
Pensamiento Sistémico con I Think

Introducción

La aproximación tradicional a la resolución de un problema, lo separa en partes y resuelve cada una de ellas por separado. Como cada parte influye en las demás no es considerado. En la resolución sistémica, en cambio, se buscan las interconexiones entre las parte del problema y se resuelve como un conjunto.

El pensamiento sistémico, *System Thinking ST*, comenzó a enseñarse en algunas escuelas de nivel medio de Europa y Estados Unidos a comienzos de la década del 90, para resolver problemas de matemáticas, física, química, biología, economía, ecología, medicina, negocios, historia, literatura, sociología, psicología, ciencias sociales, etc. En la mayoría de los casos se implementa alrededor de un software específico de resolución de Sistemas Dinámicos, *System Dynamic, SD*. En estas escuelas los maestros se convierten en consejeros y entrenadores apoyando proyectos de los estudiantes que incluso pueden superar la experiencia del mismo maestro.

SD utiliza modelos complejos en donde el análisis a lo largo del tiempo es esencial (dinámicos). No solo interesa una fotografía de la situación sino la película del desarrollo de la misma, con la cual se puede predecir el futuro. Los modelos que utiliza son: diagramas de lazo cerrado *Close Loop Diagram CLD*, de *Stock – Flow, SFD*, diagramas cartesianos en función del tiempo, *Behavior Over Time Graph, BOTG* y Ecuaciones Diferenciales Ordinarias, *ODE*.

La disciplina SD se creó en el MIT en el año 1956 por el profesor Jay Forrester. Su campo de aplicación inicial fueron las corporaciones en donde se utilizó para analizar y detectar éxitos y fracasos, crecimiento y decaimiento, fluctuación del empleo, etc. Posteriormente se transfirió su campo de aplicación a cualquier sistema en el que exista una variación en el tiempo.

Los SD se encuentran estrechamente asociados con los métodos de integración numérica de ecuaciones diferenciales y fuertemente con la simulación por computadora. Esta relación con la computadora promueve a que el alumno pueda encontrar las soluciones por si mismo interactuando con ella.

Los programas informáticos más conocidos, desarrollados para analizar los SD, son:

- STELLA o Ithink
Fue el primero que permitió entradas de modelado gráfico, con lo cual incluso alumnos de jardín de infantes lo utilizan sin necesidad, obviamente, de conocer el motor analítico que lo soporta. STELLA es el acrónimo de System Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation. STELLA es idéntico a IThink, solo difieren en la documentación que los acompaña. STELLA está dirigido hacia educadores y ciencias, en cambio IThink lo está hacia el mundo empresarial.
- Powersim
Tiene la misma estructura de formato que STELLA.
- VENSIM
Similar a los anteriores con el agregado de que tiene una versión limitada gratis para propósitos educativos.

La utilización de ST en escuelas primarias o secundarias, posicionan a sus alumnos con enormes ventajas respecto de las escuelas que no los usan. Esto ha sido verificado al observar los trabajos e informes técnicos de estudiantes que habían trabajado con modelos de ST en su escuela. La diferencia entre lo que actualmente se enseña y lo que podría enseñarse es dramáticamente diferente.

1. Con ST, se pueden analizar modelos dinámicos que de otra forma no podría hacerse en la escuela no universitaria, como por ejemplo modelos de crecimientos poblacionales, de decaimiento radiactivo, de infección de SIDA, etc. El contacto estrecho con estos modelos provoca en el estudiante un profundo conocimiento, extraordinariamente útil para cuando estos tópicos sean estudiados más adelante en su carrera educativa.
2. Con ST se observa en forma sencilla como los modelos matemáticos se pueden aplicar a varias disciplinas que no tienen relación entre sí. Así por ejemplo el modelo de un resorte sin rozamiento puede ser adecuado también para estudiar el equilibrio entre una especie predadora y su presa.
3. Con ST los alumnos se habitúan a mirar los problemas de forma diferente. Desarrollan un modelo desde cero y luego deben poder explicarlo a otros estudiantes. En varias escuelas, los estudiantes eligen un problema a estudiar y luego diseñan un modelo extrayendo información de Internet, biblioteca o de otros profesores o expertos en el tema. Luego para validar sus modelos, deberán realizar los cambios adecuados. Finalmente elaboran un informe técnico explicando cómo trabaja el modelo, que indican los gráficos, como validaron los resultados y cuáles son las conclusiones.

