

Estructuras Genéricas: Retroalimentación Positiva de Primer Orden

Preparado para el
Proyecto de Educación de Dinámica de Sistemas del MIT

Bajo la Supervisión del
Dr. Jay W. Forrester
Sloan School of Management
Massachusetts Institute of Technology

Autor
Stephanie Albin
Mark Choudhari
8 de marzo de 1996

Traducción
Joaquín Galarza Pérez
18 de octubre de 2000

Revisión,
Vicenç Rullán
Noviembre de 2000

Derechos de autor © 1995 de la edición original en inglés y de la traducción © 2000 by
the Massachusetts Institute of Technology

Permitida la distribución con propósitos educativos, sin fines de lucro

Índice

<u>1.</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	3
<u>2.</u>	<u>CRECIMIENTO EXPONENCIAL</u>	3
<u>2.1.</u>	<u>EJEMPLO 1: SISTEMA POBLACIÓN-NACIMIENTOS</u>	4
<u>2.2.</u>	<u>EJEMPLO 2: SISTEMA BANCARIO SALDO-INTERÉS</u>	5
<u>2.3.</u>	<u>EJEMPLO 3: SISTEMA CONOCIMIENTO-APRENDIZAJE</u>	5
<u>3.</u>	<u>LA ESTRUCTURA GENÉRICA</u>	6
<u>3.1.</u>	<u>DIAGRAMA DEL MODELO</u>	6
<u>3.2.</u>	<u>ECUACIONES DEL MODELO</u>	6
<u>3.3.</u>	<u>COMPORTAMIENTO DEL MODELO</u>	7
<u>4.</u>	<u>COMPORTAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA ESTRUCTURA GENÉRICA</u>	8
<u>5.</u>	<u>RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES</u>	10
<u>6.</u>	<u>USE EL ENTENDIMIENTO ADQUIRIDO CON LA ESTRUCTURA GENÉRICA</u>	12
<u>6.1.</u>	<u>EJERCICIO 1: VENTAS DE SOFTWARE</u>	12
<u>6.2.</u>	<u>EJERCICIO 2: ADQUISICIÓN DE NUEVOS AMIGOS</u>	13
<u>6.3.</u>	<u>EJERCICIO 3: SALDO DEL CRÉDITO</u>	13
<u>7.</u>	<u>SOLUCIONES A LOS EJERCICIOS</u>	14
<u>7.1.</u>	<u>RESPUESTAS A LA SECCIÓN 6.1: VENTAS DE SOFTWARE</u>	14
<u>7.2.</u>	<u>RESPUESTAS A LA SECCIÓN 6.2: ADQUISICIÓN DE AMIGOS</u>	15
<u>7.3.</u>	<u>RESPUESTAS A LA SECCIÓN 6.3: SALDO DEL CRÉDITO</u>	15
<u>8.</u>	<u>DOCUMENTACIÓN DE MODELOS</u>	16
<u>8.1.</u>	<u>DOCUMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN 2.1: SISTEMA POBLACIÓN NACIMIENTOS</u>	16
<u>8.2.</u>	<u>DOCUMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN 2.2: SISTEMA BANCARIO SALDO INTERÉS</u>	16
<u>8.3.</u>	<u>DOCUMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN 2.3: SISTEMA CONOCIMIENTO APRENDIZAJE</u>	17

1. Introducción

Las estructuras genéricas son estructuras relativamente simples que se presentan recurrentemente en muchas situaciones diversas. En este artículo, por ejemplo, se muestra que los modelos de una cuenta bancaria y una población de venados ¡comparten la misma estructura básica! La posibilidad de que un mismo tipo de estructura sirva para explicar sistemas diferentes hace que el estudio de las estructuras genéricas tenga una gran importancia en dinámica de sistemas.

Estas Guías de Aprendizaje contienen una serie de artículos acerca de estructuras genéricas. En estos artículos, estudiaremos estructuras genéricas a fin de desarrollar nuestro entendimiento de la relación entre la estructura y el comportamiento de un sistema. Este entendimiento deberá ayudarnos a mejorar nuestra intuición acerca de los sistemas que nos rodean y nos permitirá mejorar nuestra habilidad para modelar los comportamientos de sistemas.

Podemos aplicar el conocimiento que tengamos acerca de una estructura genérica en un sistema para entender el comportamiento de otros sistemas que contienen la misma estructura. ¡Nuestro conocimiento de estructuras genéricas y de los comportamientos que producen es transferible a sistemas que no hemos estudiado con anterioridad!

A menudo sucede que el comportamiento de un sistema es más fácil de captar que su estructura subyacente. Los sistemas pueden ser relacionados a partir de los comportamientos comunes que producen. Sin embargo, es incorrecto suponer que tales sistemas son capaces de mostrar sólo los comportamientos que ya conocemos y necesitamos buscar con detalle los otros comportamientos posibles. En efecto, nuestro estudio de estructuras genéricas estudia los diferentes comportamientos posibles a partir de estructuras concretas. En cada caso, buscamos entender qué elemento de la estructura es responsable del comportamiento producido.

