a clase porque según el reglamento de estudio, la asistencia es obligatoria. Al mismo tiempo, en otra universidad no es obligatoria y no se registra. Sería falso concluir desde la inexistencia de registros numéricos acerca de la asistencia de los estudiantes a clase, que los estudiantes no asisten (o que asisten: en estricto rigor, hay que abstenerse de concluir); también sería incorrecto pensar que no se sabe si asisten, ya que de hecho se hace clase, y por ejemplo los docentes deberían saber desde su experiencia cómo es la asistencia.

Por lo anterior, es importante también considerar información de fuentes escritas (pero no numéricas). En la mayoría de las organizaciones, existen reglamentos, informes, actas de reuniones y memos. Son fuentes ricas, y pueden expresar aspectos sobre los cuales no hay registros numéricos. Sin embargo, son una fuente no sistemática, ya que no todo se anota en forma escrita.

Para seguir con el mismo ejemplo anterior, puede ser que en la plataforma en línea de los cursos, un docente haya intercambiado e-mails con estudiantes que, por alguna razón, faltaban a clase. Esto es muy interesante cuando se encuentra, pero no hay manera de saber si es una práctica

sistemática, y por lo tanto pueden haber existido muchos casos de inasistencia sobre los cuales nunca se intercambiaron e-mails.

Además, existe toda la base de informaciones mentales, que es la más rica porque muchas facetas de la experiencia de los actores en el sistema nunca se han escrito o articulado. Dentro de sus ventajas se encuentra el hecho de que se puede conversar con su “repositorio” para averiguar y consultar reiteradamente. Mucho del conocimiento relevante, puede que sea tácito, que nunca se haya articulado antes del intento de modelar. No tomarlo en cuenta por ser subjetivo, es suponer que las variables y los vínculos que – según el mejor conocimiento disponible – importan para el problema, no existen o no importan: seguramente es un supuesto falso. Admitimos que se trata de información insegura, y aplicamos pruebas de sensibilidad para comprender lo que esto significa para la utilidad y el ámbito de validez del modelo. Ello nos faculta a tomar en cuenta y explotar la base de información mental.

Claro está, hay un asunto de fiabilidad de la información “mental”, ya que queremos fabricar un modelo fiable. Para asegurarse de no pecar en este aspecto, la información mental se subdivide en tres categorías:

- La información acerca de la estructura (de la empresa) y las *políticas de decisión* suele ser muy confiable, ya que son relatos que vienen directamente desde las acciones de las personas. No obstante, se usan métodos de comparación y de triangulación para verificar la plausibilidad.
- Las *expectativas acerca del comportamiento futuro* del sistema, si bien pueden ser articuladas honestamente, suelen ser poco confiables. Es justamente el ámbito en el cual la mente humana se equivoca, razón de ser de la propuesta que hace la dinámica de sistemas.
- La información acerca del comportamiento pasado del sistema suele ser bastante fiable, y fácil de contrastar. Sirve para construir los modos de referencia, que nos ayudan a evaluar la fiabilidad del modelo.

Lea más sobre esto en Forrester, 1994

## Documentación

La estructura modelada es el fruto de mucha reflexión, pero no da cuenta de todas las ideas, dudas y decisiones tomadas en el camino. ¿Adónde se conservan? Si no se conservan, los modeladores tendrán serios problemas para recordar lo que fue su proceso de trabajo; será aún peor para otras personas quienes desean comprender el modelo y poder confiar en él.

### ***Recomendaciones respecto de la replicabilidad:***

- Otras personas deben poder repetir el estudio y llegar a los mismos resultados, en base de la documentación.
- El modelo y la documentación deberían ser públicamente accesibles (si no hay restricciones comerciales o de seguridad).
- Todas las personas involucradas en el proyecto y afectadas por sus resultados, deben poder acceder al modelo y a la documentación.

***Recomendaciones para la redacción:***

- Asegure el más alto estándar de diseño gráfico y de redacción, y respete los códigos y el lenguaje del ámbito al cual se dirige el modelo.
- Describa los supuestos: propósito, estructura, frontera, valores de parámetro, fuentes de datos.
- Organice el documento según la estructura del modelo y de sus submodelos.
- Presente un diagrama estructural y las ecuaciones para cada submodelo por separado.
- Presente las ecuaciones en un orden lógico para evitar que el lector tenga que buscar de forma compleja.
- Use nombres significativos para las variables.
- Use el nombre completo de las variables en la explicación de las ecuaciones, junto con la unidad de medida, la idea y el contexto de esta formulación y las fuentes de datos si se trata de valores de parámetros.
- Prepare un plan de sucesión, para que otros puedan llegar a comprender el modelo, usarlo y seguir desarrollándolo. Piense en identificar, reclutar y capacitar a personas para esto: una vez que usted siga avanzando a otras cosas, es mejor que no tenga que contestar muchos mails con peticiones de ayuda.

## ¿Actitud protectora o reflexiva?

Vivimos en un mundo donde es importante tener la razón; sin embargo, modelamos para aprender. Hay que elegir entre dos actitudes.

Muchas veces nos sentimos deseosos u obligados a mostrar que sabemos y a tener la razón. Entonces el modelamiento sirve para comprobar nuestro punto de vista. Entonces necesitamos “blindar” a nuestro modelo, porque si alguien descubre un punto débil, ya no aparecemos tan perfectos (si ser perfecto es tener siempre la razón). En este sentido, si en una u otra variable hubo que hacer un supuesto, mejor no lo revelamos porque justamente allí podría ser “atacable” el modelo (si desafiar un supuesto es “atacar” y si una crítica es un “ataque”). También podemos ceder a la tentación de eliminar ciertas variables o datos del modelo de modo selectivo, para superar un problema de validación. Yendo un poco más lejos en este camino, podríamos incluso intentar demostrar con un modelo una idea que ya teníamos antes, es decir modelar solamente para respaldar algo que ya supimos antes. Todas estas cosas tiene el efecto de promover la autoridad del modelador o del cliente para quien modela.

Sin embargo, podemos desear llegar a comprender algo que aún no comprendemos (lo suficientemente bien). Entonces buscamos la indagación (pensando que lo bueno no es siempre saber ya, sino que poder llegar a saber), más que tener la razón. Para este efecto, es importante revelar claramente los supuestos, porque en caso que uno se muestre como insostenible, ya hemos identificado una mejora: aprendimos algo nuevo. También tiene el buen efecto de reconocer lo que posiblemente limitará la validez (confiabilidad) del modelo: no queremos aplicar la política del avestruz. Por la misma razón no seleccionaremos los datos y las variables según si encajan con lo que necesitamos; más bien vamos a incluir todo lo que posiblemente será importante y someter el modelo a pruebas extensivas y duras. Tampoco partiremos de respuestas preconcebidas; todo lo contrario, deberíamos abrir el proceso a los diferentes puntos de vista de los diferentes actores. Esto lo hacemos en reconocimiento de la autoridad del propósito o de los clientes para quienes modelamos.

<i>protectora</i>	<i>reflexiva</i>
comprobar el punto de vista	promover la indagación
esconder supuestos	exponer supuestos
usar datos de modo selectivo	motivar pruebas extensivas y en profundidad
apoyar preconcepciones y confortar resultados deseados previamente	desafiar preconcepciones y dar soporte a puntos de vista diversos
promover la autoridad del modelador	promover la autoridad de los beneficiarios del modelo

*Tabla 1: dos actitudes frente al modelamiento*

Usted podría encontrar que una de las actitudes es la ideal (pero utópica), y la otra la “real”. Sin embargo, queda invitado a meditar el asunto y guardar el espíritu correspondiente a su elección en los pasos por venir.

## Hacia el modelamiento: criterios para evaluar un modelo

Para devenir un *dinamista de sistemas*, Usted deberá no solamente aprender a reflexionar con las estructuras básicas y sus comportamientos, sino que también apropiarse de los hábitos básicos que conducirán a un modelo útil o de buena calidad.

Se dirá que un modelo es de buena calidad si satisface un conjunto de criterios. Hasta este momento, podemos ya enunciar un grupo de ellos.

1. Definición del problema
  - a. Declaración del problema en términos de algunas entidades o variables;
  - b. Comportamientos de referencia para estas variables;
  - c. Definición del marco de tiempo sobre el cual hay que estudiar el caso para incluir a todos los efectos relevantes;
  - d. Declaración del propósito o preguntas que el modelo debe ayudar a responder.

Existen otros criterios, sobre todo acerca de la “validez” del modelo. Este punto será abordado en el Tomo 2.



En el trabajo personal del capítulo 1, usted ha descrito un problema. Ahora elabore una definición de problema; use el formato disponible para ello (en el sitio web del libro).

## Haciendo el punto

### Resumen

En este capítulo, se introduce el proceso de modelado de la dinámica de sistemas:

2. *Definir el problema.* El modelo debe responder una pregunta, que hay que definir muy claramente, junto con las conductas de referencia y la frontera.
3. *Elaborar un modelo conceptual.* Tenemos que captar toda la experiencia y toda la información disponible acerca de la pregunta en estudio, y así establecer las líneas orientadoras para el estudio cuantitativo. Se puede partir “top-down”, pero muchos prefieren el modo “bottom-up”.
4. *Cuantificar el modelo.* Requerimos simular para comprender bien, y ello hace necesario la cuantificación del modelo.

5. *Validar el modelo.* Varios conjuntos de pruebas se aplican para llegar a confiar en el modelo. Se refieren a la coherencia entre los elementos estructurales del modelo con el sistema que representa, la reproducción de las conductas de referencia, la plausibilidad del modelo bajo condiciones extremas y la sensibilidad respecto de los valores de los parámetros.
6. *Explotar el modelo.* Una vez que se puede confiar en el modelo, se procede a formular escenarios y comparar sus consecuencias dinámicas, de modo a llegar a recomendar políticas de decisión “probadas”.
7. *Implementar las conclusiones.* Si se aprendió algo a raíz del modelamiento, algunas conclusiones se implementarán. Es importante monitorear la implementación, ya que revelará elementos nuevos acerca de la validez del modelo (lo que permite continuar desarrollándolo).

Dado que modelamos para aprender, y que por ello queremos que nuestros modelos sean bien documentados, revelando sus supuestos y limitaciones en lugar de esconderlos.

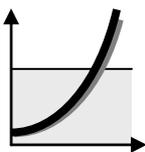
## Bibliografía

Forrester, **Industrial dynamics**, MIT Press, capítulo 5.

Forrester, 1994, “Policies, decisions and information sources for modeling”, en Morecroft y Sterman **Modeling for learning organizations**, Wiley, 1994.

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, John Wiley, capítulo 21.

Wolstenholme, 1990. **Systems inquiry**, John Wiley.



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

### *Preguntas de concepto*

1. ¿Cuáles son las fases principales de un proyecto de modelamiento?
2. ¿Por qué es tan importante definir el problema y el propósito?
3. ¿Cuáles son las fuentes de información que usamos?
4. ¿Por qué cada elemento del modelo debe referirse a una parte identificada del sistema real?
5. ¿Por qué las unidades de medida son importantes?
6. ¿Para qué se estudia la sensibilidad del modelo?
7. ¿Por qué debemos revelar los supuestos?
8. ¿Cuáles son nuestras fuentes de información?
9. ¿Para qué es importante la documentación?

*Preguntas de reflexión y diálogo*

1. ¿Qué hacer cuando una variable se cree importante pero no se puede medir exactamente?
2. ¿Usted modelará con actitud reflexiva o protectora?
3. En el trabajo personal del capítulo 1, usted ha descrito un problema. Ahora elabore una definición de problema; use el formato disponible para ello (“Definición de un problema.doc”, desde el CD o el sitio del libro) y vuelva a discutirlo con sus colegas o compañeros.



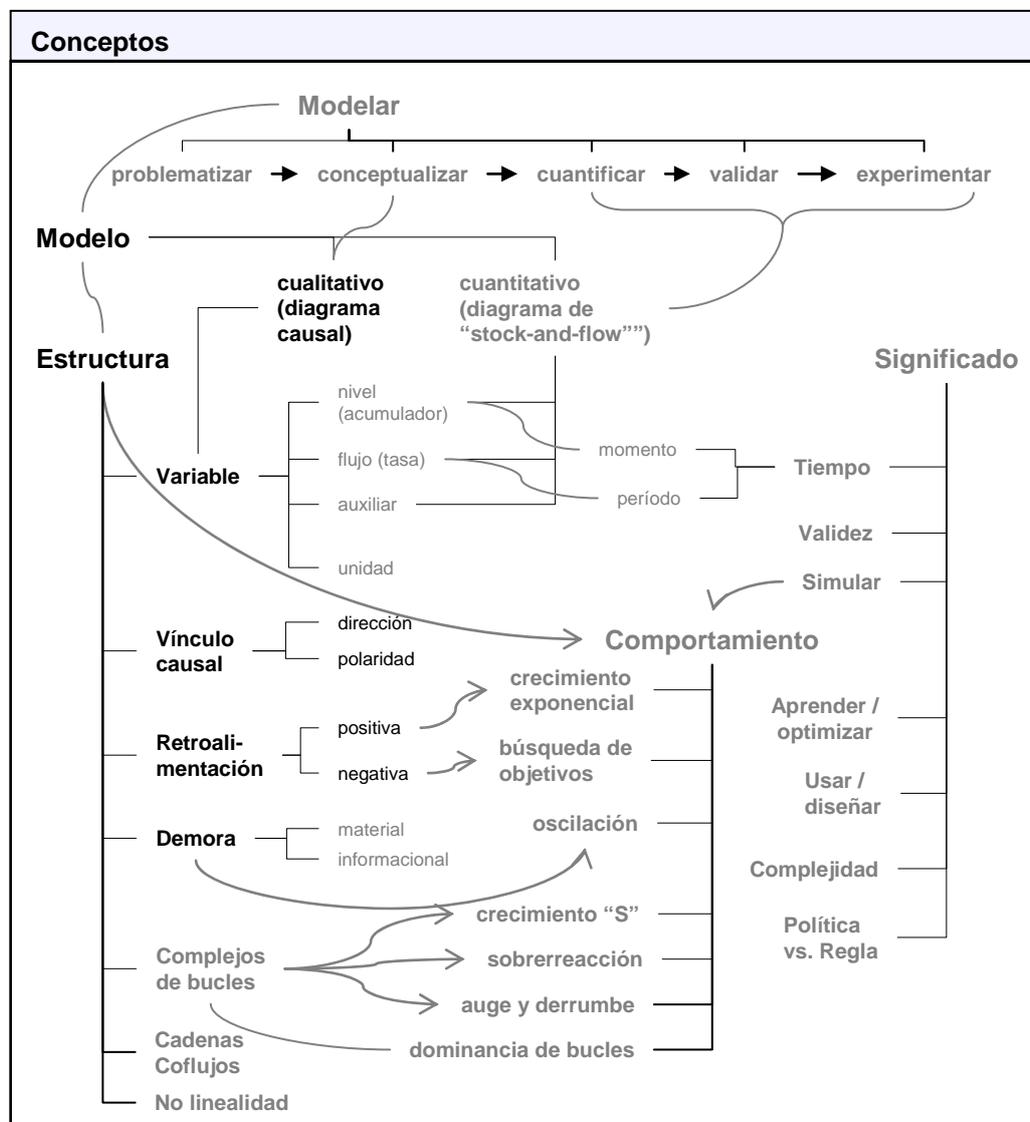
# 3. Causalidad y Diagramas de bucle causal

## Sobre este capítulo

### Objetivo

Conocer y saber utilizar el lenguaje de los "diagramas de bucle causal" (DBC) para elaborar un modelo cualitativo de un sistema dinámico.

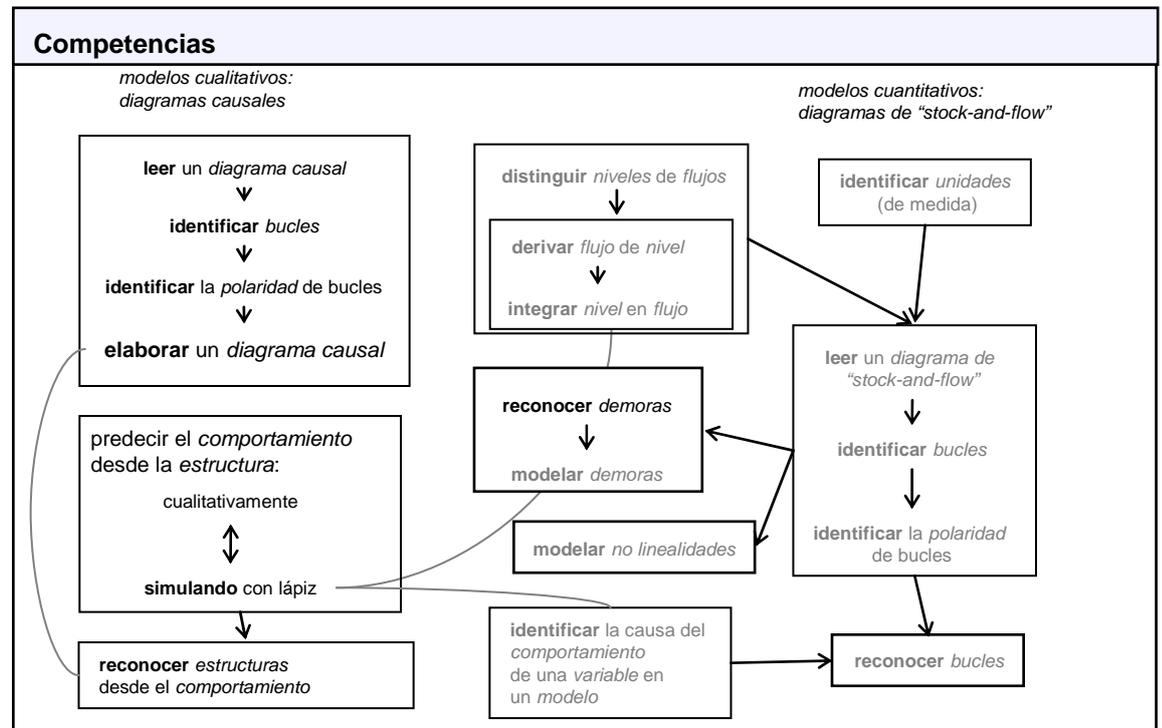
### Conceptos



Un modelo puede ser cualitativo; entonces no se representan hechos ni relaciones cuantificadas. Siempre representa la estructura de la situación que se indaga. La estructura consiste de variables y vínculos causales (con

dirección y polaridad) – a veces demorados - que forman bucles de retroalimentación (positiva o negativa).

## Competencias



1. Leer un diagrama causal es prerequisite para toda otra operación con diagramas causales;
  - a. es necesario para poder identificar bucles de retroalimentación,
  - b. lo que a su vez es necesario para poder identificar la polaridad
  - c. lo que a su vez es necesario para elaborar un diagrama causal
2. El comportamiento se puede predecir desde la estructura de manera cualitativa, en el caso de estructuras simples, y es importante formar la intuición.
3. Reconocer demoras es necesario para modelar demoras.
4. Es importante poder reconocer estructuras genéricas.

## Introducción

Si tenemos un problema que superar, entonces tenemos que estar seguros que pensamos adecuadamente sobre este problema: tenemos que articular y revisar nuestros modelos mentales: ¿cómo es que nuestras acciones causan el problema? Esto quiere decir que suponemos que haya algo como “causa-efecto” y que podemos representarlo.

Aristóteles ha sido probablemente el primer pensador que trabajó el concepto de causalidad. Para él, hay diferentes tipos de causalidad:

- material: ¿de qué está hecho <A>?
- formal: ¿qué es lo característico de ser <A>?
- eficiente: ¿qué es lo que produce <A>?

– ~ final: ¿para qué es <A>?

Nosotros usamos –claramente- la causa eficiente. El concepto de causalidad ha ocupado a científicos y pensadores durante más de dos mil años. Una de las preguntas de fondo es ¿puede el ser humano conocer las relaciones causales? David Hume (1984) llegó a la convicción de que las verdaderas causas no se pueden conocer; pero la experiencia repetida de cadenas de eventos (primero <X> luego <A>) nos conduce a atribuir causas. En dinámica de sistemas, trabajamos con atribuciones causales. El lector interesado en profundizar refiérase a Schaffernicht (2006, 2007).

Además, creemos que detrás de los sucesos, las acciones y los eventos, hay una estructura sistémica: es ella que define el marco de los eventos y acciones. Nos proponemos elaborar una representación de esta estructura. Para esto, tomamos las descripciones del problema, muchas veces en su forma textual, y buscamos lo que se esconde detrás de ellas.

Para este tipo de trabajo, el lenguaje textual es demasiado lineal y tiene demasiados detalles. Si efectivamente hay estructuras de causalidad circular, entonces un texto – necesariamente debe ser escrito y leído por líneas – es poco conveniente. Además, queremos llegar a visualizar lo esencial de la estructura, las palabras-clave y no todos sus detalles.

Se ha desarrollado un lenguaje de diagrama muy simple, que ha sido usado para describir lo esencial de modelos de simulación complejos, y que puede ser usado también para elaborar un modelo cualitativo preliminar: los diagramas de bucle causal. Muchos textos no técnicos, por ejemplo los de Peter Senge y sus co-autores (1990, 1995, 2000), hacen uso extensivo de estos diagramas.

Nosotros usaremos los diagramas de bucle causal (DBC) porque son de uso intuitivo y permiten abordar el problema sin un proceso de aprendizaje previo. Sin embargo, el lector y estudiante de dinámica de sistemas deberá proceder cautelosamente: siendo una herramienta simplificada, estos diagramas permiten interpretaciones falsas cuando se usan sin conocimiento de los demás conceptos de la dinámica de sistemas (y que serán introducidos en los capítulos siguientes). Para leer más sobre las limitaciones de los DBC, refiérase a Schaffernicht (2007)

## **Definiciones**

El propósito de los DBC es organizar la descripción de un problema en variables, identificar las relaciones causales entre ellas y dirigir la atención en los bucles de retroalimentación, para así obtener una imagen de alto nivel de la estructura causal.

Un diagrama de bucle causal consiste de bucles con una determinada polaridad; el conjunto de bucles opera a través de variables ligadas entre ellas por vínculos causales con una determinada polaridad. Tal diagrama

debe contener todas las variables y todos los vínculos causales relevantes. La polaridad de cada vínculo individual asume *ceteris paribus*.

## Componentes de un Diagrama de Bucle Causal

En esta sección, seguiremos un enfoque “de abajo hacia arriba”: se introducen primero los bloques de construcción elementales que son las variables y los vínculos causales. Luego analizaremos los bucles de retroalimentación. Usaremos un caso ejemplar que ha sido discutido en la literatura para debatir sobre los DBC: la dinámica de una población. Aquí una breve descripción:

“La población cambia en el tiempo. Hay personas que nacen y que mueren constantemente. Los nacimientos aumentan la población, las muertes la disminuyen. Los nacimientos son efecto de una tasa de natalidad y de la población actual. Las muertes obedecen a una mortalidad y la población actual.”

### Variable y vínculo causal

Los dos componentes elementales de los DBC son *variable* y *vínculo causal*.

Una *variable* es una entidad que se distingue del resto del mundo, al menos, desde el punto de vista del ser pensante que lo observa. Se asume que durante el tiempo considerado, la variable es estable: si bien sus valores pueden cambiar, la variable existirá sin excepción. En nuestro ejemplo, distinguimos cinco variables: población, nacimientos, tasa de natalidad, muertes, tasa de mortalidad. Podemos reconocerlas por el hecho de que son sustantivos, pueden ser objetos o atributos de objetos.

Observe que nuestro conjunto de variables debe contener a todas las variables que son importantes; para mantener el ejemplo de un tamaño práctico, son solamente cinco (en un caso real serían más), pero ninguna de estas cinco debe faltar.

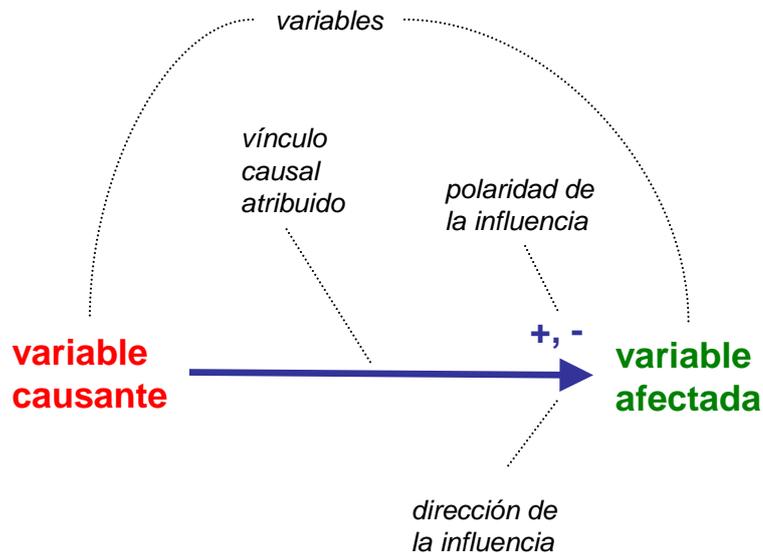
Un *vínculo causal* es una -hipotética- relación entre dos variables, que establece que un evento que ocurre en la variable causante tendrá un efecto distintivo en la variable afectada. Desde las frases del ejemplo, se desprende el siguiente conjunto de vínculos causales:

<i>Causa</i>	<i>Efecto</i>
nacimientos	población
muertes	población
tasa de natalidad	nacimientos
población	nacimientos
tasa de mortalidad	muertes
población	muertes

*Tabla 2: relaciones causales*

Si bien esta tabla contiene cada uno de los vínculos causales, claramente no es una forma de representación que facilite la comprensión del “todo”. Además, aún no hemos detectado (ni señalado) la polaridad de los vínculos.

A continuación, se introduce el “vocabulario” esencial de los diagramas de bucle causal:



*Ilustración 16: representación de la causalidad. Cuidado – el símbolo de polaridad “+” y “-” se refiere a la flecha, no a la variable.*

Podemos retomar la información de la tabla previa y producir el diagrama preliminar siguiente:



*Ilustración 17: relaciones causales como diagramas*

Todavía falta decidir la polaridad de cada vínculo. También nos llama la atención el hecho que algunas variables son, a veces, causa, y, a veces, efecto. Esto ya anuncia la presencia de bucles; sin embargo, aún no hay un diagrama unificado que así lo muestre. Sin embargo, no debemos construir los bucles sin haber decidido la polaridad de los vínculos individuales.

## La polaridad de los vínculos causales

Para nosotros, tanto la causa como el efecto son *cambios* que ocurren en las variables. Hay diferentes nociones de lo que es un cambio; en general es que una variable como “tasa de natalidad” puede tener un determinado valor en un momento (por ejemplo 2% en el año 1992) y otro valor en otro momento (1,5% en año 2000). El cambio habrá sido de 0,5% y su signo es “-“ (negativo). Diríamos que es un cambio con signo negativo. Si en el año 2005 se observa una tasa de natalidad de 1,8%, hablaríamos de un cambio con signo positivo. La siguiente ilustración muestra el concepto de cambio como “cambio del valor en el tiempo”:

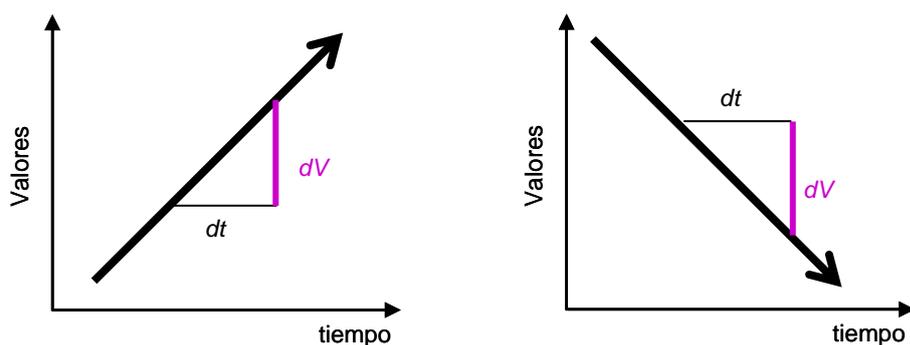


Ilustración 18: ejemplos de cambio

En otros casos, nos podemos referir a “cambio” como “cambio de conducta” (donde “conducta” representaría “cambio de valores”. De hecho, el ejemplo previo indica que la “tasa de natalidad” bajó entre 1992 y 2000, luego ocurrió un cambio de tendencia y empezó a subir hasta 2005. La siguiente ilustración muestra casos de esta forma de cambio:

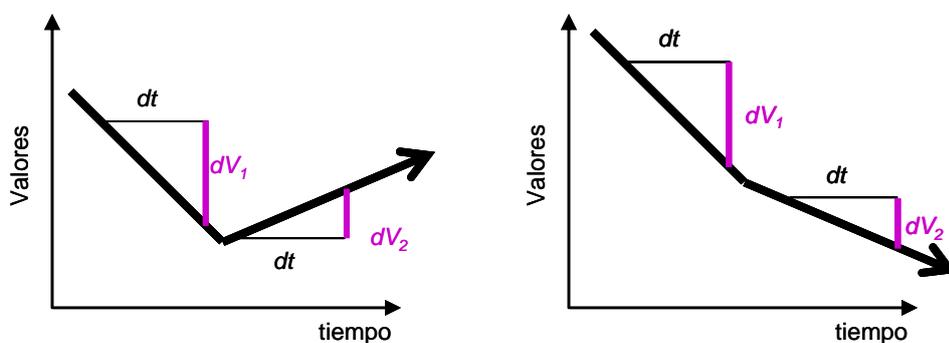


Ilustración 19: más ejemplos de cambio

Constatamos que en el segundo ejemplo, el cambio sería de signo positivo, ya que pasamos de disminución a crecimiento.

Hemos dicho que la tasa de natalidad influye en los nacimientos. Sabiendo el tipo de cambio (signo positivo o negativo) ocurre en la tasa de natalidad, ¿de qué tipo será el cambio que esto causa en nacimientos?

Cuando en tasa de nacimientos ocurre un cambio con signo positivo, entonces los nacimientos también sufren un cambio con signo positivo: a mayor tasa de natalidad, más nacimientos. Esto significa que la cantidad de nacimientos será superior a lo que habría sido sin la influencia causal de la tasa de natalidad. Tenemos que recordar que nacimientos puede ser, al mismo tiempo, expuesto a otras influencias causales: la polaridad del vínculo causal analizado, se refiere exclusivamente a este vínculo, *ceteris paribus* (“todas las otras cosas siendo iguales”).

La *polaridad* expresa la relación entre los signos de cambio. Esto es lo que expresa la siguiente ilustración:



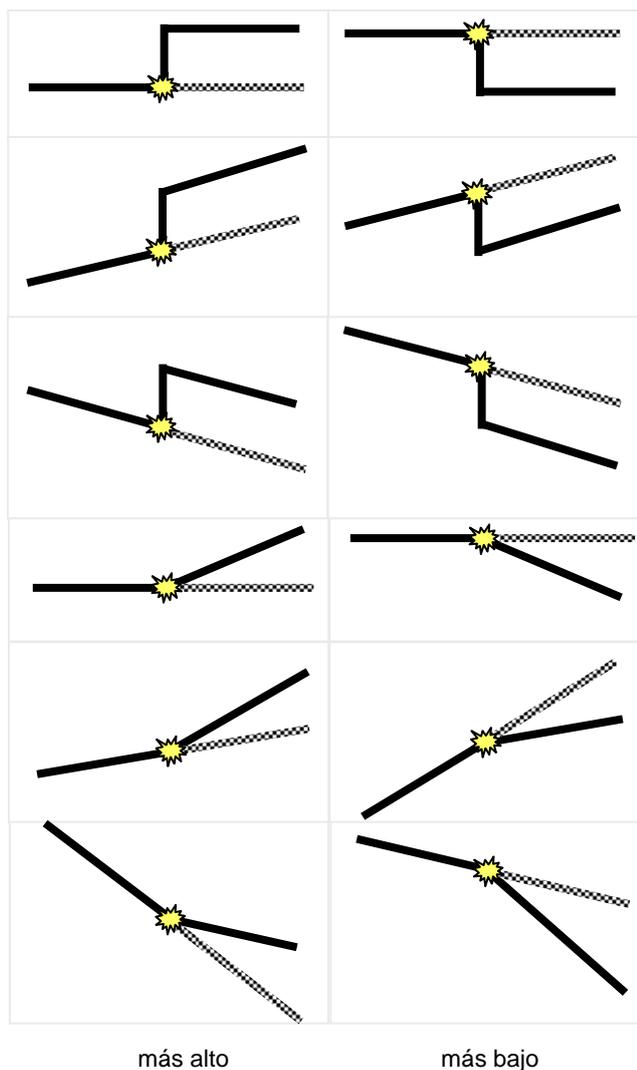
*Ilustración 20: un diagrama causal con polaridad*

He aquí la definición de polaridad:

- Polaridad positiva: cuando la variable independiente cambia en un sentido (con signo positivo/negativo), entonces desde este momento en adelante, los valores de la variable dependiente serán más altos/bajos de lo que habrían sido (símbolo “+”);
- Polaridad negativa: cuando la variable independiente cambia en un sentido (con signo positivo/negativo), entonces desde este momento en adelante, los valores de la variable dependiente serán más bajos/altos de lo que habrían sido (símbolo “-”).

Detengámonos para analizar el significado de esta definición para la conducta de las variables, específicamente la parte “más alto/bajo *de lo que habrían sido*”. Esta formulación implica que sin la influencia causal, la variable habría seguido un determinado camino; debido al impacto de la causa, esta variable tomará un camino diferente – más alto o más bajo.

De alguna forma ocurre entonces un cambio similar a los que vimos en la Ilustración 19. La siguiente ilustración muestra un conjunto de ejemplos típicos:



*Ilustración 21: más alto y más bajo*

En la columna “más alto” de la ilustración, vemos que a partir de la intervención de la causa (representada por una estrella), una línea gris sugiere *lo que habría sido* la conducta de la variable; en cada uno de estos casos, la conducta real ha sido “más alta”. Inversamente, en la columna “más bajo”, cada vez la variable muestra una conducta “más baja” de *lo que habría sido*. En la mayoría de estos casos ejemplares, la variable sigue mostrando una tendencia estática, a la alza o a la baja; lo que cambia es el nivel absoluto o la pendiente.

Como vemos, el efecto de una influencia causal no es siempre tan radical como en la Ilustración 19 (izquierda), donde la variable primero disminuye y luego crece.

Mantengamos estos aspectos en nuestra mente cuando ahora volvamos a observar los pares de causa-efecto de nuestro ejemplo:



*Ilustración 22: pares de causa-efecto con polaridad*

La mayoría de los vínculos causales son de polaridad “+”: positiva. Esto significa que los signos del cambio en las variables independientes (a la izquierda) *se conservan* en el cambio que causan en las respectivas variables dependientes (derecha). En general, empleamos un cambio con signo positivo, por ejemplo: ¿qué pasa cuando la tasa de natalidad aumenta? En función de lo expresado, los nacimientos serán mayores de lo que habrían sido sin este aumento. Se invita al lector a probar esto mismo con las demás variables.

Muchas veces, también se puede aplicar en el otro sentido: ¿qué pasa cuando la tasa de natalidad baja? De acuerdo a la polaridad señalada y a la definición, los nacimientos serán menores de lo que habrían sido (porque el signo del cambio se conservó). Es importante reconocer que a veces, la aplicación mental de la polaridad es compleja: cuando bajan los nacimientos, no se debe deducir que la población baja – no puede ser que vivan menos personas solamente porque nacen menos. Lo que sí se puede decir es que la población será inferior a lo que habría sido (con más nacimientos). Reconozcamos que la simulación mental es una empresa riesgosa, donde fácilmente podemos meternos en trampas: por esta razón, parte de la dinámica de sistemas es la simulación computacional.

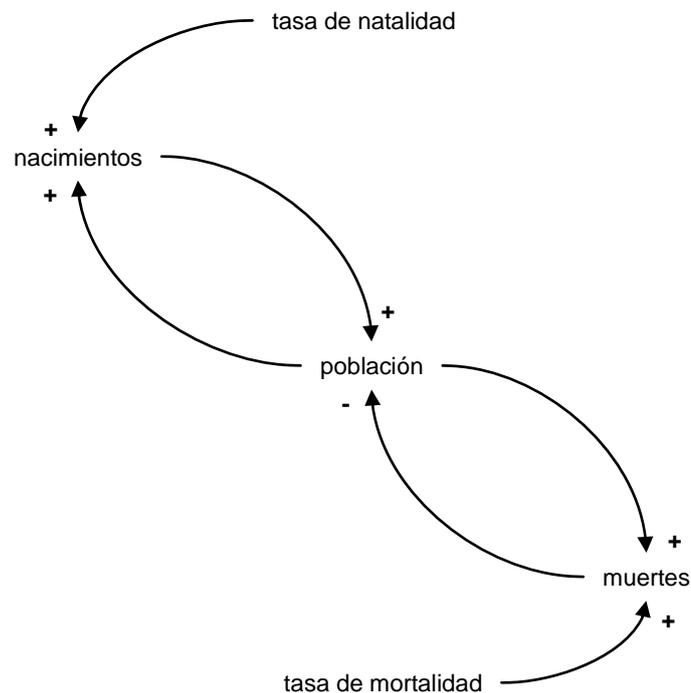
Llama la atención que entre muerres y población hay un vínculo causal de polaridad negativa, es decir: el signo del cambio se *invierte*. Esto significa que cuando mueren más personas, quedarán menos personas en la población (de lo que habrían sido).

Es muy importante que usted se acostumbre a percibir la polaridad (el “+” o el “-“) como un atributo de la flecha, del vínculo causal. En ningún caso, debe ser asociado a una de las variables. El cambio ocurre en las variables; la polaridad representa la conservación o la inversión del signo del cambio, y pertenece exclusivamente al vínculo causal.

Cuidado – el símbolo de polaridad “+” y “-” se refiere a la flecha, no a la variable.

Probablemente la existencia de varios vínculos causales entre las mismas variables, habrá llamado su atención: los nacimientos influyen a la población y la población influye a los nacimientos. Con un poco de reflexión, vemos que es correcto: si para cada persona en la población, hay otra que nace, entonces la cantidad de nacimientos depende – también – de la cantidad de personas que viven. En el otro sentido, es evidente que los nacimientos aumentan a la población.

La aparente limitación de la forma tabular de representar las variables y los vínculos causales entre ellas, desaparece cuando miramos el *diagrama*:



*Ilustración 23: un diagrama de la estructura de la dinámica poblacional*

Este diagrama deja ver de forma holística todo el modelo. Para algunas variables, ya no es posible decir si son independientes o dependientes. Vemos claramente la relación circular entre nacimientos y población de un lado y entre muertes y población del otro.

Cuidado: este diagrama aún no es un diagrama de bucle causal – no hemos señalado los bucles aún. Antes de continuar en nuestra elaboración, se aconseja realzar unos ejercicios.

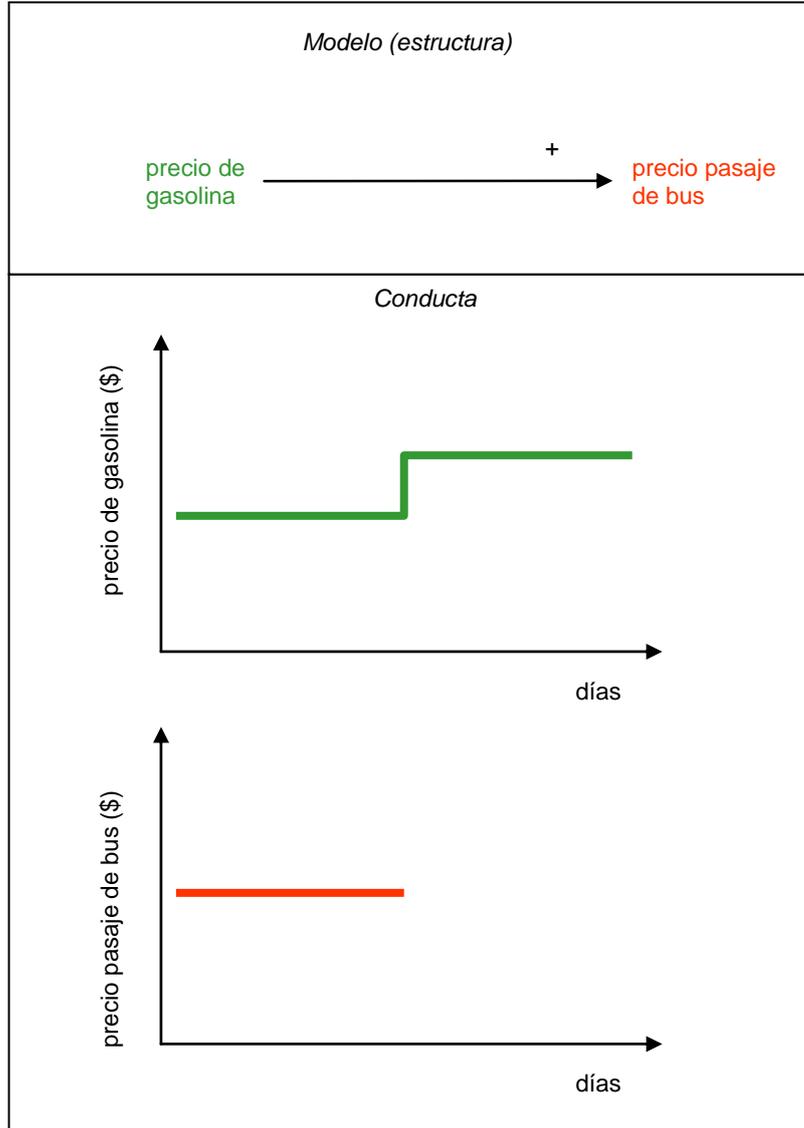
## Causalidad y Diagramas de bucle causal



El modelo “causalidad.itm” (en el sitio web del libro) permite explorar dinámicamente esta noción de la polaridad en los vínculos causales. Es un modelo “iThink”, y para usarlo usted debe tener instalado una versión legal del software “iThink” (de “isee systems”) o el “iThink player” (versión gratuita para ejecutar modelos “iThink”).

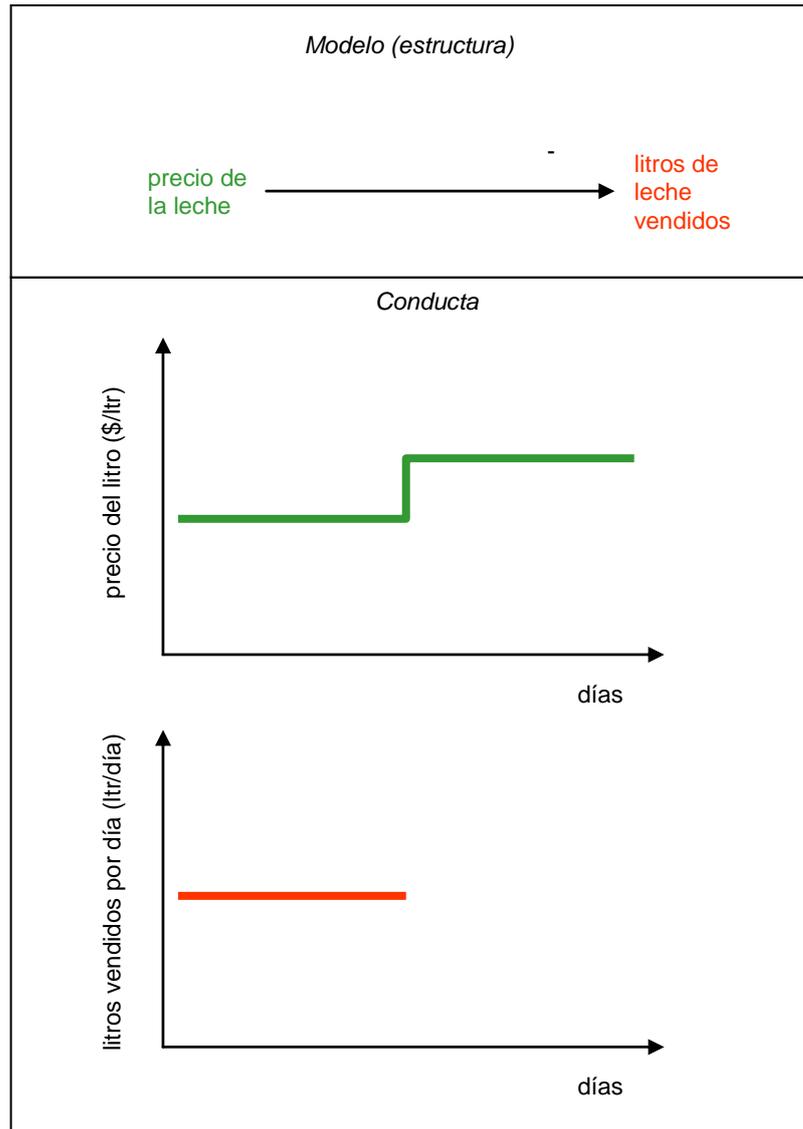
En las siguientes páginas, se le ofrecen unos ejercicios donde usted debe completar la línea de tiempo de la variable “efecto” (completar).

Ejercicio 3-1



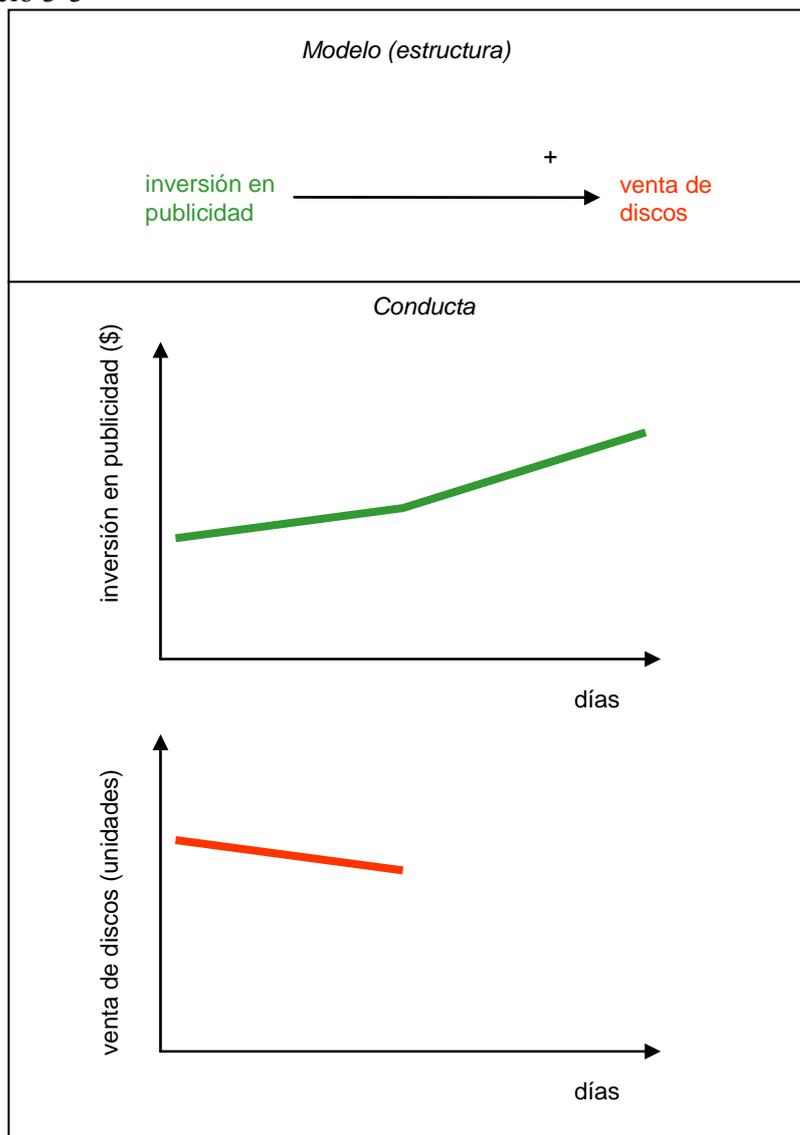
*(Solución al final del capítulo)*

Ejercicio 3-2



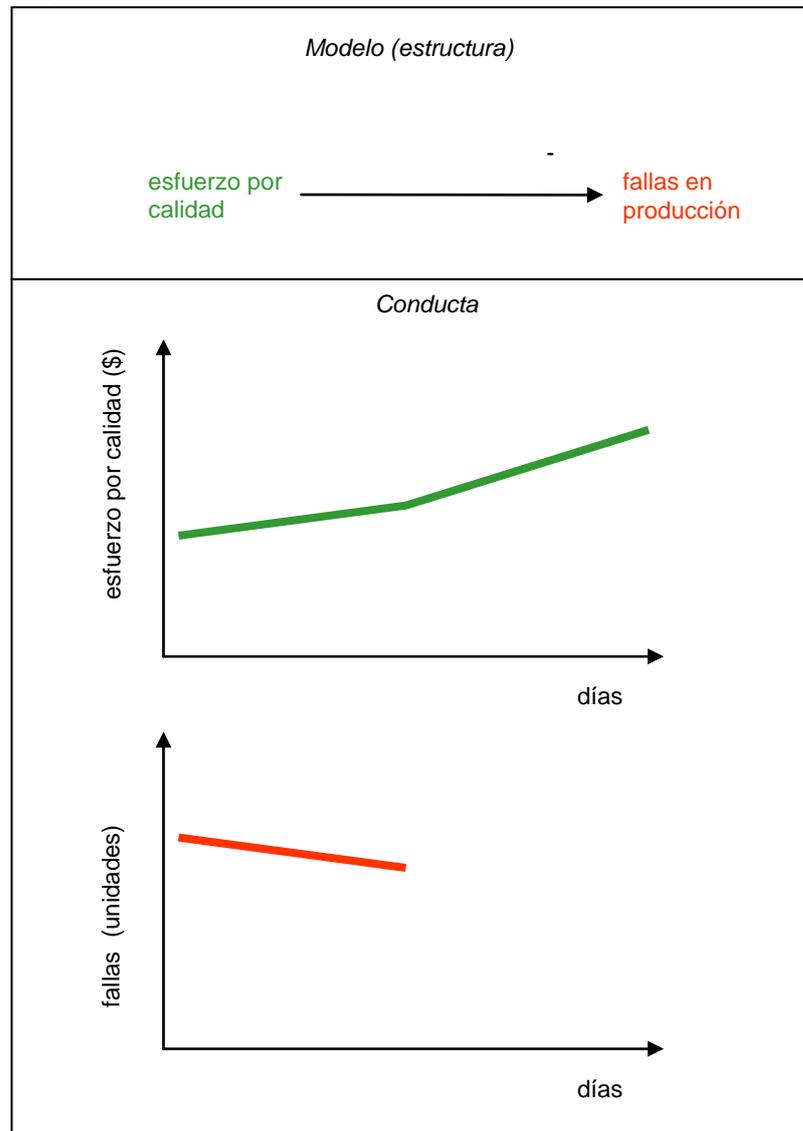
*(Solución al final del capítulo)*

Ejercicio 3-3



*(Solución al final del capítulo)*

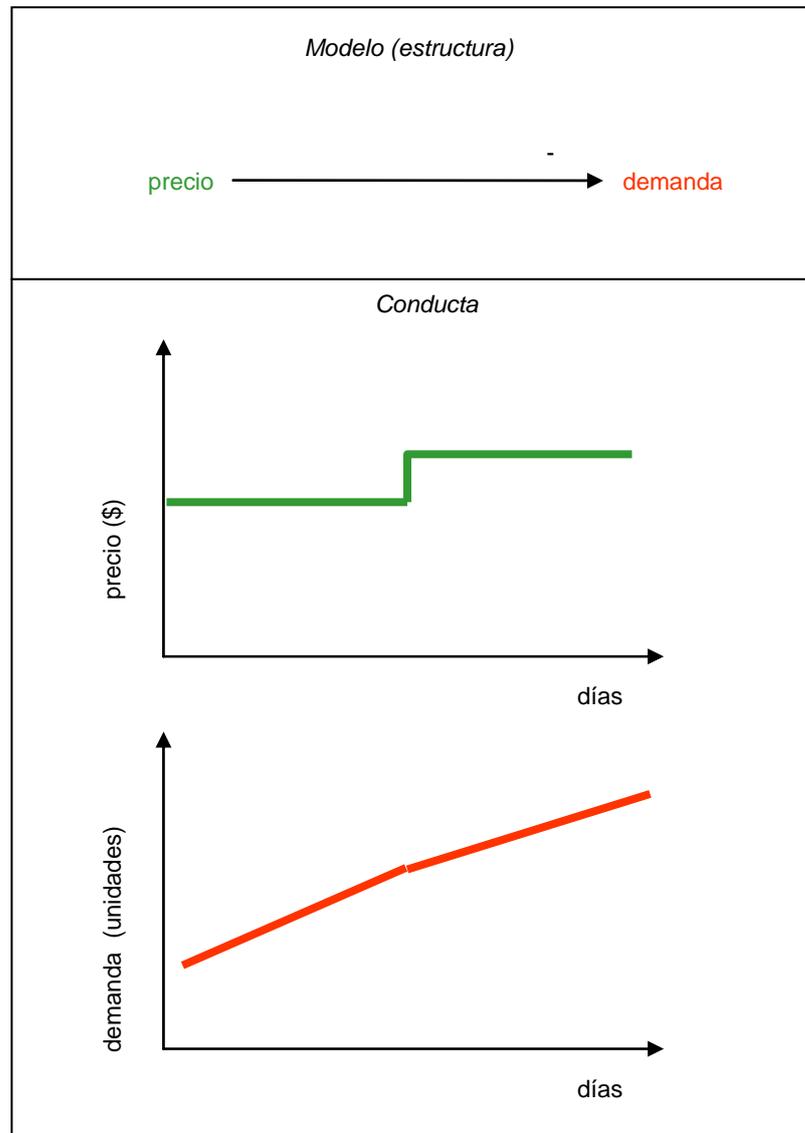
Ejercicio 3-4



*(Solución al final del capítulo)*

Ejercicio 3-5

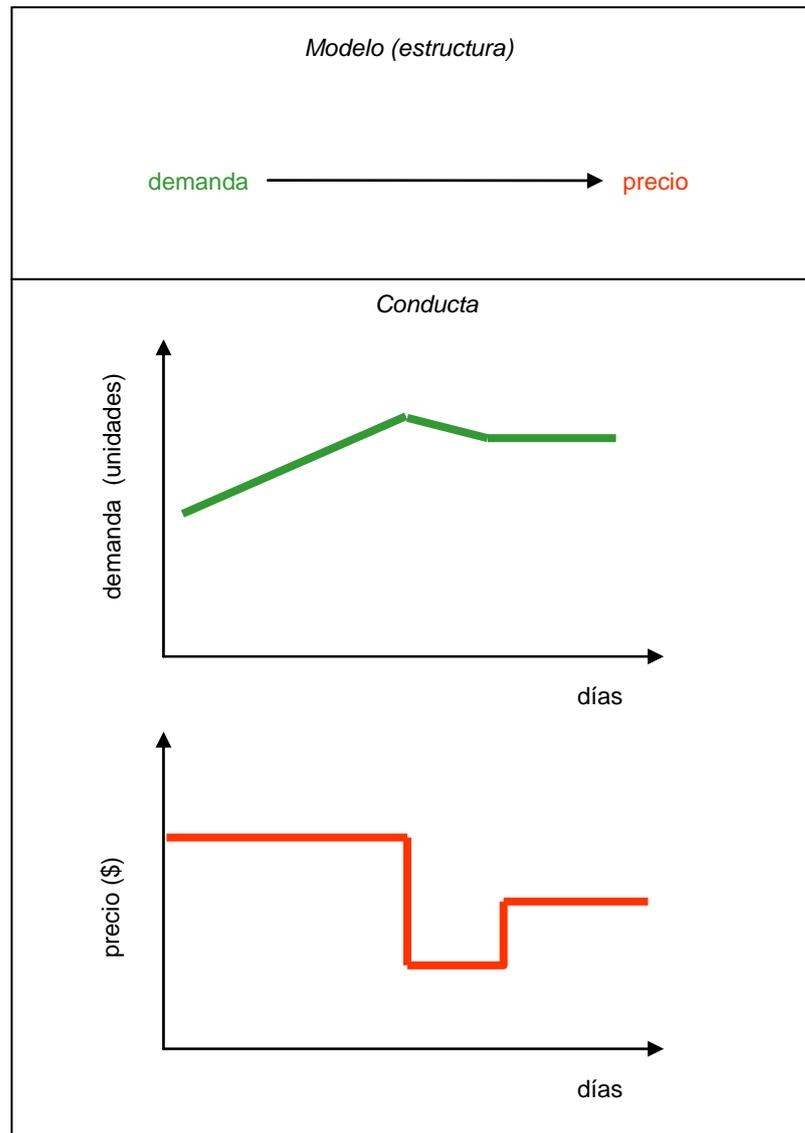
Pregunta de reflexión: al tener la información presentada en la siguiente ilustración, ¿hay un vínculo causal con polaridad negativa? ¿Por qué?



(Solución al final del capítulo)

Ejercicio 3-6

Con el inicio de diagrama de bucle causal y las líneas de tiempo de las variables, especifique las polaridades del vínculo causal.



(Solución al final del capítulo)

## Los bucles de retroalimentación

Si ha hecho los ejercicios, entonces puede haberle causado una sensación curiosa ver que en el Ejercicio 3-4, el precio influye la demanda, y en el Ejercicio 3-5, la demanda influye al precio. Ya hemos visto esto en nuestro ejemplo de dinámica poblacional.

En los países de cultura occidental, solemos pensar en términos de causalidad lineal. Acostumbramos pensar – Aristóteles y Hume no son excepción en este sentido – que una cosa es la variable que causa un efecto, y otra cosa es la variable afectada, y que si una de estas variables es la causa, entonces no puede ser afectada por la variable dependiente. Sin embargo, estamos rodeados por asuntos que son más bien circulares. Se recomienda leer los textos de Senge (1990, 1995, 2000) y Richardson (1991) para introducirse en este tema.

¿Por qué una empresa bajaría el precio de un producto? Porque la demanda no es tan alta como – según los deseos de la empresa - debería ser, y un modo para influenciar la demanda es bajar el precio. Miremos bien: la demanda es baja, y por lo tanto bajamos los precios, porque así contamos aumentar la demanda. (Y obviamente cuando la demanda habrá aumentado lo suficientemente, dejaremos de bajar el precio.) Demanda influye precio influye demanda o, para simplificar la notación, “demanda -> precio -> demanda”.

Del mismo modo abreviado, he aquí más ejemplos:

- Hambre -> comer -> hambre
- Frío (en el cuerpo) -> tiritar -> frío
- Saldo (en libreta de ahorro) -> intereses -> saldo
- Interés -> esfuerzo -> éxito -> interés
- Ataque -> contraataque -> ataque



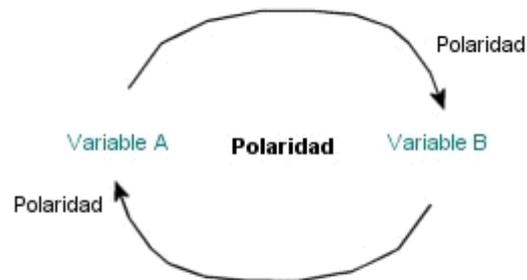
Encuentre a lo menos 5 ejemplos de este tipo de causalidad circular. Visite el sitio web del libro para ver los que otros han expresado y para contribuir con ejemplos propios.

Si usted ha pensado que hay una diferencia entre los 5 ejemplos de arriba, probablemente tiene que ver con que los primeros dos se refieren a la inducción de una acción correctora, que ayuda a adecuar el nivel de hambre y el nivel de frío a un nivel aceptable (y luego para). En los casos del saldo, del interés y de los ataques, no hay un fin, siempre siguen ampliándose, en lo bueno como en lo malo.

Esto se debe a que hay dos tipos de estas estructuras circulares, que resultan ser uno de los pilares fundamentales de la dinámica de sistemas.

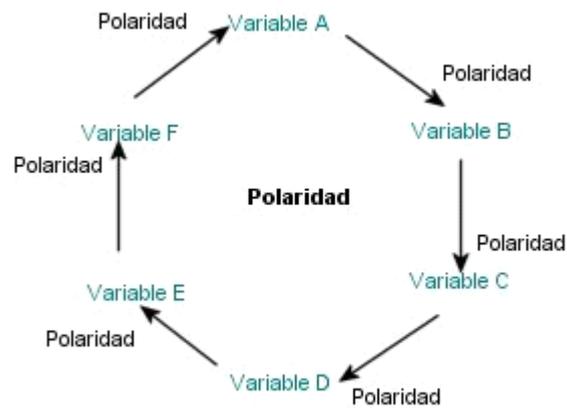
## Causalidad y Diagramas de bucle causal

Cuando entre dos variables, los vínculos de causalidad son circulares, hablamos de "loop" o *bucle de retroalimentación*. Hay bucles simples (porque cuentan pocas variables)



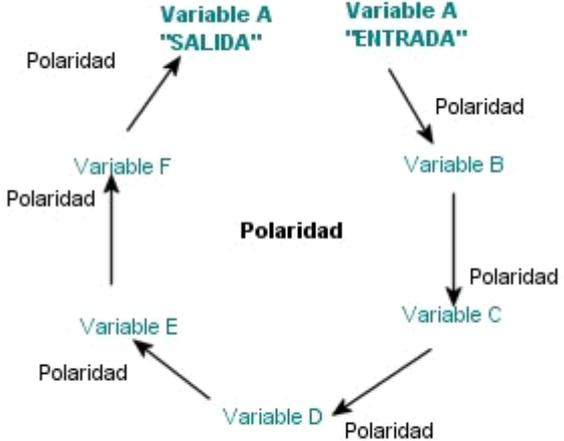
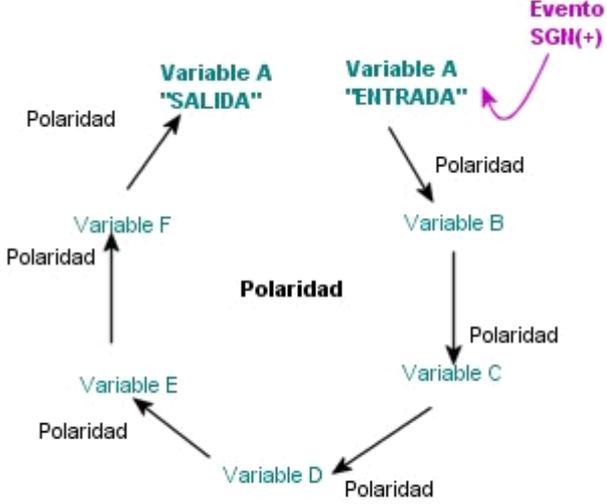
*Ilustración 24: bucle simple de retroalimentación*

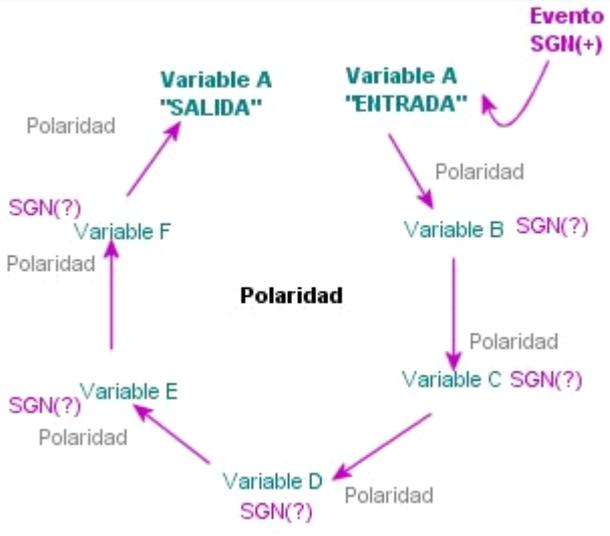
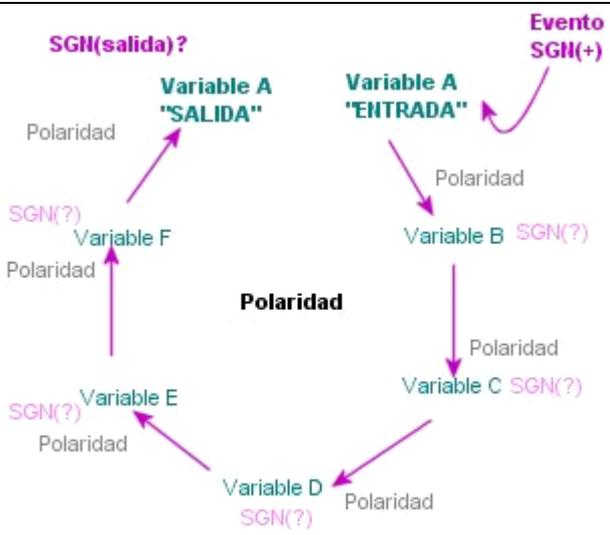
y bucles cuya detección es compleja porque pasan por muchas variables:



*Ilustración 25: bucle menos simple de retroalimentación*

Pero en cada caso, todo bucle tiene una polaridad. Para determinar la polaridad de un bucle, se procede de la siguiente manera.

Paso	Actividad
<p data-bbox="403 349 427 383">1</p> <p data-bbox="504 461 703 786">Se elige una de las variables en el bucle, y ella se separa en dos partes: la primera será de "entrada", la segunda de "salida".</p>	
<p data-bbox="403 947 427 981">2</p> <p data-bbox="504 1133 703 1346">Se aplica un evento de un determinado signo a la parte "entrada" de la variable.</p>	

<p><b>3</b></p> <p>Se sigue los vínculos causales (hasta llegar de vuelta a la parte "salida" de la variable cortada), y para cada uno se toma nota si el signo del cambio se conserva o no.</p>	 <p>Diagrama de bucle causal con variables A, B, C, D, E, F y un evento SGN(+). Las relaciones entre variables están etiquetadas como 'Polaridad' y los signos de cambio como 'SGN(?)'. El bucle está etiquetado como 'Polaridad'.</p>
<p><b>4</b></p> <p>Si, al llegar a la parte "salida" de la variable cortada, se ha conservado el signo del cambio, entonces la polaridad del bucle es positiva; si no, entonces su polaridad es negativa.</p>	 <p>Diagrama de bucle causal similar al anterior, pero con la polaridad del bucle determinada como 'SGN(salida)?'.</p>

Para señalar claramente la polaridad de cada bucle, dibujamos su identificación al centro del diagrama. Los bucles con polaridad positiva se denotan con un "+" o "R" (para Reforzador); los con polaridad negativa se denotan con "-" o "C" (para Compensador):

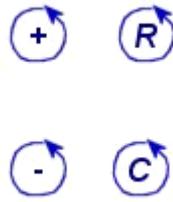


Ilustración 26: dos formas de denotar la polaridad de un bucle

Hagamos un ejemplo, en base de elementos que ya hemos usado antes: el caso de la cuenta de ahorro:

1	Esta es la situación donde SALDO-> intereses e intereses -> SALDO.	
2	"Cortamos" la variable SALDO y le aplicamos un evento con signo positivo.	
3	La polaridad positiva del vínculo causal conserva el signo del cambio "+".	
4	La polaridad positiva del vínculo causal conserva el signo del cambio "+". Ya volvimos al origen y el signo se ha conservado.	
5	Por lo tanto, corresponde atribuirle a este bucle una polaridad positiva.	

Tabla 3: un ejemplo de detección de polaridad de bucle

¿Qué es lo que típicamente hace un bucle positivo?

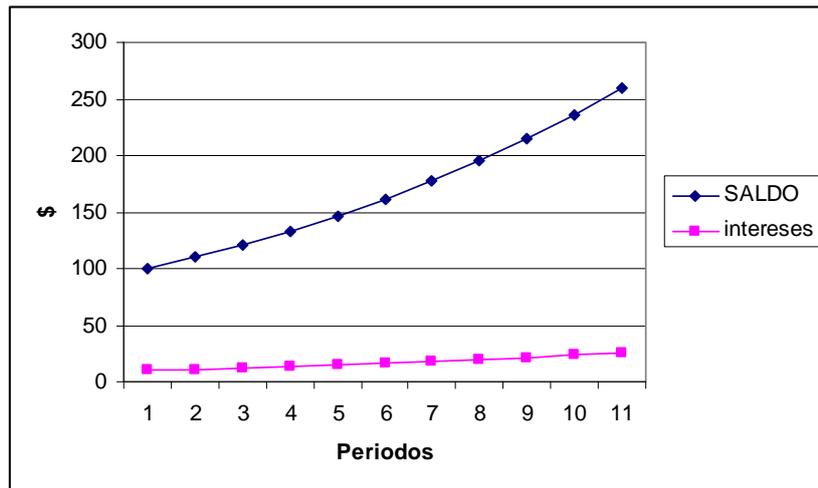


Ilustración 27: retroalimentación positiva y crecimiento exponencial

El saldo crece, pero no como una línea recta. ¿Es lo que usted esperaba? ¿Por qué no crece simplemente de forma lineal?

Es porque en un bucle de retroalimentación positivo, cada cambio de una variable es reforzado, ya que induce un cambio del mismo signo en la próxima variable, y así sucesivamente, hasta que la señal vuelve a la primera variable, donde se inicia otra ronda de causas. Es un fenómeno que llamamos crecimiento exponencial, y será estudiado en el próximo capítulo.

Volvemos al ejemplo de la dinámica poblacional. La Ilustración 23 (p. 56) presentó el diagrama sin señalar los bucles; solamente vimos que son dos bucles. Analizamos cada uno de ellos.

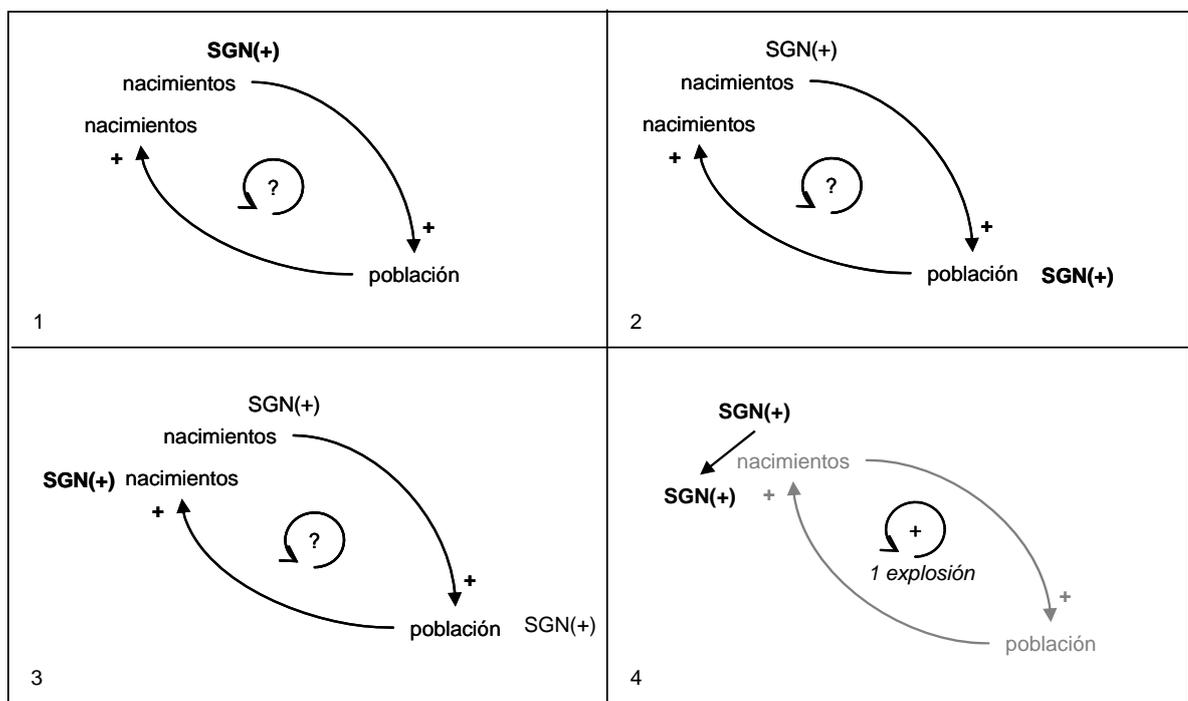


Ilustración 28: explosión poblacional

En la imagen 1 de la ilustración, aplicamos un cambio de signo positivo a nacimientos. El “+” del vínculo causal conserva el signo positivo, por lo cual población cambia con signo positivo (imagen 2). Luego, el vínculo positivo de nuevo conserva el signo del cambio (imagen 3), lo que resulta en un cambio de salida con signo positivo. Dado que el signo del cambio inicial se ha conservado, deducimos que se trata de un bucle de polaridad positiva; es el primero en el modelo, entonces le asignamos el número 1 y además un nombre significativo: “explosión”.