Una versión de demostración del programa IThink o Stella, con tutoriales y ejemplos, puede obtenerse en el sitio:

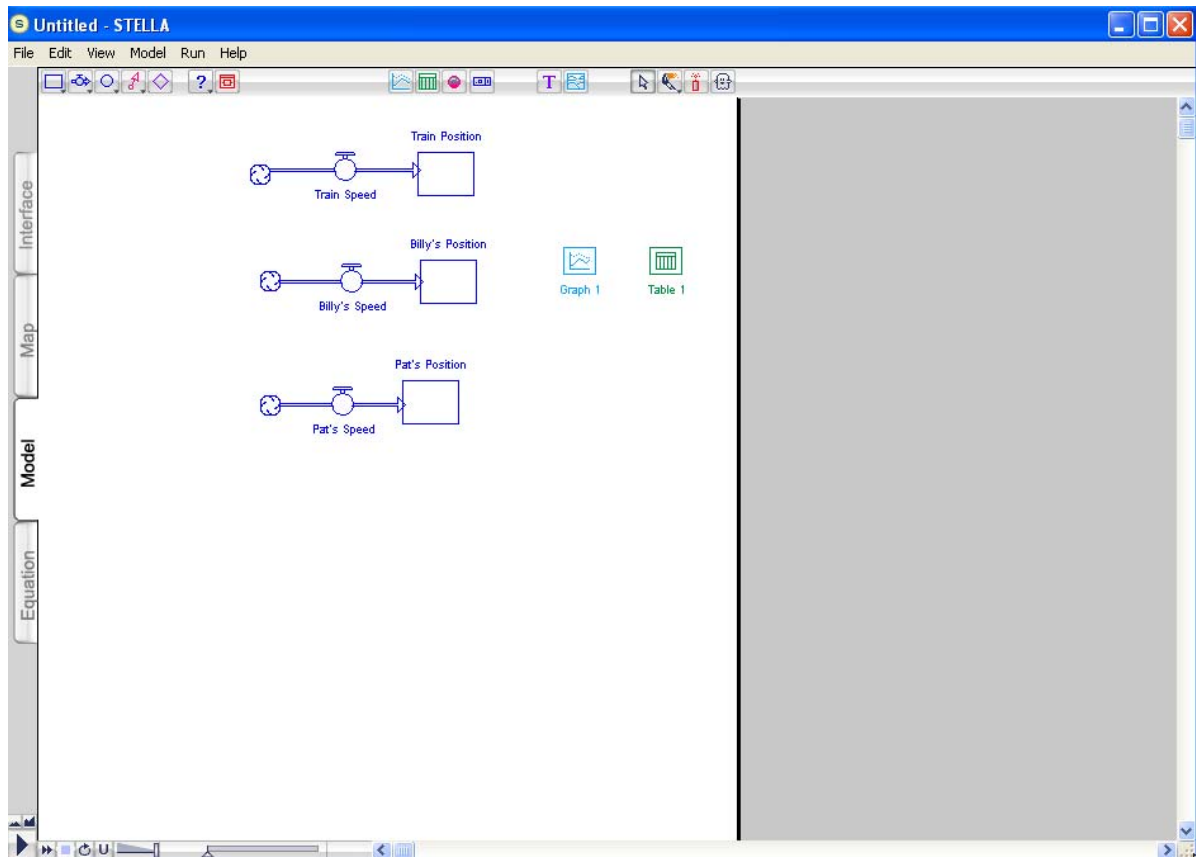
<http://www.iseesystems.com/>

Entorno del I Think o STELLA

El saber *como* dialogar con el programa se aprende en algunas pocas horas, el aspecto esencial en SD se presenta en el posterior Modelado y Diseño de SD. Esto requiere tiempo y esfuerzo.

