

De diagramas causales a diagramas de flujos y niveles

Curso dinámica de sistemas - Práctica

Resumen

Lo aquí desarrollado tiene como objetivo introducir a la persona que está aprendiendo a modelar con dinámica de sistemas, la estrategia para pasar de *diagramas causales* a los diagramas de *flujos y niveles*.

1. Introducción

La metodología de dinámica de sistemas plantea la elaboración de una hipótesis dinámica. Esta hipótesis, se suele presentar a través de un diagrama causal, el cual debe capturar las relaciones básicas de realimentación que expliquen el fenómeno estudiado. No obstante, el diagrama causal no recoge otras características útiles del sistema: no se tiene información sobre el tiempo de simulación, ni se explica si una variable está describiendo el estado del sistema, o la magnitud de las relaciones que se dan en su interior, así como la relación funcional entre las variables.

Esta información la contienen los diagramas de *flujos y niveles*, los cuales pueden ser elaborados a partir de los diagramas causales. Aunque es importante aclarar que nunca se debe confiar ciegamente en la versión final de un diagrama causal si no se ha hecho un diagrama de flujos y niveles a partir de él. La elaboración del diagrama de flujos y niveles permite corregir relaciones que se pasan por alto cuando se hace un causal.

2. Flujos y niveles

Supóngase que se está estudiando el sistema del cuerpo humano. En él hay órganos importantes que denotan el estado del sistema. Están el corazón, cerebro, pulmones, riñones, etc. Todos muy diferentes en funciones y características, pero igualmente útiles para describir el estado y el funcionamiento del sistema. Los *niveles*, podrían asemejarse a esos ‘órganos’ principales que describen el funcionamiento del sistema, y los *flujos* a las venas y arterias que permiten la comunicación entre ellos.

Si el sistema a estudiar fuera una industria, los inventarios de materia prima, producto en proceso y producto terminado, se describirían como *niveles*, mientras que las tasas de producción y venta se asimilarían a los *flujos*.

Cuando se estudian fenómenos sociales, la población de hombres, mujeres, niños ancianos se asocian con *niveles*, mientras que las ratas de nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte se asimilarían con los *flujos*.

Una completa guía sobre los *flujos y niveles*, se encuentra en el capítulo 6 del libro de Sterman [2], bajo el título *Stocks and Flows*.

3. De causales a flujos y niveles

3.1. Diagrama causal de la venta de esposas en Haryana

Como el diagrama causal es una herramienta para mostrar las relaciones básicas de alimentación, este es más un resumen de las relaciones más importantes que de todas las relaciones existentes. Será mucho más fácil pasar de un diagrama a otro, mientras características del diagrama de flujos y niveles estén en el diagrama causal. En la figura 1, se presenta un diagrama causal que pretende ser la hipótesis dinámica del por qué faltan esposas en la población india de Haryana [1].

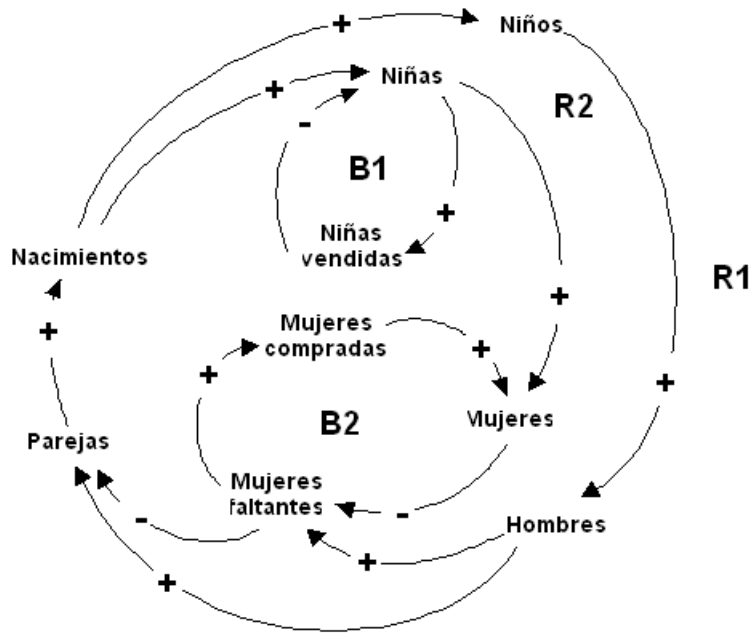


Figura 1: Diagrama causal de la venta de esposas en Haryana (versión 1).