Este artículo hace una introducción a una estructura genérica de retroalimentación positiva lineal de primer orden. Ilustramos nuestro estudio de la estructura de retroalimentación positiva con muchos ejemplos de sistemas que contienen a la estructura. Pronto empezará a reconocer la estructura en muchos de los modelos que vea y construya. En los ejercicios al final del artículo, le ofrecemos la oportunidad de ver cómo puede transferir su conocimiento entre diferentes sistemas.

2. Crecimiento Exponencial

El crecimiento exponencial es producido por un bucle de retroalimentación positiva entre los componentes de un sistema. El comportamiento característico del crecimiento exponencial o compuesto se muestra en la figura 1. Muchos sistemas habituales muestran el comportamiento exponencial propio de un proceso que se alimenta a sí mismo. Por ejemplo, en un sistema ecológico, el nacimiento de venados incrementa la población de venados, lo que a su vez incrementa la cantidad de venados que nacen. En su banco, el saldo en su cuenta se incrementa por el interés que recibe por él y mientras mayor se haga su saldo, ¡más interés ganará sobre él! Otro sistema que puede

decirse que muestra crecimiento exponencial es el sistema de conocimiento y aprendizaje. Dicho de manera sencilla, mientras más sabe, más rápido aprende y entonces adquiere aún más conocimiento.

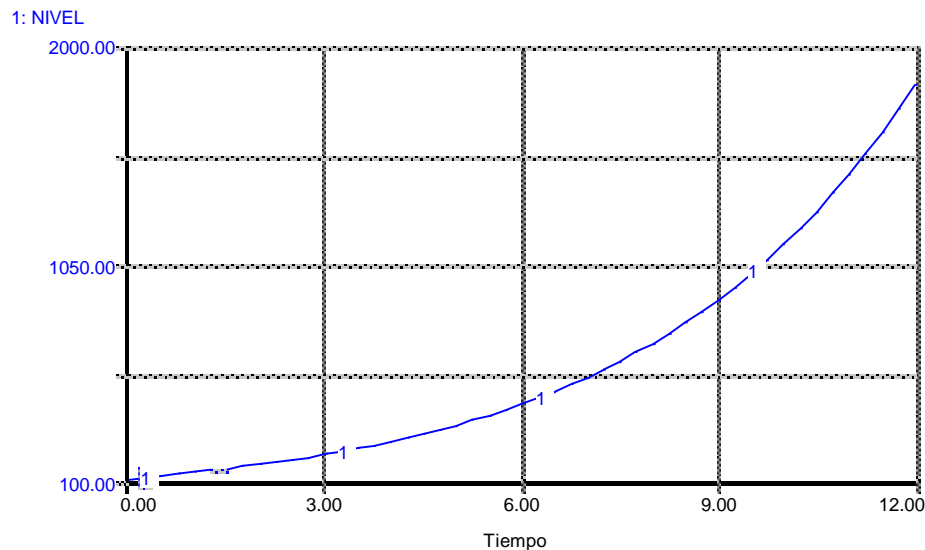


Figura 1 Curva de Crecimiento Exponencial

Estos sistemas tan diferentes muestran el mismo patrón de comportamiento porque la relación entre sus componentes es fundamentalmente la misma. Todos contienen la estructura genérica de retroalimentación positiva lineal de primer orden. La población se relaciona con los nacimientos de la misma forma que su saldo en el banco se relaciona con el interés que gana y el conocimiento se relaciona con el aprendizaje.

Estudiamos ahora la naturaleza de esta relación observando la estructura de nuestros tres sistemas de ejemplo.

2.1. Ejemplo 1: Sistema Población-Nacimientos

Nuestro primer ejemplo, mostrado en la figura 2, está tomado de la ecología de una población de venados. La **población de venados** es el nivel, y los **nacimientos** de venados es el flujo neto de entrada hacia el nivel. La cantidad de nacimientos de venados es igual a la cantidad de venados hembras que se reproducen y se calcula como una fracción compuesta (llamada **fracción de nacimientos**) de la población total de venados. Los

$$\text{nacimientos} = \text{población de venados} * \text{fracción de nacimientos}$$

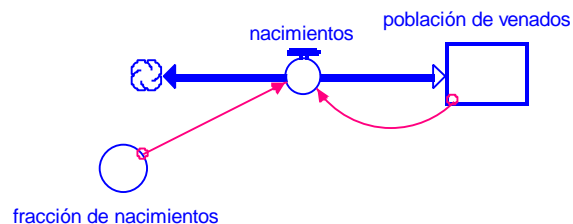


Figura 2 Modelo de un sistema población-nacimientos

2.2. Ejemplo 2: Sistema bancario saldo-interés

Nuestro segundo ejemplo, en la figura 3, muestra la relación entre el saldo de una cuenta bancaria y el interés que genera. El **saldo en el banco** es el nivel y el **interés ganado** es el flujo de entrada al nivel. La cantidad de interés ganado cada año es igual a una fracción de incremento (**tasa de interés**) del saldo en la cuenta. El

