

# Causalidad



# DS en la estrategia de calidad

- La mayoría de los análisis estratégicos en la empresa son disparados por una crisis o la necesidad urgente de la solución de un problema
- Los modelos en dinámica de sistemas pueden jugar un rol importante en el entendimiento de un problema y sus causas, determinar las consecuencias o cursos de acción alternativos y probar alternativas bajo diferentes escenarios.

# Causalidad

- La **causalidad** en filosofía parte del hecho de que todo suceso se origina por una causa, origen o principio



- Para que un suceso A sea la causa de un suceso B se tienen que cumplir tres condiciones:
- Que A suceda antes que B.
- Que siempre que suceda A suceda B.
- Que A y B estén próximos en el espacio y en el tiempo.
- El observador, tras varias observaciones, llega a generalizar que puesto que hasta ahora siempre que ocurrió A se ha dado B, en el futuro ocurrirá lo mismo. Así se establece una ley.

# Sistemas abiertos y de retroalimentación

- Sistema abierto

- Se caracteriza por salidas que responden a entradas, pero las salidas no tiene influencia sobre las entradas
- No conoce su propio desempeño y las acciones pasadas no controlan a las acciones futuras



# Sistemas abiertos y de retroalimentación

- Sistema de retroalimentación o cerrado
  - Está influenciado por su propio comportamiento pasado (causalidad circular o bucle)
  - Estructura de lazo cerrado que retorna resultados de acciones pasadas con el fin de controlar acciones futuras



# Retroalimentación positiva y negativa

- **Negativa**

- Busca una meta y responde con una consecuencia de caídas hasta alcanzar una meta
- Ocurre cuando el cambio en un sistema produce menos y menos cambio en la misma dirección, hasta que la meta es alcanzada
- Ejemplo: Desinflado de un balón

- **Positiva**

- Genera procesos de crecimiento, donde las acciones construyen un resultado que genera acciones aún mas grandes.
- Ejemplo: reproducción de conejos



# Definir el problema

- Hay que identificar el problema con claridad, y describir los objetivos del estudio con precisión, ya que todas las etapas siguientes gravitarán sobre ello.
- Se ha de completar su descripción en base a la aportación de conocimientos del tema por parte de los expertos, documentación básica sobre el tema, etc.
- El resultado de esta fase es una primera percepción de los elementos que tienen relación con el problema planteado, las hipotéticas relaciones existentes entre ellos, y su comportamiento histórico.



# Definir el sistema

- Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos.
- Para estudiar un sistema hay que conocer los elementos que lo forman y las relaciones que existen entre ellos.
- El sistema debe de contener el menor número de elementos posible, que permita realizar una simulación para explicar al final cual de las propuestas de actuación es la más eficaz para solucionar el problema planteado.
- En la construcción del modelo se suceden varias fases de expansión y simplificación del modelo.



# Diagramas Causales o de Lazo

- Es un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.
- Tienen el propósito de mostrar de manera sencilla modelos mentales acerca de las estructuras y estrategias del sistema.
- Ayudan a comprender como la estructura de los sistemas provoca su comportamiento.
- Implican la retroalimentación de la información y las relaciones existentes entre los elementos de toma de decisión, los resultados y la retroalimentación.

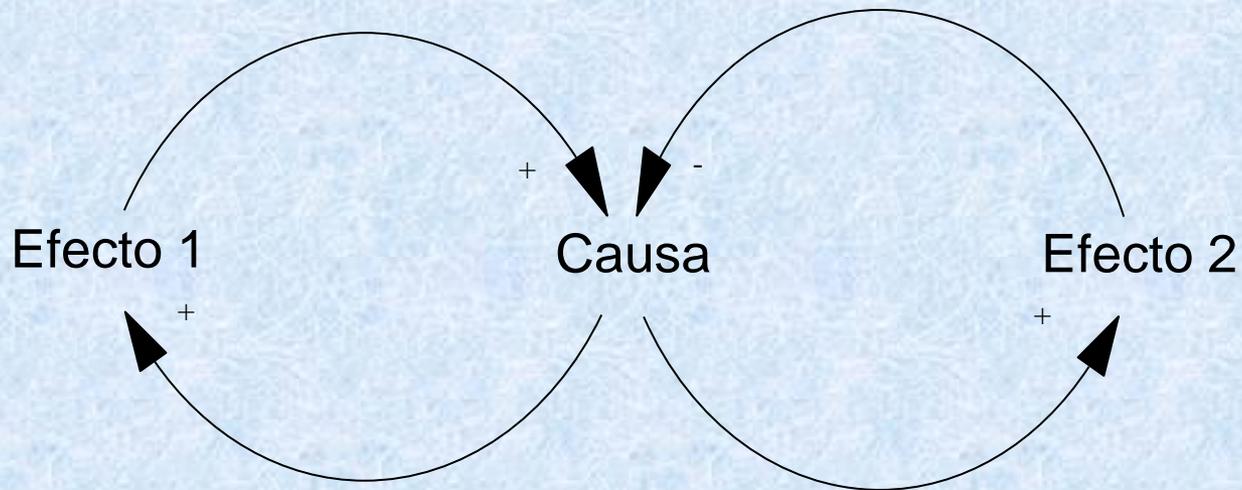


# Los diagramas permiten

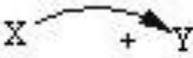
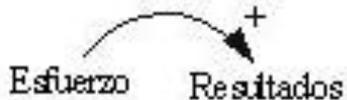
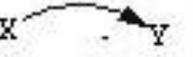
- Definir rápidamente las hipótesis acerca de las causas de la dinámica del sistema
- Obtener y capturar los modelos mentales de las personas
- Comunicar las relaciones y retroalimentaciones consideradas más importantes

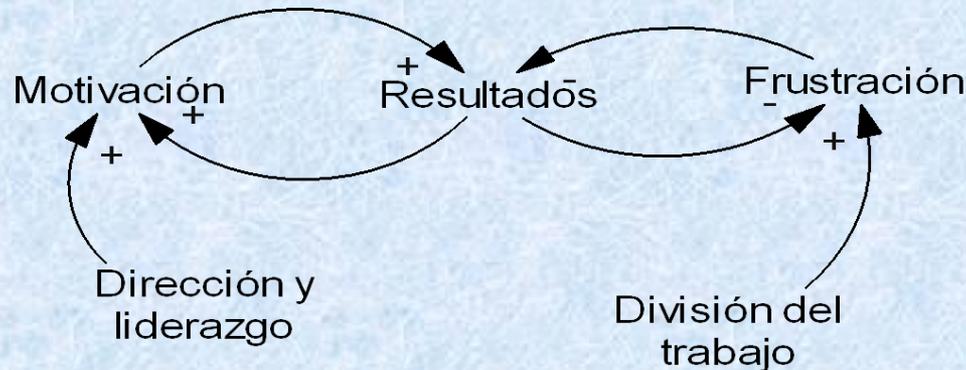
# ¿Qué son?

- Consisten de variables conectadas por flechas que denotan las influencias causales entre dichas variables.



