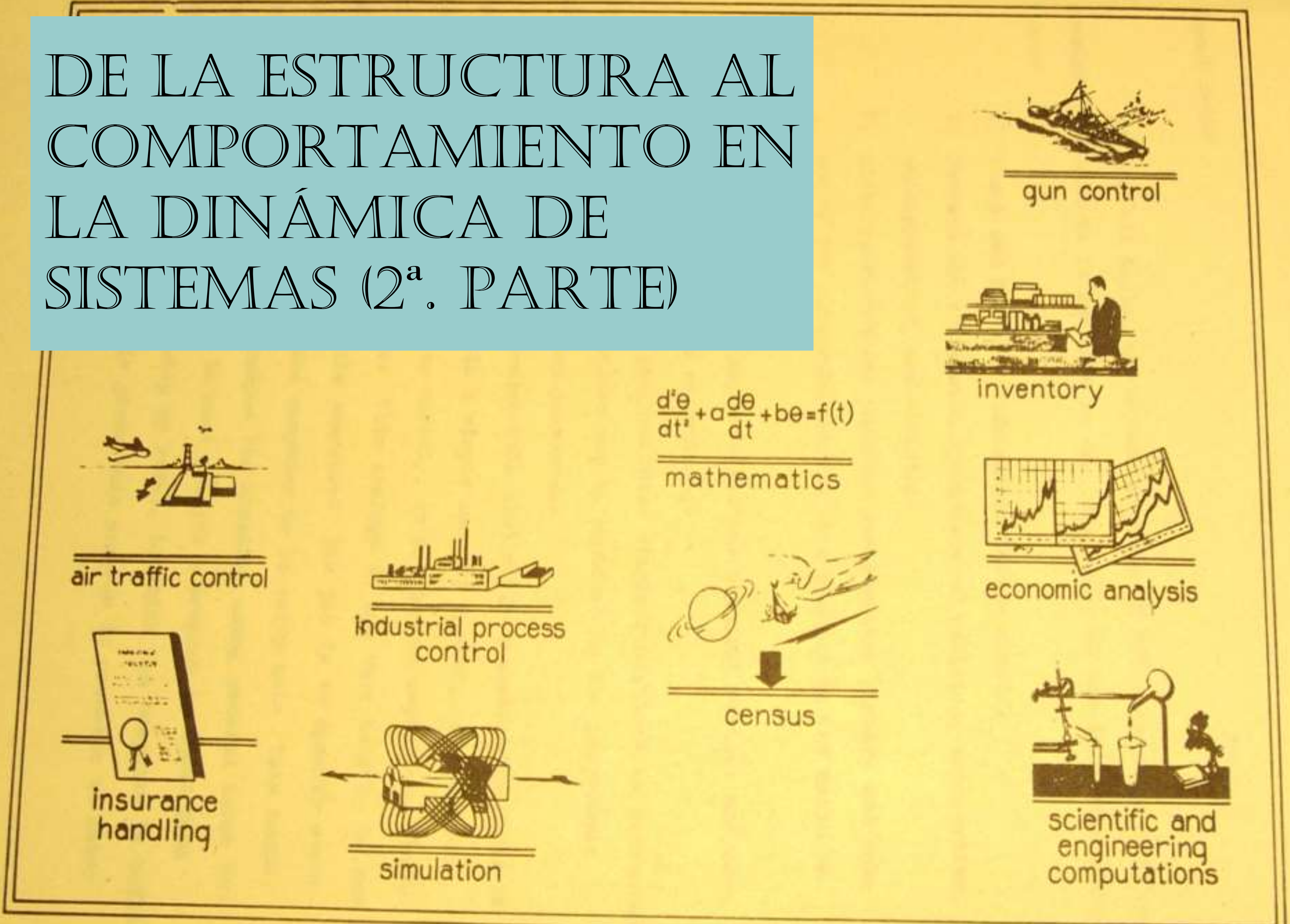
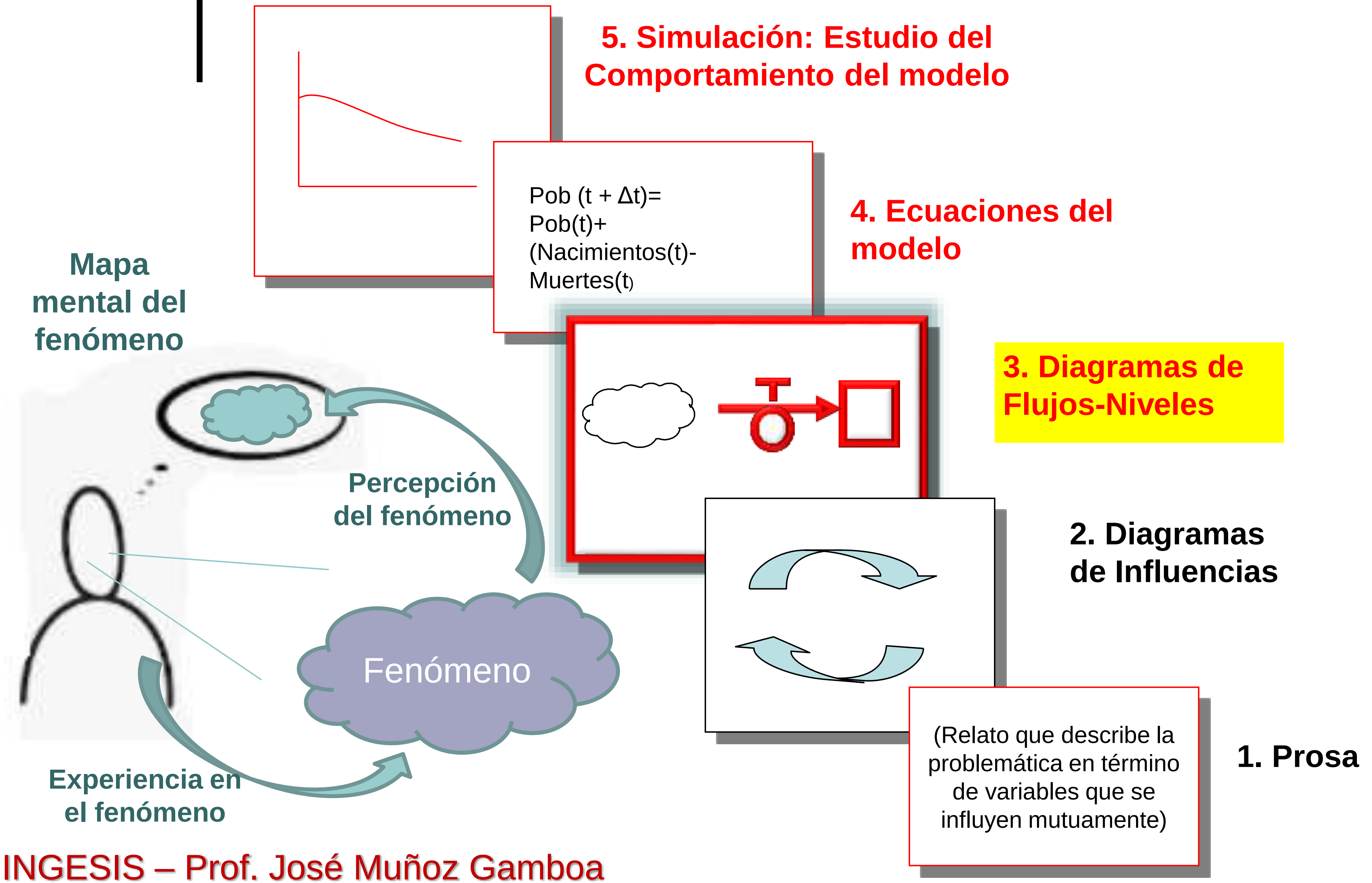
De la estructura al comportamiento en la dinámica de sistemas (2ª. parte)



3. Diagramas de Forrester o de Flujo-Nivel

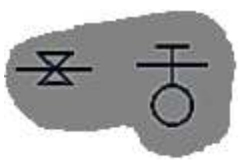


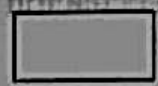
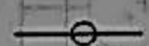
3. Diagramas de Flujo-Nivel o Diagramas de Forrester

- Los *diagramas de Forrester* (o de flujo-nivel) permiten reelaborar los *diagramas de influencias* para convertirlos en objetos matemáticos más ricos, los que programados en un computador permiten generar las trayectorias (evolución temporal) de las variables que representan el *comportamiento dinámico* de los modelos (y, por ende, se espera, comprender mejor el comportamiento dinámico del fenómeno bajo estudio).
- → Cumplen un objetivo epistemológico

Símbolos originales utilizados en los diagramas de *Forrester*

Algunos símbolos alternativos



	*Nube:*	representa una fuente o un pozo; puede interpretarse como un nivel que no tiene interés y es prácticamente inagotable.
	*Estado:*	representa una acumulación de un flujo.
	*Flujo:*	variación de un nivel; representa un cambio en el estado del sistema.
	*Canal de material:*	canal de transmisión de una magnitud física que se conserva.
	*Canal de información:*	canal de transmisión de una cierta información, que no es necesario que se conserve.
	*Variable auxiliar:*	una cantidad con un cierto significado físico en el mundo real y con un tiempo de respuesta instantáneo.
	*Constante:*	un elemento del modelo que no cambia de valor.
	*Retraso:*	un elemento que simula retrasos en la transmisión de información o de material.
	*Variable exógena:*	variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema.

