

# INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE SISTEMAS

## APPLICATIONS



air traffic control



industrial process control



insurance handling



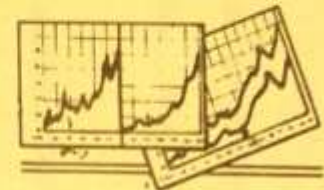
simulation

$$\frac{d^2e}{dt^2} + a\frac{de}{dt} + be = f(t)$$

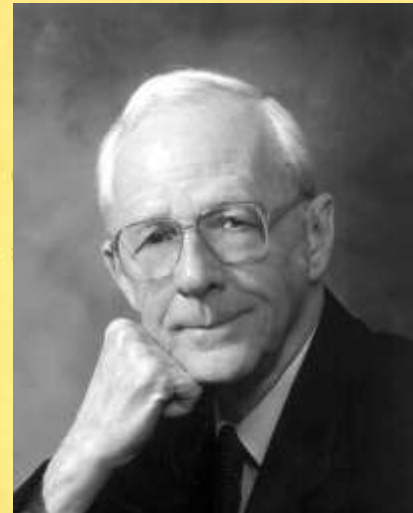
mathematics



inventory



economic analysis



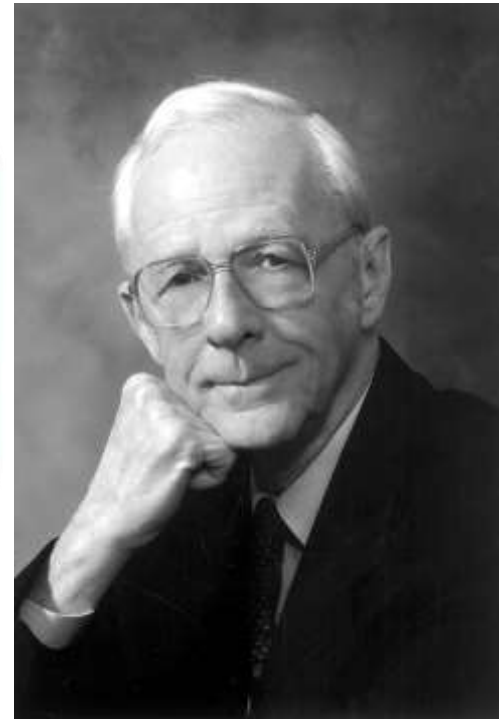
scientific and engineering computations

*JAY W. FORRESTER*

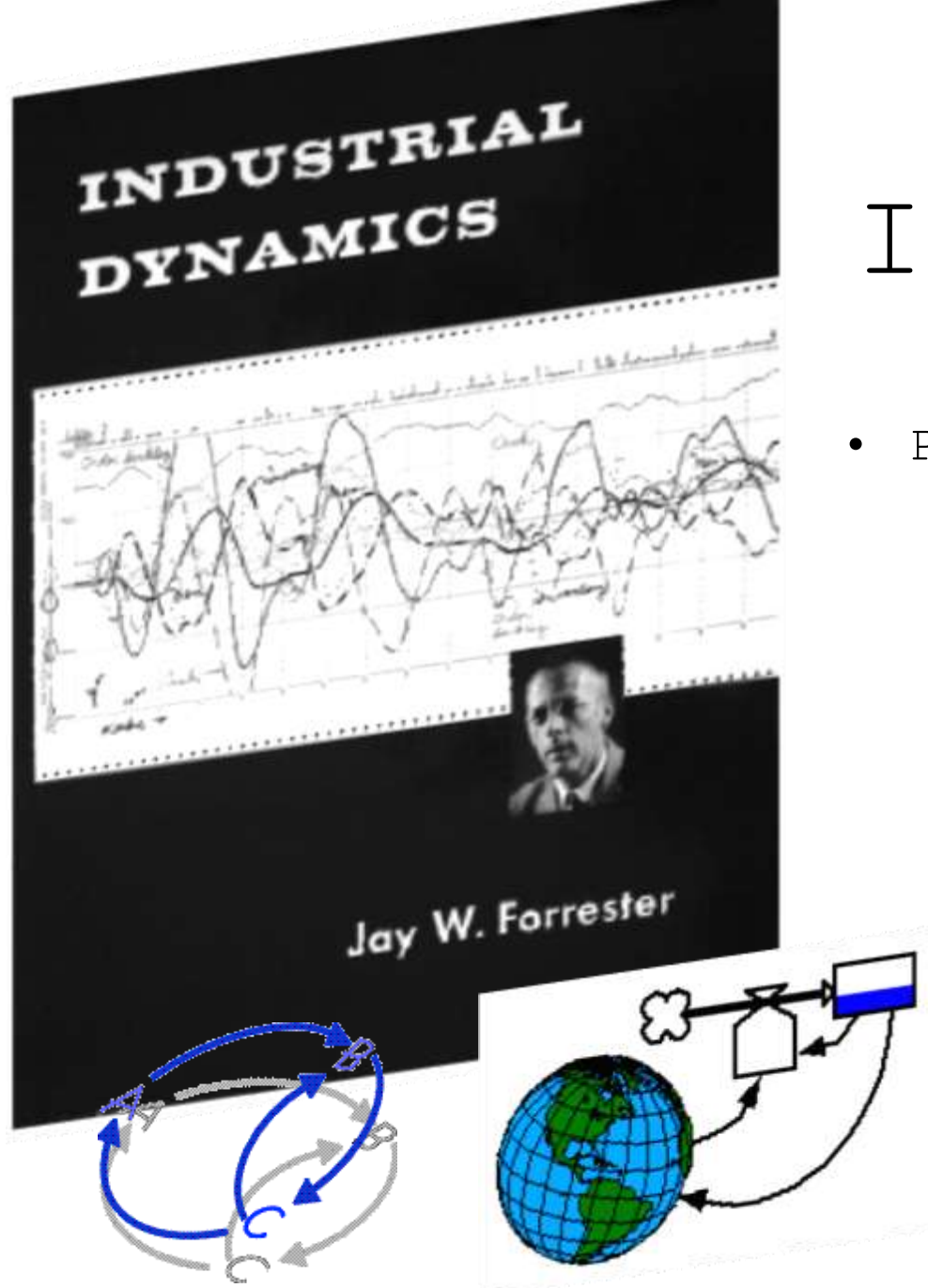
# Dinámica de Sistemas

- Dentro de los instrumentos de los que se vale el Pensamiento Sistémico se encuentra la Dinámica de Sistemas

• Desarrollada en 1961 por el profesor Jay W. Forrester, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), bajo el nombre de Dinámica Industrial.



# DINÁMICA INDUSTRIAL

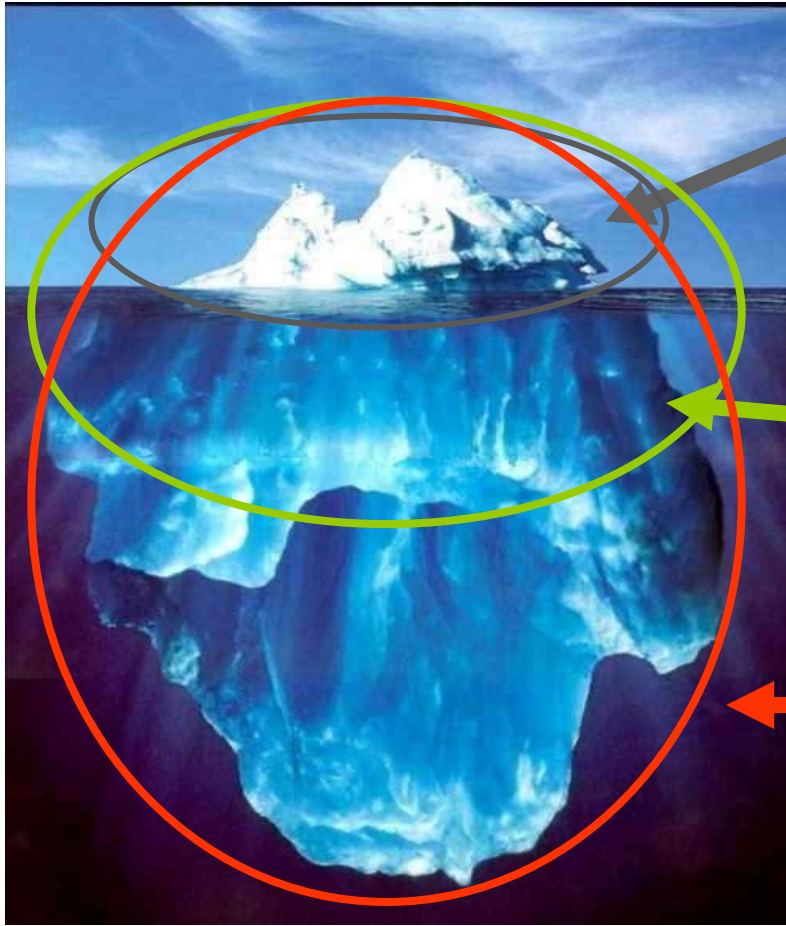


- Para Forrester:  
"La DI es la Investigación de los Sistemas Industriales considerados como sistemas retroalimentados con información, y el uso de modelos para diseñar formas perfeccionadas de organización y de políticas guías".

# Fundamentos de la DS

- Las organizaciones tienden a ser reactivas por cuanto sólo ven “la punta del iceberg”, es decir una parte superficial e incompleta de los problemas.
- Eventualmente, sólo logran una mirada de corta profundidad, aún incompleta.

# Fundamentos de la DS (cont.)



- **Mirada superficial:** Sólo da cuenta de eventos, ante los cuales sólo cabe un **enfoco reactivo**
- **Mirada de corta profundidad:** Ve algunos patrones y tendencias lo que permite **modelos con cierta capacidad de anticipación** (prospectivos)
- La Dinámica de Sistemas modela la compleja estructura de influencias (ciclos causales) del sistema *que representa el comportamiento del fenómeno*

**Así, la Dinámica de Sistemas supera a otras alternativas de modelización de los fenómenos empleando un paradigma-lenguaje que proporciona una mirada global de aquéllos.**



# Fundamentos de la DS (cont.)

- Se puede afirmar que las ventajas de la Dinámica Industrial no residen en la optimización de cada una de las partes del sistema\*, sino que, mas bien, permite mejorar el comportamiento global de un sistema, *cuyas partes han sido analizadas separadamente.*

*\* ¿Cuál es la relación entre el óptimo de las partes y el óptimo del sistema?*

# Pasos de la DS

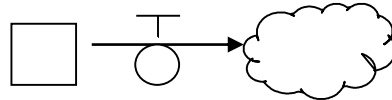
## Uso de modelos Dinámico-Sistémicos

Estudio del Comportamiento del modelo

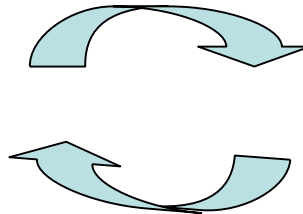
Ecuaciones del modelo

$$\begin{aligned} \text{Pob}(t + \Delta t) = & \\ \text{Pob}(t) + & \\ (\text{Nacimientos}(t) - & \\ \text{Muertes}(t)) & \end{aligned}$$

