

INGENIERÍA DE SISTEMAS

I. VISION SISTÉMICA DE LOS SISTEMAS

I. EL CONCEPTO GENERAL DE SISTEMA DINÁMICO

SISTEMA → unidad cuyos elementos interactúan juntos (se afectan unos a otros) operando hacia una meta común. Se distingue de lo que le rodea a lo largo del tiempo (entornos cambiantes)

↓
interesa su comportamiento global (modelos simples)

COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS SISTEMAS

→ se manifiesta a lo largo del tiempo → sistemas en continuo cambio bajo condiciones externas a los que reaccionan

→ modelos deterministas + aspectos estocásticos (realimentación)

→ simulación informática de las relaciones en la estructura del

sistema y su comportamiento

→ mecanismos de coordinación

2. ESTRUCTURA INTERNA Y COMPORTAMIENTO DINÁMICO

COMPORTAMIENTO DINÁMICO → conjunto de trayectorias descritas por las magnitudes (variables) asociadas a un sistema
↓
modelado matemático mediante ecuaciones diferenciales
→ representación gráfica comportamiento variable

→ La visión sistémica profundiza en la estructura interna del sistema, bajo la hipótesis de que el comportamiento global de un sistema es consecuencia de la interconexión de los subsistemas elementales que lo componen

3. REPRESENTACIÓN MEDIANTE DIAGRAMAS

DIAGRAMAS DE INFLUENCIAS

DIAGRAMA DE INFLUENCIAS → descripción más elemental de un sistema dinámico. Representación gráfica de la estructura del sistema que, mediante flechas, explicita las relaciones de dependencia entre las distintas variables (con signo $+/-$)

objetos por detectar

BUCLE DE REALIMENTACIÓN → cadena de influencias que comienza y termina en la misma variable

→ positivo: número par de relaciones de influencias negativas en el bucle $(+)$

→ negativo: número impar $(-)$

↓
el cambio sobre la variable cambia el sentido

↓
un cambio en una variable mantiene el sentido

A y B variables de un sistema: $A \rightarrow B$ A influye sobre B
($B = f(A)$)

$A \rightarrow +B$, entonces $\uparrow A \rightarrow \uparrow B$ o $\downarrow A \rightarrow \downarrow B$

$A \rightarrow -B$, entonces $\uparrow A \rightarrow \downarrow B$ o $\downarrow A \rightarrow \uparrow B$

Símbolo	Significado
Texto	Nombre de la variable.
\longrightarrow	Influencia entre dos variables.
$+, -$ o \pm	Uno de los símbolos que acompaña a la flecha correspondiente para indicar si la influencia es positiva, negativa o puede cambiar de signo.
$, $ o R	Para indicar que la influencia correspondiente está afectada de un retraso se añade una línea o doble línea perpendicular a la flecha o la letra R. Tenga en cuenta que el retraso se define como el tiempo transcurrido entre una acción y su consecuencia. En el Tema 4 se abordarán con más detalle los retrasos.
$(+)$ o $(-)$	Se emplean para poner de manifiesto la existencia de bucles de realimentación positiva o negativa. Pero además, cuando un diagrama presenta varios bucles, es conveniente numerarlos.
(\pm)	Se emplea para poner de manifiesto la existencia de un bucle de realimentación cuyo signo puede cambiar de forma dinámica.












DIAGRAMAS DE FORRESTER

DIAGRAMA DE FORRESTER → reelaboración del diagrama de influencias para obtener una descripción más precisa del sistema dinámico y más cercana al modelo matemático por resolver en ordenador → por ejemplo, en Forrester si es necesario incluir parámetros

5 tipos de variables:

1. **VARIABLES DE NIVEL**: representativas del sistema dinámico. Únicas que guardan información (estado del sistema) en ausencia de perturbación o excitación interna
↓
o de estado
2. **VARIABLES DE FLUJO**: asociada a una de nivel, determina su variación en el tiempo
3. **VARIABLES AUXILIARES**: representan pasos intermedios para la determinación de variables de flujo a partir del resto de variables
4. **VARIABLES EXÓGENAS**: variables que afectan al sistema; pero no están afectadas por ninguna otra del sistema
5. **PARÁMETROS o CONSTANTES**: variables que no dependen de ninguna otra del sistema; pero representan características inherentes al mismo (suelen permanecer constantes a lo largo del tiempo)

→ El diagrama de Forrester muestra las relaciones entre todas las variables del sistema haciendo uso de símbolos específicos para los cinco tipos de variables, distinguiendo dos tipos de conexiones e incorporando elementos adicionales (rutas, retrasos y no linealidades)

Símbolo	Significado
Texto	Nombre de la variable. No es necesario que esté colocado dentro del símbolo en cuestión, basta que esté próximo a él.
	Estado o nivel: representa cualquier variable que guarda información (estado) del sistema, sirve de acumulación para uno o varios flujos del sistema.
	Flujo: representa la variación en uno o varios estados del sistema.
	Variable auxiliar: una cantidad, con un cierto significado físico en el mundo real, dependiente de otras variables. Representa un paso intermedio en la determinación de otra variable auxiliar o de flujo.
	Constante o parámetro: una variable que, como la variable exógena, no depende de ninguna otra. Pero, a diferencia de la variable exógena refleja, una característica inherente al sistema que, generalmente, permanece constante a lo largo del tiempo.
	Variable exógena: variable cuya evolución es independiente del resto de variables del sistema. Representa una acción del medio externo sobre el sistema.
	Nube: representa una fuente inagotable o un pozo de dimensiones infinitas; se puede interpretar como un estado que no tiene interés para el análisis del sistema.
	Canal de material: es el canal de transmisión de una magnitud física (flujo) que se conserva. Los canales de material tienen dirección y sentido, se utilizan para incorporar los flujos entre los estados y/o entre los estados y las nubes. El sentido elegido en el diagrama será el que determine el flujo positivo pero ello no descartará que se pueda producir flujo negativo, si se da este caso es preferible incorporar la doble flecha, una en cada extremo.
	Canal de información: canal de transmisión de una cierta información, que no es necesario que se conserve. Los canales de información se utilizan para incorporar las dependencias de los flujos respecto a cualquier otra variable. También se utilizan para representar las dependencias de las variables auxiliares con el resto de variables. A diferencia del canal de material, el canal de información sólo puede tener un sentido.
	Retraso: un elemento para representar retrasos en la transmisión de información o de material.
	Reparto de flujo: un elemento para representar el reparto de un flujo en varios flujos de salida.
	Se utiliza para etiquetar a aquellas variables auxiliares que guardan una relación no lineal con alguna de las variables de las que depende.

4. LA NATURALEZA DEL SISTEMA

1. La Dinámica de Sistemas aboga por utilizar descripciones simples (modelos matemáticos) aplicables a sistemas de naturaleza muy diferentes
2. El experto no puede permanecer en el nivel de abstracción matemática
 → necesita captar (solo o con ayuda) los aspectos más relevantes de la realidad a modelar/simular
 ↓
 fenómenos de naturaleza muy diferente pueden presentar comportamientos muy similares.