Ejemplo de una representación con múltiples variables:

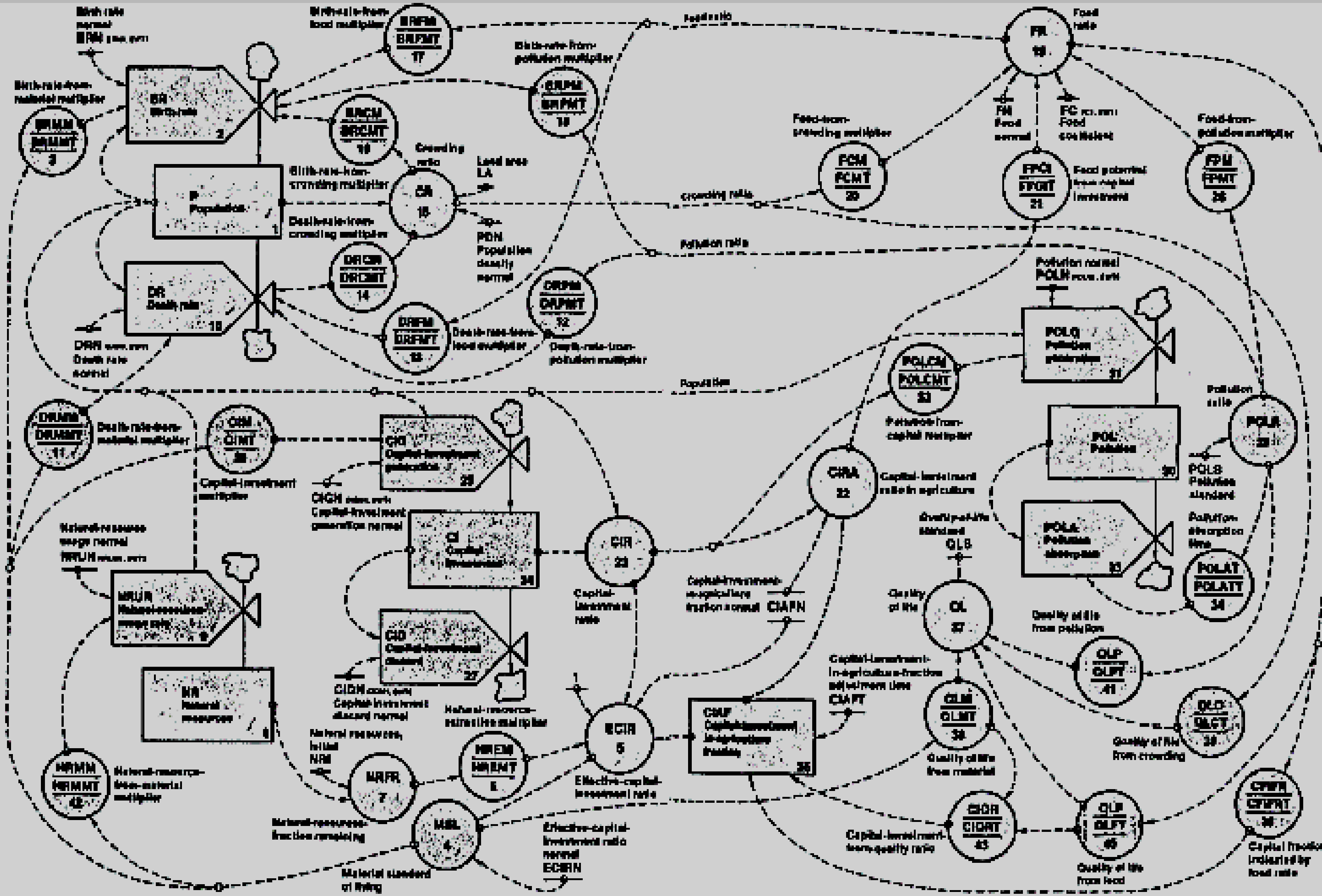
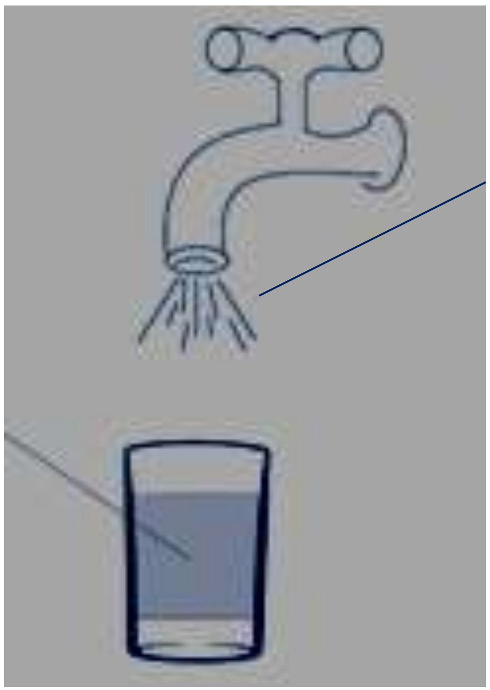


Figure 3-1 Complete diagram of the world model interrelating the five level variables — population, natural resources, capital investment, capital-investment-in-agriculture fraction, and pollution.

Metáfora básica del diagrama de flujo-nivel: hidráulica

Visión de lazo abierto



Flujo (F)

Nivel (X)

Flujo de agua $\xrightarrow{+}$ **Nivel**

Relación trivial:

La variación de x con respecto al tiempo (dx/dt) es un flujo F (→ variable de flujo) que influye en el crecimiento (acumulación) de la variable x (→ variable de nivel, variable de estado).

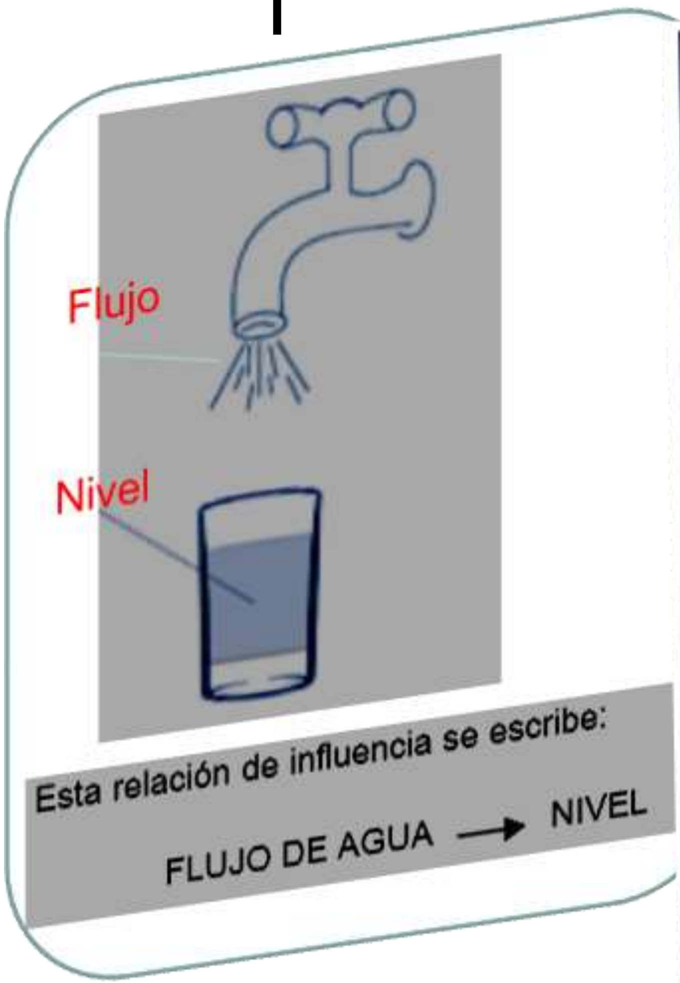
$$F = \frac{dx}{dt} \rightarrow x$$

De donde:

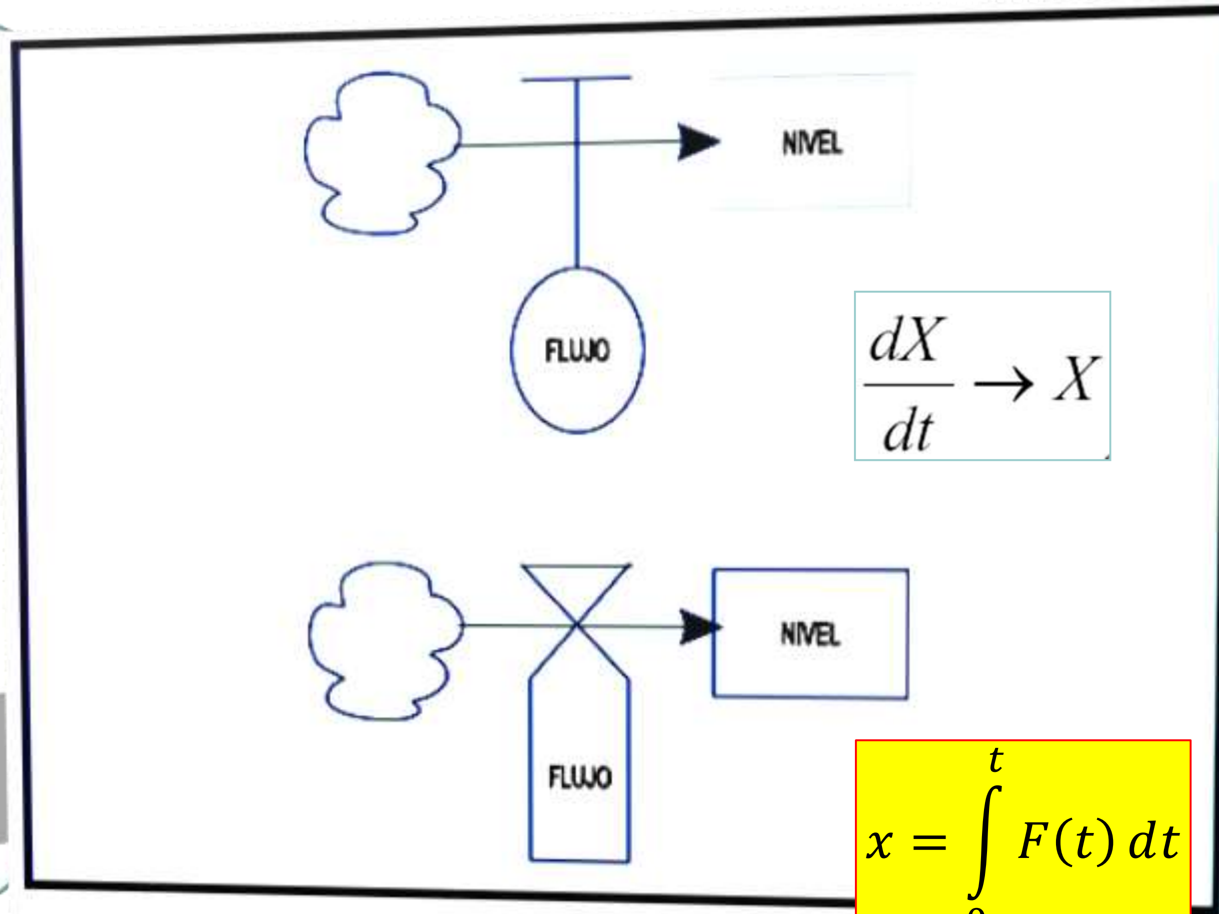
$$\boldsymbol{x = \int_0^t F(t)\,dt}$$

Tarea: Graficar x(t)

Diagrama de flujo-nivel y modelo matemático básicos



Visión de lazo abierto



$$\frac{dX}{dt} \rightarrow X$$

$$x = \int_0^t F(t)\, dt$$

Figura 13. - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS VARIABLES DE NIVEL Y DE FLUJO EN EL DIAGRAMA DE FORRESTER -

Diagrama de influencias metáfora hidráulica (visión de lazo cerrado)

Visión más realista del llenado de un vaso

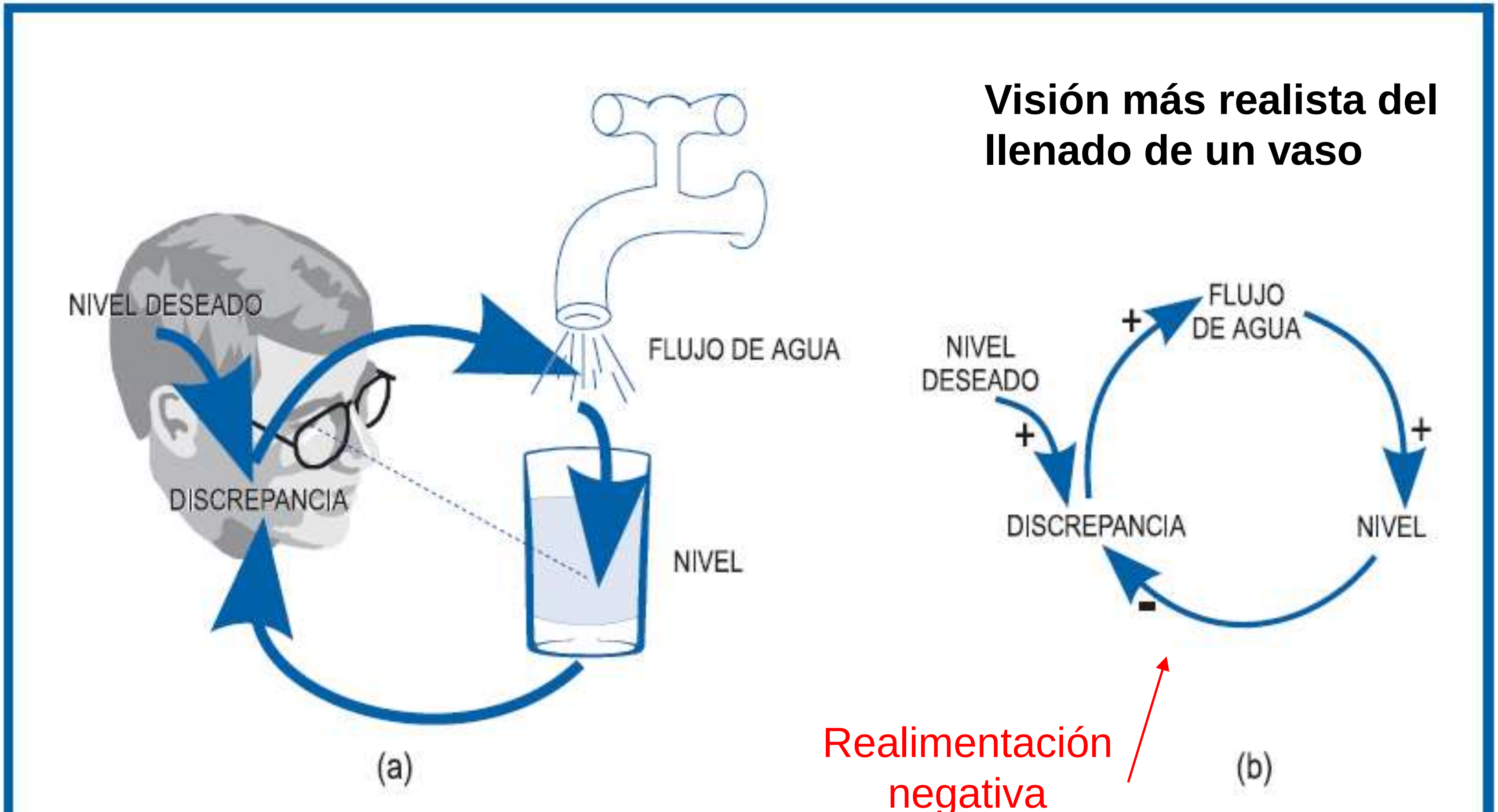
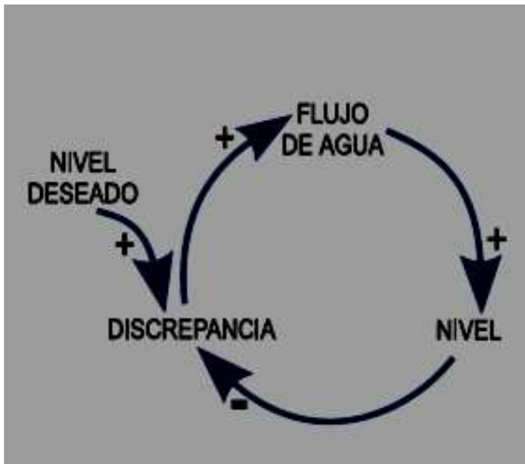


Figura 3. - DIAGRAMA BÁSICO DEL PROCESO DE LLENAR UN VASO DE AGUA: (a) CON UN GRAFO ORIENTADO; (b) CON UN GRAFO SIGNADO -

Paso 3.- Diagrama de Forrester



$$x = \int_0^t F(t)\,dt$$

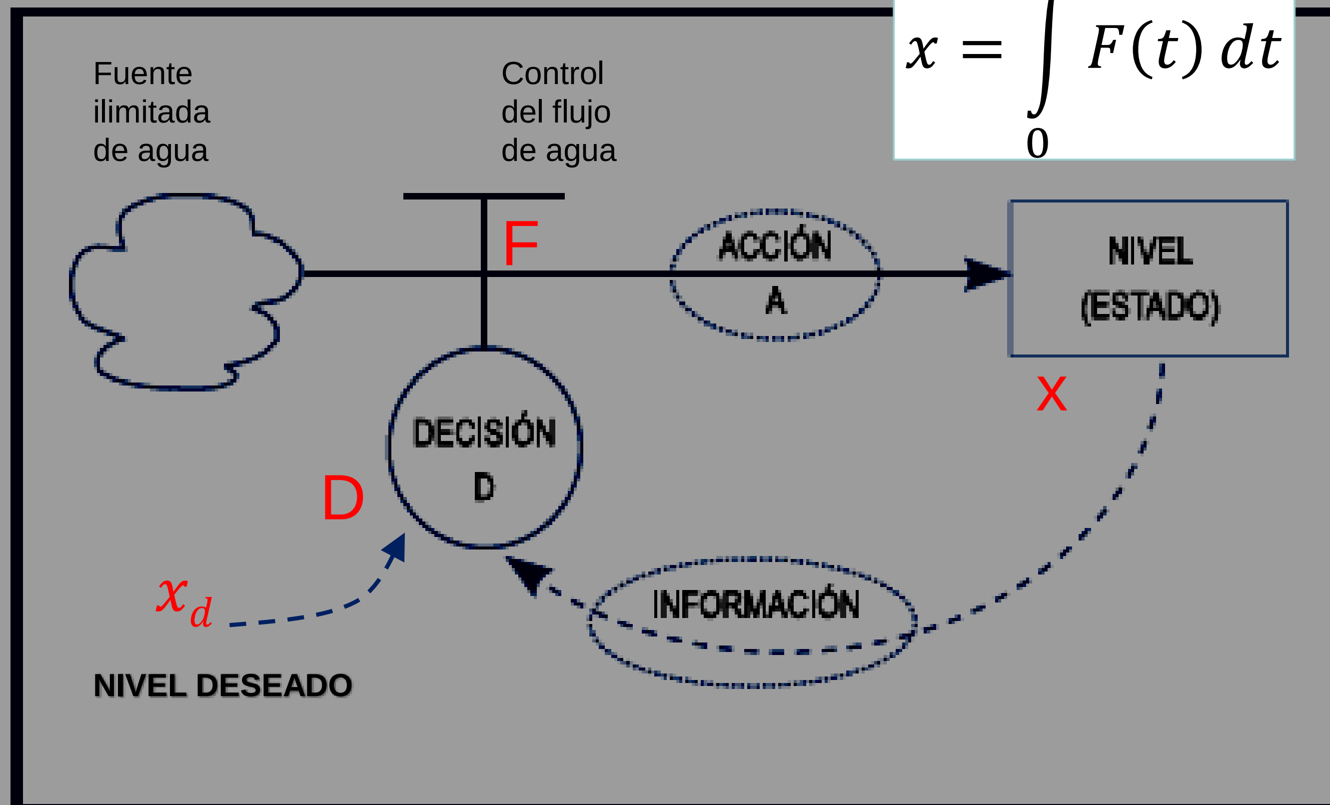
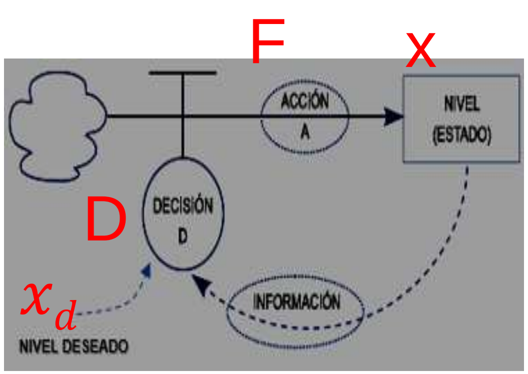