Diagramas de Flujos-Niveles



Diagramas de Influencias



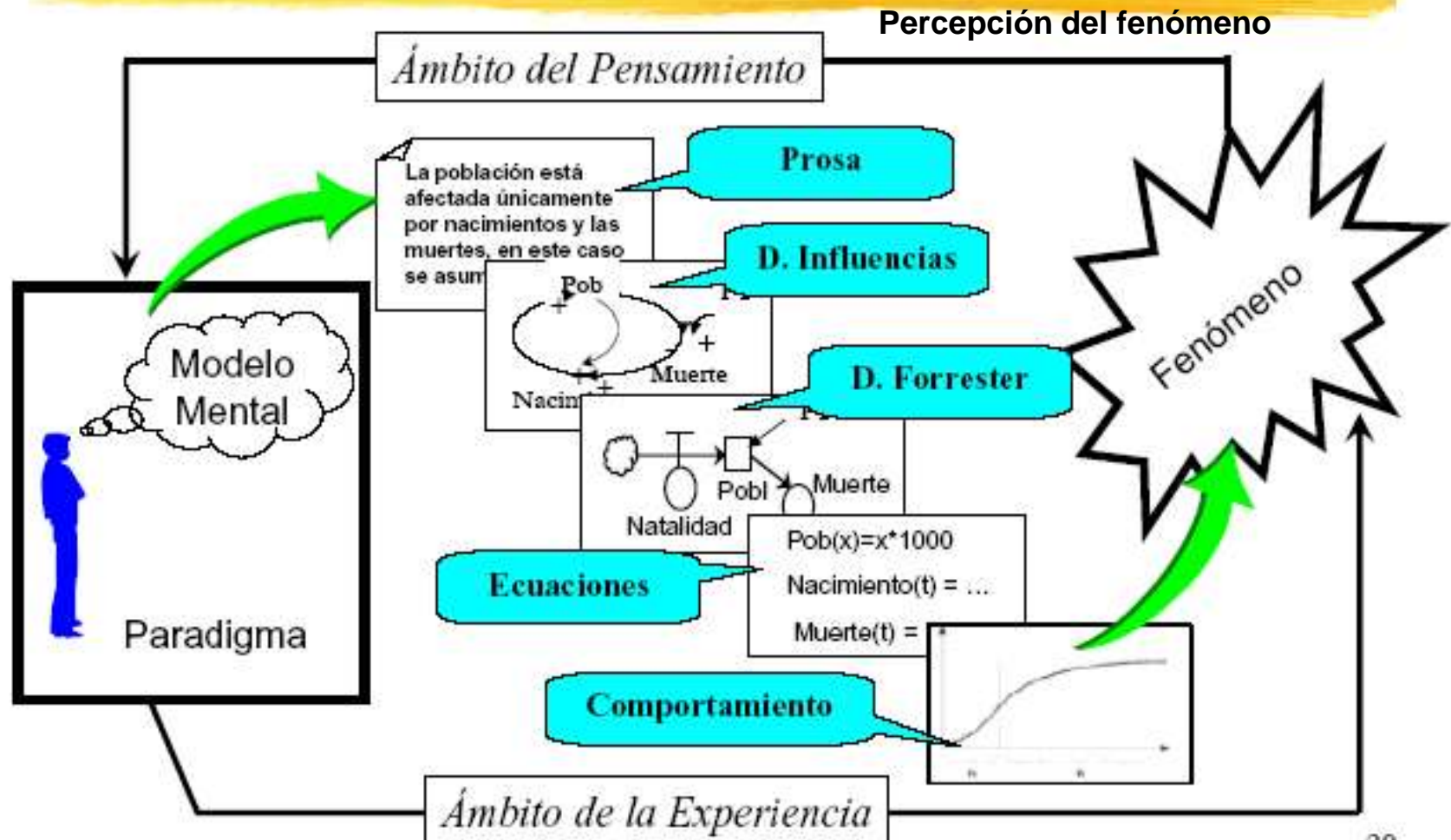
Prosa

*“ La población sufre el efecto de una epidemia a la que se asigna una **tasa de contagio** de modo que la enfermedad se va propagando hasta infectar a toda la población ... ”*

Pero la DS es mucho más que un uso sistemático de estos Pasos

# Metodología de la DS observada con Visión Sistémica

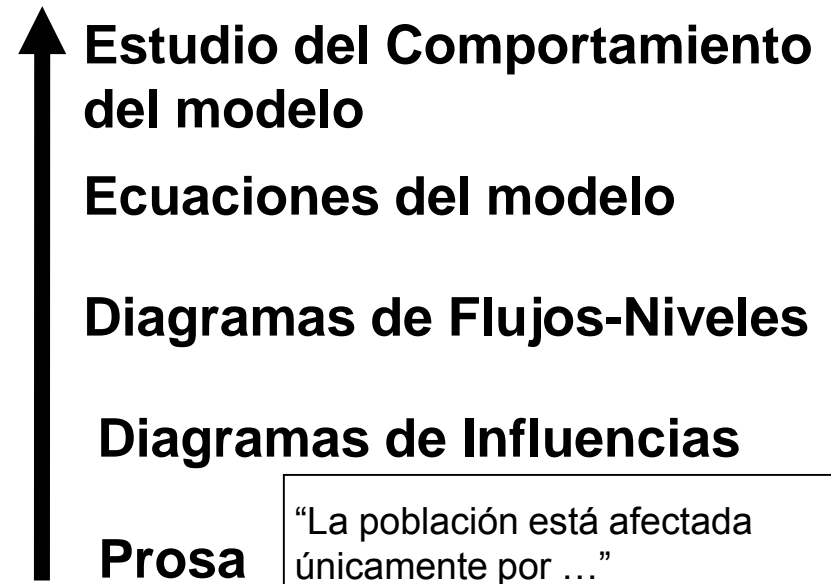
## Dinámica de Sistemas





# Paso 1 DS: La Prosa

- **La prosa** da cuenta de la diversidad de **apreciaciones** que pueden darse sobre un fenómeno (→ Síntesis de Prosas)
- Tales apreciaciones son el reflejo de **modelos mentales** que los individuos ponen en juego
- Los sujetos se pueden alinear con uno u otro modelo dependiendo del paradigma compartido, el cual determina sus modelos mentales
- → **La Prosa** condiciona la calidad de los restantes modelos



“La población está afectada únicamente por ...”

**Los modelos mentales son más que perspectivas. Para Forrester están determinados por el nivel y la calidad del conocimiento del sujeto sobre el tema)**



# Trabajo personal:

- Identifique la prosa (síntesis de la diversidad de apreciaciones) que subyace al fenómeno de interés abordado en su trabajo de investigación.
- Esta Prosa –que revela las variables pertinentes a la problemática- es la base sobre la que se construyen los Diagramas de influencia.
  - (¿Qué representan estos diagramas en el contexto de la metáfora territorio-mapa?)

# 2. Diagramas de Influencias

Introducción a los  
Diagramas de Influencia  
(diagramas de  
influencias mutuas,  
ciclos causales)

# Fundamento de los Diagramas de Influencias (mutuas)

Información  
sobre el  
problema



Acción



Resultado

Impresión  
del mundo:  
**Lazo-  
Abierto**

Jay W Forrester - Some Basic  
Concepts in System Dynamics (2009)

“La mayoría de la gente piensa en términos lineales. Por ejemplo, en la Figura 1, la gente percibe el problema, decide una acción, espera un resultado, y creen que es el fin del tema.”

Información  
sobre el  
problema

Estructura  
del mundo:  
**Lazo-  
Cerrado**

Acción

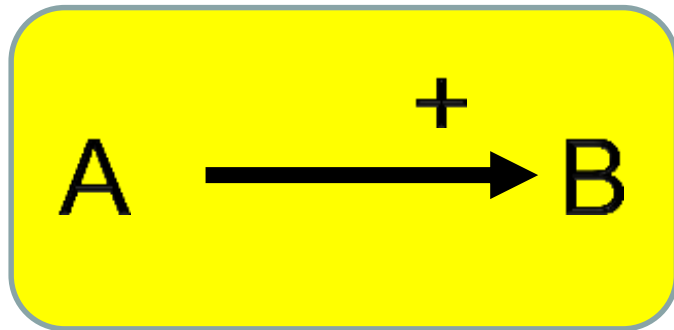
Resultado



“La figura 2 es una apreciación mucho más realista: Un problema conduce a la acción que produce un resultado que crea nuevos problemas y acciones futuras. No hay principio ni fin.”

“Vivimos en un complejo de circuitos de retroalimentación anidados (estructuras dentro de las cuales se producen todos los cambios). Cada acción, cada cambio en la naturaleza, se encuentra dentro de esta red de circuitos de retroalimentación.”

# Diagramas de influencia



- (+) Significa que la variable A influye en la variable B en el mismo sentido
- → A aumenta ==> B aumenta
- → A disminuye ==> B disminuye

Reconocimiento

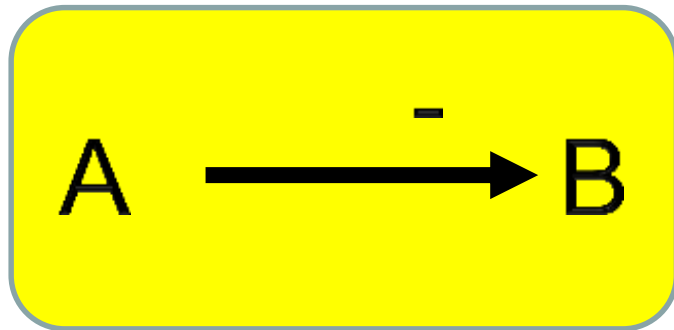


**AUTOESTIMA**





# Diagramas de influencia



- (-) Significa que la variable A influye en la variable B en el sentido contrario
- → A aumenta ==> B disminuye
- → A disminuye ==> B aumenta

Humillación



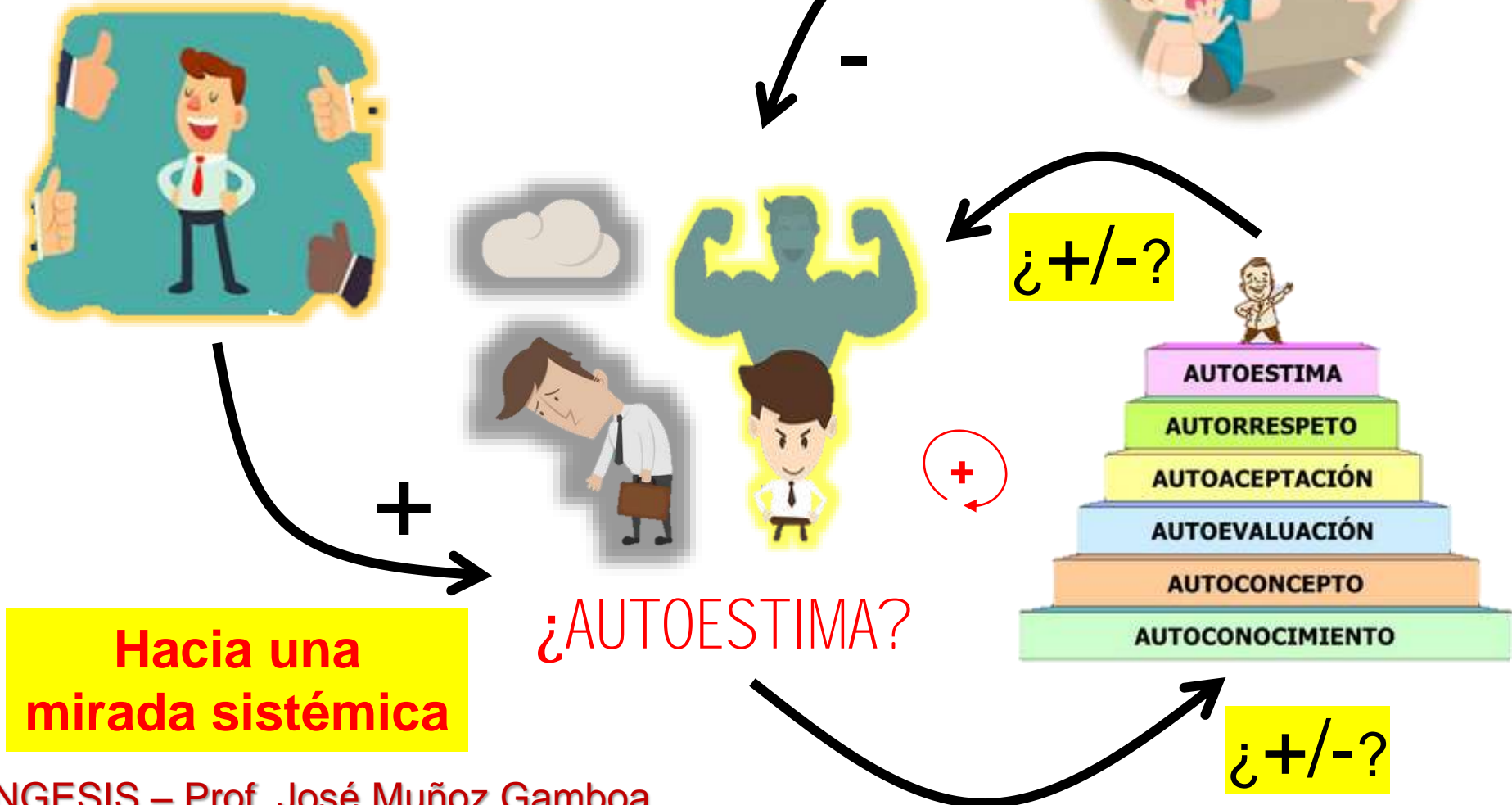
# Diagrama de influencias mutuas para explicar la autoestima