Como hipótesis dinámica se podría afirmar que es aceptable. Como diagrama causal se afirmaría que está bien hecho y que no da pie para equivocaciones, pero como herramienta para pasar al diagrama de flujos y niveles, está a medio camino ¿Por qué?

La primera pista que tiene el modelador es que las variables *Niñas*, *Niños*, *Mujeres solteras*, y *Hombres solteros*, podrían modelarse como *niveles*, dado que se acumulan con el

tiempo, y que además en el caso de las *Niñas* y las *Mujeres solteras*, la variables *Niñas vendidas* y *Mujeres compradas*, son flujos respectivamente. Esta información se puede extraer explícitamente del diagrama causal. Lo que no se extrae del diagrama causal son otros flujos que modifican estos niveles y que son importantes para hacer el cálculo. Estos flujos los debe deducir el modelador.

En la figura 2, se aprecian los flujos que acompañan a los niveles *Niñas* y *Niños*. Naturalmente, las *Niñas* y *Niños* se convierten en tal cuando nacen, y abandonan esta condición cuando son muchachas o adolescentes. En la figura se aprecia además, como está el flujo saliente de las *Niñas* por la venta de estas.

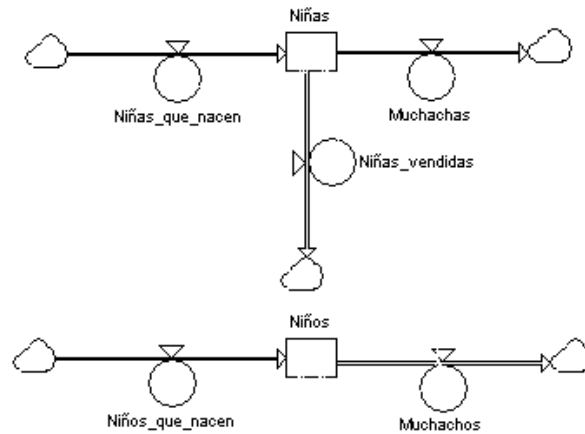


Figura 2: Flujos de las variables de nivel *Niños* y *Niñas*.

En la figura 3, se muestran los flujos que modifican el estado de los niveles *Solteros* y *Solteras*. Se debe observar que *Niños* y *Solteros* comparten un flujo, así como las *Niñas* y *Solteras*. Una vez más se debe aclarar que esto lo debe deducir el modelador.

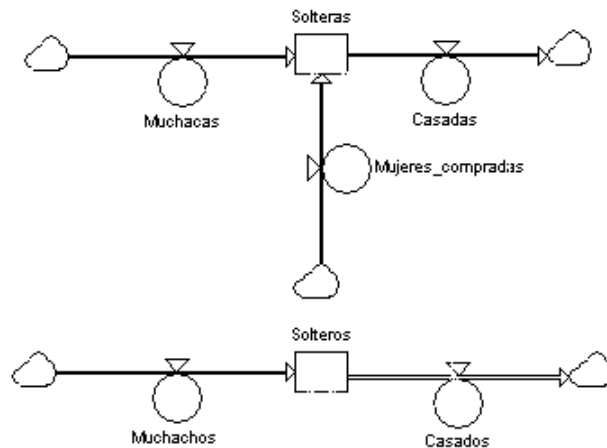


Figura 3: Flujos de las variables de nivel *Solteros* y *Solteras*

Ahora, si se quisiera completar el diagrama causal de la figura 1, se tendrían que añadir

todos los flujos que se han mencionado, y se tendría un diagrama causal como el representado en la figura 4.