Figura 20. - INTERPRETACIÓN MEDIANTE FLUJOS Y NIVELES DEL PROCESO BÁSICO DE TOMA DE DECISIONES -

Paso 4. Modelo matemático

X_d (constante)



$$x = \int_0^t F(t)\,dt \quad (1)$$

$$F = kD$$

$$D = xd - x$$

$$F = k(x_d - x)$$

$$F = -kx + kxd \quad (2)$$

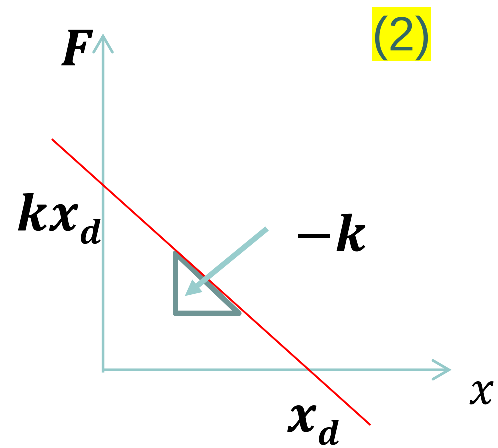
De (1) y (2)

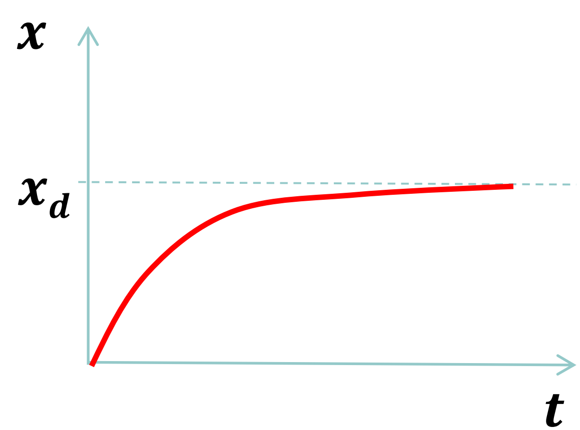
$$\frac{dx}{dt} + kx = kx_d$$

(Ec. Diferencial de primer orden)

Tarea: Demostrar que:

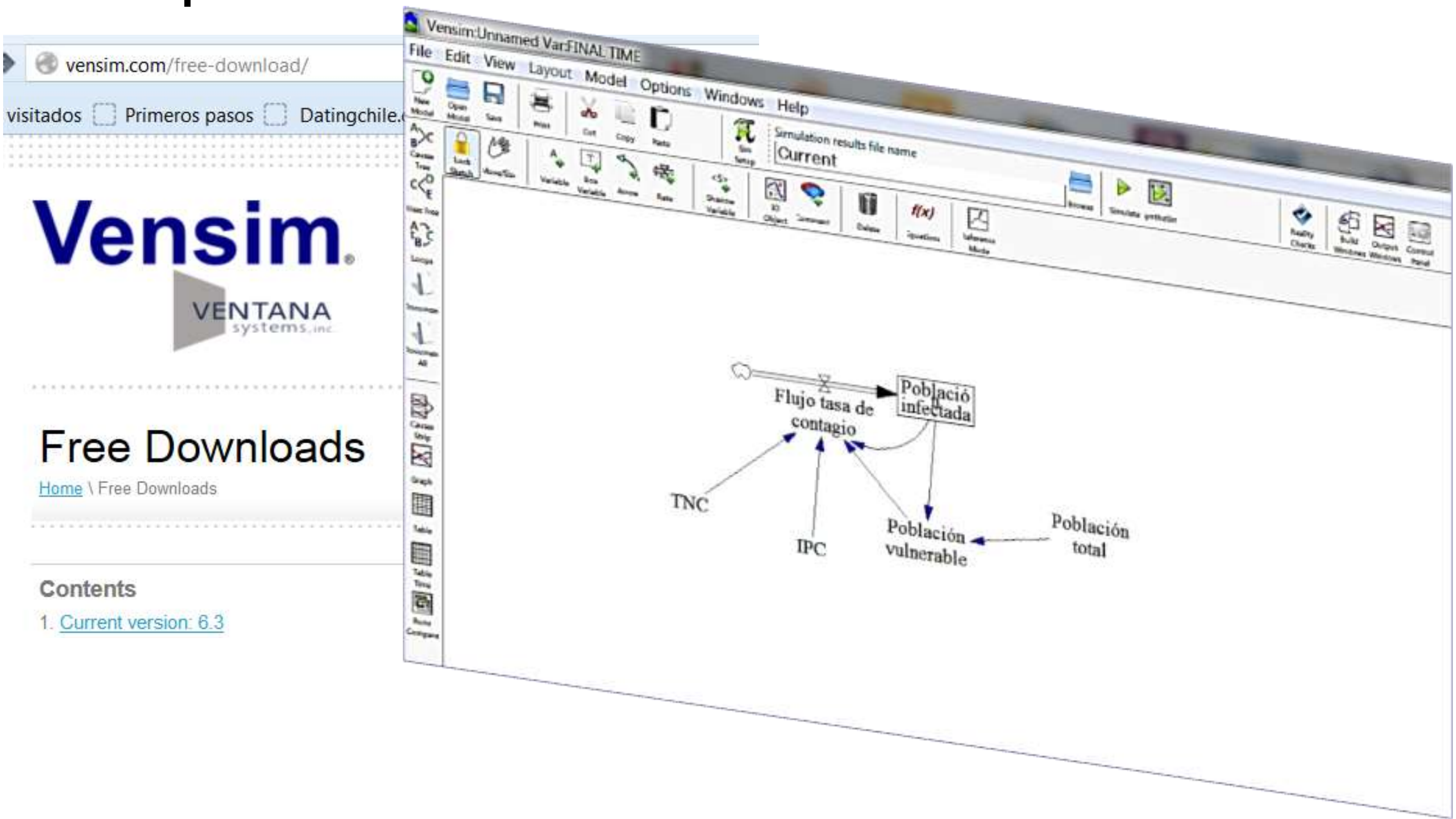
$$x(t) = x_d\left(1 - e^{-kt}\right)$$



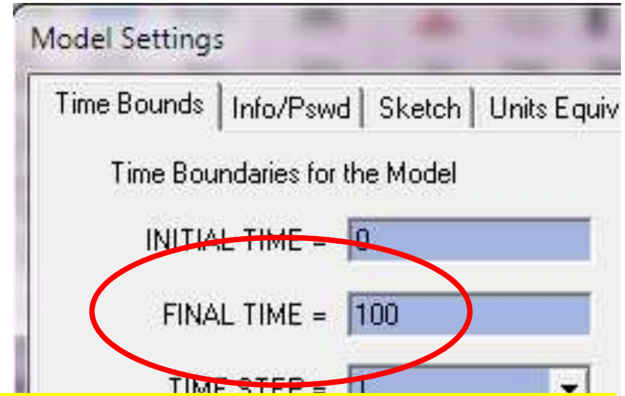


¡Observe la importancia de k en el modelo!

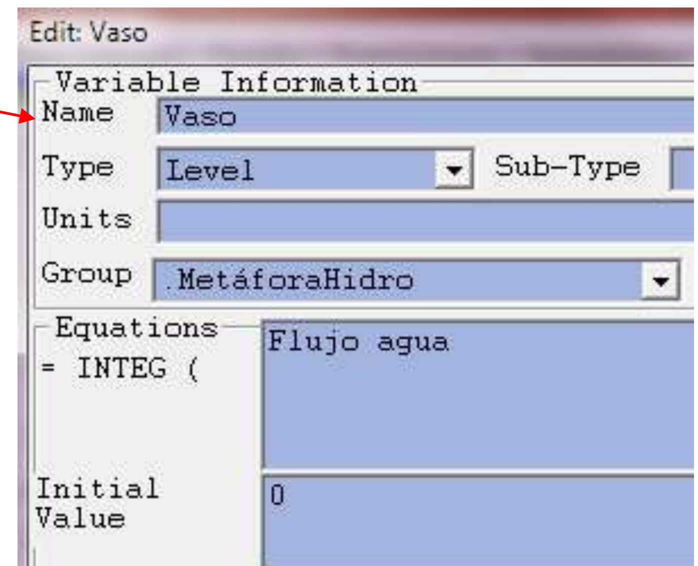
Paso 5. Simulación: Verificación del Comportamiento del Modelo.