# Diagrama de influencias mutuas para explicar la autoestima

Humillación

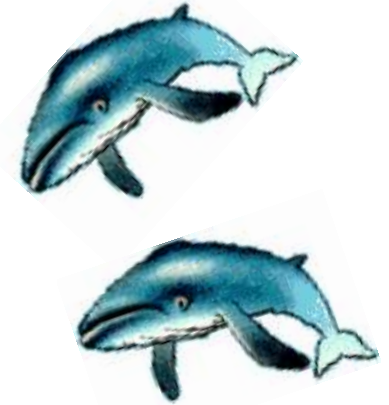
Reconocimiento



# Ej.: Población de ballenas

(Mirada común:  
lazo abierto)

Prosa “Considerando que la ballena no tiene depredadores naturales, la población (cantidad) de ballenas depende exclusivamente de los nacimientos y las muertes naturales.”



**NACIMIENTOS DE  
BALLENAS**  
(Aumento/disminución)



→ (Aumento/disminución)

**POBLACION DE  
BALLENAS**

**MUERTES NATURALES  
DE BALLENAS**  
(Aumento/disminución)



→ (Disminución/aumento)

**Pero, ¿De qué dependen los nacimientos y las muertes?**

# Ej.: Población de ballenas

(Mirada más realista:  
lazo cerrado)

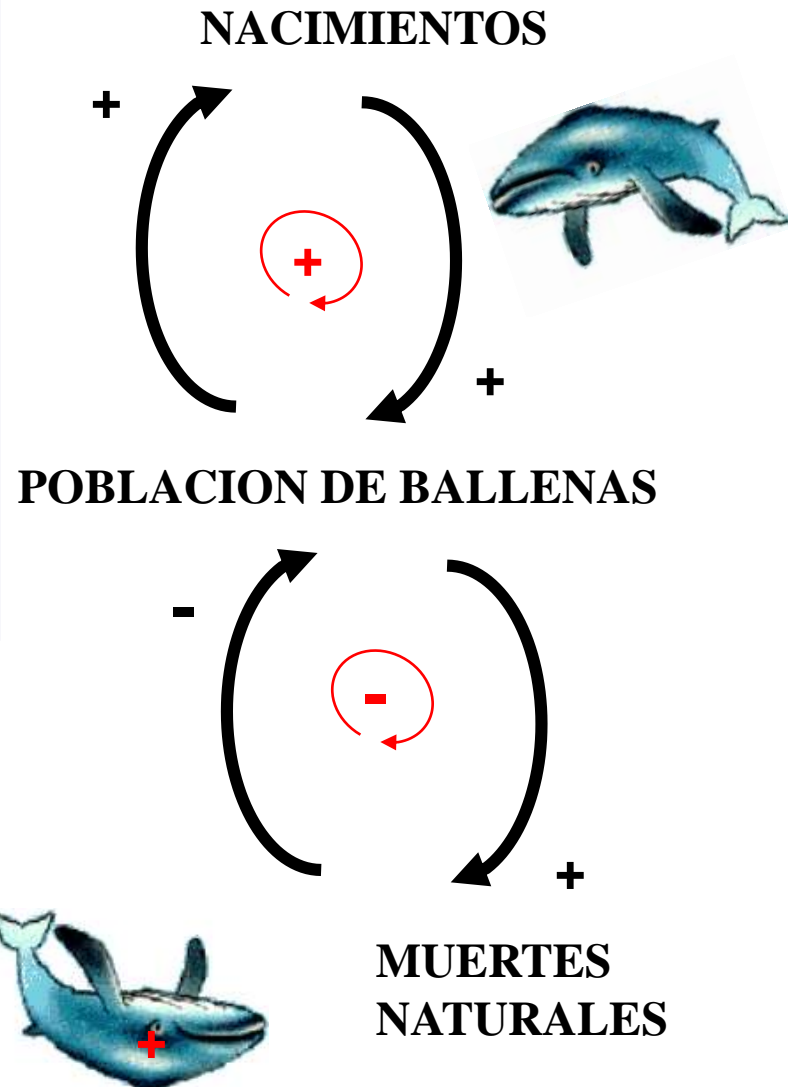
Prosa “La evolución de la población de ballenas depende de los nacimientos y las muertes naturales. **No obstante, la población de ballenas a su vez influye en los nacimientos y las muertes.** Así, la evolución de la población de ballenas es la consecuencia de las influencias mutuas entre las tres variables: población de ballenas, nacimientos y muertes naturales.”



**Ciclo de refuerzo**  
 $(+,+) \text{ o } (-,-)$



**Ciclo de regulación**  
 $(+,-) \text{ o } (-,+)$

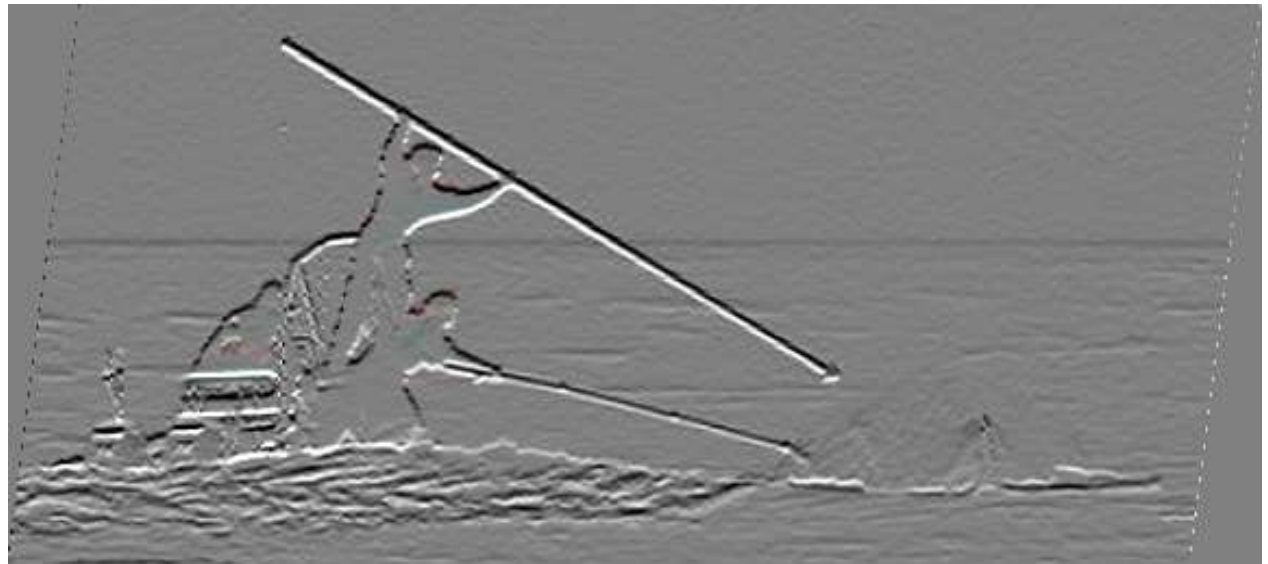




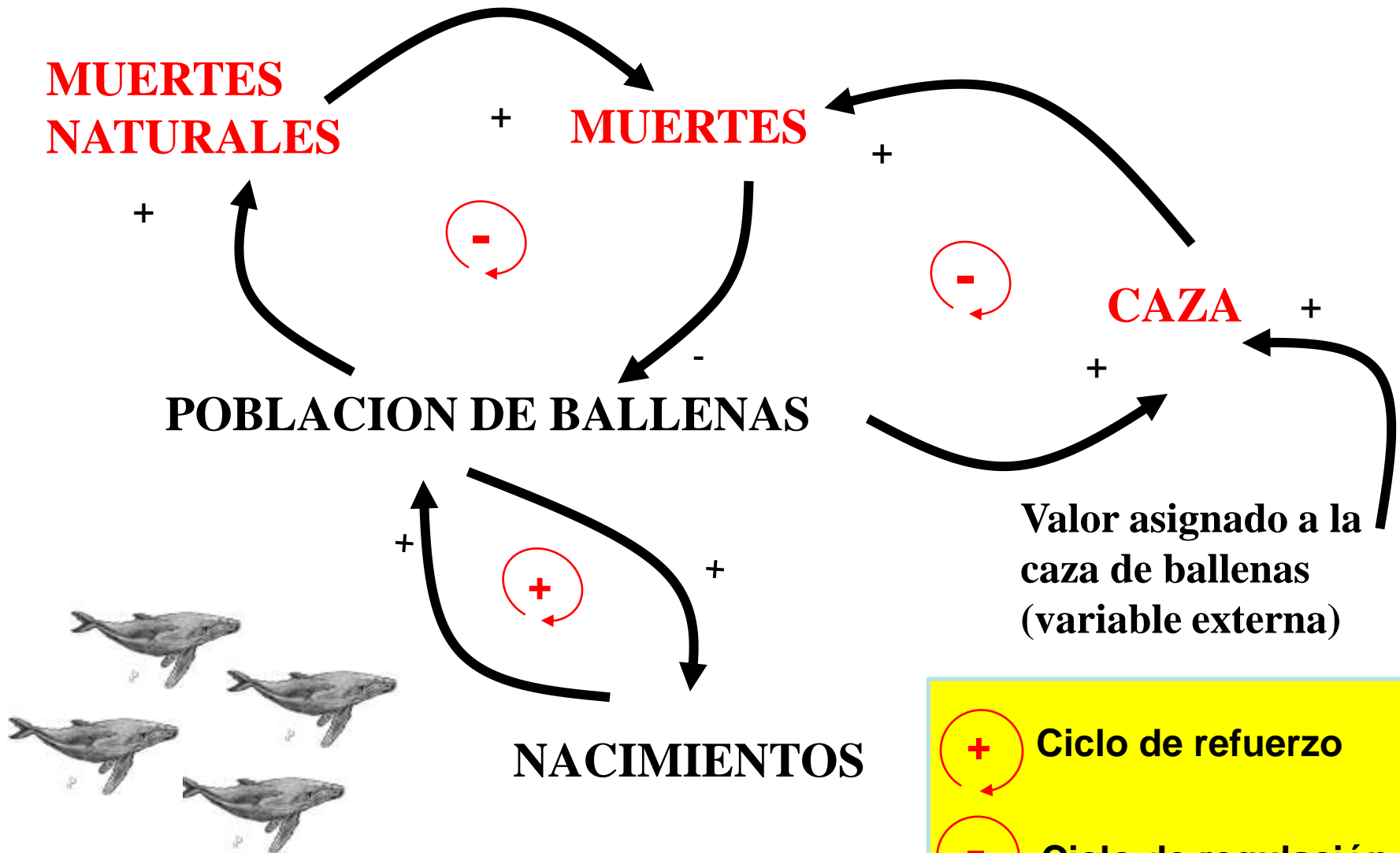
# Taller: Problema actual, la Caza indiscriminada de la ballena

- PROSA (cont.): “Lo anterior era válido antes de la intervención del hombre. Hoy, es su único depredador. Así, se trata de estudiar la conservación de la población de las ballenas, sometida a una extinción importante por acción de la caza.”
- Ahora, la evolución de la población de ballenas depende de los nacimientos, las muertes naturales y las muertes por caza.”