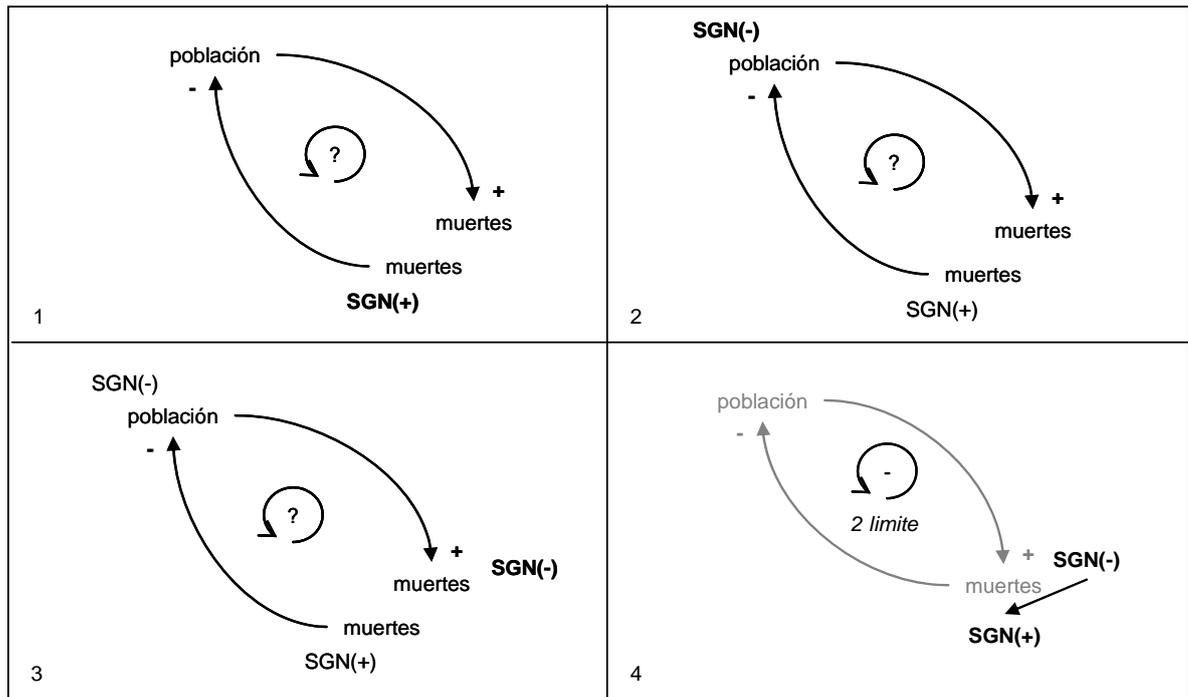


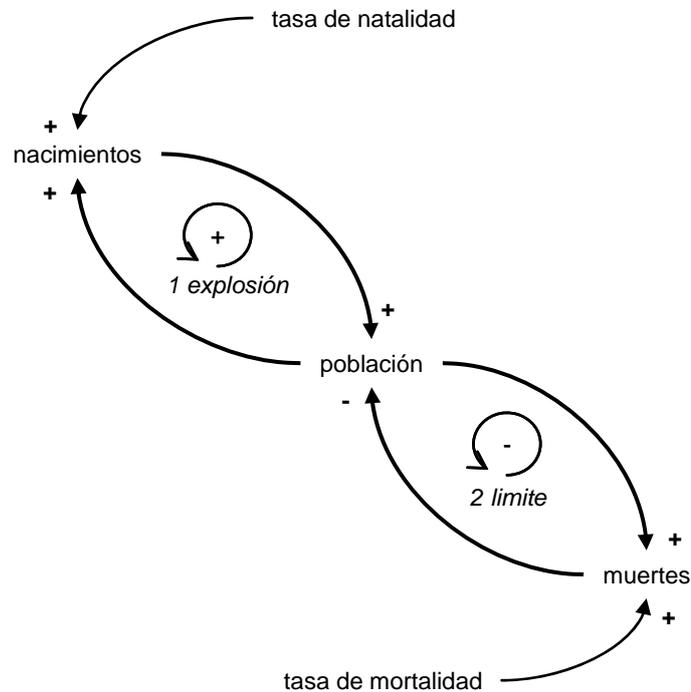
Ilustración 29: límite del crecimiento

En el segundo caso, aplicamos un cambio con signo positivo a la variable muertes (imagen 1). La Imagen 2 muestra que, debido al vínculo con polaridad negativa, se invierte el sentido del cambio y el signo del efecto en la variable población es negativo. Luego (imagen 3), el vínculo causal de polaridad positiva conserva este signo negativo del cambio. Terminamos en la imagen 4 con una salida de signo negativo, donde empezamos con una entrada de signo positivo: visiblemente, este bucle invierte el signo de los cambios. Por esta razón, concluimos que es de polaridad negativa; recibe el número 2 y su nombre será “límite”.

La determinación de la polaridad de los bucles de retroalimentación en un modelo es una tarea que requiere cuidado. El modelador experimentado dispone de un conocimiento tácito que le permite “ver” la polaridad de forma aparentemente intuitiva. Estas personas ya tienen “compilado” la aplicación de las reglas, del mismo modo que usted podrá manejar una bicicleta sin tomar decisiones deliberadas. Sin embargo, el novato deberá seguir las reglas de este procedimiento paso-por-paso: evitará errores y se

asegura un aprendizaje correcto – luego podrá “ver” la polaridad de los bucles.

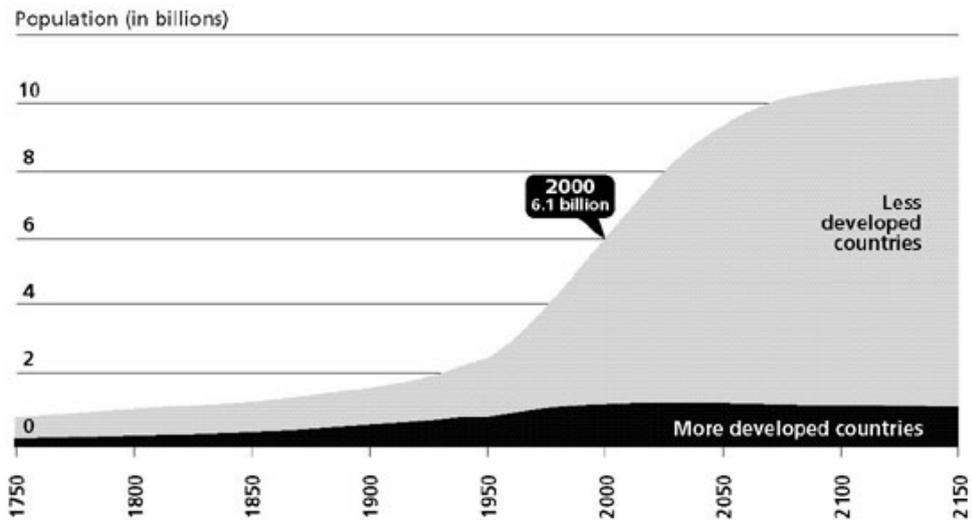
Observamos ahora al diagrama de bucle causal entero:



*Ilustración 30: DBC de la dinámica poblacional*

Es el primer “DBC” completo y expresa muchos conocimientos estructurales sobre el caso de la dinámica poblacional. De hecho, contiene más información estructural que el texto descriptivo del inicio del capítulo: éste no hacía alusión a *bucles de retroalimentación*. Queda en evidencia la ventaja del diagrama sobre la representación en forma de texto: se ve inmediatamente la interdependencia entre las variables.

¿Qué se puede hacer con un modelo de este tipo? Se podría primero explicar por qué la población se comporta de tal o cual forma. Por ejemplo, es un hecho conocido que la población mundial ha crecido de forma explosiva (más tarde conoceremos la retroalimentación positiva como motor del crecimiento exponencial):



Source: United Nations, *World Population Prospects, The 1998 Revision* (New York: UN, 1998); and estimates by the Population Reference Bureau.

Copyright © 2001 Population Reference Bureau

*Ilustración 31: comportamiento de la población mundial (fuente: Naciones Unidas)*

Si usted observa el comportamiento de la población hasta el año 2000, muestra claramente los rasgos de un crecimiento “explosivo”. Esta es la obra del bucle “positivo”. Como vemos “positivo” no debe ser entendido como cargado de valores: denota única y exclusivamente la polaridad, es decir la relación entre los signos del cambio.

¿De verdad dejará de crecer la población mundial en unos años? ¿Se estabilizará? No lo sabemos, ya que esto será en el futuro. Pero podemos intentar comprender cuáles serán las consecuencias de lo que pasa en el presente. Si, como lo dice nuestro pequeño modelo, las muertes reducen la población, y si el bucle “límite” es de polaridad negativa, entonces tiende a estabilizar la población, opone una barrera al crecimiento. En la segunda parte de este libro, se analizará detenidamente la operación de estos bucles.

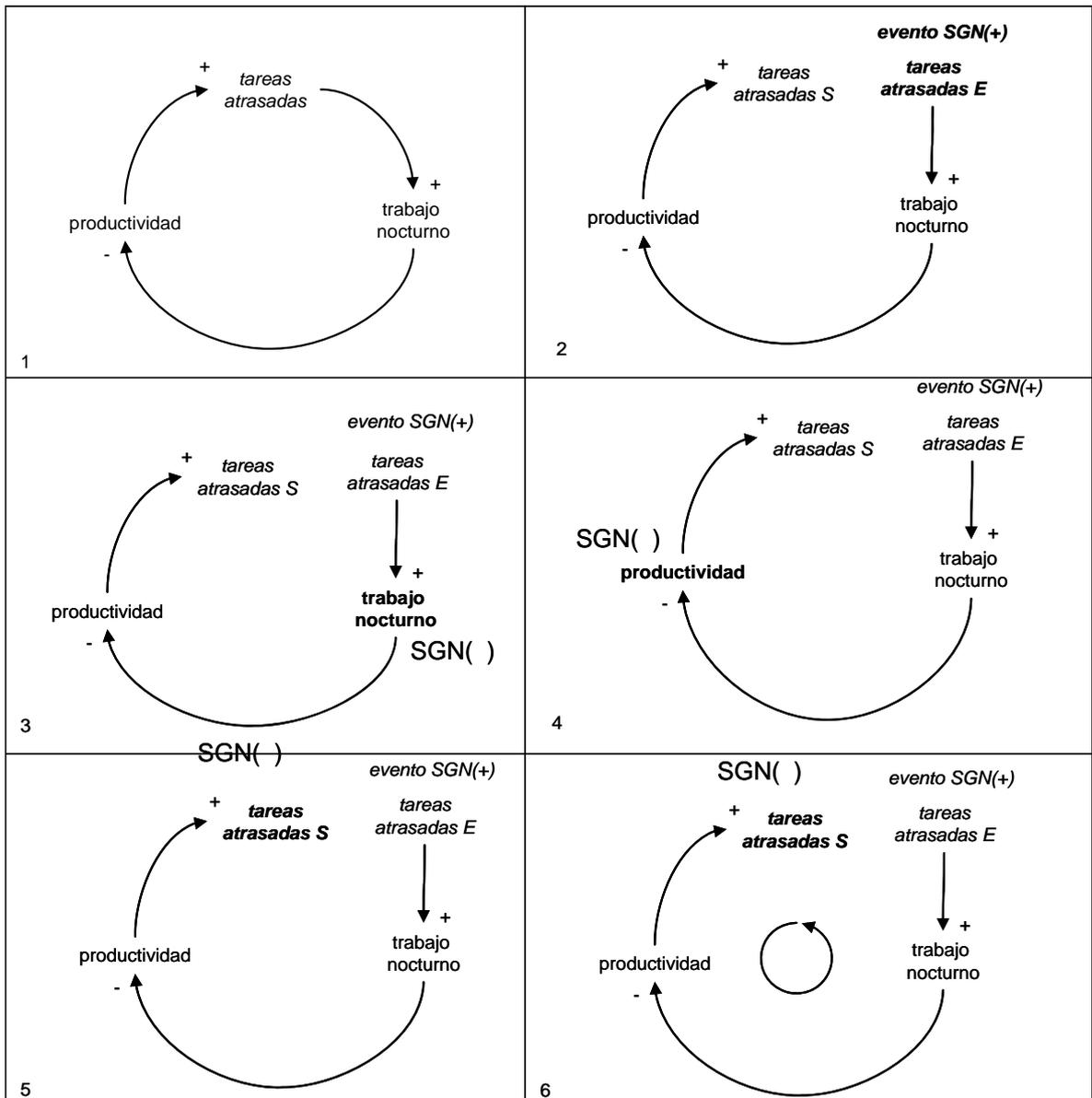
Veremos que con modificaciones aparentemente pequeñas del presente modelo, se puede estabilizar la población, pero también puede colapsar. Evidentemente, hay más variables, más vínculos causales y más bucles de retroalimentación que son relevantes para este tema. El modelo de “dinámica mundial” (Forrester, 1971) tenía unas 130 variables; el modelo siguiente, siendo un tanto más detallado (Meadows et al, 2002), contó con más del doble de variables. Si ya con nuestros dos bucles, resulta desafiante imaginarse el comportamiento del “sistema”, queda muy claro que un modelo más razonable debe ser simulado para poder evaluar la coherencia de las ideas que representa.

Antes de seguir con conceptos y reglas adicionales, haremos algunos ejercicios.



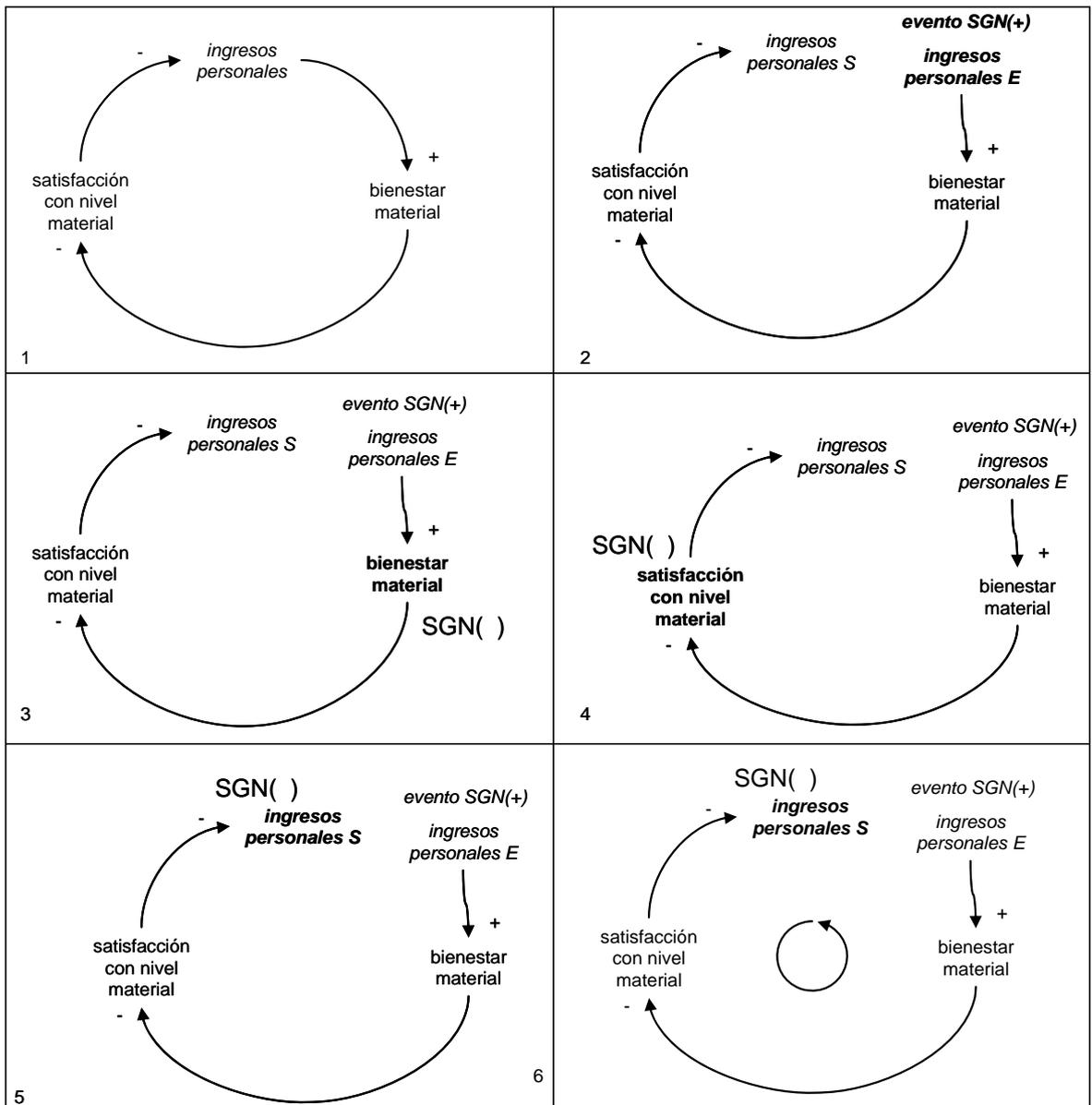
En los siguientes ejercicios, usted debe determinar la polaridad de los bucles de retroalimentación presentados. Hágalo paso por paso, completando lo que hace falta.

Ejercicio 3-7



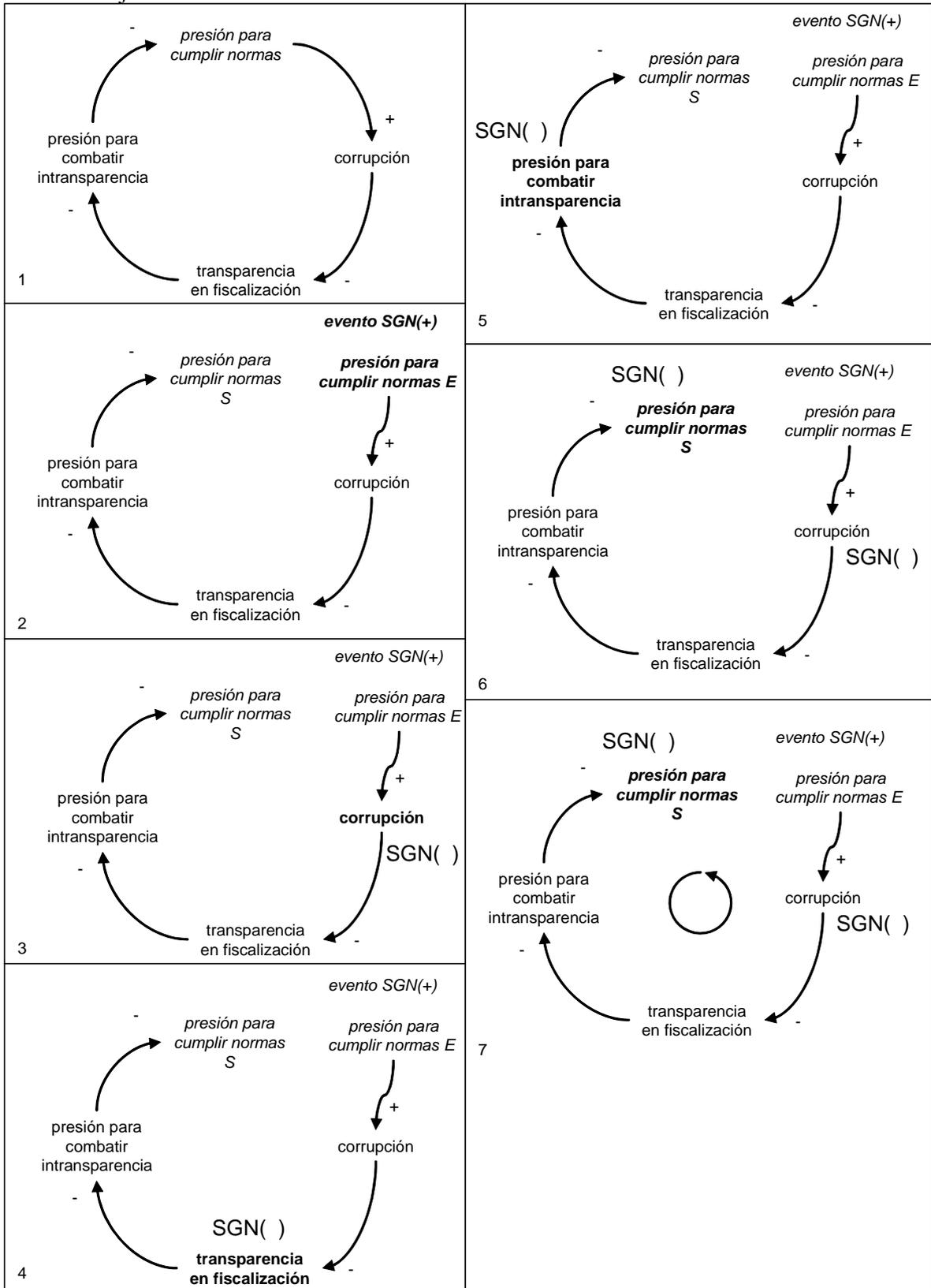
(Solución al final del capítulo)

### Ejercicio 3-8



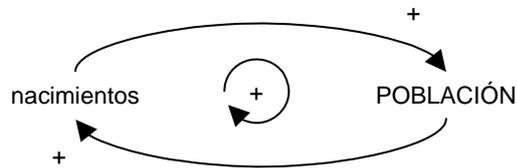
(Solución al final del capítulo)

Ejercicio 3-9



(Solución al final del capítulo)

Ejercicio 3-10. A veces, la discusión acerca del significado de los vínculos causales y de su polaridad es fuerte. Hay que saber que los diagramas de bucle causal no siempre han formado parte de la dinámica de sistemas, y es perfectamente posible trabajar sin ellos. Pero también resultan prácticos, ya que permiten reflexionar y dialogar sin dominar todos los conceptos y métodos que se requieren para poder simular con el computador – a la vez ventaja e inconveniente. Para agregar complejidad, a veces se ha usado los vínculos causales y su polaridad de manera muy simplificadora, lo que puede inducir a errores. Estos errores intervienen cuando se usa “i” y “o” (idéntico y opuesto) en lugar de “+” y “-“. Como vimos en los Ejercicios 3-5 y 3-6 (si aún no los ha hecho, hágalos ahora), donde vimos que “A -> B” no significa que “un cambio en (el valor de) A causa un cambio en (el valor de) B”; lo correcto es que “un cambio en (la conducta de) A causa un cambio en (la conducta de) B”. Los adversarios de los diagramas de bucle causal, a veces dicen “para ver que es falso, considera el caso de una POBLACIÓN



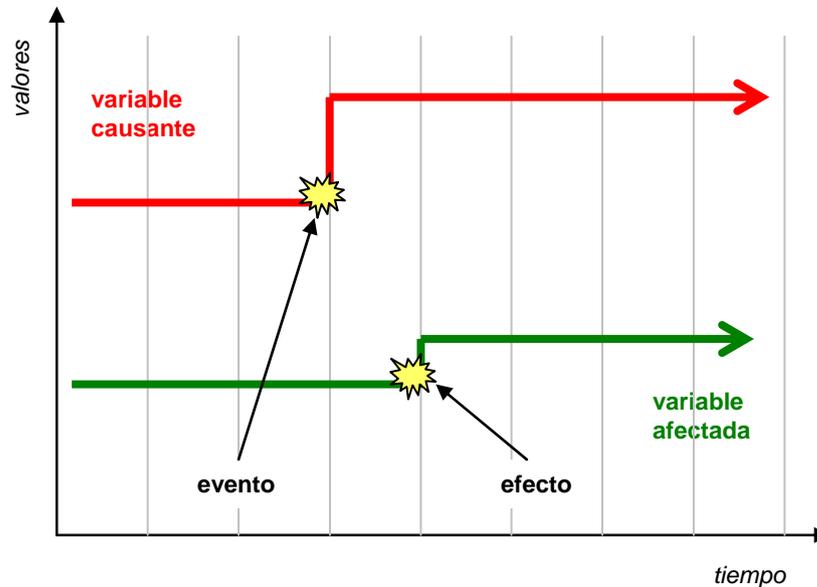
*Ilustración 32: un sistema mínimo*

Si la POBLACIÓN aumenta demasiado, uno podría pensar que basta con bajar los nacimientos, ya que si el signo negativo de este cambio se conserva, entonces bajará la POBLACIÓN. Pero esto es un contrasentido, ya que lo único que pueden hacer los nacimientos es aumentar la POBLACIÓN. No se puede disminuir la POBLACIÓN a través de la variable nacimientos.”

Nosotros ya hemos visto los argumentos necesarios para mostrar si esta afirmación es correcta o no. Inténtelo.

## Las demoras

La idea de causalidad significa que un evento ocurrido en una variable tendrá un efecto en la otra; sin embargo, esto no dice nada sobre el tiempo que será necesario para que el evento de la variable causante llegue a tener efecto en la variable afectada. En el mundo material, esto siempre toma un tiempo no nulo:



*Ilustración 33: estructura temporal de una demora*

- la percepción del ser humano no es inmediata; hasta los reflejos automáticos se demoran. Por ejemplo, para que un automovilista empiece a frenar al ver un peatón saltar a la vereda, pasa hasta una décima parte de segundo, y si andaba a 100 Km./h, es decir 100.000 metros 3600 segundos, entonces su auto habrá avanzado de  $100.000/36.000 =$  aproximadamente 3 metros en este tiempo. ¿Qué pasará con el peatón?
- si sentimos hambre, comemos (ver ejemplos de retroalimentación negativa en sistema 4). La variable clave es el porcentaje de azúcar en la sangre: cuando es bajo, sentimos hambre. Cuando comemos, vuelve a subir este porcentaje y dejamos de sentir hambre. Sin embargo, entre el primer bocado que introducimos en la boca y el inicio del cambio de la tasa de azúcar sanguíneo, pasan aproximadamente 15 minutos. Por esta razón, puede ser que hasta que notemos el efecto de este primer bocado, hayamos comido mucho más de lo que habría sido necesario...
- en las empresas y las organizaciones, los eventos ocurren continuamente, pero el ritmo de los reportes a la gerencia es por semana, por mes y hasta periodos más largos. En el sistema educacional, se intenta medir la calidad cada 4 años (para un mismo curso). Los gobiernos se eligen cada 4 años.

Es importante señalar claramente los vínculos causales que son más lentos que los demás, en un diagrama causal. Utilizamos un símbolo distintivo para representar las demoras:

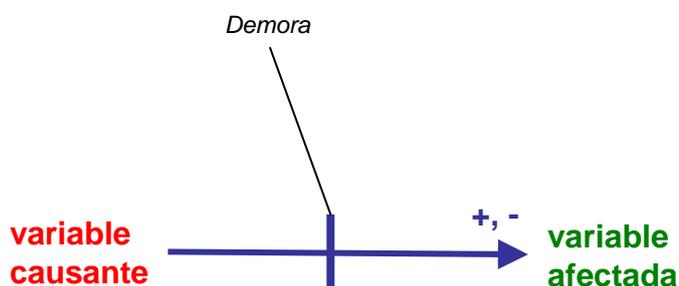


Ilustración 34: la demora se denota en el diagrama

Un diagrama de bucle causal resume un discurso acerca de un sistema

Resumiendo, cabe reflexionar acerca de una idea muy importante: un diagrama de bucle causal es una representación de algo que también se puede describir textualmente.

*"Los nacimientos aumentan la población. Cuando la tasa de natalidad sube, nacen más personas. Una población más grande tiene más nacimientos y más muertes. Cuando se aumenta la expectativa de vida, mueren menos personas en un periodo. Los muertos disminuyen la población."*

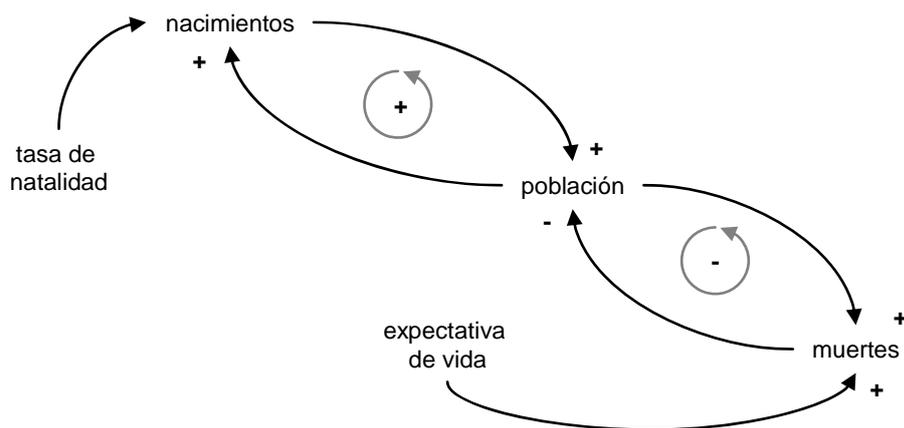


Ilustración 35: sistema ejemplar con dos bucles

Este texto presenta los mismos *detalles* que el diagrama de bucle causal. Usted puede comprobarlo: cada oración del texto corresponde a una versión resumida de una flecha causal (con su dirección, polaridad y variables asociadas).

¿Pues cuál es la gracia de obligarse a “narrar” en forma de diagrama, si hemos aprendido desde siempre a hacerlo en forma de texto?”

Considere las siguientes diferencias:

1. en el lenguaje textual usual, falta precisión: “*Los nacimientos aumentan la población*” no es exactamente igual a “cuando los nacimientos aumentan, la población será mayor a lo que habría sido sin este aumento”. Por otra parte, resultaría fastidioso hablar en estos términos. El diagrama permite expresar la idea claramente, sin perder precisión y sin devenir engorroso.
2. ¿dónde en el texto están los *bucles de retroalimentación*? Efectivamente, no se encuentran. Si bien el texto contiene los mismos *detalles* que el diagrama, los bucles de retroalimentación no pertenecen al mismo nivel de descripción, no son detalles del mismo orden que las variables y flechas causales. Son emergentes, son un conjunto de componentes (variables y conexiones causales), un todo, de verdad el “sistema” más pequeño. Y resulta que en nuestro lenguaje normal – el que formulamos como texto – no se mencionan los bucles. El lenguaje textual es *lineal*, se pronuncia, se redacta, se lee y se piensa del inicio en adelante, y no es ni muy adaptado ni se usa para discursar sobre bucles. En cambio, al ver el diagrama, se ven los “loops”, y queda claro que por sí solo, el “loop” entre población y nacimientos tendrá un crecimiento exponencial, y el “loop” entre población y muertes buscará una meta (implícita).

Estas son dos diferencias importantes para el pensador sistémico; constituyen buenas razones para recurrir a los diagramas para razonar (individual y colectivamente) sobre sistemas.

## 10 Reglas para un buen modelado

Terminemos este capítulo con diez reglas que John Sterman (2000) nos recomienda para producir DBC de buena calidad.

Regla 1: modelamos en base a relaciones causales, no correlaciones

Acostumbramos creer que una correlación clara entre los valores de dos variables es muestra de una relación causal. Esto no es necesariamente así, como lo muestra el siguiente ejemplo:

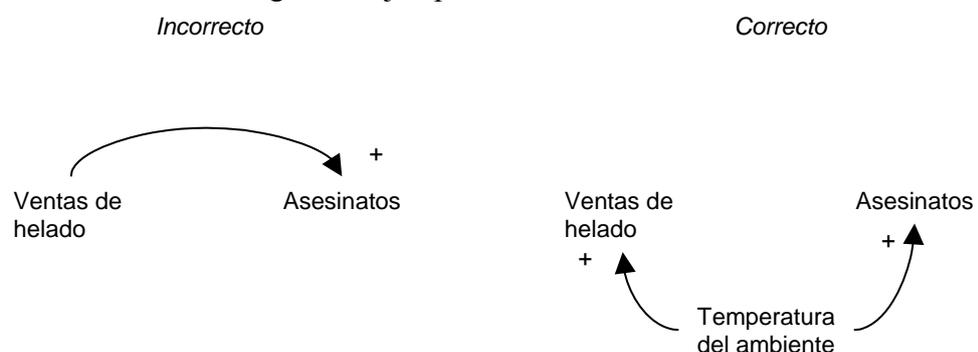


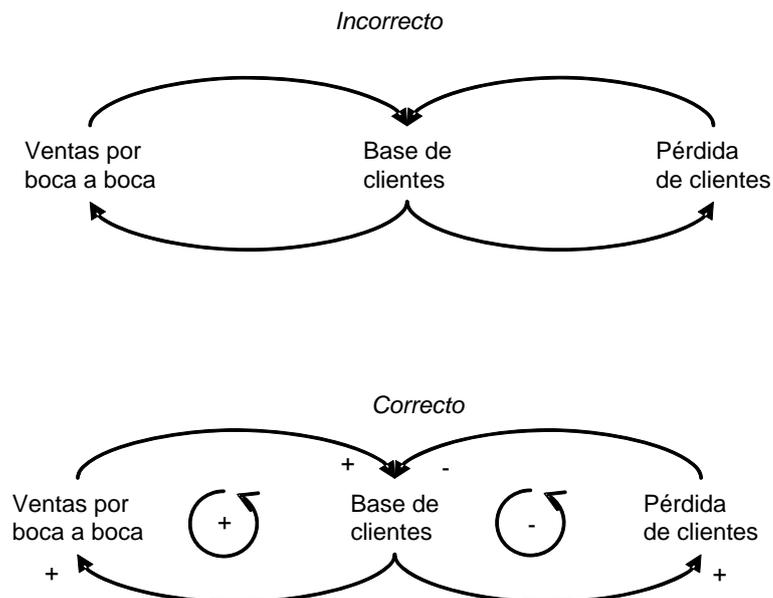
Ilustración 36: modelar en base de relaciones causales

En dinámica de sistemas, buscamos captar los mecanismos por los cuales se desplazan los efectos de una señal desde su origen hasta algún otro punto. A esto, nos referimos con "causa". Si bien un modelo causal deberá ser capaz de reproducir valores de variables con una correlación similar a la observada en el mundo "real", nos prohibimos cortar caminos.

Esto es importante porque lo que podemos medir de un sistema "real" no es más que su comportamiento en este momento, bajo el régimen de los parámetros actuales. Varios modelos causales podrían replicar esta conducta actual. Pero, como lo hemos visto con el modelo explorado en este capítulo, un mismo modelo causal puede mostrar conductas bien diferentes. Un modelo inferido desde una exploración correlacional puede ser fiel a la "realidad" bajo el régimen de parámetros del minuto, pero muy infiel bajo otros valores de parámetros. Nosotros buscamos modelos robustos, en los cuales podemos confiar en muchos regímenes de parámetros.

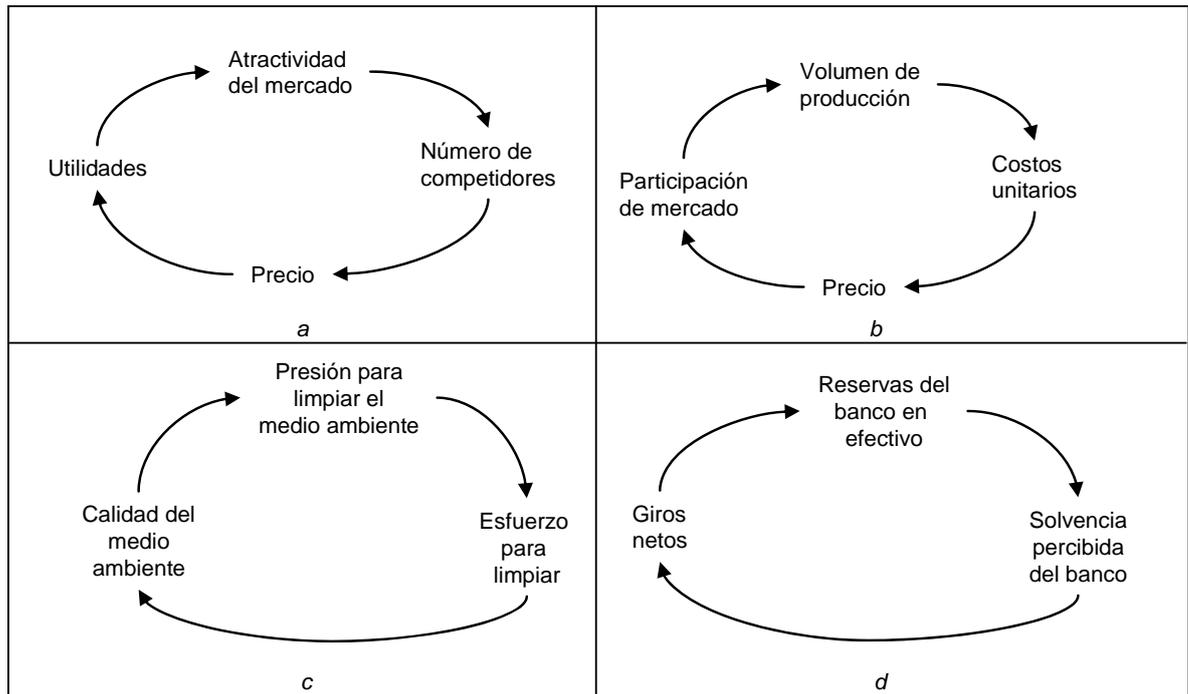
## Regla 2: ponemos etiquetas de polaridad

Los bucles de retroalimentación son, en cierto sentido, el bloque de construcción más importante en dinámica de sistemas. Cada bucle tiene una polaridad; es mala praxis no señalarla en un diagrama:



*Ilustración 37: indicar la polaridad del vínculo*

Ejercicio 3-11: Lamentablemente, el modelador de los 4 diagramas siguientes olvidó especificar tanto la polaridad de las flechas causales como de los bucles:



*(Complete lo que falte. Solución al final del capítulo)*

### Regla 3: ponemos nombres y números a los bucles de retroalimentación

Un modelo es una composición o superposición de varios y a veces muchos bucles de retroalimentación. Esto puede ser de muy difícil lectura, pero podemos ayudar cuando señalamos para cada bucle un nombre y un número. El número ayuda a mantener el orden y a hacer referencias. El nombre facilita recordar lo esencial de cada bucle. Por lo tanto, es importante que no se dé cualquier cosa como nombre, sino una frase corta o palabra clave que evoque en significado del bucle para las personas en el "sistema" modelado.

### Regla 4: indicamos las demoras

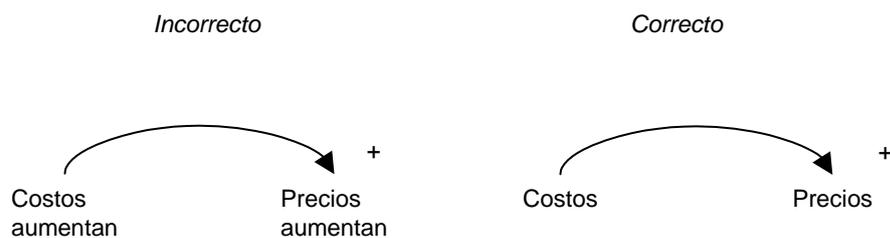
Las demoras son esenciales para la generación de la conducta; deben ser explícitamente mencionadas, para no invitar al lector del diagrama a construir falsas inferencias mentalmente.

En el modelo presentado aquí, las diferentes líneas de causa no tienen la misma velocidad. Esto explica cómo es posible que luego de un abrupto cambio de precio, inicialmente los gastos de combustible suben (la causa de arriba no tiene demora), pero posteriormente empiezan a bajar de nuevo: las

líneas causales que representan esfuerzos de compensación son más lentas, son demoradas en relación con la primera línea causal.

### Regla 5: damos nombres de substantivos con sentido positivo a las variables

Nombrar variables con substantivos. Una variable es algo que tendrá un determinado valor en un momento particular. Ello significa que expresiones como "costos suben" son problemáticas, ya que hablan de una conducta. Nosotros preferimos considerar la conducta como el cambio de los valores de una variable en el tiempo.



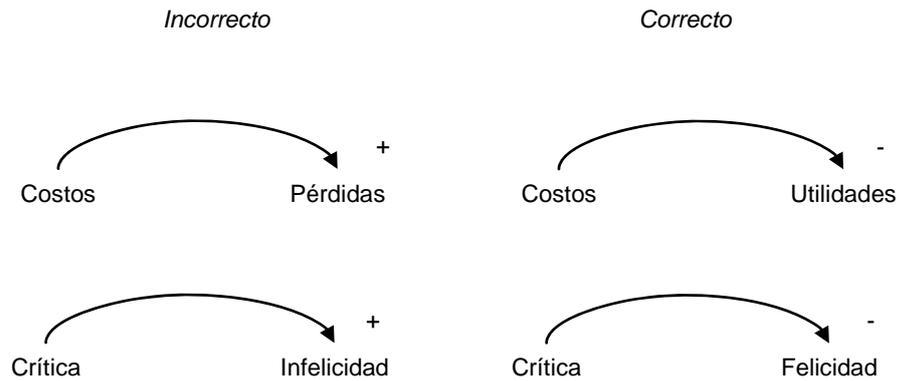
*Ilustración 38: usar nombres en sentido positivo*

También es importante que las variables hagan explícito su sentido o su dirección. Decir "retroalimentación" no deja ver si esta es "buena" o "mala"; por lo tanto su efecto sobre la motivación es difícil de expresar. Es preferible hablar de "felicitación":



*Ilustración 39: los nombres de variable indican el sentido*

Finalmente, en cada organización y cada ámbito profesional se usan ciertas expresiones y no otras. Es importante elegir nombres cuyo sentido normal (usual) es positivo (valóricamente), como en general es intuitivamente: la mayoría de las empresas dirige su atención a las ganancias, no a las pérdidas. Es así que podemos escuchar frases como "los costos aumentan las pérdidas" menos frecuentemente que "los costos reducen las ganancias". Además, un problema de comprensión podría resultar de la tensión entre la polaridad "+" y "pérdida", ya que "pérdida" tiene una connotación negativa.



*Ilustración 40: usar nombres y conceptos usuales*

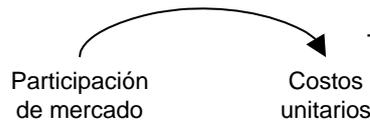
**Regla 6:** arreglamos el diagrama ("lay-out") tantas veces como sea necesario para su legibilidad

Cada diagrama puede y debe ser corregido y hecho de nuevo tantas veces como sea necesario, hasta que sea un instrumento conveniente para dar soporte a la reflexión y el diálogo.

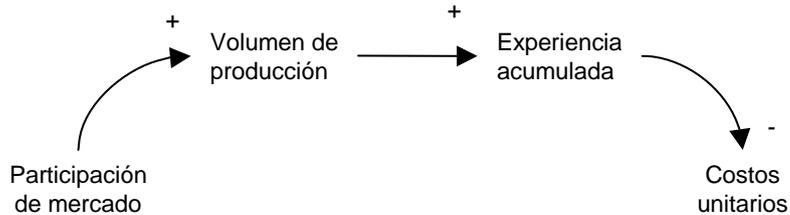
**Regla 7:** adaptamos el nivel de agregación a conveniencia de los lectores

La dinámica de sistemas opera con agregados: en general, no miramos los individuos, sino que agregados de ellos. Pero no siempre es obvio cuanto hay que agregar: ¿hablemos de mercado, de clientes, de segmento de clientes, de grupo de compradores? Un diagrama más agregado tiene menos elementos y será más fácil de leer. Pero puede ser tan resumido que el lector ya no puede seguir la argumentación sugerida. Por lo tanto, un indicador de exagerada agregación es la confusión o duda que algún lector de un diagrama pueda manifestar:

Si un modelo es muy críptico para su audiencia:



entonces haga explícito los conceptos intermedios:



*Ilustración 41: desagregar cuando algo no es evidente*

### Regla 8: buscamos una cantidad de detalles de 7+-2

Los seres humanos no logran percibir mucho más que 7 ítems presentados en su campo visual. Lo que excede los 9 ítems es más difícil de leer, de comprender y de recordar. Por lo tanto, cuando tenemos muchas variables y/o muchos bucles en un modelo, es preferible presentar una serie de submodelos con un número reducido de elementos.

### Regla 9: explicitamos las metas de los bucles negativos

Hemos visto más arriba que un bucle de retroalimentación negativa hace que el sistema se aproxime asintóticamente a un valor que actúa entonces como una meta, sea esta meta explícita o no. Por ejemplo, comemos porque nuestro organismo busca mantener estable un determinado grado de azúcar en la sangre; podemos vivir felices sin saber esto, pero para el organismo hay una meta. Si esto es así, entonces aportamos información pertinente al hacer explícito cuál es esta meta en nuestros diagramas.

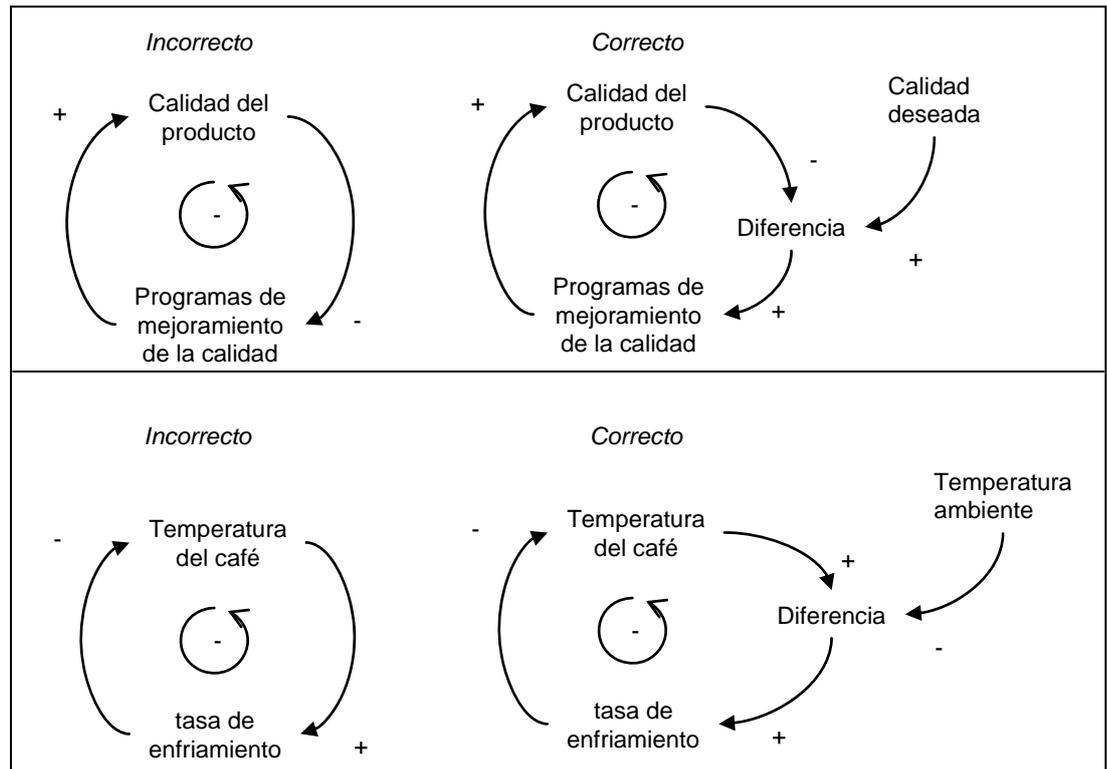
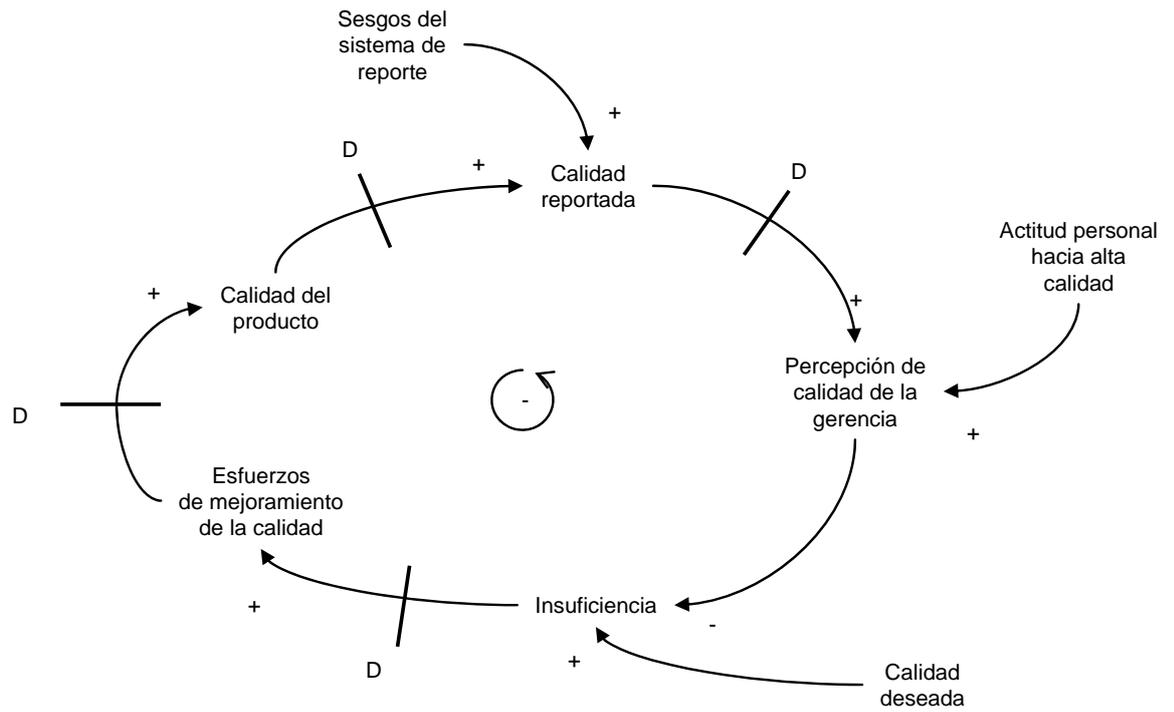


Ilustración 42: explicitar las variables de referencia de los bucles negativos

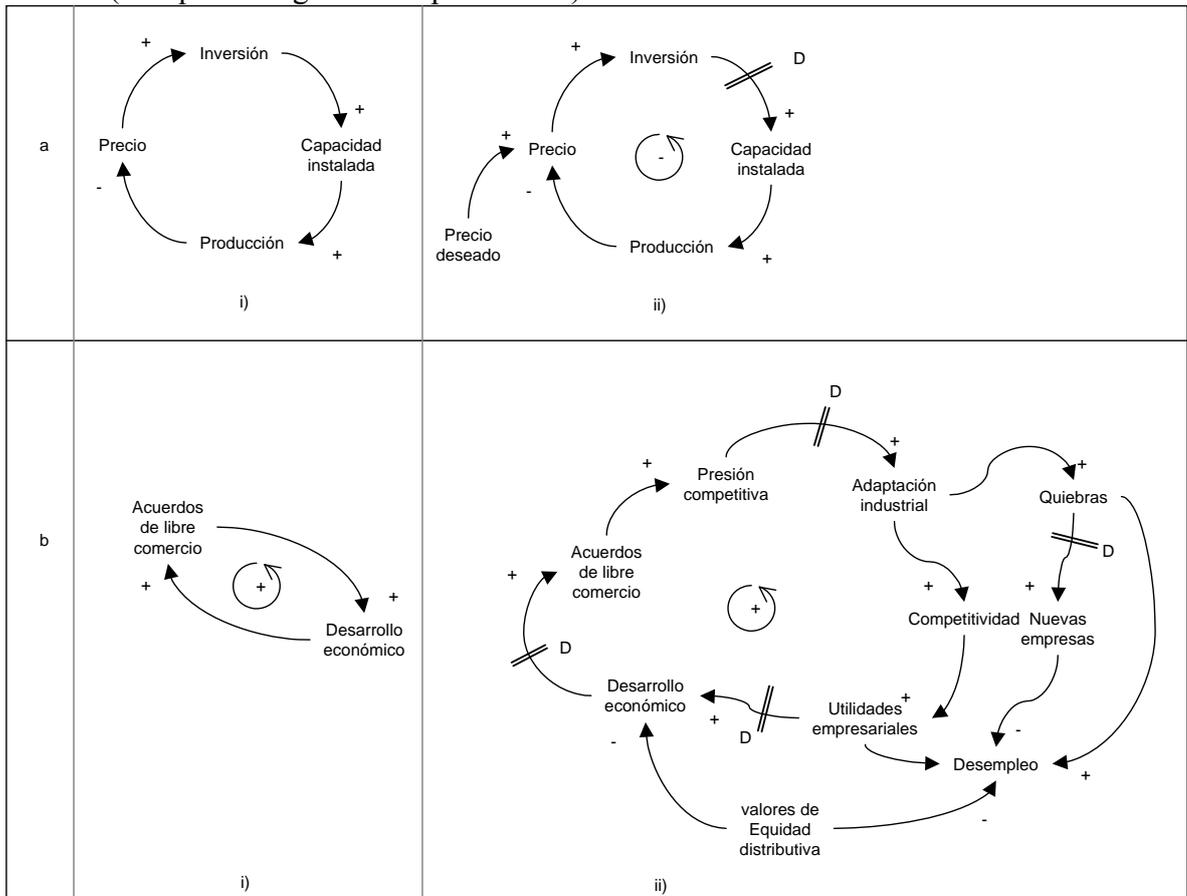
### Regla 10: distinguimos entre las condiciones reales y su percepción

El mundo y los sistemas de la sociedad humana funcionan constantemente; sus comportamientos son "suaves"; por ejemplo, una empresa de comercio electrónico realiza transacciones de venta todo el tiempo, cada minuto o segundo. Sin embargo, el sistema de aprovisionamiento no necesariamente percibe estas ventas minuto por minuto, sino que hace un balance de movimientos al final de cada día. Y el responsable de compras manda un informe a su gerencia al final de cada día. Y el gerente general ve las cifras de fin de mes. Entonces entre la venta X y su percepción por alguna función en esta empresa, puede pasar más o menos tiempo. Entonces hacer como si las decisiones de estas funciones fueran basadas en los valores actuales ("reales") es, a lo menos, una falsedad; si sabemos que se basan en alguna percepción de lo actual, entonces es mejor que lo expresamos explícitamente en nuestro modelo.



*Ilustración 43: distinguir entre los valores reales y los percibidos*

Ejercicio 3-12: Compare los siguientes DBC. ¿Cuál es preferible y por qué? (indique las reglas correspondientes).



(Solución al final del capítulo)

Ejercicio 3-13: Para cada uno de los textos siguientes, elabore un DBC.

- a) Cuando la temperatura promedio de la atmósfera aumenta, se reduce la superficie de los hielos (árticos, antárticos, glaciales). La superficie de hielos refleja más energía solar que las otras superficies; por lo tanto, cuando se reduce esta superficie, también se reduce la cantidad de radiación solar que la Tierra refleja al espacio. La cantidad de energía reflejada es proporcional con el calor reflejado; por lo tanto, cuando se refleja menos, hay más calor que no se refleja al espacio (que queda en la Tierra, o sea, su atmósfera).
- b) Debido a la presión de la ciudadanía frente al aumento de la delincuencia denunciada (los casos denunciados), se duplicó el cuerpo policial. Con el tiempo, han aumentado los arrestos y se han congestionado las cortes de justicia: ya que cada proceso tiene una duración promedio constante, cuando aumenta la cantidad de casos, aumenta el tiempo necesario para procesarlos. Para hacer algo contra la congestión, muchos jueces han empezado a acordar soluciones especiales con los acusados: si confiesan con rapidez (si “colaboran con la justicia”), entonces se aplica una pena muy liviana. (Esto, se dice, tiene la ventaja adicional de no congestionar tanto a las cárceles.) Sin embargo, del punto de vista de los delincuentes, ello baja el precio del crimen, ya que en caso de ser procesado, la sentencia es muy baja. Como consecuencia de ello, al poco andar la medida, se observa un aumento adicional en la delincuencia, y nuevamente surgen los reclamos de la ciudadanía...

*(Solución al final del capítulo)*

## Haciendo el punto

### Resumen

Los eventos tienen causas que podemos identificar

La causalidad tiene una dirección y una polaridad

La polaridad positiva denota un cambio del mismo signo

La polaridad negativa denota un cambio de signo inverso

Cuando un evento de cambio vuelve a su variable de origen, hay un bucle de retroalimentación.

Los bucles tienen una polaridad, positiva o negativa.

### Bibliografía

Forrester, J. 1971. **World Dynamics**, Whright-Allen Press.

Hume, D. 1984 **Investigación sobre el conocimiento humano**, Alianza Editorial, Madrid.

Meadows, D., Randers J. y Meadows, D. 2002. **Limits to growth – the 30 years update**, Chelsea Green Publishing.

Richardson, 1991 **Feedback thinking in the social sciences**, Pegasus Communications

Schaffernicht, M. y Madariaga, P. Para un pensamiento causal dinámico: hacia una perspectiva educativa, *Estudios Pedagógicos* **23**(1), p. 129-149.

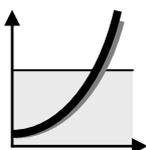
Schaffernicht, M. "Causality and diagrams for system dynamics", *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society*, Boston, USA., July 2007.

Senge, P. **La quinta disciplina**, Granica, 1990.

Senge, P., Ross, R., Smith B., Roberts, Ch. y Kleiner, A. **La quinta disciplina en la práctica**, Granica, 1995.

Senge, P., Kleiner, A., Roberts, Ch., Ross R., Roth, G. y Smith B. **La danza del cambio**, Norma, 2000.

Sterman, 2000 **Business dynamics: systems thinking and modelling for a complex world**, John Wiley.



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

¿Qué es "retroalimentación negativa"; describa cómo es su estructura y cómo es su conducta?

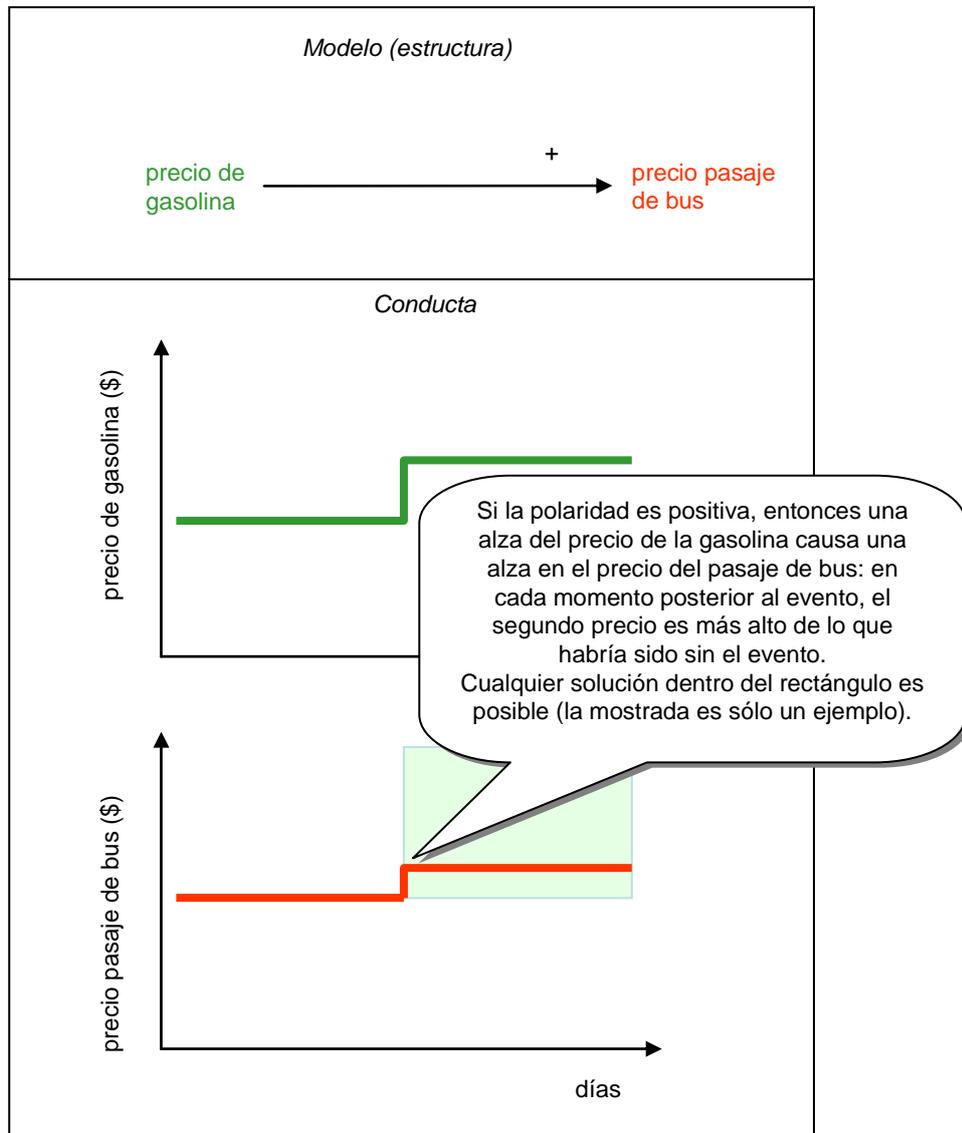
¿Qué es "retroalimentación positiva"; describa cómo es su estructura y cómo es su conducta?

¿Qué es una demora y por qué importa tomar este concepto en cuenta?

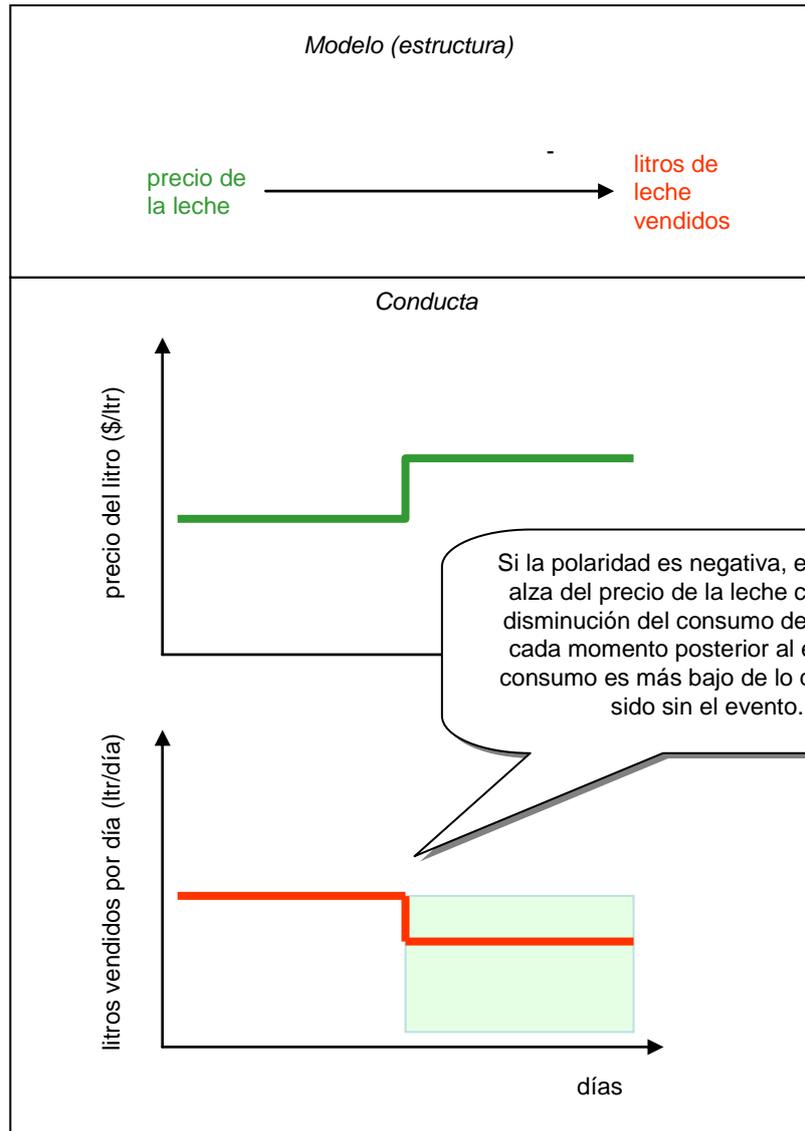
¿Qué es entiende por "estructura genérica"?

## Soluciones de los Ejercicios

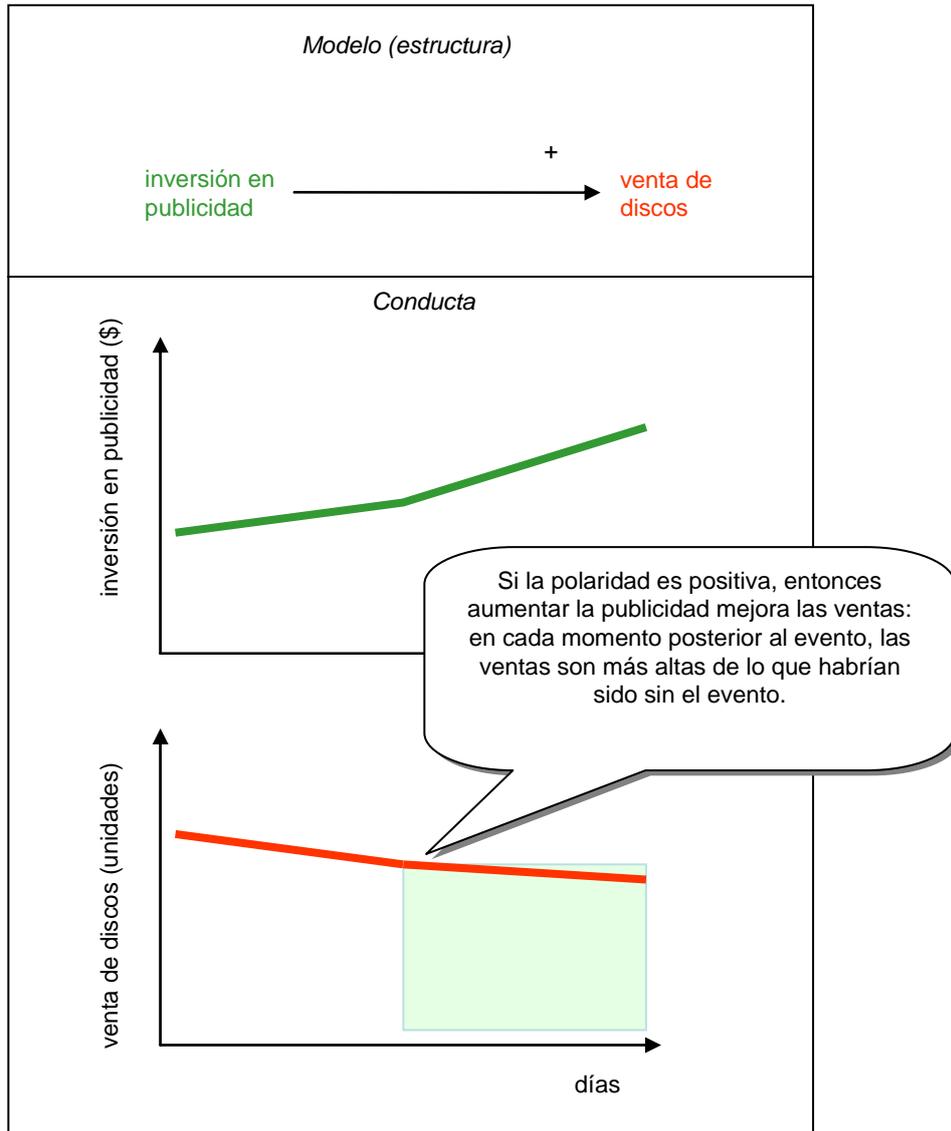
3-1

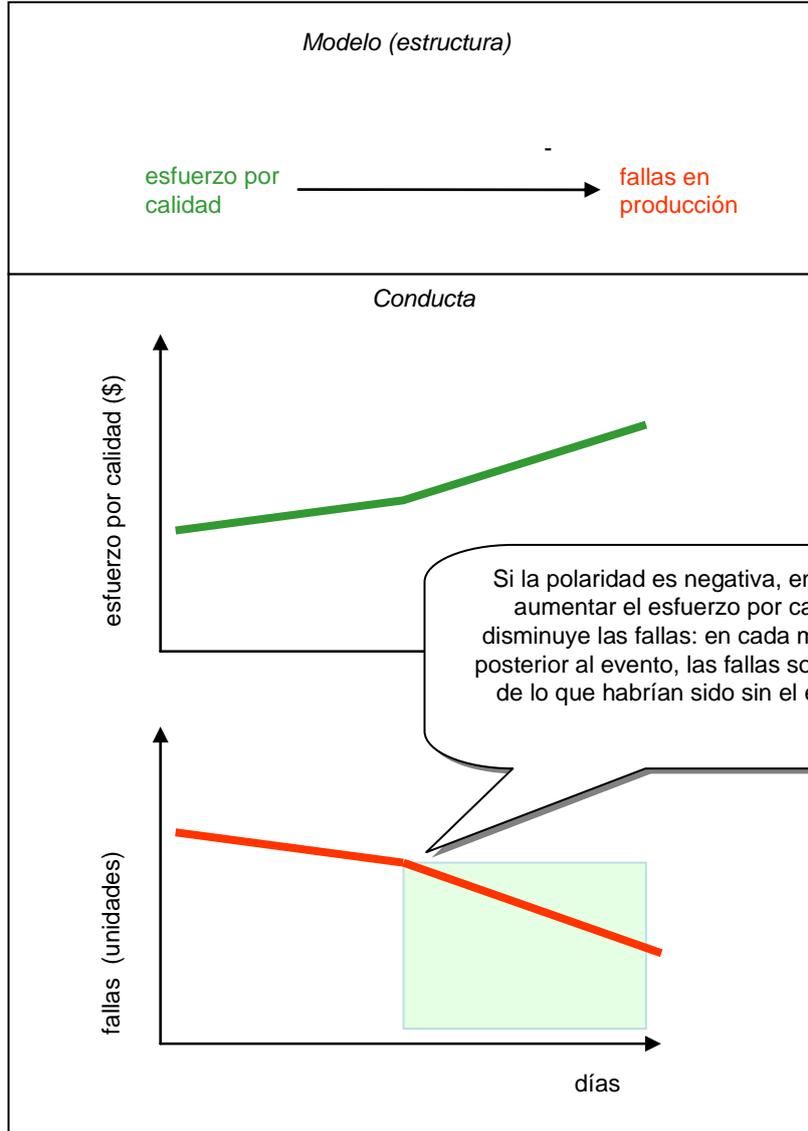


3-2

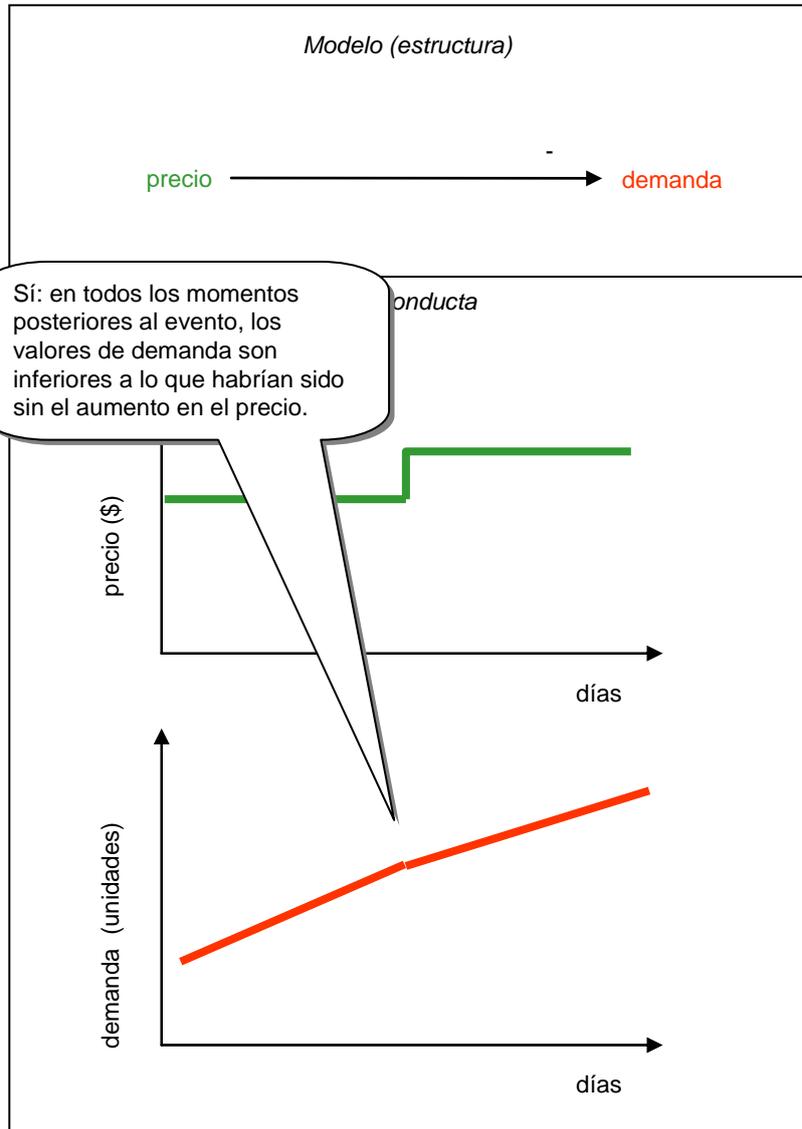


3-3





3-5:

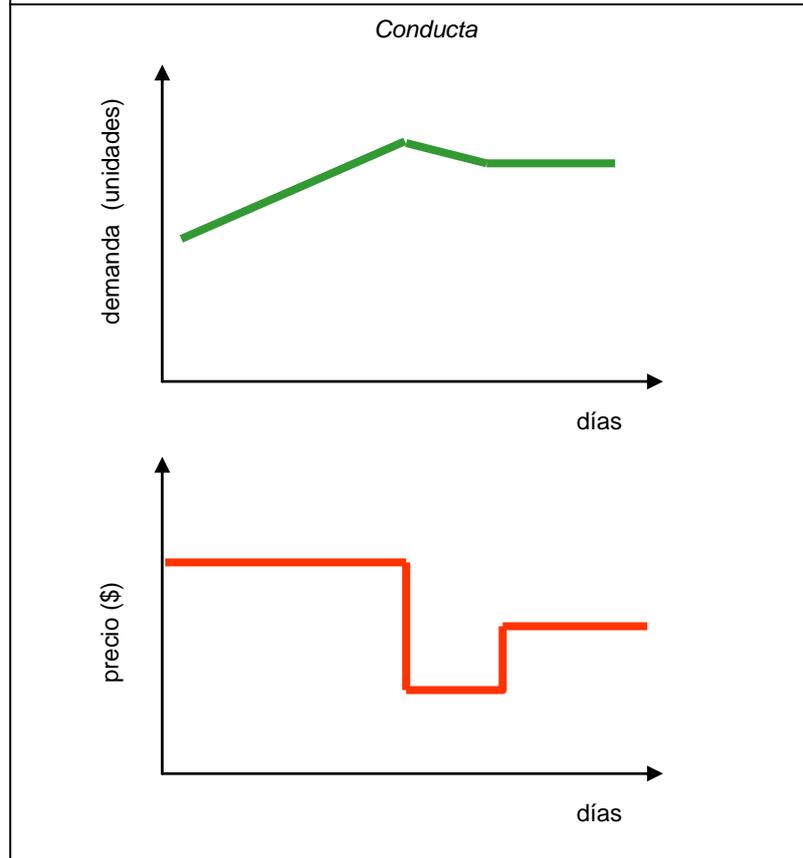


Sí, la polaridad es negativa, ya que en todos los momentos posteriores al evento, los valores de demanda son inferiores a lo que habrían sido sin el aumento en el precio. Antes del evento, la demanda estaba en aumento, debido a causas diferentes al precio (lo que es perfectamente posible); pero el aumento del precio causó que el aumento de la demanda se frene.