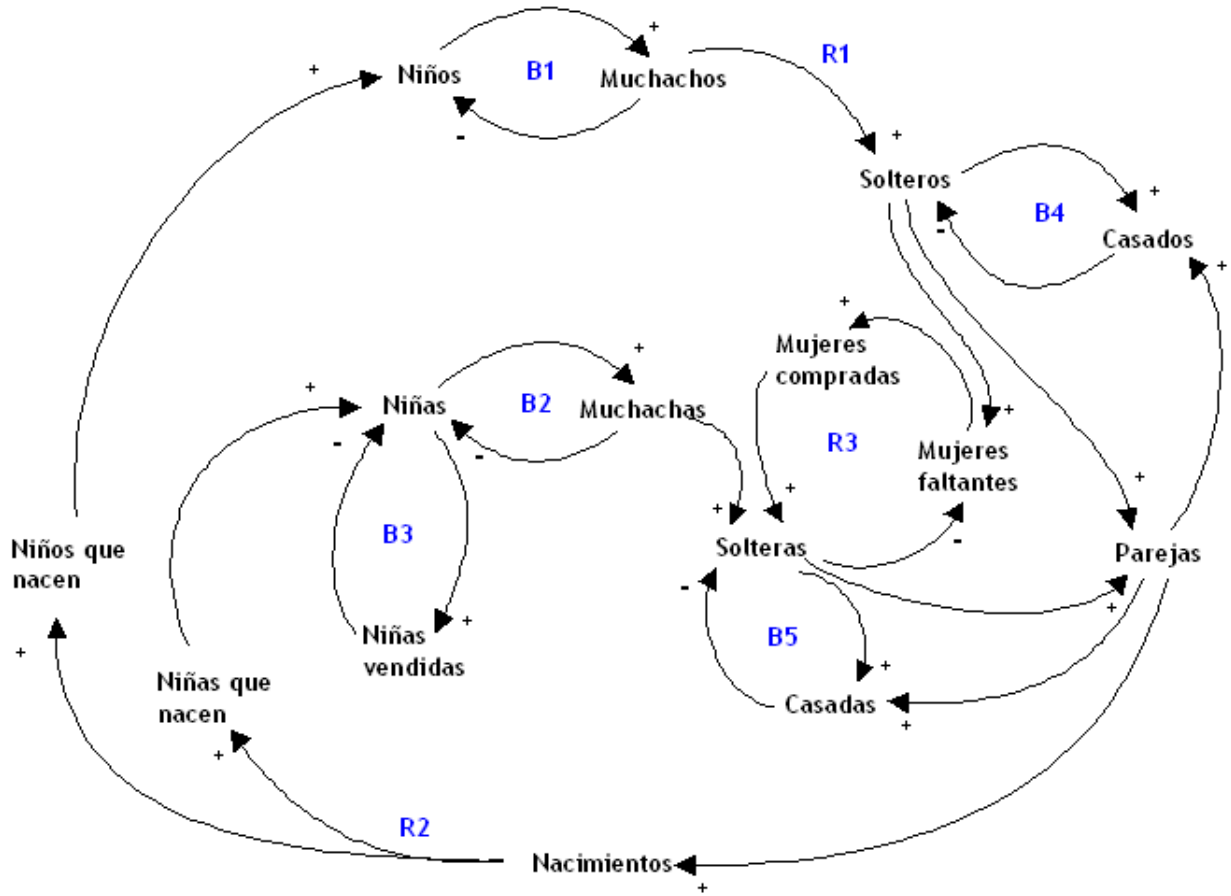


Figura 4: Diagrama causal de la venta de esposas en Haryana (versión 2).

Si se comparan las figuras 1 y 4, se puede apreciar que esencialmente son el mismo diagrama causal, y que las diferencias son ‘simplemente’, por los flujos que se omitieron en la figura 1. Ahora, el paso siguiente es construir los diagramas de flujos y niveles a partir del causal dado. Para esto, es necesario tener en cuenta algunos elementos claves que se discutirán a continuación.