Con estas relaciones adicionales es posible construir un nuevo diagrama causal.



# Influencia de la Caza de la ballena

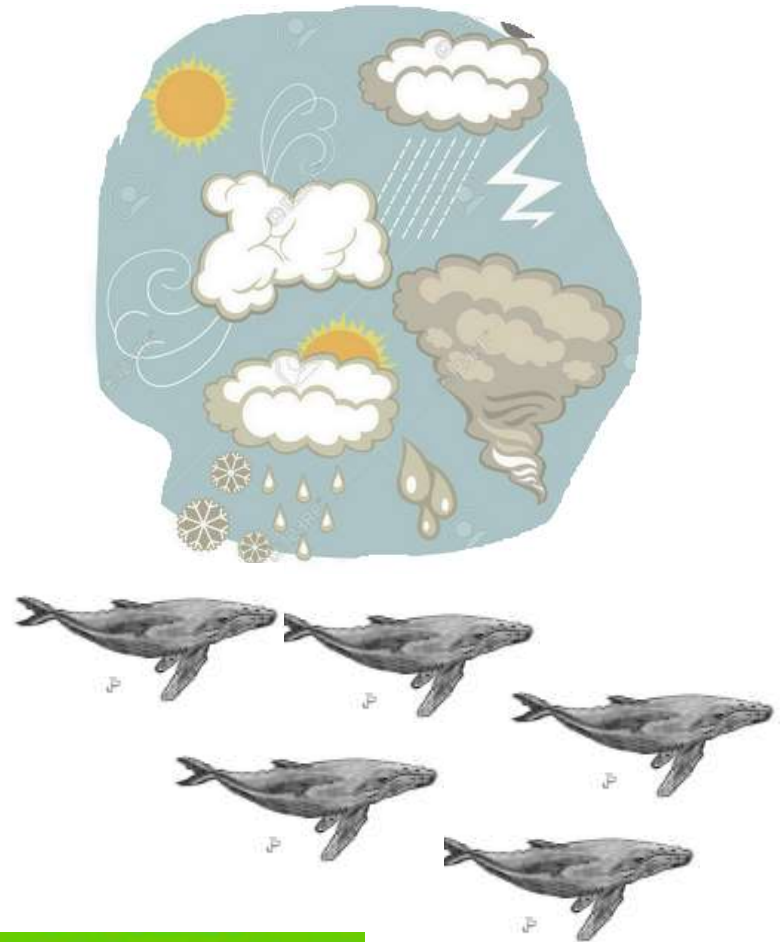


# Otras variables que influyen en la Población de Ballenas

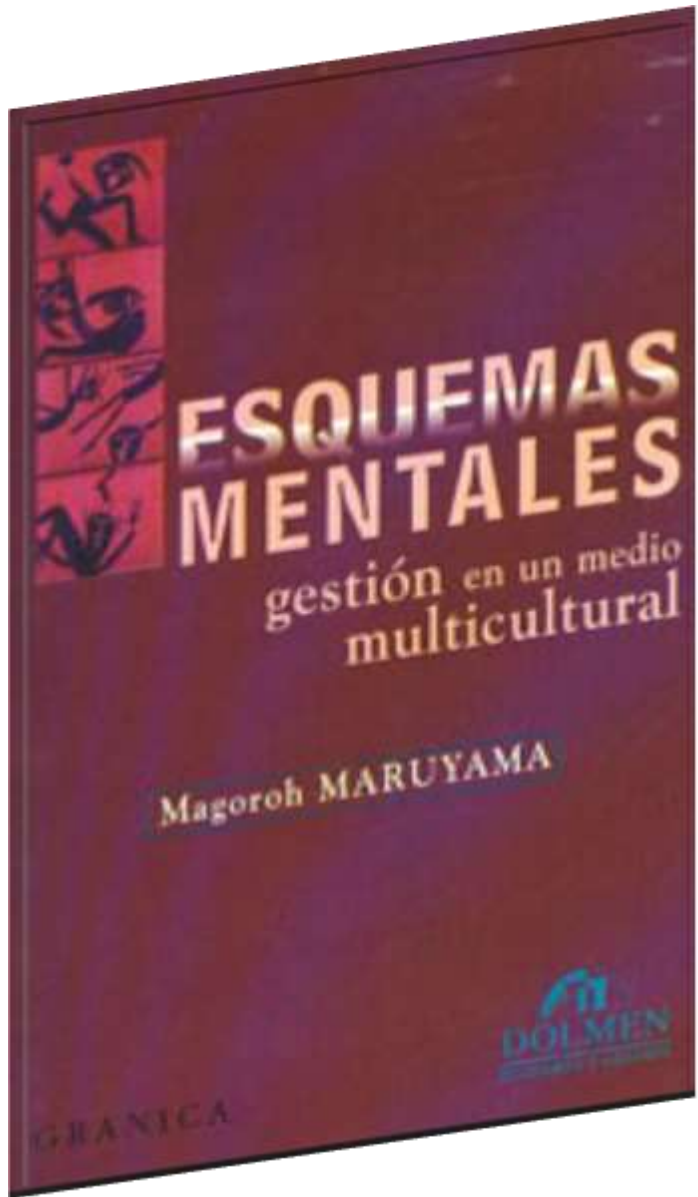
## TRABAJO PERSONAL:

¿Cómo introducir en el diagrama de influencias el efecto de:

- CAMBIOS EN LOS HÁBITOS DE CAZA
- CAMBIOS EN LAS NORMAS QUE REGULAN LA CAZA
- CONTAMINACIÓN DEL MEDIOAMBIENTE
- CAMBIOS EN LOS HÁBITOS DE APAREAMIENTO
- LAS ACCIONES DE GRUPOS MEDIOAMBIENTALISTAS Y ECOLOGISTAS, COMO GREENPEACE



**GREENPEACE**



## Ej. 2 DIAGRAMAS DE INFLUENCIA

### CIRCUITOS DE CAUSALIDAD

*(Tomado de “Esquemas Mentales: gestión en un medio multicultural”, Magoroh Maruyama)*

# Fundamento de los Diagramas de Influencias (mutuas)

Información  
sobre el  
problema

Acción

Resultado

Impresión  
del mundo:  
**Lazo-  
Abierto**

Jay W Forrester - Some Basic  
Concepts in System Dynamics (2009)

“La mayoría de la gente piensa en términos lineales. Por ejemplo, en la Figura 1, la gente percibe el problema, decide una acción, espera un resultado, y creen que es el fin del tema.”

Información  
sobre el  
problema

Acción

Resultado

Estructura  
del mundo:  
**Lazo-  
Cerrado**

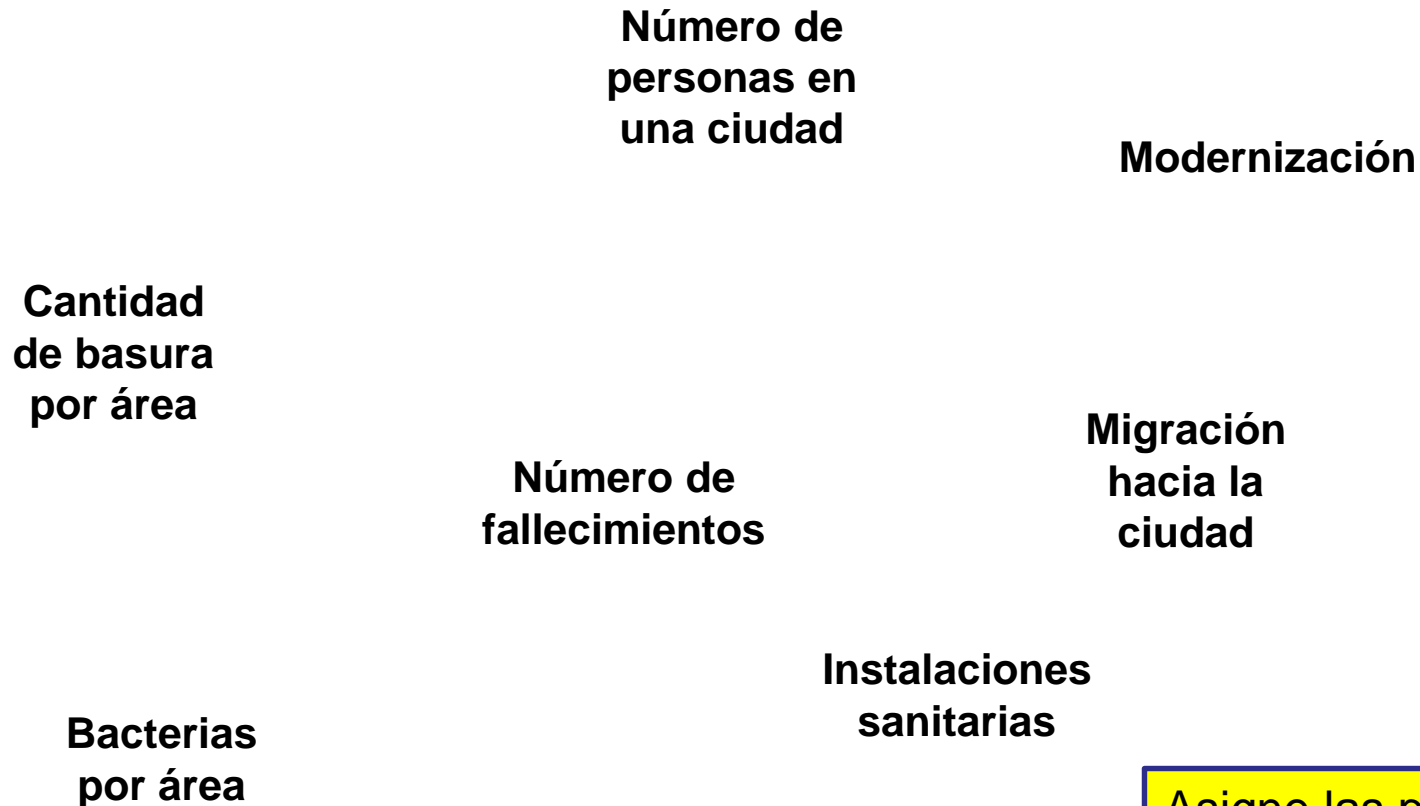
“La figura 2 es una apreciación mucho más realista: Un problema conduce a la acción que produce un resultado que crea nuevos problemas y acciones futuras. No hay principio ni fin.”

“Vivimos en un complejo de circuitos de retroalimentación anidados (estructuras *[en forma de lazos]*\* dentro de las cuales se producen todos los cambios). Cada acción, cada cambio en la naturaleza, se encuentra dentro de esta red de circuitos de retroalimentación.”