Abrir el programa. Ir a **File > Open >** ir a cualquier carpeta en la que se encuentre un archivo *.stm (STELLA) o *.itm (IThink). Si el archivo es de una versión anterior aparecerá una indicación en la que se debe aceptar que abra un archivo nuevo sin nombre (Untitled).

En la versión 9 Se presenta la siguiente vista general (el modelo que se muestra es arbitrario).



Espacio de trabajo

Es el espacio central en donde se diseñará el modelo del SD.

Barra de menús

En ella se encuentran los menús clásicos de Windows: **File**, **Edit** y **Help**. Los 3 restantes se corresponden a aspectos particulares de SD:

Barra de herramientas superior

Los primeros 5 botones son los esenciales para crear un modelo del sistema. Apoyando el mouse sobre ellos se podrá leer el nombre de cada uno. En el segundo grupo se encuentran, entre otros, dos botones **Graph Pad** y **Table Pad** con los que se obtendrán las *tablas* y *gráficos* de los resultados de la simulación.

Todos los elementos se colocan en el espacio de trabajo haciendo clic en el botón (se carga el mouse) y luego clic en el espacio de trabajo.

Capas

Existen 4 capas con las que se puede interactuar. Se presentan a la izquierda de la pantalla y en la versión 9 en forma de pestañas.

Están pensadas para adecuar el programa al nivel académico del usuario, desde la más simple *Interface*, apta desde jardín de infantes, hasta la que contiene las ecuaciones del modelo, *Equations*, apta para estudiantes que hayan visto, por lo menos, el método de integración de Euler. La más usual es la intermedia *Model*, apta para todos los usuarios que diseñen un modelo gráfico de un SD.

- *Interface*
No se ve el modelo, solo se ven las entradas y salidas de datos que el diseñador del modelo haya configurado.
En la barra de menús, aparece el menú *Interface*. En él se puede ir a *Interface Prefs* con varias posibilidades de elección.
- *Map*
Se ve el modelo pero no se puede editar.
En la barra de menús, aparece el menú *Model*. En él se puede ir a *Model Prefs* con varias posibilidades de elección.
- *Model*
Se ve el modelo y se puede editar.
En la barra de menús, aparece el menú *Model*. En él se puede ir a *Model Prefs* con varias posibilidades de elección.
- *Equation*
Contiene las ecuaciones que vinculan los distintos componentes del modelo.
En la barra de menús, aparece el menú *Equation*. En él se puede ir a *Equation Prefs* con varias posibilidades de elección.

Barra de herramientas inferior

Contiene el botón *Run*, *Stop*, y otros botones de especificaciones de la simulación.

Crisis Educativa

Los modelos son simplificaciones de la realidad, y por lo tanto son todos falsos. Sin embargo no existe otra opción que la de utilizarlos si se desea pensar un problema.

Dado que los objetos acerca de los cuales debemos tomar una decisión no se encuentran en nuestro cerebro, todos debemos elaborar un modelo para pensar el problema, el cual es llamado Modelo Mental. No es posible emplear un enfoque racional sin este proceso, seamos o no cocientes de él. Cuando hablamos de football, no tenemos una pelota de football en la cabeza (aunque a veces parezca), sino un modelo mental del juego.

El objetivo final para analizar un problema de SD se centra en poder desarrollar la habilidad en crear modelos desde cero y poder explicarlos a otras personas.

El proceso de crear modelos es un proceso iterativo. Se comienza con un prototipo y luego se lo valida con la experiencia. Si no se ajusta a la misma deberá ser modificado.

Existen los siguientes tipos de modelos básicos:

- Diagramas cualitativos de lazo cerrado, Causal Loop Diagram CLD,
- Diagramas cuantitativos de Nivel Flujo, Stock Flow Diagram SFD, Consecuencia de estos resultan los diagramas cuantitativos cartesianos, sea en función del tiempo, Behavior Over Time Graph, BOTG, o de fase. Los CLD finalmente se resuelven en forma analítica con las Ecuaciones (cuantitativas). Diferenciales Ordinarias, ODE1.