3.2. Reglas básicas en la construcción de diagramas de flujos y niveles

Hay que tener en cuenta que un diagrama causal no contiene todos los detalles que contiene un diagrama de flujos y niveles, por lo tanto un diagrama causal por lo general es una versión más agregada o resumida de lo que se muestra en el diagrama de flujos. A veces los modelos son tan pequeños que un diagrama de flujos y niveles puede ser representado enteramente por un diagrama causal y viceversa. En estos casos, para pasar de un tipo de diagrama a otro, hay que tener en cuenta algunas reglas básicas:

1. Identificar que tipo de variables van a ser modeladas como variables de nivel, flujo, auxiliares y parámetros. En la figura 5, se presentan los elementos usados en dinámica de sistemas¹

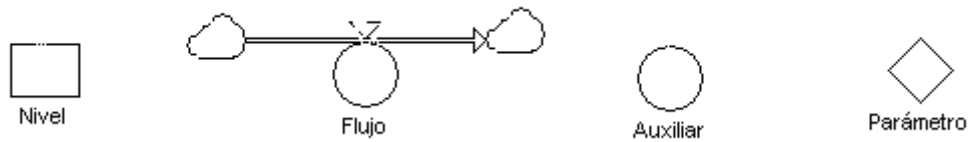


Figura 5: Tipos de figuras para representar los elementos usados en dinámica de sistemas.

2. Si se tiene el caso de que una variable de nivel es incrementada por una variable de flujo, el paso de causal a flujo se da de la siguiente manera (figura 6):

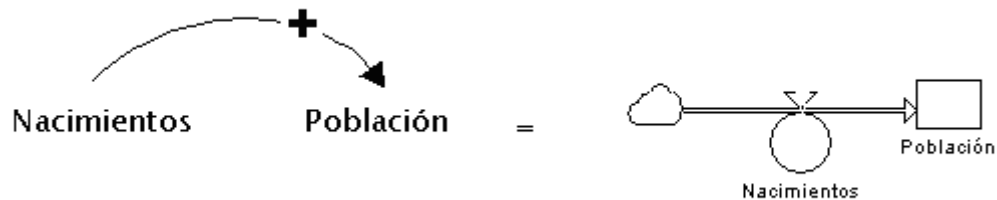


Figura 6: Representación del incremento flujo nivel.

3. Si la ecuación de la variable de flujo depende de una forma positiva o negativa de la del nivel, y de un parámetro, el paso de flujo a nivel se puede dar de la siguiente manera (figura 7):

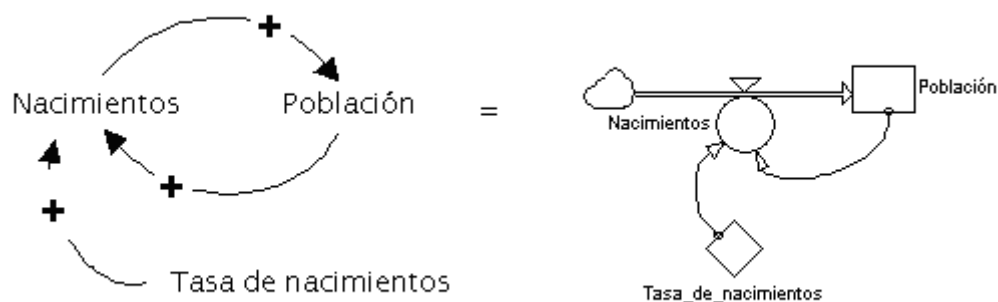


Figura 7: Representación de la realimentación del nivel.

¹La forma de estos íconos difieren con el tipo de software que se esté usando. Otros programas tienen otras figuras para representar las variables auxiliares y los parámetros. Los más universalmente representados son los flujos y niveles.

Note que los parámetros se caracterizan porque no les llega ninguna flecha causal, esto es porque son variables exógenas, es decir, afectan al modelo pero no son afectados por él.

4. Si una variable de flujo disminuye a una de nivel, como es el caso de la variable de flujo *Muertes* a la variable de nivel *Población*, el cambio se presenta en la figura 8:

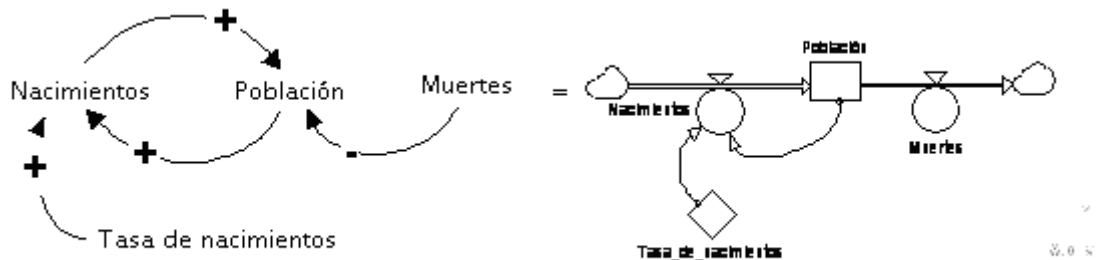


Figura 8: Disminución del nivel.