INGENIERÍA DE SISTEMAS

Ejercicios propuestos Tema 1

- **Ejercicio 1.1:** El diagrama de influencias de la Figura 1.13 es una ampliación del diagrama típico de la Figura 1.12, donde los *nacimientos* y las *muerres* son variables propias de la población de ballenas, mientras que la variable *pesca* representa las muertes provocadas por la acción humana. Se pide completar el diagrama con los correspondientes signos y los bucles de realimentación.

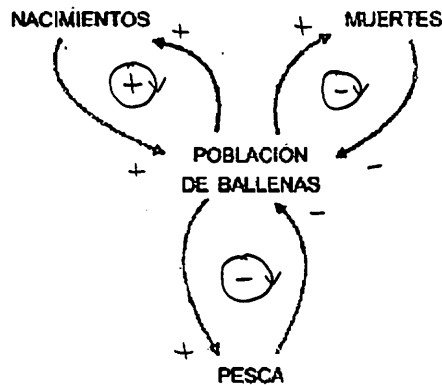


Figura 1.13: Diagrama de influencias de una población de ballenas.

- **Ejercicio 1.2:** Recoja de forma esquemática, en un diagrama de influencias, las relaciones en el seno de una población humana formada por tres grandes grupos: *jóvenes*, *adultos* y *ancianos*. Con las siguientes premisas:
- 1) Los adultos son los únicos que tienen capacidad de procrear.
 - 2) El modelo debe incluir al menos las siguientes variables: Personas jóvenes, Personas adultas, Personas ancianas, Nacimientos, Muertes de jóvenes, Muertes de adultos, Muertes de ancianos, Jóvenes que maduran y Adultos que envejecen.
- **Ejercicio 1.3:** El diagrama de la Figura 1.14 propone un conjunto de relaciones entre la población y la inmigración. Se pide completar el diagrama, justificando de forma cualitativa cada uno de los signos, así como los bucles presentes en el diagrama.

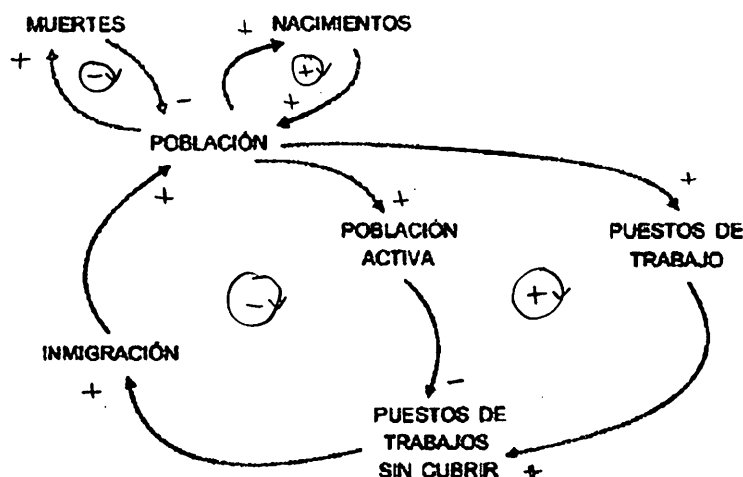


Figura 1.14: Diagrama de influencias entre la población y la inmigración.

- **Ejercicio 1.4:** El diagrama de la Figura 1.15, donde se han omitido intencionadamente el sentido de las flechas y los signos de las influencias, se ha trazado con el fin de analizar una enfermedad de transmisión sexual, que no produce muertes, en un colectivo heterosexual cerrado.

- 1) Complete de forma justificada el sentido y el signo de todas las influencias.
- 2) Enumere todos los bucles de realimentación que haya detectado después de complementar el diagrama.

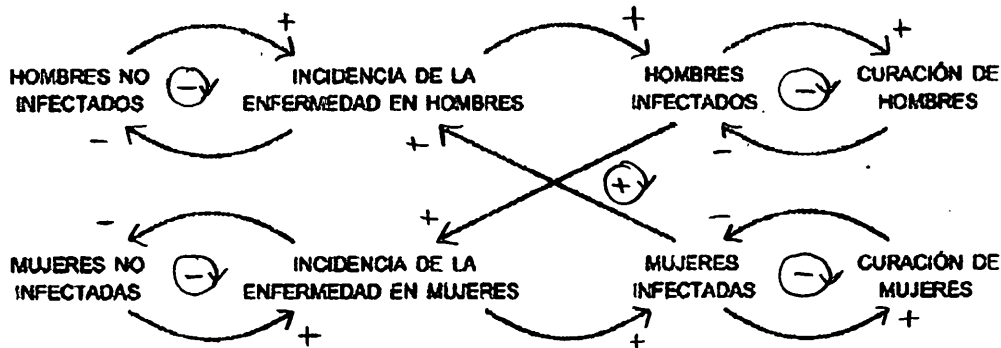


Figura 1.15: Diagrama de influencias de una enfermedad de transmisión sexual.

- **Ejercicio 1.5:** El diagrama de influencias de la Figura 1.16, donde falta incluir los signos, corresponde a un modelo de sociedad agrícola. Donde, por tratarse de una experimentación antropológica, al conjunto de la sociedad se le obliga a cumplir de forma estricta tres normas:

- Una primera norma sobre la procreación con el fin de evitar la superpoblación y la extinción de la población. Esta norma se refleja en la dependencia no lineal de la tasa de natalidad con el tamaño de la población.
- Una segunda norma sobre el consumo anual de alimentos: la población estará obligada a consumir una cantidad proporcional de alimentos, salvo que no hubiera existencias para completar esa cantidad.
- Una tercera norma sobre la producción de alimentos: la sociedad tendrá a su disposición los medios necesarios para cultivar la tierra y por tanto para producir alimentos.

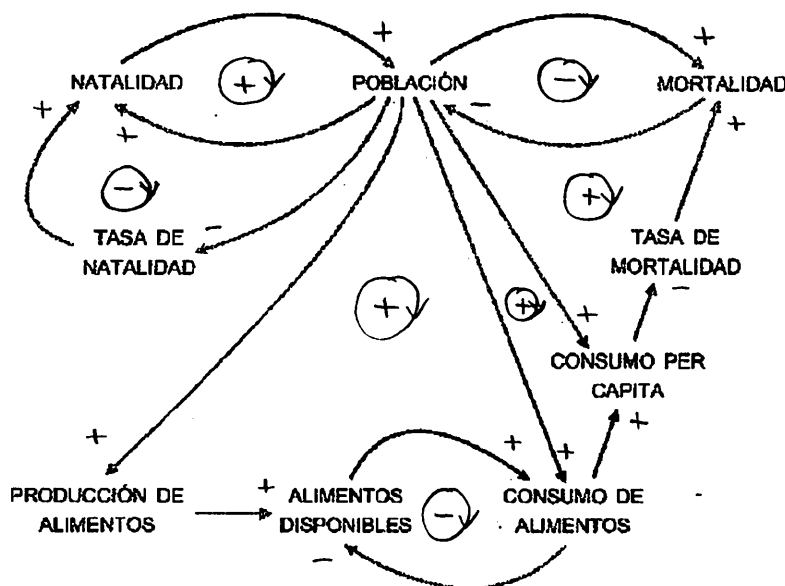


Figura 1.16: Diagrama de influencias de una sociedad agrícola experimental.