3-6

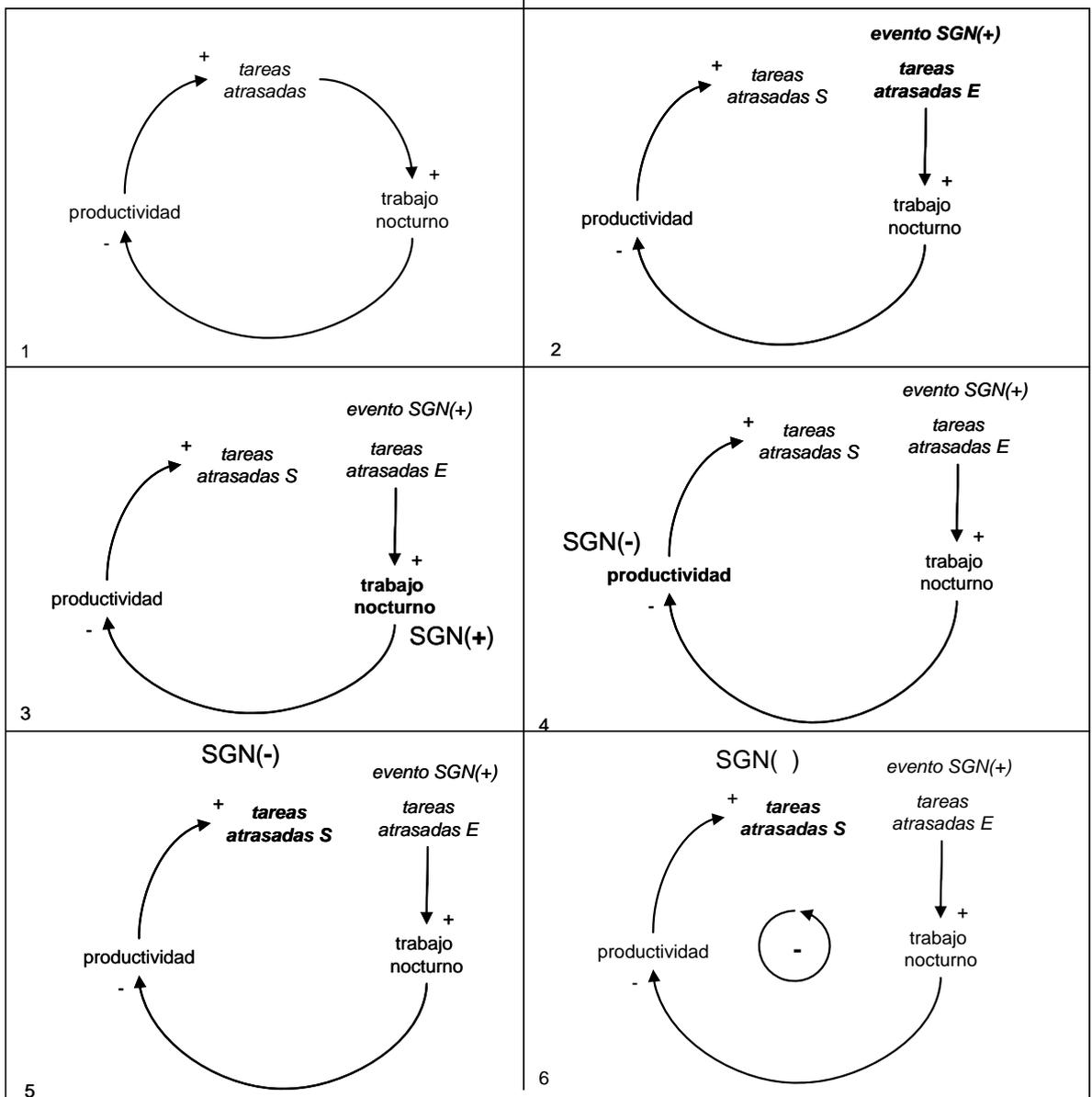
Polaridad positiva: cuando la demanda deja de comportarse de la manera como se comportó antes, y empieza a bajar, el precio baja también. Luego, cuando la demanda vuelve a crecer, el precio también toma un nivel superior.

demanda → + precio

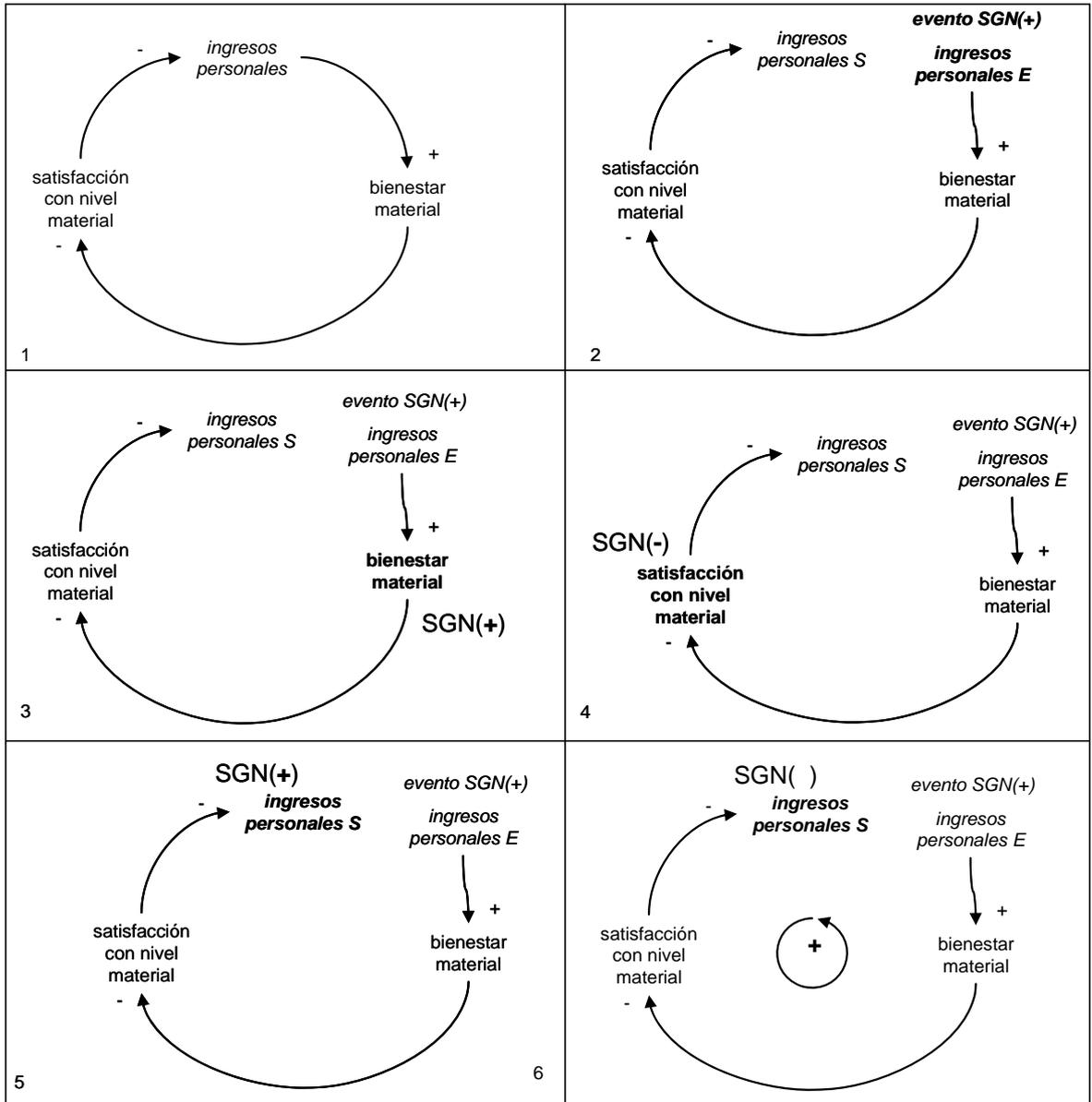


Cuando la demanda deja de comportarse de la manera como se comportó antes, y empieza a bajar, el precio baja también. Luego, cuando la demanda vuelve a crecer, el precio también toma un nivel superior. Este ejemplo muestra claramente que mirar *un* vínculo causal no excluye la existencia de *otros*. Debemos cuidarnos de caer en la trampa de la simplificación frecuente acerca de lo que significa el vínculo causal: no significa simplemente que “un cambio en A causa un cambio en B” porque muchas veces se interpreta como “un cambio en (el valor de) A causa un cambio en (el valor de) B”; lo correcto es que “un cambio en (la conducta de) A causa un cambio en (la conducta de) B”.

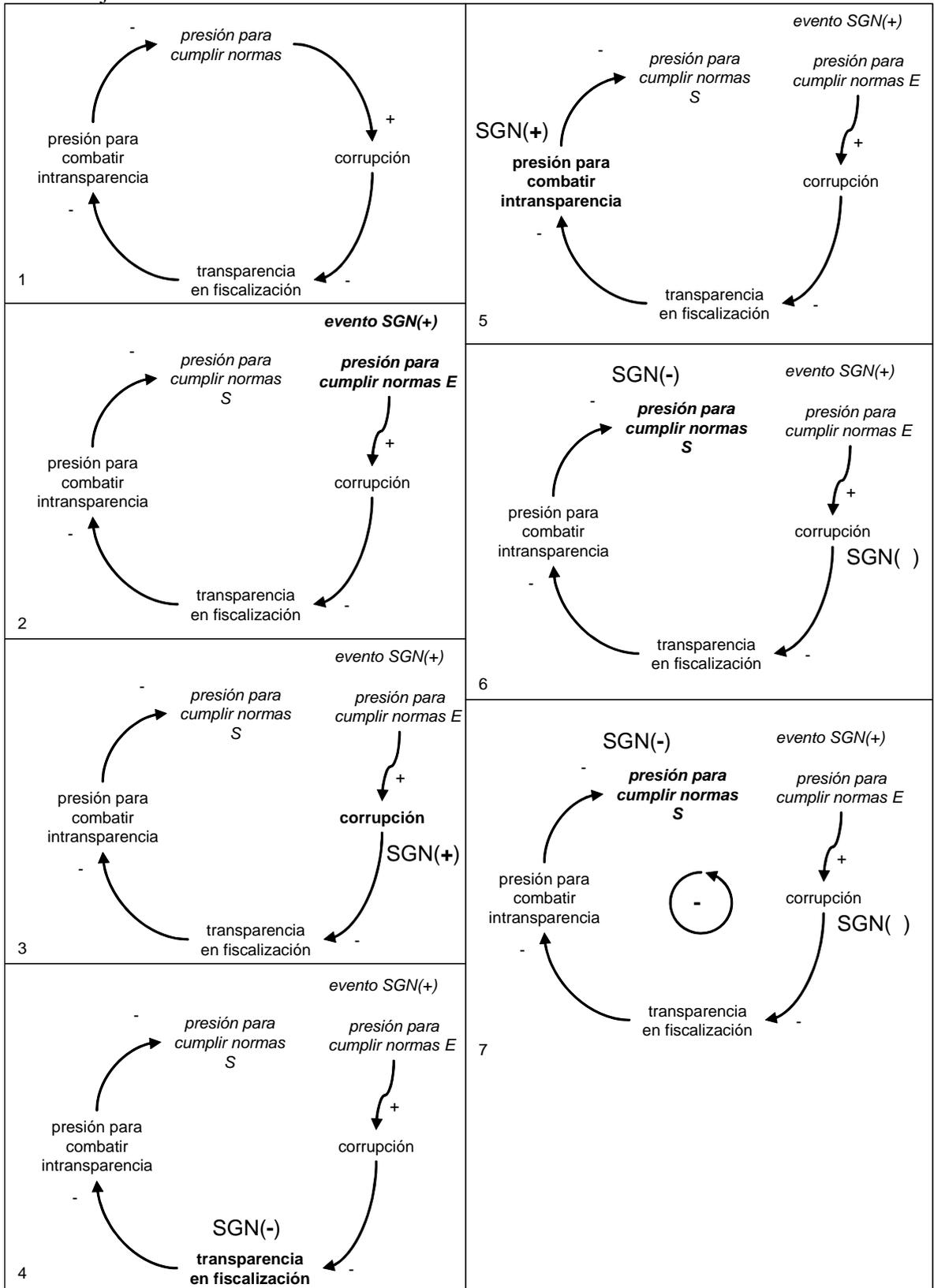
Ejercicio 3-7



### Ejercicio 3-8

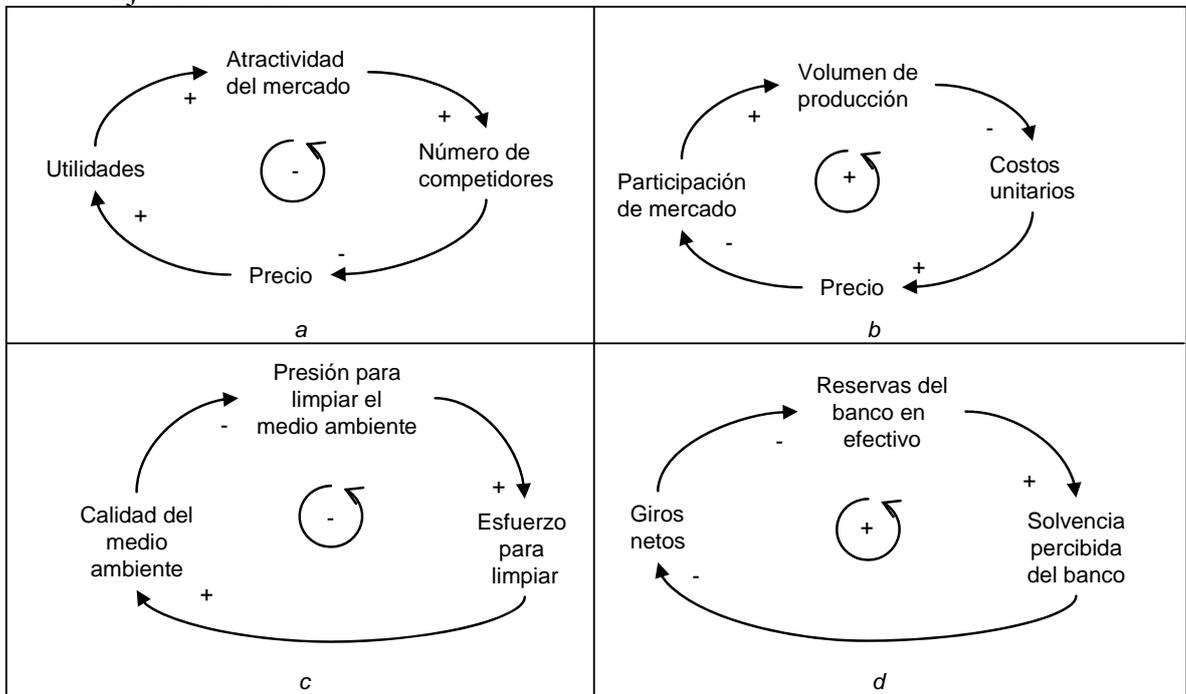


Ejercicio 3-9

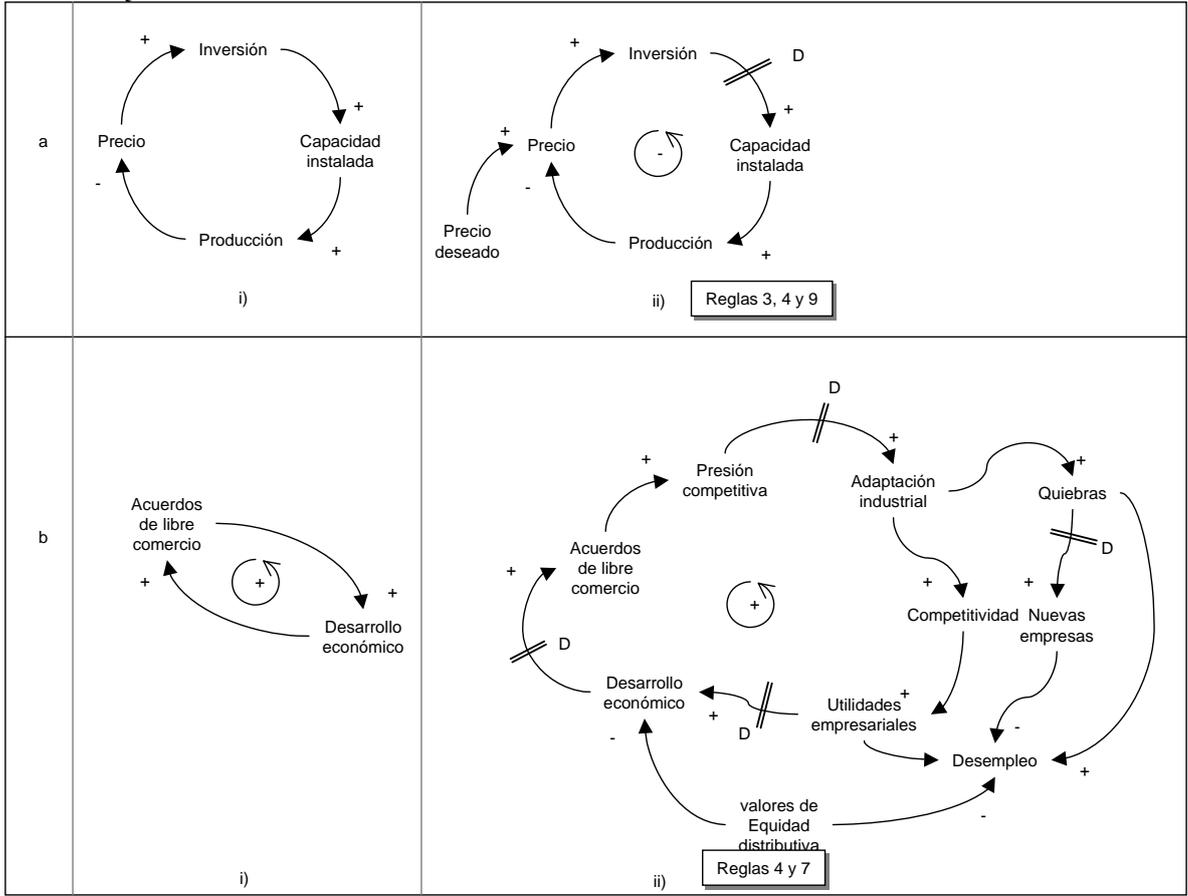


Ejercicio 3-10: La argumentación frente a esta afirmación puede partir recordando que la influencia no es sobre los valores, sino que sobre el comportamiento, es decir, la manera como evolucionan los valores. Segundo punto: la postulación de “nacimientos  $\rightarrow$  POBLACIÓN” no incluye la negación de otros vínculos causales que influyan la POBLACIÓN. Entonces del primer punto deducimos que cuando bajan los nacimientos, los futuros valores de POBLACIÓN serán más bajos de lo que habrían sido sin la reducción de los nacimientos. Segundo, evidentemente hay otras variables, por lo menos los “muertos”. Los que mueren disminuyen directamente la POBLACIÓN. Entonces al momento de bajar los nacimientos, simplemente se contrapone menos al efecto reductor de los muertos, por lo cual se cumple efectivamente que nuestra interpretación del vínculo causal es libre de contrasentido, y la afirmación de nuestro crítico es incorrecta.

Ejercicio 3-11:

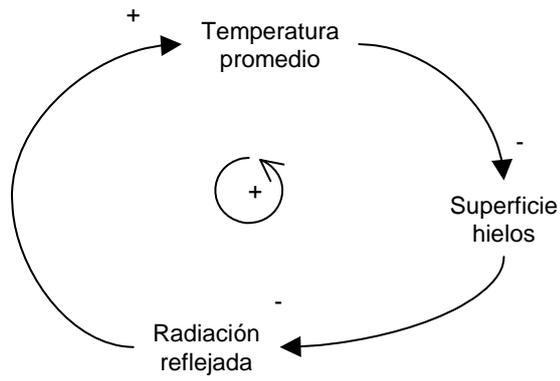


Ejercicio 3-12

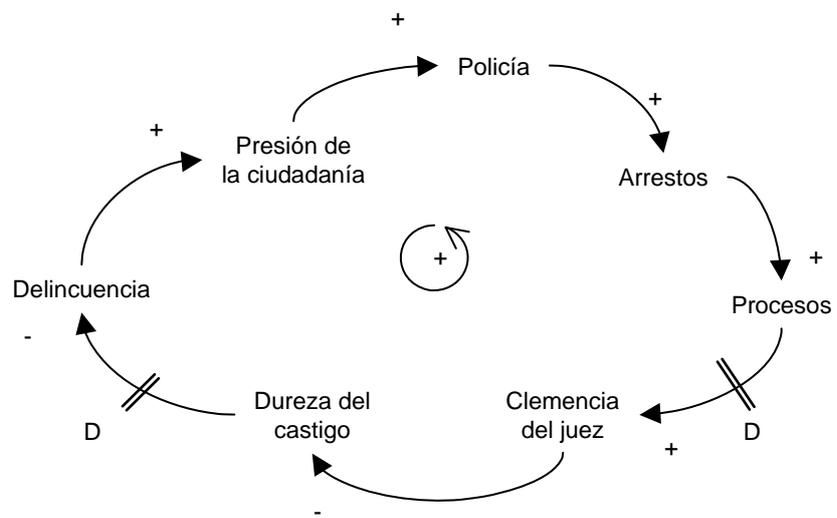


Ejercicio 3-13

a)



b)



## **Conclusión práctica: los criterios para evaluar un modelo**

En el capítulo previo, se definió un primer grupo de criterios para evaluar a un modelo. Ahora podemos agregar un segundo grupo, en relación con los modelos de bucle causal; se añadirán más en los próximos capítulos.

### 2. Modelo conceptual

- a. Variables: deben referirse a algo en el problema o sistema estudiado, de manera explicitada en un documento;
- b. Vínculos causales: deben tener dirección y polaridad y ser plausibles en opinión de los clientes;
- c. Bucles causales: deben ser señalizados con nombre y/o número, indicando su polaridad y ser plausibles en opinión de los clientes;
- d. Demoras: de existir, deben ser señalizadas y ser plausibles en opinión de los clientes.



# 4. Flujos y acumuladores

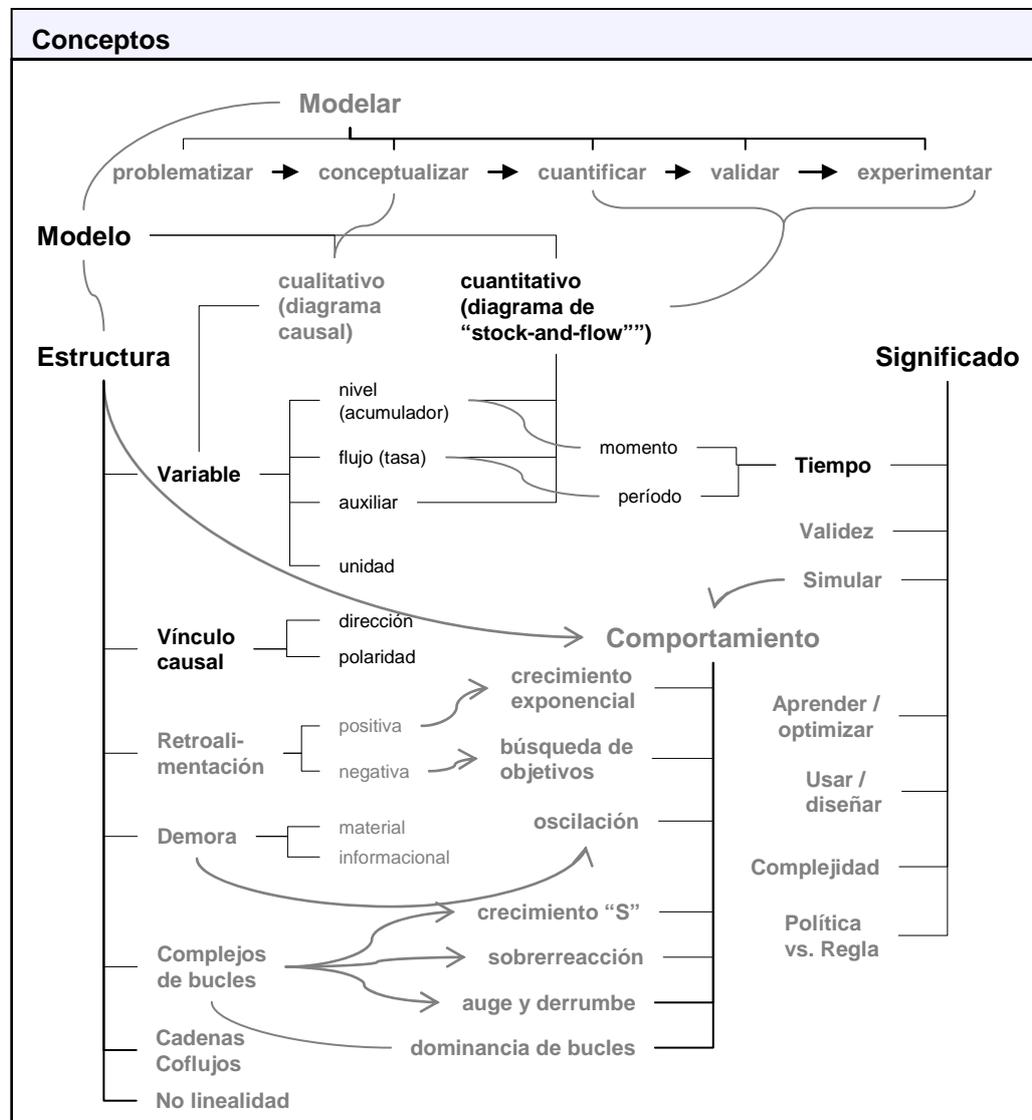
## Sobre este capítulo

### Objetivo

Conocer y saber utilizar el lenguaje de los "diagramas de *flujos* y **acumuladores**" para elaborar un modelo cuantificable de un sistema dinámico.

Comprender la parte conceptual de la simulación, en particular la relación y diferencia entre "**Acumulador**" y "*Flujo*"

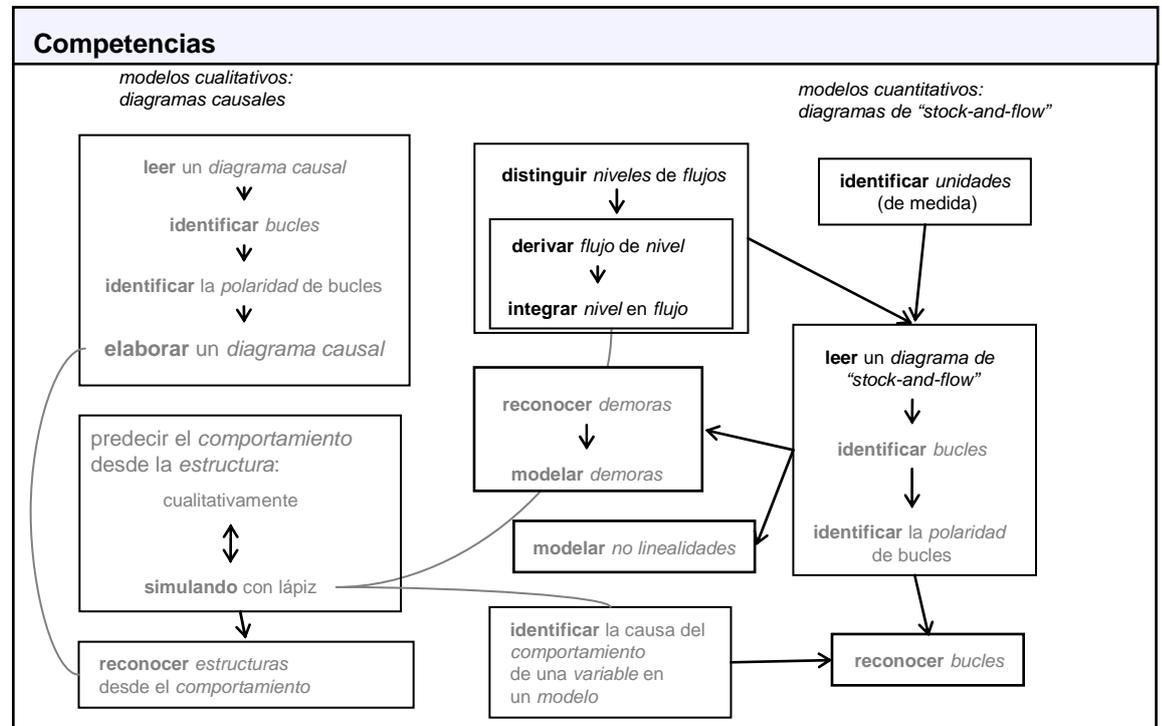
### Conceptos



Un modelo puede ser cuantitativo y representa la estructura de la situación que indagamos. Ésta consiste de variables, que son de diferentes tipos: acumuladores, flujos y auxiliares. Las variables se miden en determinadas

unidades de medida. Entre ellas hay vínculos de causalidad (con dirección y polaridad). Es importante comprender el significado del tiempo. El tiempo se organiza en momentos y periodos. Los acumuladores se refieren a momentos y los flujos se refieren a periodos.

## Competencias



Distinguir "nivel" de "flujo" e identificar unidades de medida es importante para poder leer un diagrama "stock-and-flow", esto es necesario para poder identificar bucles de retroalimentación, que se requiere para identificar su polaridad.

Distinguir **acumulaciones** de *flujos* es importante para poder convertir unos en otros;

- se puede derivar gráficamente el *flujo* neto del comportamiento de un **acumulador**;
- se puede integrar gráficamente el **acumulador** desde el comportamiento de un *flujo*.

Esto es una forma más rigurosa de predecir el comportamiento desde la estructura, en este caso simulando con lápiz.

Esto ayuda reconocer las estructuras desde el comportamiento y preparar para reconocer estructuras genéricas, cuyo conocimiento habilita para transferirlas entre diversas situaciones.

También potencia la capacidad de dar lectura a un diagrama "stock-and-flow", lo que es importante para poder identificar los elementos más detallados de la situación e iniciar el proceso de modelado hacia la simulación.

### Simular

Hasta ahora, hemos elaborado modelos cualitativos: pusimos variables de las cuales sólo conocíamos el nombre (no los valores) y flechas causales con una polaridad. Pudimos visualizar la estructura del sistema modelado de esta manera, y pudimos elaborar ideas acerca del probable comportamiento de las variables del modelo. Pero cuando exploráramos el modelo de simulación, su diagrama fue muy diferente de los diagramas causales. ¿Por qué?

Resulta que sin especificar:

1. los valores iniciales de las variables;
2. las reglas de cálculo para poder transformar los valores iniciales en los valores del periodo siguiente (y así sucesivamente),

no podemos determinar con precisión cómo va a ser el comportamiento (la serie de valores) de las variables que describen nuestro sistema. Esta es la diferencia entre un modelo cualitativo y un modelo cuantitativo: sólo los cuantitativos pueden ser simulados.

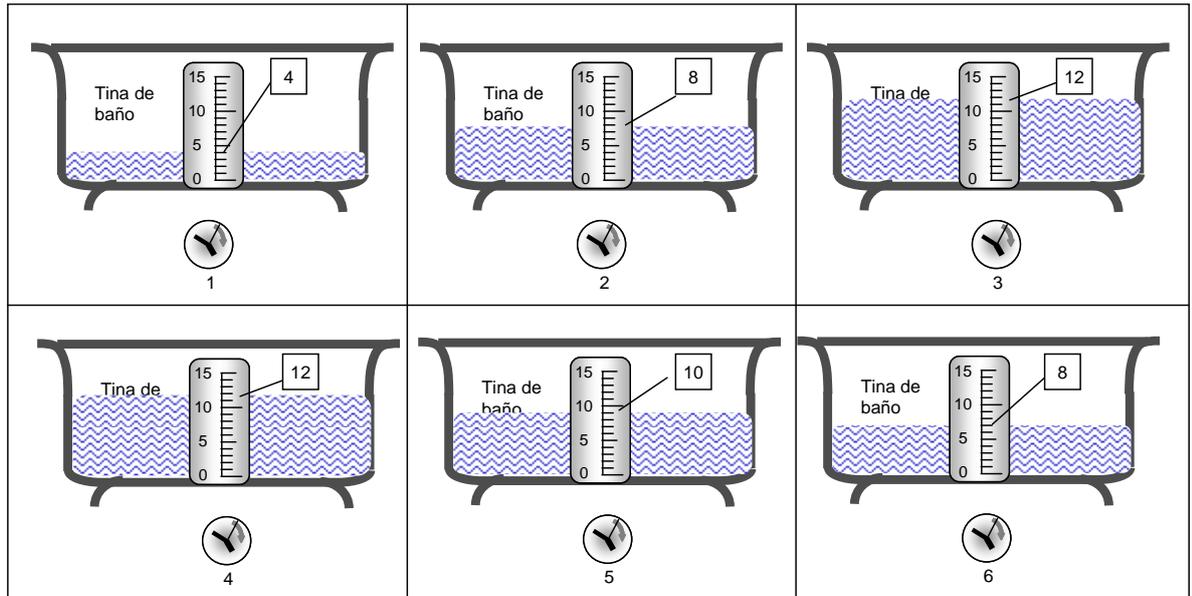
Simular significa determinar y recorrer los valores de cada variable para cada uno de  $p$  periodos.

*¿Por qué nos importaría poder simular?*

La respuesta tiene que ver con la dificultad computacional de convertir un modelo con varios bucles de retroalimentación en un juicio acerca de su comportamiento probable sin hacer estos cálculos paso a paso. Ya con un modelo simple como el de la difusión, que se analizará en el capítulo siguiente, esto es tremendamente difícil. Por esta razón simulamos, y para poder hacerlo, se requiere cuantificar los valores iniciales y las relaciones causales que determinen el comportamiento en el tiempo.

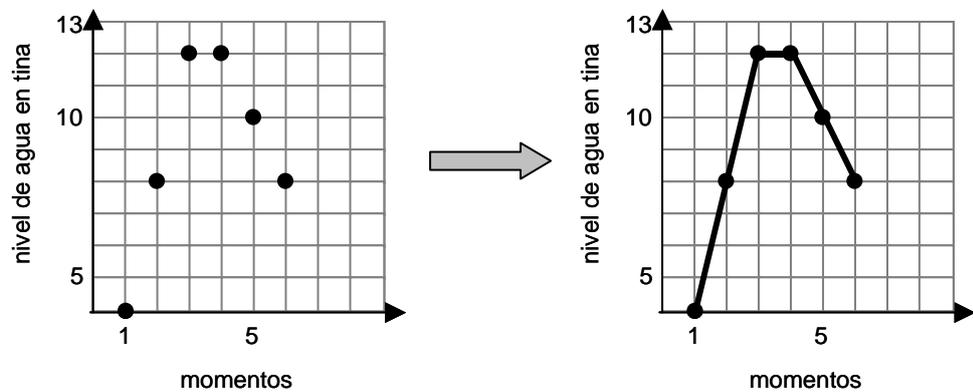
### Componentes de un diagrama "Stock-and-Flow"

Hemos dicho que el mundo funciona constantemente, pero en general nuestros sistemas de percepción no lo hacen. Es decir: si bien las cosas en el mundo cambian con continuidad, nosotros sólo podemos percibir de momento en momento. Por ejemplo, si llenamos una tina de baño con agua caliente, podemos medir el nivel del agua en cada momento:



*Ilustración 44: niveles de agua en la tina de baño.*

Después de unos "ratos" (el tiempo que pasa entre dos momentos), tendríamos una línea bastante suave del comportamiento de la cantidad de agua en la tina. Pero en verdad sólo tenemos los niveles puntuales al final de cada rato, es decir en un momento. No hemos registrado cómo se aumentó la cantidad de agua, pero sí podemos inferir: si en el momento 2 hubo 8 unidades de medida de nivel y en el momento 3 hubo 12, y así sucesivamente. Esta cantidad presente en un determinado momento, la llamamos el "nivel" de agua en la tina.



*Ilustración 45: desde las mediciones tomadas en determinados momentos, se infiere la conducta del nivel*

Entonces durante el "rato" entre los momentos 2 y 3 se agregaron 4 unidades de medida de agua.

Momentos	Cantidad	Diferencia
1	4	
2	8	4
3	12	4
4	12	0
5	10	-2
6	8	-2

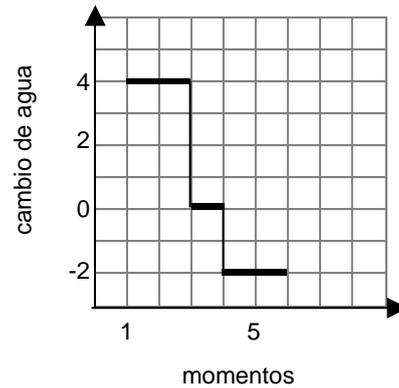


Ilustración 46: desde los niveles, se infieren los cambios

Esto es lo que llamamos un *flujo* neto de 4 unidades de medida. En cambio, la cantidad de agua en la tina de baño es simplemente lo que se ha ido acumulando entre la entrada y la salida; por ello, los objetos como la tina de baño tienen el nombre de **acumulador**. No siempre hay un solo flujo. En el caso de la tina, podemos sacar el tapón:

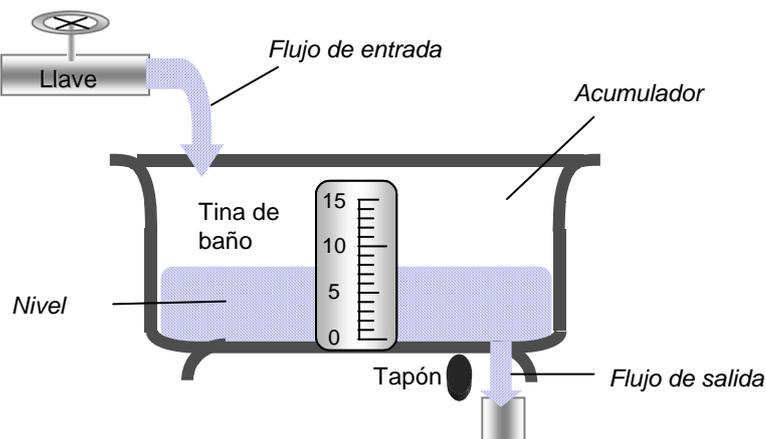


Ilustración 47: la tina como un sistema dinámico.

Ahora entra y sale agua al mismo tiempo. Uno de estos *flujos* aumenta el nivel de agua en el **acumulador** (lo que podemos medir), el otro lo disminuye. No obstante, la manera como medimos la cantidad de agua en la tina es la misma, e igual como antes, podemos inferir desde la diferencia de **nivel** de agua entre dos momentos la cantidad neta de los *flujos*. Más aún, si no hemos cambiado la posición de la llave de agua (entonces conocemos la cantidad del *flujo* entrante por "rato"), podemos determinar el tamaño del *flujo* de salida (por "rato"): si entra una cantidad que aumenta el **nivel** de 4 (por rato), y observamos que el **nivel** bajó de 2, entonces la cantidad que debe haber salido por el tapón es 6.

Ahora podemos volver a representar lo que pasó con la tina de baño, en una forma más completa.

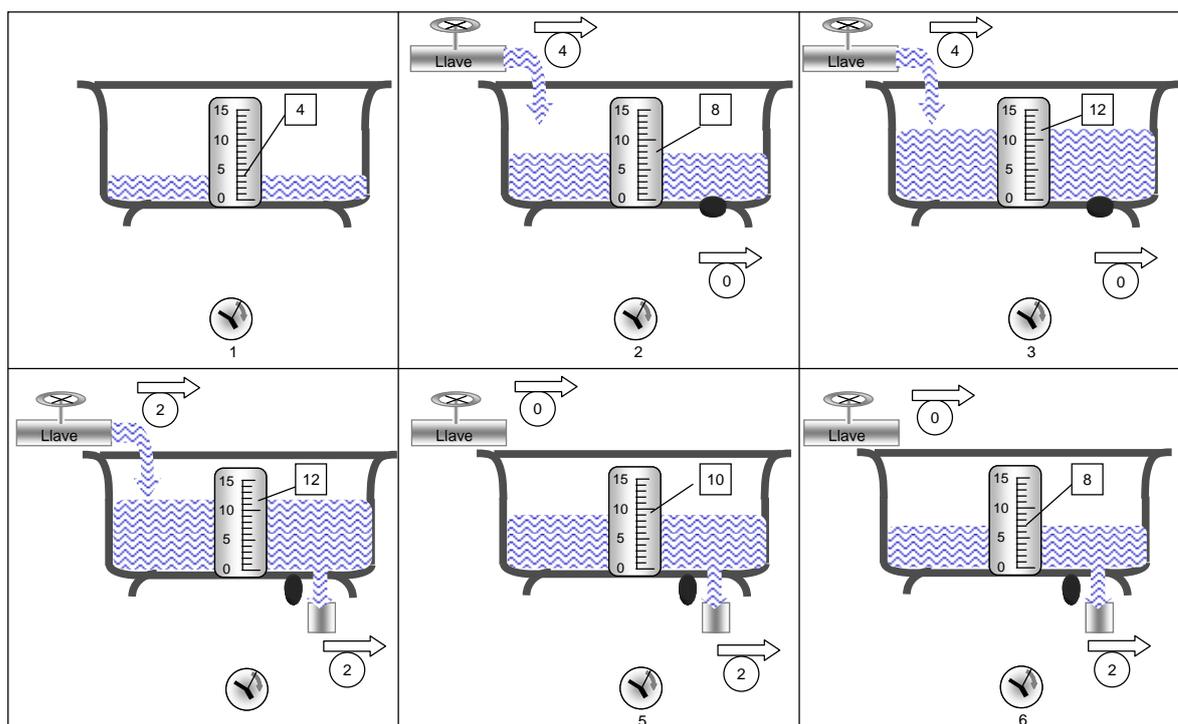


Ilustración 48: flujos y niveles en la historia de la tina, versión con tina

En el inicio, solamente pudimos constatar la cantidad de agua en la tina, es decir el **nivel** del acumulador “tina”. Está claro que antes del “inicio”, algo debe haber pasado, ya que de alguna manera el agua presente debe haber llegado allí. En este sentido, un acumulador siempre revela – en el presente – los efectos cumulativos de todo su pasado.

En los demás periodos, fluye agua: a veces entra algo y no sale nada (2 y 3), a veces entra y sale algo al mismo tiempo (4; en este periodo, es interesante calcular el *flujo neto*), y otras veces solamente sale agua (5 y 6).

Resulta que en la tina “real”, la única manera de cambiar al **nivel** es a través de los *flujos*. Piénselo: ¿cómo podría hacer que haya más o menos agua? Agregando (*flujo* de entrada) o quitando (*flujo* de salida): es decir, cambiar un nivel es un flujo. Y gestionar la tina es tomar decisiones acerca de la llave y del tapón (los *flujos*) en base de la información disponible sobre el **nivel** (y sus cambios en el tiempo). En el ejemplo de la tina, podemos sacar el tapón; entonces al mismo tiempo entra agua por la llave y sale agua. Es posible que el *flujo* entrante sea diferente al *flujo* de salida: entra más de lo que sale o al contrario. Si entra más de lo que sale, ¿qué pasa con el **nivel**? Aumenta. Y si sale más de lo que entra, entonces baja el **nivel**. El **acumulador** actúa entonces como un depósito temporal entre dos flujos de diferente cantidad. A esto debe su nombre.

Esto nos da la posibilidad de crear y manipular una tina “virtual”. Una vez que hemos cuantificado los *flujos* (cantidad/rato), podemos calcular el **nivel**

del agua en la tina (**acumulador**) para cualquier momento: si el *flujo* neto es de -2, y en el momento 6 hay un **nivel** de 8, entonces ¿en qué momento queda vacía la tina (nivel 0)? Correcto, es el momento 10.

Esto es simular. Para hacerlo, nos servimos de un modelo – una representación de algunos aspectos relevantes del sistema “real”. En este recuento hemos mencionado dos tipos de variables: el **acumulador** (donde se mide el nivel o la altura del agua), que refleja la cantidad de agua o el nivel del agua en la tina, y lo hemos representado con un rectángulo. El otro concepto importante era el *flujo* neto de agua que entró y salió de la tina, representado por una flecha con un oval (que imita una “válvula”).

Si enfocamos nuestra mente en la naturaleza de los componentes del cuento de la tina, podemos eliminar la imagen de la tina y nos queda un diagrama con solamente *flujos* y **niveles**:

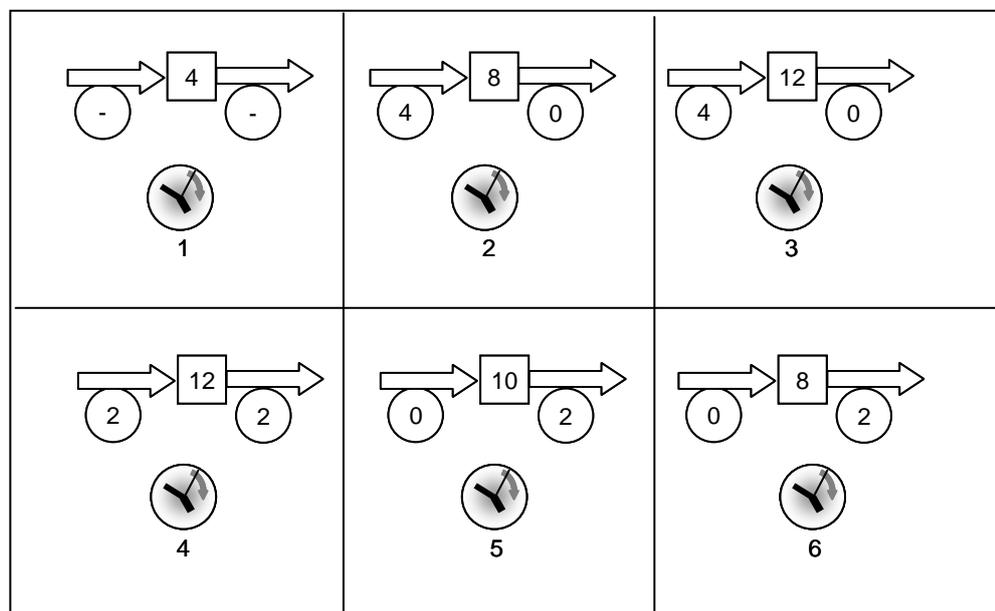


Ilustración 49: flujos y niveles en la historia de la tina, versión sin tina

En cada uno de los momentos contemplados, *hubo* un *flujo* de entrada y otro de salida (a veces son nulos, pero el hecho de tener un *flujo* nulo no significa que no exista el dispositivo físico para el *flujo*, como por ejemplo la llave de agua). También hubo un determinado **nivel** de agua dentro del **acumulador** en cada momento.

Tanto **nivel** como **acumulador** son una traducción del término inglés “stock”, que se usa para hablar de bodegas, pero también de las existencias. Por ejemplo, el ganado se llama “livestock”, cuando un objeto no se encuentra en bodega se dice “out-of-stock” y los títulos de propiedad que son las acciones, se transan en el “stock exchange” (bolsa).

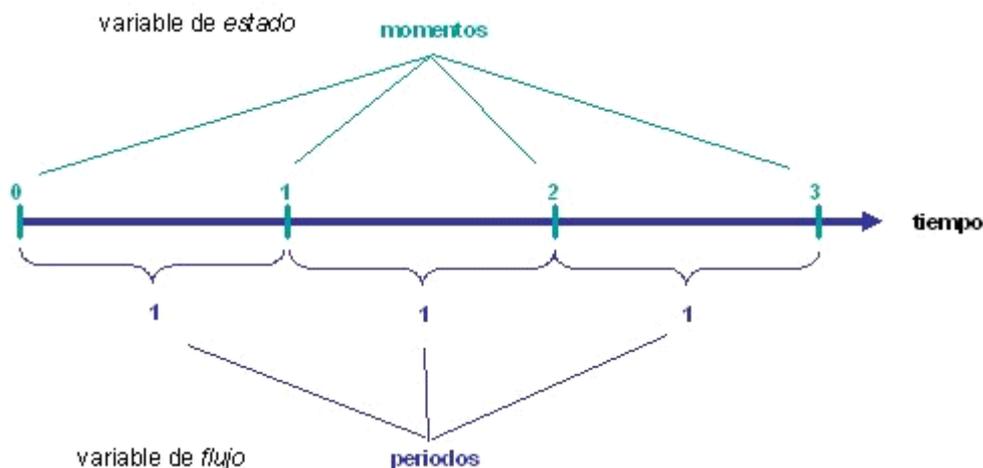
Y de ahora en adelante, tenemos la posibilidad de cambiar la tina, la llave y el tapón por otras cosas concretas que, vistas de esta manera particular,

también son *flujos* y **niveles**. Podemos mencionar el ejemplo de una cuenta en el banco, o la energía que “importamos” cuando comemos.



Imagine 4 ejemplos de situaciones de su conocimiento que pueden ser descritas en términos de *flujos* y **niveles**.

Es posible que el lector atento ya haya remarcado una diferencia entre *flujo* y **nivel** en cuanto a su relación con el tiempo. Cuando se presentó el ejemplo de la tina (Ilustración 44, p.108), apareció solamente la cantidad medida en tal o tal momento; un momento no tiene extensión en el tiempo, es “ahora”. Los **acumuladores** se refieren a un momento particular en el tiempo. Luego vimos como se puede inferir y/o decidir la magnitud del *flujo* que cambiará el **nivel** entre un momento y otro. Para pensar en *flujos*, requerimos dos momentos y el periodo de tiempo que pasa entre ellos: los *flujos* se refieren a los periodos o intervalos entre los momentos. También decimos que los **niveles** son variables de estado (el estado de tal o cual variable en este momento) y los *flujos* son variables de flujo.



*Ilustración 50: los acumuladores se refieren a un momento, los flujos a un periodo*

Ahora hemos conocido dos tipos de variable muy diferente, las más importantes de sus características propias y una aproximación a los símbolos que se usan en “dinámica de sistemas” para representarlos. Ahora podemos introducir estos símbolos con un poco más de precisión. En dinámica de sistemas, usamos los siguientes símbolos:

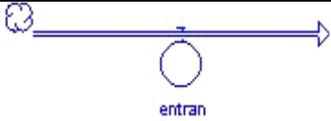
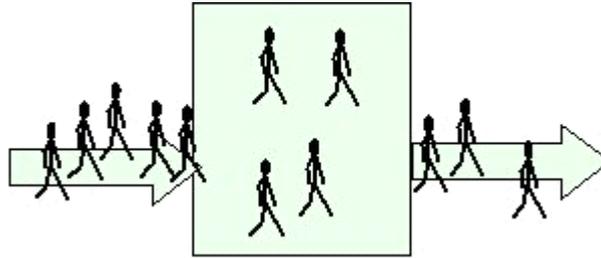
Nombre	Símbolo	Significado
Acumulador (stock)		Son los contenedores de cantidades de algo, de lo cual sabemos la unidad de medida. Son pasivos: reciben lo que entra y dejan salir lo que sale. Su función es ser repositorio temporal entre el momento de entrada y el momento de salida.
Flujo (flow)		Son lo que hace cambiar los niveles. Son de la misma unidad de medida que los niveles que afectan, pero por periodo.
Convertidor/Auxiliar		Un convertidor es una entidad "auxiliar" cuya única función es convertir información entrante en nueva información. Sirve para hacer visible los diferentes pasos de transformación de información en la toma de decisiones. El efecto de hacer estos pasos explícitos en el diagrama es que se pueden discutir abiertamente y además cada una de las fórmulas queda simple.
Flujo de información		Un flujo de información permite a una variable de flujo o un convertidor "ver" la información acerca de la cantidad actual de alguna otra variable (nivel, flujo físico o convertidor)
Fuente/destino		La "nube" es el lugar de donde las "cosas" entran al sistema y adonde van cuando salen de él. Esto es necesario para la "conservación de la materia": nosotros siempre nos interesamos en alguna parte particular del universo, dejando afuera el resto. Pero las "cosas" como agua, personas, dinero no aparecen por magia desde la nada en nuestro modelo, vienen de "alguna parte". E, igualmente, van a "alguna parte". De dónde vienen, adónde van, no nos interesa, pero admitimos que vienen de alguna parte y van a alguna parte.

Tabla 4: símbolos para diagramas de acumulador y flujo

Con estos símbolos, se pueden elaborar diagramas de "stock-and-flow". Lamentablemente, la literatura en español ha tendido a llamar a estos diagramas "diagrama de Forrester"; esto rinde honor a la persona quien desarrolló la dinámica de sistemas, pero no dice mucho sobre los diagramas. Decir "acumulador-y-flujo" sería una alternativa, pero nosotros entrenaremos nuestro inglés al hacer uso del término original.

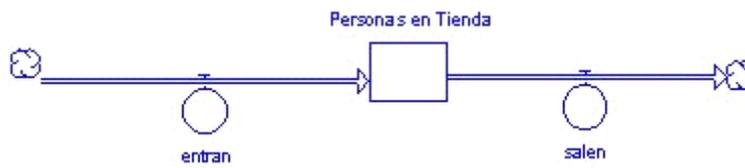
Tomemos como ejemplo el experimento inicial de las personas que entran en una tienda y salen de ella. Recordemos que estuvimos observando una tienda durante unos 30 minutos para ver cuántas personas entran, salen y se

detienen en la tienda. Dos de estos minutos podrían haber sido los siguientes:



*Ilustración 51: dos flujos de personas cambian la acumulación en una tienda (a)*

Esto se representa como el siguiente modelo:



*Ilustración 52: dos flujos de personas cambian la acumulación en una tienda (b)*

Equivale al siguiente diagrama de influencia:



*Ilustración 53: dos flujos de personas cambian la acumulación en una tienda (c)*

Las diferencias entre los diagramas causales y los de "stock-and-flow" son pocas, pero importantes:

Elemento	Diagrama causal	Diagrama de "stock-and-flow"
<i>variable</i>	alguna cosa que se puede identificar mediante un sustantivo	alguna cosa cuya cantidad se puede medir o imaginar en algún momento ( <b>acumulador</b> ); un cambio en la cantidad de un nivel durante un periodo ( <i>flujo</i> )
<i>tipo de conocimiento acerca de la variable</i>	creemos que representa algo en el sistema "real" que nos preocupa y podemos tener una opinión acerca de si crece o decrece en el tiempo.	<b>acumulador</b> : estamos en condiciones de especificar su unidad de medida, la cantidad inicial y una ecuación diferencial que represente la influencia de los flujos (entradas y salidas). En nuestro ejemplo: $Personas\_en\_Tienda(t) = Personas\_en\_Tienda(t-dt) + entran(dt) - salen(dt)$ . (Ver explicación abajo); <i>flujo</i> : estamos en condiciones de especificar su unidad de medida (por periodo) y una fórmula que explica la cantidad que tomara para cada periodo. En nuestro ejemplo son simplemente constantes.
<i>flecha</i>	creemos que hay una influencia causal de determinada polaridad entre las dos variables conectadas por la flecha.	en el caso de los flujos físicos, ya se ha definido lo que son. los flujos de información permiten a una variable de flujo o un convertidor "percibir" el contenido informativo de un nivel, un convertidor o un flujo.
<i>simulable</i>	no	sí

Tabla 5: comparación entre tipos de diagramas

El "dt" en la ecuación representa la extensión del periodo que pasa entre dos momentos. Viene de "delta tiempo" y corresponde al intervalo de tiempo para el cual el motor de simulación resuelve las ecuaciones.

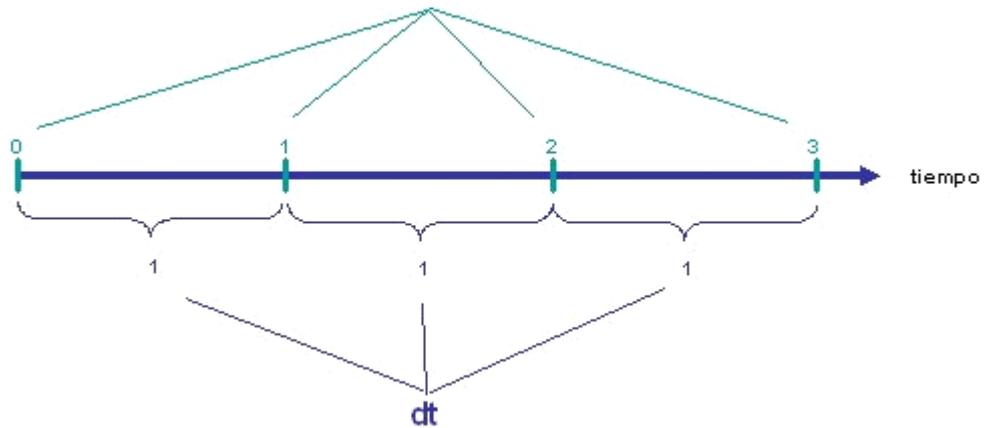


Ilustración 54: el "dt" es el intervalo de solución para la simulación.

## La interpretación matemática de *niveles* y *flujos*

Hasta este momento, se ha dicho algo sobre las características de los **niveles** y de los *flujos*, pero no sobre sus combinaciones y su comportamiento. Ahora nos dedicaremos a esta parte.

Cuando vimos el ejemplo de la tina de baño, pudimos inferir la cantidad de los flujos durante los periodos desde el conocimiento del nivel en diferentes momentos. Y cerramos diciendo que desde el conocimiento de los flujos se puede inferir el nivel.



Ilustración 55: la mutua relación causal entre flujos y niveles

¿Por qué es así? Sabemos que son diferentes, porque los niveles se refieren a momentos y los flujos a periodos. Pero deben tener algo en común, sino no podríamos convertir uno en otro. La respuesta tiene que ver con la relación entre momento y periodo: el periodo se puede construir desde dos momentos:  $\text{periodo}(1\_2) = \text{momento}(2) - \text{momento}(1)$ . O bien  $\text{momento}(2) = \text{momento}(1) + \text{periodo}(1\_2)$ .

O sea: podemos integrar un nivel desde un flujo y podemos derivar un flujo desde un nivel. Esto no debería ser una gran sorpresa a estas alturas: ya estamos acostumbrados a que los flujos tienen la "característica" de "por periodo" y los niveles no.

En efecto, el flujo es el cambio de un nivel, del mismo modo que la pendiente de la curva de una función denota el cambio en los valores de la variable: podemos derivar los flujos de los niveles del mismo modo como podemos derivar la pendiente (el cambio de los valores) de una función: hablamos de derivación gráfica.

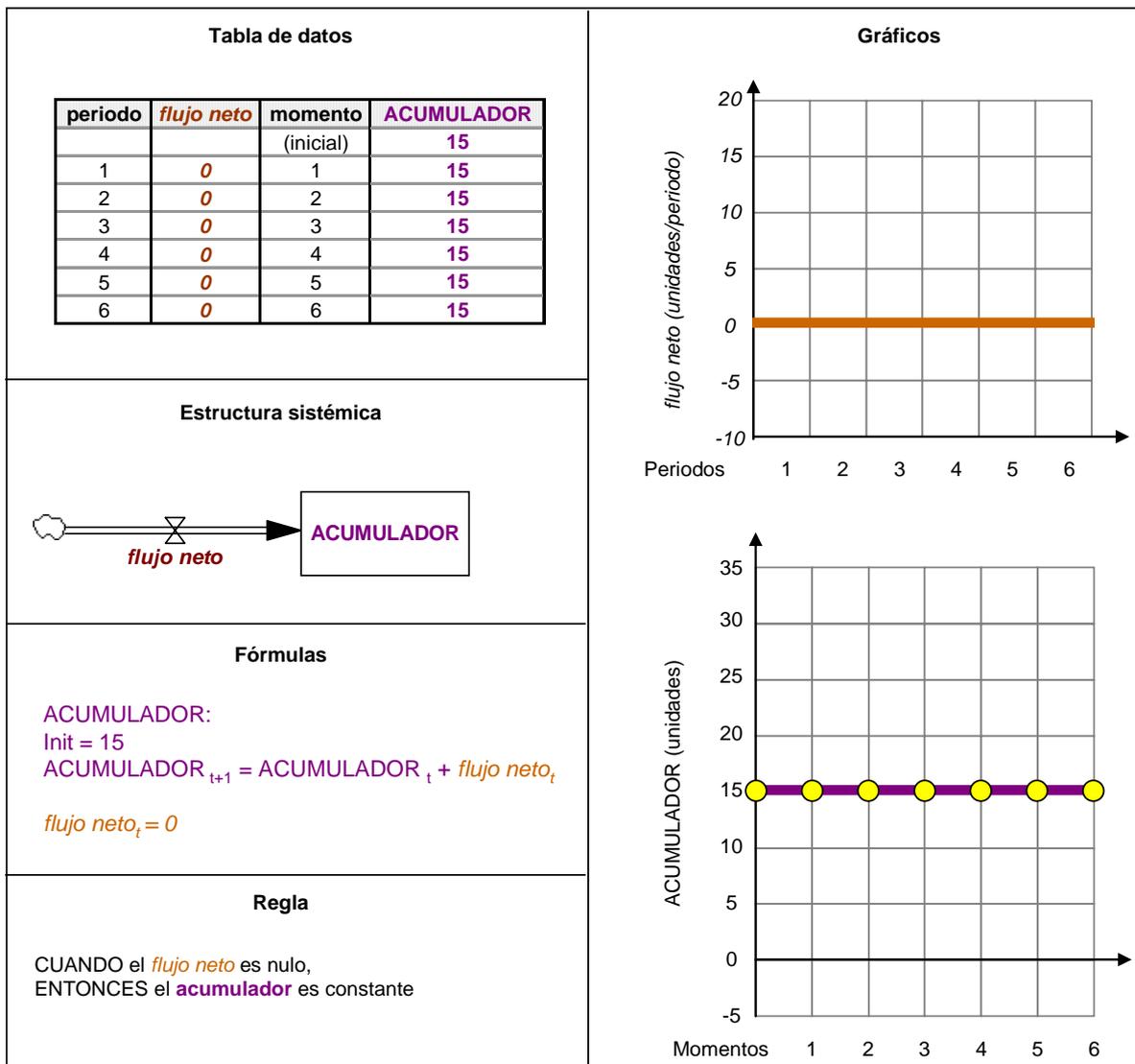
También podemos hacer la operación inversa e integrar cuál debe ser el tamaño del nivel integrando desde el flujo. La suma de los flujos de los periodos parciales es el cambio del nivel; si conocemos el tamaño inicial de una variable de nivel, podemos integrar gráficamente cuál es la evolución del tamaño en el tiempo.

### **Aproximación usando reglas**

Podemos formular un conjunto de reglas que facilitan las operaciones de integración.

Cuando el flujo es nulo, el nivel es constante

Un *flujo* (neto) nulo significa que la diferencia entre lo que se agrega y lo que se saca del **acumulador** es igual a cero. Por lo tanto, el **nivel** del **acumulador** no puede cambiar. Cuando representamos este hecho numéricamente, el *flujo* se anota con “0” y el **nivel** se anota con el mismo valor que en el periodo anterior.



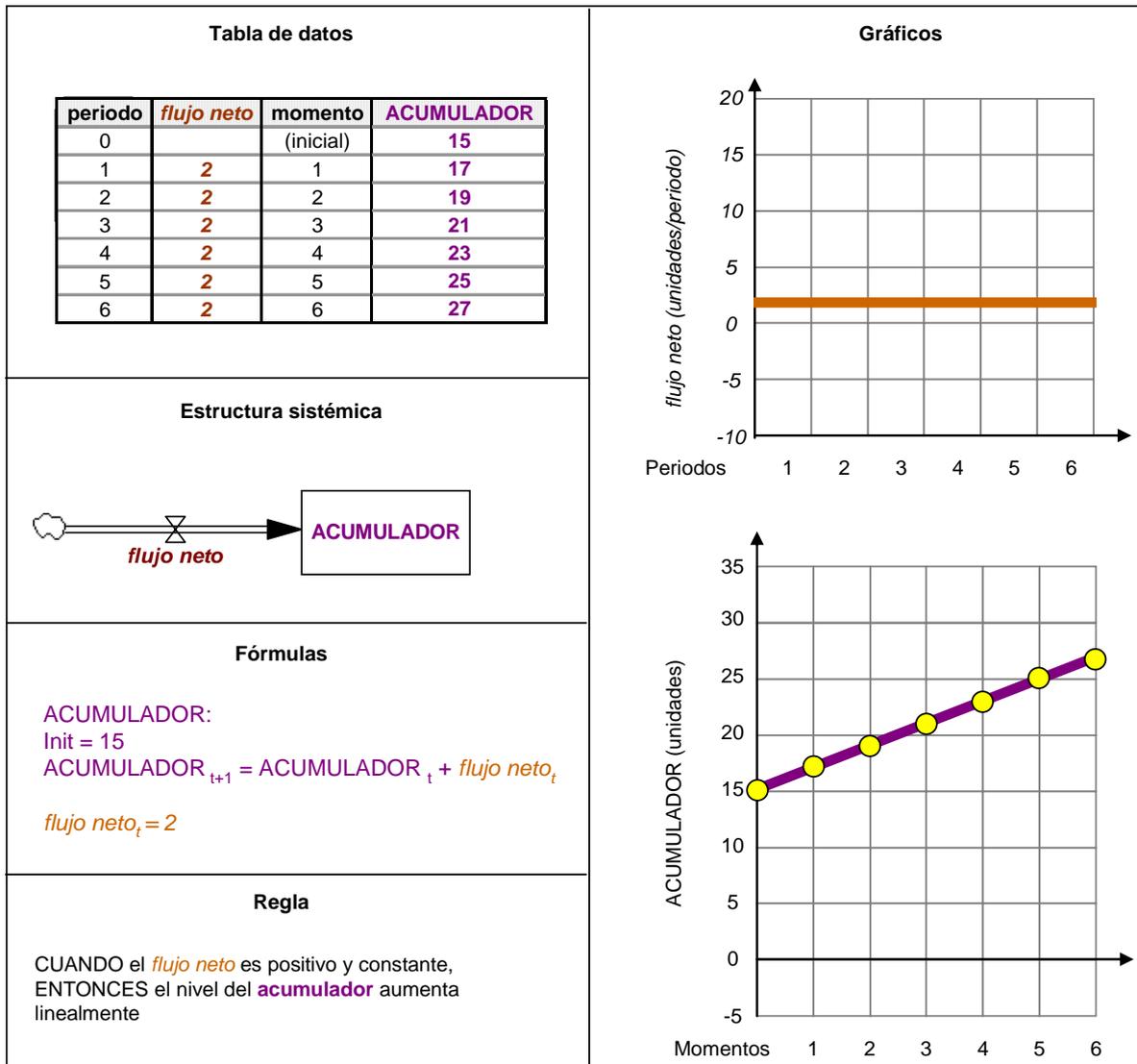
*Ilustración 56: flujo nulo => nivel constante*

Cuando representamos lo mismo gráficamente, observemos que la línea del *flujo* queda en la altura “0”, y la línea del **nivel**, tiene exactamente esta misma pendiente. Debe ser así, ya que si el **nivel** no cambia, debe estar a la misma altura en cada periodo.

Recordemos que la línea del **nivel** se confecciona en dos etapas: se realiza una medición en cada momento (en este caso, de 1 hasta 6) y se marca el punto; luego se conectan los puntos con una línea recta, lo que equivale a una interpolación: de hecho, no hemos medido el **nivel** entre los momentos, pero nos imaginamos que se ha ido comportando aproximadamente de la forma que sugiere la interpolación.

En todo caso, dado que en el momento  $m$ , el **nivel** puede tener solamente un valor. Entonces, cuando trazamos las rectas de  $m-1$  a  $m$  y luego a  $m+1$ , la línea no debe hacer saltos: el nivel no hace saltos, y la línea que lo representa tampoco.

Cuando el flujo es positivo y constante, el nivel aumenta linealmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo.