Construcción del modelo y ajustes



Aumentado para observar mejor el efecto del lazo cerrado



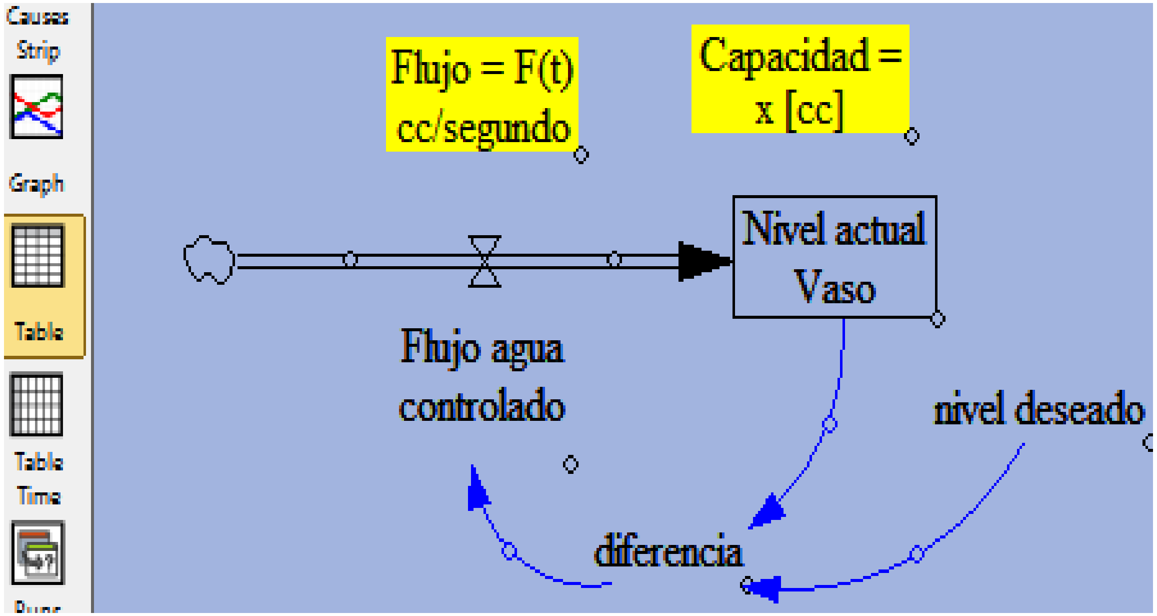
Para las otras variables (con x_d = contante) considere que:

$$F = kD$$

$$D = x_d - x$$

Para la primera simulación considere k = 0,1= constante

Simulación y verificación del modelo



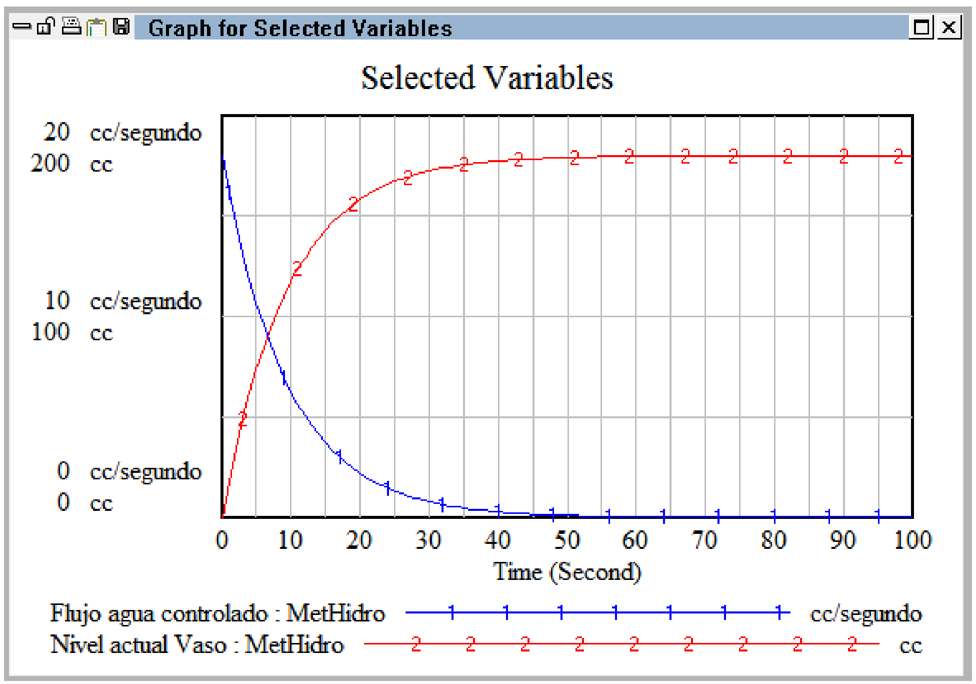
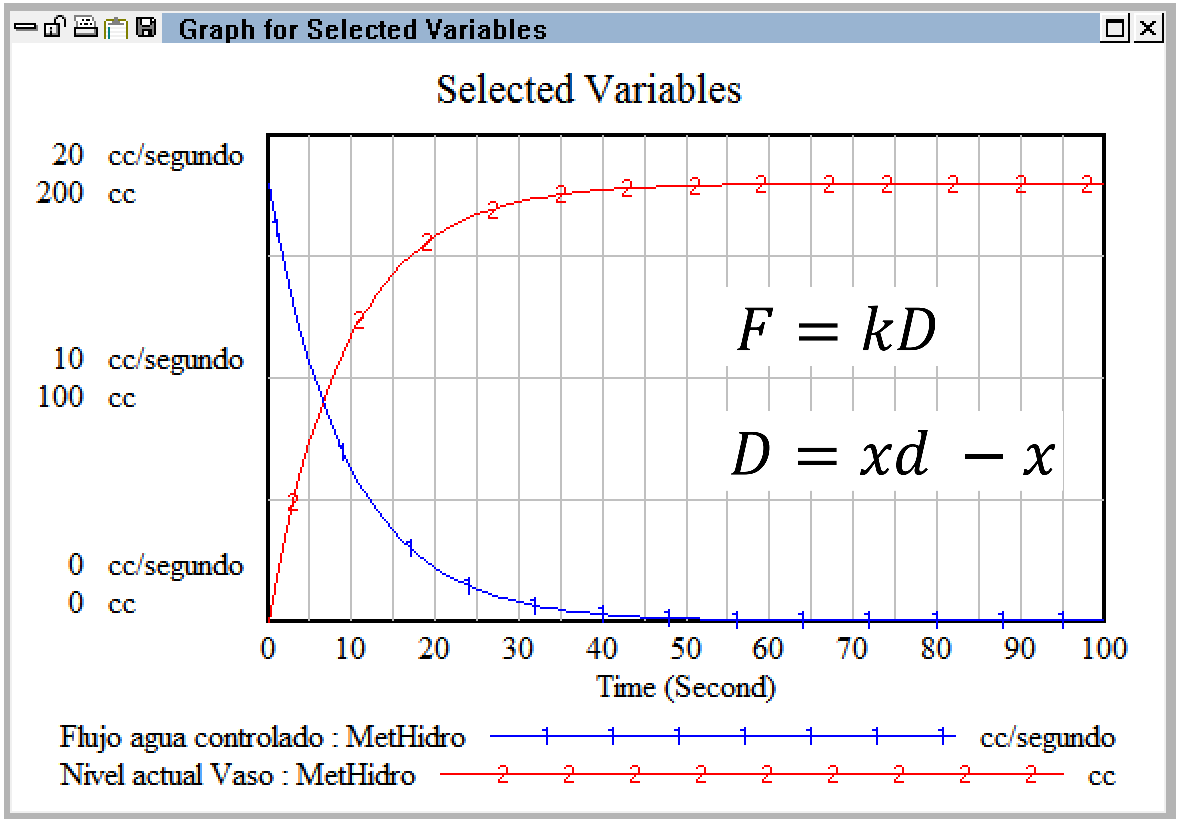


Table Time Down

Time (Secon	Selected	Flujo agua contr	Nivel actua
0	Variables	18	0
1	Runs:	16.2	18
2	MetHidro	14.58	34.2
3		13.122	48.78
4		11.8098	61.902
5		10.6288	73.7118
6		9.56594	84.3406
7		8.60934	93.9066
8		7.74841	102.516
9		6.97357	110.264
10		6.27621	117.238
11		5.64859	123.514
12		5.08373	129.163
13		4.57536	134.246
14		4.11782	138.822
15		3.70604	142.94
16		3.33544	146.646
17		3.00189	149.981
18		2.7017	152.983
19		2.43153	155.685
20		2.18838	158.116
21		1.96954	160.305
22		1.77259	162.274
23		1.59533	164.047
24		1.4358	165.642
25		1.29222	167.078
26		1.16299	168.37
27		1.04669	169.533
28		0.942026	170.58