Note que si bien el sentido de la flecha va de *Muertes* a *Población* en el diagrama causal, en el diagrama de flujos va de *Población* a *Muertes*. Este es el único elemento que aparentemente se ve contraintuitivo o erróneo, sin embargo, no cambia el hecho de que más *Muertes* se le va a sacar más personas a la variable de nivel *Población*. Siempre que se le saque a una variable de nivel, en el diagrama causal irá en un sentido mientras que en el de flujos irá en el otro.

5. Si la ecuación de la variable de flujo *Muertes* depende *positiva* o *negativamente* de la variable del nivel, la flecha irá en el mismo sentido que tiene en el causal, pero el signo dependerá si su influencia es *positiva* o *negativa* (figura 9):

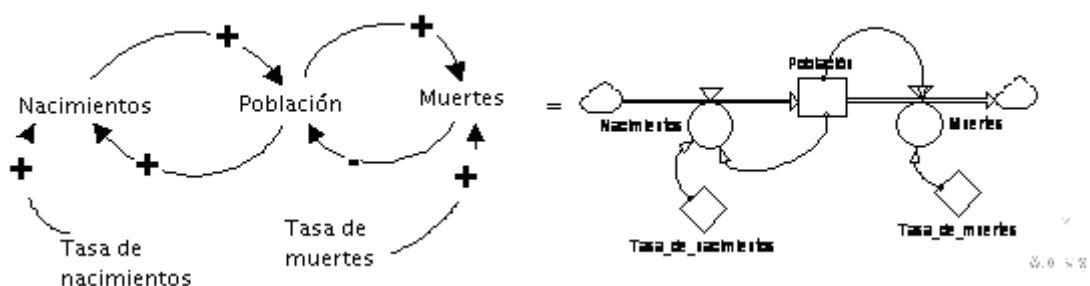


Figura 9: Representación de la influencia *positiva* o *negativa* del nivel sobre el flujo.

Solamente las variables de nivel pueden ser incrementadas o decrementadas por variables de flujo. Si un parámetro o una variable auxiliar está conectada a una variable de nivel, es porque es la condición inicial de la variable de nivel, y depende de ese parámetro o variable auxiliar. Después del tiempo cero, el nivel se calculará a partir de la rata neta de los flujos.

6. Si *Muertes* o *Nacimientos* dependen de algo no directamente relacionado con la cantidad de *Población*, como por ejemplo *Enfermedades*, se puede usar una variable auxiliar como se presenta en la figura 10.

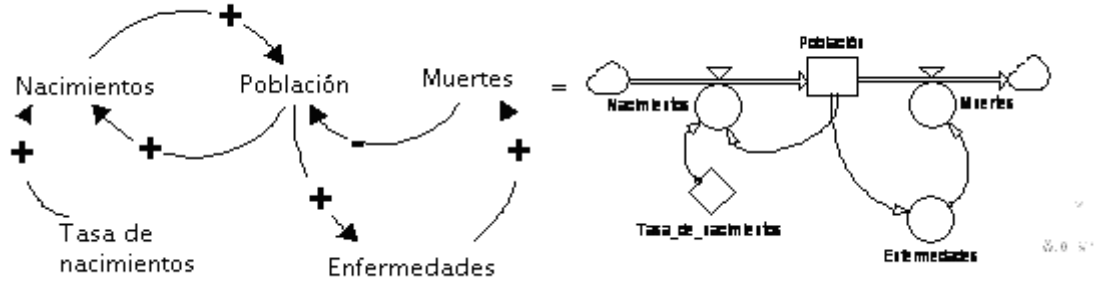


Figura 10: Realimentación del nivel en forma indirecta.