$$\text{interés ganado} = \text{saldo en el banco} * \text{tasa de interés.}$$

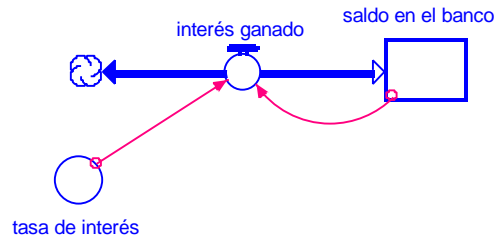


Figura 3 Modelo de un sistema de cuenta bancaria

2.3. Ejemplo 3: Sistema conocimiento-aprendizaje

Este tercer ejemplo es de un sistema más abstracto. La figura 4 muestra que el nivel de **conocimiento** se incrementa por el flujo neto de entrada de **aprendizaje**. La tasa de aprendizaje es el conocimiento repartido en el **tiempo para aprender**. Por lo tanto, el aprendizaje es igual al conocimiento dividido por el tiempo para aprender. El tiempo para aprender se conoce como la constante de tiempo del sistema. Básicamente, cuanto más sabe, más rápido aprende. El

$$\text{aprendizaje} = \text{conocimiento}/\text{tiempo para aprender.}$$

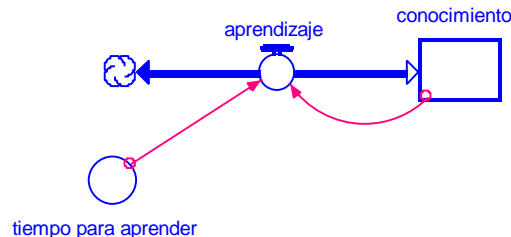


Figura 4 Modelo de un sistema conocimiento-aprendizaje

Fíjese en que, en la ecuación de la tasa, dividimos el nivel (conocimiento) por el tiempo para aprender. Esto es análogo a multiplicar por una fracción, tal y como se vio en los ejemplos 1 y 2. Las unidades del tiempo para aprender son las unidades de tiempo, tales como semanas o meses. Las unidades de la fracción de incremento serían unidad/unidad/tiempo.

Como se hace evidente de las figuras 2, 3 y 4, los tres sistemas tienen esencialmente la misma estructura.

3. La Estructura Genérica

Ahora estudiaremos la estructura genérica y luego estudiaremos el posible comportamiento que puede producir.

3.1. Diagrama del modelo

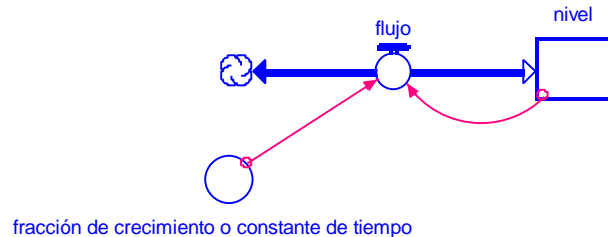


Figura 5 Modelo de la estructura genérica subyacente

El diagrama del modelo de esta estructura genérica positiva de primer orden se muestra en la figura 5. En la ecuación de la tasa, multiplicamos el nivel por una fracción de incremento o dividimos el nivel por una constante de tiempo. La constante de tiempo es simplemente el recíproco de la fracción de incremento.

3.2. Ecuaciones del modelo

Las ecuaciones para la estructura genérica son

$$\mathbf{nivel}(t) = \mathbf{nivel}(t - dt) + (\mathbf{flujo}) * dt$$

DOCUMENTACIÓN: Este es el nivel del sistema. Corresponde a la población de venados, el saldo bancario y la cantidad de conocimiento de los ejemplos anteriores.

UNIDADES: unidades

FLUJOS DE ENTRADA:

$$\mathbf{flujo} = \mathbf{nivel} * \mathbf{fracción\ de\ crecimiento}$$

DOCUMENTACIÓN: El flujo es la proporción del nivel que fluye hacia el sistema por unidad de tiempo. Corresponde a los nacimientos, el interés ganado y el aprendizaje de los ejemplos anteriores.

UNIDADES: unidades/tiempo

fracción de crecimiento = *una constante*

DOCUMENTACIÓN: Esta es la fracción o factor de crecimiento. Determina el flujo hacia el nivel. La fracción de crecimiento corresponde a la fracción de nacimientos y la tasa de

interés de los ejemplos anteriores. Es la cantidad de unidades que se añaden al nivel por cada unidad que ya existe en el mismo, cada vez.

UNIDADES: unidades/unidad/tiempo

Nota: Si tuviéramos una constante de tiempo en lugar de una fracción de crecimiento la ecuación para el flujo y la constante de tiempo serían

FLUJOS DE ENTRADA:

flujo = nivel / constante de tiempo

UNIDADES: unidades/tiempo

constante de tiempo = *una constante*

DOCUMENTACIÓN: Esta es la constante de tiempo. Es el tiempo de ajuste del nivel. Corresponde al tiempo para aprender en el ejemplo anterior. Es el tiempo que toma a cada unidad inicial generar una nueva unidad.

UNIDADES: tiempo

De la comparación de las dos ecuaciones posibles para la tasa, notamos que el multiplicador en la ecuación de la tasa está dado por

$$\text{multiplicador (para el nivel) en la ecuación de la tasa} = \text{fracción de crecimiento} = \frac{1}{\text{Constante de tiempo}}$$

3.3. Comportamiento del modelo

La principal característica del crecimiento exponencial es su tiempo de duplicación constante, es decir. el tiempo que el nivel necesita para duplicar su valor permanece constante. Por ejemplo en la figura 6, el nivel tarda 7 años para duplicarse de 100 a 200 y ¡le toma el mismo tiempo duplicarse de 800 a 1600!