\* [ ]: comentario agrado



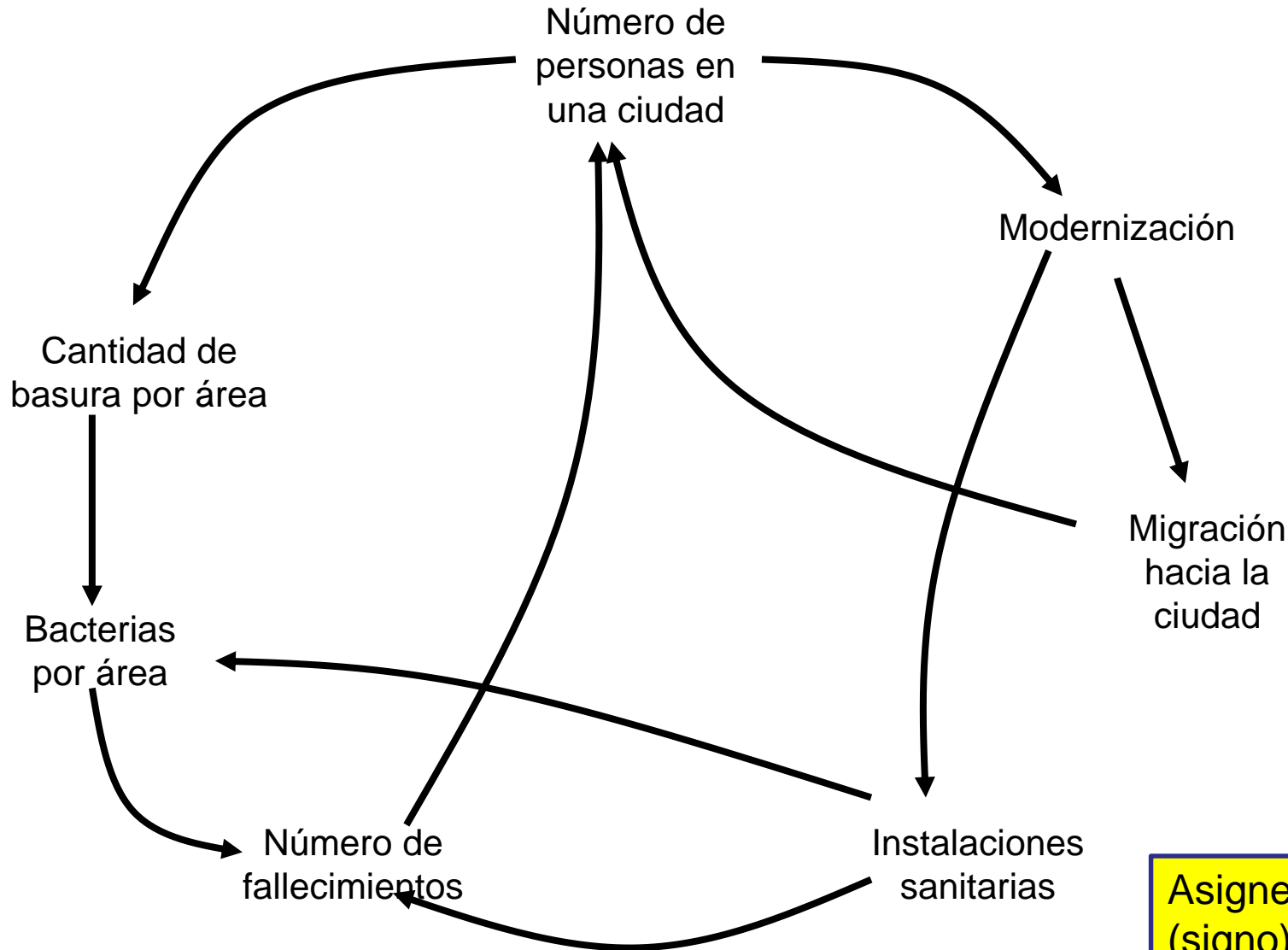
**DIAGRAMAS DE INFLUENCIA:** Permiten descubrir las relaciones entre elementos que aparecen dispersos y desconectados



Asigne las principales influencias mutuas (flechas)

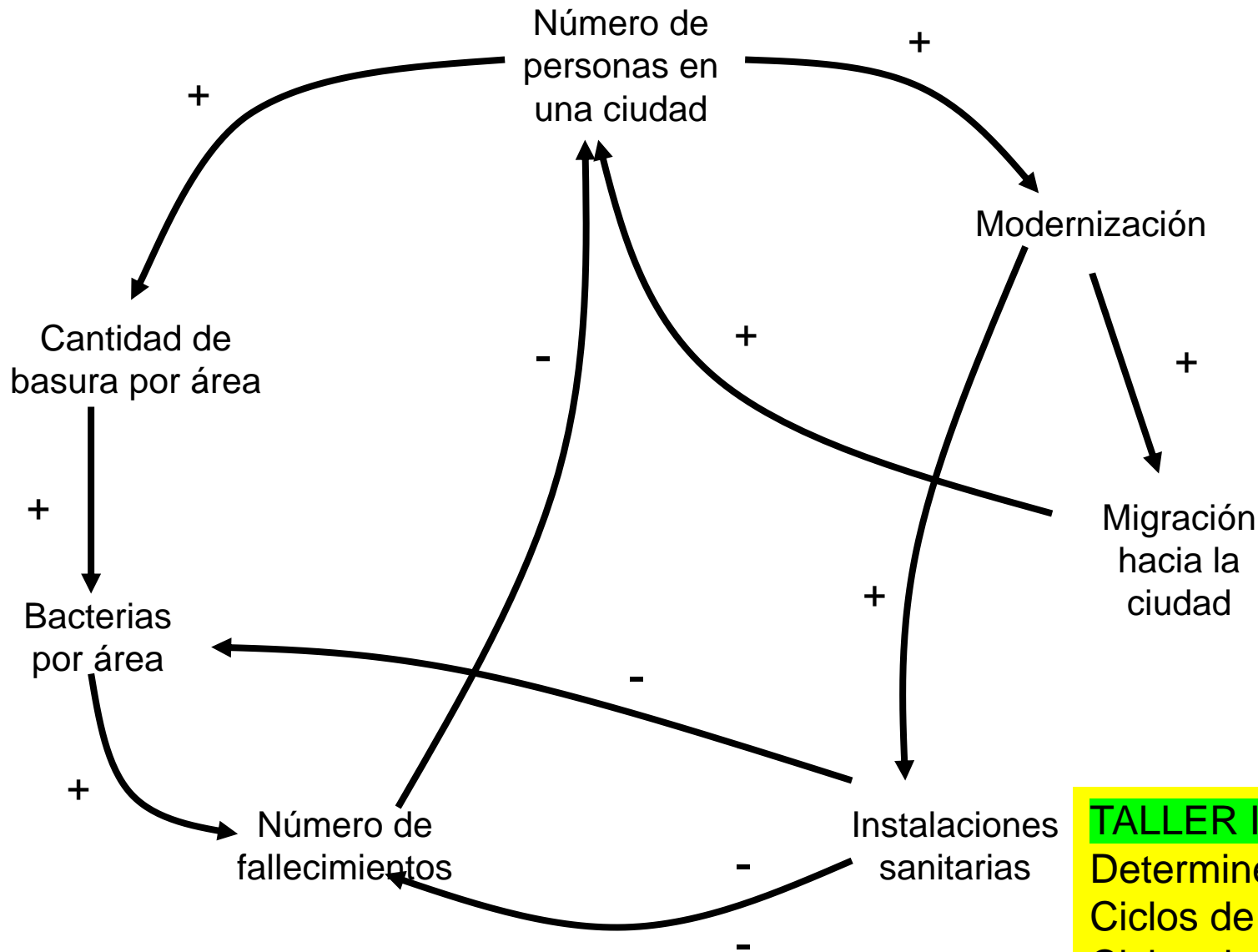
¡Atención!: Estas variables emanan de una prosa que no se muestra pero que es fundamental considerar.

# DIAGRAMAS DE INFLUENCIA: Aparecen CIRCUITOS DE CAUSALIDAD



Asigne el sentido (signo) de las influencias

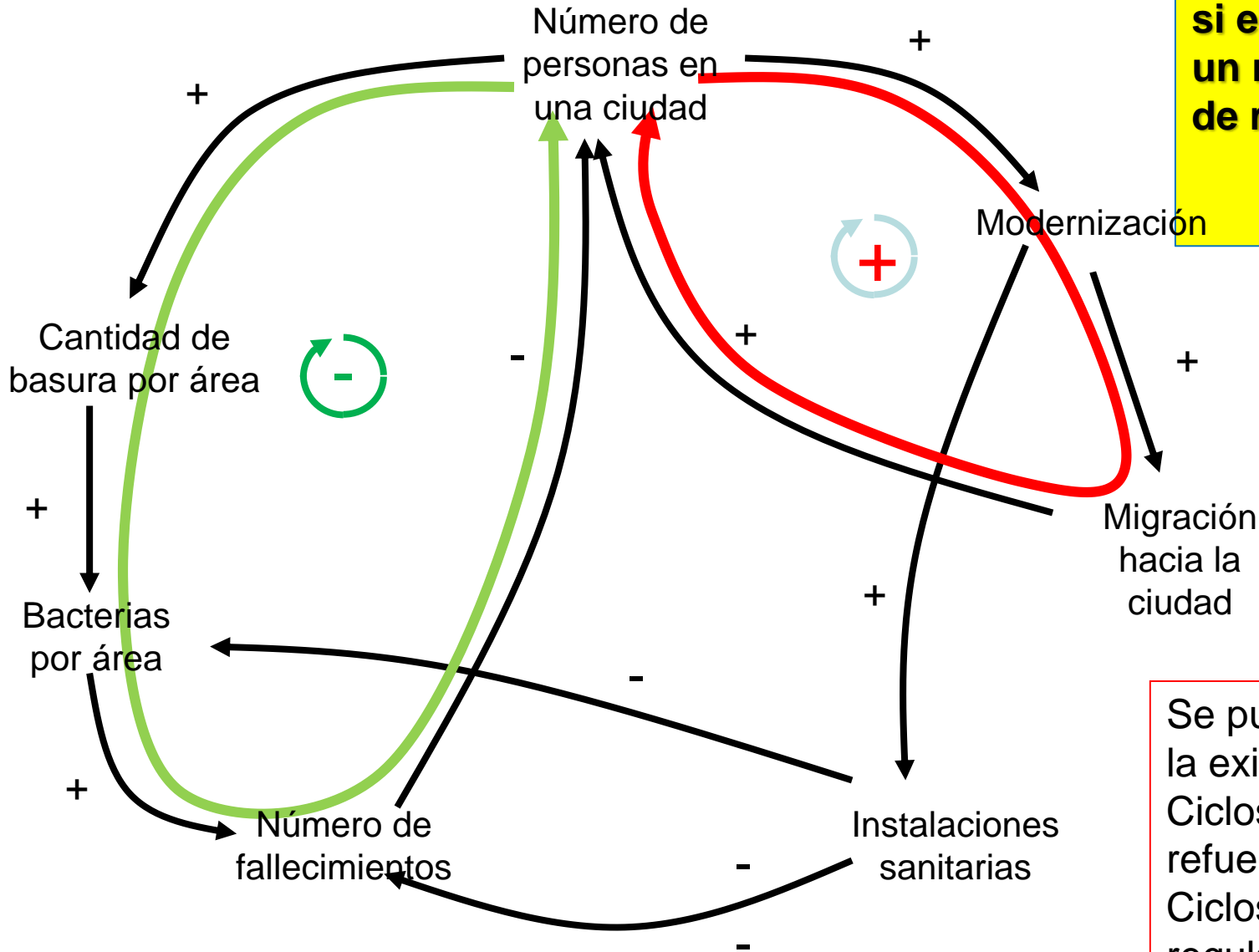
## DIAGRAMAS DE INFLUENCIA: CIRCUITOS DE CAUSALIDAD



### TALLER INDIVIDUAL

Determine presencia de:  
Ciclos de refuerzo (+)  
Ciclos de regulación (-)