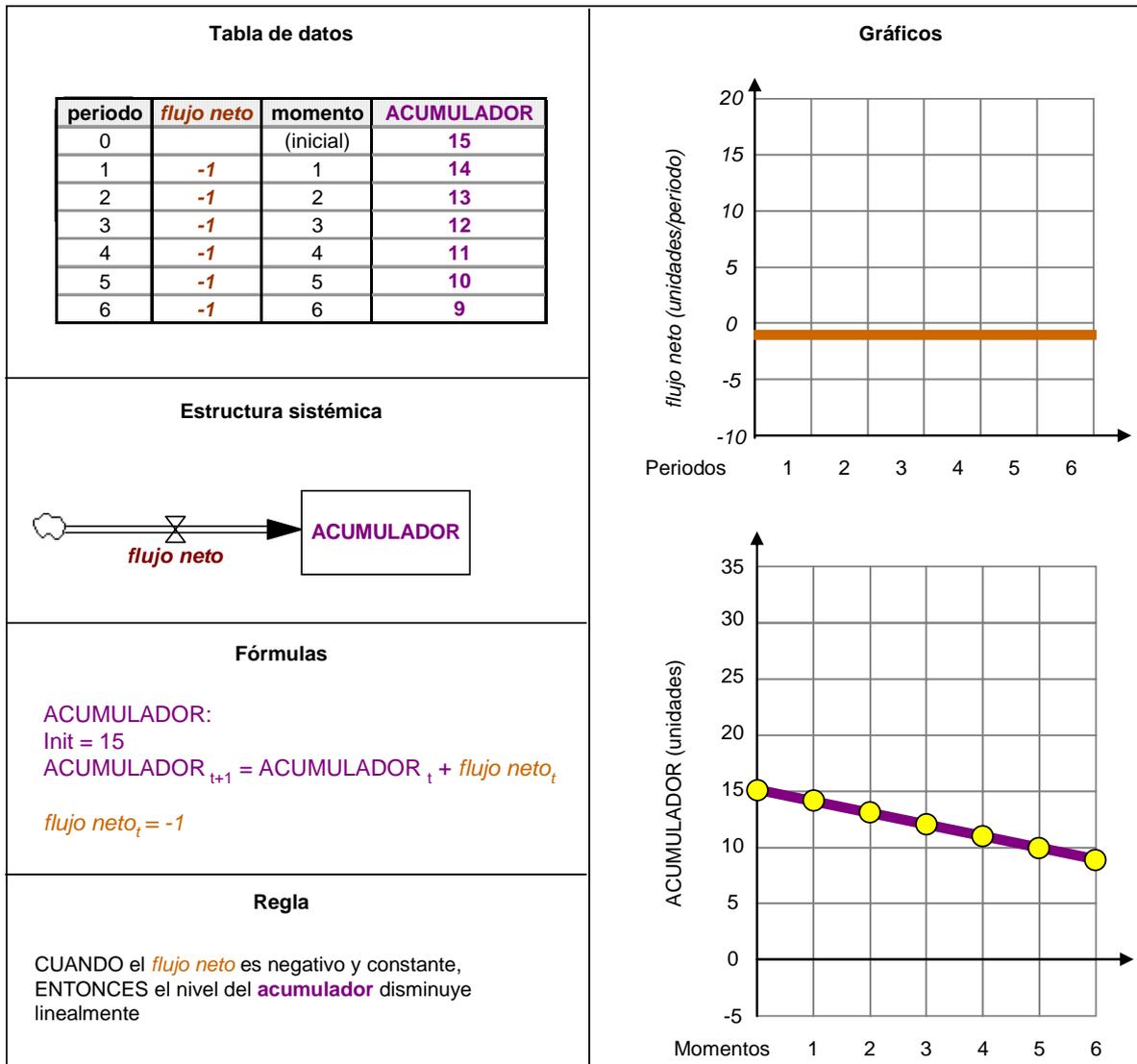
*Ilustración 57: flujo positivo constante => nivel crece linealmente*

Si el *flujo* neto de cada periodo es positivo y constante, significa que entre cada inicio y fin de periodo, el **nivel** debe haber cambiado por la misma cantidad. Por lo tanto, el **nivel** debe aumentar constantemente.

Observemos nuevamente que la altura de la línea del *flujo* en el tiempo, se convirtió en la pendiente de la línea del **nivel** en el tiempo. Si el flujo es de una altura constante, la pendiente del nivel será constante también.

Asimismo, la línea del **nivel** no presenta ningún salto.

Cuando el flujo es negativo y constante, el nivel disminuye linealmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo.



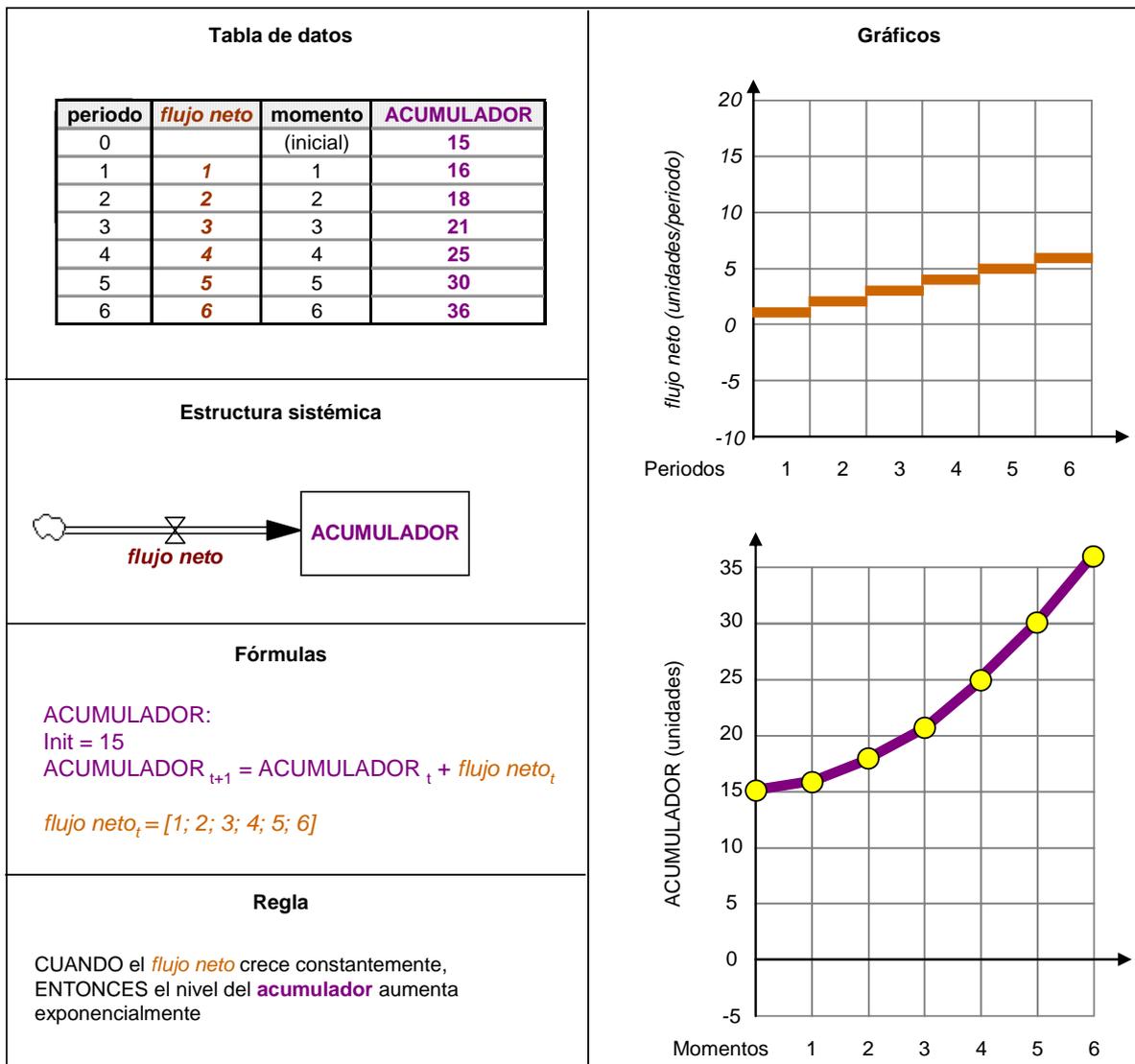
*Ilustración 58: flujo negativo constante => nivel descrece linealmente*

Si el *flujo* es negativo y constante, lo que desaparece del **nivel** entre inicio y fin de cada periodo es una cantidad constante. Por lo tanto, el **nivel** debe ir bajando constantemente.

Observemos nuevamente que la altura de la línea del *flujo* en el tiempo, se convirtió en la pendiente de la línea del **nivel** en el tiempo. Si el *flujo* es de una altura constante, la pendiente del **nivel** será constante también.

Asimismo, la línea del **nivel** no presenta ningún salto.

Cuando el flujo es positivo y crece constantemente, el nivel crece exponencialmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo durante los respectivos periodos de tiempo distinguidos.

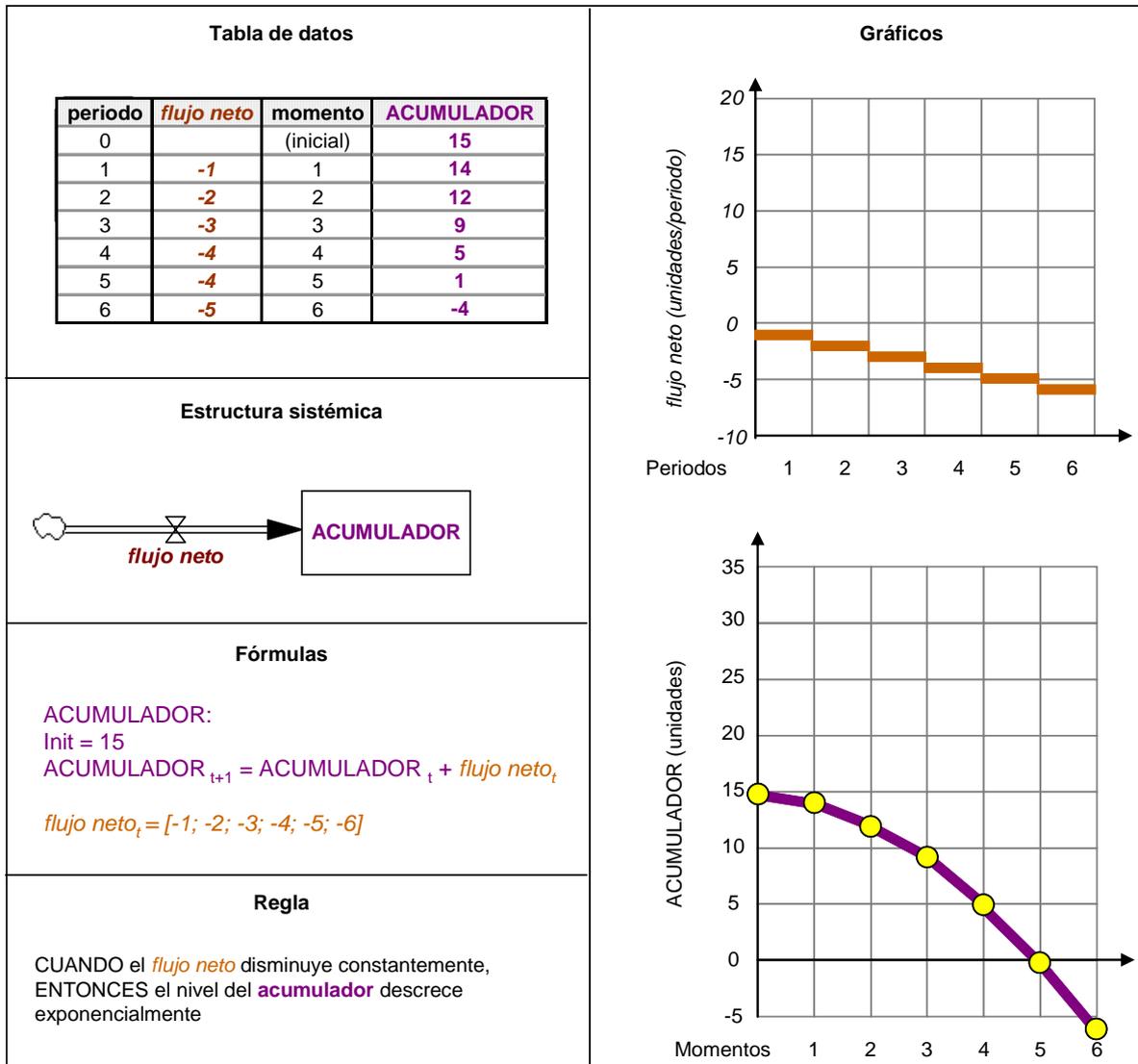


*Ilustración 59: flujo positivo en crecimiento => nivel crece no linealmente*

Si el *flujo* aumenta constantemente, su altura varía por una cantidad constante entre los periodos. Por lo tanto, el cambio de **nivel** causado en los periodos crece: fue menos en los periodos tempranos, y es más en los periodos posteriores.

Observamos que cuando el *flujo* tiene una altura creciente, el **nivel** crece más que linealmente: exponencialmente. Sin embargo, igual que antes, al “cambio de altura” del *flujo* corresponde durante cada periodo de tiempo un “cambio de pendiente” del **nivel**. Es decir, lo único que cambió en relación con los casos anteriores, es que ahora tenemos que proceder periodo por periodo. También, la línea del **nivel** no presenta ningún salto.

Cuando el flujo es negativo y disminuye constantemente, el nivel disminuye exponencialmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo durante los respectivos periodos de tiempo distinguidos.

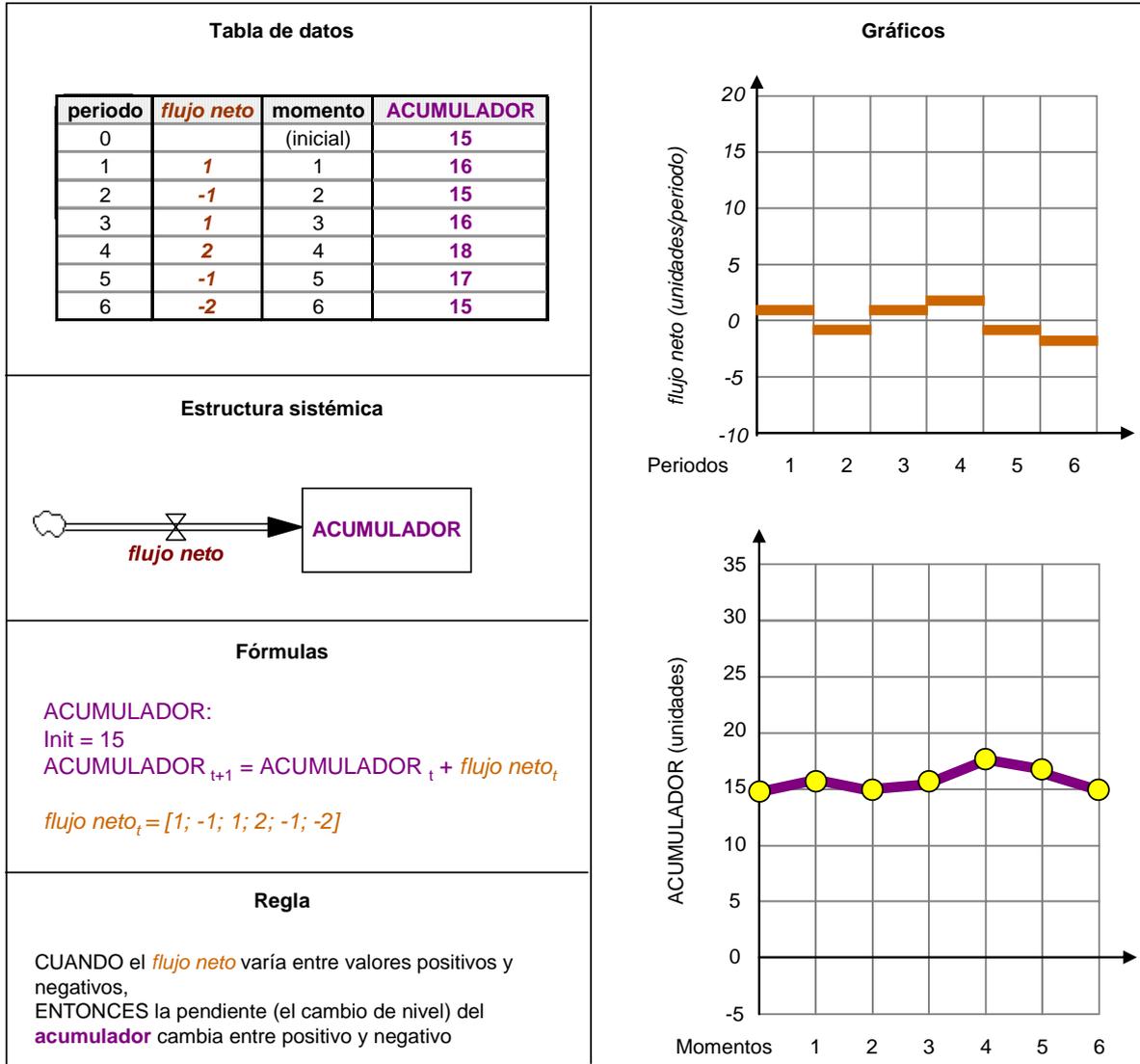


*Ilustración 60: flujo negativo en descenso => nivel disminuye no linealmente*

Lo mismo es válido para cuando el *flujo* disminuye constantemente: el **nivel** disminuye aceleradamente.

Observamos que cuando el *flujo* disminuye, el **nivel** descrece más que linealmente: exponencialmente. Al cambio de altura del *flujo* corresponde un cambio de pendiente del **nivel**. También, la línea del **nivel** no presenta ningún salto.

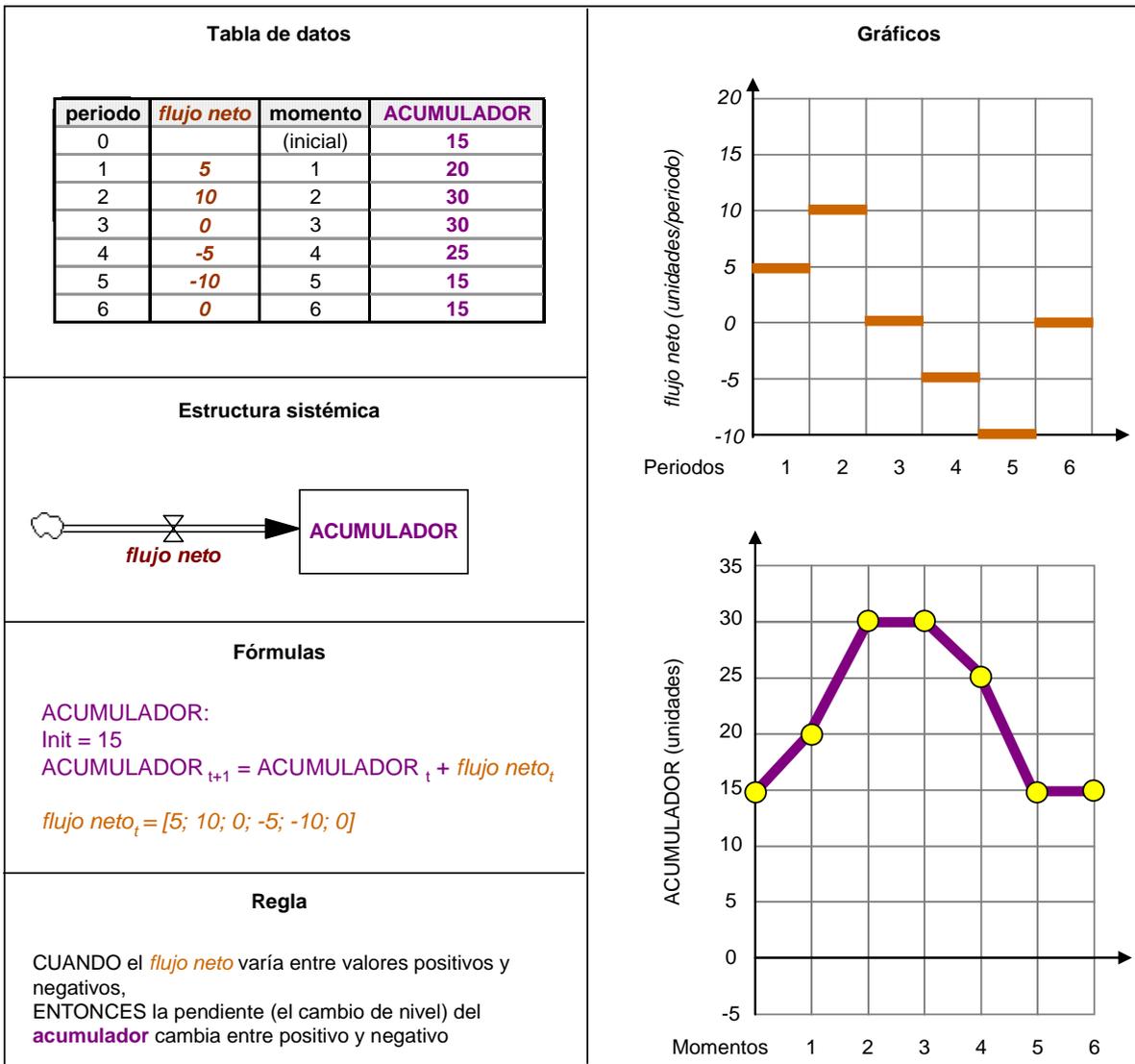
Cuando el flujo cambia entre positivo y negativo, la pendiente del nivel cambia entre positivo y negativo



*Ilustración 61: flujo entre positivo y negativo => nivel tiene máxima y mínima*

En un sentido, el caso de esta ilustración es una combinación de las dos situaciones previas. Cuando la forma del *flujo* es una combinación de las 5 formas elementales presentadas arriba, la forma de la línea del **nivel** muestra pendientes y cambios pendientes variados.

Todavía, la línea del **nivel** no presenta saltos.



*Ilustración 62: análisis de un máximo*

Esta combinación de situaciones nos permite señalar dos reglas adicionales, que ayudan a captar elementos cualitativos importantes de la conducta del **nivel**. De hecho, 30 es un “máximo” (local) del nivel para los momentos 2 y 3.

Así pues, las dos reglas son:

- *Cuando el flujo cambia de positivo a negativo, la pendiente del nivel<sup>1</sup> cambia entre positivo y negativo, y entonces el nivel del acumulador se encuentra en un máximo local.*
- *Cuando el flujo cambia de negativo a positivo, la pendiente del nivel cambia entre negativo y positivo, y entonces el nivel del acumulador se encuentra en un mínimo local.*

<sup>1</sup> La “pendiente del nivel” es, de cierto modo, el “cambio del nivel”. Por lo tanto, podemos decir que un cambio de la pendiente de un acumulador es un cambio en la forma de cambiarse de este acumulador. Si bien decir “cambio del cambio” suena extraño, refleja fielmente la relación matemática entre flujos y acumuladores. Es muy importante acostumbrarse a esta relación.



Si nos alejamos mucho de la escena o de alguna otra manera comprimimos el tiempo (la dimensión horizontal), entonces todo se reduce a la dimensión vertical. Ahora se ve que el **nivel** tuvo que desarrollarse desde su valor inicial  $v_i$  hasta  $v_i + \text{"flujo"}$ .

Entonces para integrar, tomamos el tamaño del *flujo* como un vector (origen  $\rightarrow X$ ), buscamos el valor inicial  $v_i$  del **nivel**, trasladamos el vector a este nuevo origen (verticalmente) y buscamos (horizontalmente) el final del periodo.

Por lo tanto, derivar gráficamente es hacer lo contrario: medir la diferencia vertical entre los valores final  $v_f$  e inicial  $v_i$  del nivel, luego ir a la misma distancia del origen (0) en la escala vertical, y así encontramos el tamaño del flujo.

## Integración gráfica

La integración gráfica es entonces la operación de usar la información sobre el *flujo neto* (la distancia entre el valor del flujo y la línea "cero") y agregarla al nivel del **acumulador**:

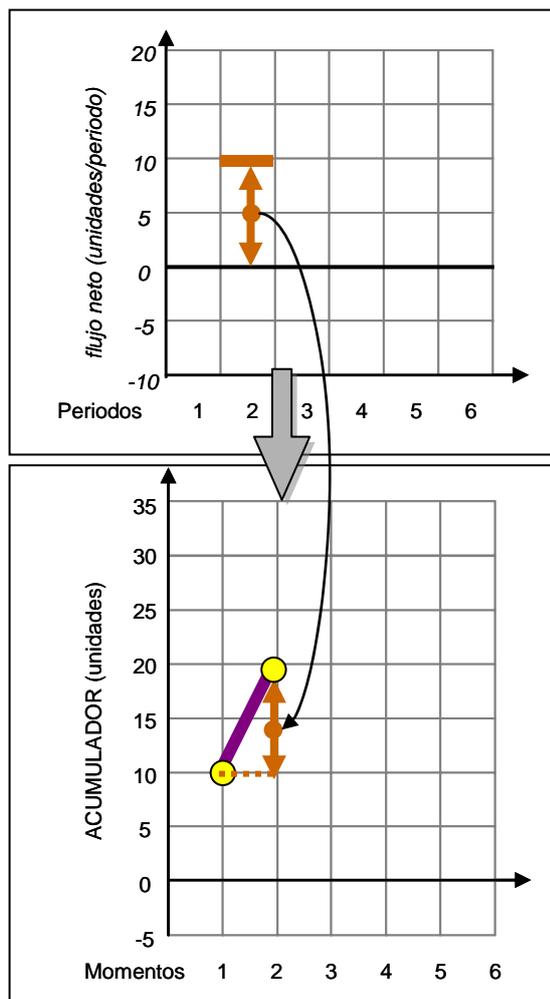


Ilustración 65: integración gráfica

## Derivación gráfica

La operación inversa de la integración gráfica es la derivación gráfica. Se usa la información sobre el cambio del nivel del **acumulador** para derivar qué distancia tuvo el flujo neto de la línea “cero”:

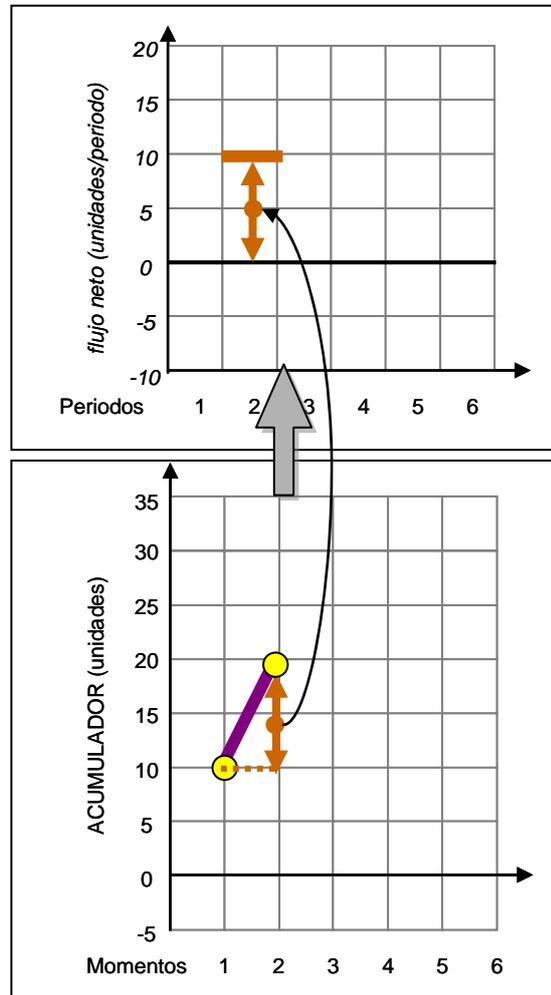


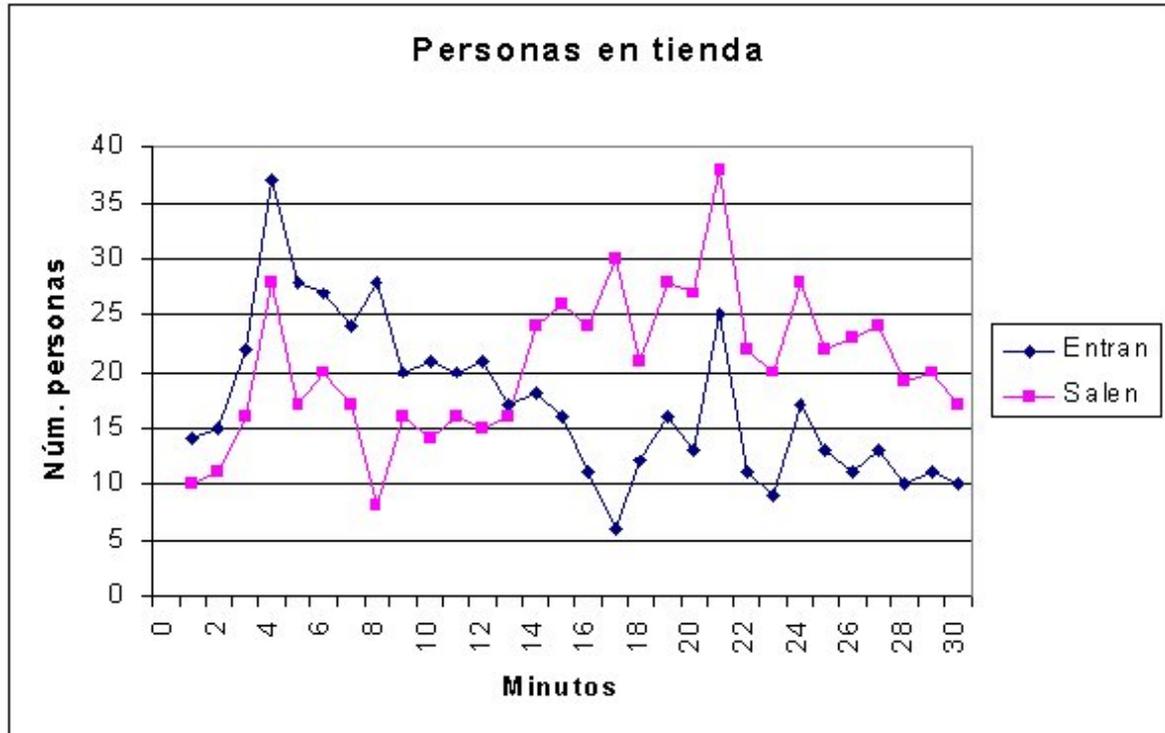
Ilustración 66: derivación gráfica

## Formación de la intuición

Una amplia serie de investigaciones empíricas demuestran que la apreciación intuitiva de la interacción dinámica entre flujos y acumuladores es extremadamente difícil para los adultos sin preparación específica (Booth Sweeny y Sterman, 2000; Ossimitz, 2002; Kainz y Ossimitz, 2002; Jensen, 2005). Hay buenas razones para pensar que el entrenamiento sistemático en base de las reglas usadas arriba, ayuda a mejorar la intuición (Schaffernicht, 2005a, 2005b). Por lo tanto, se recomienda urgentemente realizar un conjunto de ejercicios; aquí revisamos también la argumentación detrás de las soluciones correctas: recomendamos hacer cada ejercicio antes de leer esta parte.

## Personas en la tienda

Usted observa una tienda comercial para una tarea de asignatura. Durante media hora, ha registrado la cantidad de personas que entran y que salen de la tienda. El siguiente gráfico muestra estas cantidades.



Responda las siguientes preguntas:

1. ¿Durante qué minuto entró la mayor cantidad de personas a la tienda?
2. ¿Durante qué minuto salió la mayor cantidad de personas de la tienda?
3. ¿En qué minuto estuvo la mayor cantidad de personas en la tienda?
4. ¿En qué minuto estuvo la menor cantidad de personas en la tienda?

Analicemos los flujos de "entrada" y de "salida":

1. "Cuando la línea del *flujo* entrante es arriba de la línea del *flujo* de salida, entonces el *flujo* entrante es mayor al *flujo* de salida." Esto es el caso desde el inicio del periodo de observación hasta el minuto 13.
2. "Cuando la línea del *flujo* entrante es abajo de la línea del *flujo* de salida, entonces el *flujo* entrante es menor al *flujo* de salida." Esto es el caso a partir del minuto 13 hasta el final.
3. "Cuando se cruzan las líneas de los flujos de entrada y de salida, entonces el flujo de entrada es igual al *flujo* de salida". Esto ocurre en el minuto 13.

Convertimos los flujos de entrada y de salida en un "flujo neto":

4. "Cuando el flujo entrante es mayor al flujo de salida, entonces el flujo neto es positivo." Hasta el minuto 13.
5. "Cuando el flujo entrante es menor al flujo de salida, entonces el flujo neto es negativo." Desde el minuto 13 hasta el final.
6. "Cuando el flujo entrante es menor al flujo de salida, entonces el flujo neto es cero." En el minuto 13.

Deduzcamos las consecuencias del flujo neto para el acumulador "tienda" (cantidad de personas en la tienda):

7. "Cuando el flujo de entrada es más grande que el flujo de salida, el nivel aumenta." Hasta el minuto 13.
8. "Cuando el flujo de entrada es más pequeño que el flujo de salida, el nivel disminuye." Desde el minuto 13 hasta el final.
9. "Cuando el flujo neto es cero, el nivel no cambia." En el minuto 13.

Caractericemos el comportamiento del acumulador "tienda" (cantidad de personas en la tienda):

10. "Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local." Lo que pasa en el minuto 13.
11. "Cuando el flujo neto cambia de negativo a positivo, el nivel registra un mínimo local" Lo que pasa al final, o bien en el minuto 30.

## El déficit fiscal de Fantasía

En el país FANTASÍA (cuya moneda son los "F\$"), se habla de "déficit fiscal" cuando el monto que el estado gasta durante un año excede los ingresos del estado para el mismo año. La ecuación siguiente describe esta relación:

$$\text{déficit fiscal(Año a)} = \text{ingresos(Año a)} - \text{egresos(Año a)}.$$

La "deuda fiscal" es el monto acumulado de los "déficit fiscales" que el estado aún debe, en un determinado momento, a sus acreedores:

$$\text{deuda fiscal(Fin del año a)} = \text{deuda fiscal(fin del año a-1)} + \text{déficit fiscal(Año a)}.$$

Consideremos la siguiente situación:

En el año 2005, el déficit fiscal ha sido de F\$\$60.000.000; en 2006, fue de F\$\$40.000.000.

Indique, para cada una de las siguientes afirmaciones, si es verdadera o falsa:

<b>Afirmación</b>	<b>Verdadera</b>	<b>Falsa</b>
1. En 2006, F\$\$20.000.000 de la deuda fiscal han sido reembolsados.		
2. El Ministerio de Finanzas logró reducir la deuda fiscal de un tercio entre 2005 y 2006.		
3. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASÍA ya no tendrá deudas fiscales.		
4. La deuda fiscal de FANTASÍA creció en 2005 y en 2006.		
5. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASÍA está en el punto máximo de su deuda fiscal.		
6. Una reducción del déficit fiscal significa automáticamente una reducción de la deuda fiscal.		

## Flujos y Acumuladores

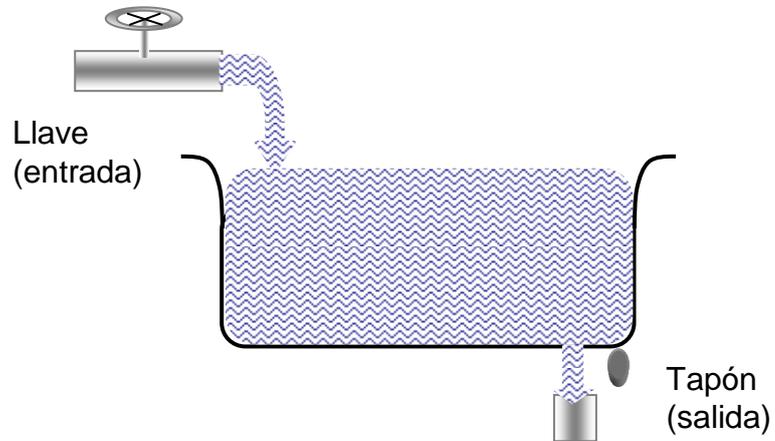
Este caso se resuelve usando las siguientes reglas:

1. Cuando los egresos de un año superan los ingresos, el flujo neto del año es negativo y se habla de un déficit fiscal.
2. Cuando los ingresos de un año superan los egresos, el flujo neto del año es positivo y se habla de un superávit fiscal.
3. Cuando los egresos de un año igualan los ingresos, el flujo neto del año es nulo y no hay ni déficit ni superávit fiscal.
4. La deuda fiscal es el cúmulo de todos los flujos anteriores.
5. El flujo neto puede cambiar la deuda fiscal.
6. Cuando el flujo neto es positivo, la deuda se disminuye.
7. Cuando el flujo neto es negativo, la deuda crece.
8. Cuando el flujo neto es nulo, la deuda no cambia.
9. Cuando de un año al siguiente, el flujo cambia de negativo a positivo, entonces la deuda registra un máximo (local).

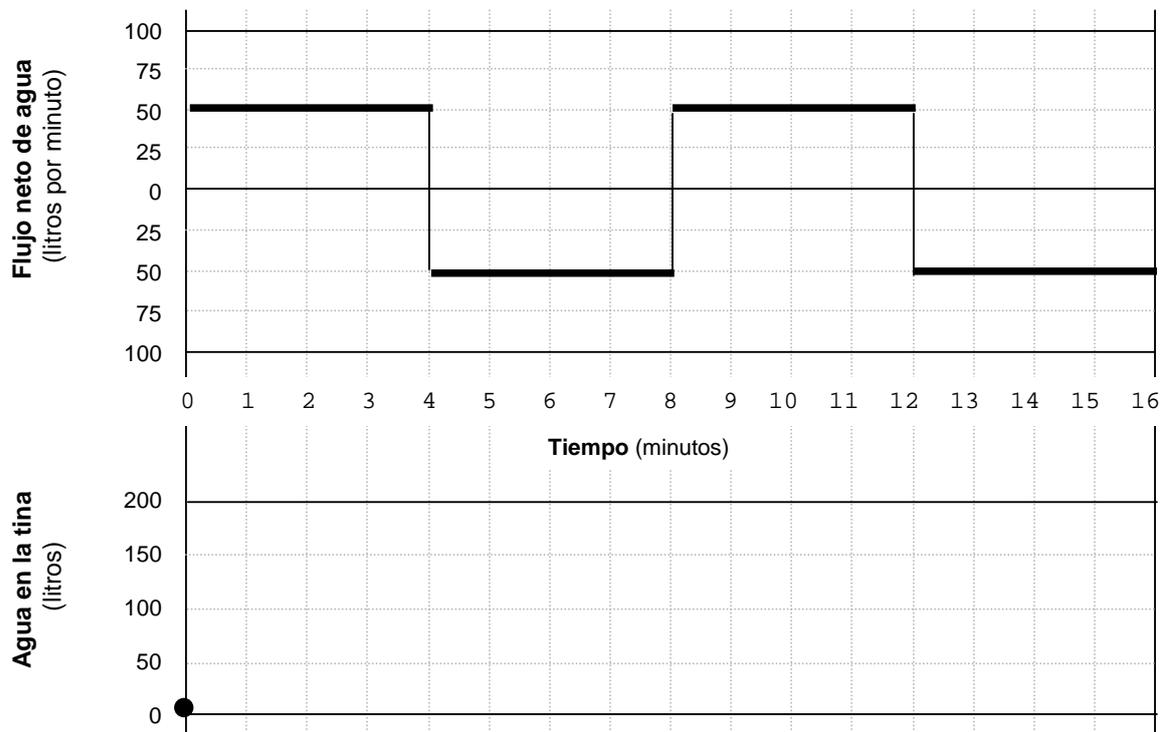
Afirmación	Verdadera	Falsa
1. En 2006, FS\$20.000.000 de la deuda fiscal han sido reembolsados. <i>En Ambos años se aplica la regla 1.</i>		X
2. El Ministerio de Finanzas logró reducir la deuda fiscal de un tercio entre 2005 y 2006. <i>Esto supone poder aplicar la regla 6, que a su vez requiere que la regla 2 sea aplicable, lo que no es el caso.</i>		X
3. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASÍA ya no tendrá deudas fiscales. <i>Un flujo neto “cero” significa que se aplica la regla 3, y luego de ella sigue la regla 8.</i>		X
4. La deuda fiscal de FANTASÍA creció en 2005 y en 2006. <i>Se aplican reglas 1 y en consecuencia la 7.</i>	X	
5. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASÍA está en el punto máximo de su deuda fiscal. <i>Esto corresponde a la regla 9, que es consecuencia de la 8 y la 3, bajo el supuesto que en el año siguiente se dé en esta forma.</i>	X	
6. Una reducción del déficit fiscal significa, automáticamente, una reducción de la deuda fiscal. <i>La “reducción” no es “déficit cero”, por lo cual se aplican la regla 1 y en consecuencia la 7.</i>		X

## La tina 1

Observe la tina de baño: la llave sirve para regular el flujo de agua entrante, y el tapón es para regular el flujo de salida.



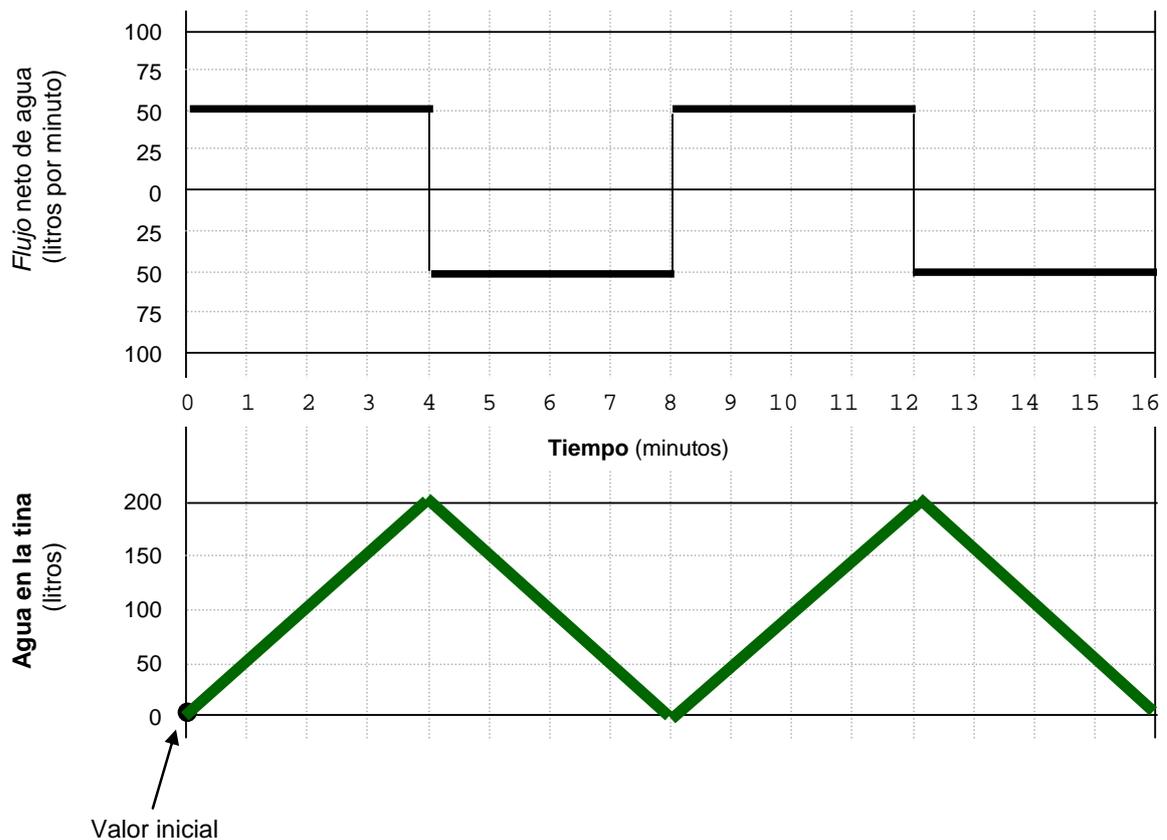
El siguiente gráfico muestra una hipotética situación en la cual el flujo neto de agua (litros que entran en un minuto – litros que salen en un minuto) se ha dibujado arriba. Asumiendo que la cantidad de agua en la tina al iniciarse el periodo de observación graficado haya sido de 0 litros, dibuje en la parte inferior la conducta de la cantidad de agua en la tina:



## Flujos y Acumuladores

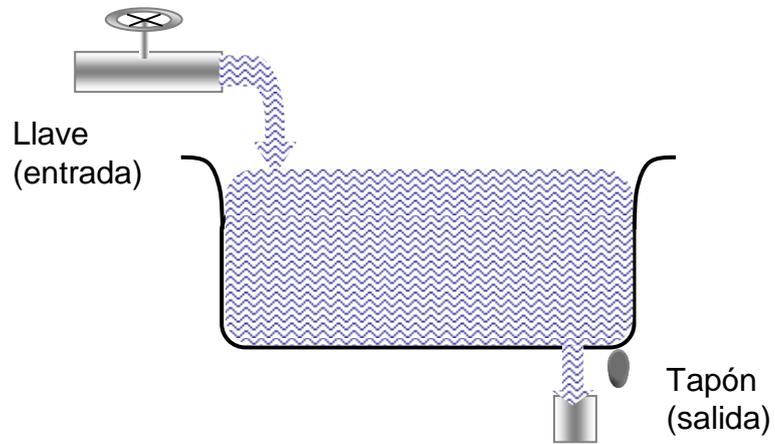
La siguiente argumentación justifica la solución:

1. Cuando el flujo de entrada es más grande que el flujo de salida, el nivel aumenta.
2. Cuando el flujo de entrada es más pequeño que el flujo de salida, el nivel disminuye.
3. Los puntos máximo y mínimo del nivel se dan cuando el flujo neto cruza la línea "cero" (4, 8, 12, 16).
4. El nivel no debería mostrar saltos u otros cambios discontinuos.
5. Durante cada segmento, el flujo neto es constante y por lo tanto el cambio del nivel debe ser lineal.
6. La pendiente de la línea del nivel durante cada segmento corresponde al cambio neto ("rate") (25 unidades/periodo).
7. La cantidad añadida al (restada del) nivel durante cada segmento corresponde al área debajo el cambio neto ("rate"): 25 unidades/periodo por 4 periodos igual 100 unidades. Entonces el nivel máximo es 200 y el mínimo es 100.

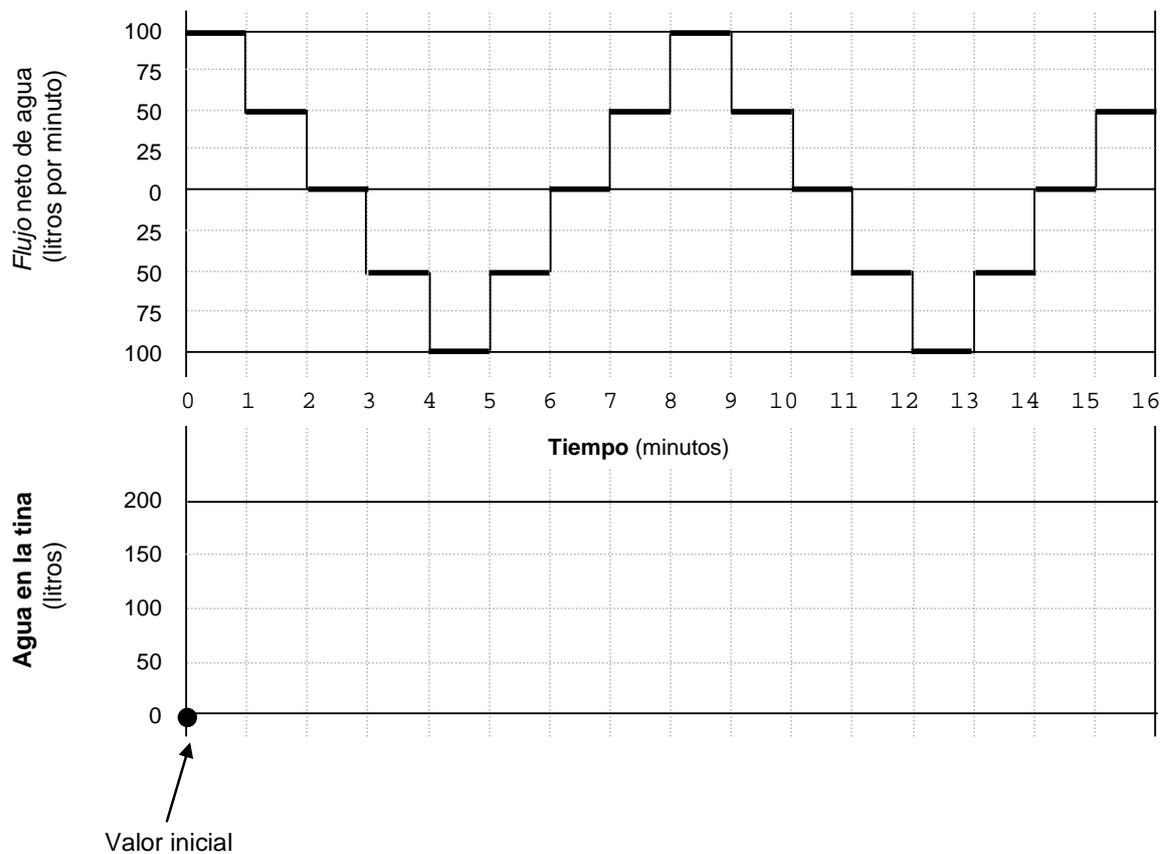


## La tina 2

Observe la tina de baño: la llave sirve para regular el flujo de agua entrante, y el tapón es para regular el flujo de salida.



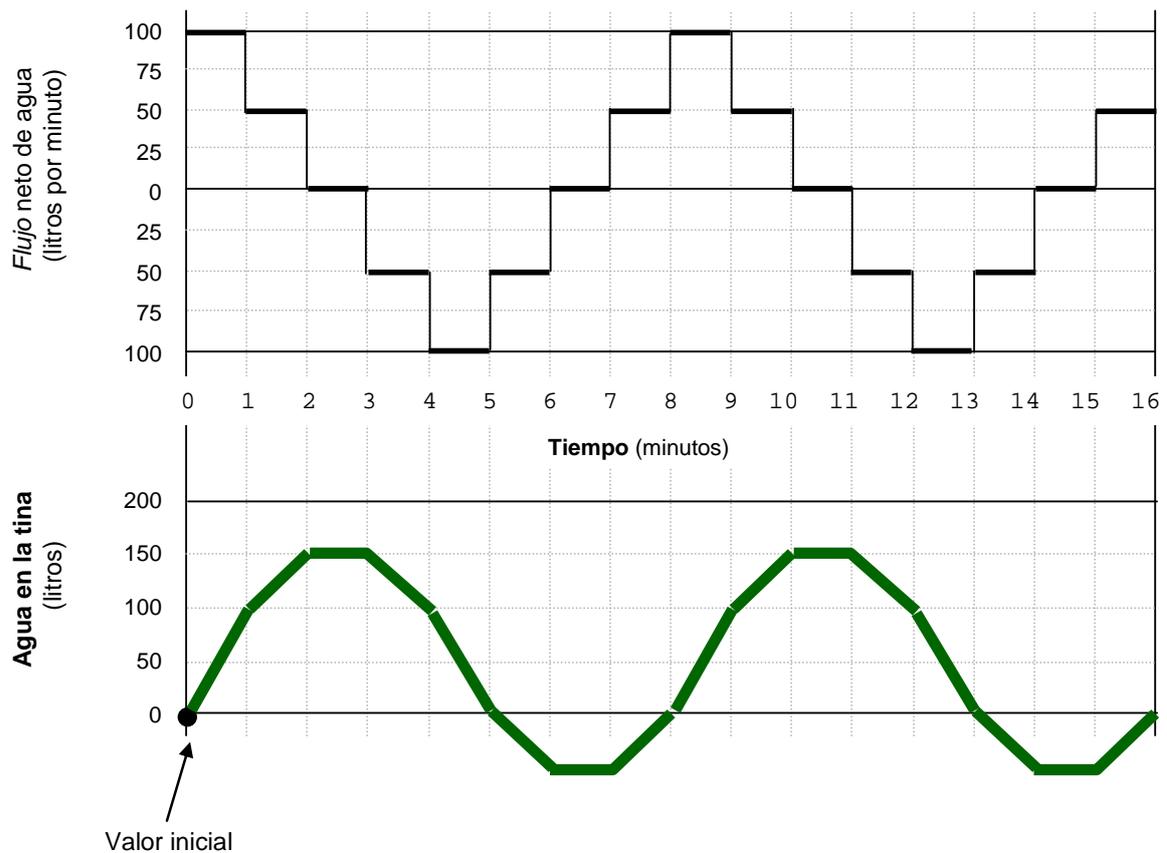
El siguiente gráfico muestra una hipotética situación en la cual el flujo neto de agua (litros que entran en un minuto – litros que salen en un minuto) se ha dibujado arriba. Asumiendo que la cantidad de agua en la tina al iniciarse el periodo de observación graficado haya sido de 0 litros, dibuje en la parte inferior la conducta de la cantidad de agua en la tina:



## Flujos y Acumuladores

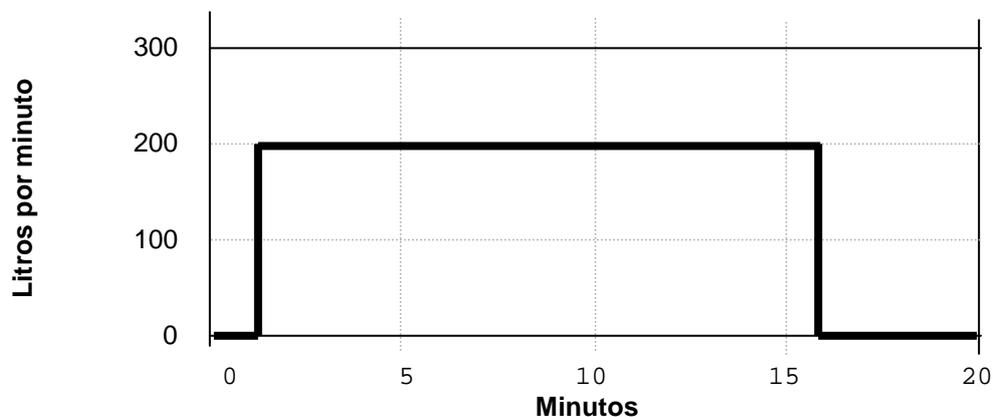
La siguiente argumentación justifica la solución:

1. Cuando el flujo de entrada es más grande que el flujo de salida, el nivel aumenta.
2. Cuando el flujo de entrada es más pequeño que el flujo de salida, el nivel disminuye.
3. Los puntos máximo y mínimo del nivel se dan cuando el flujo neto cruza la línea "cero" (2, 6, 10, 14).
4. El nivel no debería mostrar saltos u otros cambios discontinuos.
5. Durante cada segmento, el flujo neto no es constante y, por lo tanto, el cambio del nivel no debe ser lineal.
6. La pendiente de la línea del nivel corresponde al cambio neto ("rate") = 0,28.
7. La pendiente de la línea del nivel cuando el cambio es máximo es de 50 unidades/periodo (0, 8, 16)
8. La pendiente de la línea del nivel cuando el cambio es mínimo es de -50 unidades/periodo (4, 12).
9. La cantidad añadida al (restada del) nivel durante cada segmento de dos periodos corresponde al área debajo del cambio neto ("rate"): un triángulo con el área  $-1/2 \times 50 \text{ unidades/periodo} \times 2 \text{ periodos} = +50 \text{ unidades}$ . Por lo tanto, el nivel máximo es de 150 unidades y el mínimo de 50.



## El estanque de petróleo

El siguiente gráfico representa cómo un estanque de petróleo se está llenando:



Por favor, lea las siguientes afirmaciones e indique si son verdaderas o falsas:

<b>Afirmación</b>	<b>Verdadera</b>	<b>Falsa</b>
1. El estanque se ha llenado hasta la altura de 200 cm.		
2. El proceso de llenado duró 16 minutos.		
3. En total, 200 litros se han depositado en el estanque.		
4. Después de 16 minutos, 200 litros se dejaron salir del estanque.		
5. El proceso de llenado duró 15 minutos		
6. La capacidad máxima del estanque es de 200 litros.		
7. Después de 16 minutos, 3000 litros o más están en el estanque.		

Las reglas para el caso son:

1. Cuando la línea del *flujo* está por encima de cero, el *flujo* neto (*flujo* entrante – *flujo* de salida) es positivo.
2. Cuando la línea del *flujo* es igual a cero, el *flujo* neto (*flujo* entrante – *flujo* de salida) es cero
3. Cuando el *flujo* neto es positivo, el **nivel** aumenta.
4. Cuando el *flujo* neto es cero, el **nivel** no cambia.
5. La pendiente de la línea del **nivel** corresponde a la distancia del *flujo* neto de cero.
6. Si el *flujo* neto es constante durante el periodo, entonces la línea del **nivel** es lineal (pendiente constante).
7. El cambio del **nivel** durante un periodo corresponde a la distancia del *flujo* neto de cero durante el mismo periodo
8. Cuando el *flujo* neto cambia de cero a positivo, el **nivel** empieza a crecer.
9. Cuando el *flujo* neto cambia de positivo a cero, el **nivel** deja de crecer.

Descripción del caso:

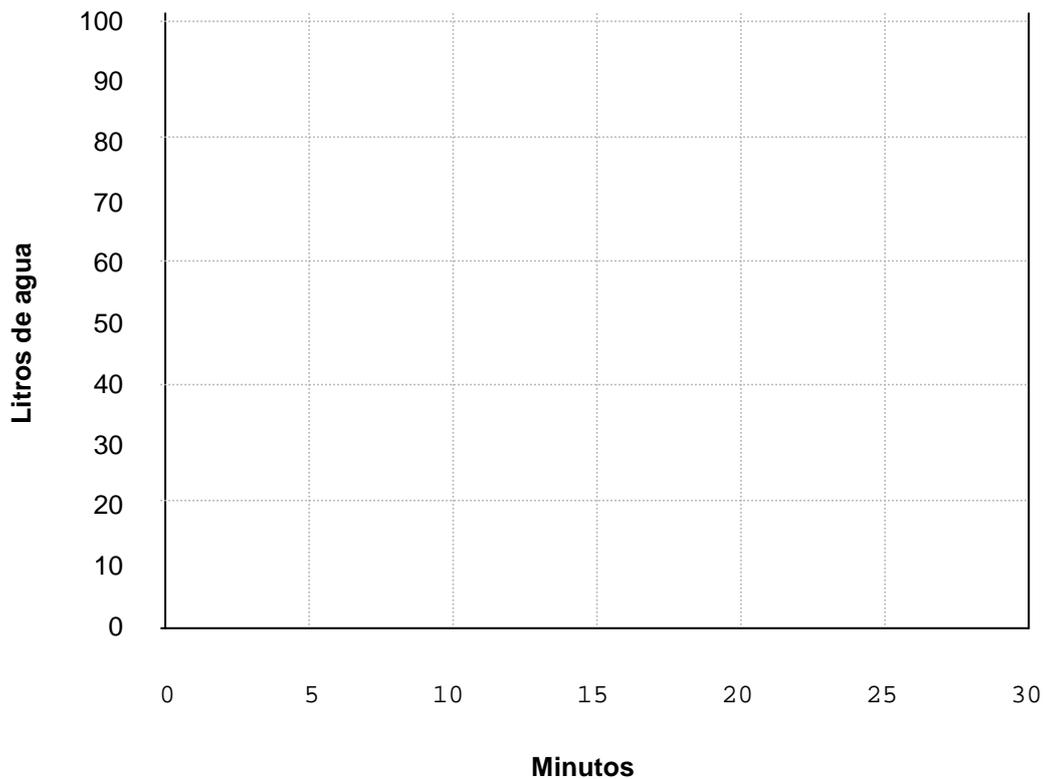
- a) Durante el primer minuto, flujo neto = cero => se aplican las reglas 2 y 4.
- b) Durante los minutos 2 – 16 (es decir durante 15 minutos), el flujo neto es positivo (200) en cada minuto; se aplican las reglas 1, 3, 7 y 8. Durante este tiempo, la pendiente del acumulador “estanco” es positiva, es decir se acumulan 15 X 200 litros, o bien 3.000 litros.
- c) Durante los minutos 16 – 20, el flujo neto es nuevamente cero => se aplican las reglas 2, 4 y 9.

<b>Afirmación</b>	<b>Verdadera</b>	<b>Falsa</b>
1. El estanque se ha llenado hasta la altura de 200 cm <i>Según b)</i>		X
2. El proceso de llenado duró 16 minutos <i>Según b)</i>		X
3. En total, 200 litros se han depositado en el estanque. <i>Según b)</i>		X
4. Después de 16 minutos, 200 litros se dejaron salir del estanque. <i>Según c)</i>		X
5. El proceso de llenado duró 15 minutos <i>Según b)</i>	X	
6. La capacidad máxima del estanque es de 200 litros <i>No tiene relación con el caso.</i>		X
7. Después de 16 minutos, 3000 litros o más están en el estanque. <i>Según b)</i>	X	

## El baño del Sr. Pérez

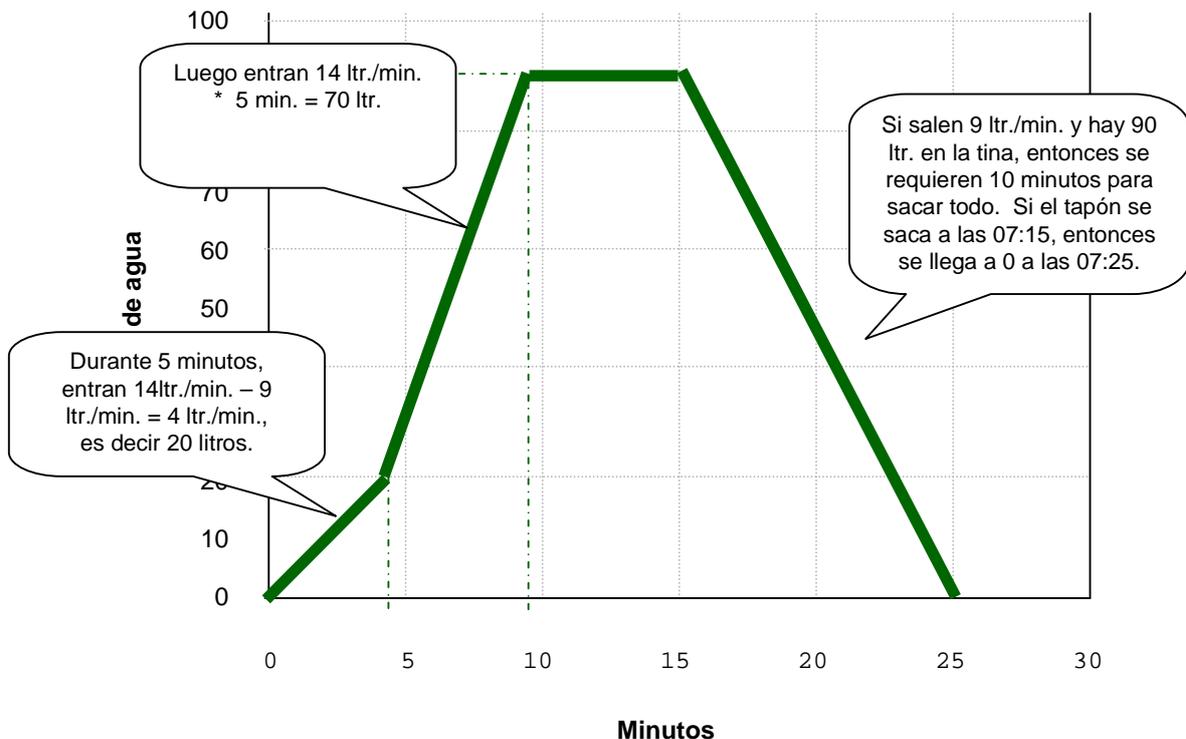
A exactamente las 07:00 hrs., el señor Pérez abre la llave de agua de su tina vacía. Empiezan a entrar 14 litros por minuto. A 07:04, se da cuenta de que olvidó poner el tapón (que deja salir 9 litros por minuto). Lo pone, y sigue llenando la tina hasta las 07:09 (momento cuando cierra la llave de agua). Disfruta del baño hasta las 07:15; luego sale y saca el tapón para dejar el agua salir.

Dibuje el comportamiento aproximado de la cantidad de agua (en litros) en la tina sobre el periodo de tiempo descrito



La solución se apoya en las siguientes reglas:

1. Cuando la línea del *flujo* está por encima de cero, el *flujo* neto (*flujo* entrante – *flujo* de salida) es positivo.
2. Cuando la línea del *flujo* está por debajo de cero, el *flujo* neto (*flujo* entrante – *flujo* de salida) es negativo.
3. Cuando la línea del *flujo* es igual a cero, el *flujo* neto (*flujo* entrante – *flujo* de salida) es cero
4. Cuando el *flujo* neto es positivo, el **nivel** aumenta.
5. Cuando el *flujo* neto es negativo, el **nivel** disminuye.
6. La pendiente de la línea del **nivel** corresponde a la distancia del *flujo* neto de cero.
7. Si el *flujo* neto es constante durante el periodo, entonces la línea del **nivel** es lineal (pendiente constante).
8. Al inicio de cada periodo, la línea del **nivel** empieza en el punto donde terminó en el periodo previo; al comienzo del primer periodo, está señalado por un punto.
9. Cuando el *flujo* neto cambia de positivo a negativo, el **nivel** registra un máximo local.
10. Cuando el **flujo** neto cambia de negativo a positivo, el **nivel** registra un mínimo local.
11. El cambio del **nivel** durante un periodo corresponde a la distancia del *flujo* neto de cero durante el mismo periodo
12. Cuando el *flujo* neto cambia de cero a positivo, el **nivel** empieza a crecer.
13. Cuando el *flujo* neto cambia de positivo a cero, el **nivel** deja de crecer.



# Haciendo el punto

## Resumen

Un modelo puede ser cuantitativo y representar la estructura de la situación que indagamos. Ésta consiste de variables, que son de diferentes tipos: acumuladores, flujos y auxiliares. Las variables se miden en determinadas unidades de medida. Entre ellas hay vínculos de causalidad (con dirección y polaridad). Es importante comprender el significado del tiempo. El tiempo se organiza en momentos y periodos. Los acumuladores se refieren a momentos y los flujos se refieren a periodos.

Repitamos las reglas. Se proponen las siguientes reglas generales para distinguir flujos y niveles (RGD):

- 1) Si se refiere a una cantidad que se puede medir en un momento determinado, entonces es un nivel.
- 2) Si se refiere a una cantidad que se ha movido o cambiado durante un periodo, entonces es un flujo.

Las reglas generales para relacionar flujos y niveles (RGR) son:

- 1) Cuando el flujo es nulo, el nivel es constante.
- 2) Cuando el flujo es positivo y constante, el nivel del acumulador aumenta linealmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo.
- 3) Cuando el flujo es negativo y constante, el nivel del acumulador disminuye linealmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo.
- 4) Cuando el flujo es positivo y crece constantemente, el nivel del acumulador crece exponencialmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo durante los respectivos periodos de tiempo distinguidos.
- 5) Cuando el flujo es negativo y disminuye constantemente, el nivel del acumulador disminuye exponencialmente; el cambio del nivel es igual a la magnitud del flujo durante los respectivos periodos de tiempo distinguidos.
- 6) Cuando el flujo cambia de positivo a negativo, la pendiente del cambio de nivel cambia entre positivo y negativo y entonces el nivel del acumulador se encuentra en un máximo local.
- 7) Cuando el flujo cambia de negativo a positivo, la pendiente del cambio de nivel cambia entre negativo y positivo y entonces el nivel del acumulador se encuentra en un mínimo local.
- 8) El nivel del acumulador no cambia entre el fin de un periodo y el inicio del periodo siguiente.

## Bibliografía

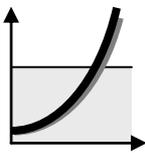
Booth-Sweeney, L. and Sterman, JD., 2000. "Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory", *System Dynamics Review* 16(4): 249–286

Kainz, D. and Ossimitz, G., 2002. "Can Students learn Stock-Flow-Thinking? An empirical Investigation". 2002 *Conference of the System Dynamics Society*, Palermo, Italy. (CD)

Ossimitz, G., 2002. "Stock-Flow-Thinking and Reading stock-flow-related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities", 2002 *System Dynamics Conference*, Palermo, Italy (CD)

Schaffernicht, M., 2005. "Are you experienced? - A model of learning systems thinking skills" *Proceedings of the 23rd International System Dynamics Conference*, Boston, MA., 2005 (CD)

Schaffernicht, M., 2005. "Reconocer y estimar flujos y niveles: primeros resultados de un estudio empírico", *Actas del Tercer Congreso Latinoamericano de dinámica de sistemas*, Cartagena de Indias (Colombia), Noviembre, 2005



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

¿Cuáles son los elementos de un "diagrama de Forrester"?

¿Cómo hay que ordenar estos elementos para formar un bucle de retroalimentación?

¿Qué es lo que podría significar "IDA" y cómo se relaciona con el trabajo de "toma de decisión"?



*Parte 2 –  
Las estructuras de  
retroalimentación y  
sus conductas típicas*

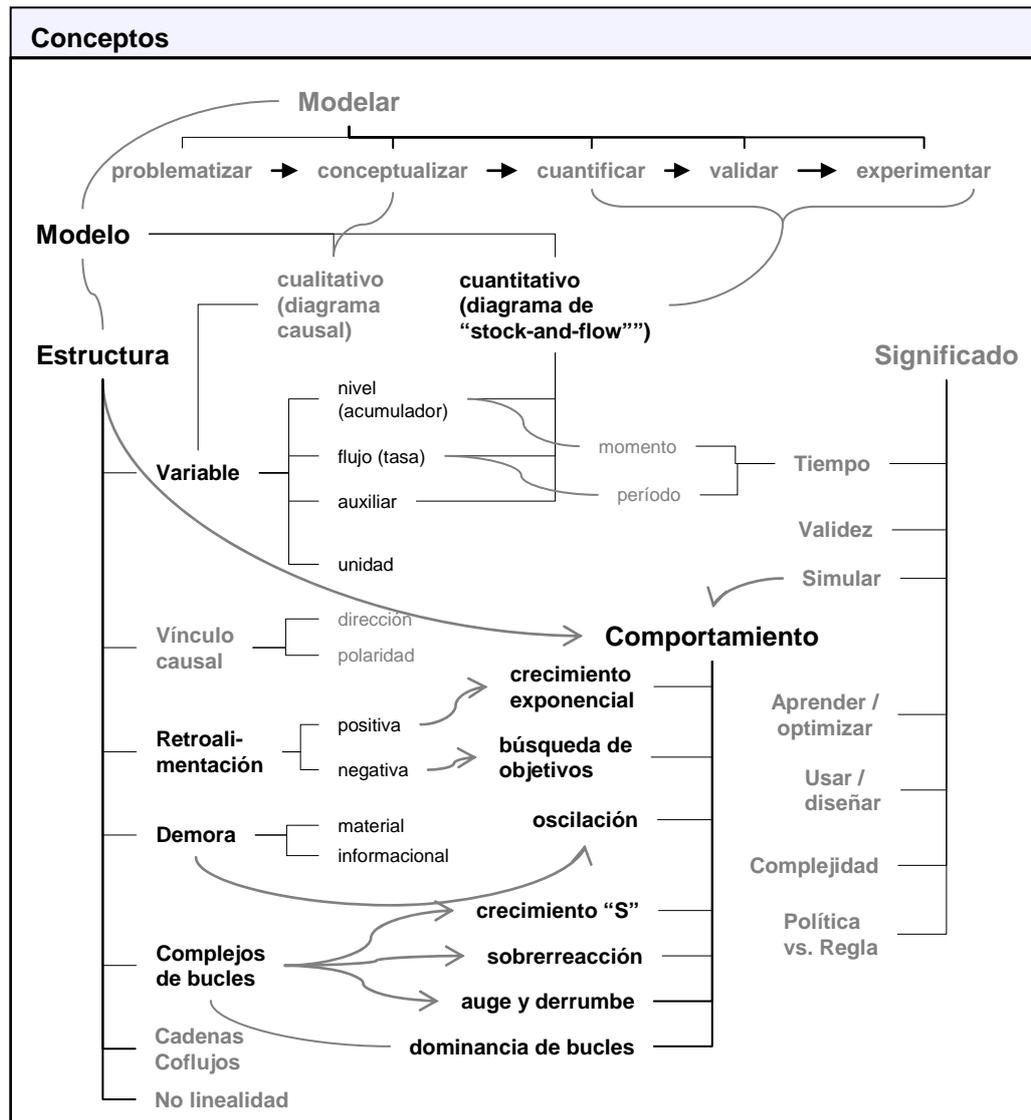


## Introducción a la parte 2

### Objetivo

Conocer las estructuras básicas de un modelo de dinámica de sistemas – los bucles de retroalimentación – y comprender cómo genera la conducta típica. Poder diagnosticar la presencia de ciertas estructuras a partir de la conducta de una variable.