Por otra parte con fines de simulación se estima que la tasa de mortalidad es una función no lineal del consumo de alimentos per capita.

- 1) Completar el diagrama de influencias, justificando de forma cualitativa cada uno de los signos.
- 2) Enumere todos los bucles de realimentación que haya detectado después de complementar el diagrama.
- 3) ¿En alguna de las influencias ha visto la necesidad de asociarle el doble signo \pm ? Comente por qué.

- **Ejercicio 1.6:** El editor de un periódico tiene un problema logístico, desea mantener un número de vendedores que le garanticen las ventas y unos beneficios razonables. Para analizar el problema de contratación ha construido el diagrama de influencias de la Figura 1.17, en el que ha prescindido intencionadamente de los signos. Se pide añadir de forma justificada todos los signos. Aproveche también este diagrama para analizar los bucles de realimentación y para comentar las influencias que podrían tener asociado un cierto retraso.

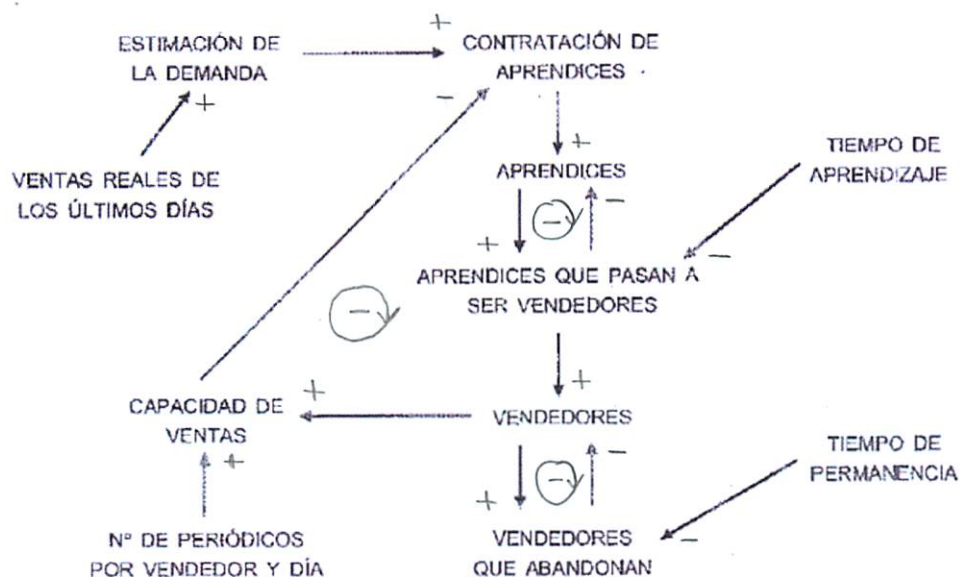


Figura 1.17: Diagrama de influencias de un modelo de contratación.

- **Ejercicio 1.7:** El diagrama de influencias de la Figura 1.18 representa un sistema de regulación de temperatura por medio de un termostato, que acciona o detiene el funcionamiento de una fuente de calor. En el diagrama se han omitido intencionadamente todos los signos, añádalos de forma justificada.

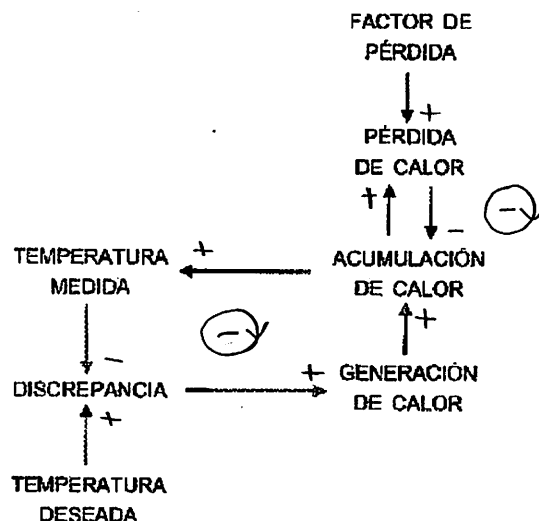


Figura 1.18: Diagrama de influencias en un sistema de regulación de temperatura.

- **Ejercicio 1.8:** Resuma en un diagrama de Forrester la dinámica asociada a la población y a la emigración. Utilice como punto de partida el diagrama de influencias de la Figura 1.14 y justifique cualquier ampliación que considere conveniente en el número de variables y en el tipo de relaciones.
- **Ejercicio 1.9:** Resuma en un diagrama de Forrester la dinámica asociada a una enfermedad de transmisión sexual, que no produce muertes, en un colectivo heterosexual cerrado. Utilice al menos el conjunto de variables de la Figura 1.15.
- **Ejercicio 1.10:** Proponga un diagrama de Forrester para el modelo de sociedad agrícola a partir del enunciado del Ejercicio 1.5. Recuerde que parte de la información relativa al modelo ya está implícita en el diagrama de influencias de la Figura 1.16.
- **Ejercicio 1.11:** Proponga un diagrama de Forrester para el modelo de contratación de la Figura 1.16, incluyendo al menos un elemento de retraso en la decisión que considere más relevante desde el punto de vista empresarial.
- **Ejercicio 1.12:** Resuma la funcionalidad del sistema de regulación de temperatura de la Figura 1.18 en el correspondiente diagrama de Forrester.
- **Ejercicio 1.13:** Se pretende estudiar, con un modelo y en simulación, el tiempo de búsqueda de un computador central, que almacena información sobre todos los libros de una biblioteca, y al que están conectados otros computadores que hacen de puntos de consulta. La dirección de la biblioteca utiliza el tiempo de búsqueda para decidir el número de puestos de consultas bibliográficas que va a haber en cada momento, entre un mínimo de 2 y un máximo de 6 puestos. Pero el computador central también está dotado de un sistema de decisión automática para que cuando el tiempo de búsqueda aumente trate de contrarrestarlo poniendo más recursos propios a disposición de las consultas, y por tanto atienda más consultas por minuto. En una primera fase, previa a la simulación, se desea disponer de los diagramas de influencias y de Forrester correspondientes al modelo matemático, que obedece a las siguientes ecuaciones:

$$(1) TB(t) = 0.25 + \frac{(CBA(t))^2}{2000}$$

$$(2) CAM(t) = f(TB(t))$$

$$(3) NPC(t) = g(TB(t))$$

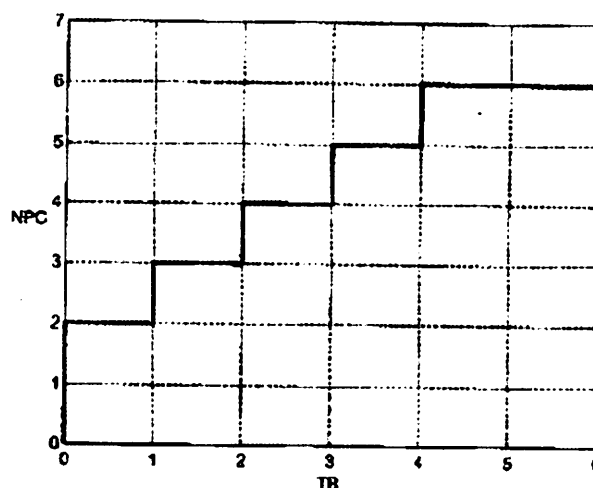
$$(4) NCM(t) = TCP NPC(t)$$

$$(5) \frac{dCBA(t)}{dt} = NCM(t) - CAM(t)$$

Siendo:

<i>TB</i>	Tiempo de búsqueda en minutos, medido como el tiempo transcurrido desde que un puesto de consulta solicita información de un libro y ésta le es satisfecha
<i>CBA</i>	Consultas bibliográficas acumuladas
<i>CAM</i>	Consultas bibliográficas atendidas por minuto
<i>NPC</i>	Número de puestos de consulta
<i>TCP</i>	Tasa de consultas por puesto
<i>NCM</i>	Número de consultas bibliográficas por minuto
<i>f</i>	Función lineal a tramos resumida en la tabla, relaciona las consultas bibliográficas atendidas por minuto con el tiempo de búsqueda
<i>g</i>	Función escalonada, representada en la gráfica, relaciona el número de puestos de consulta con el tiempo de búsqueda

<i>TB</i>	<i>CAM</i>
0	10
0.5	10
2	40



Representación tabulada de la función $CAM(t) = f(TB(t))$. Representación gráfica de la función $NPC(t) = g(TB(t))$.

- **Ejercicio 1.14:** Se pretende modelar, mediante los diagramas de influencias y de Forrester, la evolución semanal de las bajas laborales en una determinada población activa (la población que realiza algún tipo de actividad laboral). Se sabe que la mayoría de las personas que están de baja acaban reincorporándose al trabajo, cuando reciben el alta, mientras que otras alcanzan la incapacidad laboral. El diagrama de Forrester debe incluir al menos las siguientes variables, comente qué variables puede obviar en el diagrama de influencias:

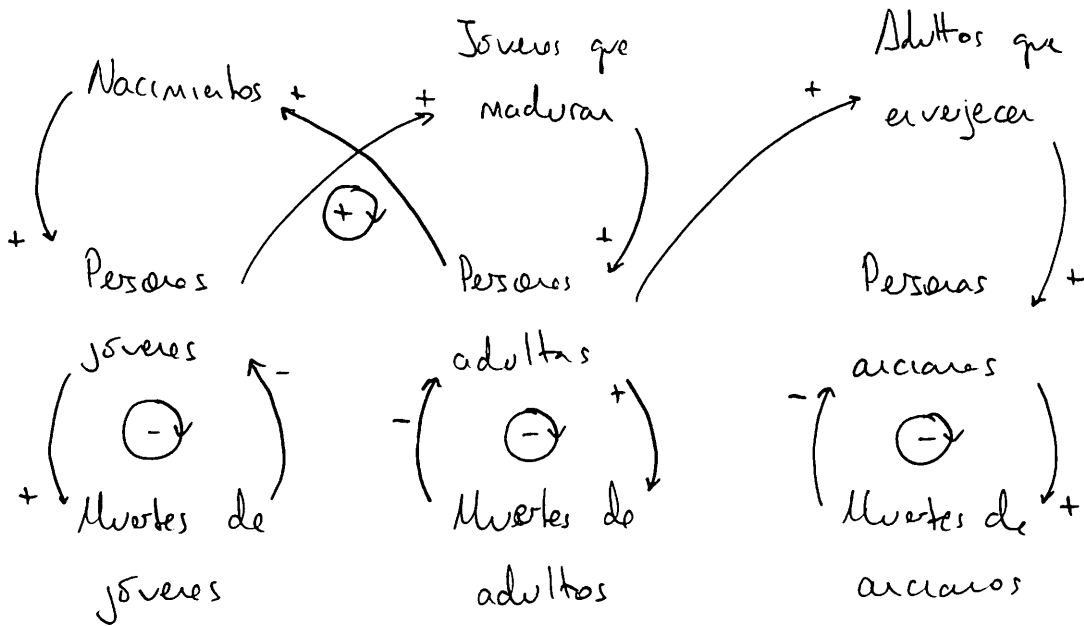
<i>AL</i>	Altas laborales
<i>BD</i>	Bajas definitivas
<i>BL</i>	Bajas laborales
<i>DMB</i>	Duración media de la baja
<i>IPA</i>	Incorporaciones a la población activa
<i>PA</i>	Población activa
<i>PBL</i>	Población de baja laboral
<i>PI</i>	Población incapacitada para el trabajo
<i>TBD</i>	Tasa de bajas definitivas entre la población de baja laboral
<i>TBL</i>	Tasa de bajas laborales entre la población activa

- **Ejercicio 1.15:** Se pretende modelar el proceso de expansión del protestantismo a principios del siglo XVI en Europa, donde inicialmente sólo una pequeña parte de la población era protestante, y a partir de la propaganda que ésta realiza de la doctrina, consigue más adictos. Pero donde también, la expansión provocaba rechazo y persecución en el resto de la sociedad. Tras un primer análisis del problema se barajan, como hipótesis, que: a) Las conversiones al protestantismo deberían depender de las personas no protestantes, de la fracción de protestantes en el total de la población, de la persecución y del tiempo medio de conversión. b) La persecución debería ser una función no lineal de la fracción de protestantes.
- 1) Proponer, en concordancia con la información facilitada en el enunciado, un conjunto mínimo de ecuaciones capaz de recoger las relaciones implícitas en este proceso. El modelo matemático debería incluir al menos las siguientes seis variables: Personas no protestantes, Personas protestantes, Fracción de protestantes, Persecución del protestantismo, Conversiones al protestantismo y Tiempo medio de conversión.
 - 2) Trasladar la información correspondiente a los diagramas de influencias y de Forrester.