Los CLD permiten un modelado cualitativo, en tanto que el resto lo hacen en forma cuantitativa. IThink permite elaborar todos los modelos a partir del modelo verbal.

Modelo Verbal

En los párrafos siguientes, se indicará con fondo gris, las acciones que corresponden directamente al modelo Crisis Educativa.

El problema a modelar es el expuesto en el informe correspondiente a Mayo de 2007.

Construiremos un modelo SFD de esta situación, considerando como variables a las propuestas (siete) enunciadas en el punto 3, TRATAMIENTO.

Modelo SFD

Así como en el lenguaje gramatical tiene dos elementos esenciales, sustantivo (objeto) y verbo (acción), el lenguaje de los SD tiene también dos componentes homólogos a éstos, llamados Stock y Flujo (Flow). Ambos conforman los dos componentes esenciales del pensamiento sistémico ST y sus conceptos están estrechamente correlacionados. Se necesita al menos un sustantivo y un verbo para construir una oración correcta.

- Stock
Es una cantidad acumulada en el tiempo por un Flujo. Su valor indica el estado de un sistema. Es controlado por Flujos, nunca por otros Stocks.

Se refiere a un instante de tiempo
 En análisis matemático se corresponde con la integración.
 Otros nombres: Acumulación, nivel, integración, motivación.

- Flujo o Flow

Es la variación de cambio del Stock, en el tiempo, da la dinámica haciendo subir o bajar los Stocks.
 Si el Stock se mide en Unidad, el Flow se mide en Unidad/tiempo

Se refiere a un intervalo de tiempo

En análisis matemático se corresponde con la derivación.

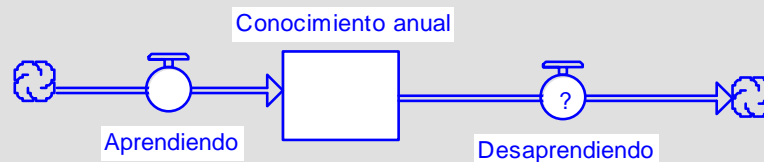
Otros nombres: razón de cambio, derivación, influencia.

Los Stocks pueden ser cosas físicas, población, agua, dinero, o no físicas como conocimiento, calidad, sed, miedo, auto estima, verdad, etc. En cualquier caso se acumulan como si fueran físicas. Los Flows son variaciones de los Stocks.

Se debe aprender a distinguir claramente entre un Stock y un Flow. Los Flows no influyen a los Stocks, ni tienen impacto sobre ellos. Los Flows llenan y drenan los Stocks, haciendo subir o bajar el nivel de los mismos. El control de los Stocks se realiza exclusivamente a través de los Flows.

La notación gráfica de cada uno de ellos se podrá observar arrastrando los dos primeros botones (Stock y Flow) al espacio de trabajo. Los flujos deben arrastrarse ya sea entrando o saliendo de un Stock con lo cual se crean Inflows (de entrada de flujo al Stock) y Outflows (de drenaje de flujo al Stock).

Colocar un Stock y llamarlo Conocimiento Anual. Luego colocar un Flow de tal forma que termine en el Stock y ponerle el nombre de Aprendiendo. Colocar otro Flow saliendo del Stock y colocarle el nombre de Desaprendiendo.