# Elementos

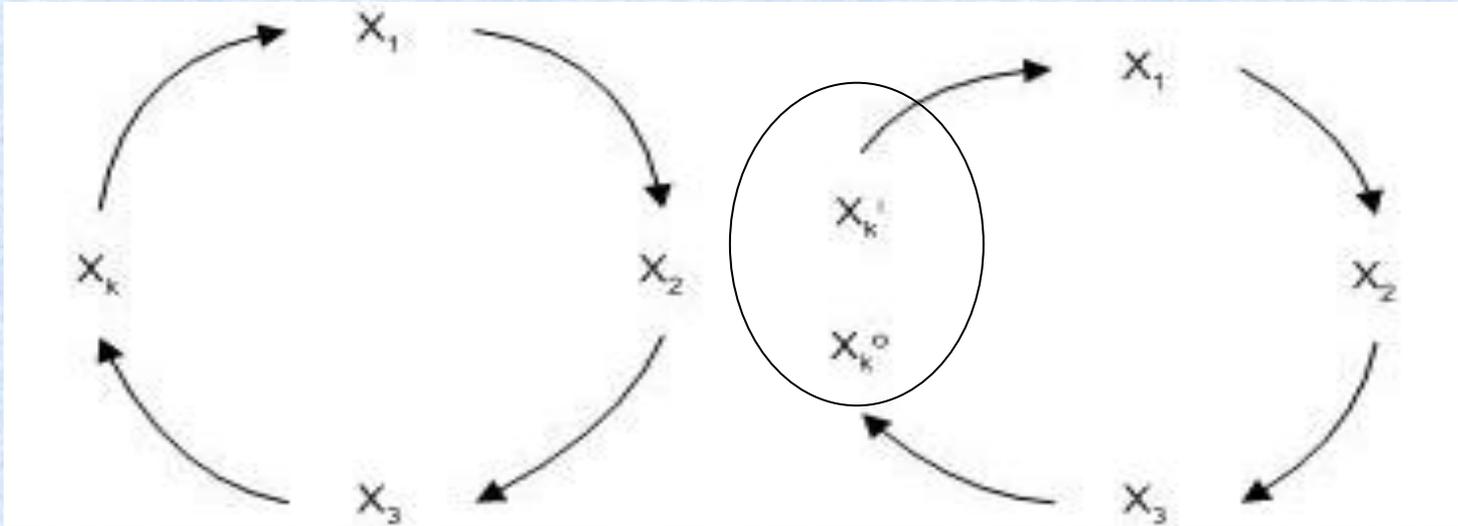
Símbolo	Interpretación	Significado Matemático	Ejemplo
	<p>Para todo lo demás constante, si X aumenta (disminuye) entonces Y aumenta (disminuye) sobre (debajo) de lo que debiera.</p> <p>En caso de acumulación, X se añade a Y.</p>	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$ <p>En caso de acumulación</p> $Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) ds + Y_{t_0}$	
	<p>Para todo lo demás constante, si X aumenta (disminuye) entonces Y disminuye (aumenta) por debajo (sobre) lo que debiera.</p> <p>En caso de acumulación X se sustrae de Y</p>	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ <p>En caso de acumulación</p> $Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) ds + Y_{t_0}$	



**Ejemplo**

# Polaridad

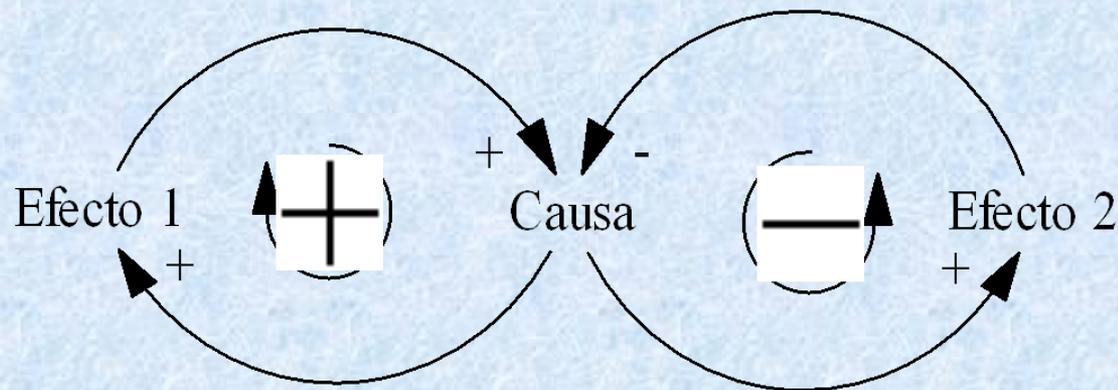
La polaridad de un ciclo se ve determinada por el signo de la ganancia del lazo abierto.



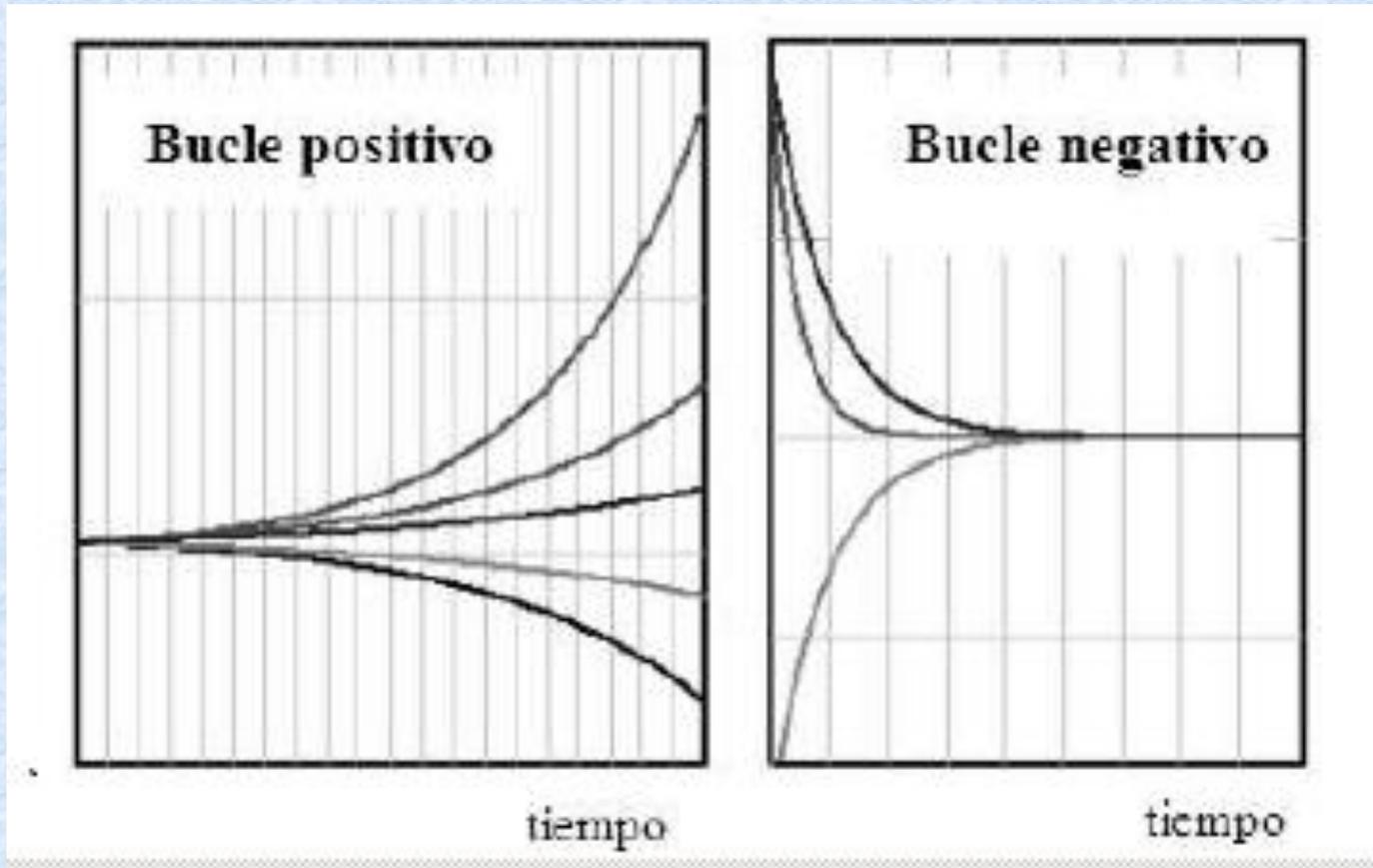
$$\text{Polaridad} = \text{SGN} \left[ \left( \frac{\partial X_1^o}{\partial X_n} \right) \left( \frac{\partial X_n}{\partial X_{n-1}} \right) \left( \frac{\partial X_{n-1}}{\partial X_{n-2}} \right) \cdots \left( \frac{\partial X_2}{\partial X_1^i} \right) \right]$$

# Polaridad

- Un lazo de polaridad positiva es un lazo que aumenta de manera exponencial infinitamente.
- Los lazos negativos son lazos que corrigen el crecimiento infinito contrarrestando el cambio.
- Si el número de relaciones es par, se tiene polaridad positiva.
- Si el número de lazos es impar, entonces se puede hablar de un lazo de polaridad negativa o de balance.



Los lazos o bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida.



# Elementos importantes

- El **elemento limitante** es aquel elemento del sistema que limita el crecimiento del sistema en un momento dado. Es único en cada momento, pero a lo largo del tiempo diferentes elementos del sistema pueden actuar como elementos limitantes.
- Los **elementos claves** son puntos de palanca, de fuerza, de presión, o de influencia. En un sistema existen varios elementos clave, y no suelen variar a lo largo del tiempo. Se pueden utilizar para conseguir grandes cambios en el sistema con un esfuerzo mínimo. Pero por otro lado, pueden desencadenar un comportamiento violento del sistema.