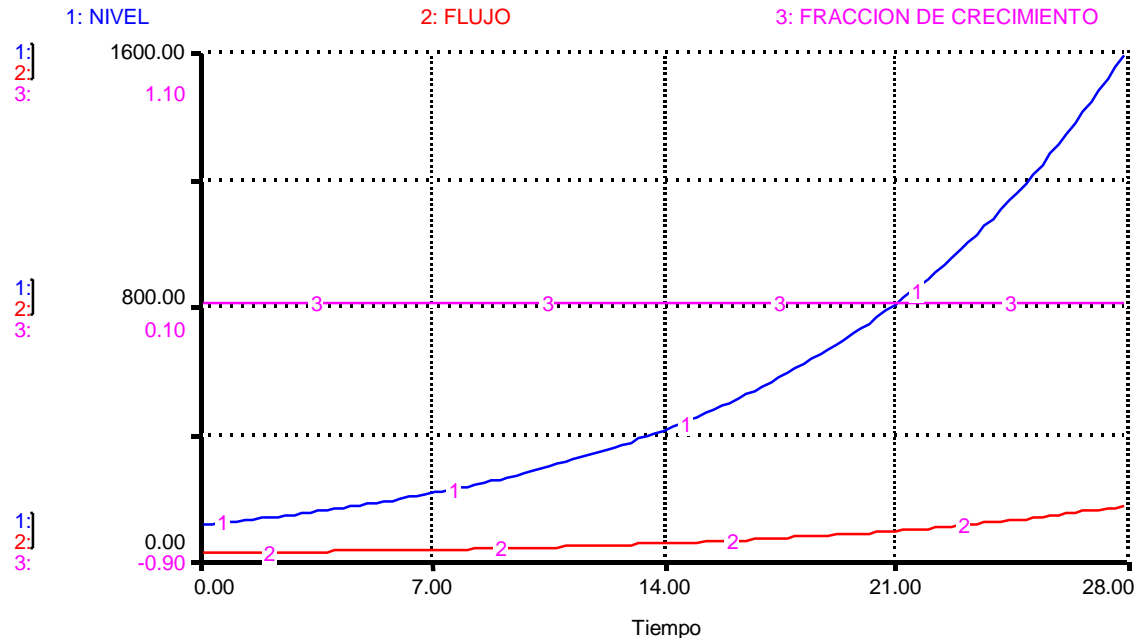


Figura 6 Resultados de una simulación de la estructura genérica de retroalimentación positiva.

Para averiguar el tiempo de duplicación de un nivel, necesitamos la constante de tiempo del sistema. La constante de tiempo puede ser dada directamente (como el tiempo para aprender del ejemplo 3 anterior), o si tiene una fracción de crecimiento, la constante de tiempo es simplemente su inversa. La constante de tiempo se obtiene de la fracción de crecimiento por

$$\text{constante de tiempo} = \frac{1}{\text{fracción de crecimiento}}$$

El tiempo de duplicación para el nivel está dado por

$$\text{Tiempo de duplicación} \sim 0.7 \cdot \text{constante de tiempo}^1$$

4. Comportamientos producidos por la estructura genérica

Para explorar los diferentes comportamientos posibles, primero experimentemos cambiando el valor inicial del nivel y mantengamos constante el valor de la fracción de crecimiento. Los diferentes comportamientos para diferentes valores iniciales del nivel se muestran abajo. Hemos dado al nivel valores iniciales de -200, -100, 0, 100 y 200 para las ejecuciones de la simulación 1 a la 5 respectivamente. La fracción de crecimiento se mantiene constante en 0.1. Los resultados se muestran en la figura 7.