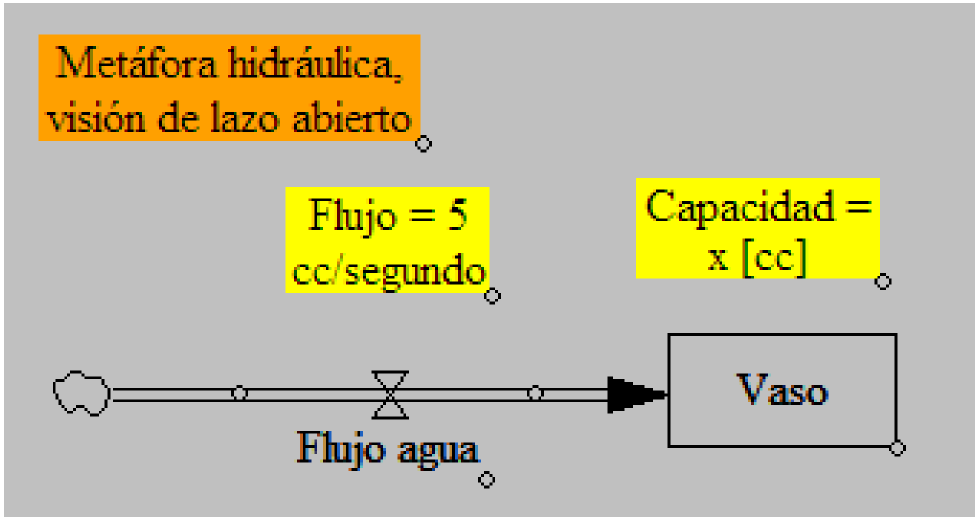


Simulación y verificación del modelo

1. La simulación se ha realizado para $x_d = 180$. De las curvas, verifique el valor (aproximado) de k. Realice pequeñas variaciones de k y verifique el efecto que tiene sobre el flujo y, por ende, sobre el nivel
2. Considere $x_d = 200$. Si el vaso tiene una capacidad de 200 cc ¿en cuanto tiempo estará lleno? (Verifique en el gráfico y en Table).
3. Si $x_d > 200$ ¿Qué pasa con el agua en exceso sobre la capacidad del vaso? Mejore el modelo para medir esa cantidad y simule nuevamente.
4. ¿Qué pasa si el vaso tiene inicialmente 50 cc? Verifique sus conclusiones

TRABAJO PERSONAL

Trabajo personal:



1. Para la visión de lazo abierto intuya cómo será la gráfica de x.
2. Simule el proceso de llenado del Vaso en lazo abierto, para x_d= 200 y un Flujo de 5 cc/seg.¿En qué tiempo se llena el estanque?
3. Revise gráficos y tablas y verifique sus conclusiones.
4. Simule un retardo de 20 seg en la apertura de la llave (válvula) que controla el flujo de agua.

Ej.: proceso de propagación de una infección en una población inicialmente sana

Paso 1: Prosa

- ***“Una población sufre el efecto de una epidemia a la que se asigna una <u>tasa de contagio</u> de modo que la enfermedad se va propagando hasta infectar a toda la población.”***
- **<u>El modelo asume las siguientes hipótesis</u>**:

1. La población se mantiene constante; es decir, el efecto neto de nacimientos, defunciones y fenómenos migratorios es nulo.
2. La enfermedad es lo suficientemente suave como para que los enfermos no dejen de hacer una vida normal. Además, éstos no se curan completamente durante el período que dura la epidemia.
3. La población enferma y sana se mezclan homogéneamente.

- *Argumentos del investigador para justificar tales hipótesis*

1. Es una “reducción” consciente y necesaria, para investigar la tendencia de la epidemia a partir sólo de la tasa de contagio.
2. Así se evita la “reinfección” y, por lo tanto, un sujeto no es considerado más de una vez.
3. Si los contagiados se aislaran no contagiarían a sujetos sanos. No obstante, sabemos, esto no sucede por diversas razones.

Paso 2.- **Diagrama de Influencias**:

El Diagrama muestra las relaciones entre variables y pone de manifiesto una **estructura con dos bucles de retroalimentación.**

- En el modelo aparecen los **parámetros** (ctes.) **Porcentaje Contactos Diarios y Tasa Normal de Contagios** los cuales se eligen para que el modelo se refiera a una situación concreta.

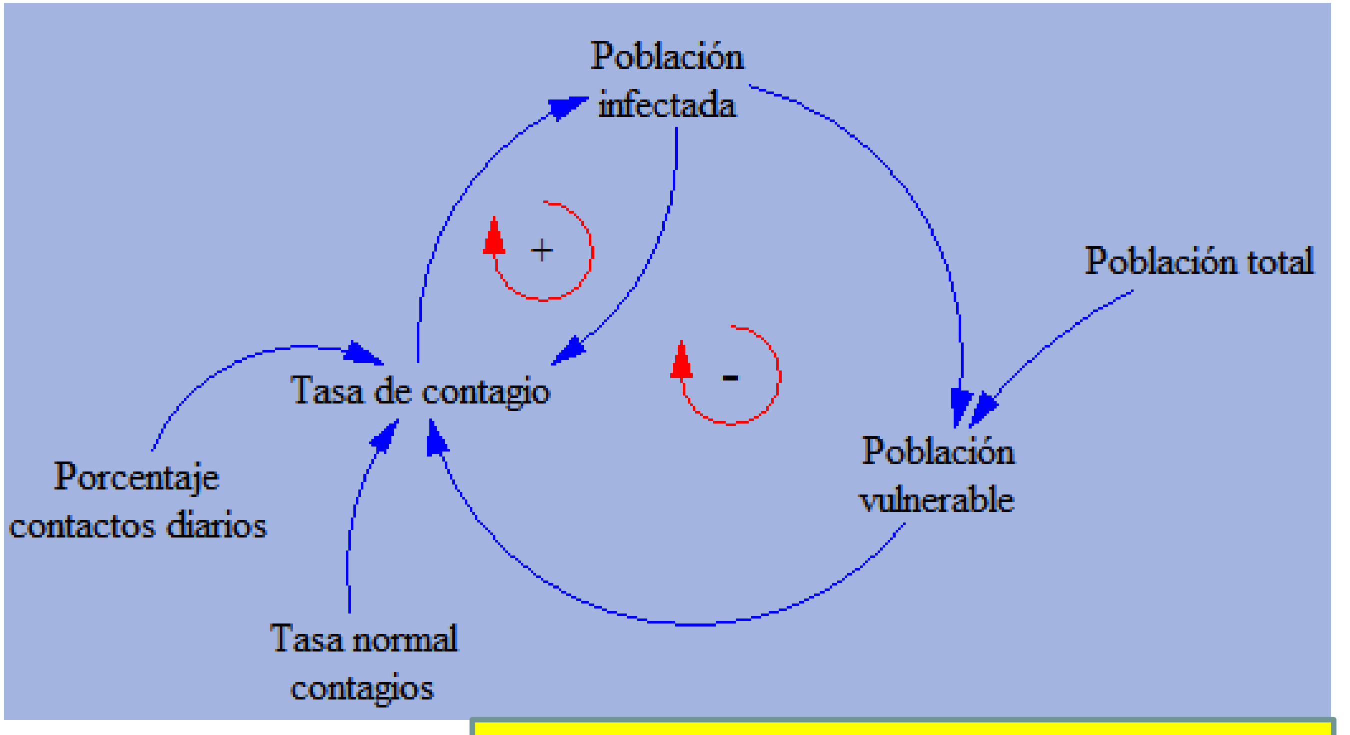
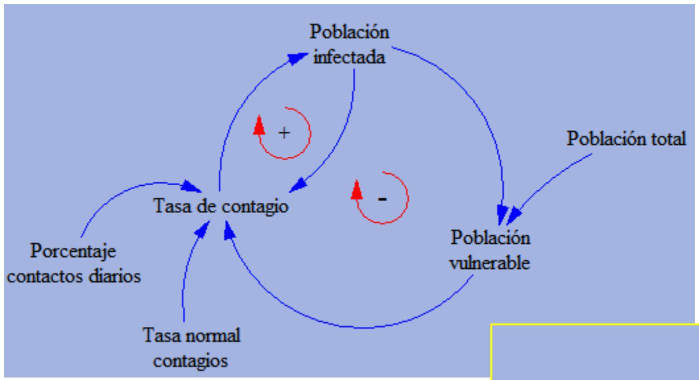