# Sistemas estables

- Un sistema es estable cuando se halla formado o dominado por un bucle negativo, y es inestable cuando el bucle es positivo.
- La estructura básica de los sistemas estables está formada por un Estado Deseado y por un Estado Real del sistema, estos dos estados se comparan (Diferencia), y en base a este valor el sistema toma una Acción para igualar el Estado Real al Deseado.



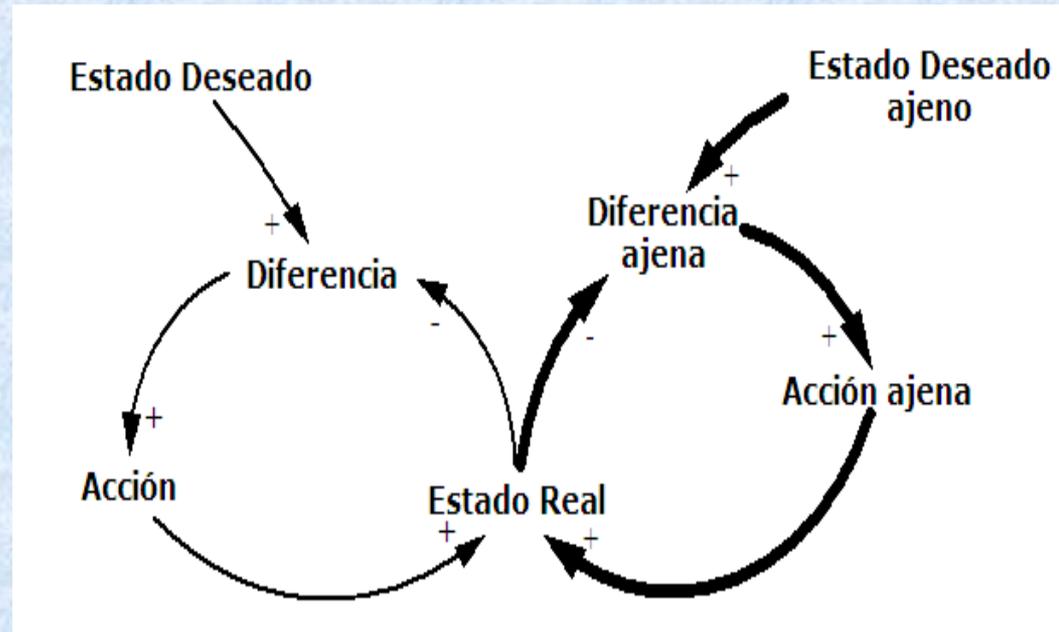
# Sistema con factor externo

- Un sistema que basa sus objetivos en la realidad, y únicamente pretende mejorarla está abocado a una tendencia permanente a los bajos resultados.
- Un sistema que obtiene sus objetivos de una base externa al sistema es inmune a este tipo de procesos.



# Efecto del factor externo

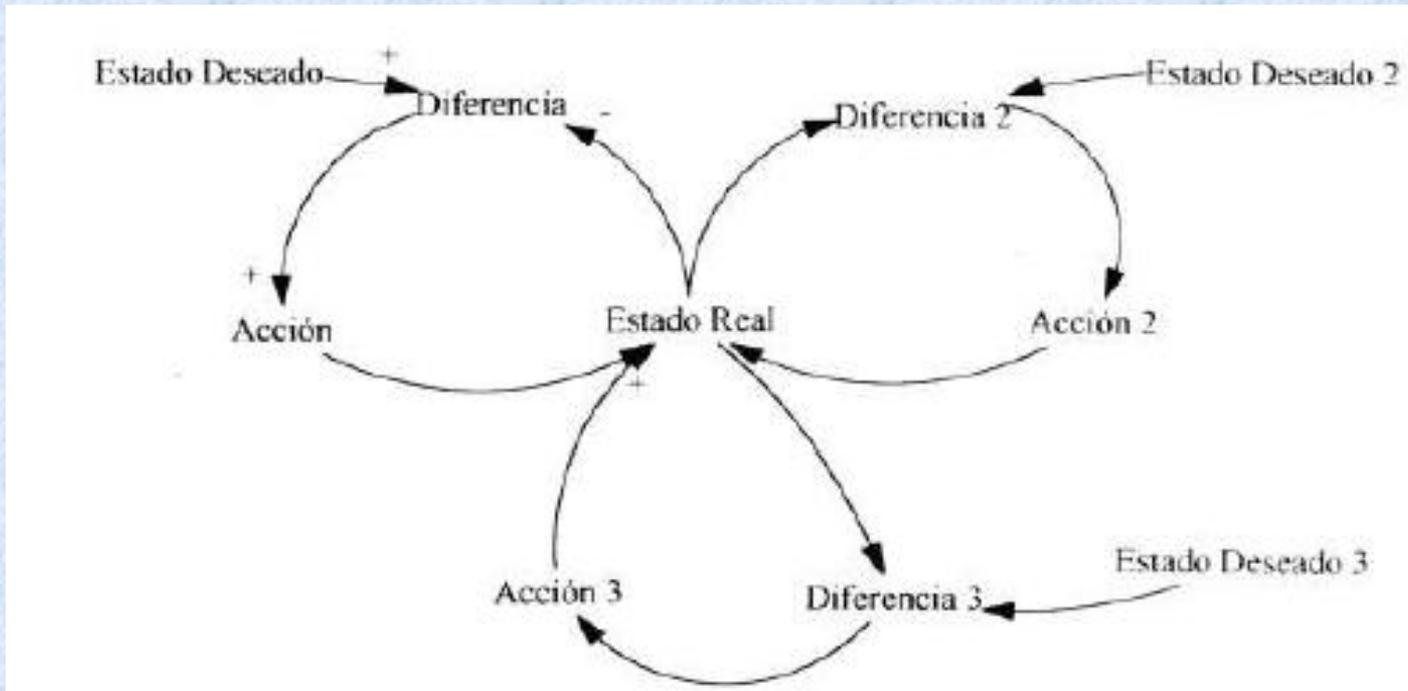
- El sistema recibe ayuda para lograr su Estado Deseado de otro sistema externo a él.
- El sistema propio desarrolla acciones para lograr igualar el Estado Real al Estado Deseado, y reduce paulatinamente la Diferencia. Ahora con la ayuda externa esta reducción es mucho más rápida y habitualmente es igual a cero al cabo de unos pocos periodos.



- Ayudarse de un factor externo para situar el sistema en una posición deseada no es algo malo en principio. Es usualmente beneficioso y permite al sistema plantearse la consecución de mejores objetivos.
- Pero con este proceso los mecanismos del sistema propio que intentaban corregir la posición del sistema se debilitan. Finalmente el sistema original toma una posición de dependencia total del sistema externo

# Sistemas hiperestables

- Cuando un sistema está formado por múltiples bucles negativos, cualquier acción que intenta modificar un elemento no se ve contrarrestado sólo por el bucle en el que se halla dicho elemento, sino por todo el conjunto de bucles negativos que actúan en su apoyo, súper-estabilizando el sistema.



# Resistencia al cambio

- Los sistemas estables son susceptibles a cambios y su estructura está diseñada para aceptarlos o rechazarlos.
- **Sistema quemado:** El sistema está habituado a recibir muchos cambios, y ha aprendido que los cambios son negativos, es decir que perjudican el Estado Real. Por lo tanto cuando llega la noticia de un nuevo Cambio el sistema espera lo peor, y lo rechaza.
- **Sistema perezoso:** los cambios suelen requerir de entrada un cierto esfuerzo inicial, y esto el sistema lo valora negativamente. La mejora del Estado Real se produce con un cierto retraso en relación a los efectos negativos que son percibidos de inmediato. La respuesta de sistema se produce en función de los primeros efectos que percibe, que son los negativos.