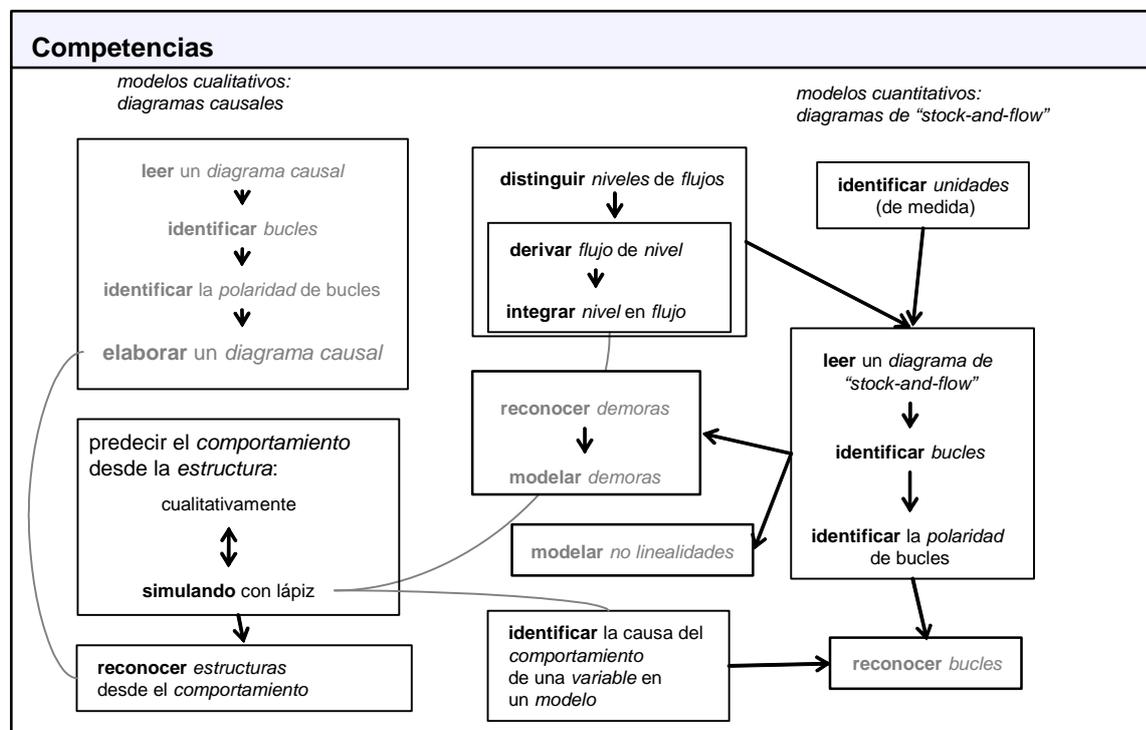
### Conceptos



Un Modelo cuantitativo representa una estructura de variables (de diferentes tipos) y vínculos causales (con dirección y polaridad). Algunos de los vínculos tienen una demora. Juntos forman bucles de retroalimentación (positiva o negativa). Esta estructura genera el comportamiento del modelo, que puede ser de diferentes tipos:

Crecimiento exponencial, búsqueda de objetivos, oscilación y diversas combinaciones como crecimiento en "S", "sobrerreacción" y "auge y derrumbe".

## Competencias



## Acerca de las estructuras básicas y su comportamiento

Las estructuras genéricas son prácticas

La dinámica de sistemas parte del supuesto que las conductas de un sistema siempre son generadas por su estructura causal, que en general forma uno o varios bucles de retroalimentación.

Esta parte presenta y explica varias formas de comportamiento que una variable bajo observación (representando un sistema) puede mostrar. Cada uno de estos comportamientos es causado por una estructura genérica.

No siempre hubo conocimiento de estas estructuras sistémicas. Cuando se publicó el primer texto sobre lo que hoy llamamos "dinámica de sistemas", se llamó "dinámica industrial" (Forrester, 1961). Luego aparecieron la "dinámica urbana" y la "world dynamics". A medida que se iban añadiendo otros ámbitos de "dinámica", los investigadores se encontraron con las

mismas formas de conducta y de estructura; ello dio la motivación para bautizar la disciplina como “dinámica de *sistemas*”.

Si es el caso que los sistemas que nos ocupan, generalmente se puede considerar como combinaciones y variaciones de estructuras básicas, entonces un buen conocimiento de estas estructuras nos evitará reinventar la rueda: podremos modelar más acertadamente. Esto es la razón de ser de la segunda parte del presente libro.

Las estructuras genéricas detrás de las tres conductas de la primera fila de la siguiente tabla son fundamentales (no pueden ser descompuestas en partes más elementales sin dejar de ser sistema). Los primeros tres capítulos de esta parte exploran estos tres casos. Las estructuras genéricas detrás de las tres conductas - un poco más complejas - de la segunda fila son combinaciones de las estructuras fundamentales y serán introducidas en los restantes capítulos de esta parte.

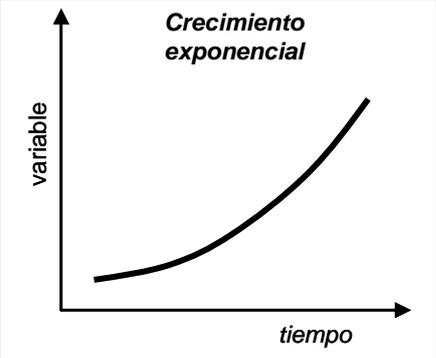
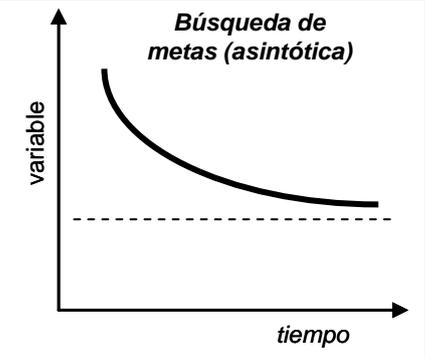
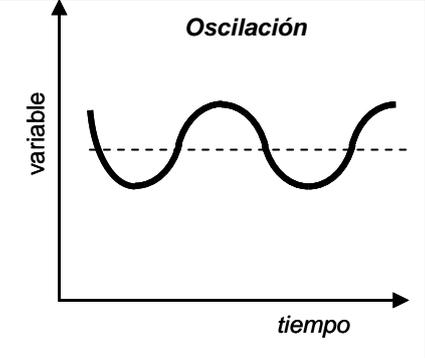
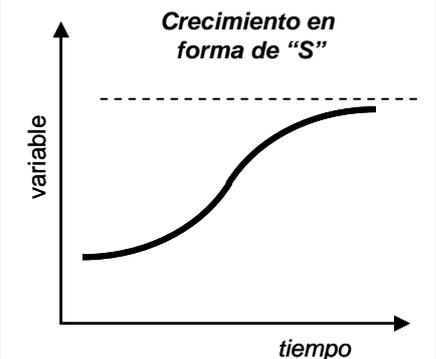
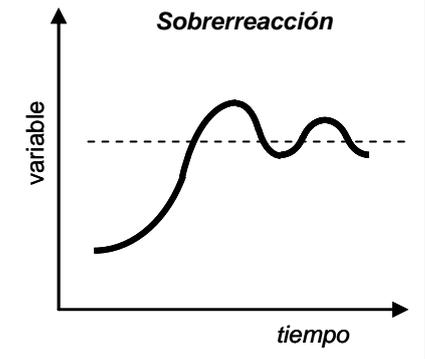
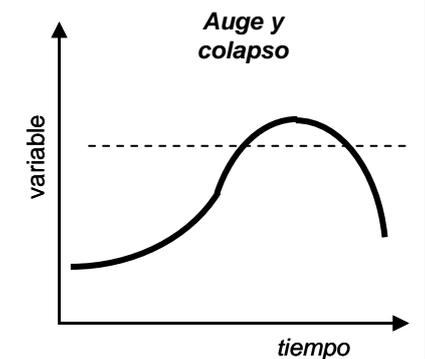
Conductas típicas generadas por estructuras de un bucle		
 <p><b>Crecimiento exponencial</b></p>	 <p><b>Búsqueda de metas (asintótica)</b></p>	 <p><b>Oscilación</b></p>
Conductas típicas generadas por estructuras con una combinación de bucles		
 <p><b>Crecimiento en forma de "S"</b></p>	 <p><b>Sobre-reacción</b></p>	 <p><b>Auge y colapso</b></p>

Tabla 6: las conductas de las estructuras genéricas simples

### La retroalimentación es imperceptible

Se ha demostrado empíricamente que los adultos no logran percibir estructuras de retroalimentación (Sterman, 1989; Moxnes, 2000, 2004). En las típicas pruebas que se usan para estos propósitos, las situaciones son a veces tan simples como proponer un juego de simulación con un único

bucle de retroalimentación. Sin embargo, los sujetos-jugadores no se dan cuenta de su existencia. O, cuando se les avisa de la presencia de un bucle de retroalimentación, no logran tomarlo en cuenta adecuadamente.

Todo lo que sabemos hoy, nos indica que no somos capaces de reconocer los bucles de retroalimentación cuando nos topamos con ellos. Sin embargo, del mismo modo como podemos llegar a reconocer la cara de una persona familiar, es posible llegar a reconocer qué bucles de retroalimentación *deben* estar presentes en diversas situaciones, cuando percibimos ciertas conductas reveladoras. Y al revés, nos podemos habituar a anticipar la conducta de una estructura de retroalimentación.

Para llegar a comprender bien estas seis estructuras y su comportamiento, es imprescindible realizar las actividades de exploración sugeridas en cada uno de los capítulos: Usted no intentaría aprender a lanzar un boomerang solamente leyendo el manual de uso – pues imagínese que aprender a apreciar la dinámica de estas estructuras es muy similar.

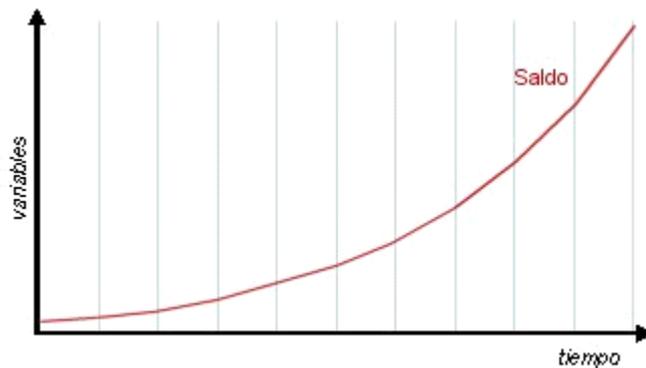
Para cada una de las seis estructuras, hay una actividad de exploración guiada, paso a paso; luego a usted se le solicita encontrar un ejemplo y modelarlo, siguiendo una pauta preestructurada. Los documentos para estas actividades se encuentran en el sitio web que acompaña el libro.

## 5. Retroalimentación positiva y amplificación

### Presentación conceptual

Si usted abre una cuenta de ahorro en un banco, con un depósito inicial  $d$  y una tasa de interés fija  $t_i$  ¿qué sucederá con el saldo en su cuenta a través de los años (si no retira el dinero y el banco deposita los intereses en la misma cuenta)?

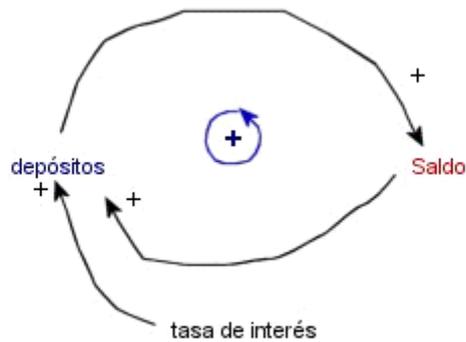
Correcto, va a ir aumentando:



*Ilustración 67: un ejemplo de crecimiento exponencial*

Lo mejor es que aumentará cada vez más: si al final del primer periodo, el banco tuvo que pagar un monto de intereses de  $m_i = d * t_i = \$1.000$ , entonces al final del segundo periodo, será más de  $\$1.000$ . ¿Por qué? Porque los  $\$1.000$  se han depositado en su cuenta, aumentando así la base del cálculo de los nuevos intereses: durante el segundo periodo, hubo  $d + d*t_i$  en su cuenta, y entonces el nuevo momento de intereses ganados es  $(d + d*t_i) * t_i$ .

En otras palabras, el saldo  $d$  influye en el monto de interés ganado  $m_i$ , pero a su vez,  $m_i$  influye en  $d$ . Como diagrama causal, esto se presenta de la siguiente manera:



*Ilustración 68: un ejemplo de retroalimentación positiva*

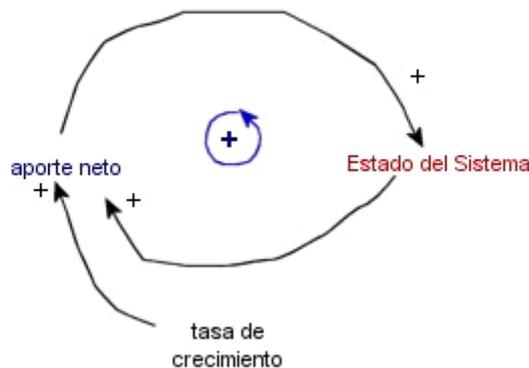
En este "diagrama de bucle causal", cada variable es representada por su propio nombre. Las flechas representan una "causa"; el sentido de la flecha muestra su dirección y el "+" o "-" indican su polaridad. Un "+" significa que la dirección del cambio introducido en la variable causante es conservado; el "-" indica que se invierte.

A veces, un conjunto de flechas permite, a partir de una determinada variable, de "dar una vuelta" a través de un conjunto de variables y volver a la inicial. En estos casos la causalidad es tal que un cambio en una determinada variable vuelve a incidir en esta misma variable: hablamos de retroalimentación.

Los "bucles" o "loop" de retroalimentación se señalan en los diagramas mediante un bucle cerrado con una letra; en el caso de la retroalimentación "positiva" o "reforzadora", es una "R".

De forma abstracta, es decir saliendo del ejemplo del banco, la estructura de este pequeño sistema cerrado causa la siguiente evolución a las variables:

"Loop" de Retroalimentación positiva



*Ilustración 69: ejemplo abstracto de retroalimentación negativa*

Este diagrama de bucle causal expresa que un *aporte neto* adicional hará que el **Estado del sistema**<sup>2</sup> aumente (en relación con lo que habría sido sin esta cantidad adicional). También el aumento en el **Estado del sistema** causará un *aporte neto* adicional. Asimismo, un aumento en la tasa de crecimiento causará un aporte neto más grande.

Las dos variables se encuentran, entonces, en un sistema de causalidad circular, o en otras palabras: operacionalmente o lógicamente cerrado.

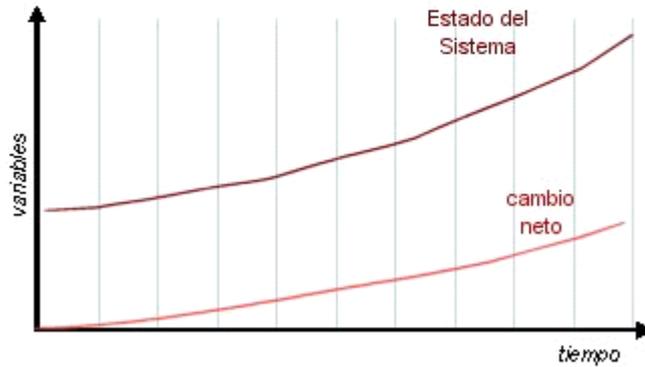
Aplicando el método de detección de la polaridad, se encuentra que es positiva: el signo del cambio se conserva.

? ¿Cuál será el comportamiento resultante de las dos variables *aporte neto* y **Estado del sistema**? Intente imaginárselo y siga leyendo.

---

<sup>2</sup> A partir de aquí, las variables de los modelos que trabajamos mediante Vensim, aparecerán en fuente Courier y sin acentos (porque Vensim funciona en inglés y no reconoce ni procesa fiablemente los caracteres con acento).

## Crecimiento exponencial



*Ilustración 70: crecimiento exponencial en abstracto*

? ¿Qué pasó? Los valores que toman las dos variables – **Estado del sistema** y *cambio neto* - suben conjuntamente, de periodo en periodo. Puesto que uno es la base del próximo cambio del otro, su comportamiento es uno de crecimiento exponencial: una base más elevada conduce a un cambio más elevado, y un cambio más elevado a una nueva base aún más elevada.

Es importante reconocer que un bucle de retroalimentación positiva también puede operar como ciclo vicioso: si el *aporte neto* es negativo en el inicio, entonces se desencadena un decrecimiento exponencial.

## Elaboración práctica

### Presentación textual del argumento

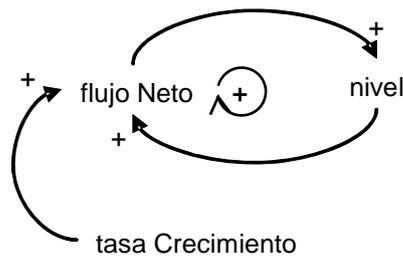
#### *Descripción del contexto*

Tenemos un sistema con una variable de nivel (un acumulador), que puede ser representante de una cuenta, una bodega, una tienda, etcétera. Mediremos las respectivas cantidades en “unidades”.

Este nivel cambia de acuerdo a un flujo neto, que se mide en “unidades/mes” (siendo el mes el periodo de base).

La fuerza de este crecimiento depende de una tasa de crecimiento (porcentaje).

*Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 71: diagrama de bucle causal de la exploración*

*Asignación de fragmentos a variables*

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- **Nivel** es la variable de nivel que representa la cantidad de “unidades” que se encuentran en cada momento.
- *flujo Neto* es la variable de flujo que cambia la cantidad observable en “Nivel”, medido por mes (es decir: “unidades por mes”).

Modelo de simulación

*Diagrama*

Abra Vensim PLE <sup>3</sup>. Recomendamos expresamente que usted elabore paso a paso este modelo. Sin embargo, el material que acompaña el libro, incluye el modelo “crec\_exp\_sim.mdl”, que corresponde al resultado final de esta elaboración.

Mire la barra de herramientas bajo los menús



*Ilustración 72: la barra de herramientas de construcción de modelos de VENSIM*

y seleccione la herramienta “Level” (nivel en inglés) . Haga clic en alguna parte de la hoja de diagramación para crear una variable de nivel; déle el nombre “NIVEL”:

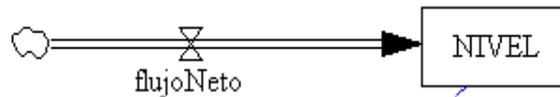


*Ilustración 73: un acumulador en VENSIM*

<sup>3</sup> Si no dispone de este software, vea el documento “Descargar e instalar Venism PLE” en el sitio web del libro

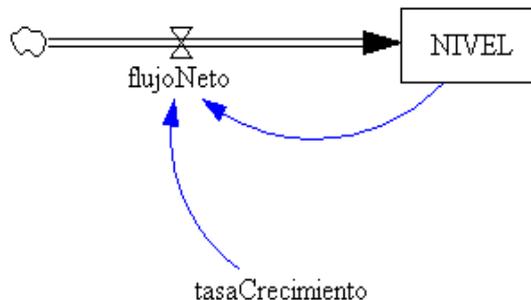
Si por algún motivo desea borrar una variable, debe seleccionar  (“pacman”) y hacer un clic sobre el objeto por eliminar.

Ahora seleccione la herramienta “rate” (para variables de flujo) . Posicione el mouse a la izquierda del “nivel”, empuje el botón (izquierda) y arrastre encima del “nivel”. Digite el nombre “flujoNeto”. El resultado debe ser:



*Ilustración 74: un “recurso” en VENSIM*

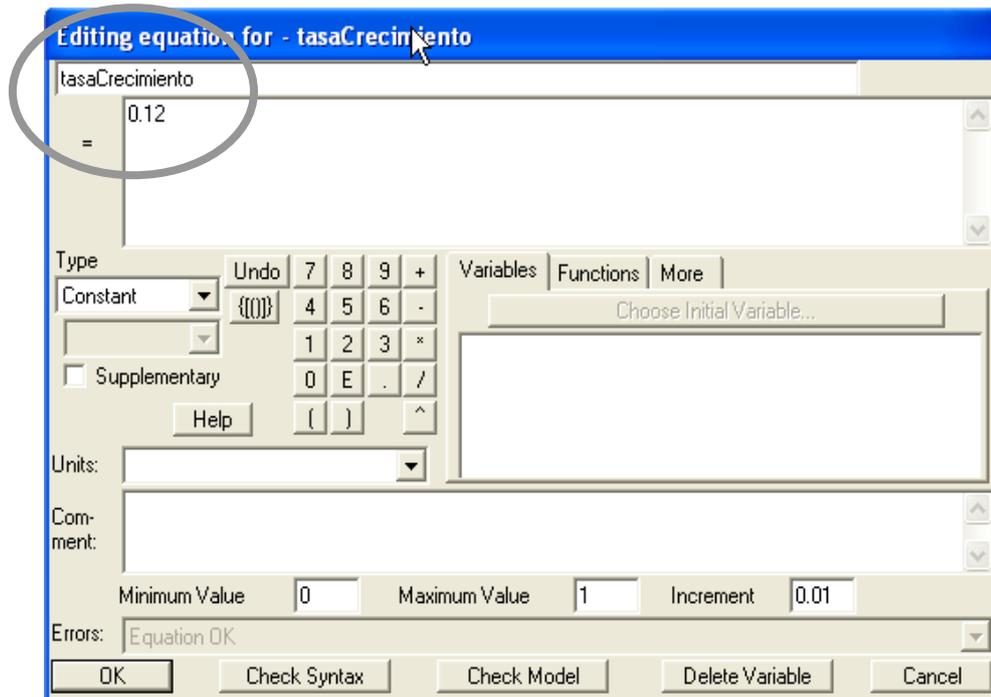
Ahora seleccione la herramienta para variables auxiliares  y cree una variable auxiliar llamada “tasaCrecimiento”. Seleccione la herramienta de flujo de información (“arrow”) , empuje el mouse (botón izquierdo) sobre “tasaCrecimiento” y arrastre encima de “flujoNeto”. Crea otro flujo de información desde “Nivel” hacia “flujoNeto”. Ahora tiene:



*Ilustración 75: un sistema simple de retroalimentación positiva en VENSIM*

### **Ecuaciones**

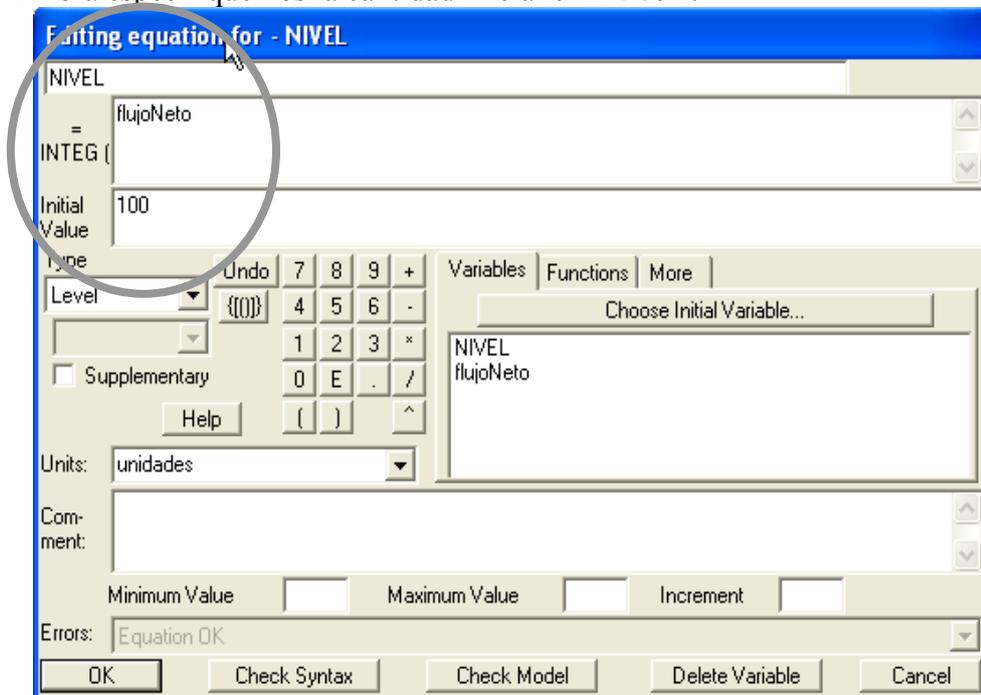
Antes de poder simular, tenemos que especificar las cantidades y las reglas de cómputo. Para hacer esto, seleccionamos la herramienta de “ecuaciones” . Ahora un clic encima de una variable abre la ventana de especificación de ecuaciones. Comencemos con “tasaCrecimiento”:



*Ilustración 76: diálogo de especificación de auxiliares en VENSIM*

Digite 0.12 en la zona de edición y seleccione “Constant” en la lista desplegable “Type”. Ponga 0 como valor mínimo, 1 como máximo y defina incrementos de 0.01. Termine con “OK”.

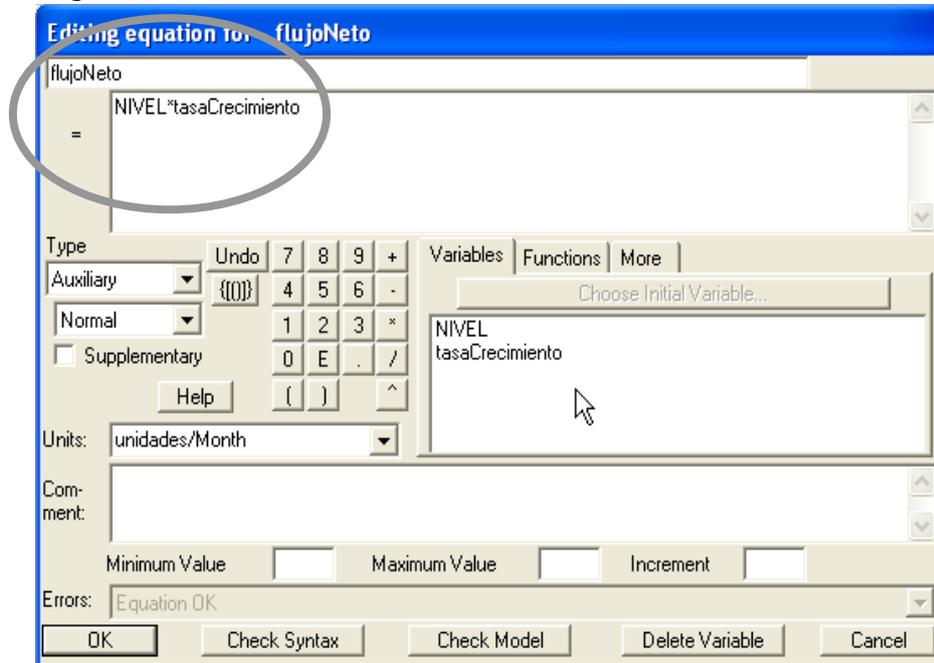
Ahora especifiquemos la cantidad inicial en “Nivel”:



*Ilustración 77: diálogo de especificación de acumuladores en VENSIM*

Aquí Vensim ya nos ha ayudado: “NIVEL = INTEG(flujoNeto)”. Nosotros especificamos solamente el “initial value” (valor inicial), con un valor de 100. Las “units” deben ser “unidades” (lista desplegable). OK.

Finalmente, tenemos que decir a Vensim cómo debe calcular los valores de “flujoNeto”:



*Ilustración 78: diálogo de especificación de flujos en VENSIM*

En la sección “Variables”, aparecen las variables que hemos conectado con “flujoNeto” a través de una flecha de flujo de información. Un clic encima de una de estas variables, la inscribe en la zona de edición, y así componemos “NIVEL \* tasaCrecimiento”. Especificamos en “Unit” que se trata de “unidades/Month” (Vensim no conoce “mes”, solamente “Month”) y OK.

Ahora se ve que ninguna de las variables queda en negro: así Vensim nos señala si quedan variables con definición incompleta.

Estamos listos para simular. Su modelo es ahora idéntico al modelo “crec\_exp\_sim.mdl” en el sitio web del libro.

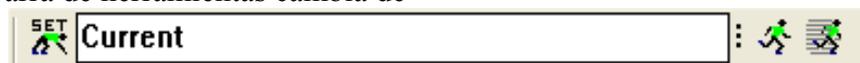
**Exploración de conducta**

El modo más interesante de simulación con Vensim es el de “synthesym”:



Haga clic encima de este icono. Se abre un mensaje que avisa que el “dataset” (el conjunto de datos: Vensim almacena los valores de las diferentes variables en un conjunto estructurado para cada ejecución de la simulación): conteste “Si”.

La barra de herramientas cambia de



*Ilustración 79: barra de ejecución de VENSIM en modo diseño*

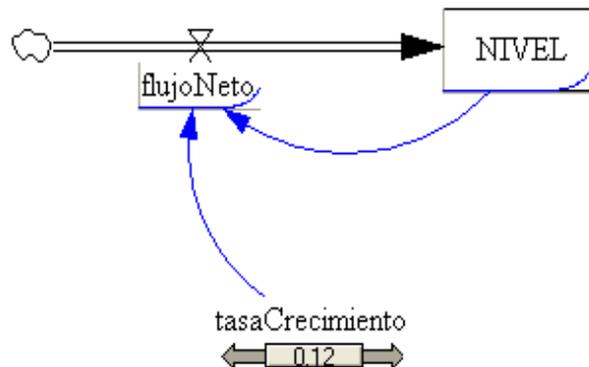
## Retroalimentación positiva y amplificación

a



*Ilustración 80: barra de ejecución de VENSIM en modo ejecución*

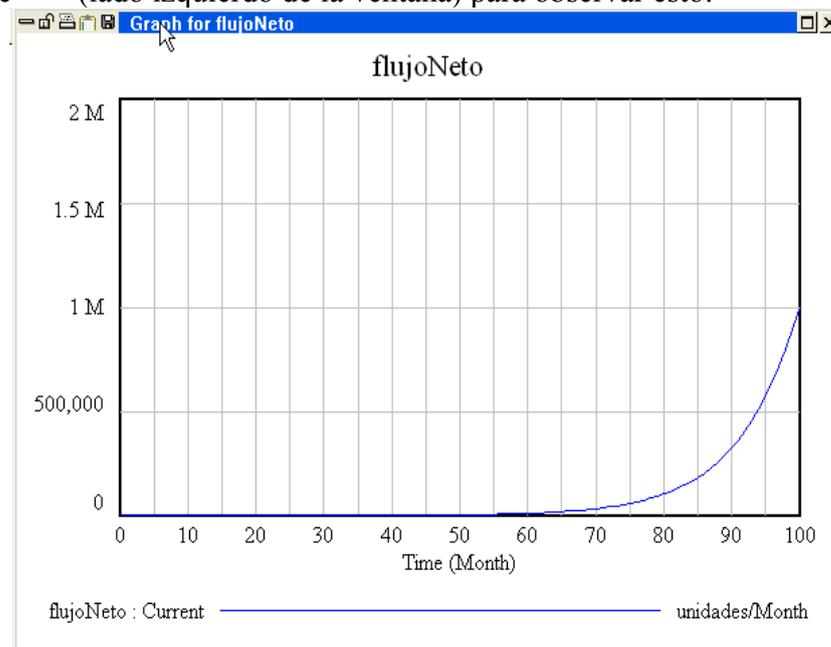
y en la zona del diagrama vemos – además de la estructura del modelo – las líneas de tiempo de las variables “NIVEL” y “flujoNeto”. Adicionalmente, podemos cambiar los valores de “tasaCrecimiento”.



*Ilustración 81: el modelo simple en modo de ejecución*

Para ver más precisamente la conducta de cada variable, podemos usar diversos paneles de graficación. Haga clic encima de “flujoNeto” y

active  (lado izquierdo de la ventana) para observar esto:



*Ilustración 82: un gráfico de una variable en VENSIM*

Haga variar “tasaCrecimiento” entre 0 y 1.

Con una tasa de crecimiento de 0%, no debe ser sorprendente que no haya crecimiento. Con todos los otros valores, usted verá siempre la misma forma de conducta: crecimiento exponencial.

Si no es posible obtener otra forma de conducta, entonces tenemos que concluir que esta estructura hace siempre lo mismo y nunca otra cosa.

Para ver lo mismo junto con la variable que causa esta conducta, haga clic en  para ver lo siguiente:

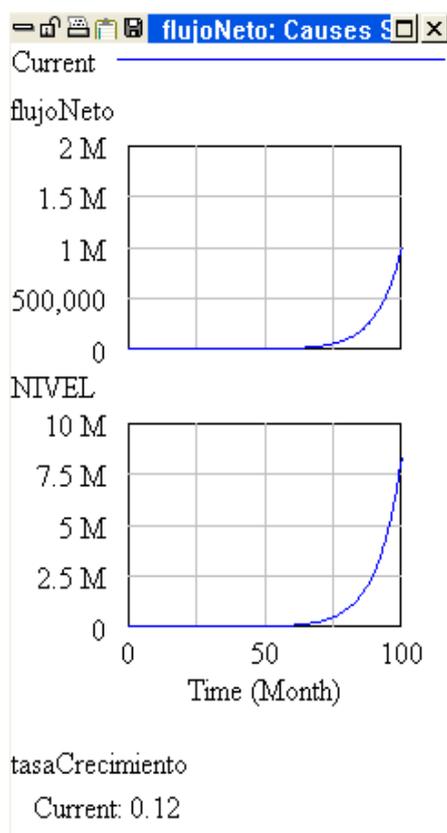


Ilustración 83: un gráfico de “cause strip” en VENSIM

En conclusión, la retroalimentación positiva genera una conducta exponencial.



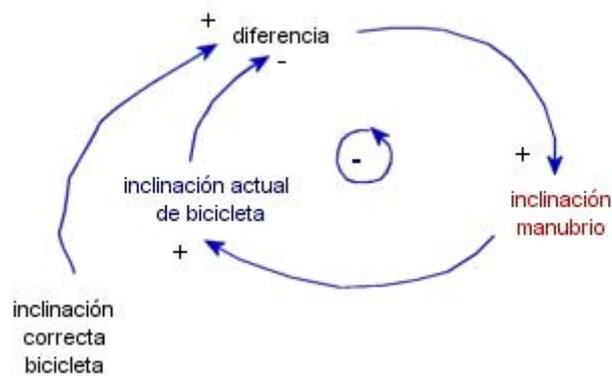
Para ir más allá: el “modelo general” es un ejemplo de este tipo de sistema. Pruébalo con los parámetros siguientes:

**natalidad máxima > mortalidad máxima** (por ejemplo 0.04 y 0.03, respectivamente)

## 6. Retroalimentación negativa y estabilización

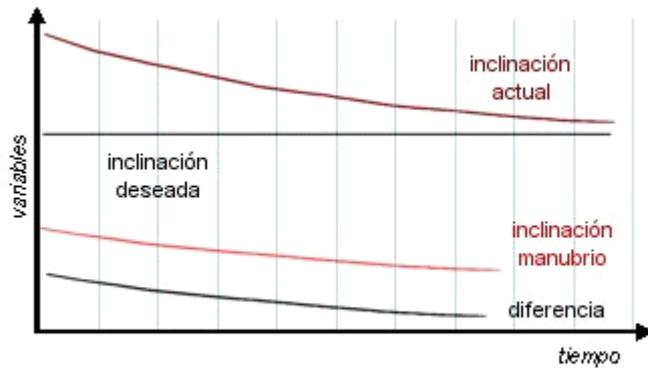
### Presentación conceptual

En la mayoría de las situaciones que enfrentamos, tenemos que asegurarnos que "las cosas" van como queremos que vayan. Algunos ejemplos de este tipo de situación son los siguientes:



*Ilustración 84: ejemplo de un bucle negativo*

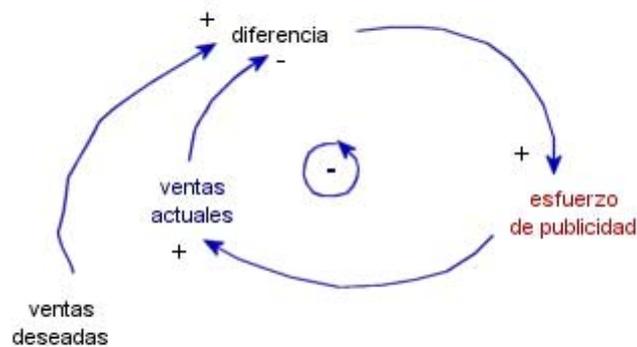
Andando en bicicleta, intentamos no caernos; para esto, es importante que (sin tomar en cuenta la fuerza centrífuga) mantengamos un ángulo recto en relación con el suelo: esto es la inclinación correcta de la bicicleta. Nuestro sentido del equilibrio verifica en cada instante si esto ocurre, es decir establece cuál es la **inclinación actual** de la bicicleta; si se detecta una diferencia, entonces *ajustamos* la **inclinación del manubrio**, dirigiéndolo en el sentido de nuestra inclinación. Esto genera una fuerza centrífuga que trae el cuerpo de vuelta en posición vertical, y la diferencia disminuye.



*Ilustración 85: estabilización en el ejemplo*

Cuando la diferencia es alta, la inclinación del manubrio también lo es; con el transcurso del tiempo, los valores de ambas variables disminuyen, acercándose a la meta, en este caso la inclinación deseada.

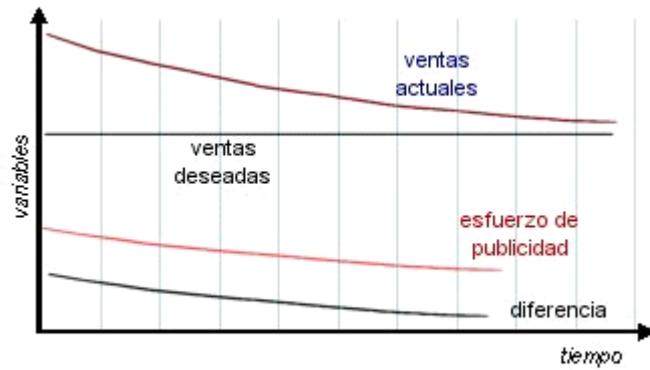
Otro ejemplo: una empresa detecta que las ventas bajan (una diferencia entre las ventas deseadas y las **ventas actuales**), sin que la meta se haya bajado; puede decidir hacer un *esfuerzo de publicidad* para "corregir" esta diferencia entre el volumen de **venta deseado** y el **actual**.



*Ilustración 86: segundo ejemplo de un bucle negativo*

La diferencia hace aumentar el esfuerzo de publicidad, que a su vez aumenta las ventas actuales, por lo cual disminuye la diferencia.

## Retroalimentación negativa y estabilización

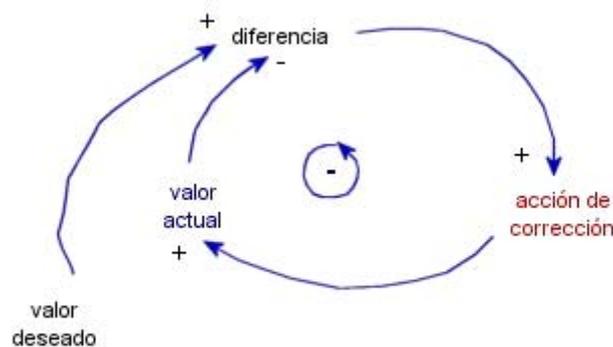


*Ilustración 87: comportamiento del segundo ejemplo*

La línea en el tiempo ilustra cómo las ventas actuales se acercan a la “meta” de ventas deseadas: de acuerdo a cómo la diferencia va achicándose, también se reduce el esfuerzo de publicidad.

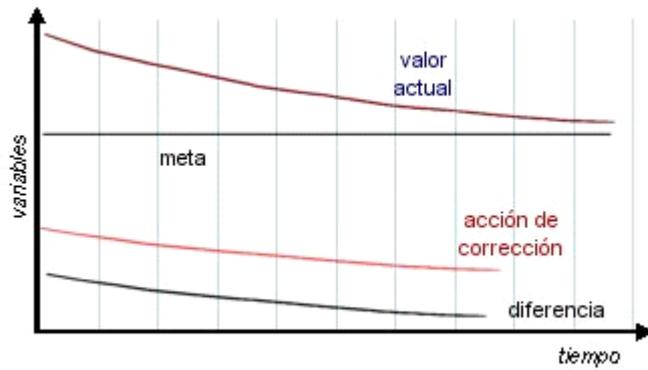
En general, cuando nos sentimos mal, emprendemos acciones con el propósito de volver a sentirnos bien. En determinados ámbitos, esto se critica frecuentemente como "flojera": una persona que ya está logrando lo que se ha propuesto, deja de esforzarse para lograr más. Esto, ¿es verdad que los estudiantes son así?

En términos genéricos:



*Ilustración 88: visión abstracta del bucle negativo*

La diferencia entre los valores deseado y actual de una variable influye – con polaridad positiva – en una acción de corrección. Ésta aumenta el valor actual, disminuyendo así la diferencia. Es la esencia de la auto-estabilización.



*Ilustración 89: comportamiento del caso abstracto*

Se fija un valor deseado que actuará como meta. Luego se mide el **valor actual** y se calcula la diferencia; en función de ésta, se aplica una **acción de corrección** (esperando que así la próxima medición del **valor actual** revele una diferencia más pequeña).

La retroalimentación negativa es la "madre de la gestión": sin ella, no es imaginable ninguna situación en la cual un responsable puede detectar la necesidad de actuar.

## Elaboración práctica

### Presentación textual del argumento

#### *Descripción del contexto*

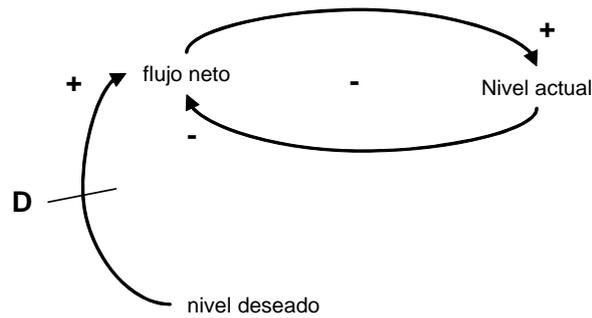
Tenemos un sistema con una variable de nivel (un acumulador), que puede ser representante de una cuenta, una bodega, una tienda, etcétera. Mediremos las respectivas cantidades en "unidades".

Este nivel cambia de acuerdo a un flujo neto, que se mide en "unidades/mes" (siendo el mes el periodo de base).

Se desea que el nivel se dé una determinada magnitud (cantidad de unidades): existe un objetivo o cantidad deseada.

La cantidad que el flujo aporta o quita al nivel (en un periodo de tiempo) depende de la diferencia entre los niveles deseado y actual. Esta corrección toma tiempo (en dinámica se dice que es una "demora").

*Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 90: DBC del ejemplo de exploración*

Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- “Nivel actual” es la variable de nivel que representa la cantidad de “unidades” que se encuentran en cada momento.
- “flujoNeto” es la variable de flujo que cambia la cantidad observable en “Nivel”, medido por mes (es decir: “unidades por mes”).
- “Nivel deseado” es una variable auxiliar.
- “tiempo necesario” representará el tiempo necesario para que la corrección cobre efecto.

Modelo de simulación

*Diagrama*

Abra Vensim PLE. Recomendamos que usted elabore paso a paso el siguiente modelo; no obstante, el material acompañante incluye el modelo “correccion\_sim.mdl” que es idéntico al que vamos a construir. Mire la barra de herramientas bajo los menús



*Ilustración 91: herramientas de modelamiento de VENSIM*

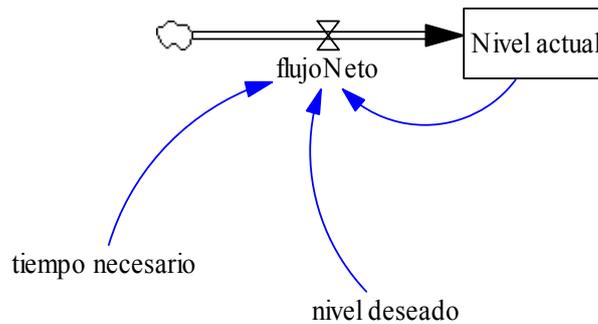
Recuerde la función de las diferentes herramientas:

- Acumulador (nivel)
- Flujo (físico)
- Flujo de información
- Variable auxiliar (convertidor de información)
- Eliminar



## Ecuaciones

Se recomienda construir el diagrama en un determinado orden: primero los acumuladores, luego los flujos físicos, seguido por las auxiliares y, finalmente, los flujos de información. Procediendo de este modo, elabore el siguiente diagrama:



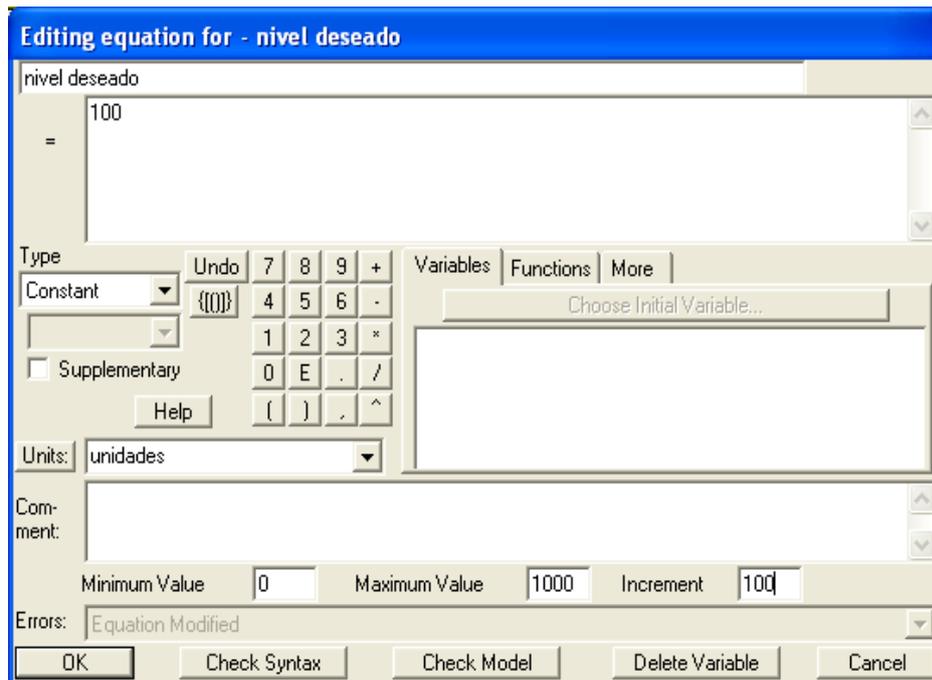
*Ilustración 92: modelo de exploración de bucle negativo*

## Ecuaciones

Antes de poder simular, tenemos que especificar las cantidades y las reglas de cómputo. Para hacer esto, seleccionamos la herramienta de “ecuaciones”



Ahora un clic encima de una variable abre la ventana de especificación de ecuaciones. Comencemos con “nivel deseado”:

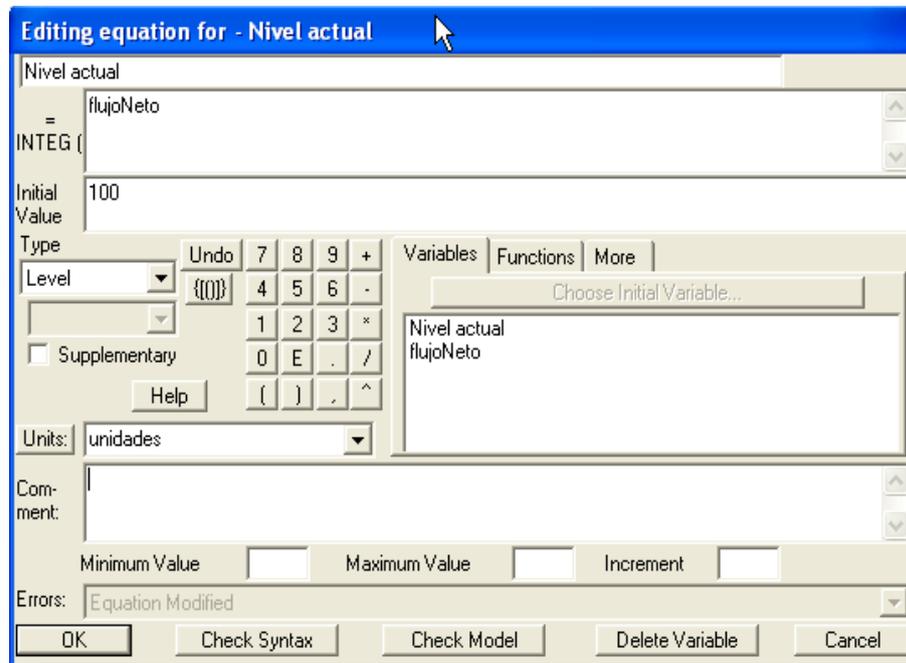


*Ilustración 93: especificar una auxiliar*

## Retroalimentación negativa y estabilización

Digite 100 en la zona de edición y seleccione “Constant” en la lista desplegable “Type”. La unidad de medida es “unidades”. Ponga 0 como valor mínimo, 1000 como máximo y defina incrementos de 100. Termine con “OK”.

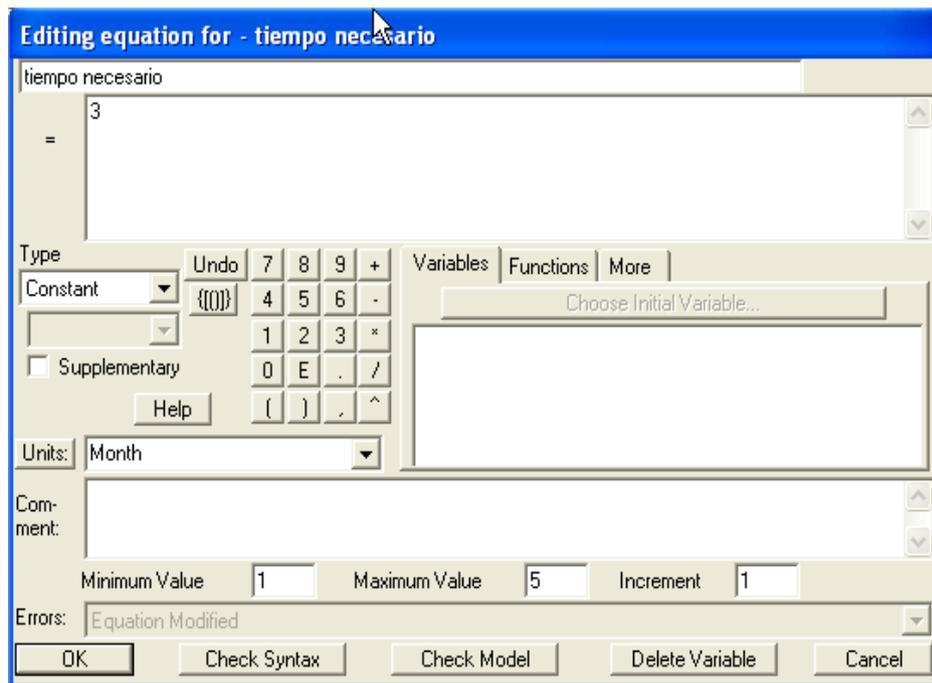
Ahora especifiquemos la cantidad inicial en “Nivel actual”:



*Ilustración 94: especificar un acumulador*

Aquí Vensim ya nos ha ayudado: “Nivel actual = INTEG(flujoNeto)”. Nosotros especificamos solamente el “initial value” (valor inicial), con un valor de 100. Las “units” deben ser “unidades” (lista desplegable). OK.

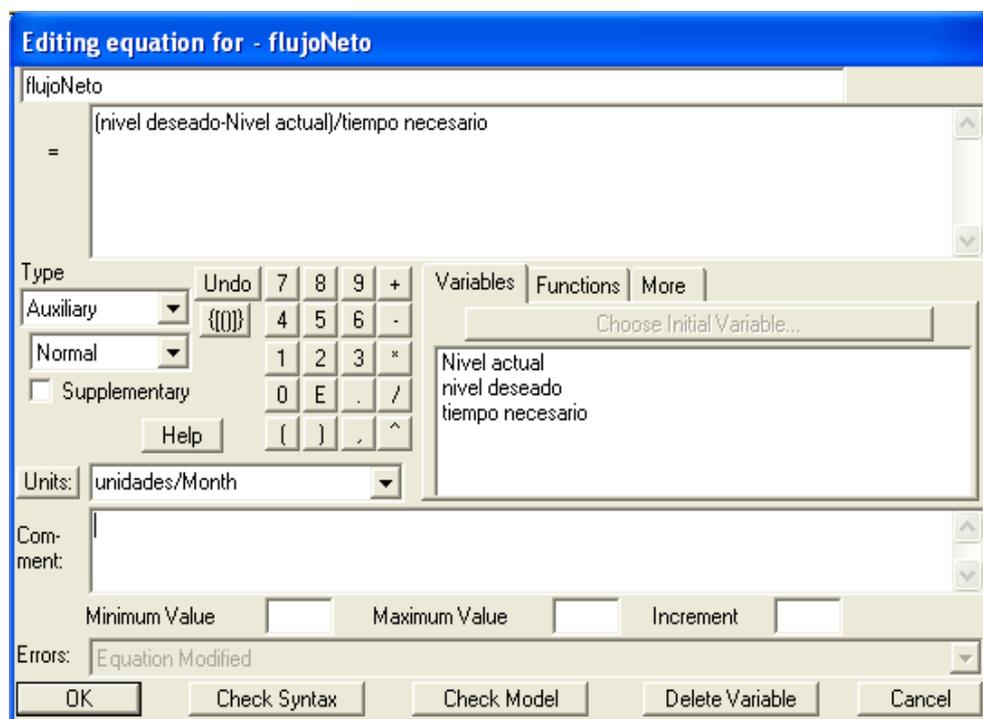
Ahora fijemos la cantidad de periodos que la corrección decidida se demora para cobrar efecto:



*Ilustración 95: especificar un flujo*

Definamos esta cantidad como “3”, especificando la unidad de medida “Month”. Adicionalmente, el mínimo se define como 1, el máximo como 5, con pasos incrementales por 1.

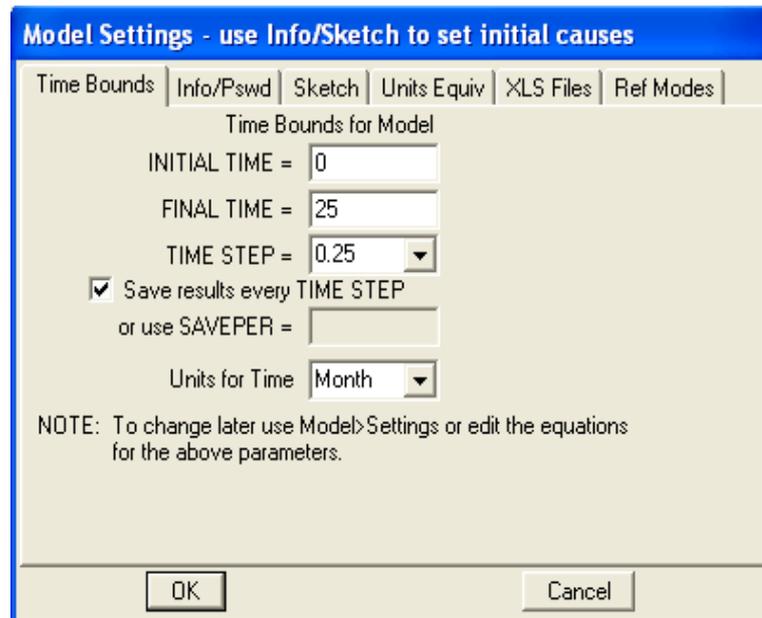
Finalmente tenemos que decir a Vensim cómo debe calcular los valores de “flujoNeto”:



*Ilustración 96: especificar otro flujo*

En la sección “Variables”, aparecen las variables que hemos conectado con “flujoNeto” a través de una flecha de flujo de información. Un clic encima de una de estas variables, la inscribe en la zona de edición, y así componemos “(nivel deseado-Nivel actual)/tiempo necesario”: la cantidad de la corrección es la diferencia entre deseado y actual, pero se distribuye en el tiempo. Especificamos en “Unit” que se trata de “unidades/Month” (Vensim no conoce “mes”, solamente “Month”) y OK.

Elija el menú “Model”, opción “Settings”:



*Ilustración 97: el diálogo de configuración de la simulación de VENSIM*

y defina “FINAL TIME” como 25 (vamos a simular 25 periodos). Además, defina el **dt** (el número de veces que se calcula por periodo) a 0.25 (esto nos dará gráficos más suaves).

Ahora se ve que ninguna de las variables queda en negro: así Vensim nos señala si quedan variables con definición incompleta.

Estamos listos para simular. Ahora su modelo es idéntico a “correcion\_sim.mdl”

### Exploración de conducta

El modo más interesante de simulación con Vensim es el de “synthesym”:



Para ver más precisamente la conducta de cada variable, podemos usar diversos paneles de graficación. Haga clic encima de “flujoNeto” y



active (lado izquierdo de la ventana) para mirar esto:

Haga variar “nivel deseado” entre 0 y 400, y “tiempo necesario” entre 1 y 4. Esto da el siguiente conjunto de simulaciones:

N. des.	tiempo necesario			
	1	2	3	4
0				
100				
200				
300				

400

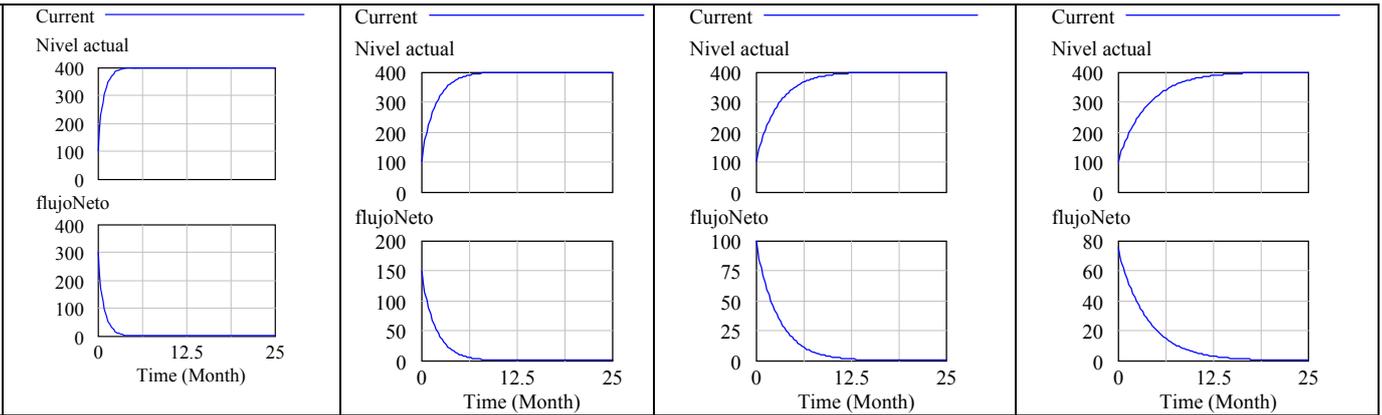


Tabla 7: exploración de la conducta del ejemplo de exploración

El “nivel deseado” gobierna la altura (eje vertical), y el “tiempo necesario”, la rapidez de la respuesta de corrección.

Siempre (menos cuando no hay diferencia) el “flujo neto” corrige la diferencia entre “nivel deseado” y “Nivel actual”

Si no es posible obtener otra forma de conducta, entonces tenemos que concluir que esta estructura hace siempre lo mismo y nunca otra cosa. En conclusión, la retroalimentación positiva genera una conducta exponencial.



Para ir más allá: el “modelo general” es un ejemplo de este tipo de sistema. Pruébalo con los parámetros siguientes:

- natalidad máxima < mortalidad máxima (por ejemplo 0.01 y 0.02, respectivamente)
- como inicializado, con mortalidad máxima = 0.05



## 7. Oscilación

### Presentación conceptual

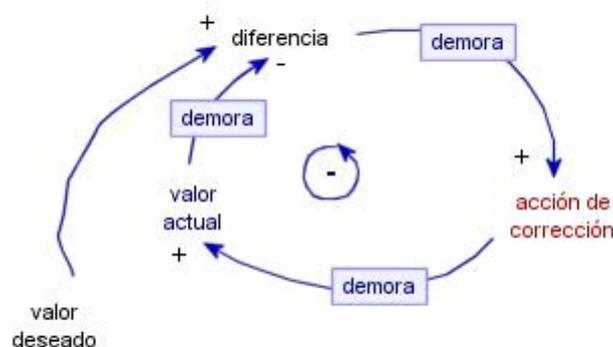
Cuando un vínculo causal de una variable representa una influencia más lenta que las otras, hablamos de *demora*. Significa que entre el momento del evento que causa y el momento del efecto causado, pasa un cierto tiempo (más que en los otros casos).

Si por ejemplo en una bodega hay que servir a la tienda cada día, pero los pedidos al proveedor se demoran 5 días en llegar, el vínculo *pedir* -> *disponible* es demorado en relación al vínculo *vender* -> *disponible*.

Si la diferencia se detecta oportunamente, pero el efecto de la acción correctiva llegará más tarde, entonces existe la posibilidad de volver a aplicar la misma acción correctiva, porque si no se ven los resultados, se genera la sensación de que no ha resultado. Esto conduce a sobre corregir. Si en el caso del ejemplo, el bodeguero pidió 4 veces la cantidad faltante (durante su espera), entonces cuando le llegan todos estos pedidos, se va a ver con sobre bodegaje.

En respuesta a la sobreexistencia, la acción correctiva será dejar de pedir. Pero esta acción será tan exagerada como la de pedir cada día de nuevo: esta es la forma como se generan oscilaciones de modo endógeno, en el sistema y sin causas externas.

Puesto que es un fenómeno muy común y muy fuerte, dedicaremos el sisTEMA7 entero a su generación (El Juego de la Cerveza).

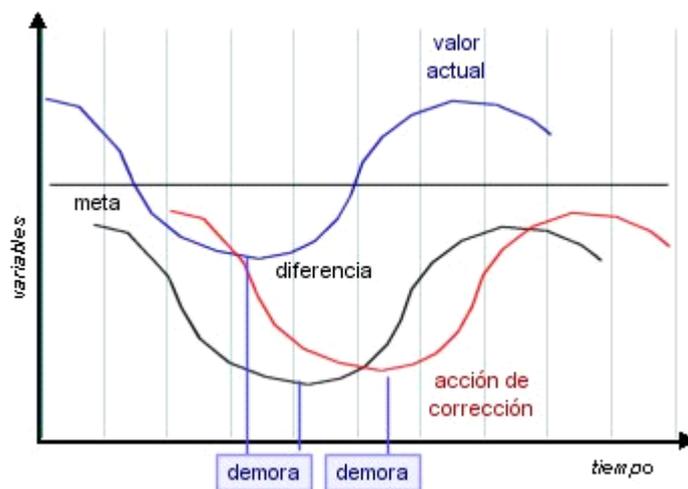


*Ilustración 98: ejemplo de modelo oscilatorio*

En relación con el bucle de retroalimentación negativa simple, ha cambiando algo muy importante: el tiempo que pasará entre la acción (o causa) y su efecto es más largo. Más tarde, dedicaremos un sistema entero a estas demoras y sus diferentes formas. Por el momento, notemos que todos los procesos requieren tiempo (se demoran), unos menos y otros más. Los que consumen más tiempo deben ser destacados, ya que no queremos confundir “el efecto vendrá más tarde” con “el efecto no vendrá”.

Sin embargo, esta confusión se produce si no tomamos precauciones especiales. La regla de corrección “aplica una acción correctiva tan grande como la diferencia entre lo deseado y lo actual”, falla en estas circunstancias, puesto que no toma en cuenta las acciones correctivas de los periodos previos – cuyo efecto aún no llegó – repite las mismas correcciones. La consecuencia de esta sobrecorrección es que posteriormente, llega el efecto de corrección varias veces y se obtiene una diferencia con el signo opuesto: si inicialmente hubo que reponer una cantidad faltante (por ejemplo en una bodega), ahora se tiene sobrestock y habrá que corregir en el sentido opuesto.

Lamentablemente, el mismo error se comete otra vez más, produciendo una sobrecorrección hacia abajo. Así se genera un comportamiento de oscilaciones:



*Ilustración 99: demoras y oscilaciones en el tiempo*

Las líneas de tiempo de valor actual (cuya diferencia con el valor deseado es el “error” que corregir) se producen en un momento dado, pero se detectan en un periodo posterior. Adicionalmente, pasa tiempo entre la acción correctiva y su efecto de corrección.

## Elaboración práctica

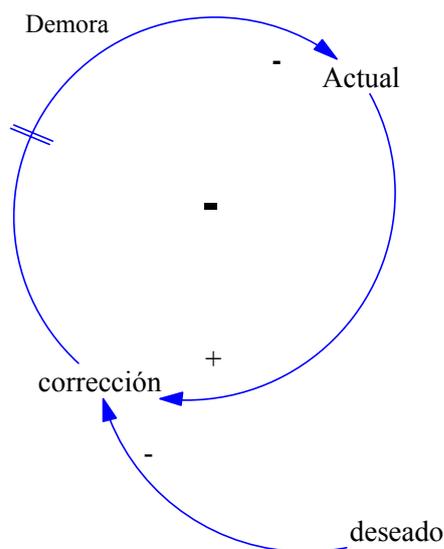
### Presentación textual del argumento

#### *Descripción del contexto*

Siempre cuando buscamos “gobernar” una variable – influir en que sus valores no se alejen demasiado de algún valor deseado – estamos en una situación de retroalimentación negativa. Muchas veces (no siempre) nos cuesta poco tiempo llegar a conocer el nivel actual; sin embargo, es muy usual que entre la aplicación de alguna acción de corrección y el momento cuando se muestra su efecto, pase un tiempo notable. Esto es lo que hemos llamado “demora”.

Supongamos entonces que se declara un nivel deseado, que se compare con el nivel actual (de algo), y en función de esta comparación se tome una corrección, pero que la corrección influya al nivel actual de manera demorada.

#### *Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 100: DBC de la exploración de la oscilación*

### Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- **Actual** es un acumulador (ya que se mide su nivel en un momento determinado)
- **Deseado** es una auxiliar; tiene las características de un acumulador, pero dado que es una constante, simplificamos el modelo representándolo como una auxiliar.

- Correccion es un flujo físico

## Modelo de simulación

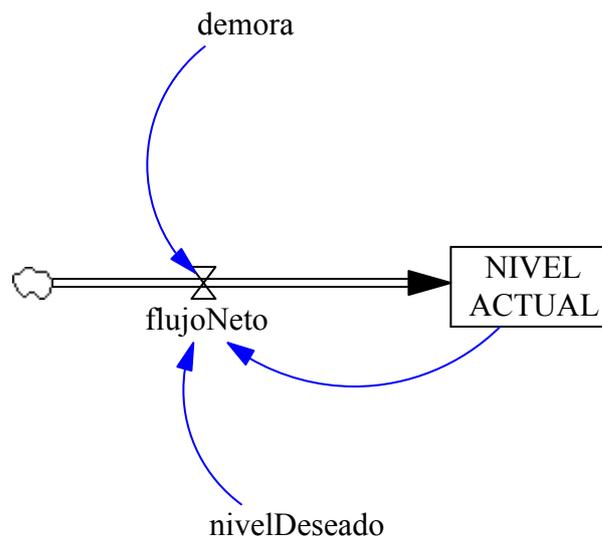
### Diagrama

Abra Vensim PLE. Recomendamos que usted elabore paso a paso el siguiente modelo; no obstante, el material acompañante incluye el modelo “oscilacion\_sim.mdl” que es idéntico al que vamos a construir.

Recuerde la función de las diferentes herramientas:

	Acumulador (nivel)
	Flujo (físico)
	Flujo de información
	Variable auxiliar (convertidor de información)
	Eliminar
	Ecuaciones

Se recomienda construir el diagrama en un determinado orden: primero los acumuladores, luego los flujos físicos, seguido por las auxiliares y, finalmente, los flujos de información. Procediendo de este modo, elabore el siguiente diagrama:



*Ilustración 101: modelo del ejemplo de exploración de la oscilación*

### *Ecuaciones*

Antes de poder simular, tenemos que especificar las cantidades y las reglas de cómputo. Para hacer esto, seleccionamos la herramienta de “ecuaciones”



Ahora un clic encima de una variable abre la ventana de especificación de ecuaciones. Usted ya sabe cómo manipular Vensim; genera las siguientes ecuaciones:

```
NIVEL ACTUAL= INTEG (flujoNeto,100)
Units: Unidades

flujoNeto=DELAY FIXED((nivelDeseado-NIVEL ACTUAL), demora, 0)
Units: Unidades/Month

nivelDeseado=1000
Units: Unidades

demora=2
Units: Month
```

Ahora, defina los siguientes parámetros para la simulación:

```
INITIAL TIME = 0
TIME FINAL TIME = 20
STEP = 0.25
```

..

Estamos listos para simular. Ahora su modelo es idéntico a “oscilacion\_sim.mdl”

### Exploración de conducta

Pase al modo de “synthesym”: . Haga clic encima de este icono. Se abre un mensaje que avisa que el “dataset” (el conjunto de datos: Vensim almacena los valores de las diferentes variables en un conjunto estructurado para cada ejecución de la simulación): conteste “Sí”.

Hay dos variables cuyos valores podemos ajustar: *demora* y *nivelDeseado*. Comparemos las simulaciones para diferentes valores. Usaremos la herramienta “causes strip” para visualizar las variables *flujoNeto* y *NIVEL\_ACTUAL*.

Observe las conductas presentadas en la siguiente página y reflexione sobre la siguiente pregunta: ¿qué efecto tiene cada una de las variables *demora* y *nivelDeseado* sobre la conducta del sistema?

Demora	nivelDeseado		
	300	1000	3000
0			
1			
2			

Tabla 8: exploración de la conducta del ejemplo de oscilación

Cuando demora es “0” – es decir cuando no hay efecto de demora – el sistema se estabiliza hacia el valor de nivelDeseado. Entonces opera como un simple sistema de retroalimentación negativa. Sin embargo, cuando demora > 0, observamos oscilaciones en flujoNeto y

## Oscilación

NIVEL\_ACTUAL. De acuerdo con los aumentos en nivelDeseado, las oscilaciones pasan de ser más amplias y tienen un tiempo de ciclo mayor; sin embargo, esto parece de poca relevancia en términos cualitativos. Pero cuando demora crece de 1 a 2, las oscilaciones – inicialmente crecientes (“*dampened*” en inglés) cambian de cualidad: se tornan crecientes.

Entonces es la variable *demora* que causa el paso de “estable” a “oscilando – estabilizándose” a “oscilando agravándose”. *La demora causa oscilaciones.*



Encuentre un ejemplo de su experiencia y desarrolle un modelo.



## 8. Crecimiento en “S”

### Presentación conceptual

La mayoría de los sistemas no crecen para siempre debido a la existencia de factores limitantes: siempre existe alguna restricción. Por ejemplo, cuando se lanza un producto nuevo, al inicio la población entera de individuos en el mercado son no-compradores, y se espera que muchos de ellos se conviertan en compradores.

Al inicio, la publicidad puede atraer cierta cantidad. Luego el efecto boca-a-boca tiende a amplificar el crecimiento, y se observa una curva exponencial. Pero a medida que la gente compra, quedan cada vez menos no-compradores, y así decaen las nuevas compras, y el crecimiento se desacelera.