¹ El $\ln 2$ es aproximadamente igual a 0.7

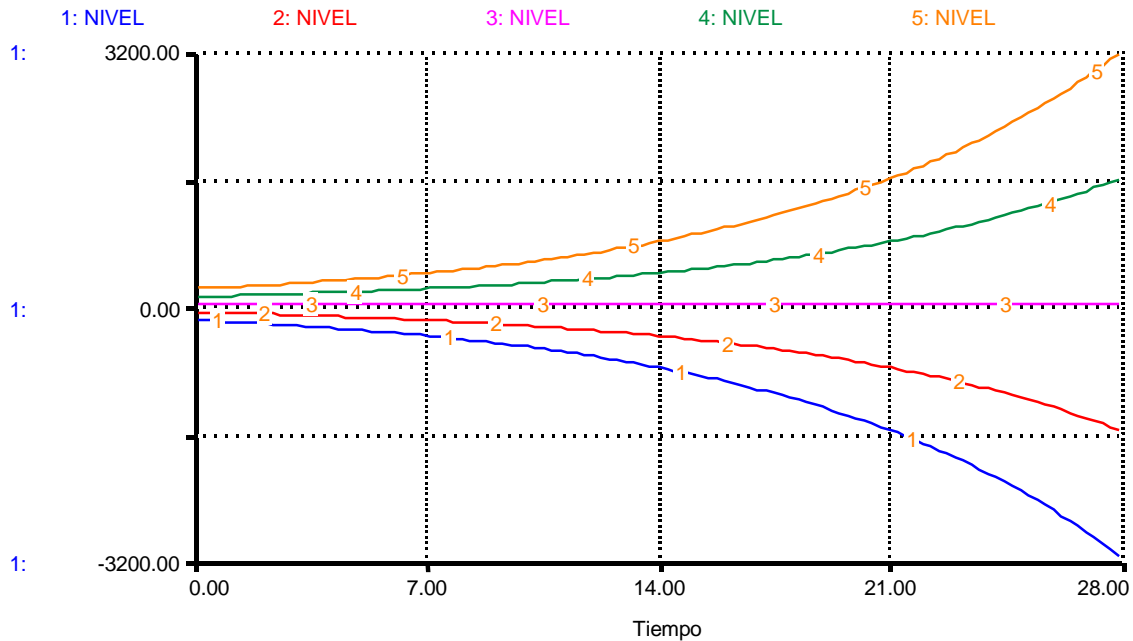


Figura 7 Simulación para diferentes valores iniciales del nivel

El flujo es una fracción constante (fracción de crecimiento) del nivel. Mientras se incrementa el nivel, la fracción de crecimiento permanece igual, pero de este modo el flujo es una fracción de un nivel mayor y por lo tanto, el flujo se incrementa con el nivel. La pendiente del nivel en un punto dado del tiempo es igual al flujo neto hacia el nivel en ese momento. Por lo tanto, para cada curva, la pendiente del nivel se incrementa o decrece cuando el nivel se incrementa o decrece.

Si la fracción de crecimiento tiene un valor positivo, la naturaleza del comportamiento está determinada por el hecho de si el valor inicial del nivel es positivo o negativo. Para que el bucle sea un bucle de retroalimentación positiva, se requiere que la fracción de crecimiento sea positiva².

Por tanto, vemos que la estructura genérica del bucle positivo de primer orden puede mostrar tres tipos de comportamiento – crecimiento exponencial positivo, equilibrio inestable³ y crecimiento exponencial negativo.

Exploremos ahora qué acelera o retarda al crecimiento exponencial de un sistema. Estudiaremos el efecto de cambiar el valor de la fracción de crecimiento mientras se mantiene constante al valor inicial del nivel. Se le han dado valores de 0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 para los ensayos (runs) 1 al 5, respectivamente. El valor inicial del nivel se mantiene

² Se requiere una fracción de crecimiento positiva para que exista un bucle de retroalimentación positiva (de refuerzo) porque le da al flujo neto el signo del nivel (ya sea éste positivo o negativo). Un valor negativo de la fracción de crecimiento hará que el bucle sea de retroalimentación negativa o bucle de balance.

³ Este equilibrio se llama inestable porque una mínima desviación del valor cero del nivel destruirá el equilibrio y se producirá crecimiento exponencial.

constante en 100. El cambio en la tasa de crecimiento exponencial se muestra en la figura 8.

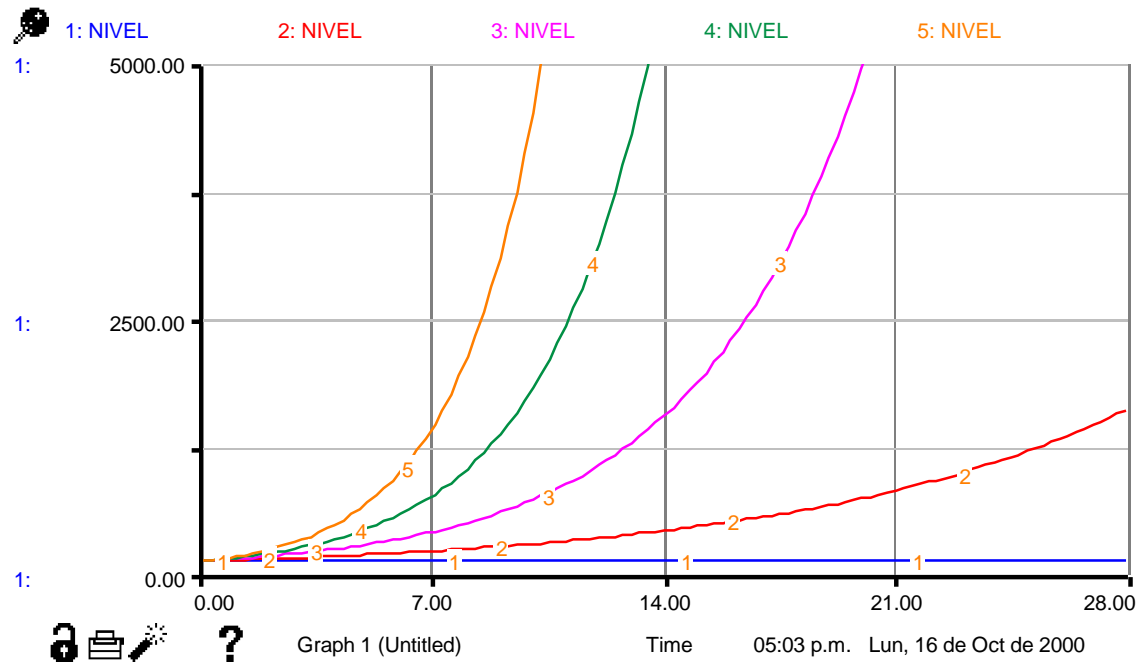


Figura 8 Simulación para diferentes valores de la fracción de crecimiento

La pendiente del nivel en un punto específico⁴ del tiempo es igual al flujo neto hacia él en ese instante. El flujo es un porcentaje mayor del nivel para un valor mayor de la fracción de crecimiento. Por lo tanto, la pendiente del nivel es mayor para valores más grandes de la fracción de crecimiento.