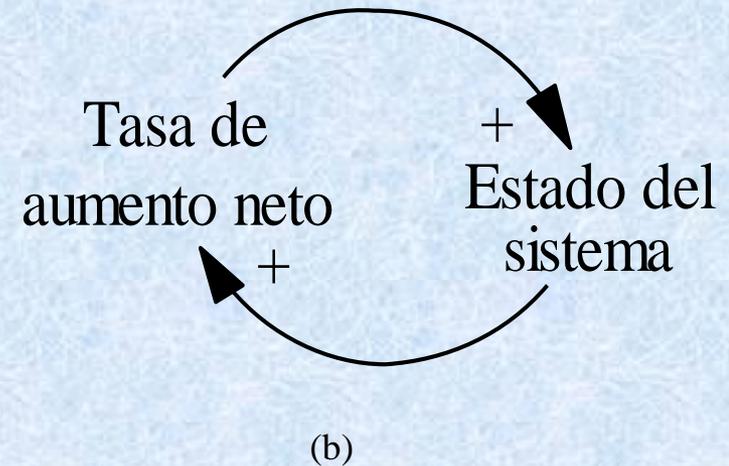
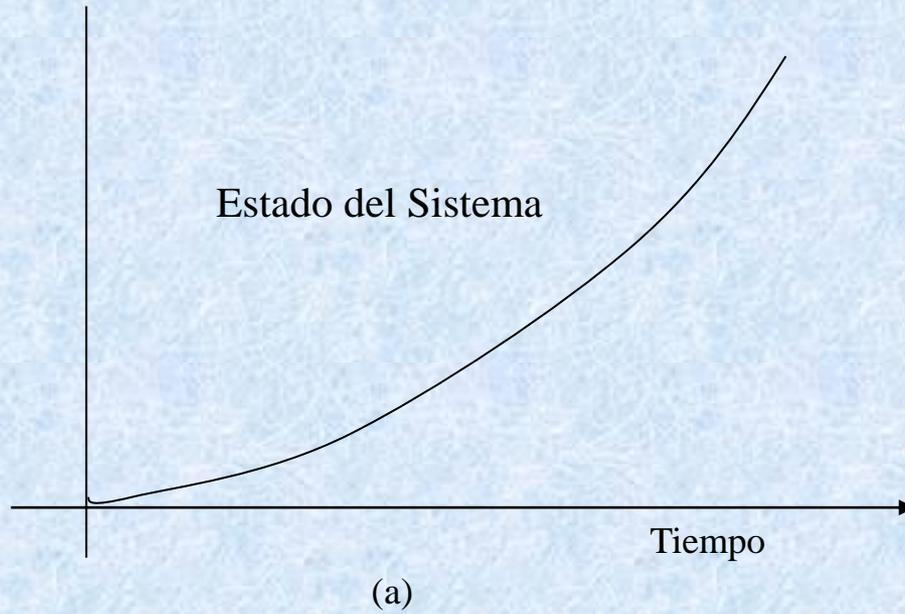


# Resistencia al cambio

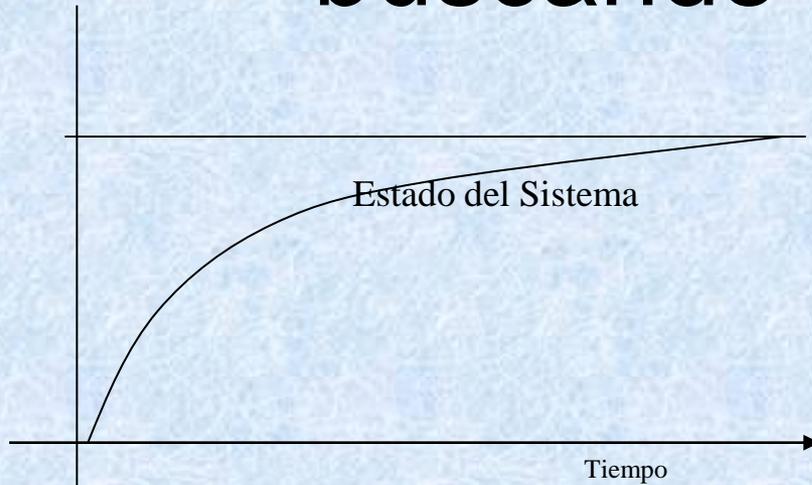
- Un **sistema joven** no ha realizado aún suficientes acciones correctoras de cambios anteriores y por lo tanto cualquier cambio no se enfrenta en principio a un rechazo inicial.
- Suele presentar Resistencia al Cambio no por hallarse quemado sino por pereza.
- Un **sistema viejo** ya ha sufrido cambios que han empeorado el Estado Real y ha tenido que realizar acciones para volver a situarse en su valor previo, por ello ha tenido un aprendizaje que le lleva a rechazar un nuevo cambio.
- El sistema esté quemado en mayor o menor grado.



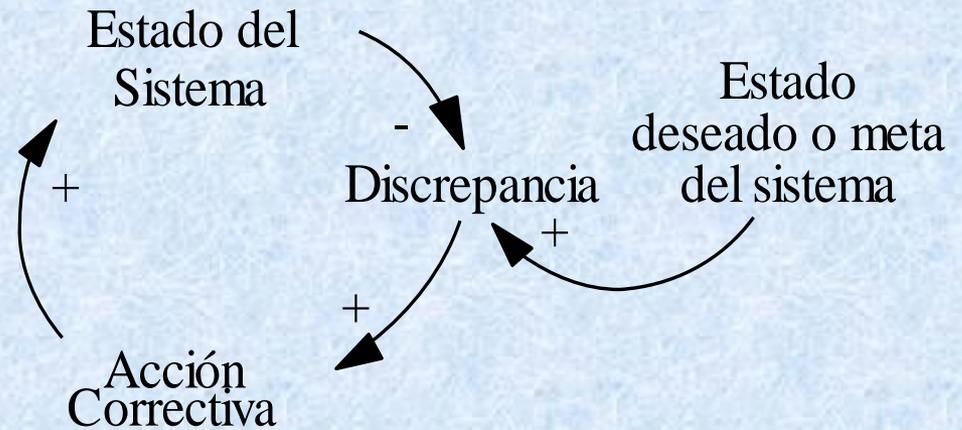
# Crecimiento exponencial



# Comportamiento asintótico – buscando una meta

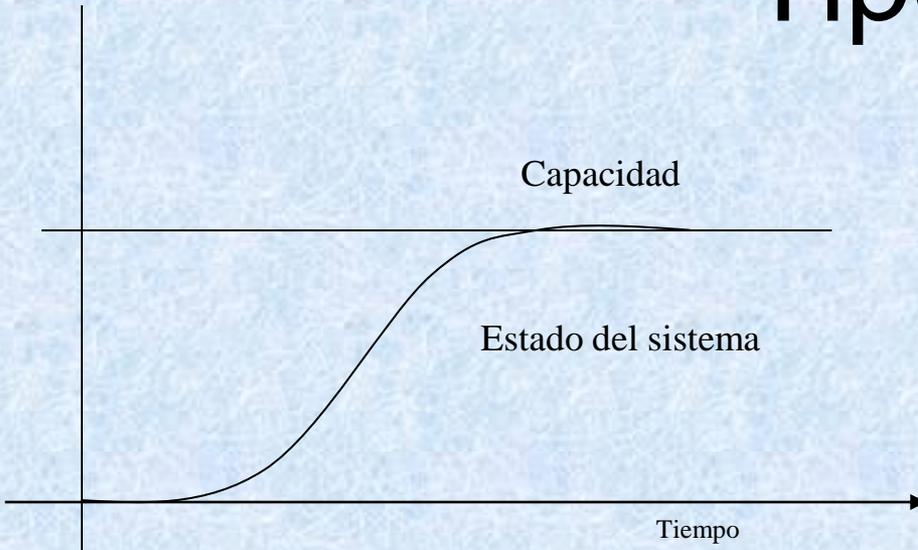


(a)

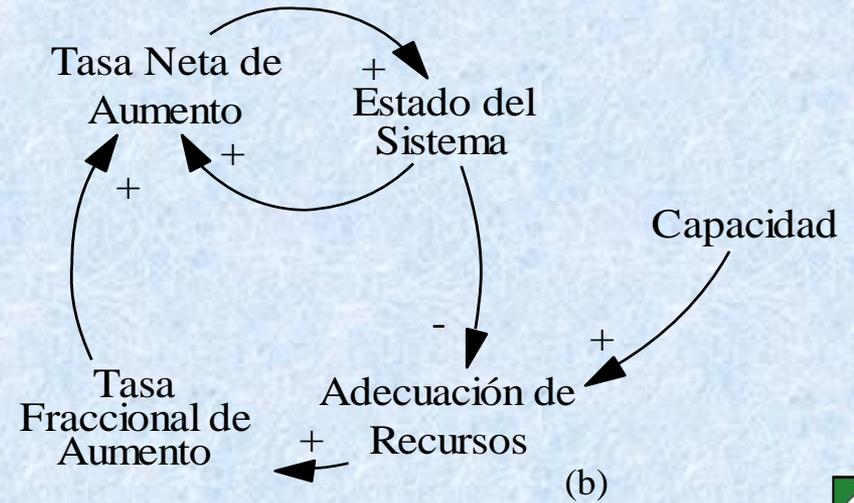


(b)