Sea positiva o negativa la relación que va de *Población* a *Enfermedades*, la flecha del diagrama de flujos y niveles irá en ese sentido, al igual que de *Enfermedades* a *Muertes*.

7. La relación que va de una variable auxiliar a otra, se hace de la misma forma que la presentada en la figura 10. En la figura 11, se muestra como en el caso de variables auxiliares, los diagramas causales y de flujos y niveles tienen la misma representación.

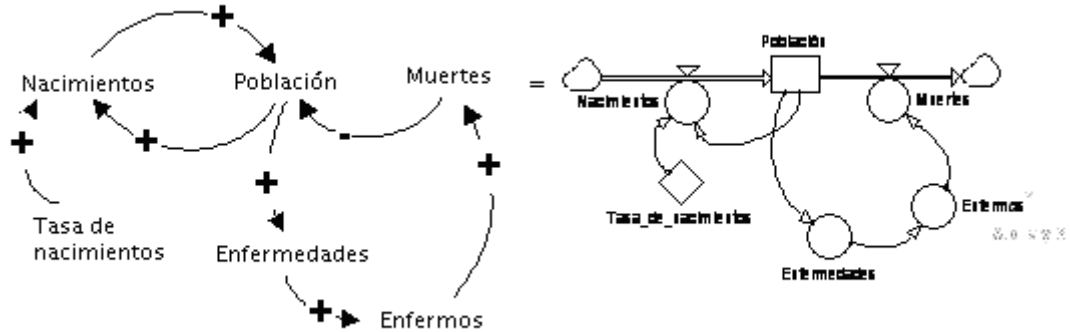


Figura 11: Causalidades entre auxiliares.

Sea positiva o negativa la relación que va de *Enfermedades* a *Enfermos*, la flecha del diagrama de flujos y niveles irá en ese sentido, al igual que de *Enfermos* a *Muertes*.

3.3. Diagrama de flujos y niveles de la venta de esposas en Haryana

Si se tienen en cuenta todos los elementos mencionados en la sección anterior, se observará que el diagrama causal de la figura 4, permite una construcción fácil de un diagrama de flujos y niveles.

Lo ideal sería que los diagramas causales pudieran llevar rápidamente al diagrama de flujos y niveles. Esto no siempre es posible, pero en muchos casos si. El modelador debe adquirir la destreza de diseñar los diagramas causales pensando en su representación en flujos y niveles.

En la figura 12, se presenta el diagrama de flujos y niveles construido a partir del causal de la figura 4. Se debe tener en cuenta que este diagrama presenta parámetros que el causal de la figura 4 no incluye. El modelador debe intuir que este tipo de parámetros son necesarios.