Aquí, un ejemplo que se puede aplicar a muchos casos donde se trata de fenómenos de crecimiento:

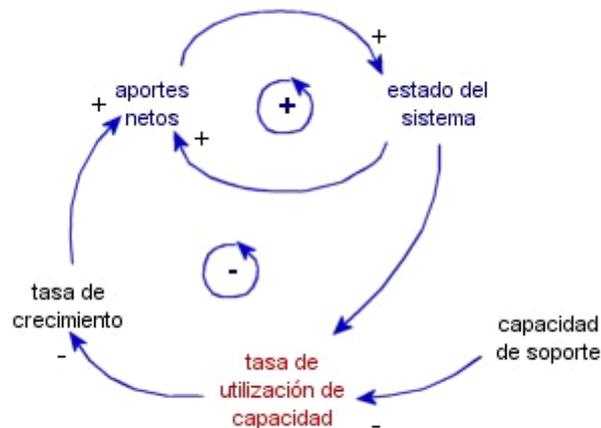
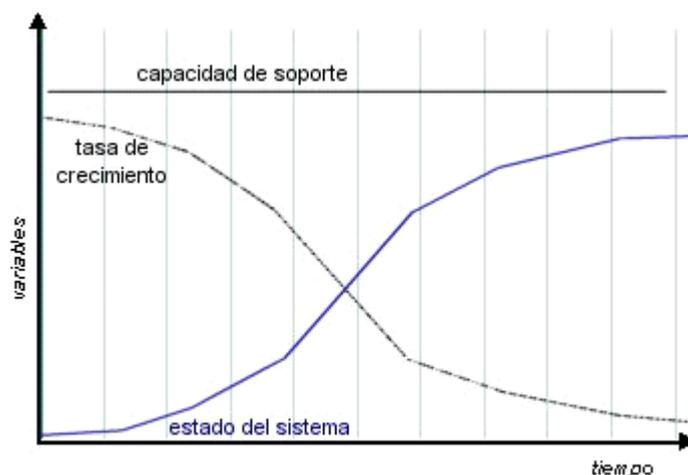


Ilustración 102: un ejemplo de estructura para crecimiento en “S”

Tenemos un bucle positivo entre *aportes netos* y **Estado del sistema**; como hemos visto anteriormente, por sí solo, este bucle crecerá (o decrecerá) exponencialmente. Pero el crecimiento tiene lugar en algún contexto que actúa como limitante. Esto puede ser el tamaño del mercado, la capacidad de trabajo diario del personal o la capacidad de endeudamiento. Sea cual sea, siempre el tamaño del **Estado del sistema**, en relación con este límite de capacidad, da una “tasa de utilización de la capacidad”, que indica el porcentaje de la capacidad ya usado.

La tasa de crecimiento es inversamente relacionada con esta tasa de utilización de la capacidad: si ya vendemos a la mayor parte de los potenciales compradores, las posibilidades de crecimiento disminuyen. Si el personal ya trabaja 16 horas por día, las posibilidades de extender la jornada disminuyen. Si ya estamos muy endeudados, las posibilidades de tomar más préstamos disminuyen. De esta forma, una baja en la tasa de crecimiento tiene como consecuencia la disminución de los *aportes netos*: el crecimiento del **Estado del sistema** se frena. Se ha constituido entonces un bucle de retroalimentación negativa, cuya acción se contrapone a la del bucle positivo.

? ¿Qué pasará en este sistema? Tome un instante e imagine su probable comportamiento.



*Ilustración 103: conducta ejemplar de crecimiento en "S"*

? ¿Qué pasó? Las líneas de tiempo muestran la capacidad de soporte (el límite) como una constante. La tasa de crecimiento inicial (con bajo porcentaje de utilización de la capacidad) es alta, por lo cual el **Estado del sistema** aumenta exponencialmente. Vemos aquí la actuación del bucle de retroalimentación positiva.

## Elaboración práctica

### *Descripción del contexto*

Tenemos un espacio disponible. Este espacio puede ser concreto (en los casos de poblaciones de animales, por ejemplo) o abstracto (poblaciones de posibles compradores, por ejemplo). En todo momento, una determinada parte de este espacio se encuentra ocupada: hay X animales en el espacio disponible, o Y posibles compradores. La relación entre espacio total disponible y espacio ocupado es un porcentaje que llamamos tasa de ocupación.

## Crecimiento en "S"

La ocupación actual del espacio cambia en el tiempo, es decir: demuestra un cierto crecimiento. Éste depende de la ocupación actual y de una tasa de crecimiento. Ahora bien, resulta que cuando aumenta la tasa de ocupación, disminuye la tasa de crecimiento.

### Diagrama de bucle causal

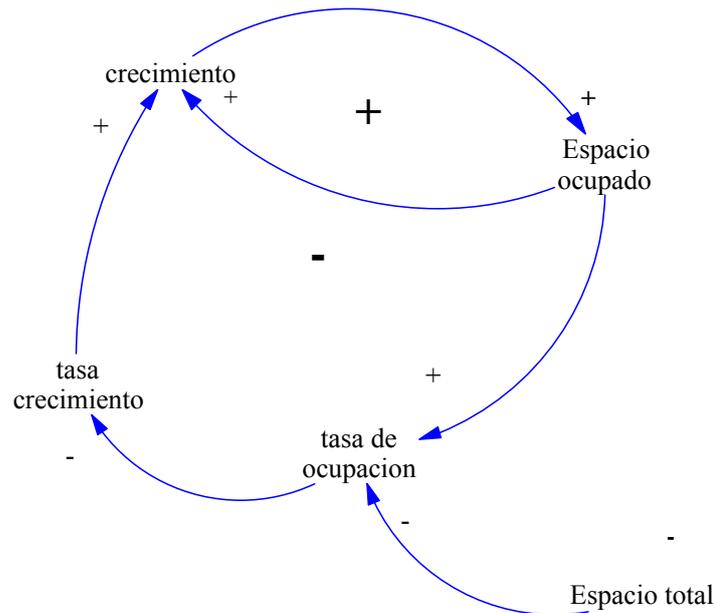


Ilustración 104: DBC del ejemplo de exploración del crecimiento en "S"

Tenemos dos bucles de retroalimentación, de polaridad diferente. Entre espacio ocupado y crecimiento, hay un bucle positivo; el otro bucle es negativo porque entre la tasa de ocupación y la tasa de crecimiento, el signo del impulso de cambio se invierte.

Si el bucle positivo presiona hacia un crecimiento exponencial, y el bucle negativo estabiliza, ¿cómo se comportará el modelo?

### Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

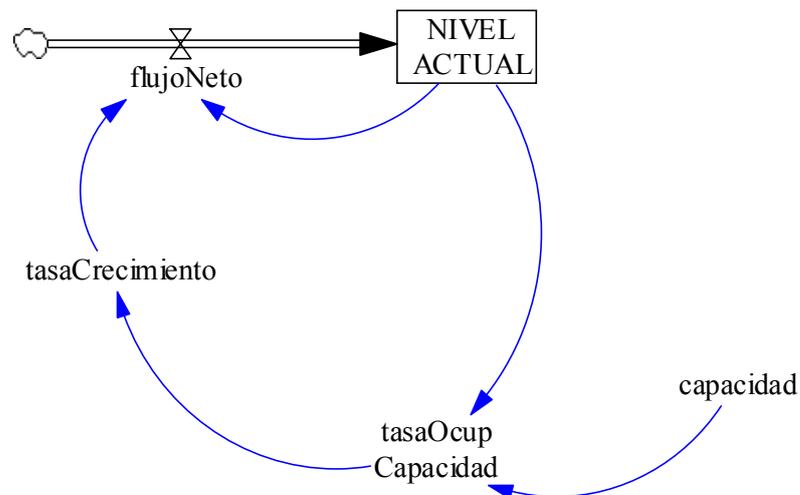
- Espacio ocupado es un **acumulador** que mide la cantidad de entidades que actualmente ocupan espacio.
- Crecimiento es un *flujo* de entidades por mes (usamos "Month" como período);
- Este flujo se determina en dependencia de la cantidad de tasa de crecimiento, que es una auxiliar.

- Tasa de ocupación es una variable auxiliar que contiene el porcentaje resultante de la división
- Espacio total es, estrictamente hablando, un acumulador. Sin embargo, dado que no cambia dentro de nuestras simulaciones, podemos simplificar definiéndolo como auxiliar.

## Modelo de simulación

### Diagrama

Crea el siguiente diagrama (que corresponde al modelo “crec\_s\_sim.mdl” en el sitio web del libro):



*Ilustración 105: modelo de exploración del crecimiento en "S"*

### Ecuaciones

Antes de poder simular, tenemos que especificar las cantidades y las reglas de cómputo. Para hacer esto, seleccionamos la herramienta de “ecuaciones”



Ahora un clic encima de una variable abre la ventana de especificación de ecuaciones.

```

NIVEL ACTUAL= INTEG (flujoNeto,100)
Units: Unidades

capacidad=5000
Units: Unidades

tasaOcupCapacidad=NIVEL ACTUAL/capacidad
Units: porcentaje

tasaCrecimiento=1-tasaOcupCapacidad
Units: porcentaje

flujoNeto=NIVEL ACTUAL*tasaCrecimiento
  
```

## Crecimiento en “S”

Units: Unidades/Month

Ahora ajuste los “settings” del modelo a:

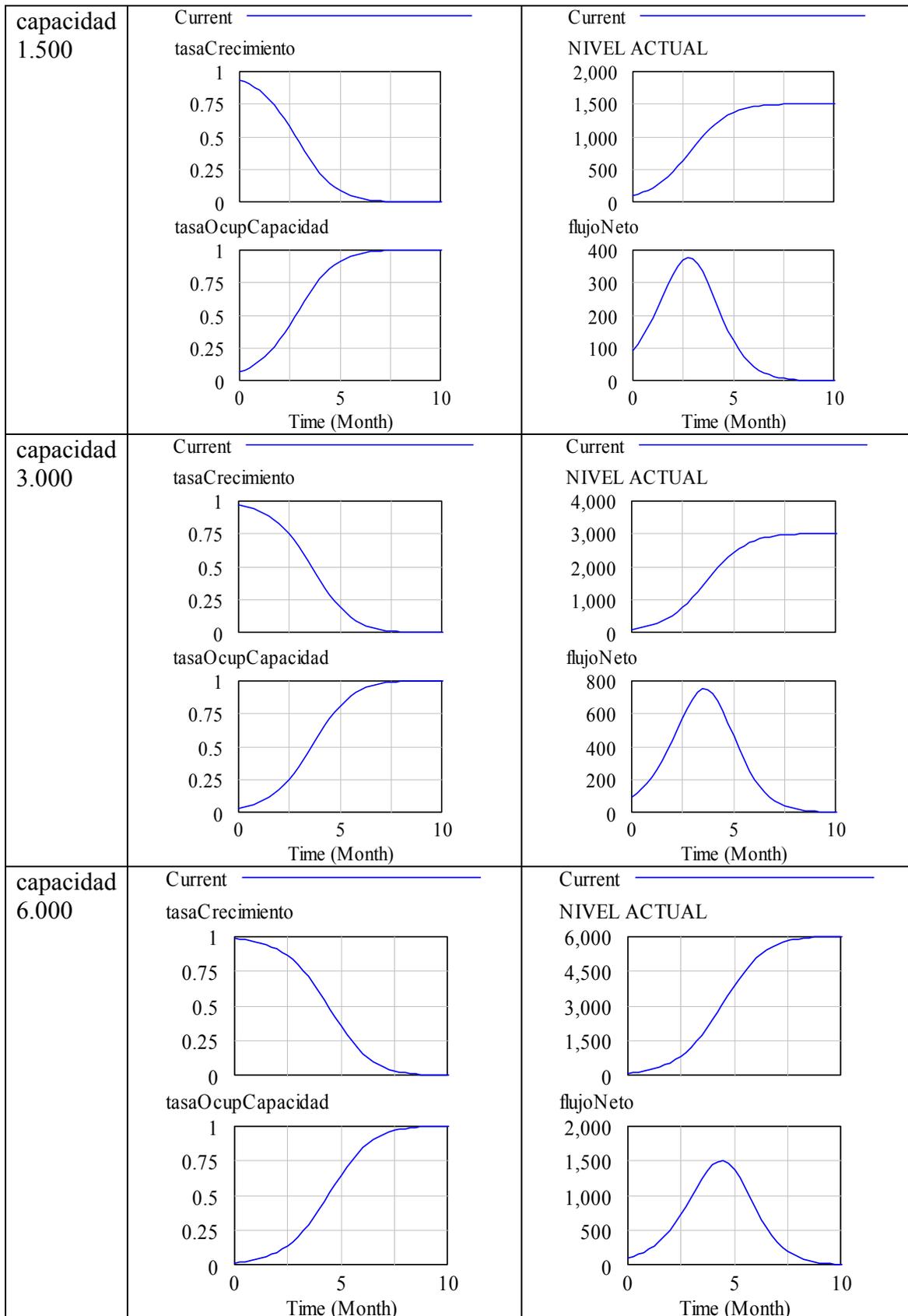
```
INITIAL TIME = 0  
FINAL TIME = 10  
TIME STEP = 0.25
```

Estamos listos para simular. El modelo corresponde a “`crec_s_sim.mdl`”.

## Exploración de conducta

Antes de pasar a “synthesym” , tome un instante para imaginar. Es la primera vez que verá la conducta de un sistema con dos bucles de retroalimentación en acción simultánea (y en interacción). ¿Qué es lo que pasará?

Este modelo tiene una sola variable que podemos modular: `capacidad`. Observaremos la conducta en tres casos: con `capacidad = 1.500` (unidades), `3.000` y `6.000`.



*Tabla 9: exploración de la conducta de crecimiento en "S"*

¿Qué es lo que hace este modelo? ¿Es lo que usted esperaba ver?

## Crecimiento en “S”

La primera constatación es que la calidad del comportamiento no cambia para diferentes valores de *capacidad*. El que la escala de los valores aumente no es, en este momento, tan importante como la forma de la conducta.

El *NIVEL\_ACTUAL* empieza aumentando, de forma exponencial. Sin embargo, después de unos pocos periodos, observamos un punto de inflexión y luego el crecimiento es asintótico.

¿Por qué esta forma que primero aumenta la pendiente y luego la disminuye? Enseguida vemos que esta conducta del **acumulador** se debe a la del *flujo*. Durante todo el tiempo, los valores del *flujo* *flujoNeto* son positivos por lo cual *NIVEL\_ACTUAL* crece. Sin embargo, mientras la pendiente del *flujo* es positiva, este crecimiento del **acumulador** debe ser más que lineal: exponencial. Y cuando la pendiente del *flujo* es negativa (pero su valor positivo), debe frenarse el crecimiento del **acumulador**.

La inspección de la *tasaCrecimiento* muestra que decae de forma acelerada durante la primera mitad de la simulación. Ello hace que en algún momento, el producto *tasaCrecimiento*\**NIVEL\_ACTUAL* deja de crecer y se achica: en el momento del punto de inflexión del **acumulador**, que es lo mismo que el momento del máximo del *flujo*. La *tasaCrecimiento* no hace sino reaccionar a la *tasaOcupCapacidad*, que aumenta debido al crecimiento del *NIVEL\_ACTUAL*.

Usted conoció el crecimiento exponencial cuando estudiábamos la retroalimentación positiva, y la aproximación asintótica en el tratamiento de la retroalimentación negativa. También ha visto que este modelo es, de alguna manera, una composición de dos bucles, uno positivo y el otro negativo. ¿Podría ser que, de algún modo, primero es más fuerte el bucle positivo y luego domina el bucle negativo?

Esto es exactamente lo que pasa. El estudio de la “dominancia de bucles” es una parte avanzada de la disciplina de “dinámica de sistemas”. Reconocer cómo se produce este cambio permite comprender una zona de “apalancamiento” donde se puede intervenir potentemente en la conducta del sistema. En nuestro caso, viene de que estamos multiplicando dos variables, una en aumento y la otra en decrecimiento.



Para ir más allá:  
Probar el “modelo general” sin cambiar los parámetros.

# Ejercicio de modelamiento

## Descripción del contexto

Se lanzará un nuevo producto (durable), por lo cual se estima que el grupo de posibles compradores es de 1.000.000 de personas. La estrategia de promoción será el “boca a boca”, es decir: mientras más personas compran el producto, más buenos comentarios se escuchan. Queremos anticipar cómo el producto se difundirá.

## Diagrama de bucle causal

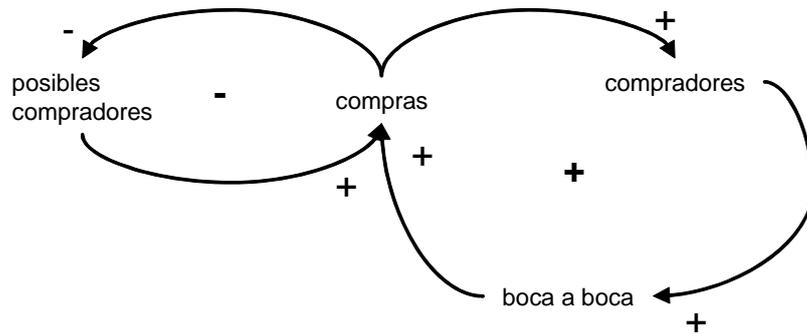


Ilustración 106: DBC para el ejercicio de modelamiento acerca de crecimiento en “S”

Tenemos dos bucles de retroalimentación, de polaridad diferente. Por más posibles compradores, más compras, pero cada compra quita un posible comprador. Al mismo tiempo, agrega a los compradores, lo que aumenta la cantidad de buenos comentarios. Este boca a boca tiende a aumentar las compras.

Si el bucle positivo presiona hacia un crecimiento exponencial, y el bucle negativo estabiliza, ¿cómo se comportará el modelo?

## Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- Posibles compradores y Compradores son dos **niveles** que miden la cantidad de personas.
- Entre ellos, *compras* es un *flujo* de personas por mes (usamos “Month” como período); este flujo se determina en dependencia de la cantidad de Posibles compradores y del boca a boca. Boca a boca es una variable auxiliar que contiene el porcentaje de la población que opina bien del producto.

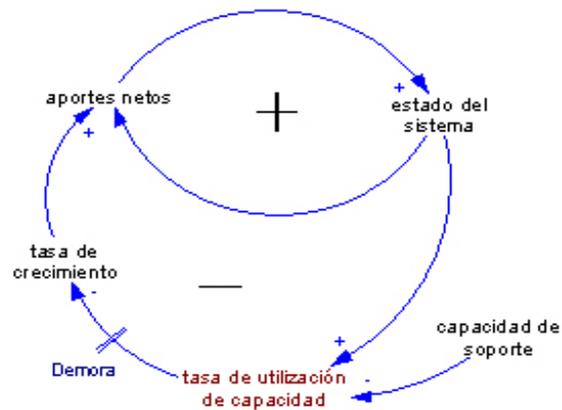
Siga usted con las demás etapas: desarrollo el diagrama de flujos y niveles y las ecuaciones. Luego analice la conducta del modelo.

## 9. Sobrerreacción

### Presentación conceptual

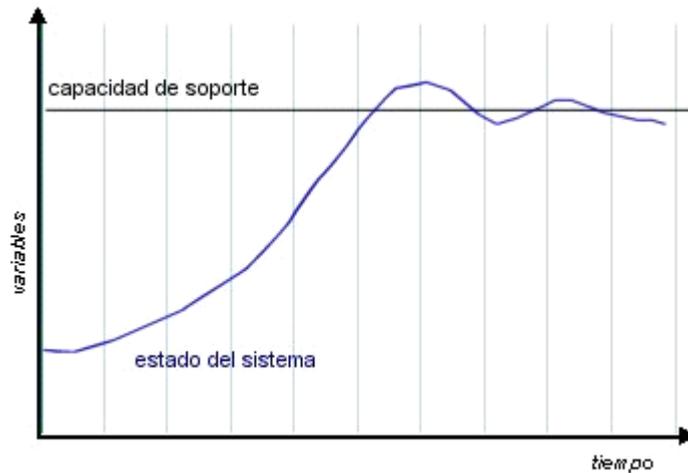
Ya hemos hecho contacto con las demoras y su efecto, las oscilaciones. Las demoras también aparecen en sistemas que combinan múltiples bucles de retroalimentación. El siguiente diagrama causal muestra dos posibles demoras.

Si por alguna razón el aumento en la tasa de utilización de la capacidad no baja la tasa de crecimiento de manera instantánea, esta última va a seguir con un valor más alto que el que correspondería según la tasa de utilización actual.



*Ilustración 107: ejemplo de la estructura de sobrerreacción y oscilación*

? ¿Qué pasará en estas condiciones?



*Ilustración 108: conducta de sobre-reacción y oscilación*

? ¿Qué pasó? Si la tasa de crecimiento es demasiado alta, se produce un crecimiento más allá de la capacidad de utilización. Hay varios ejemplos de esto: podemos mencionar la sobreexplotación de recursos que ocurre cuando una población es demasiado grande. Asumiendo que la capacidad queda constante, lo que se aplica a hospitales, escuelas o cárceles, pueden entrar más pacientes, alumnos o presos de lo previsto.

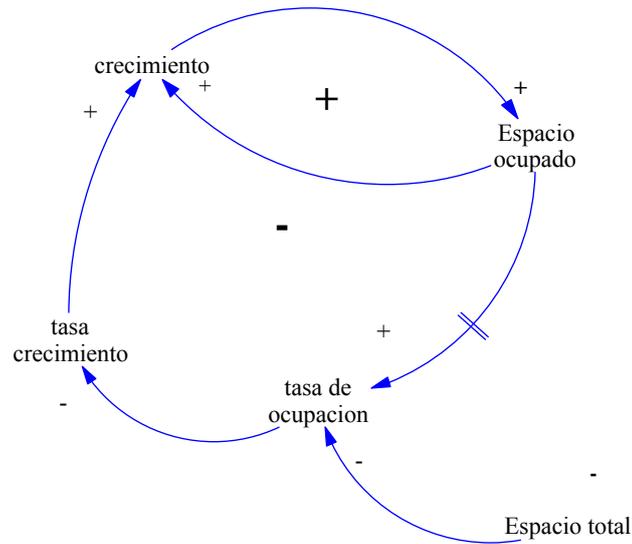
## **Elaboración práctica**

### Presentación textual del argumento

#### *Descripción del contexto*

En el capítulo previo hemos descubierto que cuando en un sistema que combina un bucle positivo y otro negativo, domina primero el positivo y luego el negativo, se observa un crecimiento en forma de una “S”. Ahora hemos agregado al mismo modelo una demora, que hace que la tasa de ocupación influya inversamente a la tasa de crecimiento de forma retardada.

*Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 109: ejemplo de exploración de sobrerreacción y oscilación*

Asignación de fragmentos a variables

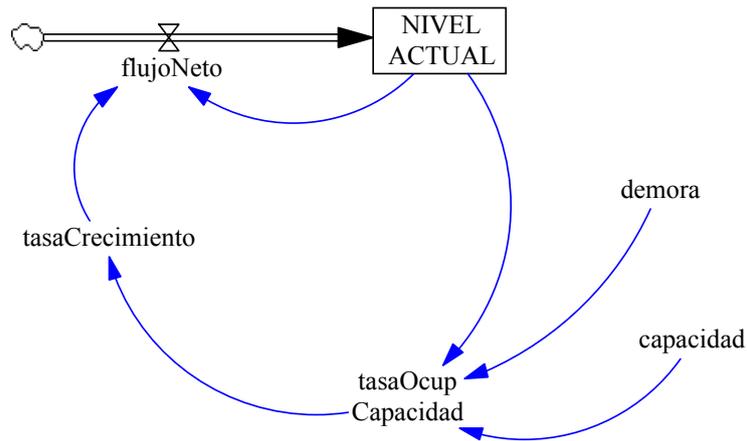
Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- **Espacio ocupado** es un **acumulador** que mide la cantidad de entidades que actualmente ocupan espacio.
- **Crecimiento** es un *flujo* de entidades por mes (pongamos “Month” como período);
- Este flujo se determina en dependencia de la cantidad de **tasa de crecimiento**, que es una auxiliar.
- **Tasa de ocupación** es una variable auxiliar que contiene el porcentaje resultante de la división
- **Espacio total** es, estrictamente hablando, un acumulador. Sin embargo, dado que no cambia dentro de nuestras simulaciones, podemos simplificar definiéndolo como auxiliar.

Modelo de simulación

*Diagrama*

Crea el siguiente diagrama (en el material adicional del libro encontrará un modelo “*crec\_ssob\_sim.mdl*”):



*Ilustración 110: modelo de exploración de sobrerreacción y oscilación*

### ***Ecuaciones***

Especifique las siguientes ecuaciones:

```
NIVEL ACTUAL= INTEG (flujoNeto,100)
Units: Unidades
```

```
capacidad=5000
Units: Unidades
```

```
demora=1
Units: Month [0,3,1]
```

```
tasaOcupCapacidad=DELAY FIXED(NIVEL
ACTUAL/capacidad, demora, 0)
Units: porcentaje
```

```
tasaCrecimiento=1-tasaOcupCapacidad
Units: porcentaje
```

```
flujoNeto=NIVEL ACTUAL*tasaCrecimiento
Units: Unidades/Month
```

Los parámetros para la simulación son:

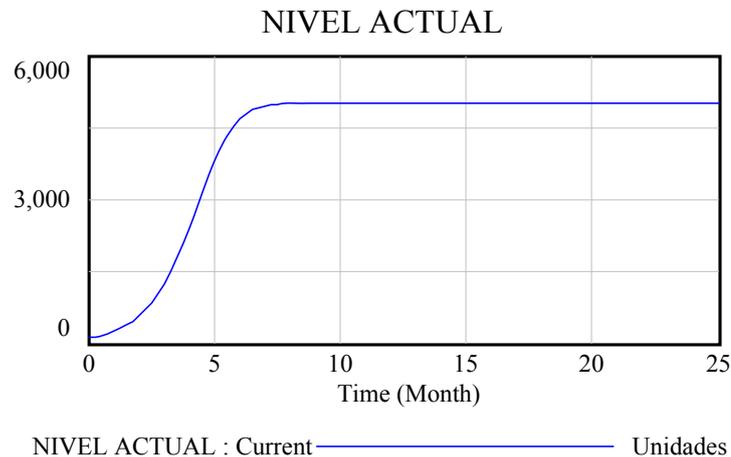
```
INITIAL TIME = 0
FINAL TIME = 25
TIME STEP = 0.25
Units: Month
```

Estamos listos para simular. Ahora su modelo es idéntico a “crec\_ssob\_sim.mdl”

## Exploración de conducta

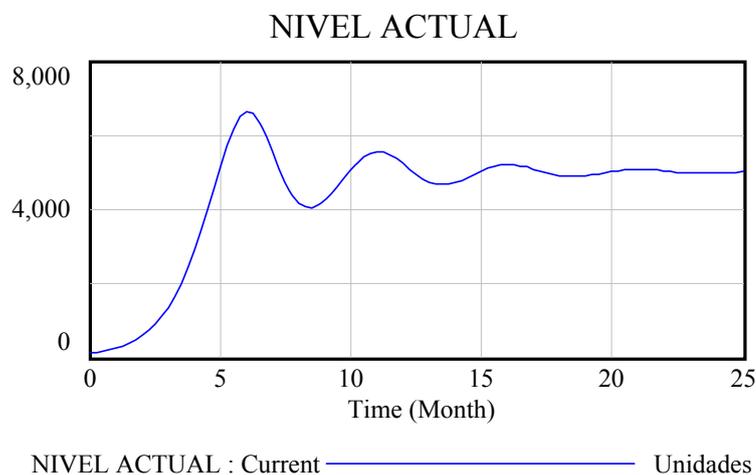
Pasemos a “synthesym”: . En el capítulo previo, se mostró que la capacidad no influye en la forma de comportamiento (si bien por mayor capacidad, se posterga la inflexión). Por lo tanto, nos limitaremos ahora a estudiar el efecto de cambios en la demora.

Con una demora de cero (sin demora), se produce lo que ya conocemos:



*Ilustración 111: comportamiento simulado sin demora*

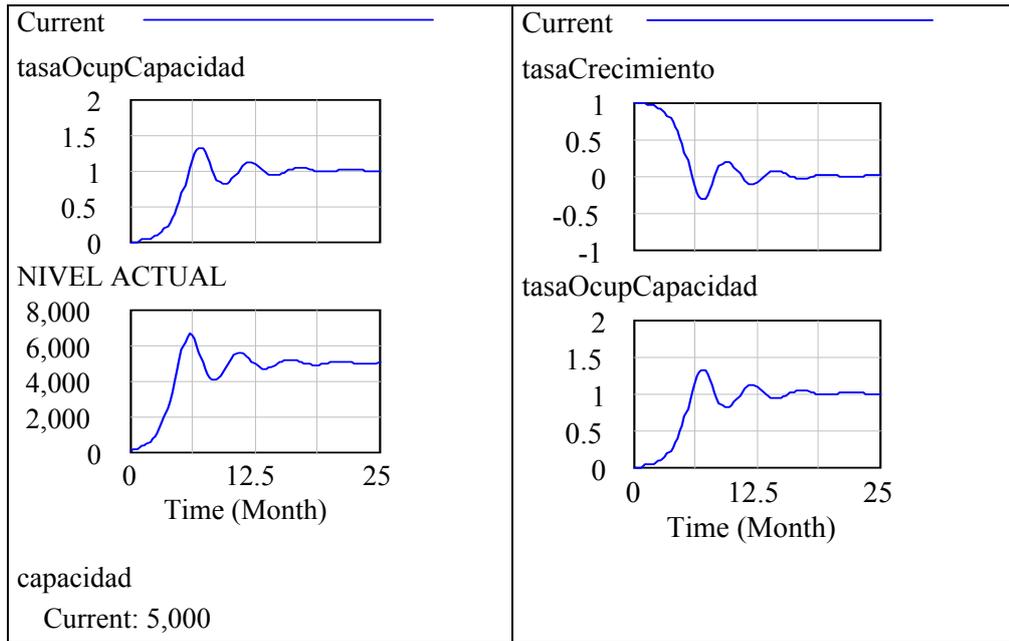
Es el típico crecimiento de forma de “S”, con el punto de inflexión alrededor del cuarto mes. Esto cambia drásticamente cuando la demora es de un periodo (mes):



*Ilustración 112: comportamiento simulado con demora*

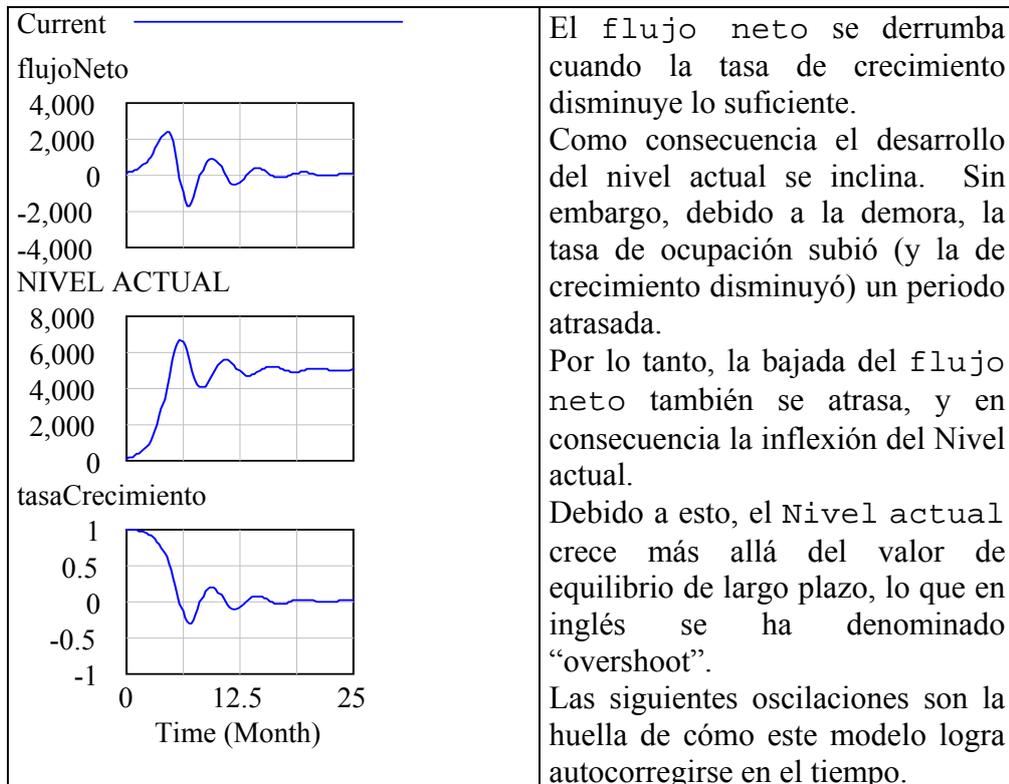
El punto de inflexión es el mismo que antes, pero ahora el valor de largo plazo se ajusta lentamente y después de oscilaciones. Aparentemente, Nivel actual llegó a un nivel demasiado alto, lo que causa corrección por parte del bucle negativo. Debido a la demora (capítulo 7), se sobrecorrigió y el resultado es entonces como la superposición de “S” y “oscilación”

Veamos en detalle:



*Ilustración 113: análisis de la conducta de sobre-reacción*

La tasa de ocupación sigue fielmente el Nivel actual, pero de modo desfasado. La tasa de crecimiento hace lo inverso de la tasa de ocupación.



*Ilustración 114: análisis de la conducta de sobre-reacción (cont.)*

## Sobrerreacción



Probar el “modelo general” con los siguientes parámetros: como inicializado, pero con **switch de demora saturacion = 1**



# 10. Auge y derrumbe

## Presentación conceptual

En las secciones previas, la **capacidad de soporte** se asumió constante. Sin embargo, no siempre es así. Cuando se trata de recursos no renovables o recursos cuya reposición disminuye no linealmente, entonces la **capacidad de soporte** se deteriora en consecuencia del aumento del **Estado del sistema**.

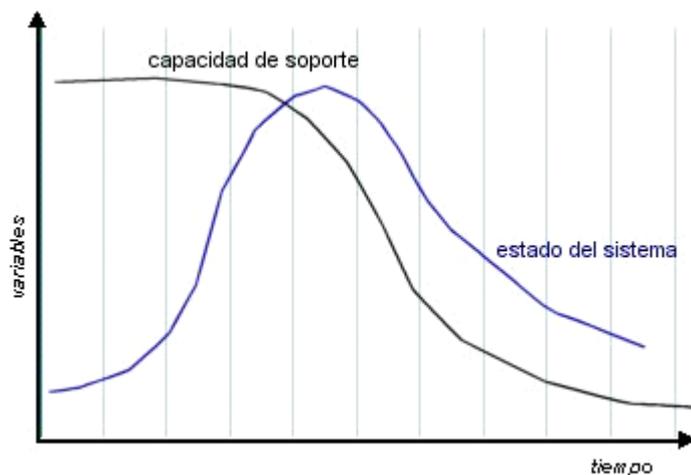
Por ejemplo, se ha mostrado que la capacidad de absorción de gases de los océanos disminuye cuando la temperatura del agua sube. En consecuencia, mientras nuestras industrias emiten más gases que hacen subir la temperatura, menos los océanos pueden absorberlos.

Lo mismo puede pasar cuando un campesino deja demasiadas vacas en una parcela: si queda muy poco pasto (debido al consumo), no se regenera tan fácilmente.



Ilustración 115: ejemplo de auge y derrumbe

? En estas condiciones, ¿cómo se comportará el **Estado del sistema**?



*Ilustración 116: conducta de auge y derrumbe*

? ¿Qué pasó? Mientras el Estado del sistema era bajo, la **capacidad de soporte** no se vio afectada, y la dinámica de crecimiento exponencial que hemos visto en las secciones previas se repite. Pero pronto baja la **capacidad de soporte** y, por lo tanto, la tasa de ocupación aumenta más rápidamente. Puesto que la **capacidad de soporte** no logra regenerarse, tenemos sobrepoblación y la tasa de crecimiento pasa a ser negativa: el **Estado de sistema** disminuye, en algunos casos hacia la extinción.

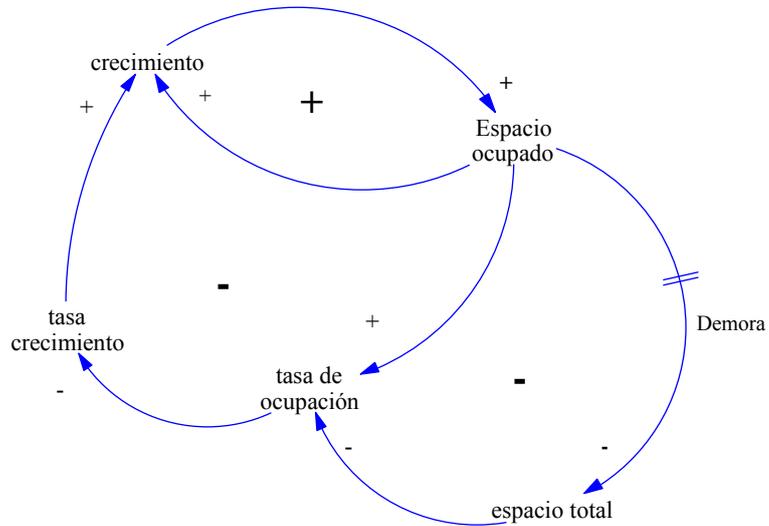
## Elaboración práctica

### Presentación textual del argumento

#### *Descripción del contexto*

Tenemos un determinado espacio total, que una población puede ocupar. En cada momento, esta población ocupa un cierto espacio; el crecimiento de esta población puede cambiar la cantidad de espacio ocupado. Incluso, la cantidad de espacio actualmente ocupado influye inversamente a la cantidad total de espacio disponible. El espacio actualmente ocupado (en cada momento), en relación con el espacio total disponible, se expresa como una tasa de ocupación del espacio. Se sabe que, a su vez, la tasa de crecimiento depende inversamente de esta tasa de ocupación. Finalmente, el crecimiento (de la población que ocupa espacio) es regulado por esta tasa de crecimiento y el tamaño actual de la ocupación.

*Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 117: DBC de auge y derrumbe*

Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- **Espacio ocupado** es un **acumulador** que mide la cantidad de entidades que actualmente ocupan espacio.
- **Crecimiento** es un *flujo* de entidades por mes (pongamos “Month” como período);
- Este flujo se determina en dependencia de la cantidad de **tasa de crecimiento**, que es una auxiliar.
- **Tasa de ocupación** es una variable auxiliar que contiene el porcentaje resultante de la división
- **Espacio total** es un **acumulador**. Cambia debido a **Espacio ocupado** y tendremos que especificar los *flujos* correspondientes.

## Modelo de simulación

### Diagrama

Elabore un diagrama equivalente al siguiente (“auge\_derrumbe\_sim.mdl” en el sitio web del libro). Precaución: Vensim es un software que no conoce las letras con acentos; por lo tanto, es importante escribir las palabras como “regeneración” sin acentuarlas: “regeneracion”).

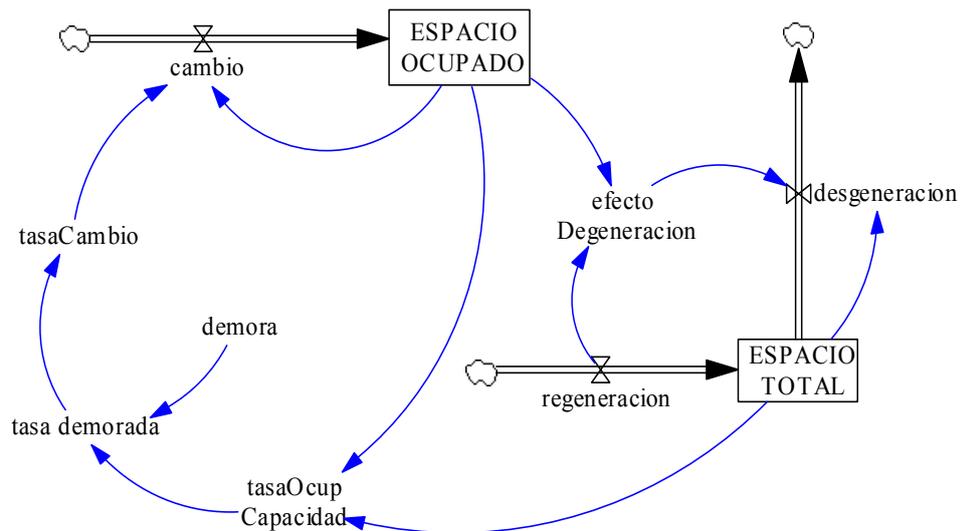


Ilustración 118: modelo de auge y derrumbe

### Ecuaciones

Defina las siguientes ecuaciones:

```
ESPACIO OCUPADO= INTEG (cambio,100)  
Units: Unidades [0,?]
```

```
ESPACIO TOTAL= INTEG (-  
desgeneracion+regeneracion,1000)  
Units: Unidades
```

```
cambio=ESPACIO OCUPADO*tasaCambio  
Units: Unidades/Month
```

```
desgeneracion=min(efectoDegeneracion,ESPACIO  
TOTAL)
```

```
Units: Unidades/Month
```

El flujo de salida no debe ser mayor al nivel en el acumulador. Esto se obtiene con la función

## Auge y derrumbe

"min": se compara el flujo de salida calculado con el nivel en ESPACIO TOTAL, y si efectoOcupación es demasiado grande, se toma "lo que queda" en el acumulador.

```
regeneracion=1  
Units: Unidades/Month [1,100,5]
```

```
efectoDegeneracion=max(ESPACIO  
OCUPADO/(regeneracion/10),0)  
Units: porcentaje  
El "max" con "0" se usa para asegurar que nunca  
pueda tomar valores negativos.
```

```
demora=0  
Units: Month [0,3,1]
```

```
tasa demorada=DELAY FIXED(tasaOcupCapacidad,  
demora, 0.1)  
Units: porcentaje
```

```
tasaCambio=1-tasa demorada  
Units: porcentaje
```

```
tasaOcupCapacidad=ESPACIO OCUPADO/ESPACIO TOTAL  
Units: porcentaje
```

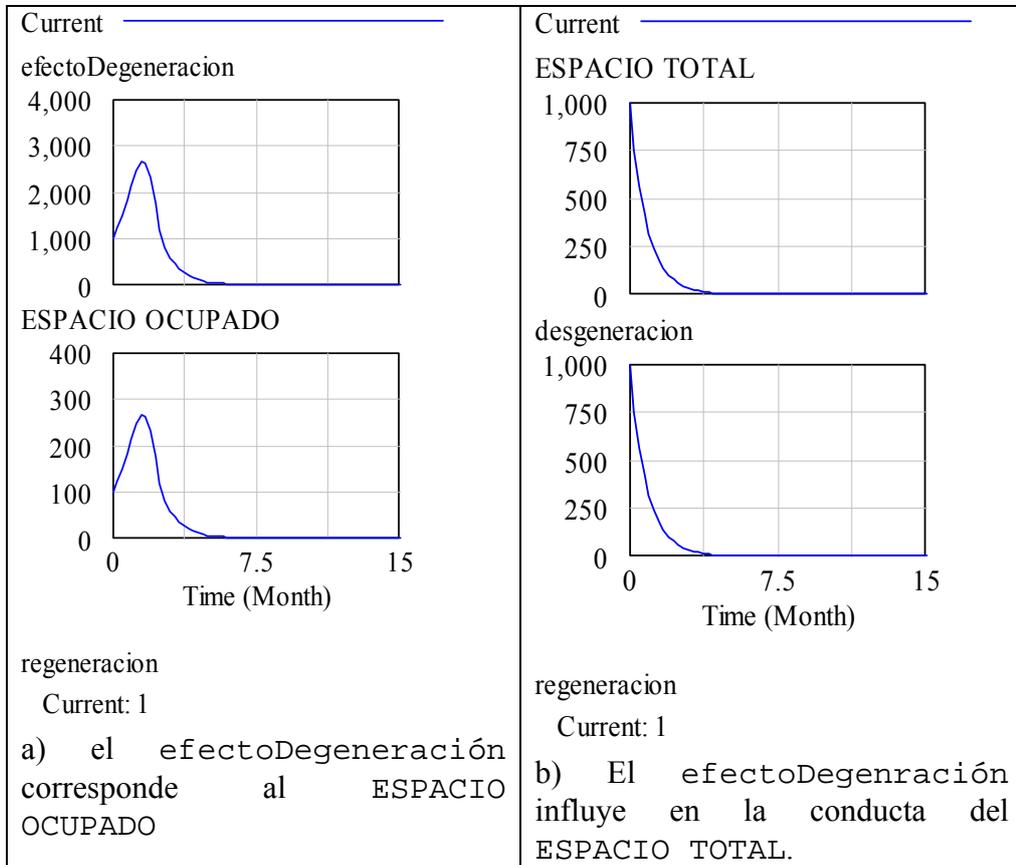
Y luego los parámetros de la simulación:

```
INITIAL TIME = 0  
FINAL TIME = 15  
TIME STEP = 0.25
```

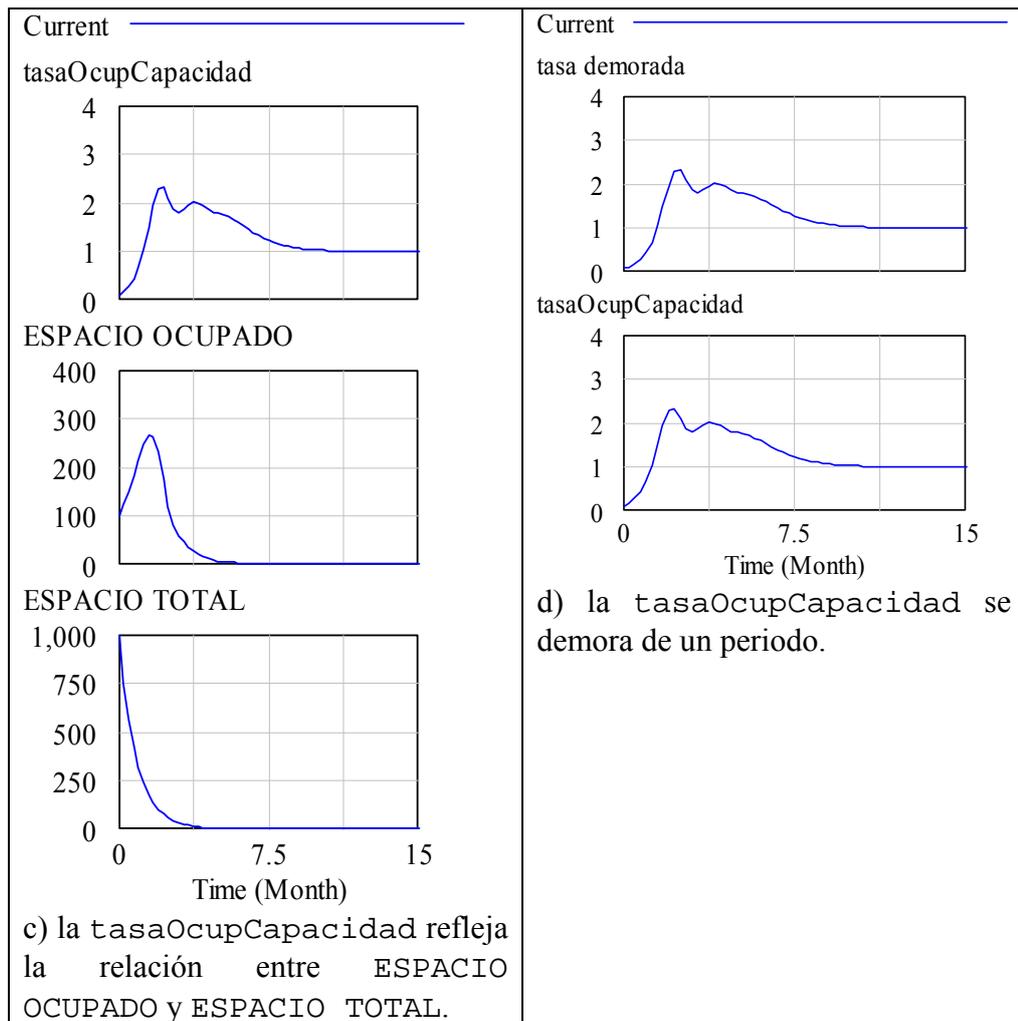
Estamos listos para simular. Ahora su modelo es idéntico a "auge\_derrumbe\_sim.mdl"

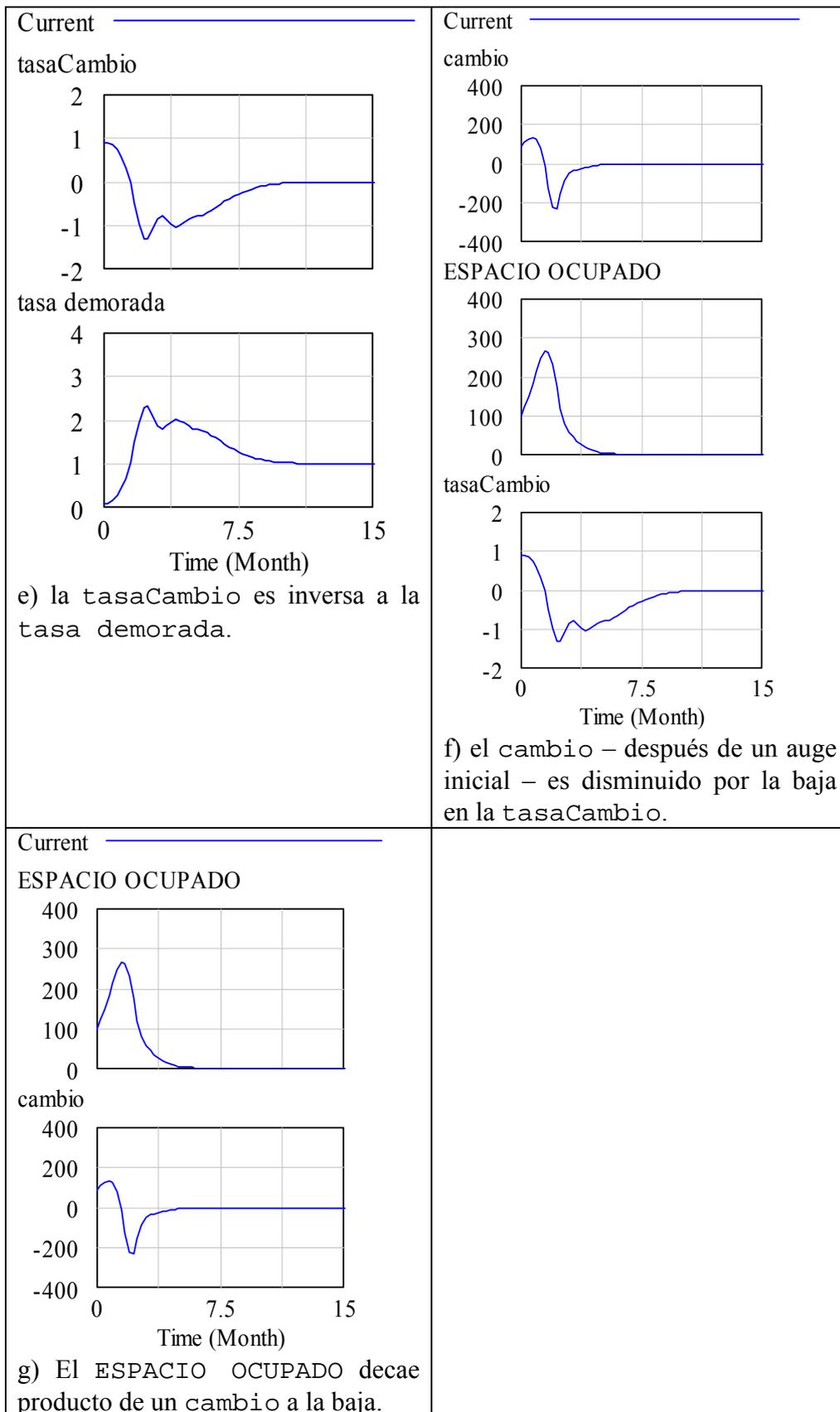
## Exploración de conducta

Pase a “synthesym”:  .



## Auge y derrumbe

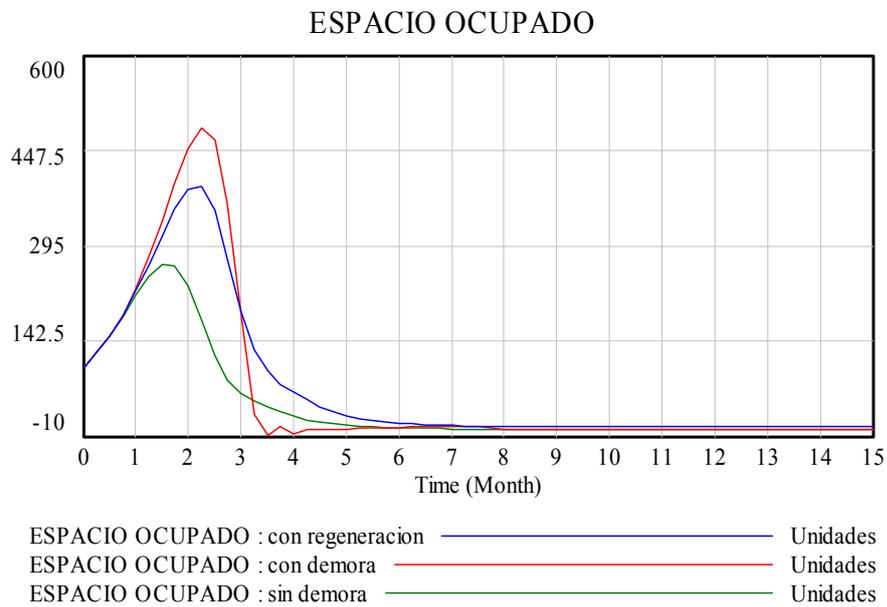




*Tabla 10: exploración de la conducta de auge y derrumbe*

## Auge y derrumbe

Vemos que la fuerza de las relaciones estructurales es inexorable. Las variables demora y regeneracion pueden postergar el derrumbe, pero no evitarlo.



*Ilustración 119: comparaciones de auge y derrumbe*



Probar el “modelo general” con los siguientes parámetros: como inicializado, pero con **switch de demora saturacion = 1** y **consumo de recursos per capita > 0**. (alrededor de 0.01 )

## El punto sobre la parte 2

### Resumen

Un Modelo cuantitativo representa una estructura de variables (de diferentes tipos) y vínculos causales (con dirección y polaridad). Algunos de los vínculos se demoran. Ciertas variables, ligadas por vínculos causales que permiten partir saliendo de una variable y volver entrando en ella, forman bucles de retroalimentación (positiva o negativa). Esta estructura genera el comportamiento del modelo, que puede ser de diferentes tipos:

- retroalimentación positiva causa crecimiento exponencial,
- retroalimentación negativa causa búsqueda de objetivos,
- demora causa oscilación

Diversas combinaciones de bucles positivos y negativos causan conductas combinadas como crecimiento en "S", sobreacción y auge y derrumbe.

### Bibliografía

Aracil, J. **dinámica de sistemas**, Alianza Editorial,. 1986 (disponible en línea en: [http://comunidad.uach.mx/marana/materias/mod\\_din\\_de\\_sist/material/Dinamica\\_de\\_sistemas.pdf](http://comunidad.uach.mx/marana/materias/mod_din_de_sist/material/Dinamica_de_sistemas.pdf); marzo 2006).

Martin García, J., 2003. **Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas**, Barcelona

Martin García, J, 2004. **Sysware**, Barcelona

Sterman, 2000. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**, John Wiley

# *Parte 3 – Estructuras específicas*

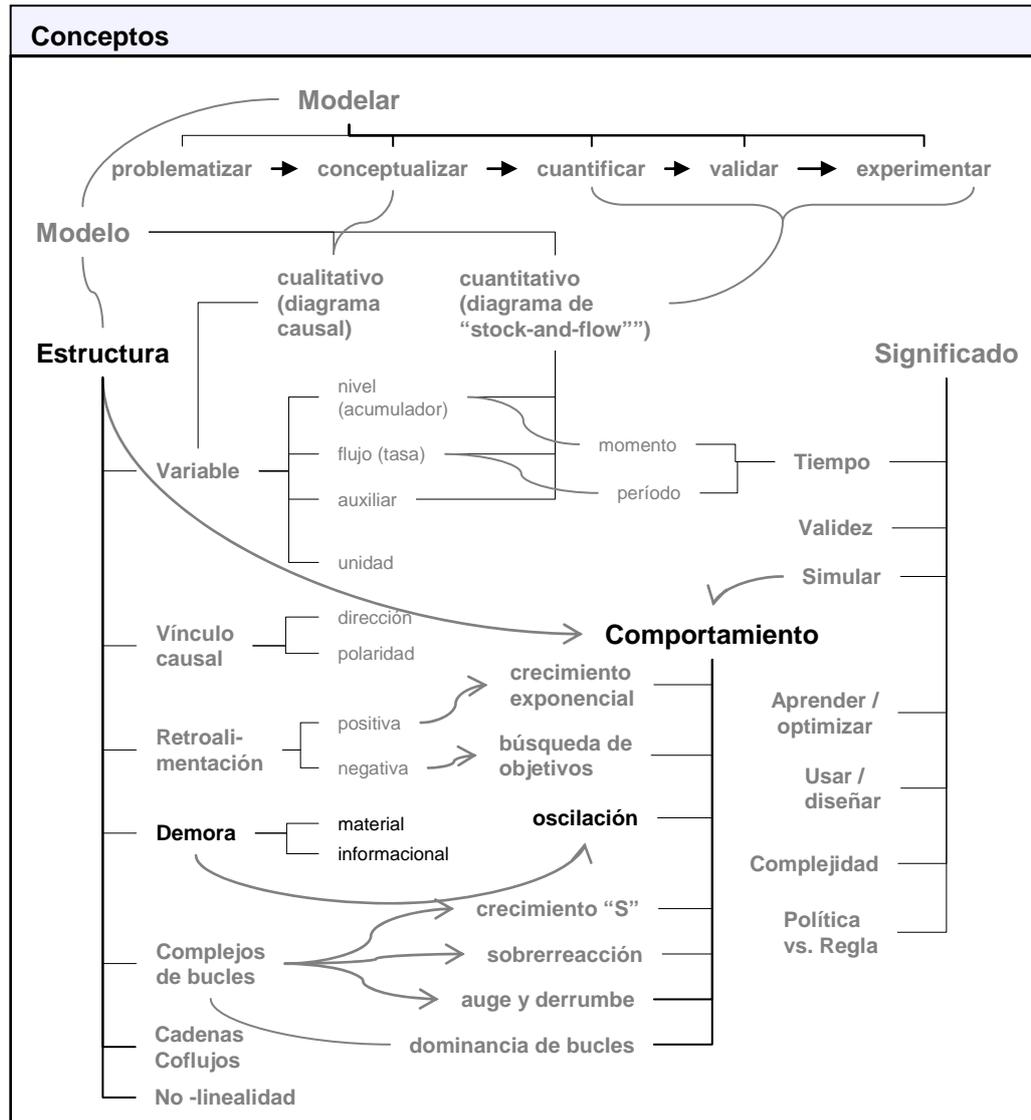


# 11. Demoras

## Objetivo

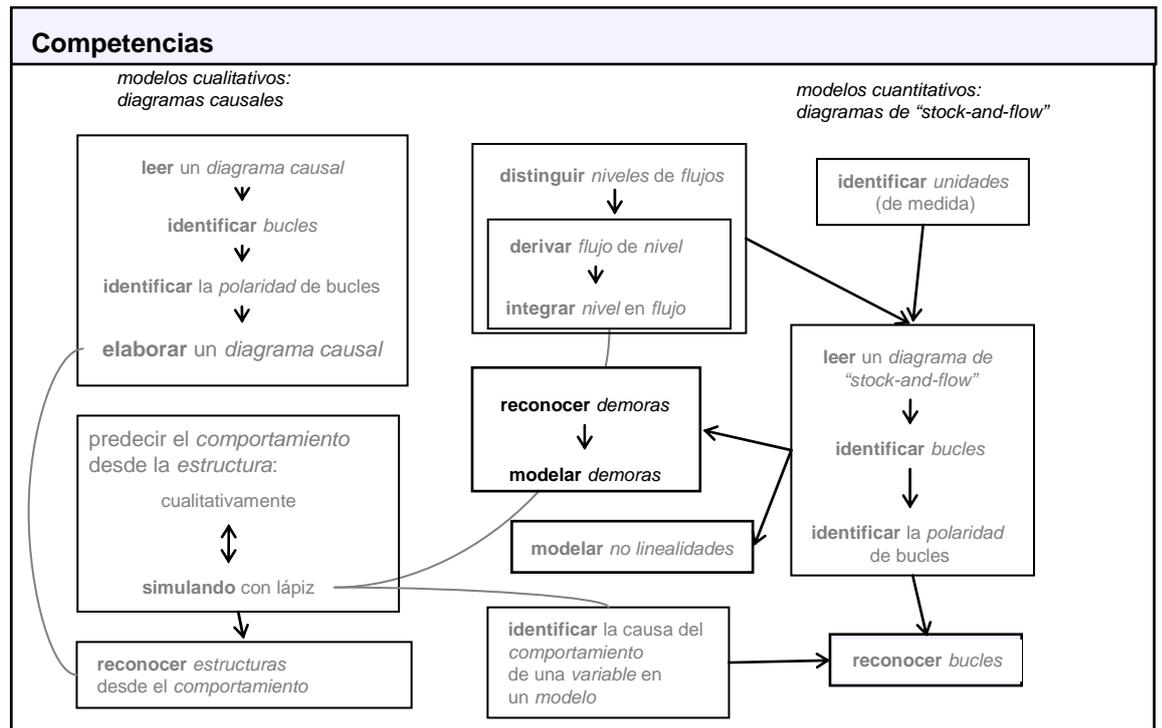
Comprender las diferentes formas de demora y su conducta típica.

## Conceptos



Un modelo representa una estructura que puede albergar demoras. Éstas causan oscilaciones. Hay diferentes tipos de demora (material y de información) con diferentes subtipos.

## Competencias



## Acercamiento

Cuando el proveedor principal de un recurso necesario para la generación de electricidad deja de ser fiable y se percibe la necesidad de cambiar la composición tecnológica de generación de electricidad de un país, ¿cuántos años se requieren hasta que este cambio de estrategia sea realizado?

Cuando una empresa demanda otra para recuperar parte del valor perdido por algún daño, ¿cuánto tiempo pasa antes de que pueda recuperar el valor?

Cuando un estudiante decide dedicar más esfuerzo al estudio de una materia, ¿cuánto tiempo pasa hasta que sepa más de esta materia?

Cuando el precio de un recurso cambia repentinamente, ¿cuánto tiempo pasa hasta poder confiar en que sea un cambio duradero o una tendencia duradera?

Las respuestas a estas 4 preguntas evocan, en cada uno de los casos, el concepto de la demora.

## Definición del Concepto

Hablamos de demora cuando un proceso se demora más que otro para que un impulso llegue desde su origen a tener efecto. En cada uno de los 4 ejemplos anteriores, hubo un proceso rápido y otro más lento:

<b>Ejemplo</b>	<b>Proceso rápido</b>	<b>Proceso lento</b>
<i>electricidad</i>	decidir un cambio de estrategia energética	implementar la nueva estrategia
<i>demanda de empresa</i>	abrir la demanda	obtener y hacer efectivo un juicio
<i>precio de recurso</i>	detectar el cambio de precio	saber si es duradero (formar expectativa)
<i>estudiante</i>	estudiar (elaborar)	saber (tener)

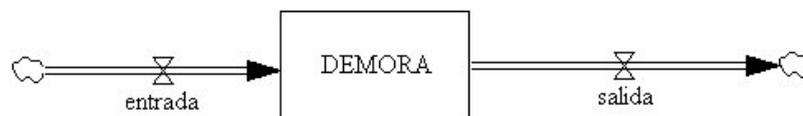
*Tabla 11: ejemplos de demora*

Podemos simplificar un poco diciendo que cuando lo que entra en una situación o estado fluye más rápido que lo que sale de ella o él, existe una demora. Este estado sería cambiando estrategia, peleando en la corte, formando expectativa y estudiando, respectivamente:

Ejemplo
<p>electricidad</p>
<p>demanda de empresa</p>
<p>precio de recurso</p>
<p>estudiante</p>

*Tabla 12: más ejemplos de demoras*

Entonces, la estructura genérica de demora es



*Tabla 13: la estructura genérica de una demora*

## Tipos de Demora

Los ejemplos 1 y 4 se refieren a los flujos de sustancias físicas o materiales; en ellos, el movimiento o la transformación material toma un tiempo largo, y se habla de demora material. Los ejemplos 2 y 3 se refieren a movimientos o transformaciones de información, como la formación de

expectativas; esto se llama demora informacional. Ahora vamos a analizar ambos tipos de demora en mayor detalle.

### Demoras materiales

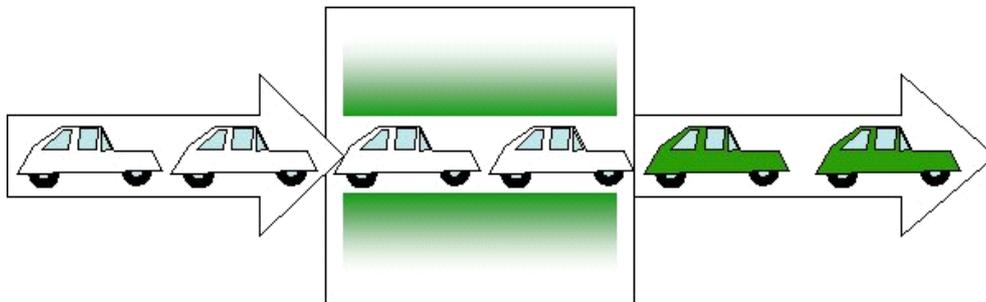
El caso más simple de demora es un sistema con una variable de estado (que se debe integrar: nivel), lo que matemáticamente es un sistema de primer orden (donde el número de niveles es el orden). Además asumimos la ausencia de relaciones causales no lineales, es decir: la traducción desde causa a efecto es constante.

Ahora bien, si el flujo de entrada es más rápido que el de salida, las unidades que entren al nivel se van a detener un cierto tiempo en el acumulador. Este tiempo de estadía o de demorarse, puede ser una distribución alrededor de un valor típico. En todo caso, cabe preguntarse si estas unidades saldrán en el mismo orden como entraron o no.

De hecho distinguimos entre dos casos: demoras de "pipeline" y demoras de "mixer".

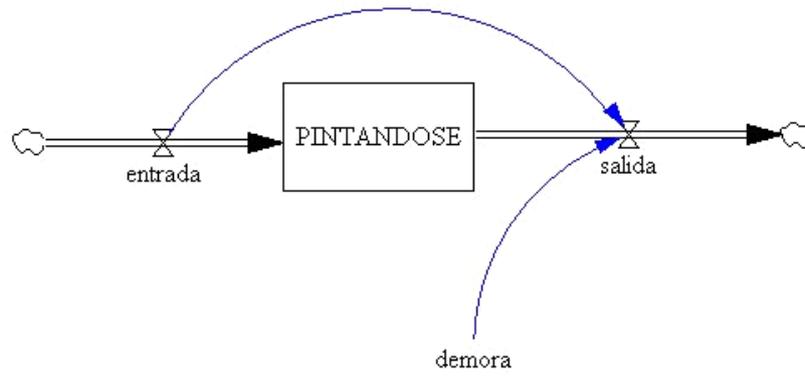
#### *Demoras de "pipeline"*

Asumimos el caso de un proceso de producción con una línea de ensamblaje, en el cual los automóviles deben pasar por un dispositivo que le agregue la pintura:



*Ilustración 120: ejemplo de una demora de tipo "pipeline"*

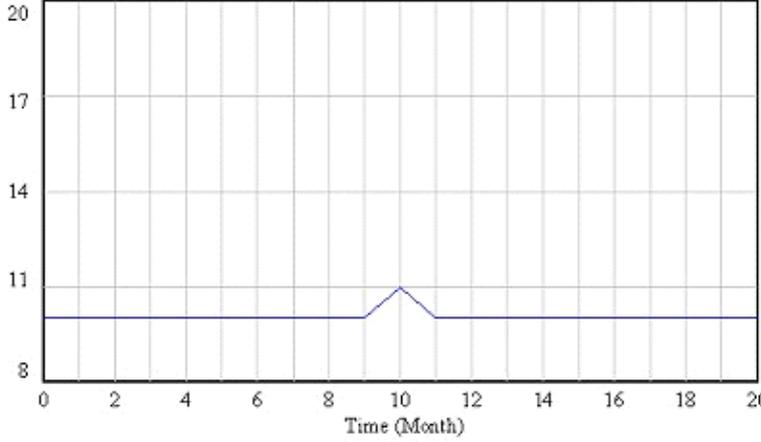
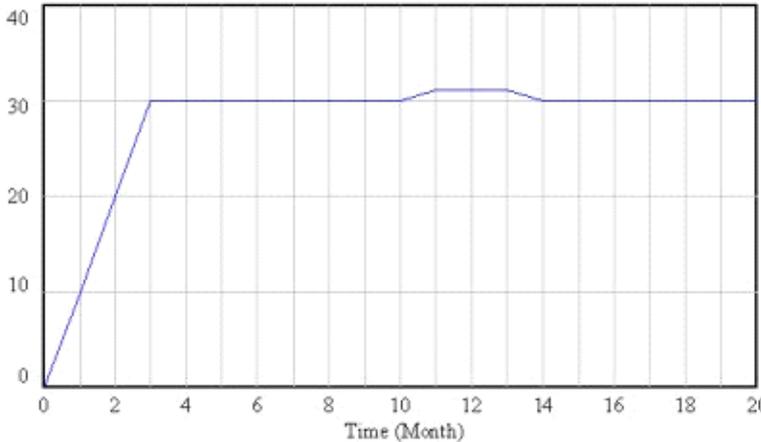
Hay una determinada cantidad de autos que entran sin pintura, la aplicación de la pintura toma un determinado tiempo, y luego salen autos pintados, en exactamente el mismo orden de entrada. Si uno pregunta por la cantidad que sale por periodo de tiempo, la respuesta depende de la demora y de la cantidad que entró <demora> periodos atrás. El siguiente modelo muestra esta estructura:



*Ilustración 121: modelo de la demora "pipeline" del ejemplo*

Puede encontrar el modelo “demora\_pipeline.mdl” en el sitio web para seguir la exploración. El comportamiento típico de tales estructuras es el siguiente:

## Demoras

<p style="text-align: center;"><b>entrada</b></p>  <p style="text-align: center;">Time (Month)</p> <p>entrada : Current</p>	<p>El modelo está inicializado con <i>flujos entrantes</i> de 10 autos por periodo, ningún auto en el <b>acumulador</b> y una demora de 3 periodos.</p> <p>En el periodo 10 se aumenta la cantidad por una sola vez.</p> <p>¿Cómo se reflejará esta perturbación en las otras variables?</p>
<p style="text-align: center;"><b>PINTANDOSE</b></p>  <p style="text-align: center;">Time (Month)</p> <p>PINTANDOSE : Current</p>	<p>¿Durante cuántos periodos aumenta el <b>nivel</b> inicialmente?</p> <p>Correcto, son 3. ¿Por qué son 3?</p> <p>Correcto, porque este es el tiempo de la demora, y por lo tanto, durante <math>\langle demora \rangle</math> periodos no salen autos pintados, es decir: se acumulan en el nivel.</p> <p>Entonces, ¿en qué periodo se deja de ver la perturbación que entró en el periodo 10?</p>

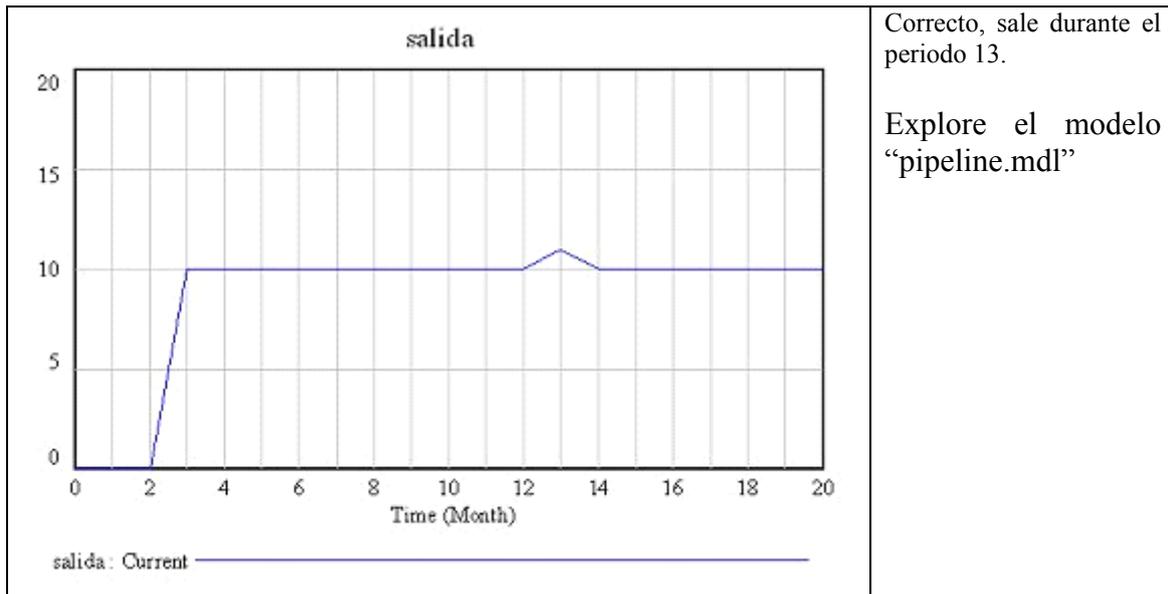


Tabla 14: análisis de la conducta del ejemplo de demora "pipeline"

### Demoras de "mixer" de primer orden

No siempre se conserva el orden de llegada para el servicio y la salida. Cuando se trata de llenar un estanque con el jugo de 100000 uvas, no se puede asegurar (ni importa) que luego saldrá primero el jugo de la primera uva exprimida.