# Tipo S



a)

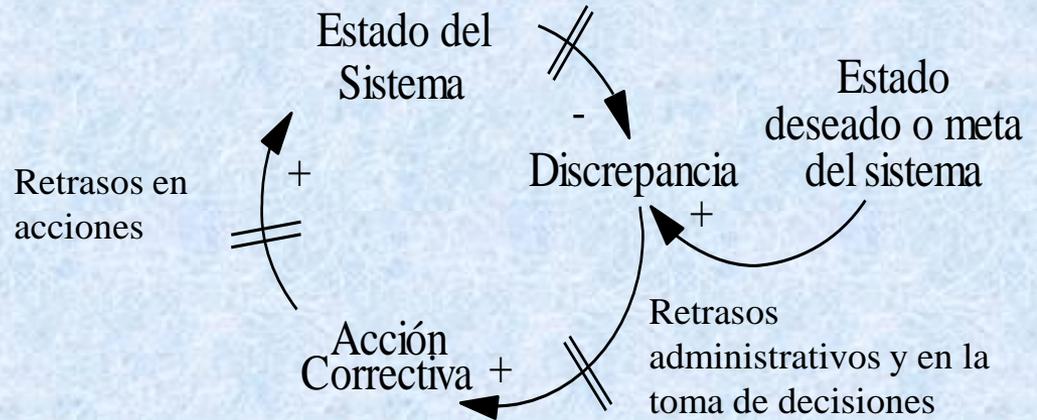


(b)

# Oscilante



a)

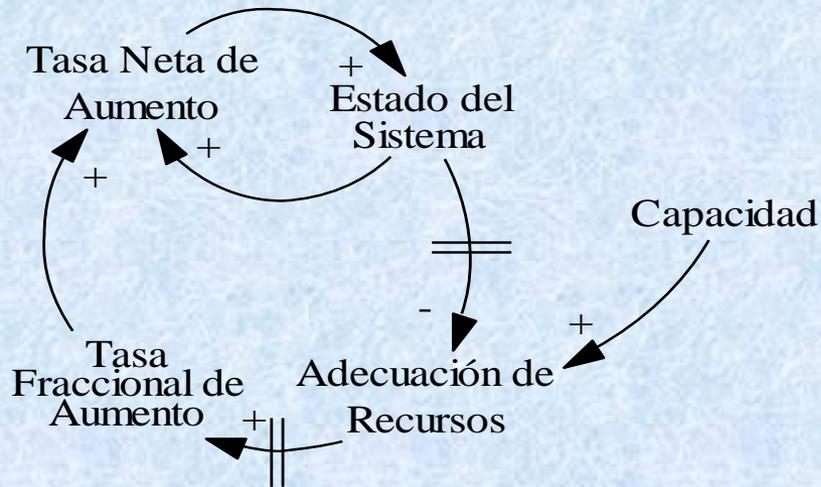


(b)

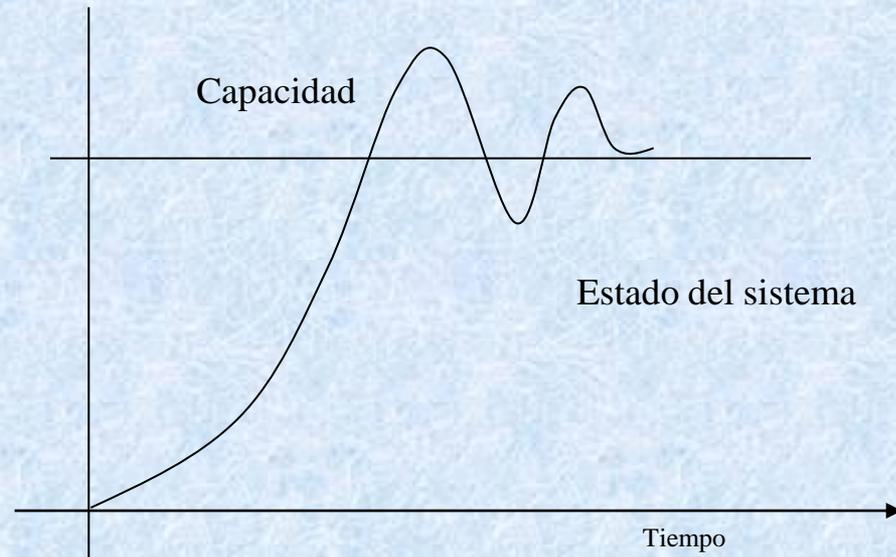
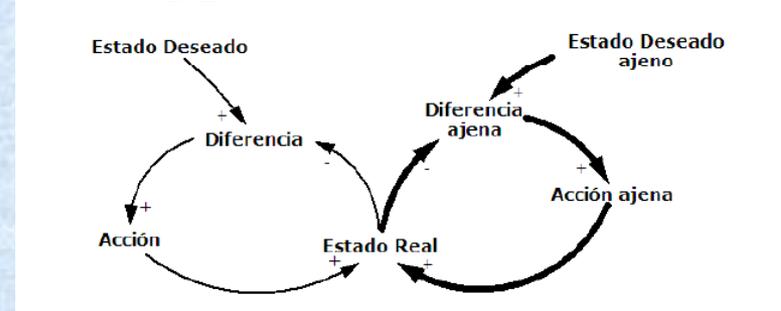
# Los atrasos

- Los retrasos generan inercia en los sistemas complejos. Además, pueden crear oscilaciones y son fuente de compromisos entre políticas de corto y largo plazo.
- Es importante mostrar en que relaciones se producen retrasos a fin de poder explicar y entender mejor el comportamiento del sistema.

# Tipo S amortiguado



(a)

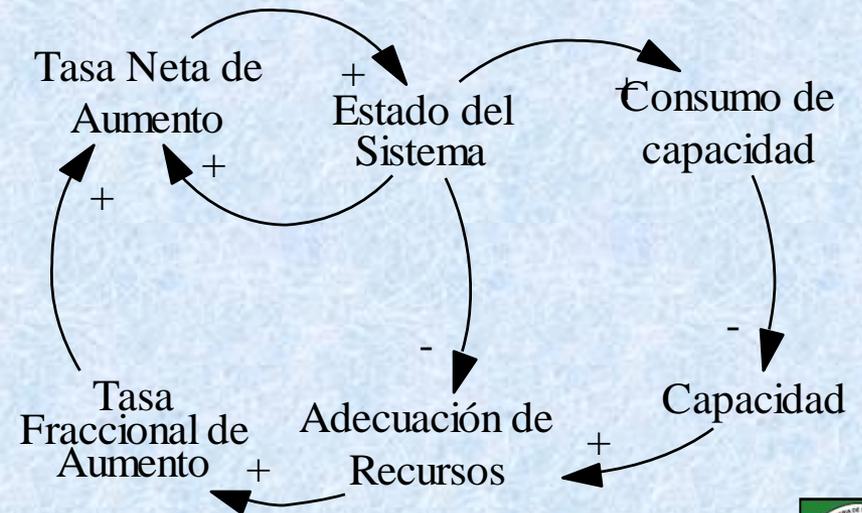


(b)

# Crecimiento y Colapso



(a)



b)

# Reglas de diagramado

- Utilizar líneas curvas, las que ayudan a visualizar mejor los lazos de retroalimentación.
- Los ciclos más importantes deben seguir ciclos ovalados o circulares.
- Tratar de evitar al máximo líneas cruzadas.
- Evitar al máximo símbolos en los diagramas, con la excepción de aquellos necesarios para aclarar bien los elementos.
- Seleccionar el nivel apropiado de agregación y detalle.
- Dividir diagramas complejos en diagramas más sencillos.
- Utilizar sustantivos o frases cortas como nombre de las variables
- Hacer las metas en los ciclos negativos explícitas.