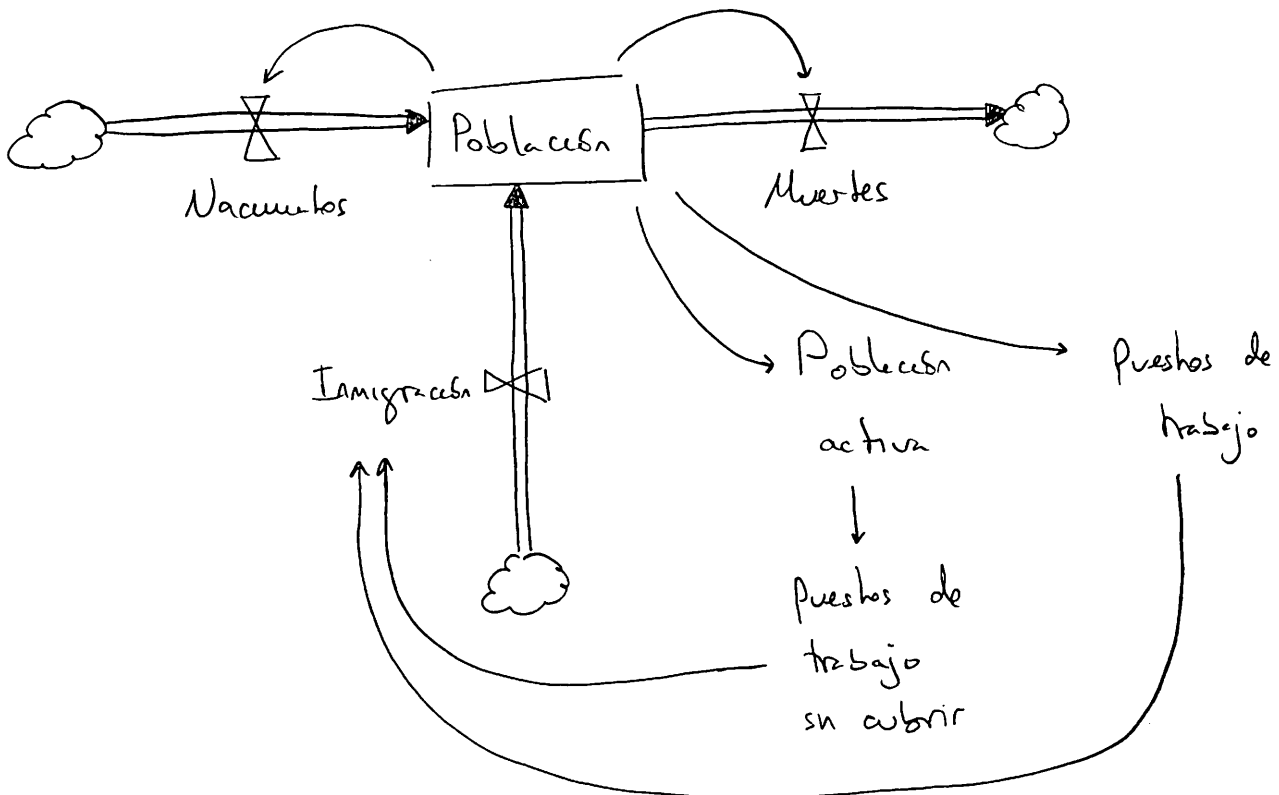
INGENIERIA DE SISTEMAS

EJERCICIOS PROPUESTOS TEMA 1

1.2

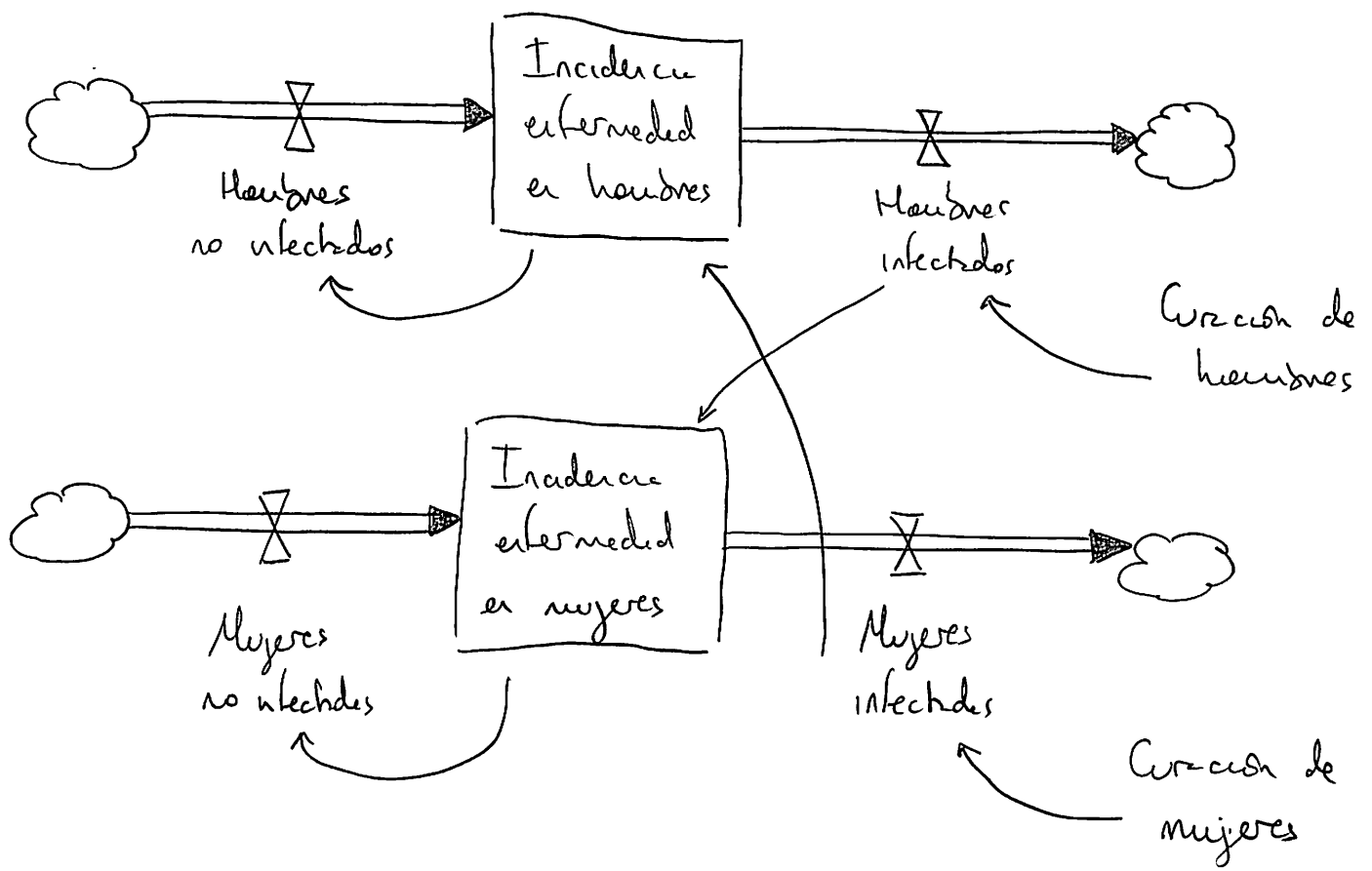


1.8.