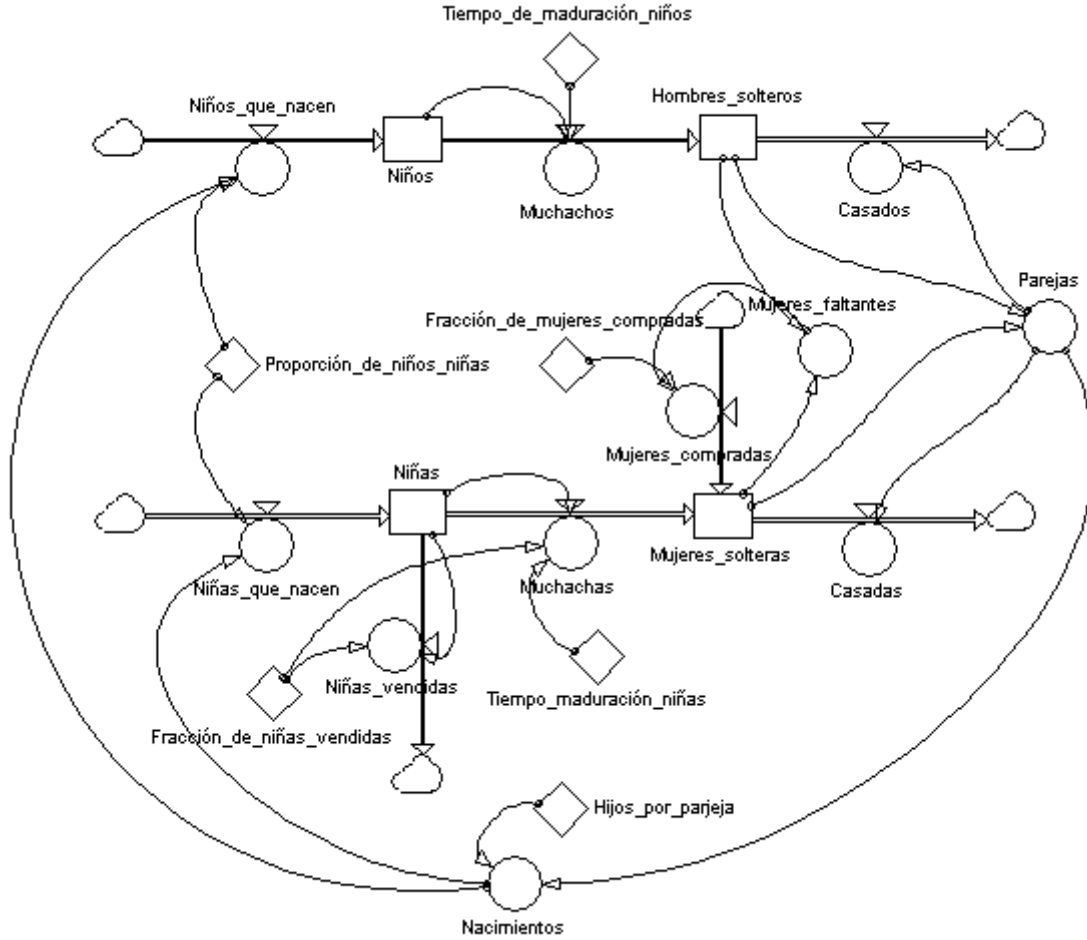


Figura 12: Diagrama de flujos y niveles de las esposas de Haryana.

3.4. Ecuaciones del modelo

Las ecuaciones del diagrama de flujos y niveles son las que confirman que las polaridades de las variables efectivamente fueron bien asignadas. Vadría la pena reproducir estas ecuaciones y verificar que las causalidades son verdaderas.

3.4.1. Listado de ecuaciones

Tiempo de simulación 40 años, $DT = 1$:

$$\square \text{ Niños} = \text{INTEGRAL}(\text{Niños que nacen} - \text{Muchachos}, \text{Niños}(0))$$

$$\square \text{ Niños}(0) = 100 \text{ Niños}$$

$$\overset{+}{\rightarrow} \text{ Niños que nacen} = \text{Nacimientos} \times \text{Fracción de niños}$$

$$\overset{-}{\rightarrow} \text{ Muchachos} = \text{Niños} / \text{Tiempo de maduración de los niños}$$

$$\diamond \text{ Fracción de niños} = 0.5$$

$$\diamond \text{ Tiempo de maduración de los niños} = 20 \text{ años}$$

$$\square \text{ Niñas} = \text{INTEGRAL}(\text{Niñas que nacen} - \text{Muchachas} - \text{Niñas vendidas}, \text{Niñas}(0))$$

$$\square \text{ Niñas}(0) = 100 \text{ Niñas}$$

$$\overset{+}{\rightarrow} \text{ Niñas que nacen} = \text{Nacimientos} \times (1 - \text{Fracción de niños})$$

$$\overset{-}{\rightarrow} \text{ Muchachas} = \text{Niñas} / \text{Tiempo de maduración de los niñas}$$

$$\overset{-}{\rightarrow} \text{ Niñas vendidas} = \text{Niñas} \times \text{Fracción de niñas vendidas}$$

$$\diamond \text{ Tiempo de maduración de las niñas} = 15 \text{ años}$$

$$\diamond \text{ Fracción de niñas vendidas} = 0.03$$

$$\square \text{ Hombres solteros} = \text{INTEGRAL}(\text{Muchachos} - \text{Casados}, \text{Hombres solteros}(0))$$

$$\square \text{ Hombres solteros}(0) = 5 \text{ Solteros}$$

$$\overset{-}{\rightarrow} \text{ Casados} = \text{Parejas}$$

$$\bigcirc \text{ Parejas} = \text{MÍNIMO}(\text{Hombres solteros}, \text{Mujeres solteras})$$