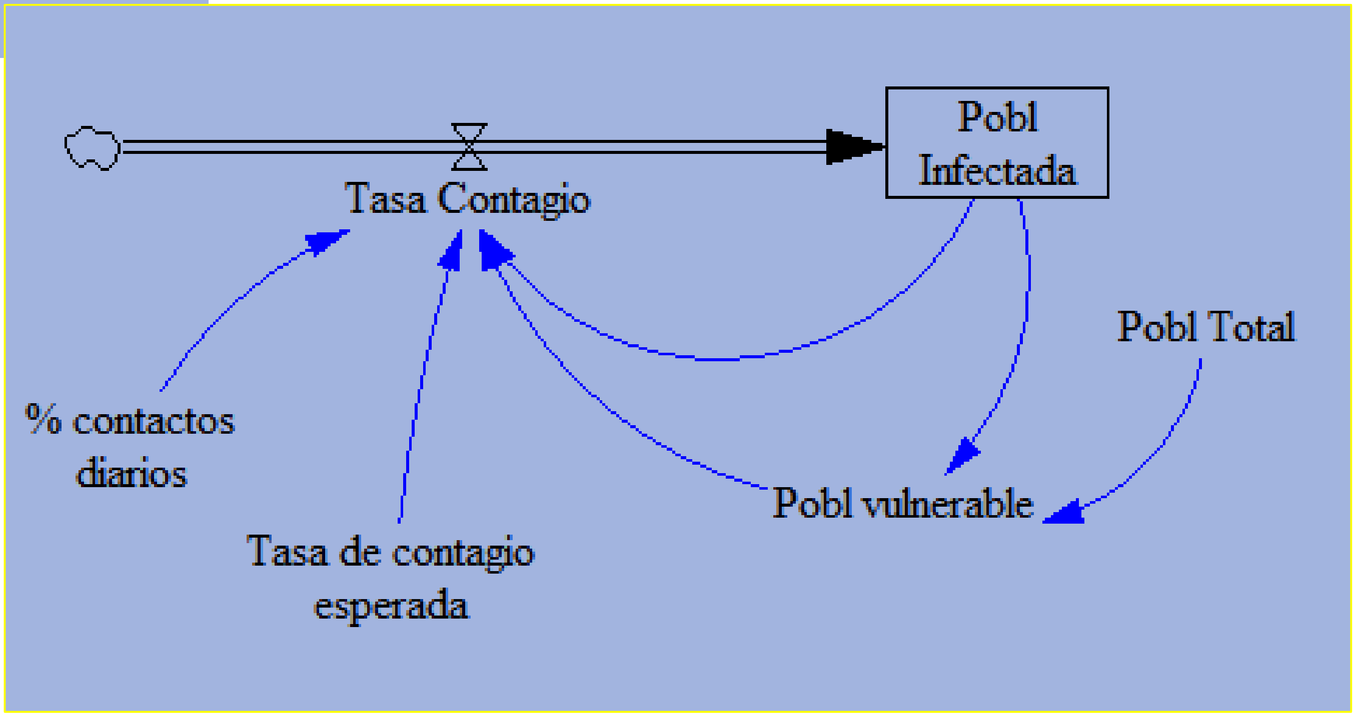
Diagrama de Influencias

Paso 3.- Diagrama de Forrester para la propagación de una infección



Identifique los bucles de retroalimentación

Diagrama de Flujo-Nivel

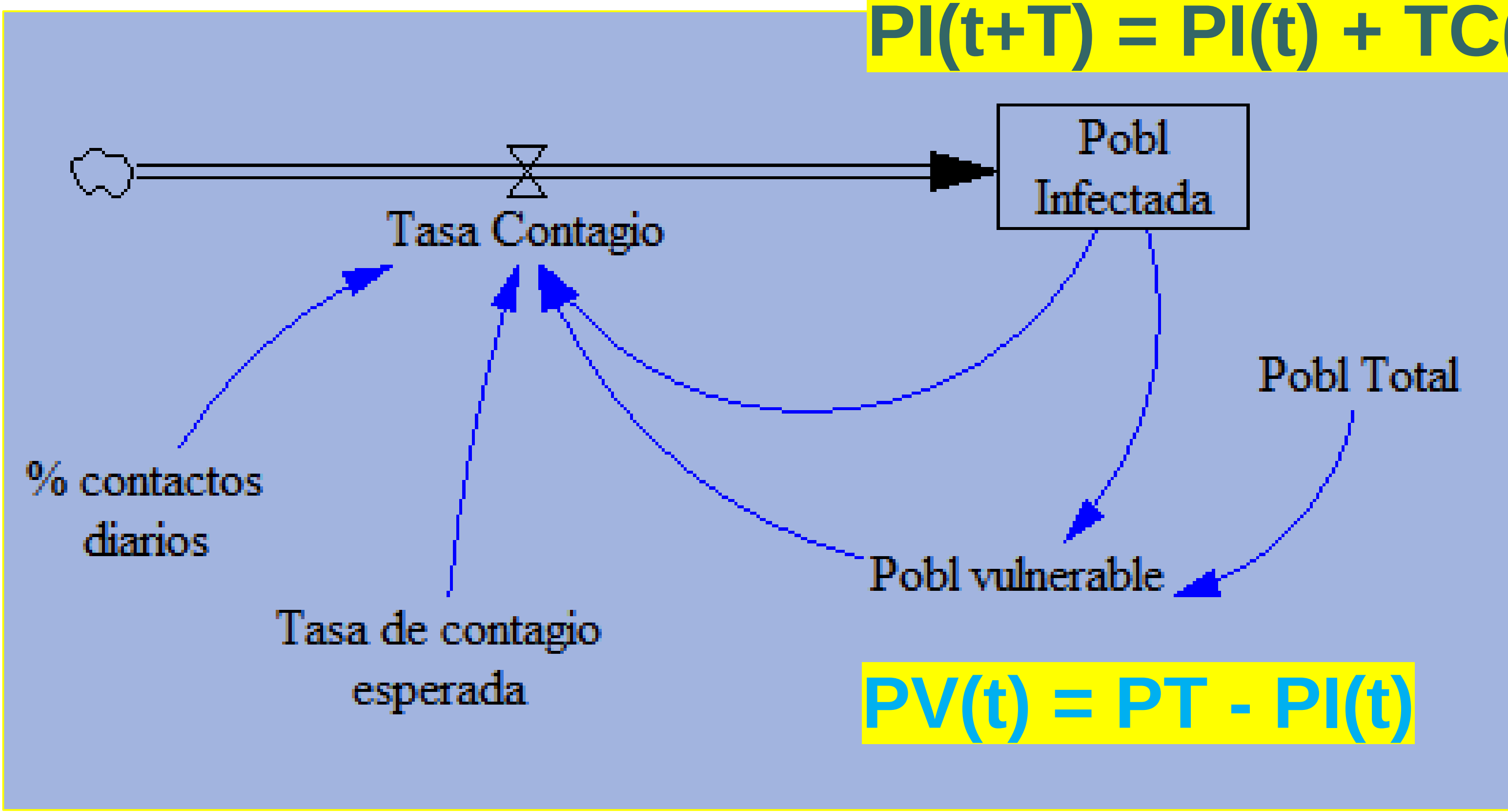


Paso 4. Ecuaciones del modelo

PV(t) x PI(t): número máximo posible de contactos entre contagiados y vulnerables

TC(t) = %CD * TCe * PV(t) * PI(t)

PI(t+T) = PI(t) + TC(t)*T



PV(t) = PT - PI(t)

Paso 5.- Simulación y verificación del modelo

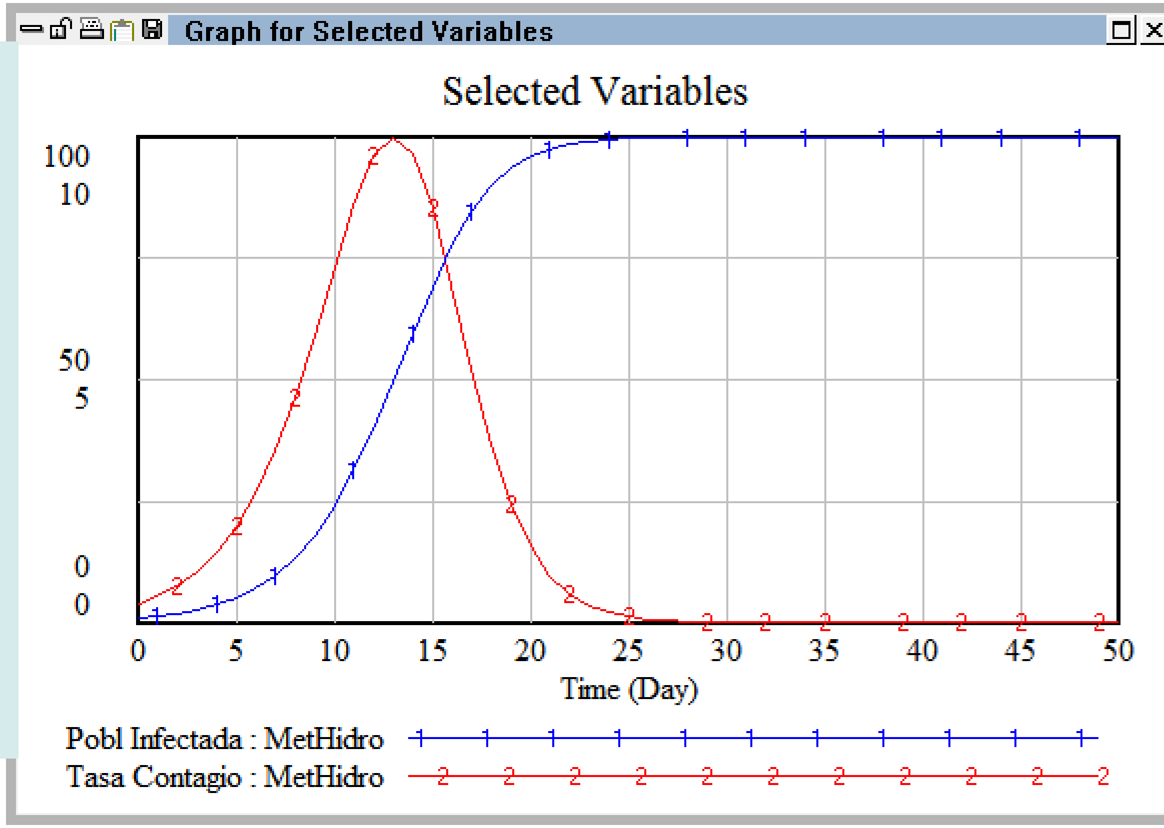
Se obtiene la curva de crecimiento sigmoidal