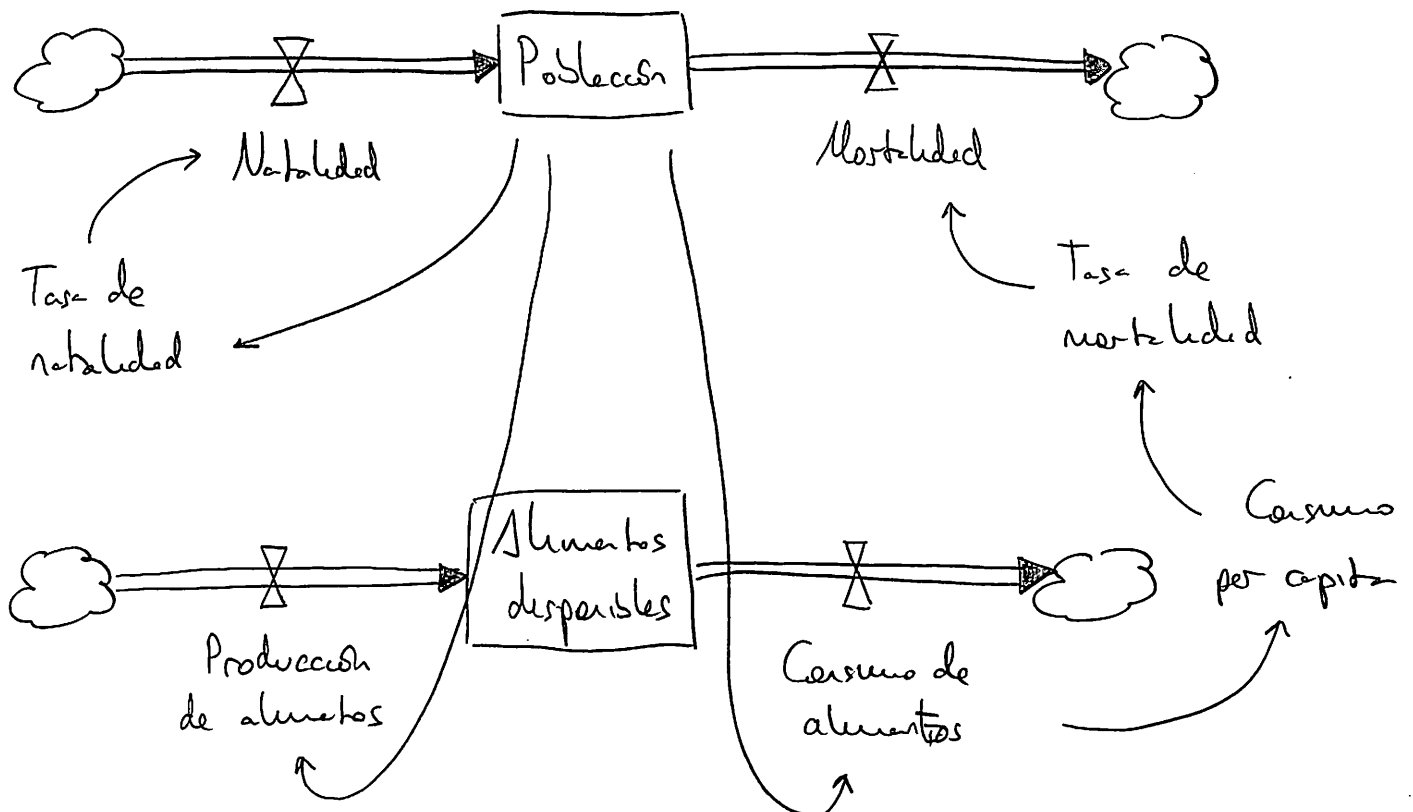


- A las variables de flujo se le pueden añadir parámetros y tasas que controlen dichas variables