Cuanto mayor sea la fracción de crecimiento, mayor es el flujo y más rápido es el crecimiento del nivel. Una fracción de crecimiento mayor acelera el crecimiento exponencial.

Para un valor inicial negativo del nivel, el efecto de la fracción de crecimiento en la tasa de crecimiento es el mismo, excepto que el crecimiento es en dirección negativa.

5. Resumen de características importantes

Estructura:

Un bucle es de retroalimentación positiva si y sólo si el nivel tiene signo positivo en la ecuación del flujo neto hacia el nivel. Un signo positivo en la ecuación del flujo le transfiere al flujo el mismo signo que el nivel (comportamiento de refuerzo). Entonces, el bucle de retroalimentación positiva más simple requiere una fracción de crecimiento positiva para el flujo de entrada al nivel.

⁴ La pendiente del nivel en el punto es la pendiente de la línea tangente a la curva en ese punto.

Comportamiento:

Resumimos el comportamiento del bucle de retroalimentación positiva en la tabla 1 abajo. Aunque los bucles de retroalimentación positiva son mejor conocidos por su crecimiento exponencial, también muestran otros comportamientos. Recuerde: Un multiplicador negativo en la tasa no crea un bucle de retroalimentación positiva.

La estructura genérica de un bucle positivo de primer orden puede mostrar tres tipos de comportamiento – crecimiento exponencial positivo, equilibrio inestable y crecimiento exponencial negativo.

Para un valor inicial del nivel y el multiplicador en la tasa (fracción o constante de tiempo), el comportamiento del nivel se muestra en cursivas		Nivel		
		Negativo	Cero	Positivo
Fracción de crecimiento⁵	Cero	<i>Equilibrio</i>	<i>Cero</i>	<i>Equilibrio</i>
	Positiva	<i>Crecimiento exponencial negativo</i>	<i>Cero</i>	<i>Crecimiento exponencial positivo</i>

Tabla 1 Resumen del comportamiento de un bucle de retroalimentación positiva

El crecimiento exponencial requiere un valor inicial del nivel diferente de cero. El crecimiento exponencial tiene un tiempo de duplicación constante. La tasa a la que ocurre un crecimiento exponencial se incrementa con el valor de la fracción de crecimiento.

Observe la tabla 1 y las gráficas de los ensayos (runs) de la simulación hasta que incorpore su conocimiento acerca de los bucles de retroalimentación positiva. Cuando sienta que comprende bien su comportamiento, puede continuar con los ejercicios de la siguiente sección.

⁵ Una fracción de crecimiento de cero corresponde a una constante de tiempo infinita. Esta es una situación con la que seguramente no se encontrará.

6. Aplicación de lo aprendido acerca de la estructura genérica

Hemos visto ejemplos de sistemas diferentes que tienen la misma estructura de bucle de retroalimentación positiva. Estudiamos la estructura genérica subyacente para desarrollar nuestra intuición acerca de los bucles positivos. Ahora, aplicaremos lo aprendido Acerca de la estructura genérica a fin de entender el comportamiento de otros sistemas.

Para llevar a cabo los siguientes ejercicios no debe simular los modelos; basta con hacer cálculos manuales. Sin embargo, después de contestar las preguntas, lo invitamos a que construya los modelos y experimente con ellos.

6.1. Ejercicio 1: Ventas de software

La base de clientes de un fabricante de software se incrementa cuando se añaden nuevos clientes. A través del proceso boca en boca, un porcentaje de los clientes actuales recomiendan a otras personas que se hagan clientes nuevos. El modelo para este sistema simple de retroalimentación se muestra a continuación.

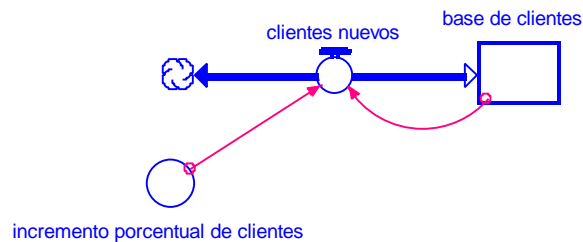


Figura 10 Modelo para Ventas de software

Existen dos compañías de software, Nanosoft y Picosoft, cada una de las cuales tiene una base de clientes de 10,000 clientes y un incremento fraccional de 0.1 clientes/cliente/semana (la fracción significa que 1 de cada 10 clientes convence a otra persona cada semana para que se haga cliente).

1. ¿Cuál es la constante de tiempo y el tiempo de duplicación? Proporcione las unidades para ambos. ¿Cuáles son las unidades para los clientes nuevos?
2. ¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomará a la base de clientes de Nanosoft crecer hasta 40,000 clientes?
3. Si Nanosoft quiere tener 80,000 clientes en la misma cantidad de tiempo, ¿cómo tendría que cambiarse el valor inicial del nivel para lograrlo?⁶
4. Picosoft también quiere tener 80,000 clientes en el mismo tiempo, pero decide cambiar el incremento porcentual para lograrlo. ¿Qué cambio debe hacer?