- Parámetros de la Simulación

- Tiempo inicial = 0 días
- Tiempo final = 50 días

- Pobl. Total = 100
- Pobl. Infectada inicial = 1

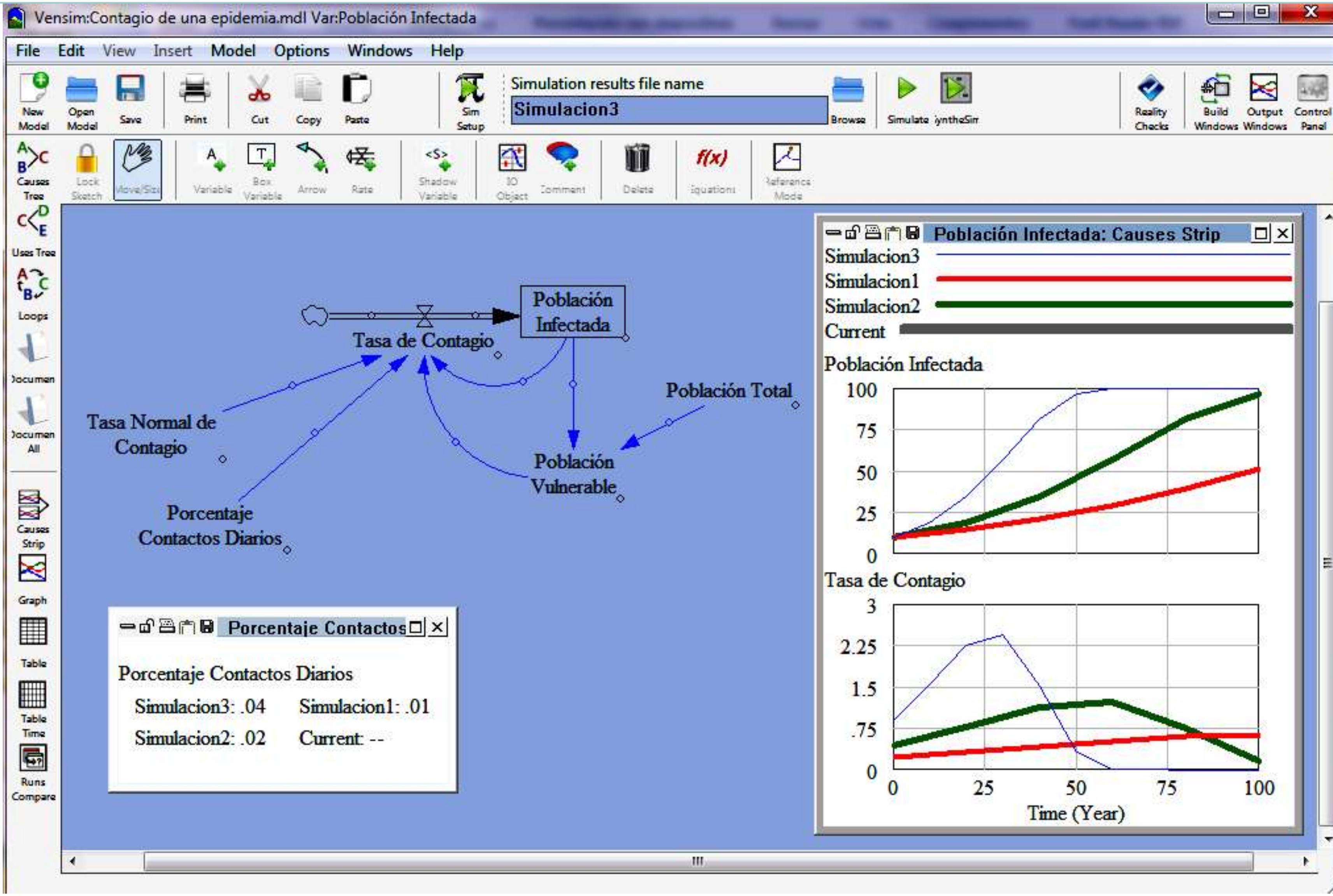
- Tasa contagio esperada= 0.02
- (2 de cada 100)
- % Contactos diarios = 20%



TRABAJO PERSONAL

1. Con los datos del modelo, ¿Después de cuántos días se considera que toda la población está infectada? (Verifique usando Table)
2. ¿Qué día se alcanza la máxima tasa de contagio? ¿Cuántas personas infectadas había ese día?. Cambie levemente los parámetros y simule.
3. Si se quiere evitar que toda la población se contagie ¿Qué medida tomar y cómo se incorpora en el modelo? Realice nuevas simulaciones

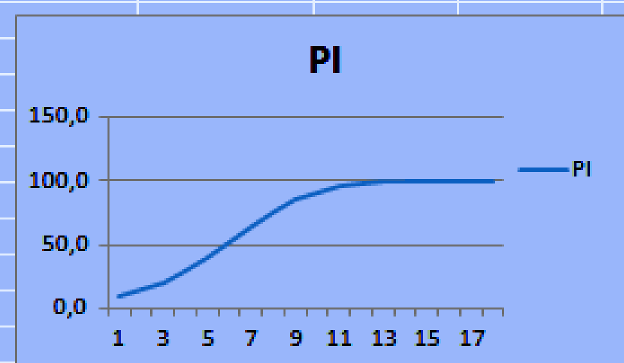
Comparación de resultados para tres Simulaciones del Modelo

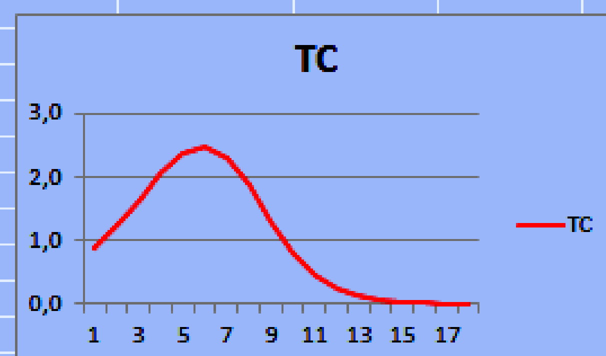


Simulación del Modelo en Excel

PLANILLA EXCEL PARA SIMULACIÓN PROPAGACIÓN DE UNA INFECCIÓN

	Pob Total	PT	100	TC=PCD*TNC*PI*(PT-PI)
		PCD	0,04	PI(t)= PI(t-1) + TC(t-1)*dT
		TNC	0,025	dT=5
	Pob. Infectada	Tasa contagio		
	PI	TC		
PI(0)	10,0	0,9		
	14,5	1,2		
	20,7	1,6		
	28,9	2,1		
	39,2	2,4		
	51,1	2,5		
	63,6	2,3		
	75,2	1,9		
	84,5	1,3		
	91,0	0,8		
	95,1	0,5		
	97,4	0,2		
	98,7	0,1		
	99,3	0,1		
	99,7	0,0		
	99,8	0,0		
	99,9	0,0		
	100,0	0,0		

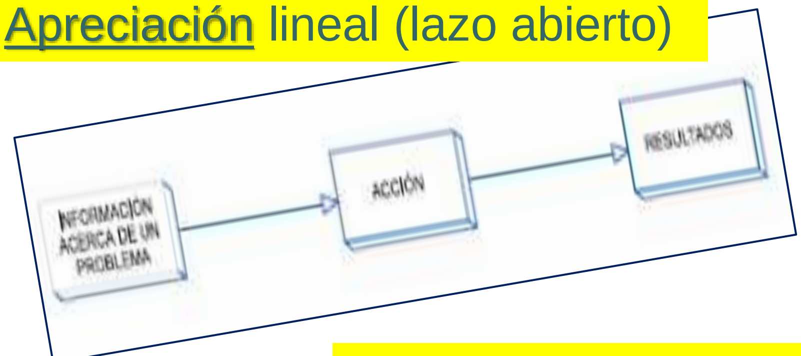


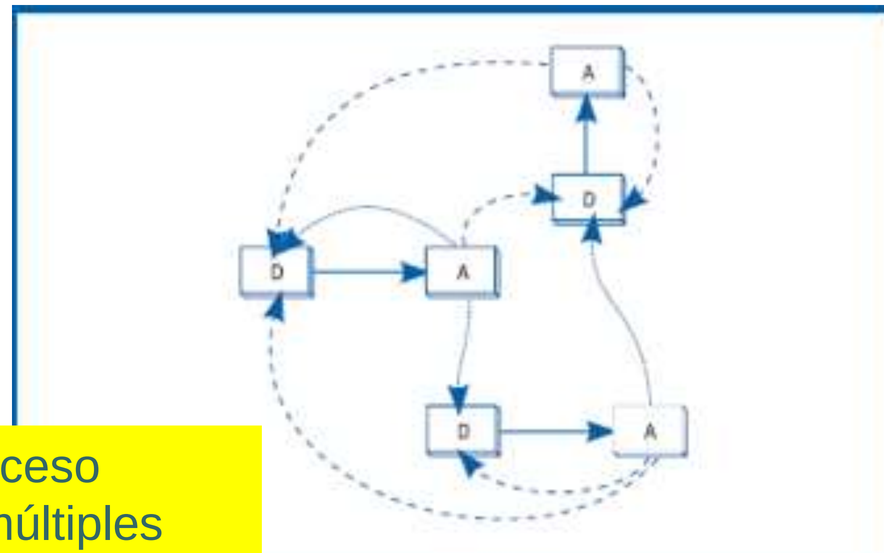


Conclusiones

- Tomar decisiones con un modelo de apreciación lineal (lazo abierto) muestra que no hay una percepción razonable de los fenómenos. Desde esta perspectiva, ver un problema, decidir una acción y esperar un determinado resultado (comportamiento del sistema) puede resultar decepcionante. Y eso porque los procesos a menudo presentan una estructura con retroalimentaciones y no una relación unidireccional de influencias, como asume la óptica reduccionista.

Apreciación lineal (lazo abierto)





La percepción de un proceso complejo → reconocer múltiples bucles (o ciclos de lazo cerrado).

Bibliografía y enlaces fundamentales

- Aracil, J. (1995). **Dinámica de Sistemas.**
  https://www.academia.edu/8563256/Din%C3%A1mica_de_sistemas_-_Javier_Aracil
  Consultado 02/08/2020
- Forrester, J. (1998). **Diseñando el Futuro.**
  http://static.clexchange.org/ftp/documents/sdintro/D-4808.pdf
  Consultado 02/08/2020
- Andrade y otros (2001). **Pensamiento Sistémico: Diversidad en busca de la unidad.** Universidad Industrial de Santander. Colombia.30
  Biblioteca DIINF

Otros sitios consultados el 2 de agosto de 2020:

- https://vensim.com/free-download/#ple
- https://vensim.com/spanish-documentation/
- ftp://facfiet.unicauca.edu.co/ds/Material%20bibliografico/ejercicios%20practicos.pdf

Fin 2a parte Dinámica de Sistemas