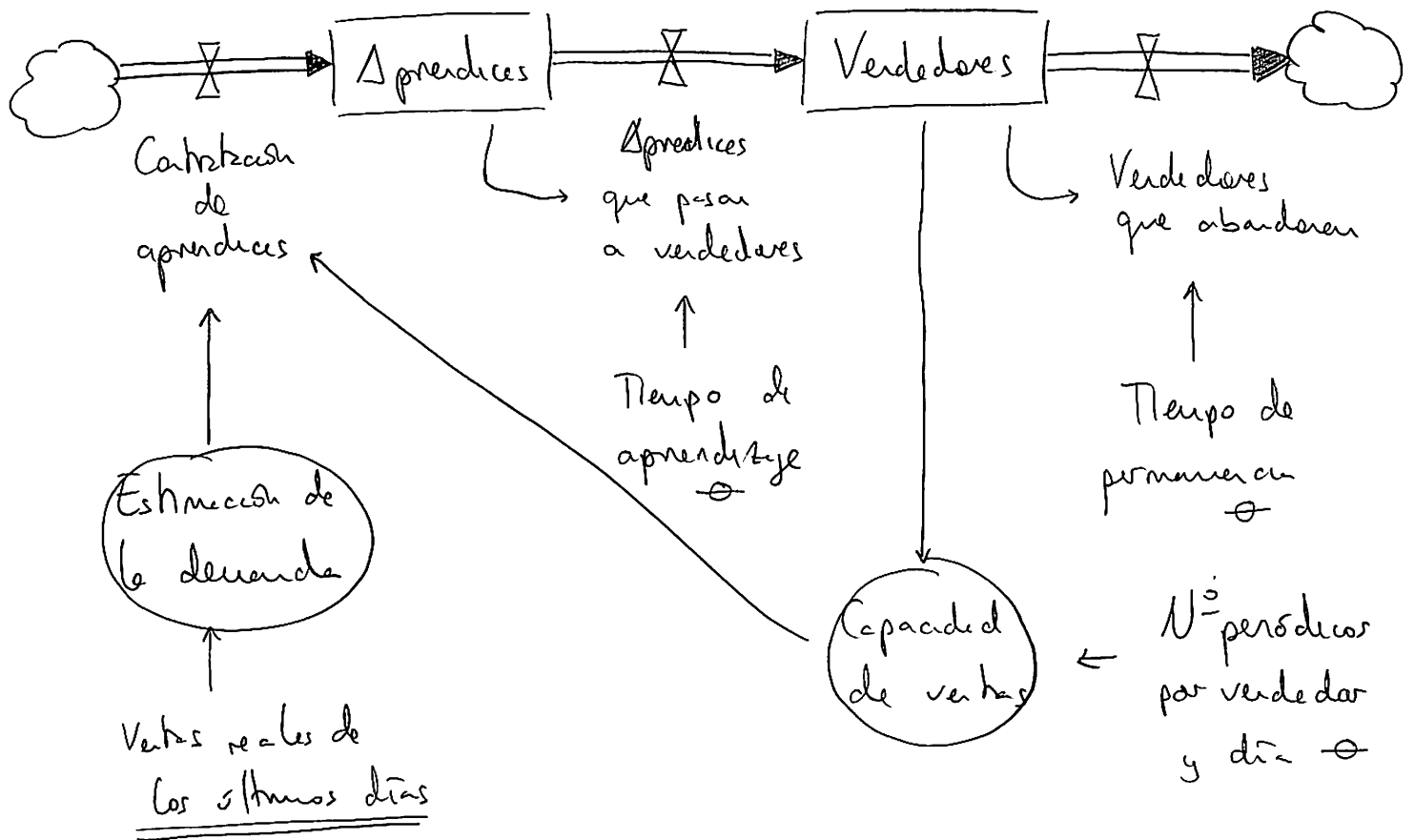
1.9



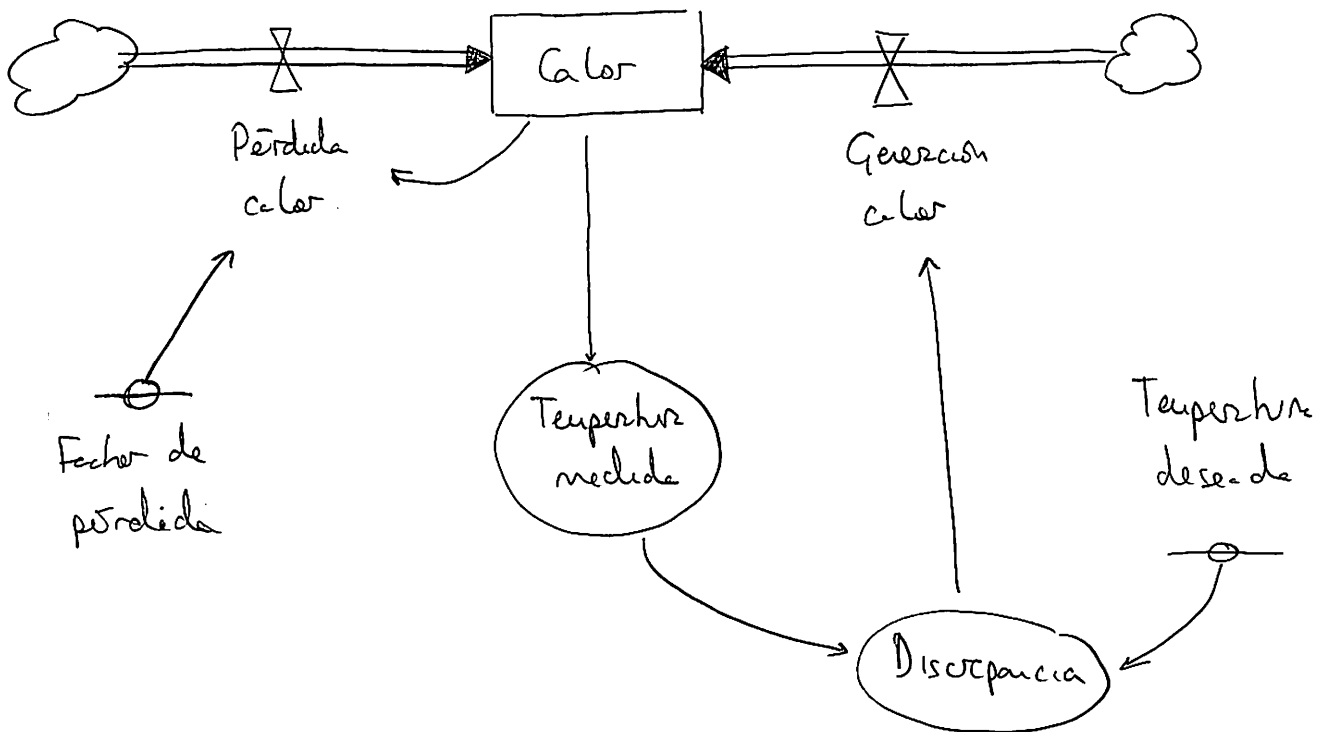
1.10



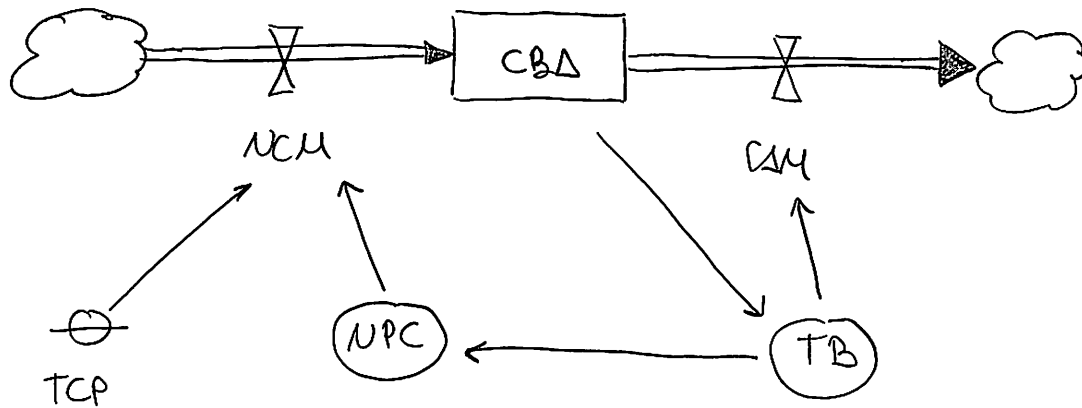
1.11



1.12



1.13



1.14 Diagrama de influencias

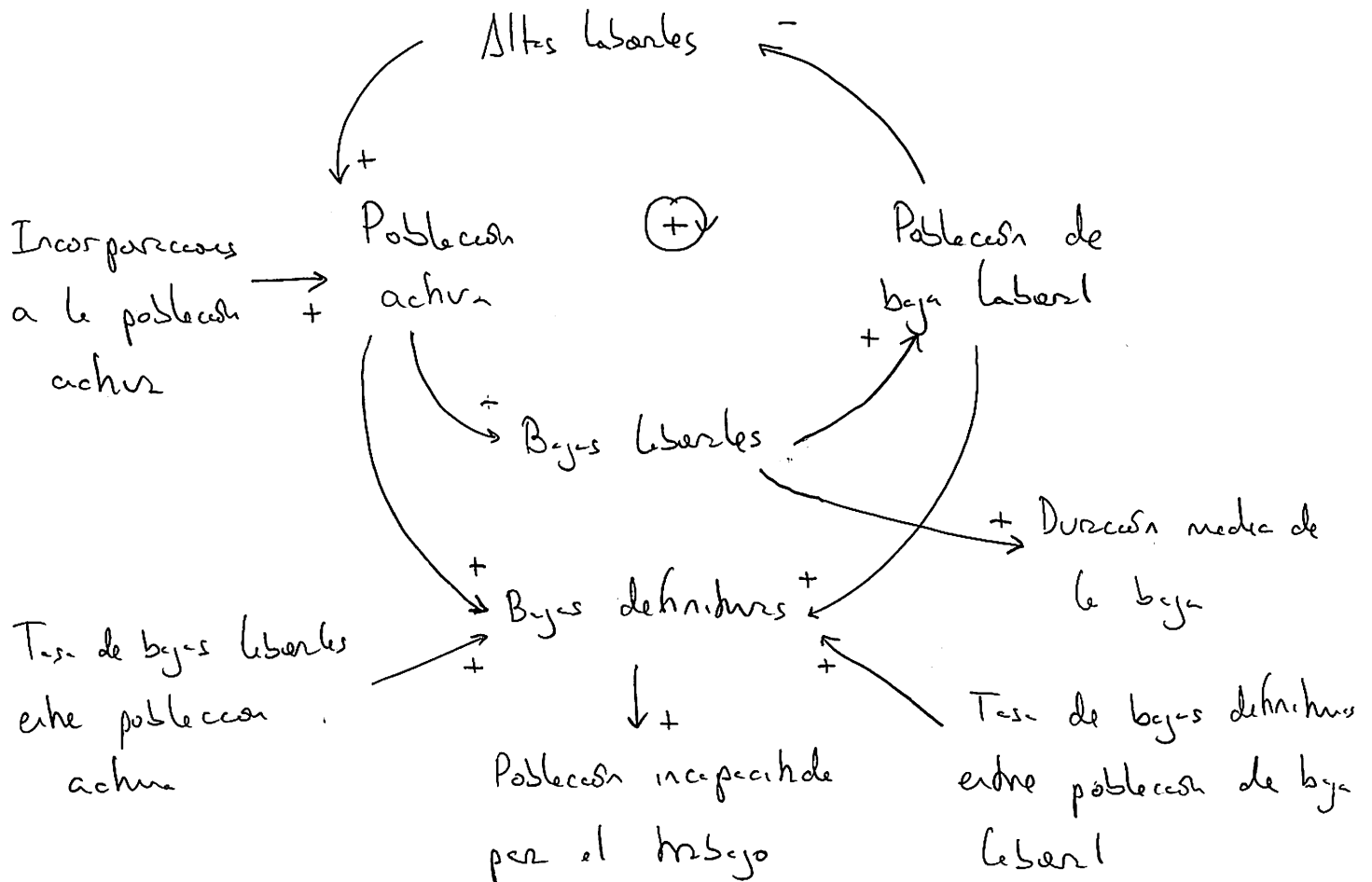
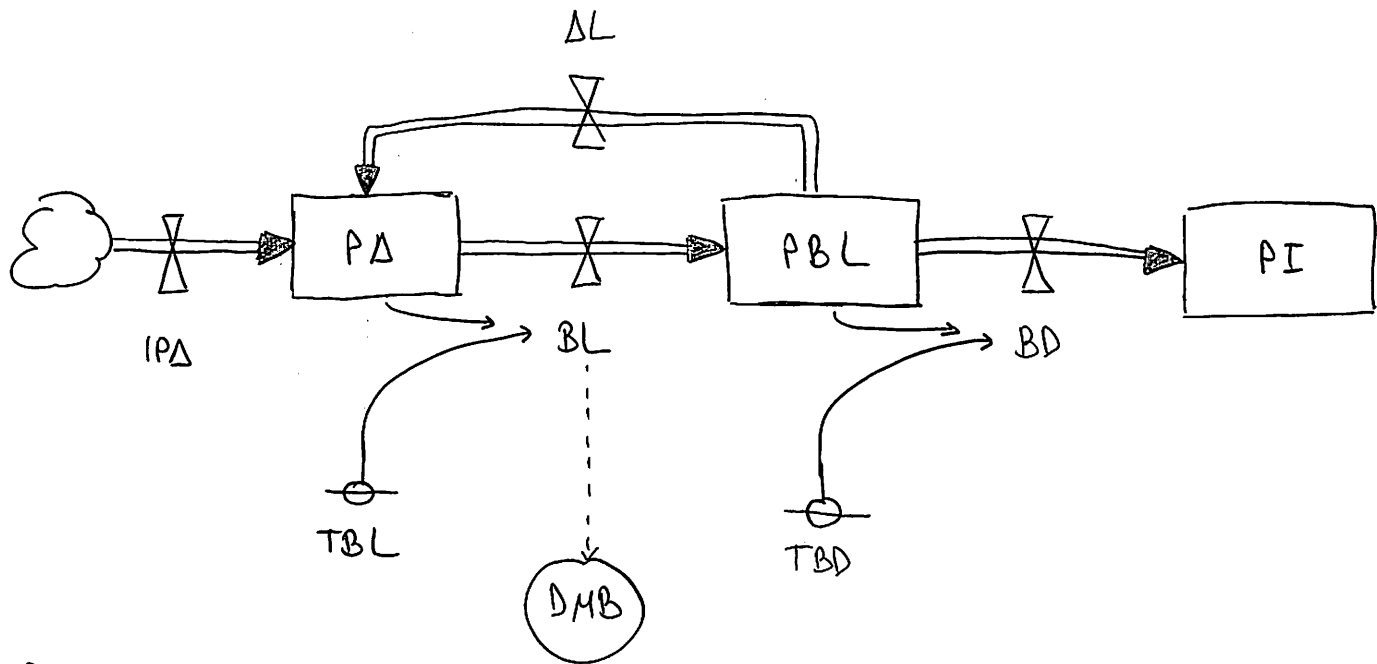


Diagrama de Forrester



1.15