La situación es representada en la figura siguiente:

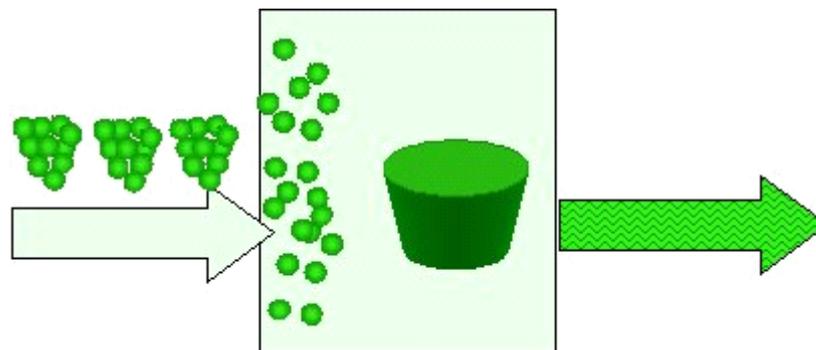
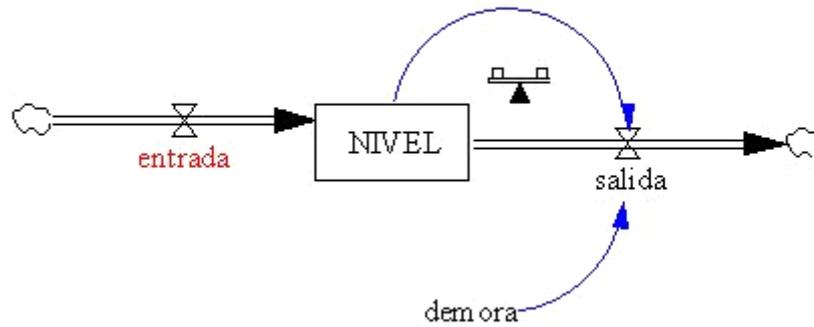


Ilustración 122: ejemplo de una demora de tipo "mixer" de primer orden

En estos casos, es como que los individuos que entran pasan por un "mezclador" que los reordena aleatoriamente.

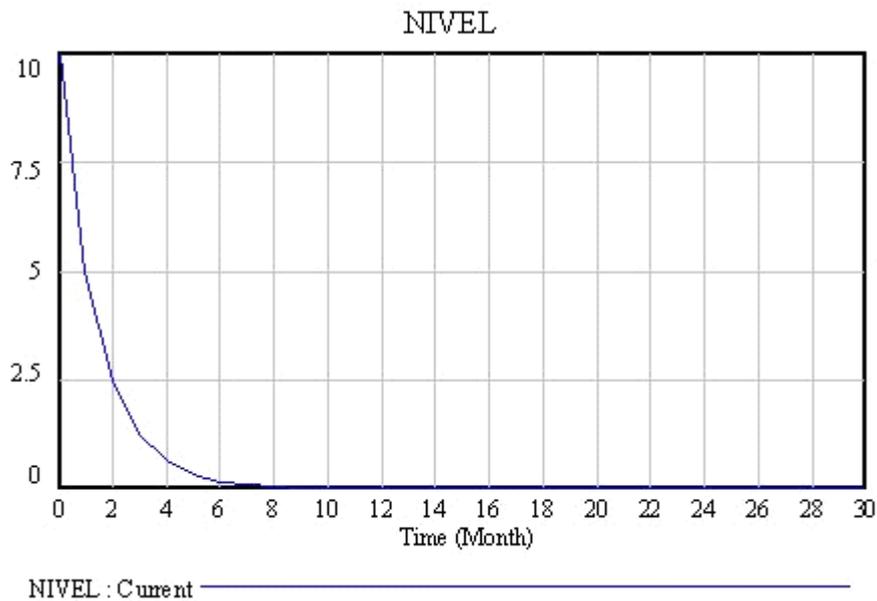
Ahora miremos la estructura típica de esta situación en un diagrama "stock-and-flow":



*Ilustración 123: modelo de una demora de tipo “mixer” de primer orden*

El modelo “mixer\_1.mdl” corresponde al modelo representado. En cada periodo, entra una cierta cantidad de unidades. También sale una cantidad, que depende de la cantidad del NIVEL y de la demora: si la demora es 2 (periodos), entonces de cada periodo sale la mitad de lo que haya en NIVEL. O, en términos generales: si la demora =  $d$ , entonces la salida =  $NIVEL * (1/d)$ .

La conducta típica de esta demora es, como uno puede adivinar desde la fórmula previa, asintótica:



*Ilustración 124: conducta de una demora de tipo “mixer” de primer orden*

Puede ir profundizando la comprensión del comportamiento de este tipo de demora, indagando un modelo (“mixer\_1.mdl”) y contestando una serie de preguntas sobre su conducta.

### Demoras de "mixer" de segundo orden

Algo similar pasa con los pasajeros de los diversos medios de transporte o con los compradores en una tienda. Solamente que ahora no es una mezcla perfecta; más bien, se desordena un poco. Puede ser que algunos pasajeros suban antes pero hacen un viaje más largo, entonces bajan después. La siguiente figura lo presenta:

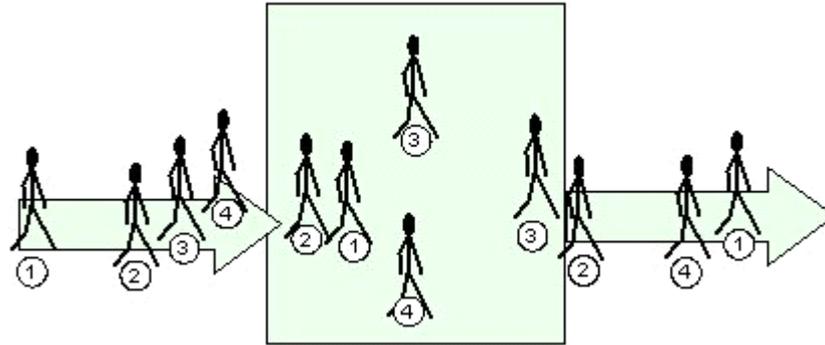


Ilustración 125: ejemplo de una demora de tipo "mixer" de segundo orden

Los casos de mezcla imperfecta corresponden a estructuras un poco más complejas. La más simple de ellas es la "demora material de segundo orden", cuya estructura es la siguiente:

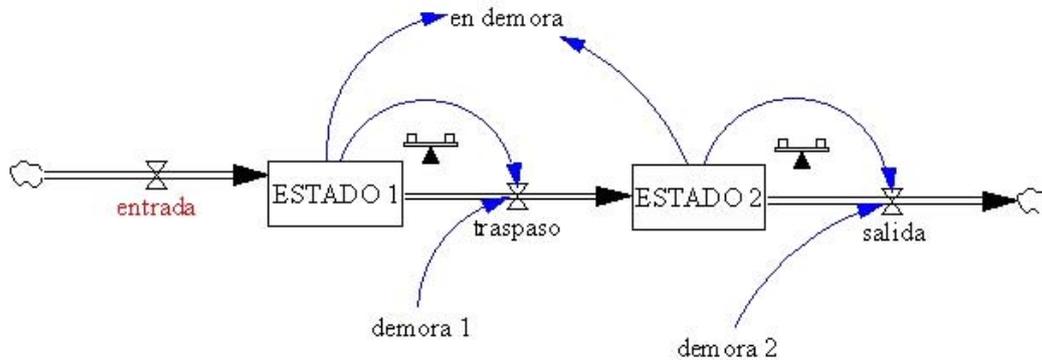
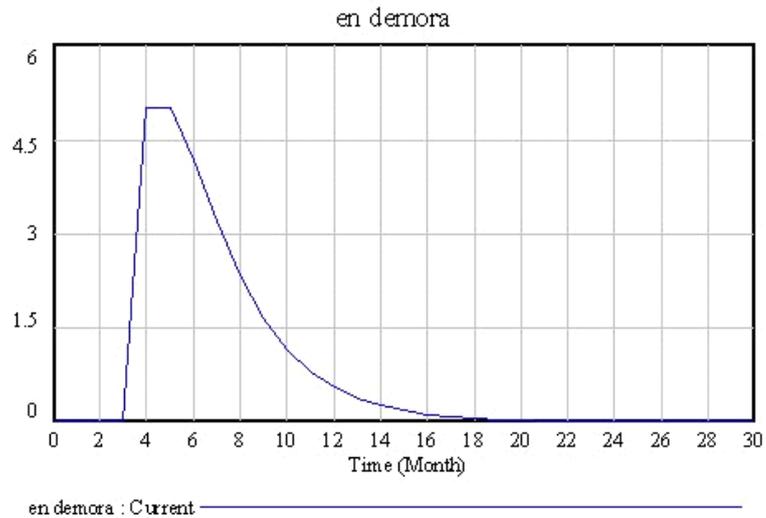


Ilustración 126: modelo de una demora de tipo "mixer" de segundo orden

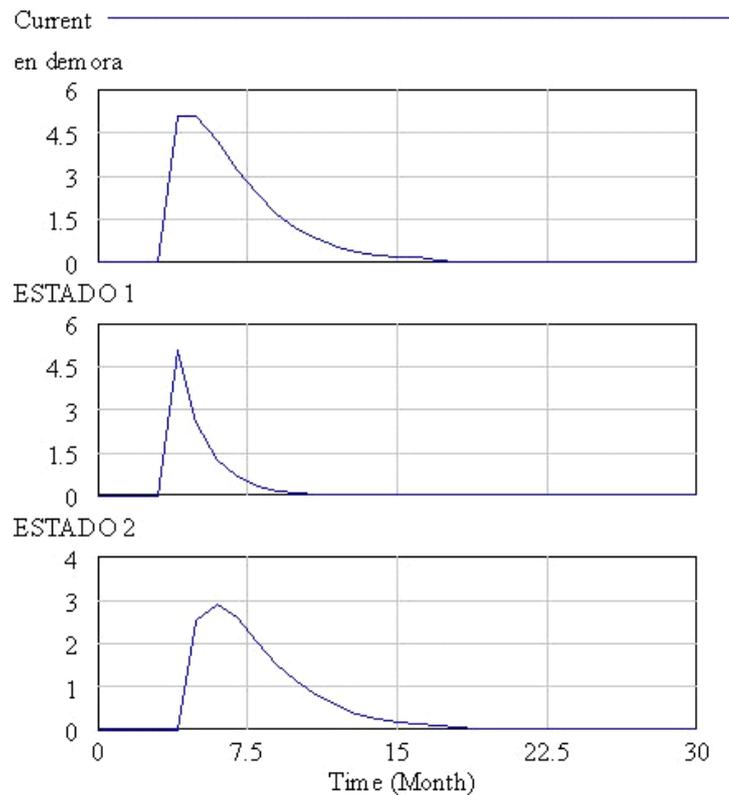
El modelo "mixer\_2.mdl" propone dos niveles (por lo cual se habla de "segundo orden") y dos demoras parciales. Podemos determinar la cantidad total de unidades en la demora sumando los dos niveles. La conducta típica se muestra en la siguiente figura:



*Ilustración 127: conducta de una demora de tipo “mixer” de segundo orden*

A primera vista, puede parecer idéntica a la de la demora de primer orden. Pero si observamos bien la primera parte, se nota que hay una diferencia: cuando el impulso de entrada (que viene en el periodo 3) entra a la demora, esta se queda con la misma cantidad. Luego decae, pero mucho más lento que en el caso previo.

La figura siguiente nos permite detectar por qué es así:



*Ilustración 128: análisis de la conducta*

Esta figura muestra, junto con la curva previa, la conducta de los dos niveles parciales adentro de la "demora". En ESTADO 1, podemos ver que la llegada del "material" gatilla la salida asintótica que ya conocemos.

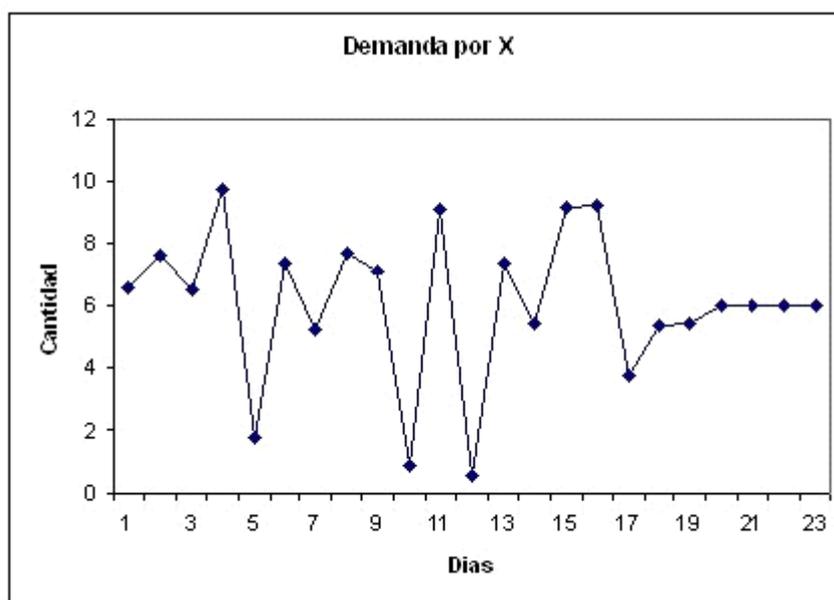
Sin embargo, la cantidad global de unidades en demora también debe pasar por ESTADO 2. Para entrar en éste, primero deben salir del Estado 1, y luego se hace efectiva la demora parcial del Estado 2. Cuando sumamos las cantidades en los dos Estados, resulta exactamente la cantidad total "en demora", que es entonces más plana que la demora de primer orden.

Puede ir profundizando la comprensión del comportamiento de este tipo de demora, indagando un modelo ("mixer\_2.mdl) y contestando una serie de preguntas sobre su conducta.

## Demoras de información

### *Primer orden*

Ahora nos ocuparemos del segundo tipo de demora: la que tiene que ver con flujos de información más que con flujos de material.



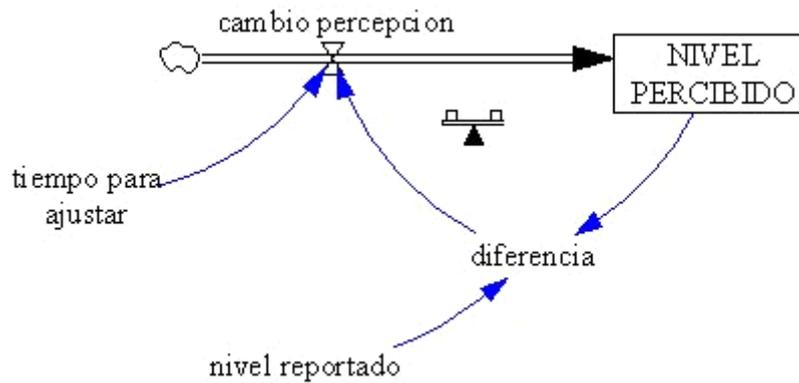
*Ilustración 129: marco para introducir las demoras de información*

Para ver de qué se trata, póngase en la siguiente situación: Usted dispone de los valores de la demanda por un producto "X" sobre los últimos 23 días. Ahora se trata de decir cuál es su expectativa para el futuro.

Visiblemente, los pasados tres días han sido de una calma que no se ha observado en los 20 días previos. ¿Significa algo para usted? ¿Usted estaría dispuesto a apostar una cantidad substantiva de dinero a que esta estabilidad se va a mantener en los próximos días? ¿O prefiere esperar unos días más antes de estabilizar su expectativa?

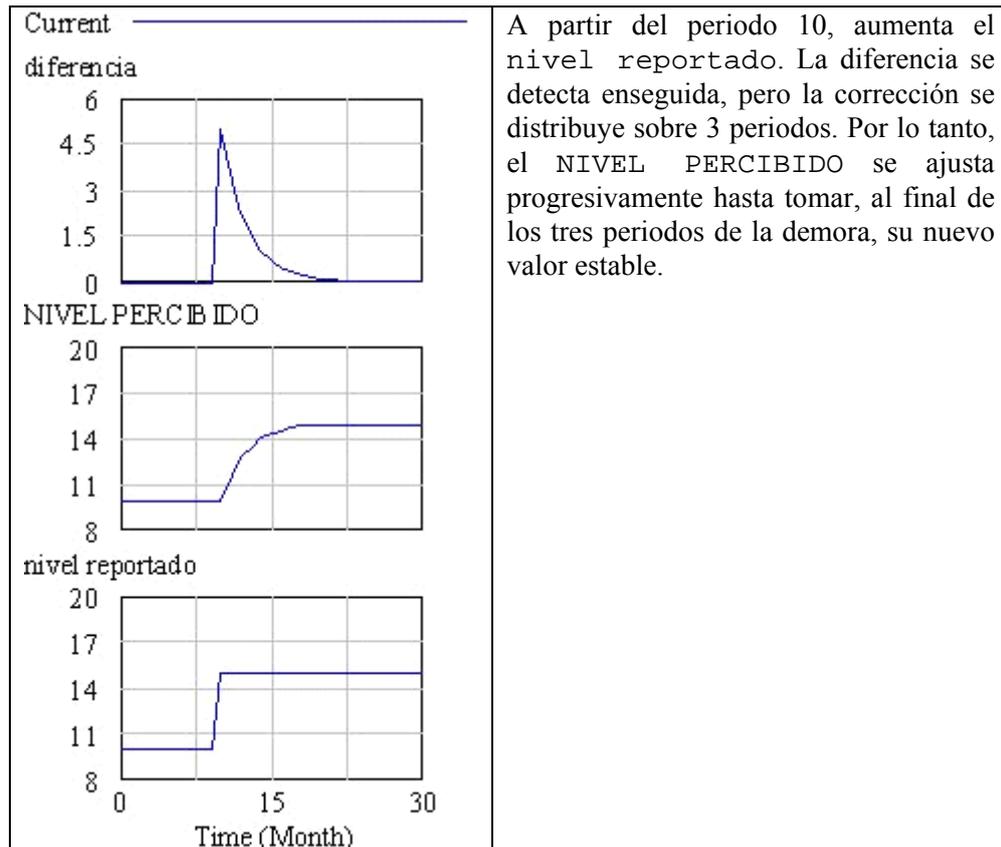
Este es el dilema de la formación de expectativas: si usted la forma muy rápidamente, actúa tempranamente pero tiene alta probabilidad de equivocarse; si espera tiene mejor probabilidad de no equivocarse, pero actuará más tarde. Si ha participado en el "juego de la cerveza", entonces probablemente recordará esta sensación incómoda.

Veamos ahora cuál es la estructura de esta situación:



*Ilustración 130: modelo de demora de información de primer orden*

Usted puede explorar el modelo "informacional1.mdl". Como usual para un ciclo de retroalimentación negativa, se hace una comparación entre dos valores acerca de la cantidad de algo: el NIVEL PERCIBIDO se compara con el nivel reportado, y en caso de diferencia se corrige la percepción. Esta corrección se distribuye sobre tiempo para ajustar periodos: cada periodo, se corrige una parte correspondiente a la fracción diferencia / tiempo para ajustar. A la diferencia aún no corregida, se aplicará la misma fórmula en el periodo siguiente. Así llegamos a correcciones cada vez menores de una diferencia cada vez menor, que nos da la conducta típica de esta estructura:

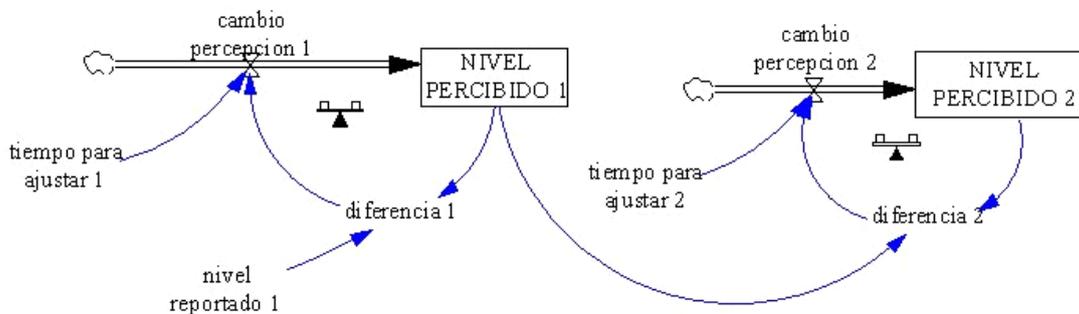


A partir del periodo 10, aumenta el nivel reportado. La diferencia se detecta enseguida, pero la corrección se distribuye sobre 3 periodos. Por lo tanto, el NIVEL PERCIBIDO se ajusta progresivamente hasta tomar, al final de los tres periodos de la demora, su nuevo valor estable.

*Ilustración 131: conducta de la demora de información de primer orden*

### Segundo orden

Como en el caso de las demoras materiales, aquí también usamos estructuras un poco más complejas. Pongamos el caso de una empresa donde un encargado de producto debe reportar regularmente (cada 5 días) sus expectativas de demanda al agente zonal, que a su vez se reporta al gerente regional, cada 5 días también (pero refiriéndose al informe recibido del encargado 5 días atrás). He aquí la estructura de la situación:



*Ilustración 132: modelo de demora de información de segundo orden.*

Este es el modelo “informativo2.mdl”. ¿Cómo serán estos reportes cuando - como en el caso de primer orden - después de 10 días la demanda sube de 5 unidades diarias?

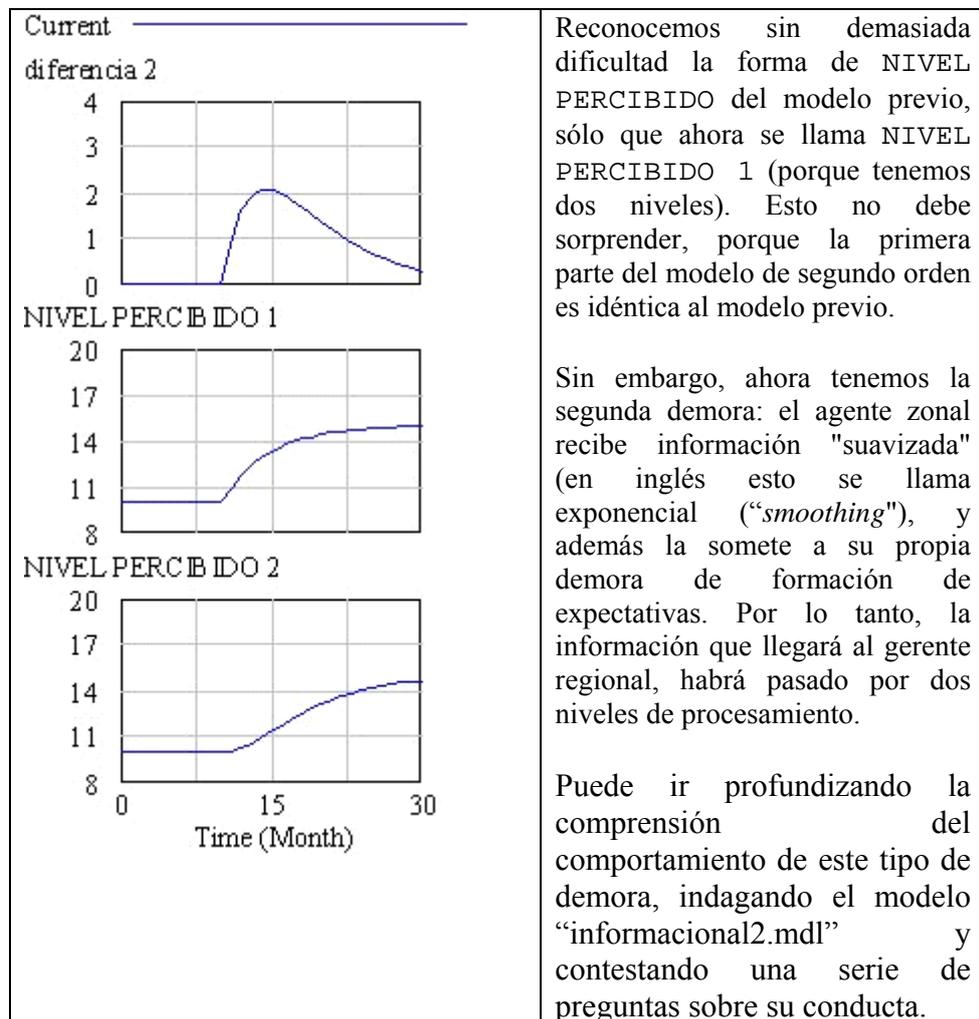
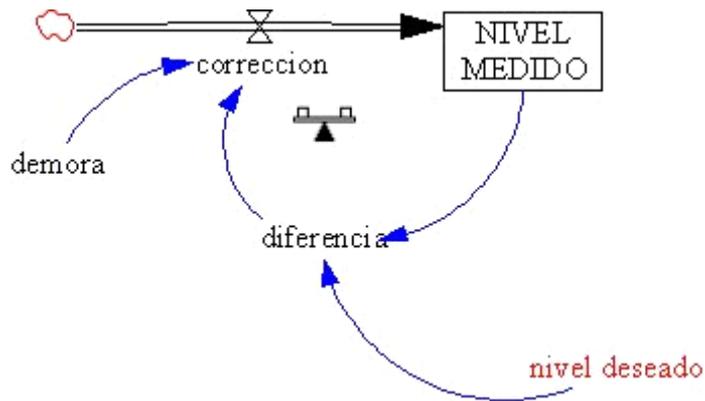


Ilustración 133: conducta de una demora de información de segundo orden

### La Demora causa la Oscilación

Este capítulo tiene un título que anuncia que las demoras son responsables de las oscilaciones en ciertos modelos. Sin embargo, hemos explorado 4 tipos de demora, y hasta este punto no hemos visto oscilaciones.

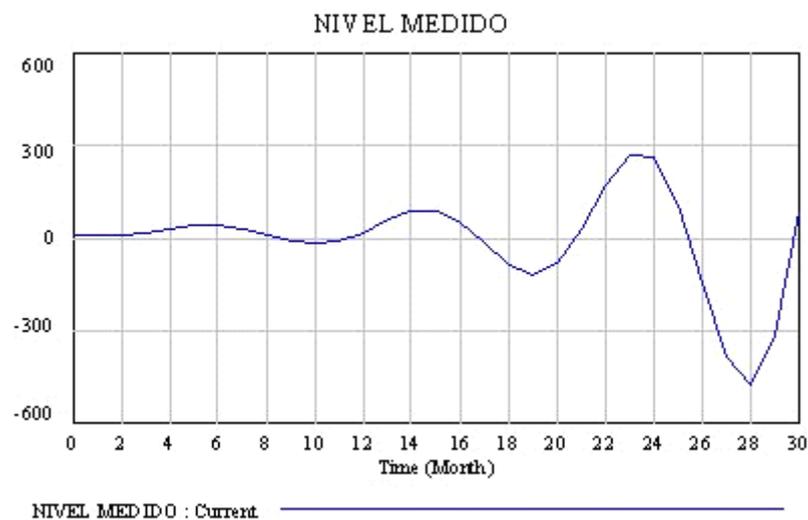
Introducimos entonces ahora una nueva vista de la demora material de "pipeline":



*Ilustración 134: modelo simple pero oscilatorio*

El modelo “oscilator\_1.mdl” permite acompañar la lectura. Tenemos nuevamente una estructura de búsqueda de objetivos (o de autocorrección), pero esta vez demora no va a distribuir la corrección sobre varios periodos, sino que toda la corrección se aplicará de una vez, pero demora periodos después de haber detectado la diferencia.

¿Cuál será la conducta típica de esta nueva estructura?



*Ilustración 135: conducta del modelo simple*

Esta conducta no necesita comentarios. Ahora, vamos a ir profundizando la comprensión del comportamiento de este tipo de demora, indagando el modelo “oscilator\_1.mdl” y contestando una serie de preguntas sobre su conducta.

Pero sí tenemos que hacer y responder una pregunta: ¿de qué tipo de demora se trata?

Tome un tiempo de reflexión y anote su respuesta en un papel antes de continuar.

¿Hecho?

Elaboraremos la respuesta explorando una representación desagregada del modelo:

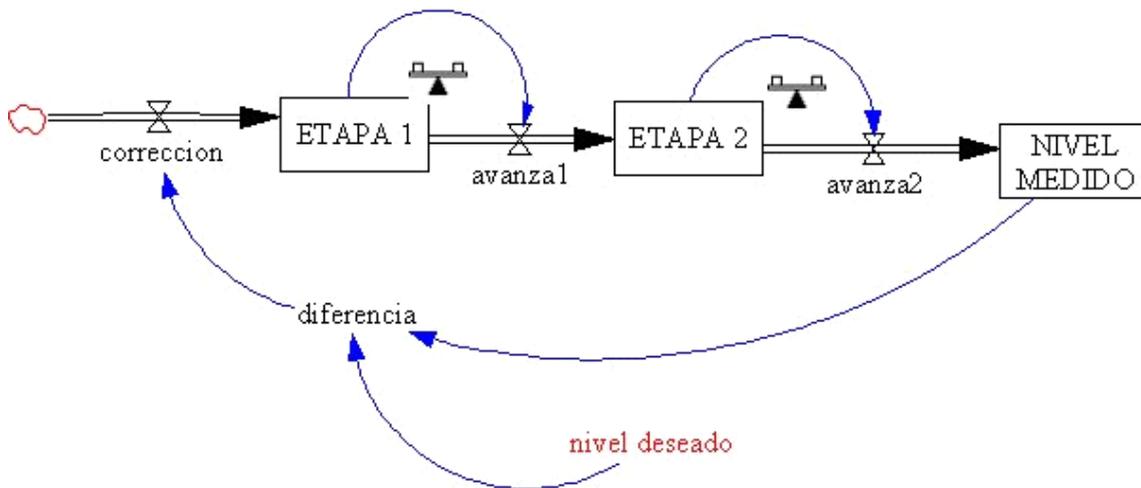


Ilustración 136: modelo con demora explícita

Explore el modelo “oscilator\_2.mdl” para complementar esta parte. Ahora podemos ver que si bien la corrección se aplica inmediatamente, se demora en cobrar efecto porque debe pasar por varias etapas antes de impactar el NIVEL MEDIDO. En estas condiciones, el modelo se revela como uno de "material - pipeline".

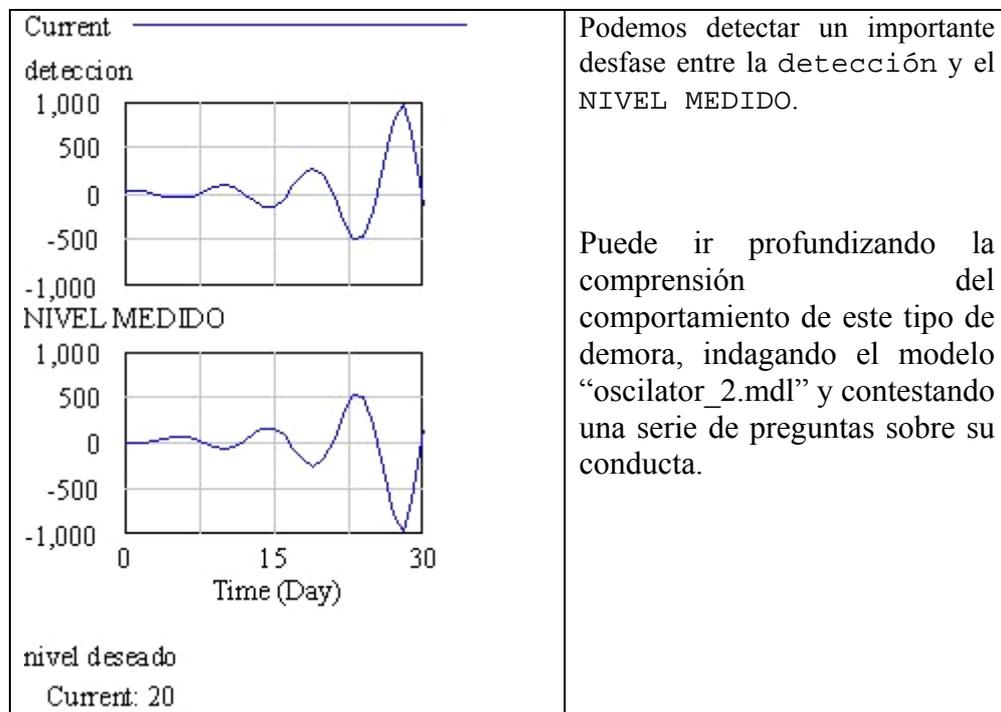
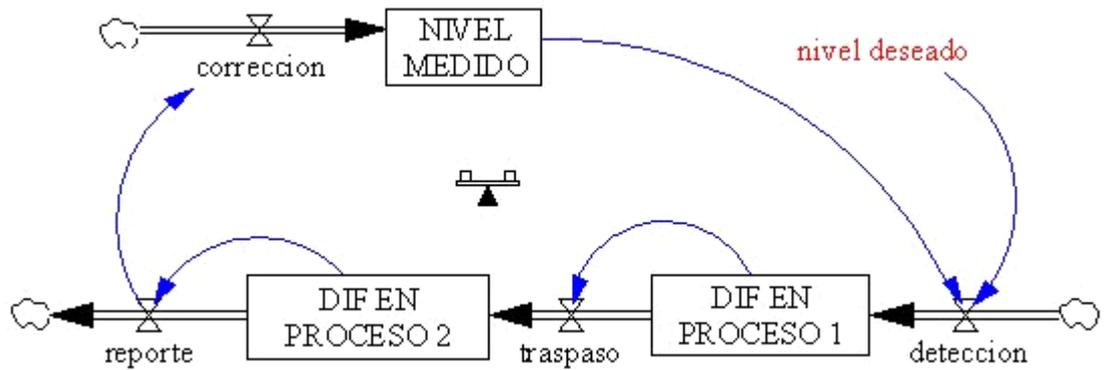


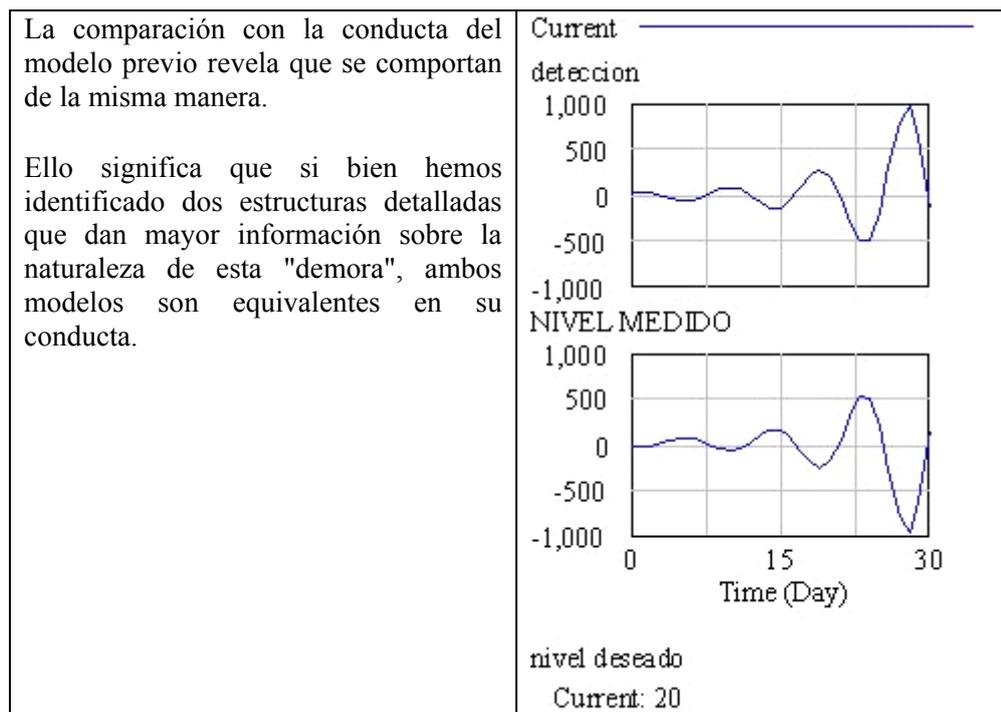
Ilustración 137: conducta del modelo nuevo

Hay otra manera de desagregar el primer modelo (“oscilator\_3.mdl”):



*Ilustración 138: una alternativa de articulación del mismo modelo*

Ahora hemos remplazado la variable auxiliar diferencia por un flujo de recurso, más precisamente: el flujo que los informes toman a través de la organización antes de llegar a la vista de quien toma la decisión de corrección.



*Ilustración 139: conducta del modelo reformulado*

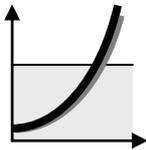
## Haciendo el punto

### Resumen

Un modelo representa una estructura que puede albergar demoras. Estas causan oscilaciones. Hay diferentes tipos de demora (material y de información) con diferentes subtipos.

### Bibliografía

Sterman, 2000. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**, MacGraw Hill



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

Intente reproducir un modelo de economía con un simple “lag” como modelo de dinámica de sistema.



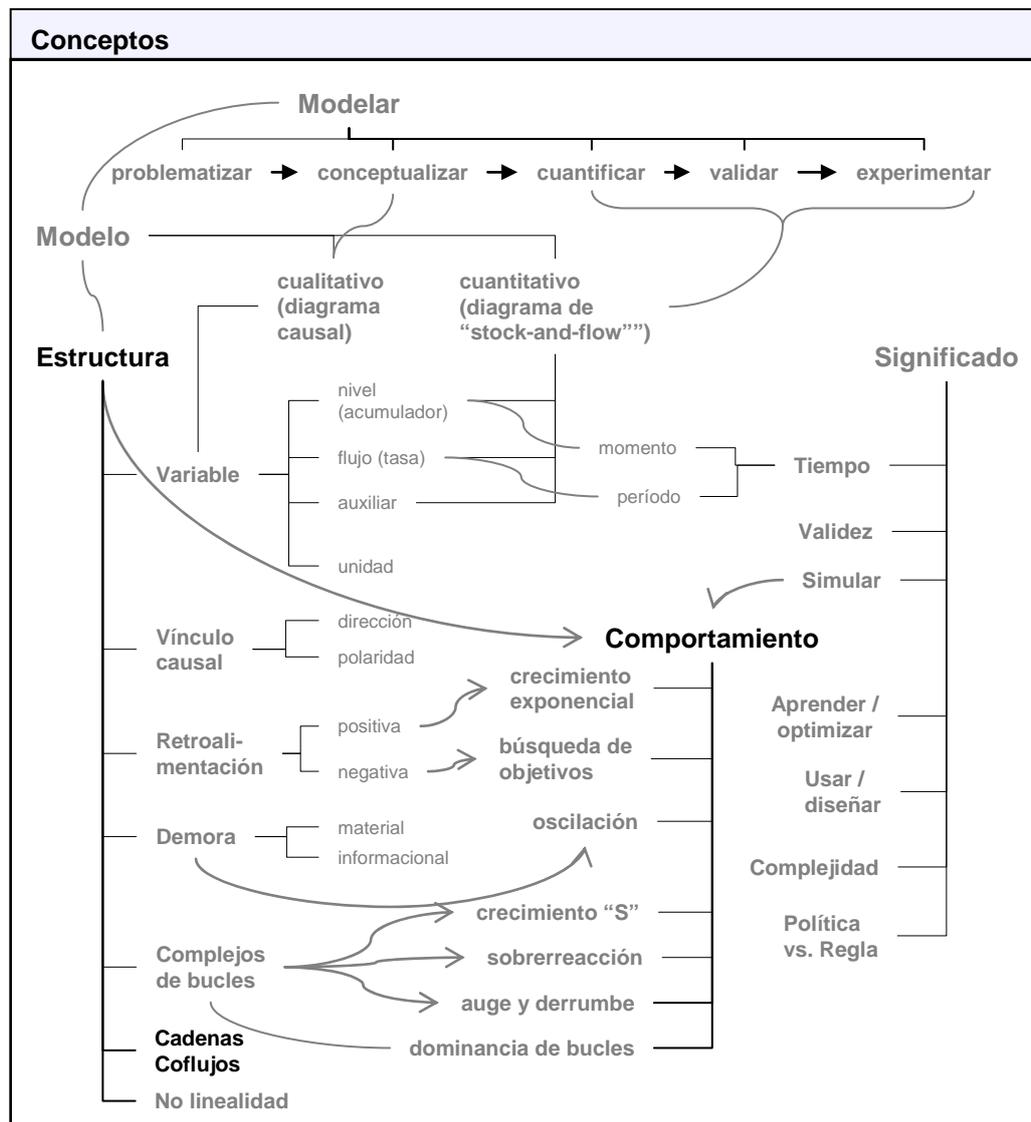
# 12. Cadenas y Coflujos

## Sobre este capítulo

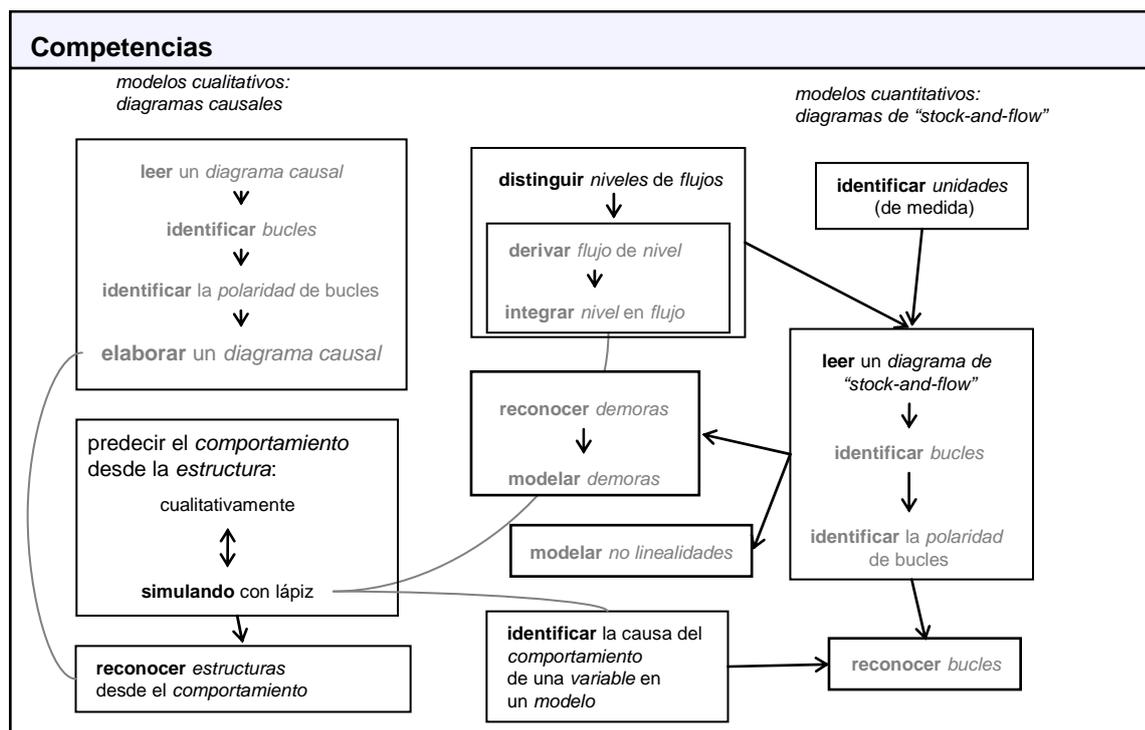
### Objetivos

Conocer estructuras con varias entradas/salidas y con flujos coordinados.

### Conceptos



## Competencias

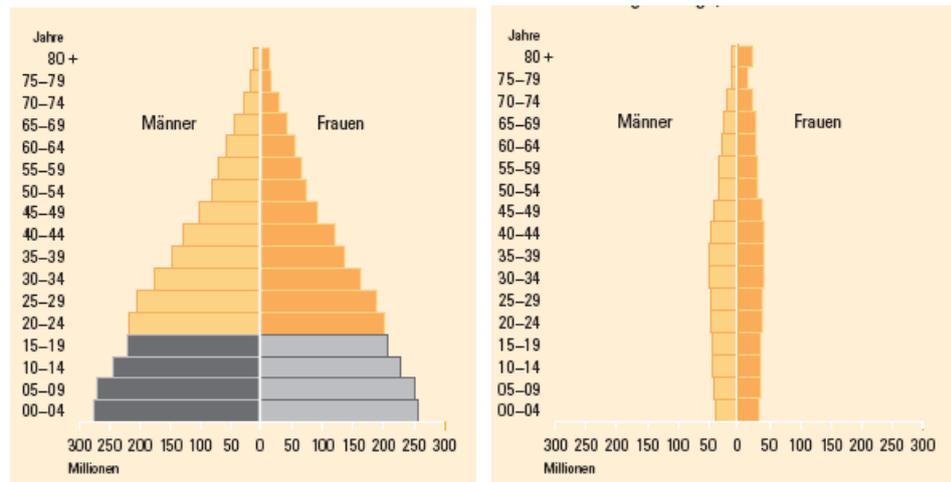


## Cadenas

En el capítulo previo, se trató de modelar demoras; una demora genera la acumulación de algo, es decir: toda demora requiere a lo menos una variable **nivel**, que tendrá no menos de una *entrada* y una *salida*. Ya habíamos visto que en algunos casos, el recurso modelado se detiene en varias etapas, es decir modelamos varios **niveles**, uno detrás del otro. Pero las demoras de orden elevado mantienen una *entrada* y una *salida* para cada **nivel**.

## Dinámica poblacional

Hay sistemas donde estos **niveles** reciben más de un flujo de *entrada* o tiene varias *salidas*. El ejemplo probablemente más conocido son las poblaciones. Todos hemos visto alguna vez la "pirámide de edad" de algún país, de una región geográfica o del mundo entero.

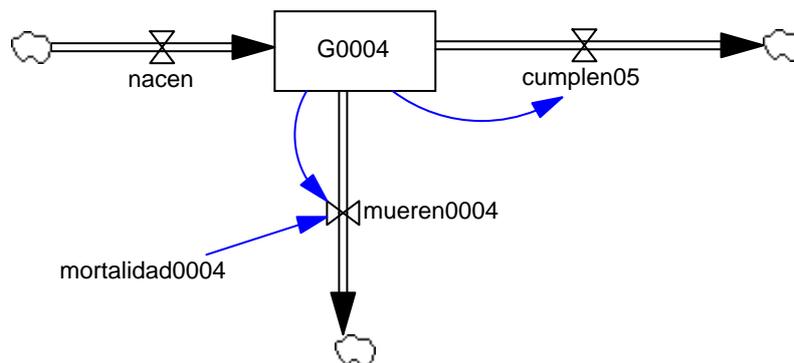


*Ilustración 140: pirámide poblacional*

Vemos que estos gráficos (Fuente: World Population Prospects: The 2000 Revision, New York 2001) suponen que la población se puede subdividir en grupos de edades: de 0 a 4, de 5 a 9, y así sucesivamente. También vemos que en el gráfico de la izquierda, los grupos más jóvenes son mucho más grandes que en el gráfico de la derecha. Resulta que el primero muestra la situación en los países en desarrollo, y el segundo en los países industrializados.

¿Cómo se representaría esto mismo en un modelo de flujos y niveles?

Todos al nacer tenemos 0 años de edad. Por lo tanto, inmediatamente después de haber nacido, nos encontramos en el grupo “0-4”, en el cual nos detenemos hasta que ocurra uno de dos eventos: nos morimos o cumplimos los 5 años. En el primer caso, dejamos de ser parte de la población, en el segundo dejamos de permanecer al grupo “0-4” y nos trasladamos al “5-9”. El diagrama correspondiente es:

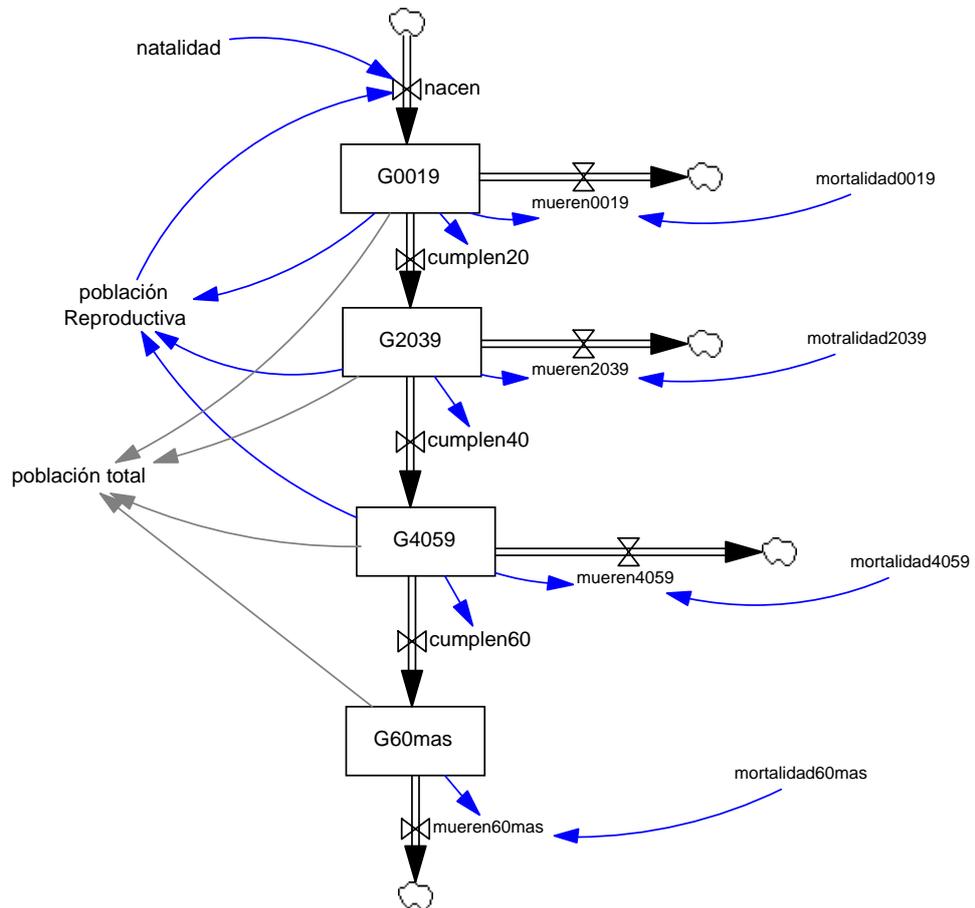


*Ilustración 141: modelo de cadena - paso 1*

Para cada grupo de edad hay una tasa de mortalidad de la cual depende la cantidad de personas que mueren. Y cada año, la quinta parte de la población de este grupo alcanza una edad que significa avanzar al grupo siguiente. Este diagrama es evidentemente una simplificación, ya que hay

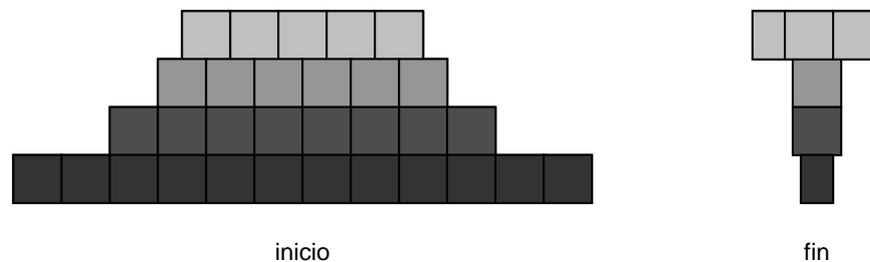
otros grupos de edades; la tasa de natalidad se referiría a la cantidad de personas en edad de reproducirse; debido a su ausencia, tampoco aparece la tasa de natalidad.

En vez de la división en grupos de 5 años, podemos usar grupos de 20 años para definir el siguiente modelo:



*Ilustración 142: modelo de cadena – paso 2*

Cuando este modelo se simula, se produce lo siguiente:



*Ilustración 143: visualización piramidal de la conducta del modelo*

## Elaboración práctica: maduración de recursos humanos

### Presentación textual del argumento

#### *Descripción del contexto*

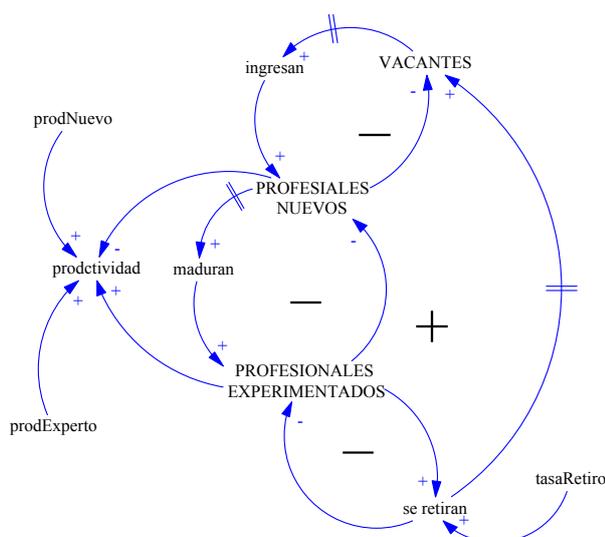
Una aplicación de este tipo de estructura se ve en el ámbito de los Recursos Humanos. Estudiemos el caso de una empresa que realiza proyectos a pedido de sus clientes. Los proyectos son asignados a profesionales experimentados, cuya experiencia se demuestra en una determinada productividad (medida como el número de proyectos que pueden realizar en un trimestre). Asumamos que son 6 proyectos.

Lamentablemente, estos profesionales no se quedan para siempre: de vez en cuando se retira uno (según una determinada tasa de retiro), y cuando esto pasa, debe ser contratado un nuevo profesional que lo remplace. Pero el nuevo profesional carece de la experiencia del que se retiró, y por lo tanto su productividad es menor durante un tiempo: realizará 3 proyectos por trimestre. Este tiempo de maduración será de dos trimestres.

Supongamos que entre que se crea una vacante y que se encuentra un nuevo profesional, pase un trimestre. Entre que un profesional experimentado anuncie su retiro y que se active la búsqueda de nuevos, pasa una semana.

¿Qué pasa durante el tiempo de aprendizaje con la productividad total de la empresa?

#### *Diagrama de bucle causal*



*Ilustración 144: DBC del modelo de exploración de cadenas*

## Asignación de fragmentos a variables

Declaremos cada una de las variables, señalando su tipo (flujo, nivel, auxiliar) y unidad de medida.

- VACANTES, PROFESIONALES NUEVOS y PROFESIONALES EXPERIMENTADOS son **acumuladores** que miden la cantidad de profesionales a lo largo de la cadena. Cabe remarcar que en el diagrama de bucle causal, se escribieron en letras mayúsculas; esta es una convención voluntaria para distinguir, en este tipo de diagrama, entre los dos tipos de variable que diferenciamos.
- Se retiran, ingresan y maduran son *flujos* de personas por semana; si bien en este caso, se habla mucho de trimestres, hay un componente que cuenta con una demora de una semana, y ello nos obliga a razonar en términos de semanas (y de multiplicar debidamente lo que se mencionó por trimestre, sabiendo que un trimestre son 12 semanas).
- Tasa de retiro es una variable auxiliar que contiene el porcentaje de los profesionales experimentados que se retiran durante un trimestre.
- ProdNuevo, prodExpero y productividad son auxiliares que representan proyectos/semana

## Modelo de simulación

### Diagrama

Cree el siguiente diagrama de flujos y niveles (“madur\_RRHH\_sim.mdl”):

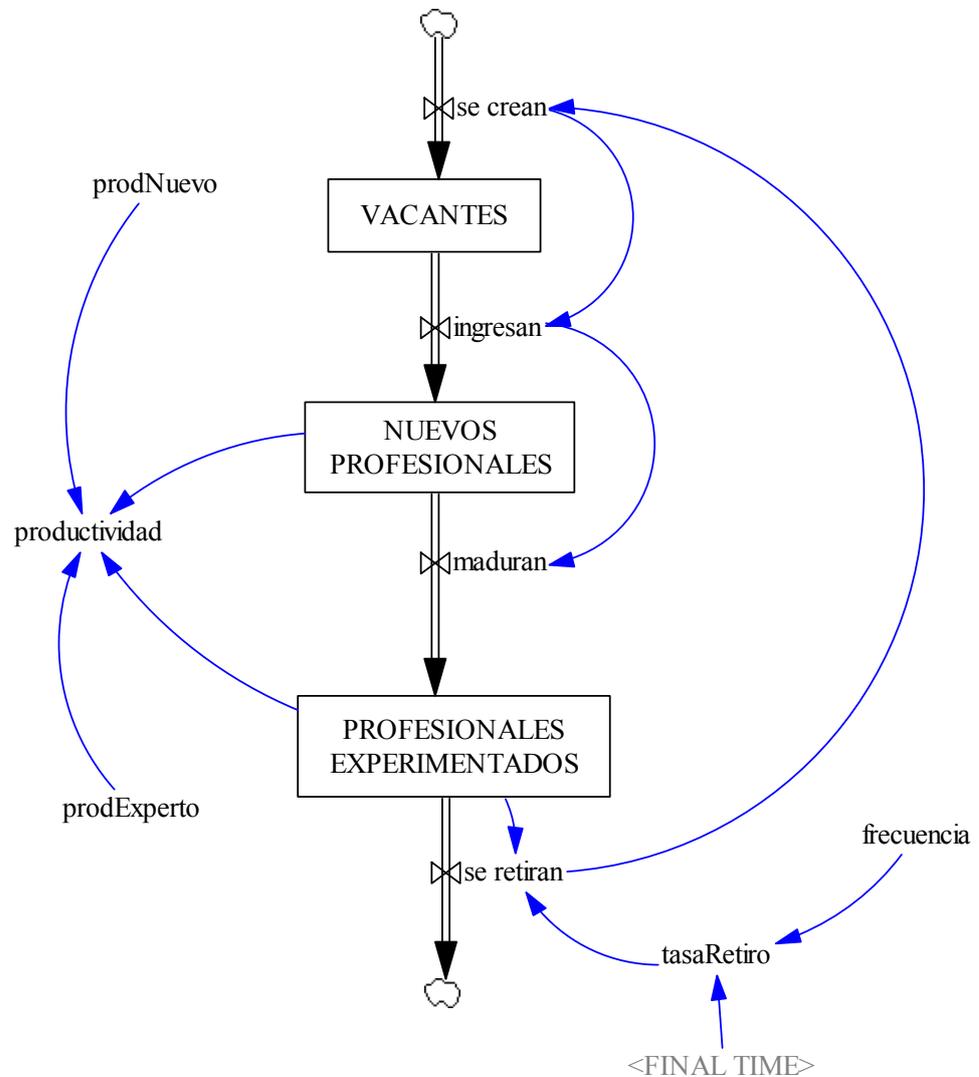


Ilustración 145: modelo de exploración de cadenas

La variable `<FINAL TIME>` es una de las variables internas de VENSIM: almacena el número que representa el último periodo de la simulación. Aparece en gris porque se ha insertado como una “shadow variable”. Esto se puede hacer cuando se desea *usar* una variable en el diagrama, pero no *agregarla* al modelo. Se produce en dos tipos de situación. Cuando queremos conectar una variable con otra, que se encuentra en otra parte del diagrama, y no queremos obtener una flecha que atraviesa el diagrama entero, podemos usar esta “fotocopia”. También es útil para incorporar variables internas de VENSIM, como en este caso.



## Cadenas y Coflujos

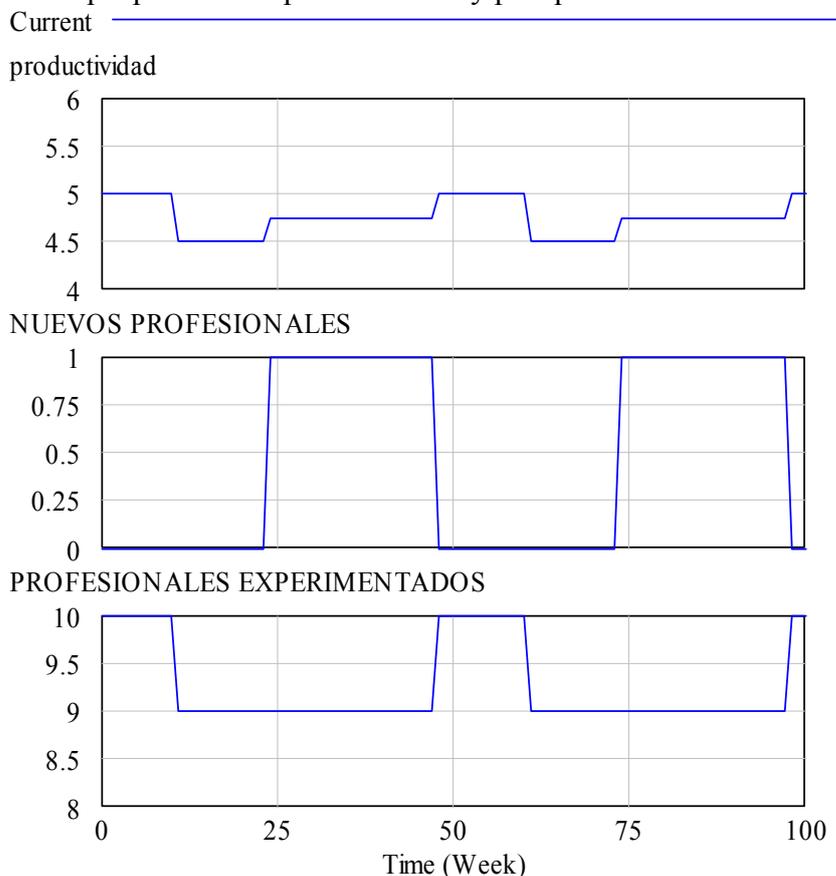
```
prodNuevo=0.25
  Units: Proyectos/Week
  Productividad de un NUEVO PROFESIONAL

productividad=
NUEVOS PROFESIONALES*prodNuevo
+PROFESIONALES EXPERIMENTADOS*prodExperto
  Units: Proyectos/Week
  Productividad total de la empresa.
```

Pongamos los “settings” para poder simular 100 semanas (“weeks”), con un TIME STEP = 1. Estamos listos para simular. Ahora su modelo es idéntico a “madur\_RRHH\_sim.mdl”

## Exploración de conducta

Pase a “synthesym”:  y ponga “frecuencia” a 52 semanas. Luego observe lo que pasa con la productividad y por qué:



prodExperto

Current: 0.5

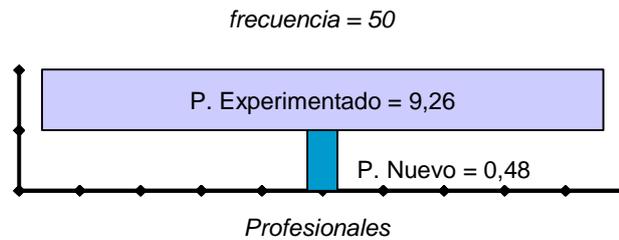
prodNuevo

Current: 0.25

*Ilustración 146: conducta del modelo de cadena*

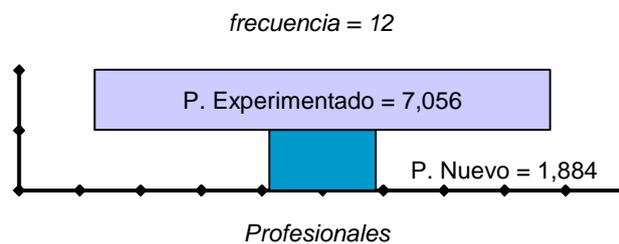
Cuando se retira un profesional experimentado, decae la línea graficada. Junto con ello, se deteriora la productividad: esto es inevitable cuando uno de 10 se va. Luego pasan unas semanas hasta que se incorpora un nuevo profesional; ello se debe a las dos demoras (abrir la búsqueda y encontrar uno nuevo). Junto con la llegada del nuevo profesional, se mejora la productividad, pero no se recupera enteramente; es la consecuencia de la menor productividad del nuevo. Cuando termina su proceso de maduración, pasan tres cosas: deja de ser nuevo y pasa a ser experimentado, y en el mismo momento se recupera la productividad de la empresa enteramente.

Cuando se calcula el promedio anual desde una simulación sobre 500 semanas (aprox. 10 años), surge la siguiente “pirámide”:



*Ilustración 147: visualización piramidal – escenario 1*

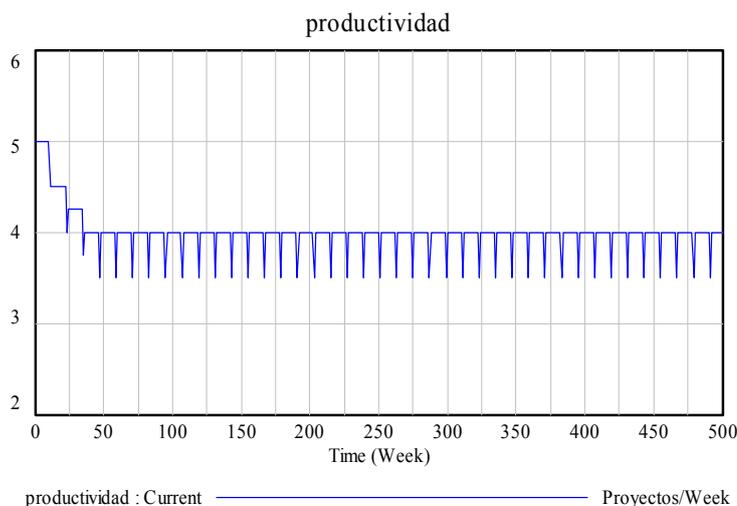
Si se retira un profesional experimentado cada 50 semanas, habrá una población de medio profesional nuevo y de poco más de 9 experimentados, en promedio. Esto cambia cuando simulamos nuevamente, pero asumiendo que un experimentado se retira cada 12 semanas:



*Ilustración 148: visualización piramidal – escenario 2*

Observamos que las relaciones han cambiado: hay más nuevos y menos experimentados. Ello se debe a que si no podemos acortar las demoras inherentes en la estructura del sistema, la estructura de la población cambia.

En ambos casos, la población inicial de profesionales experimentados no se puede mantener. En el segundo caso, la productividad sufre un periodo de adaptación - en descenso - y se estabiliza en un nivel inferior al inicial:



*Ilustración 149: comportamiento de la variable clave del ejemplo en escenario 2*

Esto significaría que la empresa debe plantearse una pregunta importante: ¿hay que bajar la cantidad de proyectos que se aceptan o hay que adoptar una política preventiva de contratación y formación? Queda claro que si no hace una de estas dos cosas, bajará la calidad de los proyectos – quizás en forma de retrasos – y por último bajará la demanda por iniciativa de los clientes.

Note que esto introduce conceptos que estaban fuera del modelo inicialmente. En un caso real, habrá llegado ahora el momento de revisar y ampliar las fronteras del modelo, y de aportar las modificaciones correspondientes a los diagramas y ecuaciones.

Suponiendo que la empresa desea mejorar su sistema de contratación. En este caso, se deberá plantear una serie de preguntas:

- ¿podemos encontrar candidatos con mayor experiencia?
- ¿podemos hacer más corto el periodo de maduración?
- ¿podemos encontrar más rápidamente a buenos candidatos?
- ¿podemos permitirnos contrataciones anticipadas?

Esta es, claro está, solamente una lista ejemplar. Sin embargo, ilustra claramente que el modelo deberá evolucionar en conjunto con las preguntas que se plantean; será entonces un objeto con que interactuar para perfilar una nueva política empresarial.

## Coflujos

En dinámica de sistemas, ponemos gran énfasis en no “mezclar peras con manzanas”. Representamos todas las entidades que distinguimos en un modelo en términos de “unidades”.

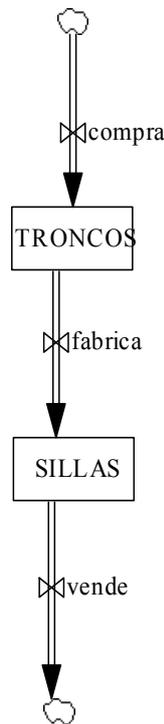
Esto hace alusión a tres aspectos importantes:

- lo que percibimos son partes del mundo material, “cosas”, aún si alguna vez son difíciles o imposibles de observar directamente;
- las “cosas” son de diferente naturaleza y se miden con unidades de medida diferentes.
- las “cosas” no aparecen o desaparecen en el universo por magia: toda materia se conserva.

Es así que las “nubes” de los diagramas de flujo y nivel adquieren su importancia: reconocemos que lo que tomamos en cuenta en un modelo, existe antes y existirá después.

Nuestros modelos deben respetar las restricciones que impone el universo a las “cosas”. Esto es importante para los modelos de sistemas sociales tales como empresas y organizaciones. “La empresa es una institución social que transforma recursos en productos y servicios.” Todos hemos aprendido esta frase en alguna oportunidad. Y en cierto sentido, es verdad: una fábrica de muebles absorbe troncos de madera y otras partes, y entrega mesas y sillas, por ejemplo. Entonces un modelo acerca de esta fábrica deberá representar por separado los troncos, las piezas y los diferentes tipos de muebles.

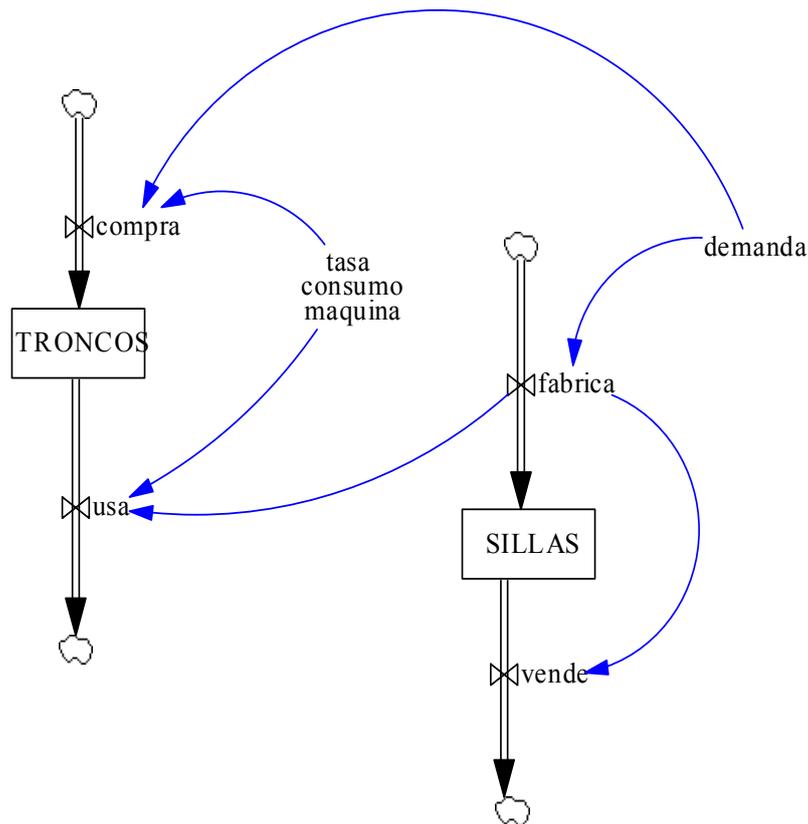
Estudiemos una empresa ejemplar, muy simplificada por cierto: en esta empresa, solamente se compran troncos de madera y se venden sillas:



*Ilustración 150: modelo problemático de un "recurso"*

Este modelo expresa que se compran troncos, luego se fabrican Sillas de los Troncos y las Sillas se venden. ¿Qué tendría de malo? Para descubrirlo, definamos las unidades de medida.

Los Troncos se miden en “metros cúbicos”. Las Sillas se miden en “piezas”. Mirándolo así, ¿puede la fábrica convertir “metros cúbicos” en “piezas”? La respuesta es no. Lo que puede hacer es comprar Troncos, almacenarlos y luego usarlos en alguna máquina. Esta misma máquina consume una determinada cantidad de “metros cúbicos” de madera para crear una “pieza” (Silla):



*Ilustración 151: cuando son dos recursos con unidades diferentes, debe ser coflujos*

Este diagrama reconoce que troncos y sillas no se pueden amalgamar. Sin embargo, sus cambios ocurren de manera coordinada. Cuando hay demanda, la empresa decide fabricar; ello significa usar una cierta cantidad de metros cúbicos de los troncos almacenados. Así es que el *flujo* “usa” se determina en función (usando información acerca) de la cantidad por fabricar y la tasa de consumo (“metros cúbicos”/”pieza”).