# DIAGRAMAS DE INFLUENCIA: CIRCUITOS DE CAUSALIDAD

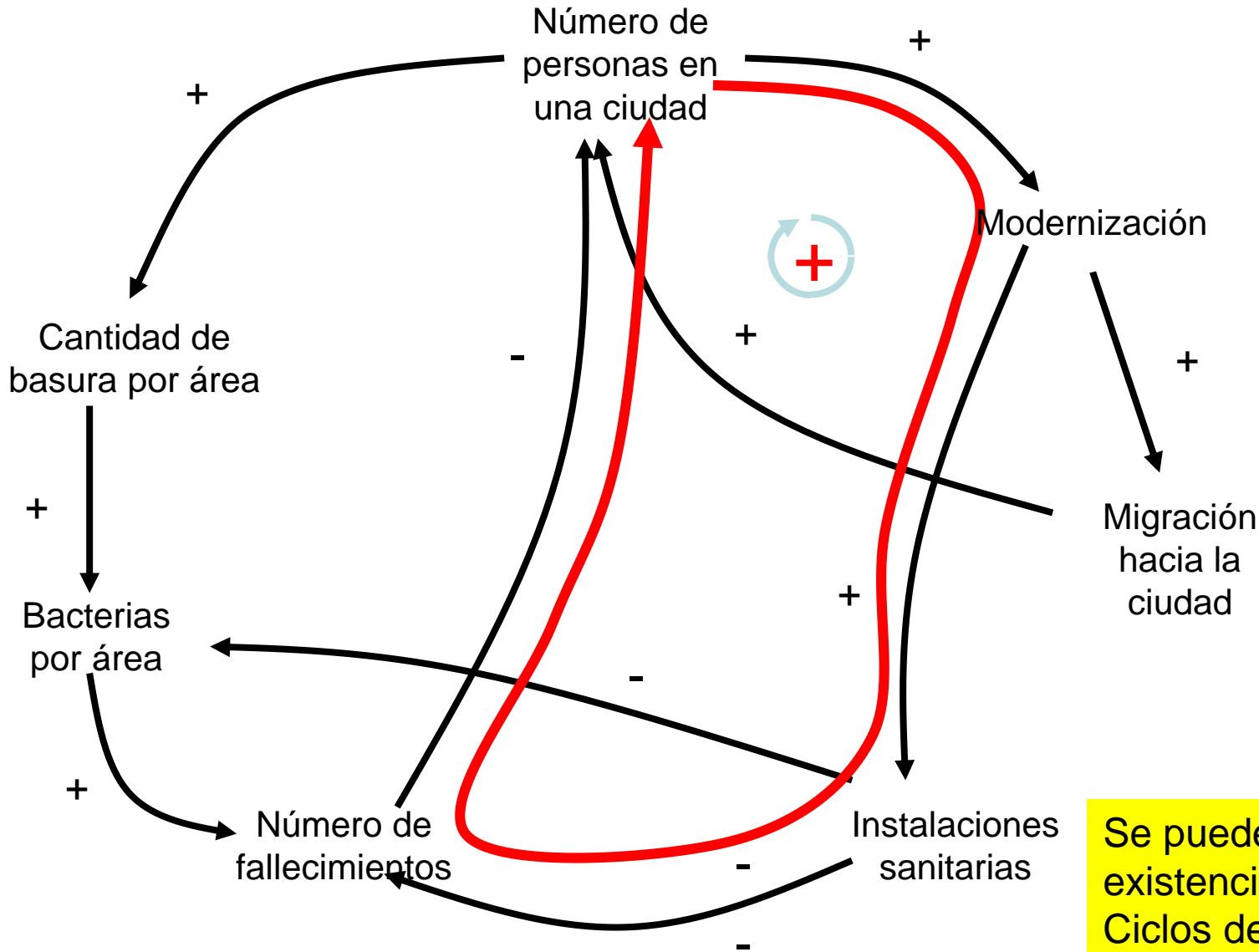


**Un ciclo (bucle) es de regulación si en él existen un número impar de relaciones (-)**



Se puede concebir la existencia de:  
Ciclos (bucles) de refuerzo (+)  
Ciclos (bucles) de regulación (-)

## DIAGRAMAS DE INFLUENCIA: CIRCUITOS DE CAUSALIDAD



Se puede concebir la existencia de múltiples:  
Ciclos de refuerzo (+)  
Ciclos de regulación (-)



# Un ejemplo de la literatura con múltiples variables

Reverse Supply Chain Management - Modeling Through System Dynamics

**El diagrama de influencias puede adquirir una gran complicación**

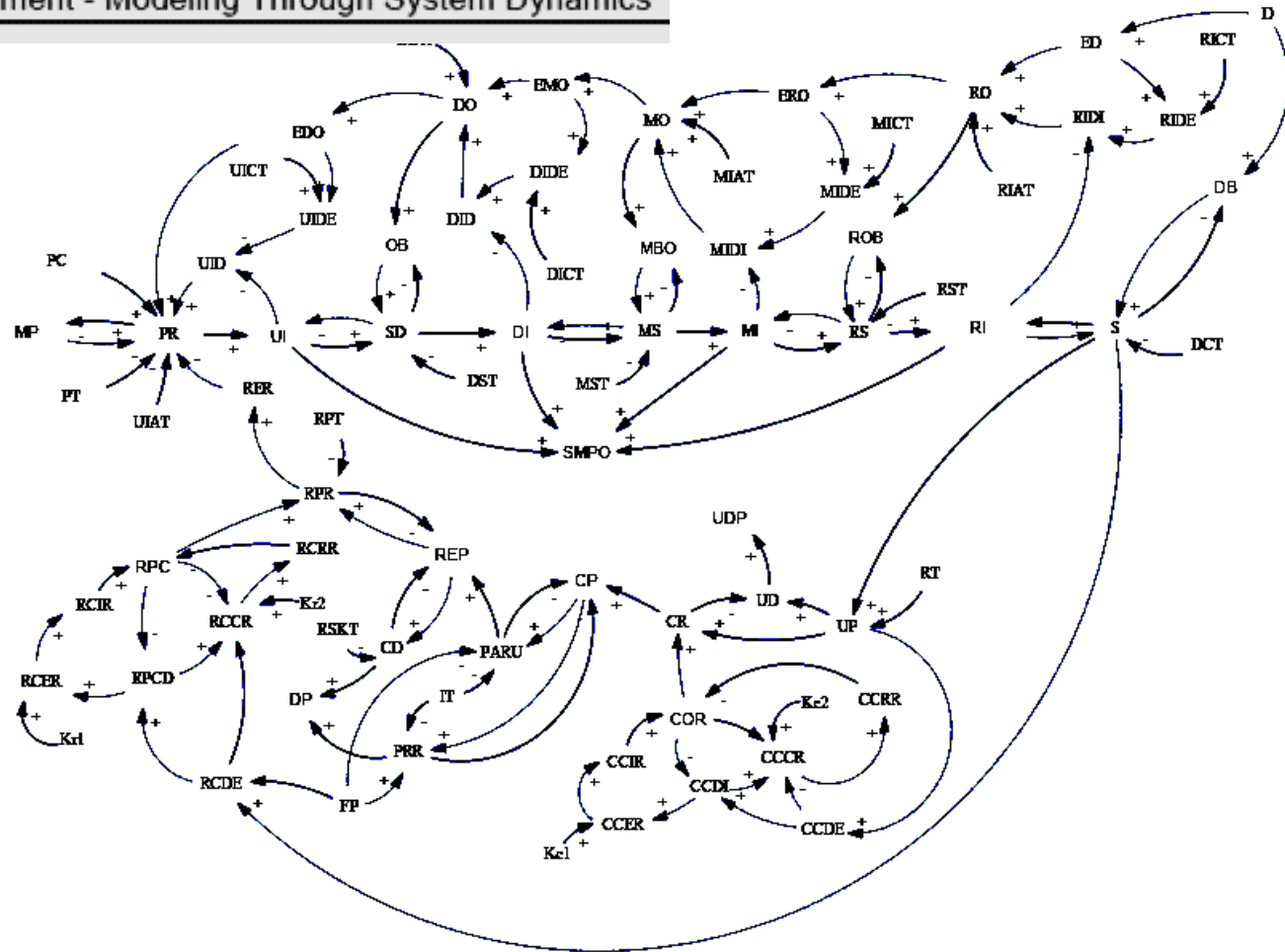
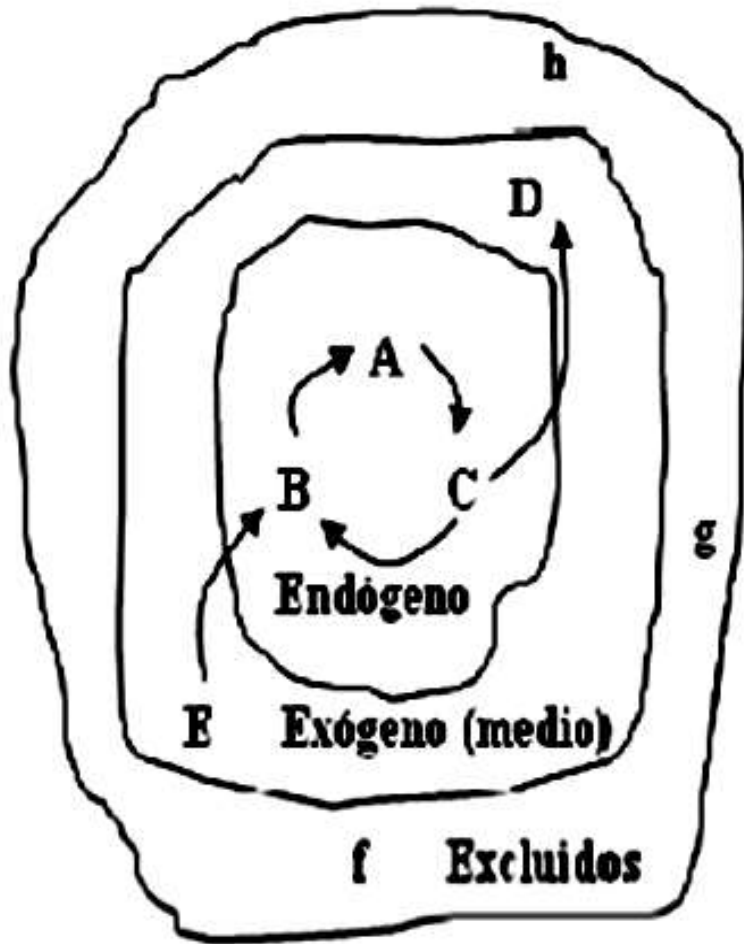


Fig. 1. Causal diagram of the proposed model. (Information on variables in Annex 1 and model equations in Annex 2)

# Relaciones entre las variables presentes en los Diagramas de Influencias

# Variables: relaciones endógenas y exógenas y variables excluidas



**¿De qué depende que podamos caracterizar (determinar relaciones y comportamiento dinámico de) cada una de estas variables)?**

De nuestro conocimiento del fenómeno estudiado (determinado en último término por nuestros paradigmas), de las limitaciones del estudio, etc.