⁶ Aunque cambiar el nivel inicial puede no ser una opción factible en el sistema real, nuestro propósito es entender el efecto de diferentes valores iniciales del nivel en su crecimiento.

5. Si Nanosoft tiene una base de clientes tres veces más grande que Picosoft, ¿cuál de las dos empresas cree usted que crecerá más rápido? ¿Cuál es la razón de sus bases de clientes después de 14 semanas?

6.2. Ejercicio 2: Haciendo amigos

Brenda y Brandon son gemelos que acaban de mudarse a una nueva ciudad para vivir con su tía. Aunque son gemelos, sus personalidades son muy diferentes. Brenda es muy sociable y consigue amigos fácilmente. Normalmente ella consigue un amigo cada tres semanas. Por otro lado, Brandon es bastante tímido; normalmente le toma el doble de tiempo que a Brenda hacer un nuevo amigo.

En esta nueva ciudad, Brandon ya tiene 5 amigos que hizo en sus visitas del verano pasado. Sin embargo, Brenda no había estado nunca en la ciudad y el único “amigo” que ella tiene es su tía.

La figura 11 es un modelo muy simple del proceso mediante el cual se consiguen nuevos amigos. El modelo indica que la tasa con la que una persona consigue amigos nuevos depende de la cantidad de amigos que esta persona ya tiene y del tiempo necesario para conseguir un amigo nuevo. Por ejemplo, si Brenda tiene muchos amigos, éstos le presentarán a mucha gente nueva (amigos de amigos) y si no le toma mucho tiempo hacerlos sus amigos, entonces conseguirá muchos nuevos amigos muy rápido.

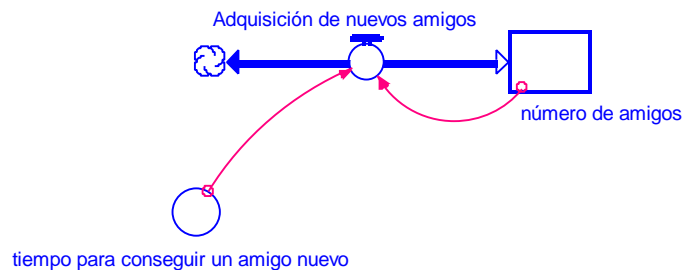


Figura 11 Adquisición de nuevos amigos

1. ¿Cuál es la constante de tiempo y el tiempo de duplicación de Brenda?
2. ¿Cuál es la constante de tiempo y el tiempo de duplicación de Brandon?
3. Para cuando inicia la escuela (9 semanas después de mudarse), ¿quién tendrá más amigos, Brenda o Brandon? No es necesario que calcule con exactitud cuántos amigos tienen Brenda y Brandon después de 9 semanas; solamente indique quién tiene más amigos después de 9 semanas.

6.3. Ejercicio 3: Saldo del crédito

Brandon decide que ya ha ido bastante a la escuela y planea iniciar su propio negocio de software para competir con Nanosoft y Picosoft. Hemos construido un modelo de su crédito bancario, que mostramos en la figura 12. Un crédito es considerado como un saldo bancario negativo.

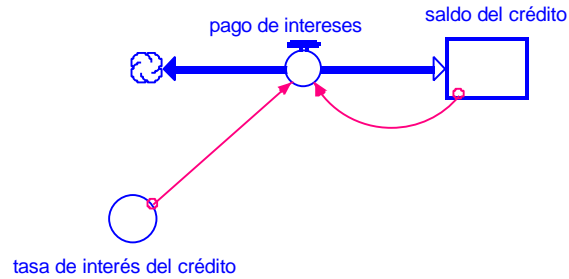


Figura 12 Modelo para el saldo del crédito

Para comprar una computadora, pide a su banco un préstamo de \$2,000 a una tasa de interés de 5%. Al regresar del banco encuentra a Brenda, quien le dice que hay otro banco que le perdona \$1,000 de su crédito si se cambia con ellos. Este banco cobra un interés de 10%. Brandon no entiende muy bien el crecimiento exponencial y no está seguro de lo que debe hacer. ¿Qué recomienda usted? ¿Cuál sería su saldo en cada uno de los bancos después de 14 años?

7. Soluciones a los ejercicios

7.1. Respuestas a la sección 6.1: Ventas de software

1. La constante de tiempo = $\frac{1}{\text{incremento porcentual de clientes}}$ o 10 semanas.

El tiempo de duplicación = 0.7 ? la constante de tiempo, o 7 semanas.

2. Para que la base de clientes crezca de 10,000 a 40,000, la base inicial se duplica dos veces. Cada tiempo de duplicación es de 7 semanas, entonces la compañía tardará 14 semanas en llegar a 40,000 clientes.

3. Dado que el tiempo para alcanzar los 80,000 está dado y es de 14 semanas (dos tiempos de duplicación), el valor inicial del nivel debe ser de 20,000 clientes.