Variables

- PNP : personas no protestantes
- PP : personas protestantes
- FA : fracción de protestantes
- PEP : persecución del protestantismo
- CP : conversiones al protestantismo
- TMC : tiempo medio de conversión

Diagrama de influencias

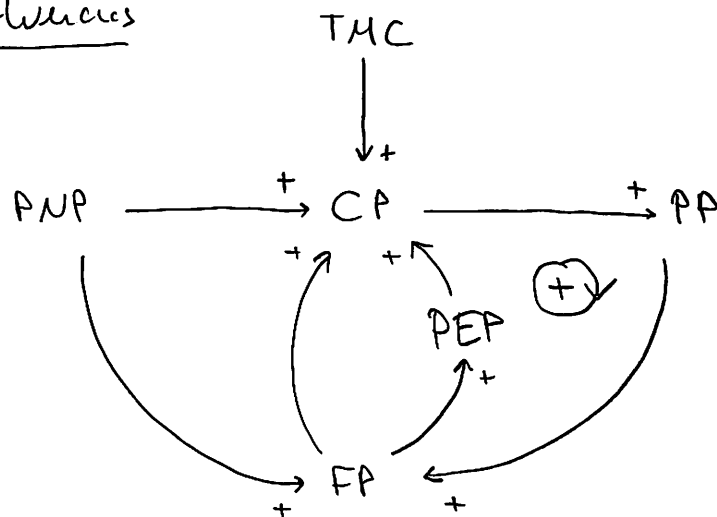


Diagramme de Forrester