# Recomendaciones para el diagramado

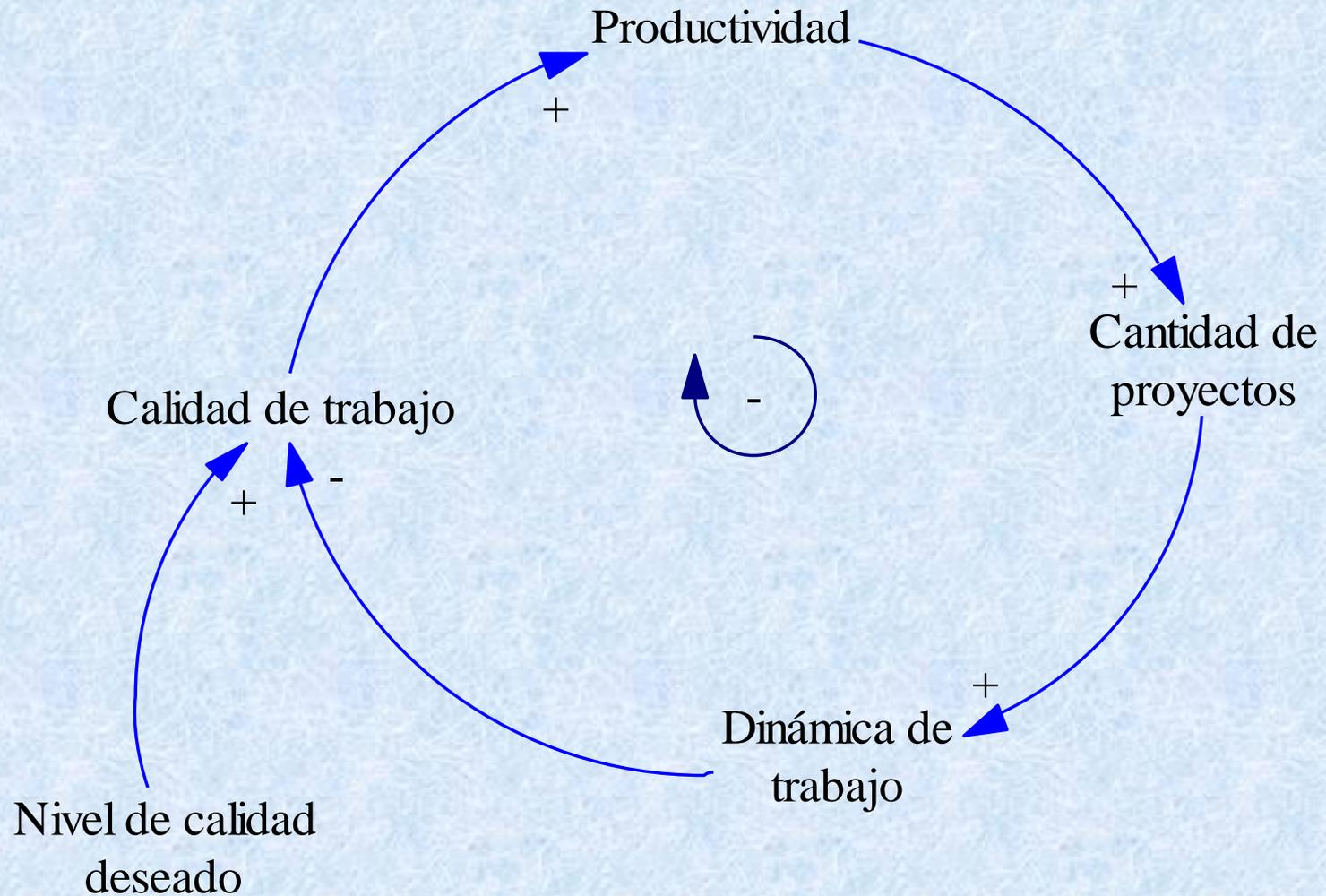
- Modelar en base a relaciones causales y no correlaciones
- Definir y poner las reglas de polaridad
- Poner nombres y números a los bucles
- Indicar las demoras
- Dar nombre de sustantivos con sentido positivos a las variables
- Arreglar el diagrama tantas veces como sea necesario para su legibilidad
- Adaptar el nivel de agregación a la conveniencia del lector.
- Presentar  $7 \pm 2$  detalles.
- Explicitar las metas en los bucles negativos
- Distinguir entre las metas reales y las percepciones

# Errores más comunes

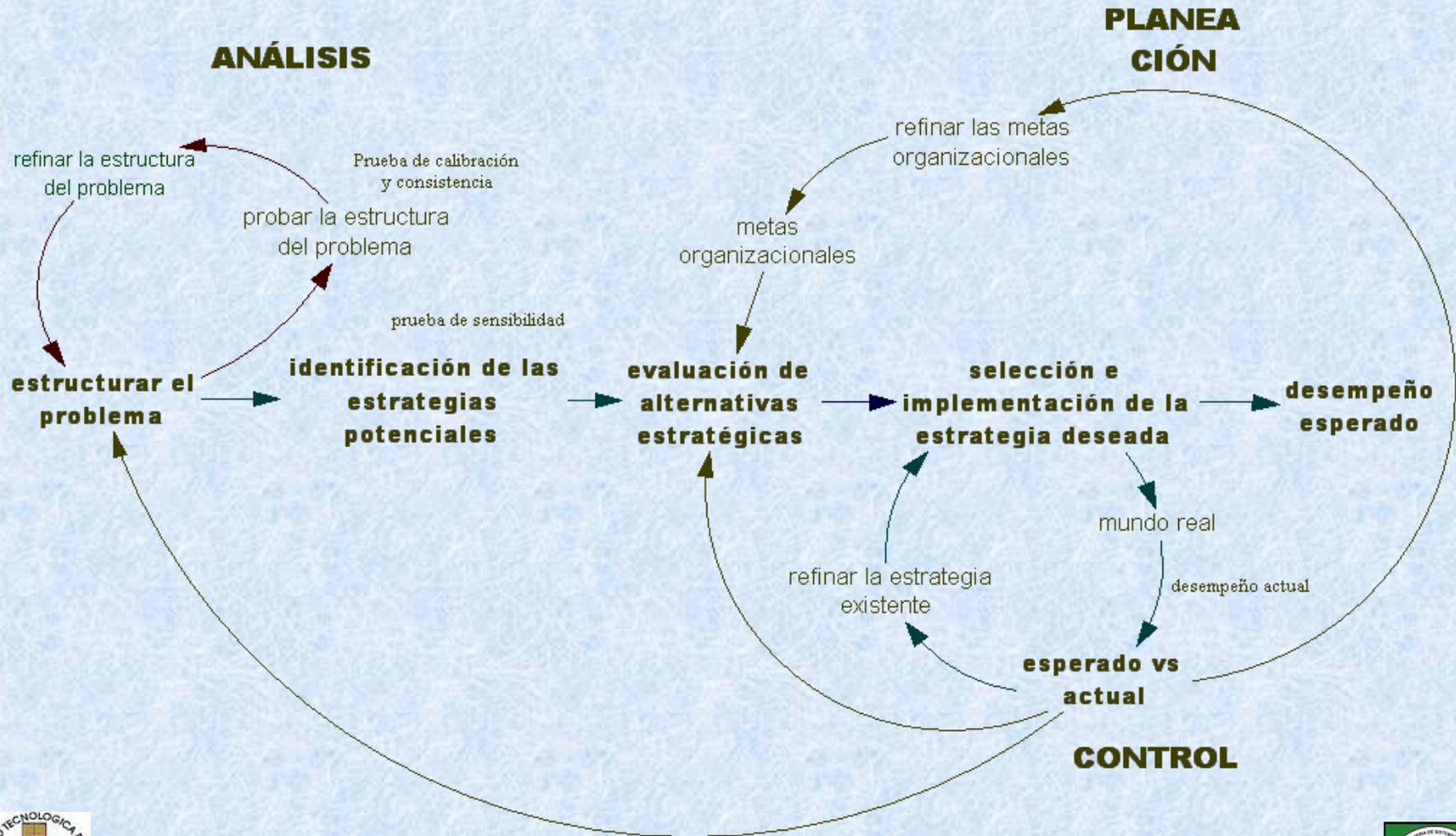
- **Uso de variables no cuantificables:** se suelen bautizar las variables con nombres que no sugieren cantidad.
- **Variables que incorporan la polaridad:** se da cuando el nombre de la variable tiene un verbo que sugiere su incremento o decremento.
- **Relación de variables vs. Hipótesis dinámica:** surge cuando se relacionan variables, y hasta se logra plantear ciclos, pero en realidad esta relación no está explicando nada del fenómeno en cuestión.
- **Causalidades redundantes:** se presenta cuando se plantean causalidades para lograr efectos que otras causalidades ya lograron.
- **Nivel de agregación: por exceso o por defecto:** Se hacen diagramas muy grandes y detallados para situaciones muy simples, o diagramas muy pequeños para situaciones complejas.
- **Diagramas causales sin dinámica:** cuando se hace un diagrama causal en el cual los ciclo carecen de relaciones que permitan la realimentación.