# Dinámica de las estructuras genéricas en los Diagramas de Influencias

# Estructuras genéricas

- La retroalimentación negativa se relaciona con la **homeostasis** de los sistemas
- Una variable es controlada para mantenerse dentro de un rango de valores permitidos

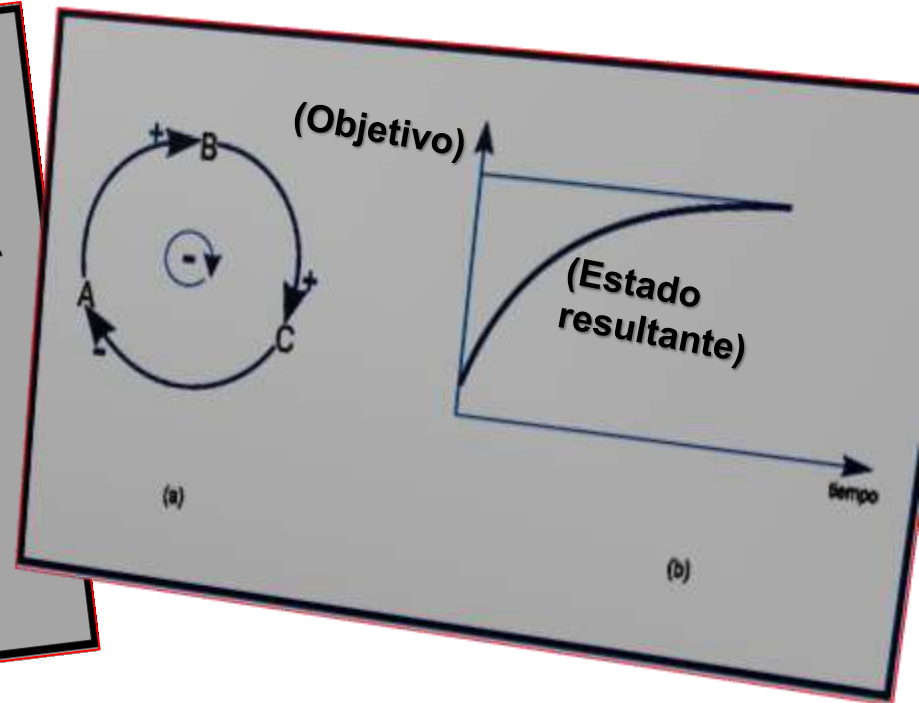
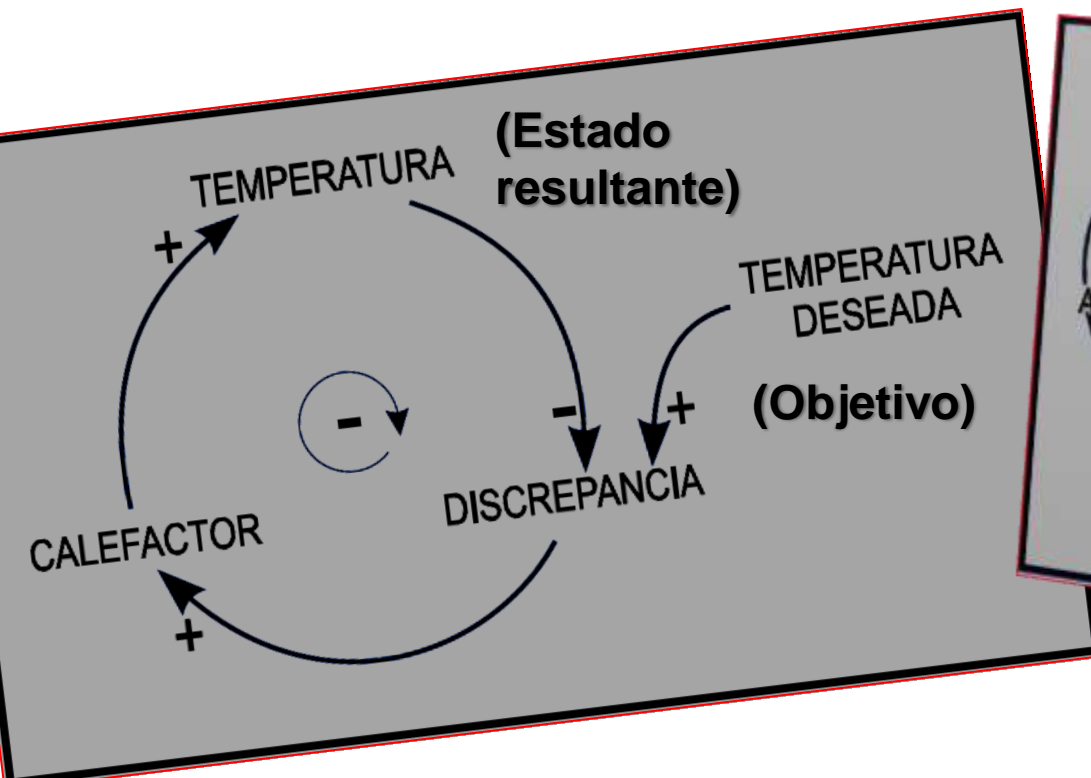


En esta estructura ¿cuál es la variable controlada?)

**homeostasis.** f. *Biol.* Conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno de un organismo. **(Dic RAE)**

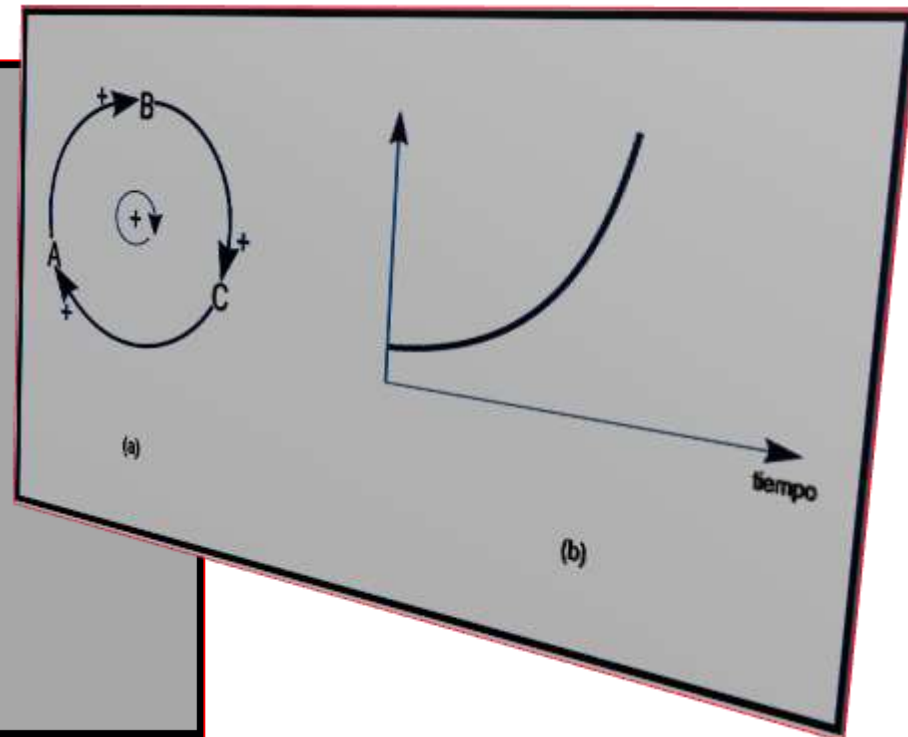
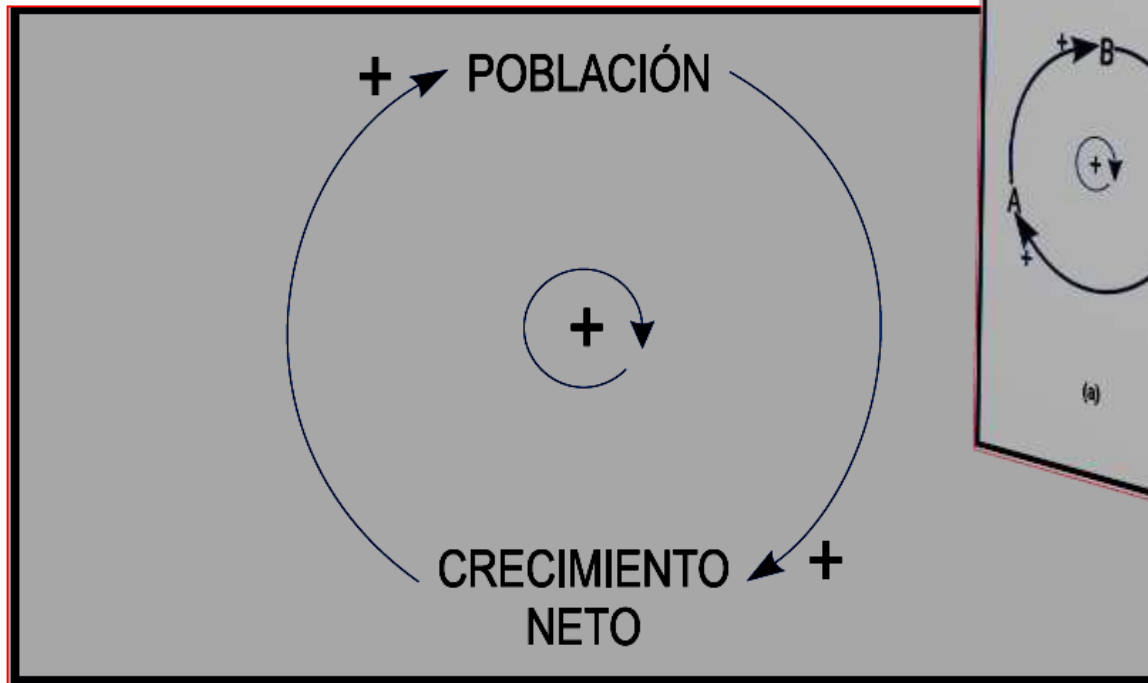
# Estructuras genéricas

- La **retroalimentación negativa** hace que la variable controlada tenga un comportamiento (una dinámica) asintótico(a)



# Estructuras genéricas

- La **retroalimentación positiva** hace que la variable controlada tenga un comportamiento (una dinámica) de crecimiento exponencial



¿Hasta dónde se produce este crecimiento exponencial? (Resp. teórica y física)



# Estructuras genéricas

- La influencia **mutua** de un ciclo de **retroalimentación positiva** y otro de **retroalimentación negativa** sobre la variable controlada produce<sup>(1)</sup> un comportamiento típico **sigmoidal** (una dinámica en forma de “S”)