$$\square \text{ Mujeres solteras} = \text{INTEGRAL}(\text{Muchachas} + \text{Mujeres compradas} - \text{Casadas}, \text{Mujeres solteras}(0))$$

$$\square \text{ Mujeres solteras}(0) = 5 \text{ solteras}$$

$$\overset{+}{\rightarrow} \text{ Mujeres compradas} = \text{Mujeres faltantes} \times \text{Fracción de mujeres a comprar}$$

$$\overset{-}{\rightarrow} \text{ Casadas} = \text{Parejas}$$

$$\bigcirc \text{ Mujeres faltantes} = \text{MÁXIMO}(\text{Hombres solteros} - \text{Mujeres solteras}, 0)$$

◇ Fracción de mujeres a comprar = 1

○ Nacimientos = Parejas \times Hijos por pareja

◇ Hijos por pareja = 3

3.4.2. Resultados del modelo

En la figura 13, se ven algunos de los resultados del modelo. La gráfica de la parte superior muestra como aun comenzando con la misma cantidad de solteros y solteras, las solteras tienden a ser más en la mitad de la simulación. Después, el efecto de la compra venta cambia las proporciones, y mantiene el déficit de mujeres, cuando naturalmente debería haber déficit de hombres.

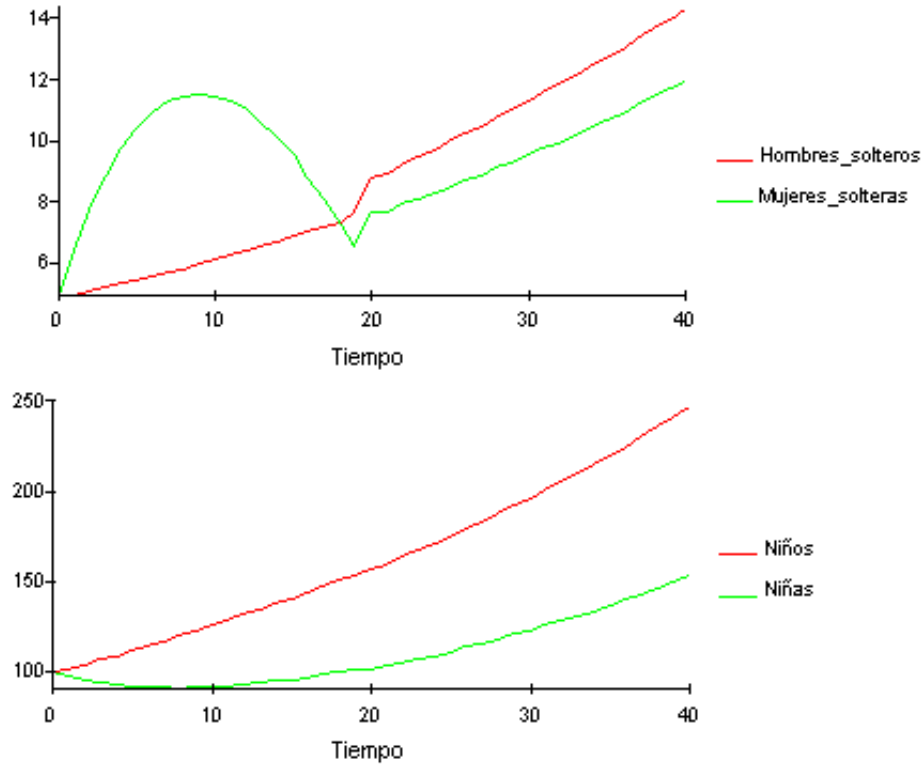


Figura 13: Diagrama de flujos y niveles.

Obsérvese como a pesar de que se está comprando el 100 % de mujeres faltantes, siémpre hay un déficit de mujeres. La solución del problema no está entonces en comprar todas las mujeres faltantes, sino en no venderlas de niñas.

Referencias

- [1] Agal, Renu. *India's 'bride buying' country*. http://news.bbc.co.uk/2/hi/south_asia/4862434.stm, 2006.
- [2] Sterman, John D. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw Hill, 2000.