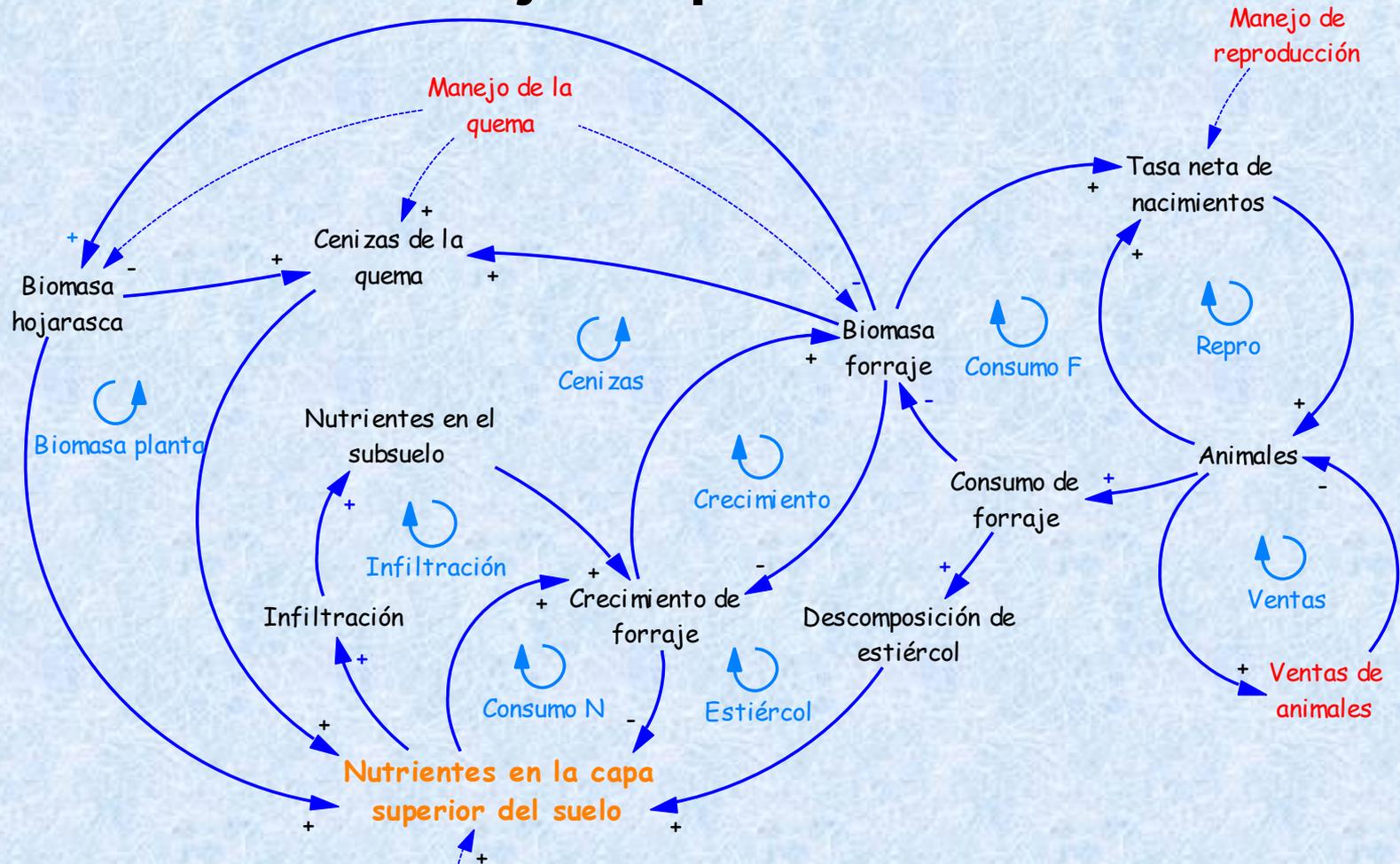
# Ejemplo 1



# Ejemplo 2

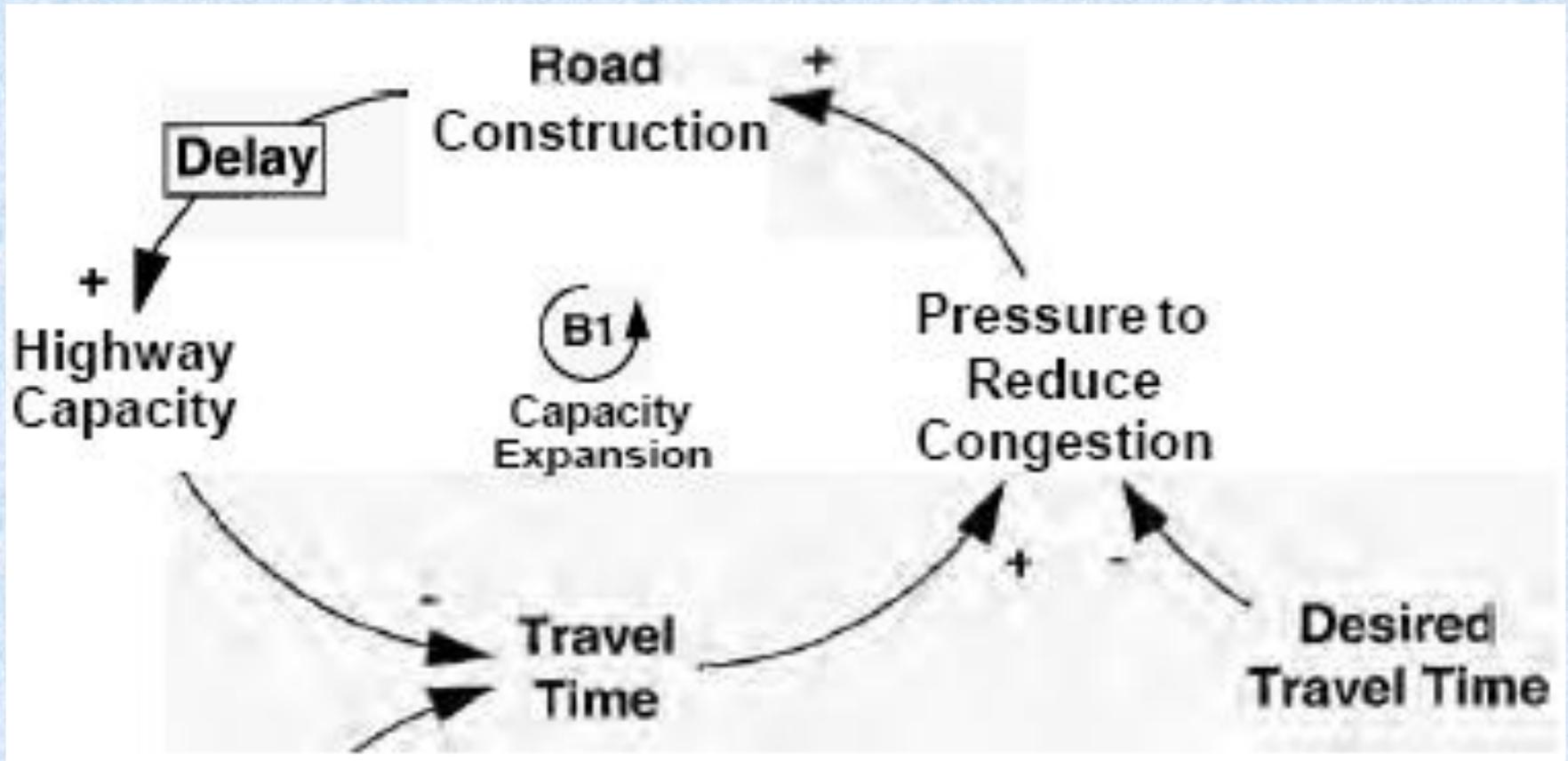


# Ejemplo 3

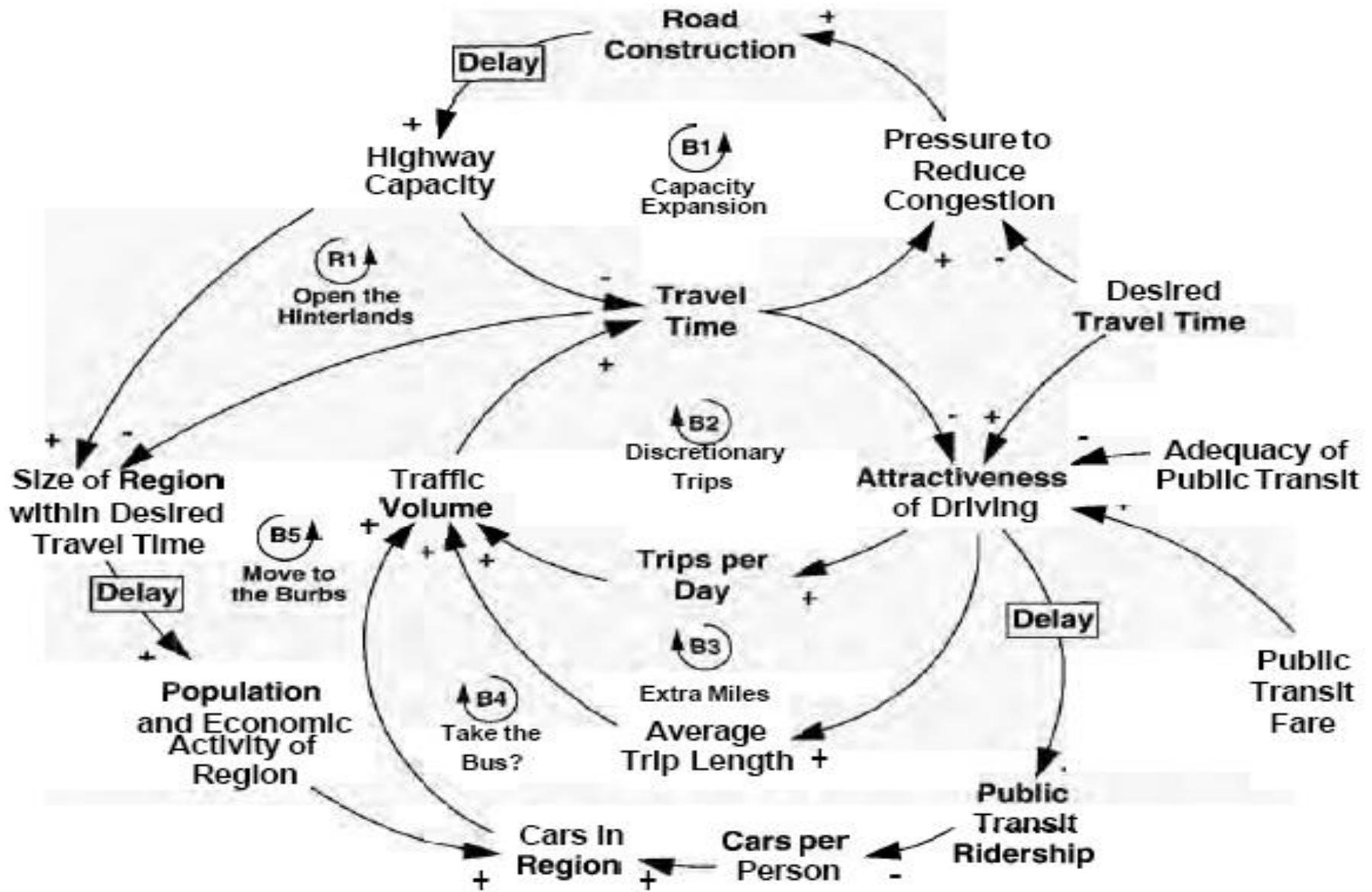


# Ejemplo 4

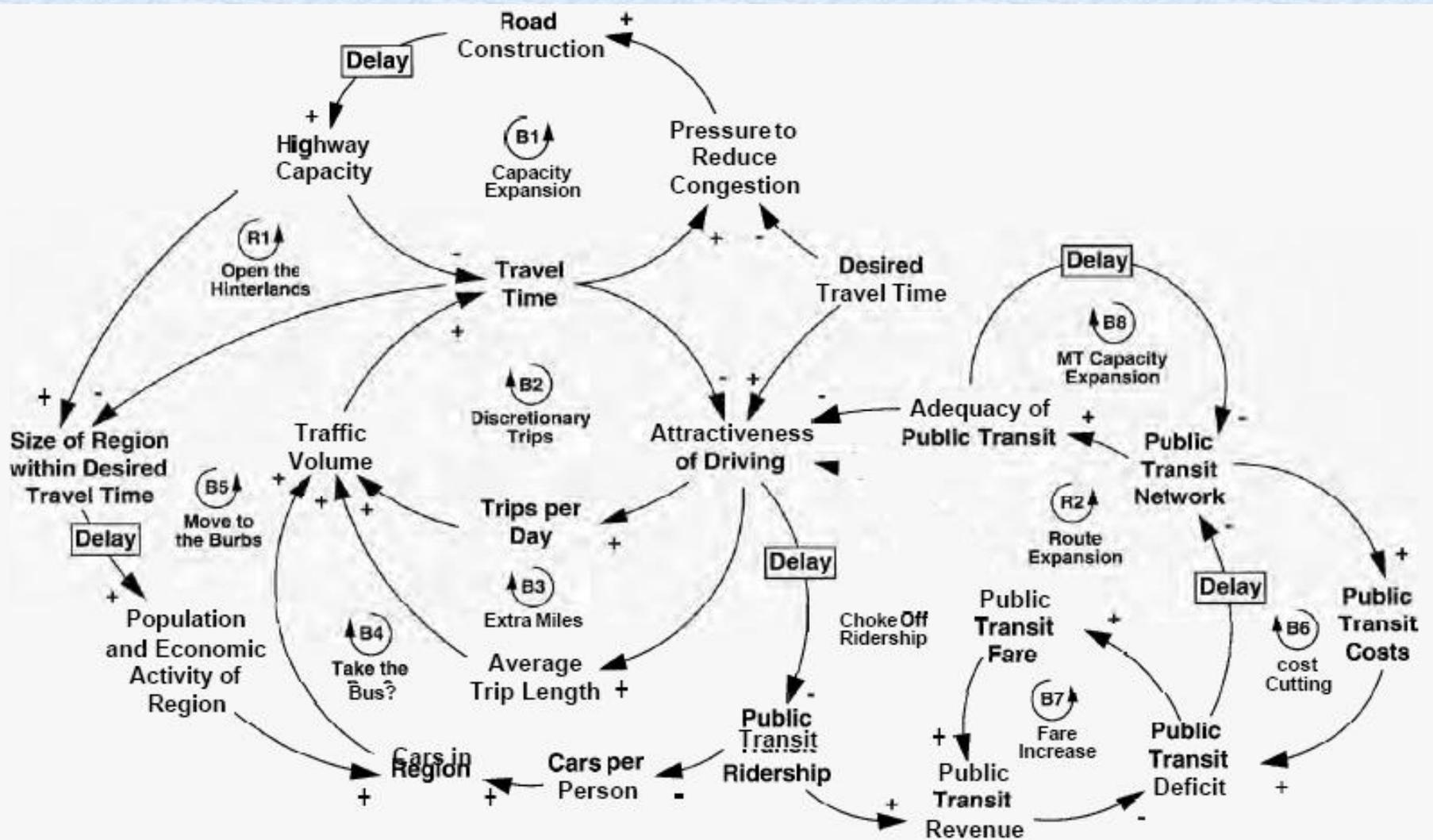
## El problema del transporte (Sterman, 2000)



Los tranques hacen que se construyan más carreteras lo que disminuye la congestión al permitir aumentar la capacidad



Al aumentar la capacidad y reducir el tiempo de trafico, aumenta el tamaño de la región accesible y por lo tanto aumenta el trafico



Al aumentar la región poblada accesible, la adecuación del transporte público declina