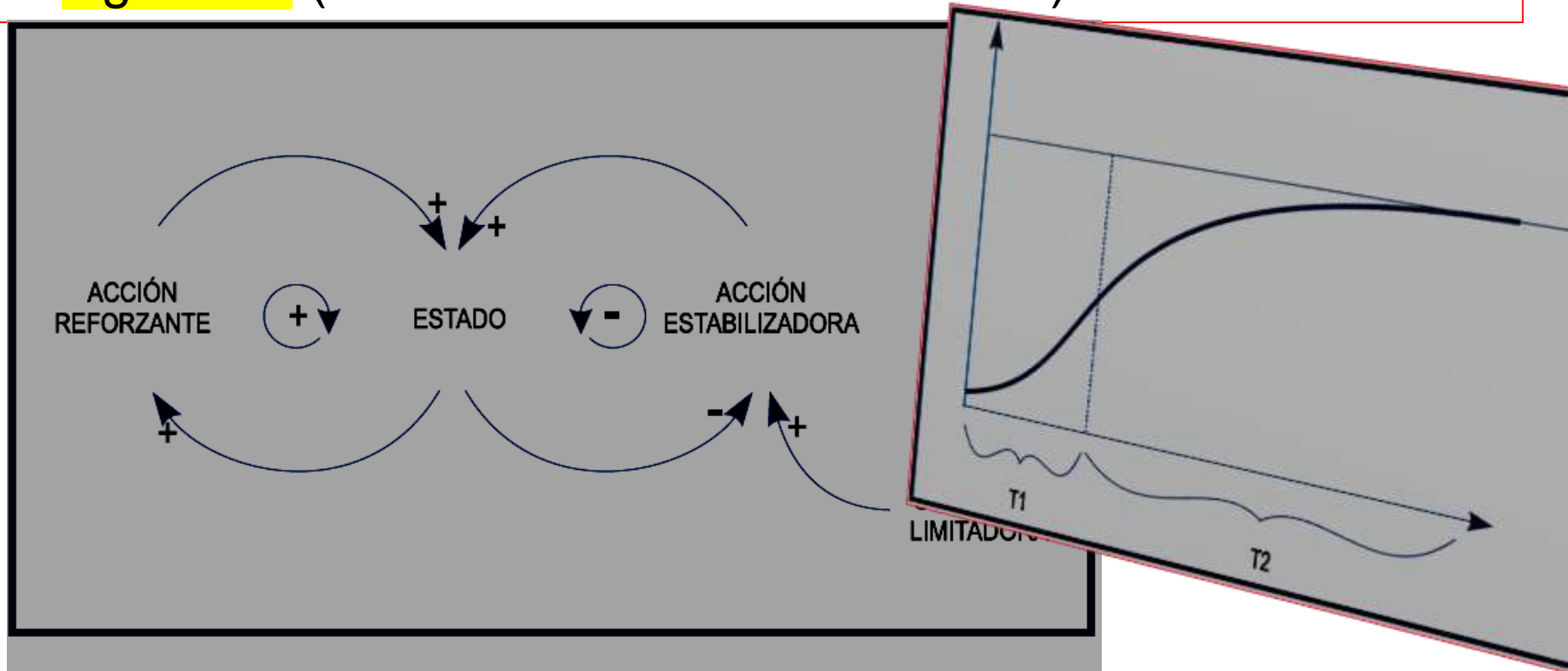
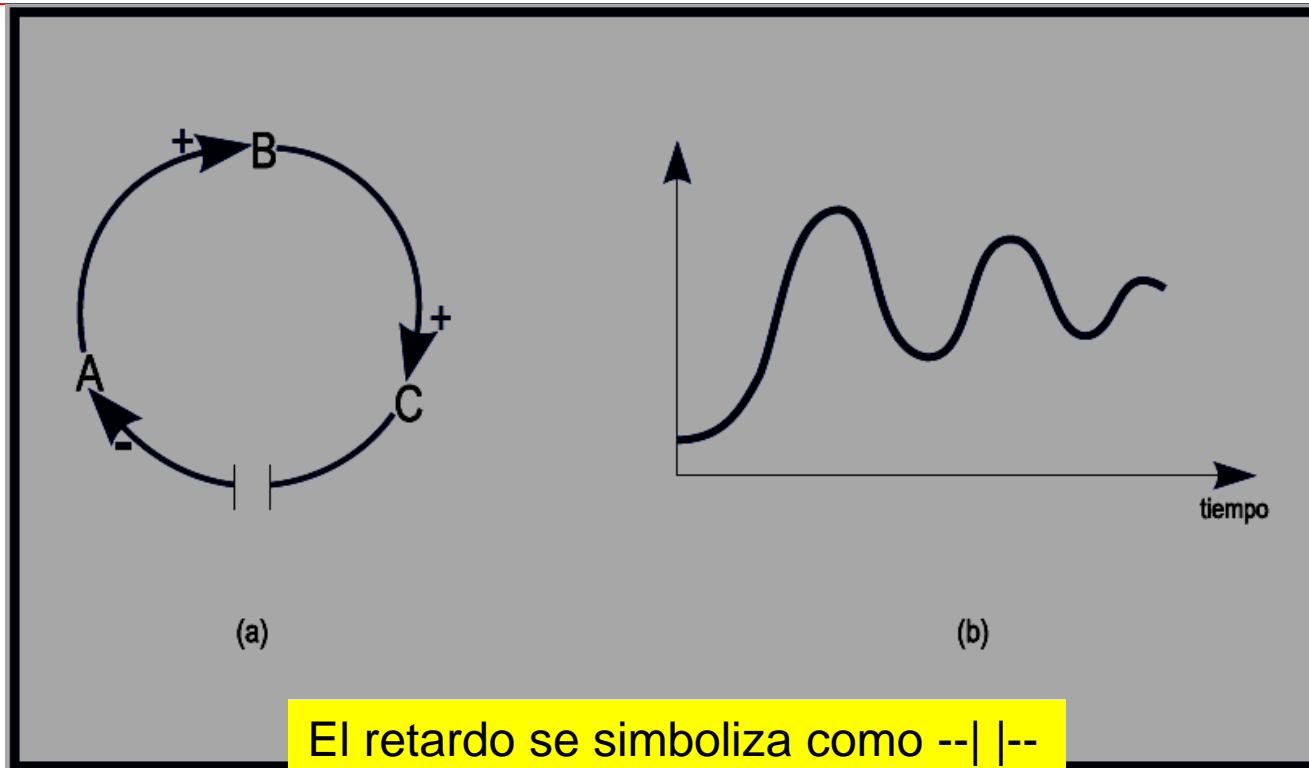


Figura 10. - ESTRUCTURA FORMADA POR DOS BUCLES DE REALIMENTACIÓN, UNO POSITIVO Y OTRO NEGATIVO -

(1) Se diseña para que produzca...

# Estructuras genéricas

- Un caso importante es cuando la influencia de un ciclo de **retroalimentación negativa** sobre la variable controlada no es inmediata (hay que considerar un **retardo**). Esto produce un comportamiento típico (una dinámica) de oscilación decreciente alrededor del valor objetivo. <sup>(1)</sup>

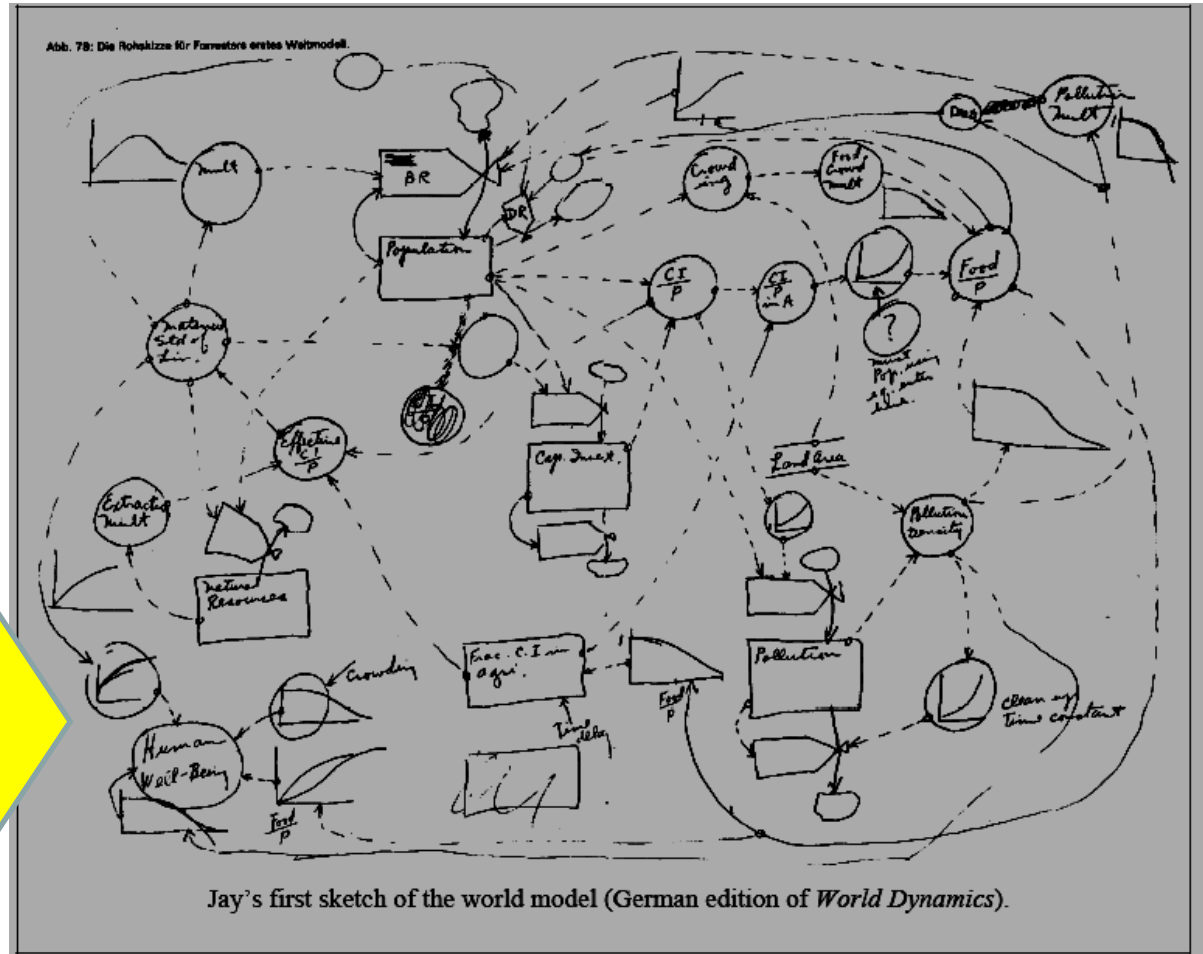


(1) Se diseñará para reducir la oscilación al menor tiempo posible.

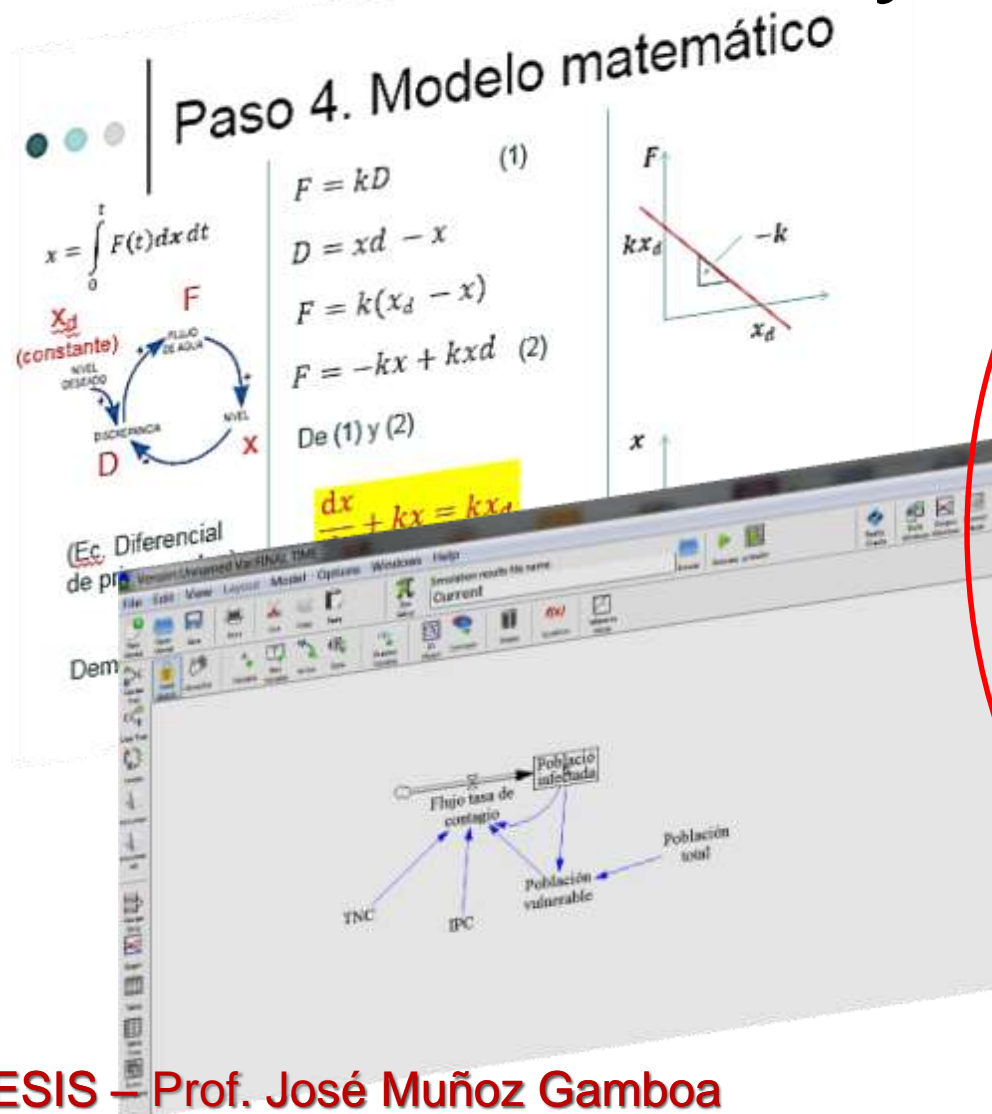
# Después de los Diagramas de Influencia

→ Reelaborar los diagramas de influencias y convertirlos en objetos que describan sistemas dinámicos, y que puedan ser programados para simular los fenómenos descritos por los primeros.

Este es el propósito de los **Diagramas de flujo-nivel o diagramas de Forrester**



# ¿Y después? → Modelos matemáticos y simulación



# Fin 1a parte

## Dinámica de Sistemas