4. Para alcanzar 80,000 clientes, una base de 10,000 se duplica tres veces en las 14 semanas. Si trabajamos hacia atrás:

$$1 \text{ tiempo de duplicación} = \frac{14}{3}, \text{ o } 4.6 \text{ Error! semanas}$$

$$1 \text{ constante de tiempo} = \frac{\text{tiempo de duplicación}}{0.7} = 6.6 \text{ Error! semanas}$$

$$\text{Incremento porcentual} = \frac{1}{\text{constante de tiempo}} = \frac{21}{140} \text{ o } 15 \text{ clientes/cliente/semana}$$

5. Nanosoft crece más rápido debido a que tiene un nivel mayor que Picosoft. Mientras que el incremento porcentual de cada compañía es el mismo, la tasa de crecimiento de Nanosoft es debido a que el número actual de clientes al que corresponde el crecimiento porcentual es mayor. La razón de bases de clientes después de 14 semanas sigue siendo la misma, 3 a 1. Puede parecer imposible que la razón se mantenga igual cuando una

empresa crece más rápido que la otra. La clave para entenderlo es que Nanosoft crece más rápido pero también tiene que moverse una distancia mayor para mantener la razón de 3 a 1.

7.2. Respuestas a la sección 6.2: Haciendo amigos

1. La constante de tiempo de Brenda es su tiempo para conseguir un nuevo amigo, que es igual a 2 semanas. El tiempo de duplicación es la constante de tiempo $\times 0.7$, o 1.4 semanas.

2. Brandon tarda el doble de tiempo para conseguir amigos. Su tiempo para conseguir un amigo nuevo es dos veces el de Brenda. Entonces su constante de tiempo es 4 semanas. El tiempo de duplicación es la constante de tiempo $\times 0.7$ o 2.8 semanas.

3. La forma más sencilla de responder a esta pregunta es usar los tiempos de duplicación y los valores iniciales para los niveles de amigos y hacer una pequeña tabla del número de amigos de Brenda y Brandon para el verano.

Semana	Amigos de Brenda	Amigos de Brandon
0	1	5
1.4	2	—
2.8	4	10
4.2	8	—
5.6	16	20
7.0	32	—
8.4	64	40
9	más que Brandon	menos que Brenda

Debido a la naturaleza de la estructura genérica positiva, una vez que Brenda tiene más amigos que Brandon, ella seguirá teniendo siempre más amigos que Brandon. Podemos inferir entonces que en la semana 9, el fin del verano, Brenda tiene más amigos que Brandon.

7.3. Respuestas a la sección 6.3: Saldo del crédito

La tasa de interés del banco de Brandon es de 0.05. La constante de tiempo es igual a 20 y el tiempo de duplicación de la deuda es igual a 14 años. La tasa de interés del otro banco es de 0.1 y tiene una constante de tiempo de 10 años. El tiempo de duplicación de una deuda es de 7 años.

Años	Deuda de Brandon con el banco	Deuda con el otro banco
0	2000	1000
14	4000	4000
28	8000	16000
42	16000	64000
56	32000	256000

Esta tabla ilustra claramente el poder del crecimiento exponencial. El banco en el que Brandon debe invertir depende del tiempo que piense tardar en pagar su deuda. Si planea pagar en los primeros 14 años, entonces el otro banco le ahorrará dinero. Si a Brandon le tomará más de 14 años pagar el préstamo, el banco al que pidió prestado es su mejor apuesta.

8. Documentación de modelos

8.1. Documentación para la sección 2.1: Sistema Población Nacimientos

población de venados(t) = población de venados(t - dt) + (nacimientos) * dt

INIT población de venados = 100

DOCUMENTACIÓN: Este es el número de venados que hay en el sistema.

UNIDADES: venados

FLUJOS:

nacimientos = población de venados * fracción de nacimientos

DOCUMENTACION: Este es el número de venados que nacen cada año.

UNIDADES: venados/año

fracción de nacimientos = .3

DOCUMENTACION: Este es el número de venados que nacen por cada venado por año.

UNIDADES: venados/venados/año

8.2. Documentación para la sección 2.2: Sistema bancario saldo interés

saldo en el banco(t) = saldo en el banco(t - dt) + (interés ganado) * dt

INIT saldo en el banco = 100

DOCUMENTACION: Esta es la cantidad de dinero en la cuenta bancaria

UNIDADES: dólares

FLUJOS:

interés ganado = saldo en el banco * tasa de interés

DOCUMENTACION: Esta es la cantidad de interés ganado por el dinero en la cuenta.

UNIDADES: dólares/año

tasa de interés = 0.025

DOCUMENTACION: Este es el número de dólares que se ganan por 1 dólar en un año.

UNIDADES: dólares/dólares/año

8.3. Documentación para la sección 2.3: Sistema conocimiento aprendizaje

conocimiento(t) = conocimiento(t - dt) + (aprendizaje) * dt

INIT conocimiento = 100

DOCUMENTACION: Lo que una persona conoce, medido en hechos acerca de un tema.

UNIDADES: hechos

FLUJOS:

aprendizaje = conocimiento / tiempo para aprender

DOCUMENTACION: Esta es la tasa a la cual se aprenden nuevos hechos por día.

UNIDADES: hechos/día

tiempo para aprender = 3

DOCUMENTACION: Esta es la constante de tiempo del sistema. Toma un promedio de 3 días para que un nuevo hecho se convierta en conocimiento.

UNIDADES: días