Se observará que:

- Los Stocks se representan con un rectángulo.
- La unión entre los Stocks y Flows se realiza con una doble línea, indicativa de por donde se produce el transporte del ítem físico o no físico que conforma el stock. En este caso, por este canal "circula" Conocimiento.
- El símbolo de un Flow es similar a una válvula de apertura o cierre y puede ser unidireccional Inflow o bidireccional Biflow. Por defecto se coloca el unidireccional.
- Los Flows de entrada o Inflow son los de la izquierda y los de drenaje o Outflow los de la derecha. Ninguno puede tener valores negativos, es decir un Outflow no puede modelarse con un Inflow negativo. Lo que se ve es lo que sucede en la realidad (WYSIWYG, What You See Is What You Get).
- Las nubes que se observan al comenzar o terminar un Flow indican un componente de capacidad de acumulación infinita.
- En el modo Model, cada uno muestra un signo ? dentro de él. Esto indica que todavía no se le han asignado valores y/o ecuaciones. Haciendo doble clic en cualquiera de los componentes se pueden entrar condiciones iniciales y fórmulas (veremos enseguida que para que involucre otras variables se deben entrar conversores y conectores que conecten esas variables)

Completamiento del modelo SFD

Modelaremos en principio, la incidencia de la pérdida de días de clases (ítem 5 del apartado 3 del informe).

Converter

Permite introducir cualquier constante o variable distinta a la de Stocks y Flows que deba intervenir en el modelo. En este caso introduciremos la variable Pérdida de Clases.

Hacer clic en el botón Converter y luego otro clic en el espacio de trabajo. Se presenta un círculo. Colocarle el nombre de Pérdida de Clases.

Conector causal

Los conectores causales transmiten relaciones de causa-efecto o funcionales entre elementos del modelo.

Un Flow transporta, un Connector transmite.

Con un clic en el botón Action Connector se carga el mouse con este icono. Luego se procede a hacer clic en Pérdida de Clases y se arrastra hacia Desaprendiendo.

Lazo no lineal o Feedback

En este caso se presenta la siguiente situación, llamada realimentación.

Supongamos que durante el primer año de la escuela, en condiciones ideales el estudiante acumula un nivel de Conocimientos Anuales de 100 y que en cada año subsiguiente se incrementa en 100, siempre y cuando ese año sea normal y el año anterior también. Es decir partimos de la hipótesis razonable de que el incremento de conocimientos es proporcional al conocimiento que ya exista.

Imaginemos que por distintas circunstancias se pierden 10 días de clases. Un año típico tiene 180 días de clases, por lo tanto la incidencia numérica será $10/180 = 5.55\%$ Tomemos un 6% para redondear (por otra parte en algunos años se han perdido meses, no días).

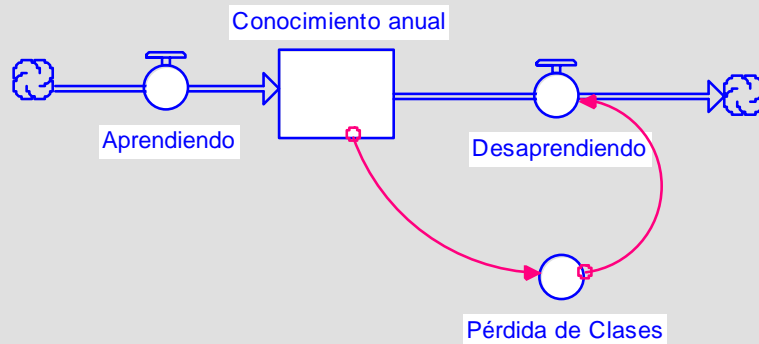
Si suponemos una relación lineal entre los días de clases y la acumulación de conocimientos, al final de primer año se habrá acumulado un Conocimiento Anual de 94.

Si esta situación se repite al año siguiente (es lo que sucede en nuestras escuelas), se repetirá el cálculo pero sobre una base de 94 en lugar de 100. Por consiguiente se tendrá a fin de año un Conocimiento Anual de 94% sobre 94, es decir 88%. Este proceso se repite hasta el año 6.

La relación funcional entre la Pérdida de Clases y el Conocimiento Anual estará dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de Clases} = 0.06 * \text{Conocimiento Anual}$$

En el diagrama SFD, esta vinculación se realiza con conectores como se indica en la figura.



Este tipo de conexión se llama lazo de realimentación (negativa), la cual produce un tipo de comportamiento llamado decaimiento a cero.