En el ejemplo, también se determina la compra de troncos con la misma lógica; además, se asume que la venta sigue a la fabricación de modo automático (con una demora de un día); ello es coherente con la idea de fabricar sobre pedido, y mantiene los costos de bodegaje de productos finales a un nivel bajo.

Usted puede explorar el modelo usando el archivo “cadena\_ejemplo\_sim.mdl”.

Esto es lo que llamamos “coflujo”: flujos diferentes, pero coordinados.

Las unidades de medida de un modelo de flujo y nivel, deben ser coherentes entre las variables y no deben contradecir al sentido común. La búsqueda de cumplimiento de esta regla, nos conduce regularmente a representar como coflujos los recursos que se miden en unidades diferentes.



En nuestra elaboración de las cadenas, hemos presentado VACANTES y PROFESIONALES como un recurso. Esto es, sintácticamente hablando, una posibilidad, porque ambos tipos de concepto se miden en “profesionales”. Sin embargo, los “PROFESIONALES” son personas de carne y hueso, no así las VACANTES. ¿Usted preferiría modelarlos como un coflujo?

## Haciendo el punto

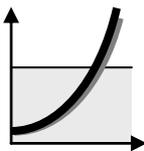
### Resumen

Una cadena es como una estructura de demoras en la cual los acumuladores pueden tener múltiples entradas y salidas.

Un coflujo representa movimientos de diferentes recursos que fluyen de forma coordinada. Sirve para respetar la ley de la conservación de la materia.

### Bibliografía

Sterman, 2000. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**, MacGraw Hill



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos tópicos en el sitio web del libro.)

Intente generar un modelo simple del desarrollo de la población mundial.



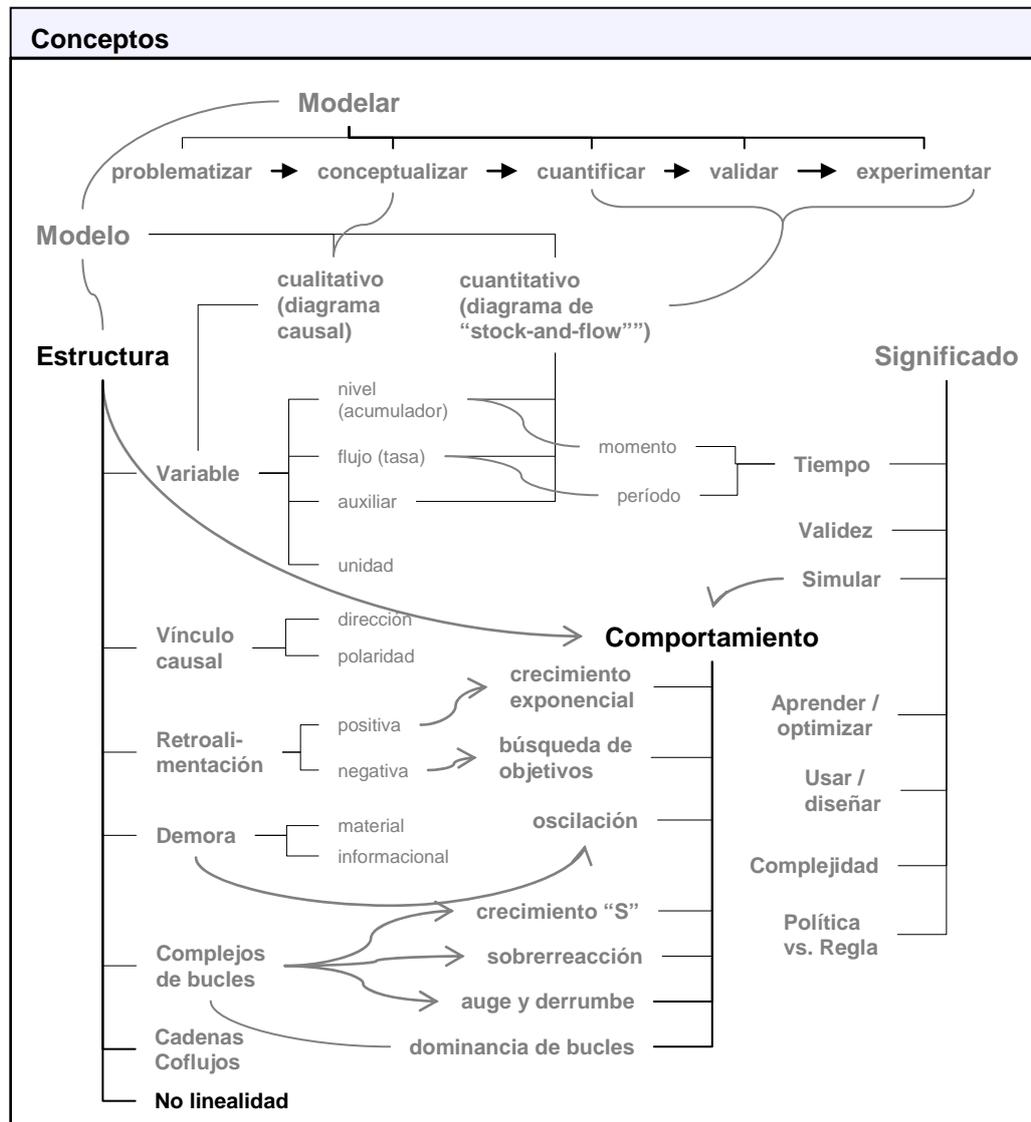
# 13. No linealidades

## Sobre este capítulo

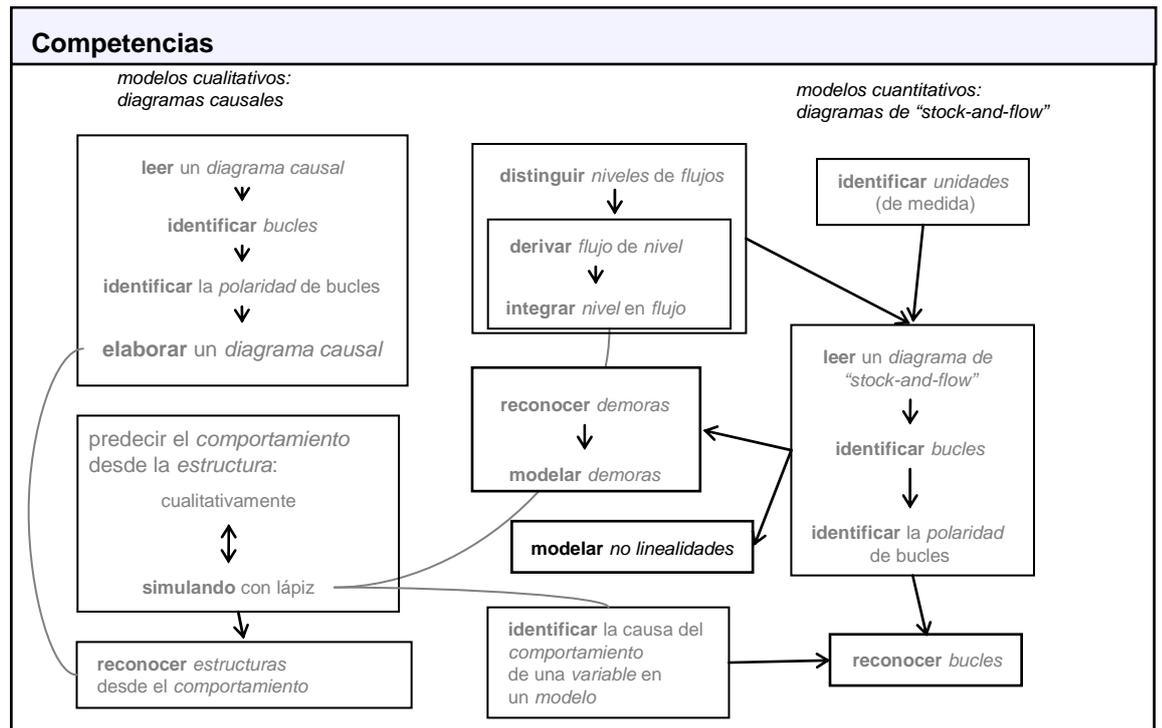
### Objetivos

Comprender como la no linealidad se representa en dinámica de sistemas, y ser capaz de crear una función gráfica.

### Conceptos



## Competencias



## La no linealidad

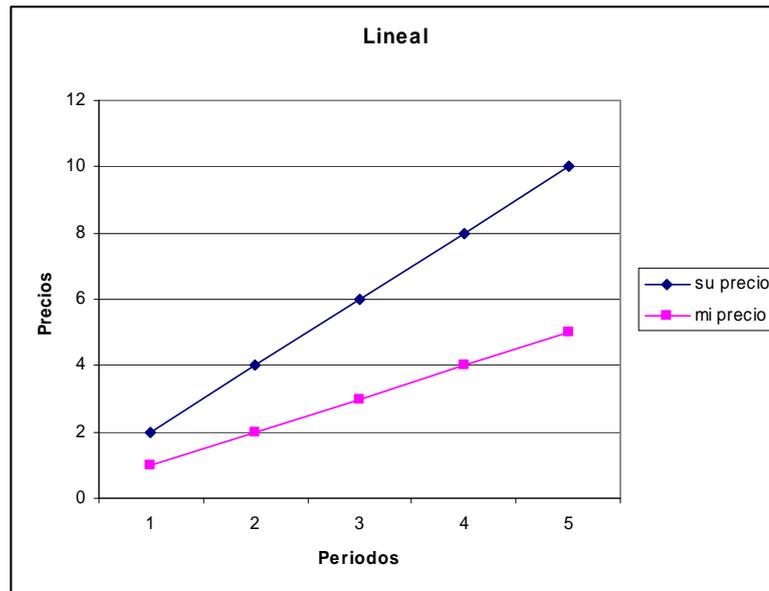
Hemos visto que muchas veces, una variable – sobre todo un **acumulador** – puede mostrar una conducta no lineal: esto es el caso cuando la variable forma parte de uno de varios bucles de retroalimentación. Pero ahora conoceremos otro tipo de no linealidad.

Se habla de relaciones causales “no lineales” cuando la reacción de una variable a un cambio en la otra, es diferente según el valor de esta otra variable. Por ejemplo, cuando una de dos empresas competidoras dice a un cliente: “no importa el precio que te ofrece mi competidor, yo te vendo a la mitad de ese precio”, podemos representar esta regla de fijación del precio como:

$$miPrecio = suPrecio / 2$$

Asumiendo que la otra empresa dobla su precio cada periodo, obtenemos el siguiente comportamiento:

## No linealidades

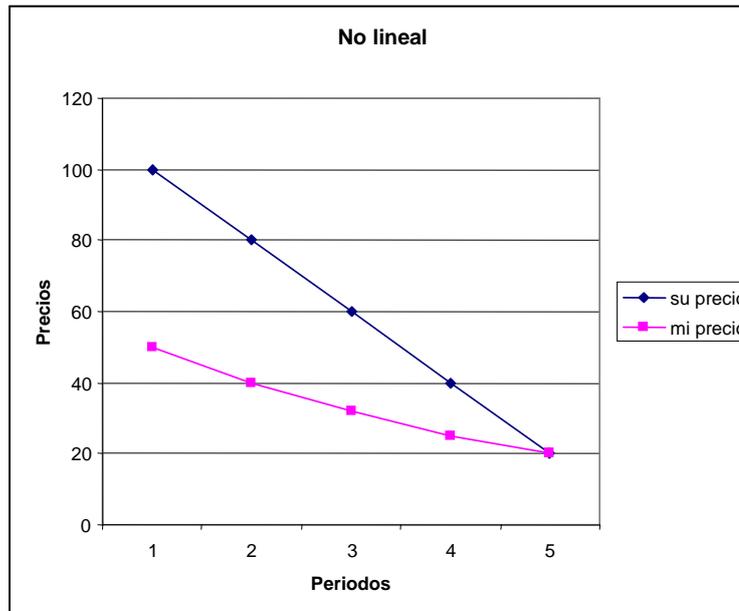


*Ilustración 152: ejemplo de conducta lineal*

Si bien la regla de fijación del precio involucra una operación de división, ello no produce una conducta compleja, ya que la regla misma no es no lineal.

Pero sabemos muy bien que no podemos siempre ofrecer nuestro producto a la mitad del precio del competidor: no venderemos a menos que nuestro costo de producción más un margen satisfactorio. Por lo tanto, la regla sugerida no es realista. Más bien, debemos formular una donde la recién mencionada restricción se respete: el precio puede ser la mitad del competidor cuando este es alto, pero será progresivamente similar al precio de la otra empresa.

Supongamos que el precio más alto es de \$100, y el más bajo para nosotros sería \$20. Entonces aún si el competidor baja progresivamente de \$100 hasta \$20, nuestro precio no iría hasta \$10, sino que bajaría desde \$50 hasta \$20, y en una forma **curva**:



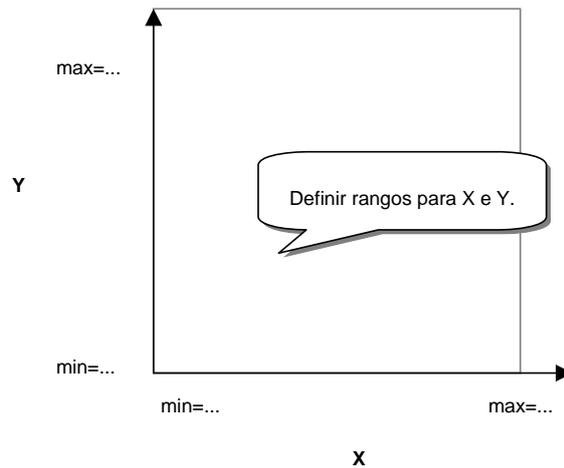
*Ilustración 153: ejemplo de conducta no lineal*

Evidentemente, esto es más difícil de captar en una fórmula que se asemeje a una función matemática. Además, muchas veces esta conducta no lineal se debe representar para variables “blandas”, para las cuales no hay registros históricos que permitan un tratamiento estadístico.

Los softwares que usamos para diagramar, cuantificar y simular, incorporan una herramienta para especificar la conducta no lineal a través de un panel de graficación. A continuación, presentamos esto para VENSIM, confiando en que el lector llegará a explorar la herramienta análoga de los demás softwares de forma autónoma.

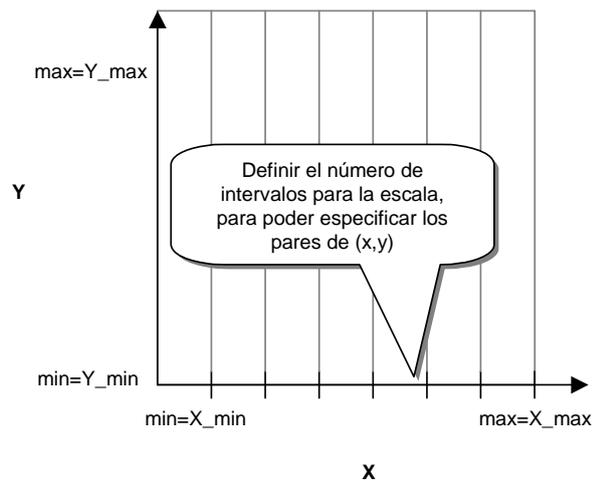
Lamentablemente, no hay un nombre único para lo que se presenta a continuación: se usan nombres como *función gráfica*, *función de tabla*, *tabla* o *“lookup”* (aproximadamente “lista de referencia”). Sin embargo, siempre se trata de usar un panel de graficación cuadrático para relacionar valores de entrada (o “input”, o “X”) con valores de salida (“output” o “Y”). Vamos por partes: primero tenemos los dos ejes X y Y, y cada uno cubrirá un rango de valores entre “min” y “max”:

## No linealidades



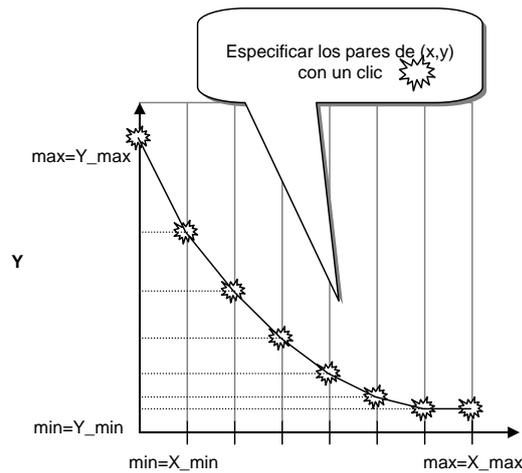
*Ilustración 154: funciones gráficas - paso 1*

A priori, el cuadrado carece de significación, hasta que se definan los rangos de valores. Decimos “X” e “Y” en alusión a la tradición en las funciones matemáticas. En nuestro ejemplo de arriba, corresponderían a “precio del competidor” y “mi precio”. En el próximo paso, tenemos que decidir en cuántos “puntos de datos” descomponemos el rango entre “max” y “min”:



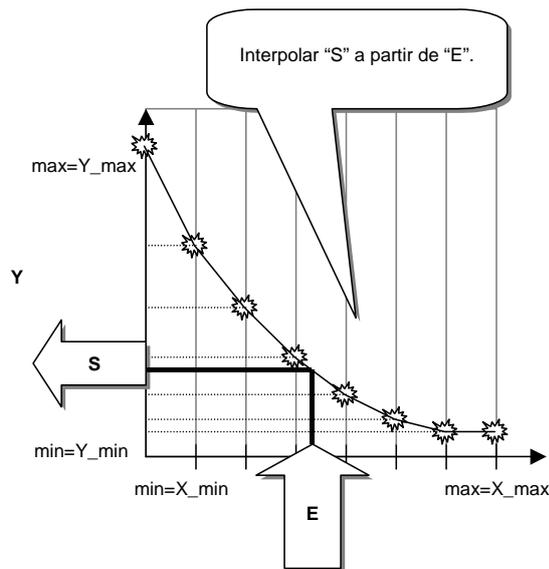
*Ilustración 155: funciones gráficas - paso 2*

A continuación, usaremos el mouse para especificar – mediante un clic en el cuadrado del panel de graficación – pares de “X,Y”:



**Ilustración 156: funciones gráficas - paso 3**

Así se genera una “tabla”, que es la representación numérica de los diferentes pares de “X,Y”. Durante la simulación, se presentarán valores de “X” que estarán en alguna parte entre “min” y “max”; a veces, puede ser exactamente uno de los “X” registrados en la tabla; en los otros casos, se realiza una interpolación lineal:



**Ilustración 157: funciones gráficas - efecto**

La “función gráfica” o “lookup” constituye, junto con el método de interpolación, una nueva función que estará disponible dentro del contexto del modelo que se está desarrollando. En este sentido, es algo que convierte una “entrada” (E) en una “salida” (S), lo que internamente corresponde a los “X” e “Y”.

Veamos cómo aplicar esto en el caso de nuestro ejemplo de las dos empresas. En la historia de estas dos empresas, “X” es el “precio de mi competidor”, y podemos – arbitrariamente – asumir que este precio varía

## No linealidades

entre \$120 y \$0. “Nuestro precio” (el “Y”) se situará en alguna parte entre \$60 y \$20.

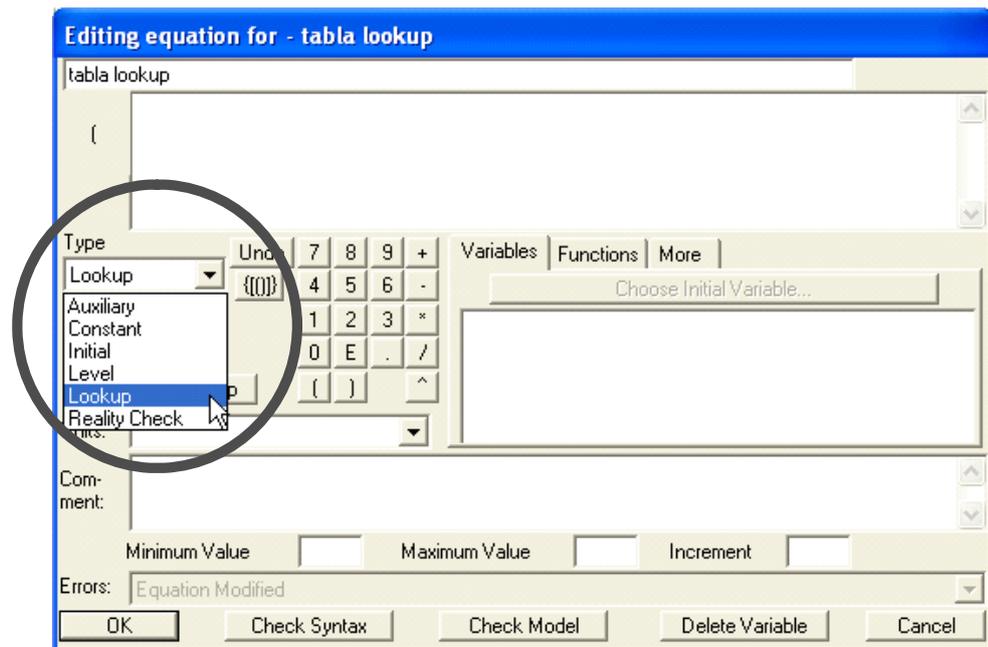
Abra VENSIM y cree el siguiente diagrama (el ejemplo completo se encuentra en “no\_lin\_ejemplo\_2.mdl”):

su Precio → mi Precio

tabla lookup

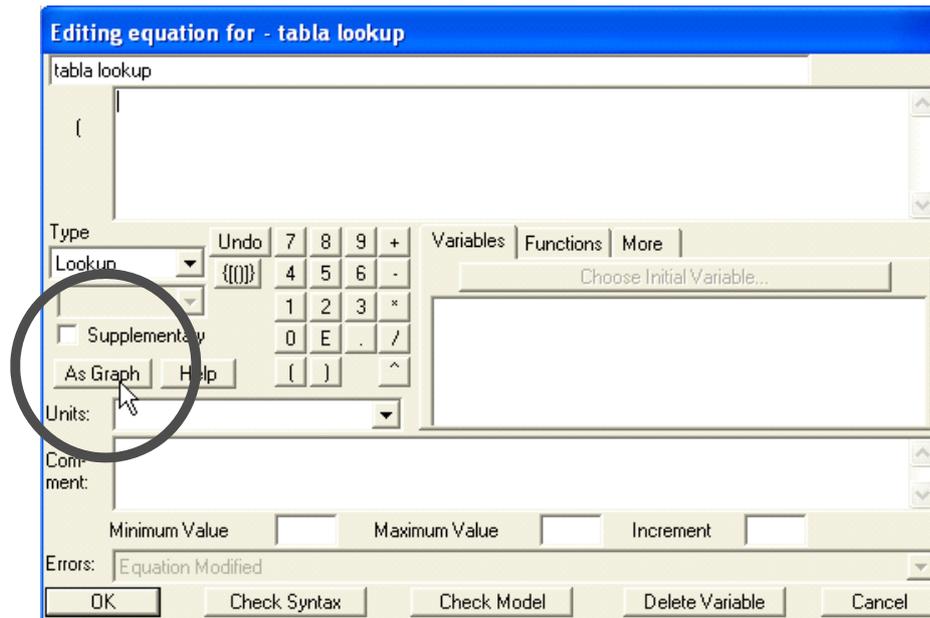
*Ilustración 158: diagrama para una relación no lineal*

Ahora seleccione la herramienta de ecuaciones y abra el diálogo de especificación de lookup. Verá lo siguiente:



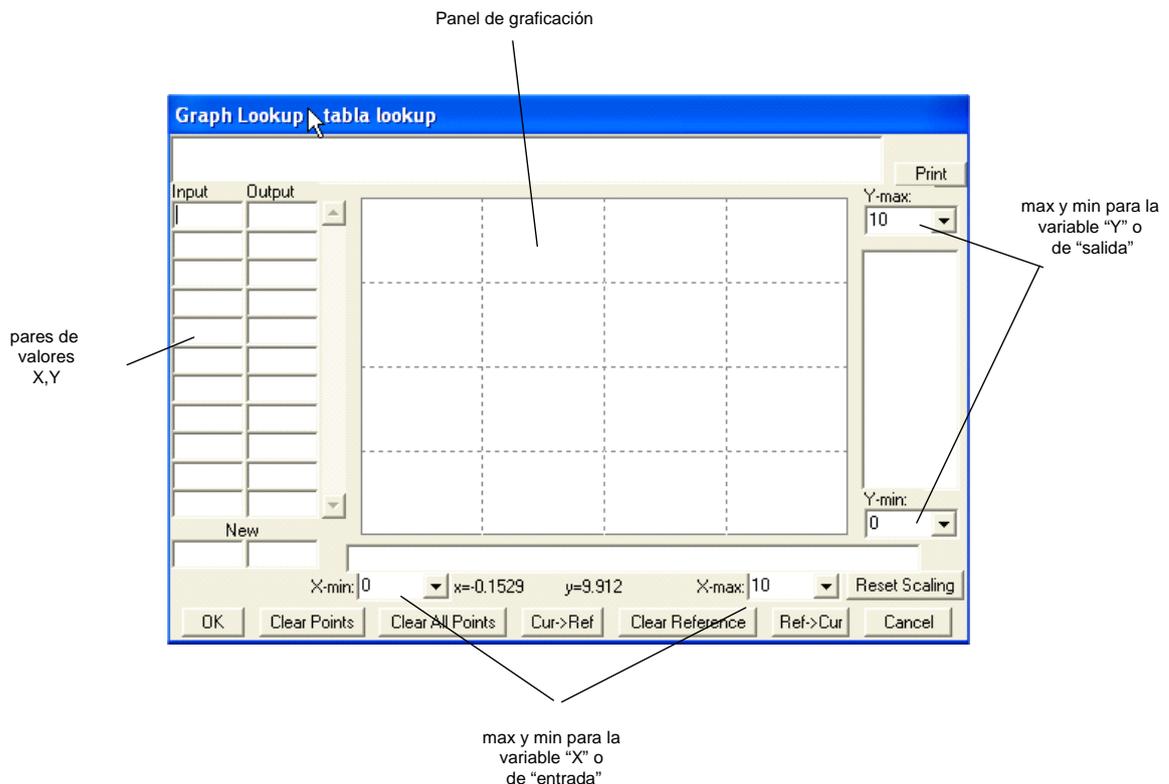
*Ilustración 159: función gráfica con VENSIM paso 1*

Elija el tipo “Lookup” y a continuación, el contenido del diálogo se adapta:



**Ilustración 160: función gráfica con VENSIM paso 2**

Ahora apareció un botón “As Graph” (“como gráfico”). Haga clic en este botón para pasar adonde queremos llegar:



**Ilustración 161: función gráfica con VENSIM, zona de trabajo**

Aquí encuentra todos los elementos que hemos revisado más arriba. Especifiquemos entonces los valores mínimos y máximos para las variables X e Y, y dibujando y/o usando los campos de edición, registramos los pares

## No linealidades

de X,Y que hemos definido. El software conecta los puntos con una línea recta, lo que nos ayuda a imaginar cuál es la interpolación (lineal) que hará cuando llegan los datos de “X” durante la simulación.

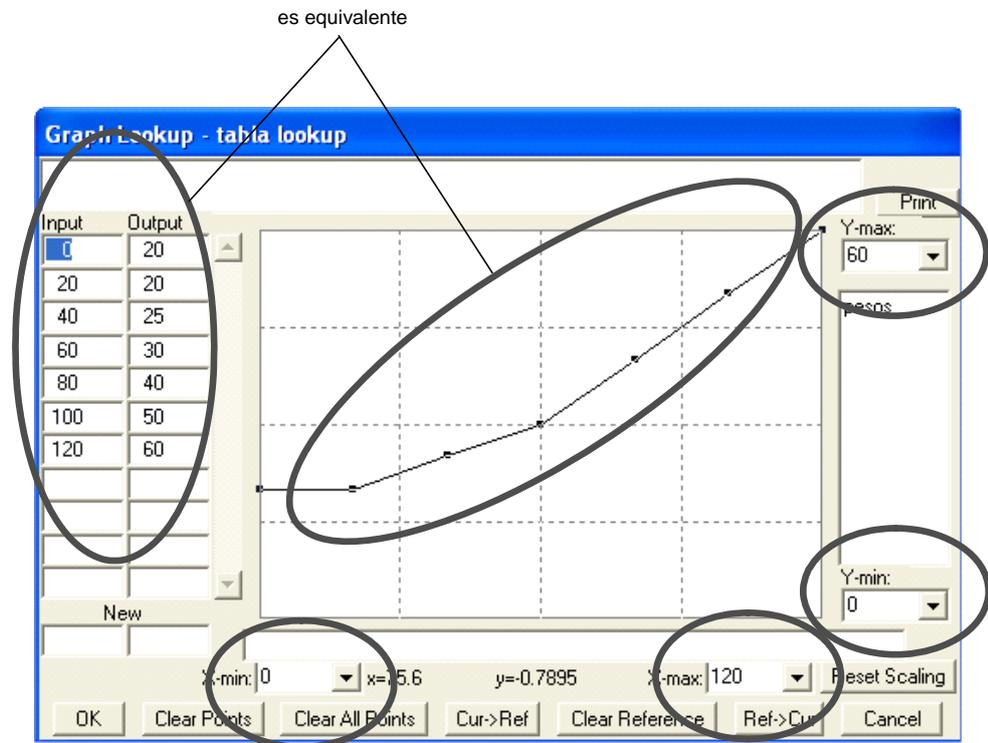


Ilustración 162: función gráfica con VENSIM paso 3

Una vez que todo ha sido definido, cerramos este diálogo con “OK” y volvemos a ver el fruto de esta interacción:

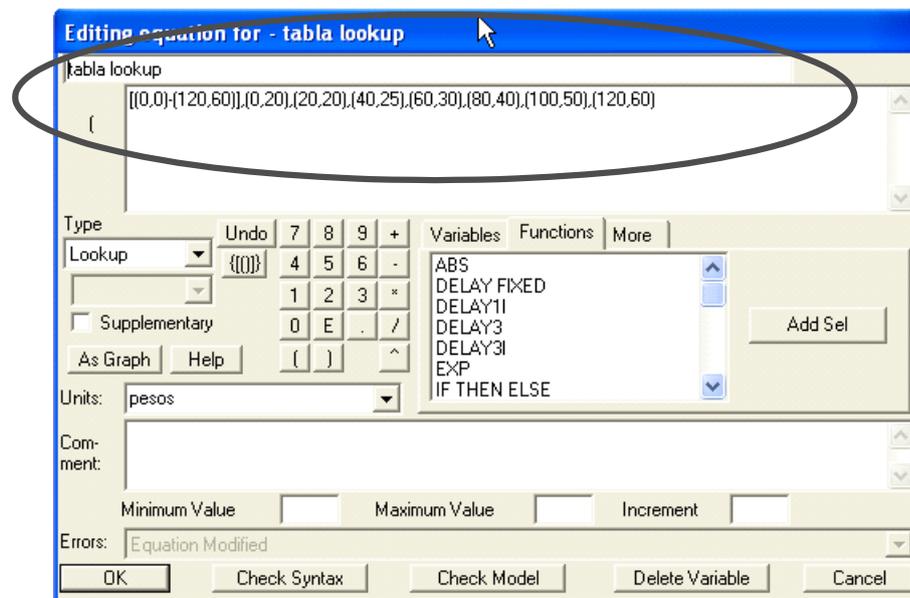
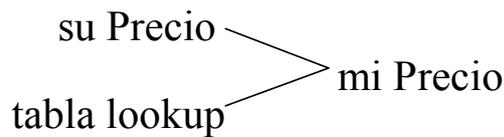


Ilustración 163: una tabla de "lookup"

Nos damos cuenta que el software no guarda más que los pares de X,Y, precedidos por los valores máximo y mínimo de cada una de ellas. Podemos cerrar este diálogo.

Ahora tenemos que definir de qué manera esta “función gráfica” será tomada en cuenta. Conecte `tablaLookup` con `miPrecio`.

La estructura causal de `miPrecio` es la siguiente (la siguiente ilustración se genera con la herramienta “*causes tree*” (árbol de causas) de la barra de herramientas de análisis (lado izquierdo de la ventana) de VENSIM).



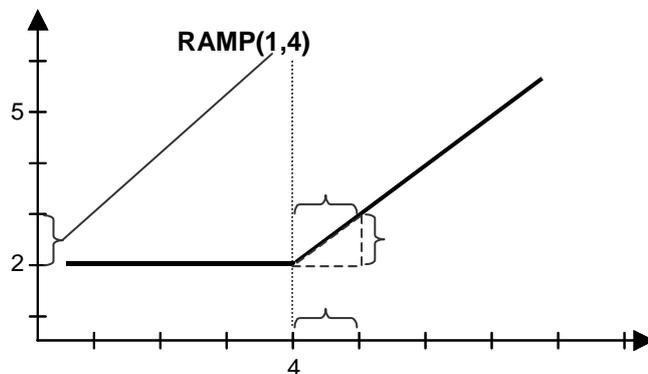
*Ilustración 164: el árbol de causas del modelo no lineal*

Vemos que para VENSIM, la función no lineal entre `suPrecio` y `miPrecio` pasa por la variable adicional `tablaLookup`. Por lo visto, será la fórmula de `miPrecio` que describe la manera exacta. Esta fórmula será:

$$\text{miPrecio} = \text{tabla lookup}(\text{suPrecio})$$

Precaución: en el diálogo de VENSIM solamente se digita la parte a la derecha del símbolo “=”.

Para comprobar si el modelo se comporta de acuerdo a nuestra necesidad, usaremos la función RAMP. Esta función pertenece a la clase de funciones de test, que permiten observar cómo un modelo se comporta frente a determinadas perturbaciones. Revisaremos más detenidamente estas funciones en el capítulo 15, (a partir de p. 259). Por el momento, es suficiente decir que RAMP genera una rampa con una determinada pendiente, a partir de un determinado periodo:



*Ilustración 165: una RAMP (rampa) permite hacer crecer una variable*

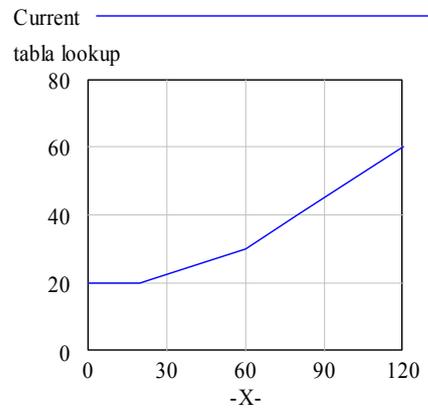
## No linealidades

Definimos pues la fórmula de `suPrecio` como

$$\text{suPrecio} = 0 + \text{RAMP}(10, 2, 15)$$

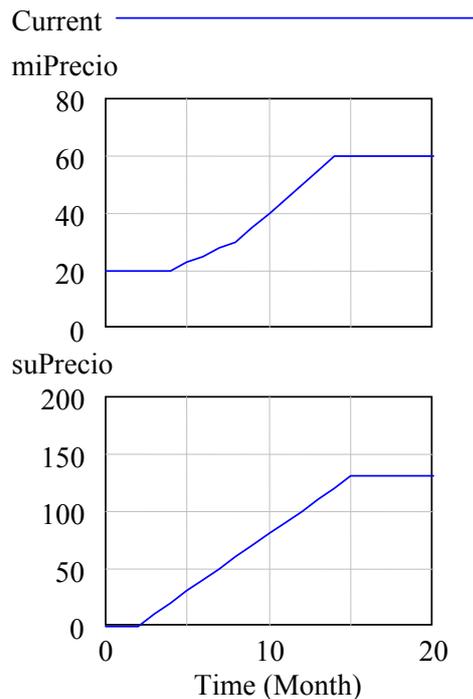
Esto quiere decir que el valor de `suPrecio` será – en los diferentes periodos de la simulación – cero más el valor de la función `RAMP`. `RAMP` devolverá un valor en cada periodo; hasta el periodo 2 (el segundo parámetro de la función). Luego devolverá un valor que corresponde al valor del periodo previo aumentado por 10 (el primer parámetro), y esto lo hará hasta el periodo 15 (el tercer parámetro)

La observación del comportamiento del modelo con la herramienta “causes strip” permite comprobarlo. Al usar la herramienta, se abren dos ventanas de gráfico. La primera muestra la “función gráfica” almacenada en `tablaLookup`:



*Ilustración 166: indicación de la función gráfica*

La otra ventana gráfica nos muestra lo que ocurre con `miPrecio` y la variable causante `suPrecio`:



*Ilustración 167: efectos de una función no lineal*

Vemos primero que `suPrecio` se comporta exactamente como especificado por la función RAMP: a partir del periodo 2 y hasta el periodo 15, aumenta de \$10 por periodo. La variable `miPrecio` tiene entonces la oportunidad de mostrar la reacción no lineal definida en `tablaLookup`: hasta que `suPrecio` aumente encima de \$20, se mantiene `miPrecio` en \$20. Luego hasta un valor de \$30 en `suPrecio`, `miPrecio` sube lentamente, y entre \$30 y \$120 (de `suPrecio`) aumenta siguiendo la regla de “la mitad de su precio”. Más allá de los \$120 del competidor, `miPrecio` se congela a \$60.

## Haciendo el punto

### Resumen

Muchas relaciones causales no son lineales. Su estimación es compleja, pero en dinámica podemos trabajar con aproximaciones. Usamos funciones gráficas para generar pares de puntos (entrada->salida) y los softwares los usan para hacer interpolaciones lineales.

### Bibliografía

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, McGraw Hill

# 14. Acerca de la dominancia de ciertos bucles

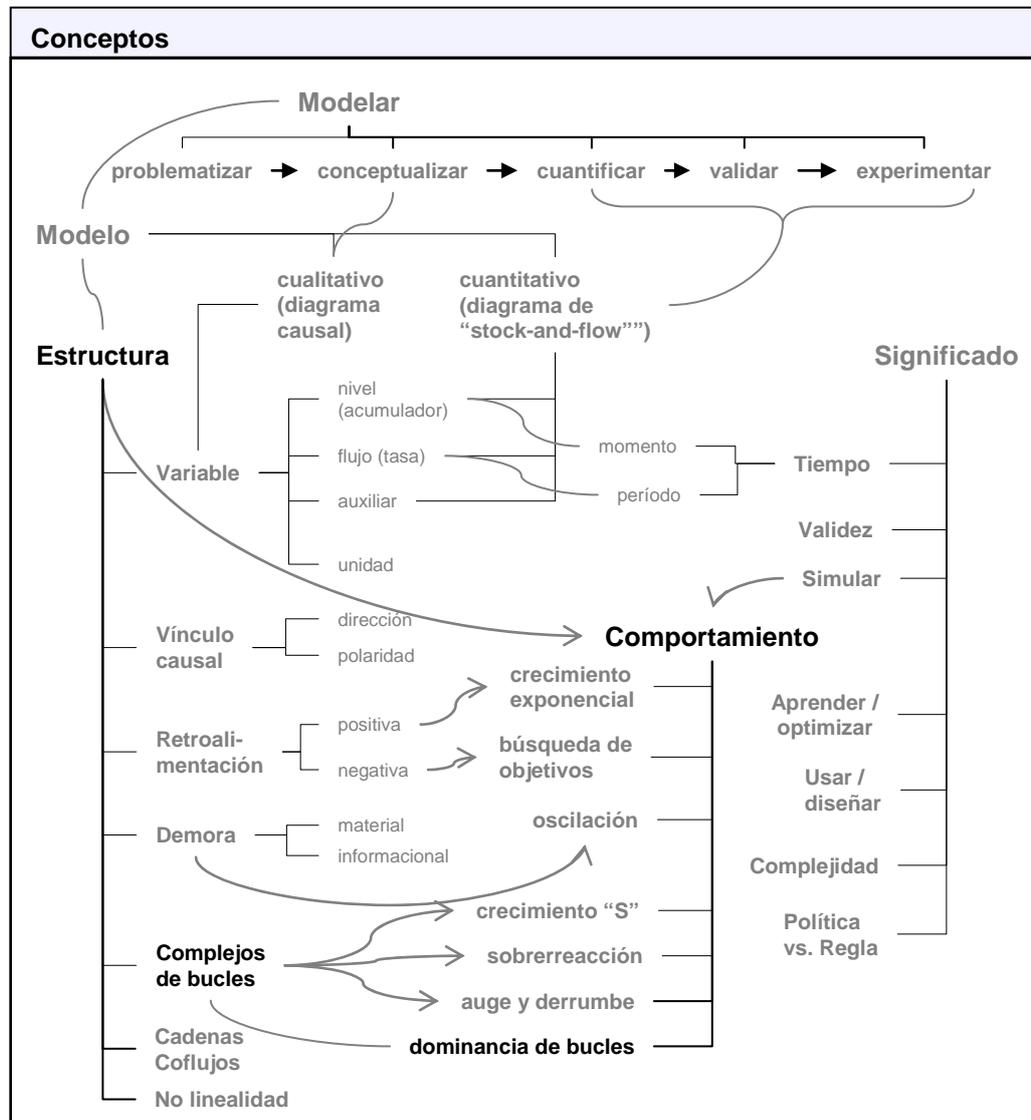
## Sobre este capítulo

### Objetivos

Comprender que en un nivel abstracto, un modelo es un conjunto de bucles de retroalimentación, de los cuales uno o varios dominan la conducta del modelo entero; según el contexto, pueden ser diferentes bucles.

Comprender que es un tema importante para seguir estudiando la dinámica

### Conceptos



## Bucles y dominancia

En los capítulos sobre el crecimiento en “S”, la sobre-reacción y el auge y derrumbe, hemos conocido algunos sistemas que pueden ser vistos como un complejo de dos bucles de retroalimentación. No resultará sorprendente que cualquier situación de la vida “real” conlleva muchos más componentes y muchos más bucles de retroalimentación.

Sabemos lo que hace un bucle simple de retroalimentación, según su polaridad. Sabemos también que cada bucle tiene su velocidad particular; es decir, entre que apliquemos una señal a una de sus variables y que el efecto causal vuelva a impactar esta misma variable, pasa un determinado tiempo. También hemos visto que este tiempo característico no necesita ser el mismo para los diferentes bucles; lo hemos denotado como “demora”. Esta lentitud de algunos bucles – comparados con otros – hace que los valores de sus variables cambien más lentamente que los valores de las variables de otros bucles en el modelo.

Sin embargo, no todas las variables de un modelo se encuentran exclusivamente en uno de sus bucles: hemos visto que hay variables que pertenecen a dos bucles al mismo tiempo. La variable “cambio” o “crecimiento” suele ser parte de dos bucles:

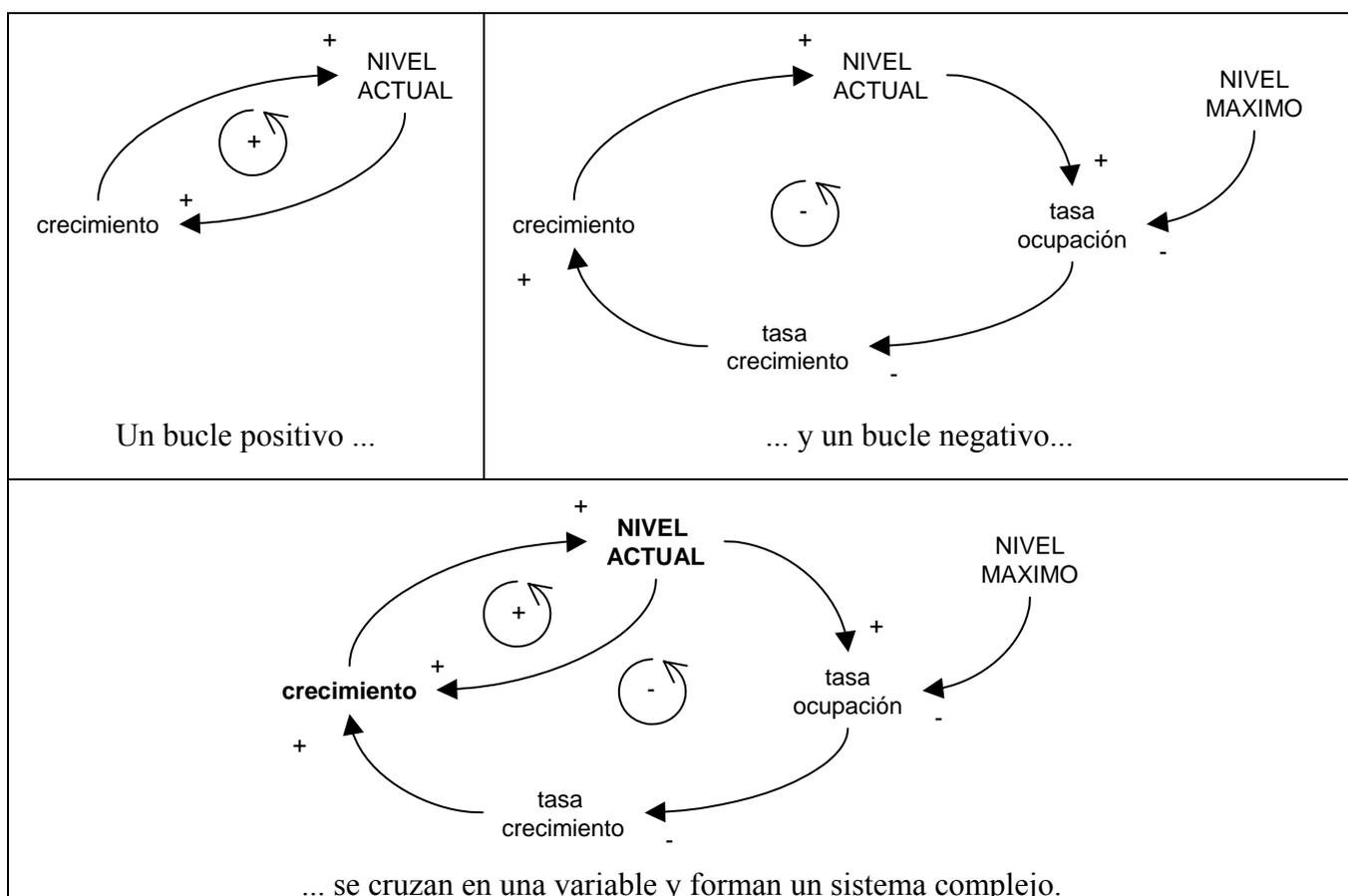


Tabla 15: superposición de bucles de retroalimentación

Nosotros hemos explorado dos posibilidades para sistemas de dos bucles, y el caso de auge y derrumbe nos confrontó con un triple bucle. Pensando que para dos bucles de dos polaridades, hay 4 combinaciones que se multiplican por las diversas demoras, y que tres bucles nos permiten 9 combinaciones, la complejidad de un modelo de un caso real resulta amenazadora. Si en nuestros ejemplos, todavía es factible acercarse a los puntos críticos – como cuando se produce la inflexión – por un proceso de prueba y error, esto deja de ser útil rápidamente.

Ya hemos visto que estos puntos críticos son la huella de que el bucle que hasta ahora dominó el comportamiento del modelo deja de hacerlo y otro toma el “poder”. Siempre son combinaciones de valores particulares en las variables alrededor de la variable donde los bucles se cruzan. En nuestro ejemplo era que el Nivel actual tiene un doble efecto sobre el crecimiento, pero de polaridad diferente: entonces una de las variables crece y la otra decrece. La multiplicación de estas dos variables produce un efecto interesante:

A	B	A*B
1	7	7
2	6	12
3	5	15
4	4	16
5	3	15
6	2	12
7	1	7

Incluso en este ejemplo muy simplificado, hay un punto crítico (4) para las variables A y B, donde su producto deja de crecer (un máximo local).

En el campo de la “dinámica de sistemas”, la investigación de la dominancia de bucles y de las condiciones bajo las cuales cambia entre los diversos bucles en un modelo, está en pleno proceso, ya que una herramienta que ayuda a razonar acerca de un modelo en términos de la dinámica de la dominancia de sus bucles, ayudaría a complementar la visión detallista de los **acumuladores** y *flujos* con una más sintética.

Ford (1999) ha sugerido que el comportamiento de las variables puede ser desagregado en bloques básicos, donde a cada conducta básica le corresponde una estructura básica. Nosotros hemos visto en los capítulos previos que:

- una estructura de retroalimentación positiva causa crecimiento o decrecimiento exponencial;
- una estructura de retroalimentación negativa causa aproximación asintótica;
- una estructura de retroalimentación negativa con demora causa oscilación;

Ya en nuestro estudio del “crecimiento en S” hemos hecho uso de un procedimiento similar al que Ford propone: primero observamos crecimiento exponencial y deducimos que deben estar dominando el bucle

positivo. Luego vemos una conducta de aproximación y concluimos que ahora el bucle negativo domina.

El estudio de la dominancia de bucles – especialmente las condiciones bajo las cuales ocurren cambios de dominancia – es un tema de investigación en el cual se está, actualmente, intentando ir más allá del análisis conductual, empleando técnicas matemáticas avanzadas como el *Eigenvalue*.

Recomiendo al lector interesado consultar la *System Dynamics Review* y las *Actas del Congreso Internacional de dinámica de sistemas*.

## Haciendo el punto

### Resumen

En diferentes momentos, diferentes bucles de retroalimentación pueden dominar la conducta de un modelo. Es, entonces, importante poder comprender bajo qué circunstancias cambia la dominancia de un bucle a otro.

### Bibliografía

Ford, 1999. A behavioral approach to feedback loop dominance analysis, *System Dynamics Review*. 15(1): 3-36. Spring, 1999.

Richardson, George P. 1995. Loop Polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity (1984). *System Dynamics Review*. 11:1:67-88.

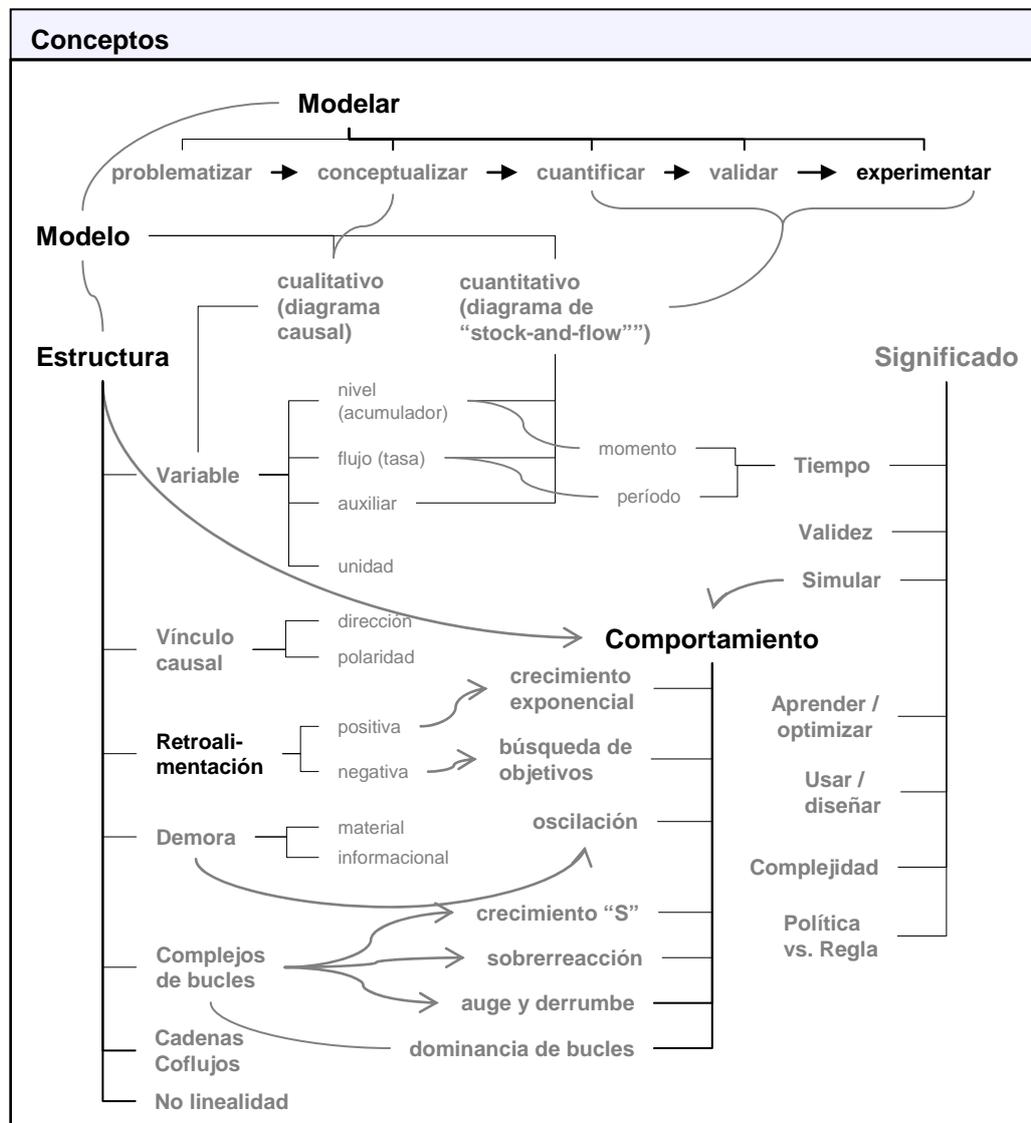
# 15. Detectar bucles de retroalimentación

## Sobre este capítulo

### Objetivos

Saber cómo explorar un modelo y cómo detectar bucles de retroalimentación en él.

### Conceptos



## Detección metódica de bucles en modelos

Los sistemas que nos interesan, suelen tener comportamientos contra-intuitivos. En otras palabras, frente a estos sistemas, nos equivocamos si confiamos demasiado en nuestra percepción y nuestra cognición automática. Frente a esta constatación, tenemos la opción de hacer uso de métodos y seguir sus reglas, paso por paso. Así fue como en la primera parte del libro, se han sugerido reglas para abordar los flujos y acumuladores.

Lamentablemente, no disponemos de reglas análogas para detectar de manera fiable los bucles de retroalimentación. Sin embargo, se pueden dar recomendaciones para la exploración de modelos, de las cuales podemos derivar indicaciones sobre qué hacer frente a la realidad.

En el capítulo sobre la causalidad, se presentó el método de detección de bucles de retroalimentación. Este método se muestra útil ahora: si no podemos percibir directamente los bucles de retroalimentación, estamos obligados a modelar “de abajo hacia arriba”, desde los *flujos* y **acumuladores**. Nos encontramos entonces con diagramas estructurales en los cuales los bucles quedan implícitos. Por lo tanto, saber aplicar el método de detección en un diagrama de flujos y acumuladores resulta esencial para elaborar una representación de los bucles de retroalimentación presentes.

Sin embargo, ¿qué hacer cuando aún no tenemos un modelo explícito y nos encontramos frente a una situación que no es como nos gustaría? Abundan las evidencias de que rápidamente empezamos a buscar y a encontrar las causas de lo que no nos gusta en las acciones de los demás; al mismo tiempo, parecemos ciegos en relación con cómo nuestros mismos actos del pasado han contribuido a generar esta situación.

La experiencia personal nos puede permitir apreciar la forma de la conducta de una estructura de retroalimentación simple. Podemos recordar que en presencia de un bucle positivo, cualquier cambio se irá amplificando. En presencia de una combinación positiva-negativa, resultará una “S”. Pero ya con dos bucles no es posible “ver” con precisión cómo el sistema va a evolucionar. Y con tres o más bucles, resulta muy poco fiable razonar acerca del comportamiento total sin la ayuda de un cálculo paso-por-paso.

Simular es entonces una manera que tenemos de ayudarnos a apreciar más sistemáticamente la manera como una estructura dada se comportará. También nos permite superar nuestra incapacidad de percibir bucles de retroalimentación.

## Experimentos con el modelo

Podemos explotar un modelo de simulación para hacer pruebas: cambiando *solamente una variable a la vez* y observando en qué otras variables – y en qué secuencia – esta señal de perturbación se muestra, podemos descubrir los caminos causales. Y si uno o varios vuelven a pasar una perturbación a

## Reconocer bucles de retroalimentación

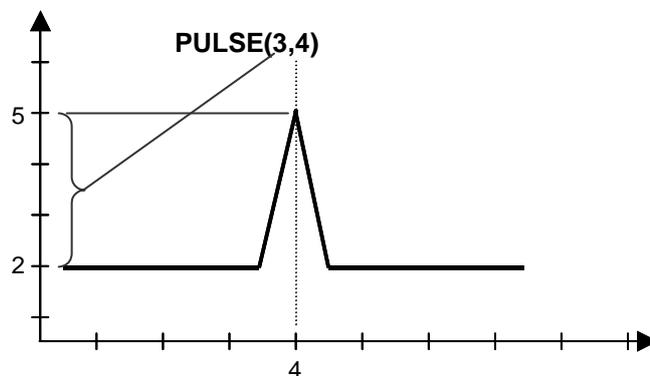
nuestra variable inicial, entonces hemos descubierto uno o varios bucles de retroalimentación.

Disponemos de varias posibilidades para aplicar perturbaciones a una variable. Estas “funciones de test” forman parte de todos los softwares de dinámica de sistemas.

### Funciones para provocar un modelo

#### *PULSE - un cambio corto*

La más básica es la generación de una señal de una determinada fuerza en un determinado periodo. Es lo que se llama una “pulsación” o “impulso”, *PULSE* en inglés:

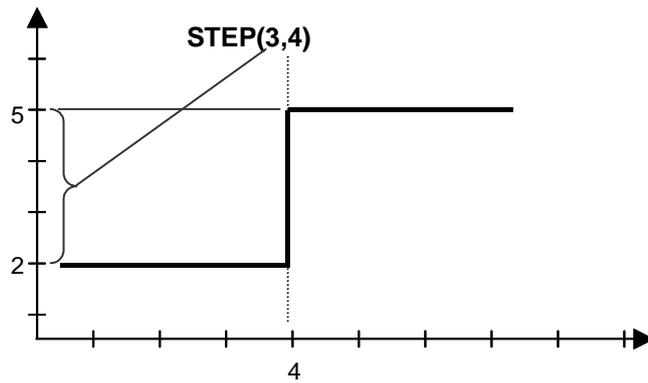


*Ilustración 168: función de test PULSE*

PULSE hace que al valor usual de la variable, se agrega un determinado valor durante un periodo; es una interrupción o *shock* puntual. Luego la variable vuelve a su valor normal y podemos observar el efecto del PULSE sobre otras variables. Se puede aplicar para observar si el sistema recupera su conducta anterior (de equilibrio, a veces) o no. Cada software de dinámica de sistemas tiene su manera particular de definir la sintaxis de esta función.

#### *STEP - un cambio permanente*

La segunda función test es un cambio único pero permanente. Debido que se ve como un paso de una escalera, se le llama STEP:

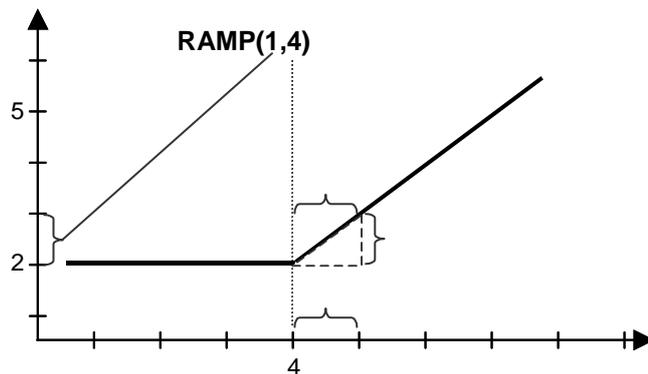


*Ilustración 169: función de test STEP*

STEP hace que al valor usual de la variable, se agrega un determinado valor a partir un periodo. Este cambio es permanente, y se puede observar si tiene un efecto duradero para el sistema o si éste vuelve a recuperar su comportamiento anterior.

**RAMP – un cambio progresivo**

La tercera función de test es una rampa: un cambio progresivo pero constante en su crecimiento:



*Ilustración 170: función de test RAMP*

La RAMP se inicia en un determinado periodo y luego tiene una determinada pendiente lineal. Así se puede observar la reacción de las variables del sistema a un cambio constante.

Insistimos en recordar que cada uno de los diferentes softwares implementa cada una de estas funciones a su manera: a veces el nombre no es exactamente el mismo, a veces el orden de los parámetros es diferente y a veces hay versiones de estas funciones con otros parámetros. Sin embargo, su sentido es el mismo.

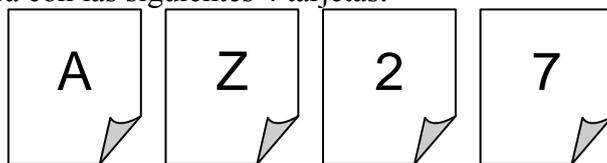
## Reglas para la exploración

Nuestra meta es detectar bucles de retroalimentación; con este fin “provocamos” determinadas variables del modelo. Un bucle de retroalimentación consiste en un conjunto de variables conectadas por vínculos causales, donde aparecen secuencias circulares. Entonces, nos interesa descubrir si un evento en una determinada variable “ $\Delta A$ ” causa un efecto en cierta otra variable “ $\Delta B$ ”: “ $\Delta A \Rightarrow \Delta B$ ”.

Para esto, tenemos que recordar que muchas variables podrían tener un efecto en esta variable: “ $\Delta X \Rightarrow \Delta B$ ;  $\Delta Y \Rightarrow \Delta B$ ;  $\Delta Z \Rightarrow \Delta B$ ”. Entonces si queremos estar seguro que el efecto del cambio en “A” no se mezclará con los efectos de otros cambios, tenemos que mantener todas las otras variables fijadas (*ceteris paribus*). Entonces podemos estar seguros de la existencia del vínculo causal.

Ello, bien pensado, no significa que no existirían otras vías causales. Llegamos a la necesidad de descartar posibilidades: para saber que “A” es la única variable que afecta a “B”, tendríamos que mostrar que ninguna de las otras variables tiene un efecto, lo que equivale a hacer el experimento con cada una de ellas.

Intentemos el test de Watson (Watson and Johnson-Laird, 1972). Usted se encuentra con las siguientes 4 tarjetas:



*Ilustración 171: la tarea de Watson*

Cada tarjeta tiene una letra en una cara y un número en la otra. Se afirma que a una *vocal* corresponde un *número par*. Usted debe determinar el número mínimo de pasos necesarios para averiguar si es verdad. Además debe identificar los pasos. Mire la solución al final del capítulo.

En esto tenemos que recordar también algo que hemos visto en el caso del modelo general de la segunda parte de este libro: en diferentes momentos (que corresponden a diferentes combinaciones de valores para ciertas variables), un mismo modelo puede mostrar muy diferentes partes de sí mismo. En este sentido, haber descubierto un bucle de retroalimentación no significa que éste sea el único, ni que siempre estará activo.

## Más allá del modelo

### Experimentos con la realidad

Si usted se encuentra frente a una situación real, puede intentar replicar esta estrategia de búsqueda. Solamente que las posibilidades de controlar “todas las demás variables” son muy malas en la vida real. (Reconozcamos que un modelo es como un laboratorio digital.)

Supongamos que usted sospecha que hay algo raro en su equipo de trabajo, ya que desde que se incorporó un nuevo colega, las relaciones se deterioran. Podría ser que esta evolución se relacione con algo del nuevo colega, ya que como extranjero, tiene otras costumbres. Especialmente es muy franco a la hora de hacer críticas, lo que en la cultura local se percibe como ofensivo. ¿Cuáles son las variables? ¿Cómo provocar un cambio en una y observar lo que resulta? ¿Cómo hacer la contra-prueba?

Sin duda, ser vigilante con sus propias ideas es una buena idea; a este respeto, cabe recordar “la escalera de las inferencias” (Senge et al., 1995).

### De realidad a modelo

Si usted se hace estas ideas sobre la situación que enfrenta, ya ha articulado un modelo mental. Y con estas ideas identificadas, puede iniciar la elaboración de un diagrama de bucle causal. Debe estar claro que este diagrama siempre será provisorio; pero ayudará a “ver” las ideas en su

conjunto, a identificar posibles debilidades y a dar pasos hacia una futura simulación.

## Haciendo el punto

### Resumen

La exploración sistemática de la conducta de las variables de un modelo permite descubrir los lazos causales y los bucles de retroalimentación.

Se debe cambiar solamente una variable a la vez.

Se debe comprobar que la negación de una hipótesis es falsa.

Se debe recordar que pueden existir varios lazos causales hacia una misma variable.

Se debe recordar que los valores actuales de los parámetros pueden hacer que parte de la estructura del modelo no se haga visible.

### Bibliografía

Senge, Ross, Smith, Roberts y Kleiner 1995: **La quinta disciplina en la práctica**, Granica.

Sterman 2000 **Business Dynamics**, McGraw Hill, capítulo 1.

Wason and Johnson-Laird, 1972. **Psychology of reasoning: structure and content**, Harvard University Press.



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos temas en el sitio web del libro.)

Tome uno de los modelos ejemplo de un software de dinámica de sistema que tiene instalado, o busque “dystem dynamics models” en un buscador de web; explore el modelo para reconstituir su diagrama de bucle causal.

## Solución del test de Watson

Si “vocal  $\Rightarrow$  número par”, entonces la tarjeta “A” debe tener un número par al otro lado, y la “7” debe tener una “vocal”. Si una de estas condiciones no se cumple, la regla no es válida. En cambio, no se gana nada mirando la otra cara de “Z” ni de “2”. No se ha afirmado que “consonante no tiene número par”, ni “consonante tiene número par”.

# Epílogo

Ha llegado al final de este libro. Cuando decidió estudiarlo, usted era un *novato* en dinámica de sistemas. Ahora – si ha realizado las actividades sugeridas – se ha convertido en un *novato* avanzado o quizás un *competente*. Llegar a comprender modelos y adaptarlos. Podrá reconocer ciertos comportamientos en variables y relacionarlos con las correspondientes estructuras sistémicas.

El camino que tiene por delante en el sentido horizontal es el trabajo con más modelos. Progresivamente, los flujos y acumuladores, los bucles de retroalimentación, las demoras y las no linealidades entrarán a su cuerpo y su mente. Empezará a verlos en todas partes.

Hay un dicho que afirma que cuando lo único que se tiene es un martillo, entonces todo parece clavo. Vemos lo que conocemos. Hay dos ejemplos que usted puede verificar.

- Escriba unas palabras con un lápiz en un papel - ¿siente la textura del papel? Cuando empezamos a aprender a escribir, solamente sentimos el lápiz en la punta de los dedos. Aprender a escribir es apropiarse del lápiz, hacerlo parte “virtual” del cuerpo de uno.
- Cuando marcha en la calle, usted siente como sus pies tocan la vereda. Sin embargo, lo que de verdad tocan sus pies son los calcetines (o los zapatos).

Aprender es expandirse. Y con la experiencia, usted tendrá una percepción y una intuición en la cual las estructuras de la dinámica de sistemas son una parte importante.

Pero también ha dado los primeros pasos como modelador. Crear modelos robustos y confiables es una nueva competencia, que se puede edificar encima de lo que ha aprendido aquí. Lo invito a considerar esta posibilidad.

El mundo seguirá haciéndose más complejo, y tendremos aún más información que procesar. Saber que uno no comprende cabalmente una situación hasta que uno ha comprobado la validez de las ideas a su respecto, es la posibilidad de desarrollar un rigor y una humildad que nos dan libertad. La libertad de dudar, de averiguar de forma rigurosa y de realizar nuestras acciones con un fundamento analizado. Espero sinceramente que usted siga en esta senda.



# *Bibliografía*

Aracil, J. **dinámica de sistemas**, Alianza Editorial. 1986 (disponible en línea en [http://comunidad.uach.mx/marana/materias/mod\\_din\\_de\\_sist/material/Dinamica\\_de\\_sistemas.pdf](http://comunidad.uach.mx/marana/materias/mod_din_de_sist/material/Dinamica_de_sistemas.pdf); marzo 2006)

Beer, S. 1981: **The brain of the firm**, John Wiley.

Doyle, D. y Ford, A. 1999. “Mental model concepts revisited: some clarifications and a reply to Lane”, *System Dynamics Review* **15**(4), (Winter 1999): 411-415.

Ford, A. 1999. “A behavioral approach to feedback loop dominance analysis”, *System Dynamics Review*. 15(1): 3-36. Spring, 1999.

Forrester, J. 1961: **Industrial dynamics**, MIT Press.

Forrester, J. 1971. **World Dynamics**, Whright-Allen Press.

Forrester, J. 1994: “Policies, decisions and information sources for modeling”, en Morecroft and Sterman, 1994.

Hume, D. 1984 **Investigación sobre el conocimiento humano**, Alianza Editorial, Madrid.

Martin García, J., 2003. **Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas**, Barcelona.

Martin García, J, 2004. **Sysware**, Barcelona

Meadows, D., Randers J. y Meadows, D. 2002. **Limits to growth – the 30 years update**, Chelsea Green Publishing.

Morecroft, J. 1994: “Executive knowledge, models and learning”, en Morecroft and Sterman, 1994.

Morecroft, J. y Sterman, J. 1994: **Modeling for learning organizations**, Productivity Press.

Ossimitz, G. 2002: “Stock-Flow-Thinking and Reading stock-flow-related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities”, 2002 *System Dynamics Conference*, Palermo, Italy.

Richardson, G. 1991: **Feedback thinking in the social sciences**, Pegasus Communications.

Richardson, G. 1984. “Loop Polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity”. *System Dynamics Review* 11:1:67-88.

Schaffernicht, M., 2005. “Are you experienced? - A model of learning systems thinking skills” *Proceedings of the 23rd International System Dynamics Conference*, Boston, MA., 2005 (CD).

Schaffernicht, M., 2005. “Reconocer y estimar flujos y niveles: primeros resultados de un estudio empírico”, *Actas del Tercer Congreso Latinoamericano de dinámica de sistemas*, Cartagena de Indias (Colombia), Noviembre, 2005.

Schaffernicht, M. y Madariaga, P. Para un pensamiento causal dinámico: hacia una perspectiva educativa, *Estudios Pedagógicos* 23(1), p. 129-149.

Schaffernicht, M. “Causality and diagrams for system dynamics”, *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society*, Boston, USA., July 2007.

Senge, P. 1990: **La quinta disciplina**, Granica.

Senge, P., Ross, Smith, Roberts y Kleiner 1995: **La quinta disciplina en la práctica**, Granica.

Senge, P., Ross, Smith, Roberts y Kleiner 2000: **La danza del cambio**, Granica.

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, McGraw Hill.

Sterman, J. 2002: “All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist”, *System Dynamics Review* 18(4) – Winter 2002, pp. 501-531.

Sweeny, L. y Sterman, J. 2002: “Cloudy skies: assessing public understanding of global warming”, *System Dynamics Review* 18(2):207.

Sweeny, L. y Sterman, J. 2000: “Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory”, *System Dynamics Review* 16(4): 249–286.

Wason J. y Johnson-Laird, 1972. **Psychology of reasoning: structure and content**, Harvard University Press.

## Bibliografía

Wolstenholme, E. 2004: "Using generic archetypes to support thinking and modelling", *System Dynamics Review* **20**(4): 341-156.

Wolstenholme, E. 1990. **Systems inquiry**, John Wiley.

# Glosario

La mayoría de las publicaciones y de las herramientas en dinámica de sistemas, se ofrecen en el idioma inglés. Al haber trabajado el presente libro, usted no debería tener dificultades para entrar en el dominio de estas publicaciones.

El presente glosario contiene las palabras y expresiones principales y su significado en español, de modo de facilitar este paso.

<b>Inglés</b>	<b>Español</b>
Aging chain	Cadena de envejecimiento
Auxiliary	Auxiliar
Co-flow	Coflujo
Connector	Flujo de información
Converter	Convertidor
Delay	Demora
Exponential growth	Crecimiento exponencial
Feedback	Retroalimentación
Flow rate	Flujo (físico)
Fractional rate	Tasa de ...
Level	Acumulador (Nivel)
Nonlinearity	No linealidad
Oscillation	Oscilación
Overshoot	Sobrerreacción
Rate	Flujo (físico)
Stock	Acumulador
Unit	Unidad de medida