Ecuaciones y Valores

Al hacer doble clic en un `Stock`, `Flow` o `Converter`, se abren las ventanas correspondientes, en donde se deberán colocar los valores y ecuaciones.

Si existen enlaces que terminen en el elemento, la ecuación deberá utilizar obligatoriamente esos enlaces, colocando en el cuadro de texto inferior las variables que aparecerán en el cuadro `Required Input`, enlazadas con la operación o función que corresponda. Si no se utilizaran todas las variables requeridas, cuando se presione OK, IThink advertirá de este error colocando en la parte inferior, el texto `Unused Input`: indicando a continuación las entradas que deben ser usadas.

Si el elemento `Stock` o `Flow` no tiene enlaces conectados, se deberá colocar un valor inicial numérico.

Para `Desaprendiendo` se deberá entrar la ecuación:

$$\text{Desaprendiendo} = \text{Pérdida de Clases}$$

Para `Pérdida de Clases` se deberá entrar la ecuación:

$$\text{Pérdida de Clases} = 0.06 * \text{Conocimiento anual}$$

Para `Conocimiento anual` se deberá entrar el valor:

100

Para `Aprendiendo` se deberá entrar el valor:

0

Ejecución

Valores de tiempo

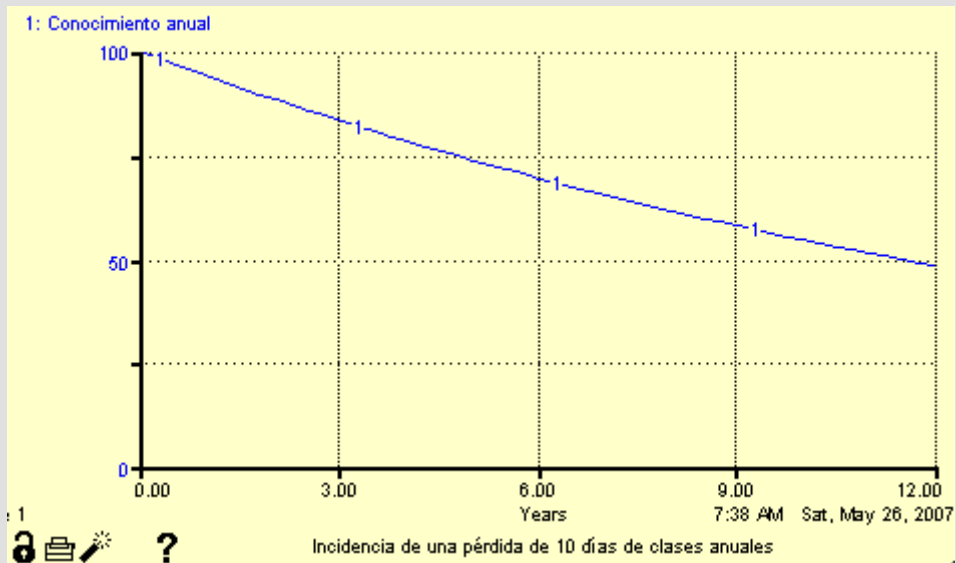
Presionar el botón `Run` en el extremo inferior izquierdo para generar la ventana en donde se encuentra un botón `Specs`. Presionarlo para abrir un menú desplegable en donde se hará clic en `Run Specs`. En la ventana que se abre colocar `Years` (años), entre 0 y 12 y un `DT` de 0.25. El `DT` (Delta t) es el intervalo entre cada cálculo de la integración numérica que realiza el IThink. Conservar el método de Euler.

Gráficos

Haciendo clic en el botón `Graph pad` o `Table Pad` se puede colocar en el espacio de trabajo un gráfico o una tabla que visualice cualquiera de las variables del modelo en función del tiempo. Para esto se hace un doble clic sobre el icono ya colocado. Se abre la ventana del gráfico. Con otro doble clic sobre el gráfico se abre una ventana de opciones. Se pasan las variables deseadas desde el cuadro `Allowable` al cuadro `Selected`. Pasar la variable `Conocimiento Anual`.

Ejecutar

Antes de ejecutar el modelo, piense que forma de gráfico espera. Presionar `Run` y analizar si su predicción fue correcta. El valor final debe ser 69.58 para 6 años y 48.41 para 12 años, con decrecimiento exponencial.



7:38 AM Sat, May 26, 2007 Table 1 (Untitled Table)

Years	Conocimiento				
9.25	57.17				
9.50	56.31				
9.75	55.46				
10.00	54.63				
10.25	53.81				
10.50	53.01				
10.75	52.21				
11.00	51.43				
11.25	50.66				
11.50	49.90				
11.75	49.15				
Final	48.41				

Los lectores con formación matemática reconocerán para esta variable la ecuación diferencial:

$$dy/dx = -k*y$$

cuya solución es:

$$y = \exp(-kt)$$

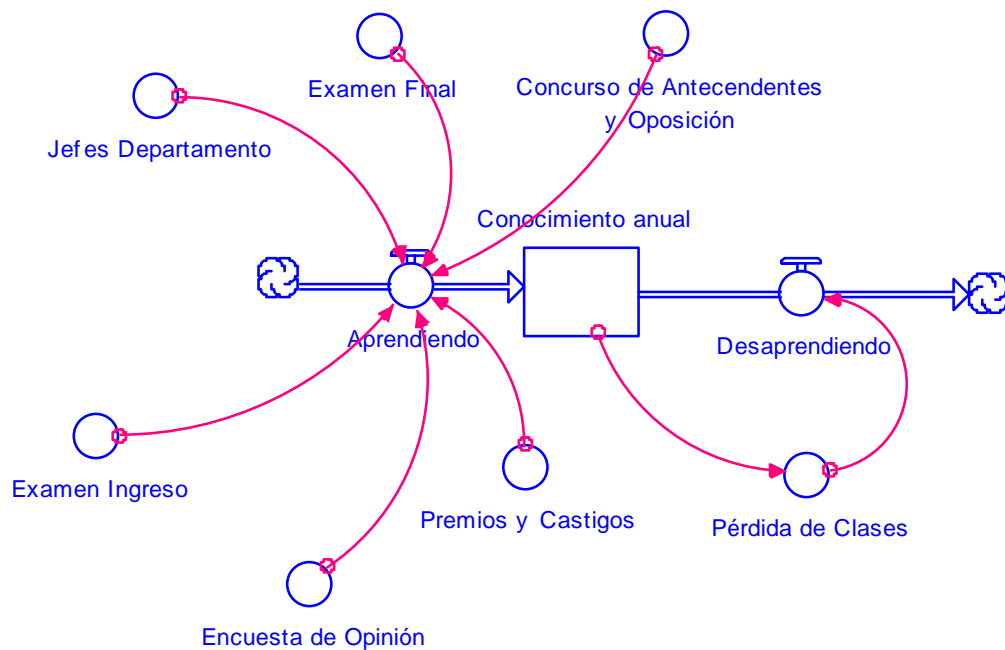
siendo en este caso, $k = 0.06$

Guardar el modelo.

El resto de los seis factores contenidos en el informe, que inciden en el Conocimiento Anual, se colocan de igual manera. Una posible estructura se muestra en la siguiente figura. Dado que el modelo colocado en el informe perseguía solo la finalidad de presentar el efecto de realimentación de la variable Pérdida de Clases y solo un resumen gráfico para las restantes seis variables, se les asignó a cada una de éstas el valor cero.

Se deja al lector el diseño de las interrelaciones entre estas variables y de cada una de ellas con los Flows y Stock que considere más aptas para ajustar el modelo a la realidad (no necesariamente conectadas como en la figura).

Este modelo debería completarse con otras variables no contempladas en el informe, tales como: Esfuerzo y Dedicación, Docentes con limitados o extraordinarios conocimientos en la materia, etc.



Si decide profundizar sobre este modelo, me resultaría de gran interés conocer los resultados a los que arribe.