CURSO: APLICACIONES DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS AL ANÁLISIS EPIDEMIOLÓGICO (17–21 mayo 2004)

Modelado de problemas de salud pública mediante dinámica de sistemas

Fernando Morilla

Dpto de Informática y Automática

UNED

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Contenido

- Propagación de enfermedades infecciosas (Epidemia, Endemia, Extinción de la población)

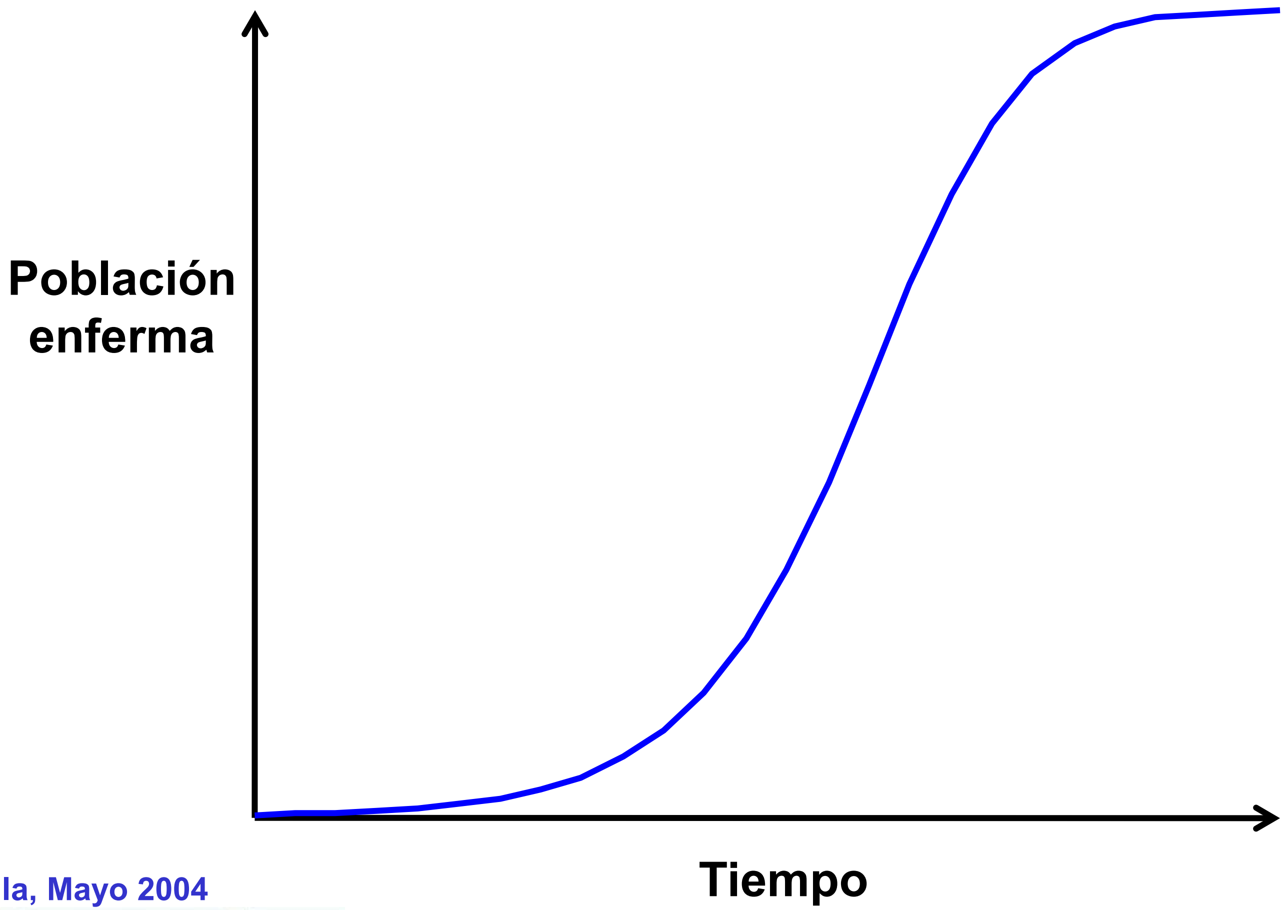
- Adicción a los medicamentos

Esquema común

- Introducción al problema (verbal y cualitativo)
- Diagrama de influencias
- Modelo matemático simple
- Diagrama de Forrester
- Programación y simulación en Vensim
- Ampliación del modelo
- Ejercicios

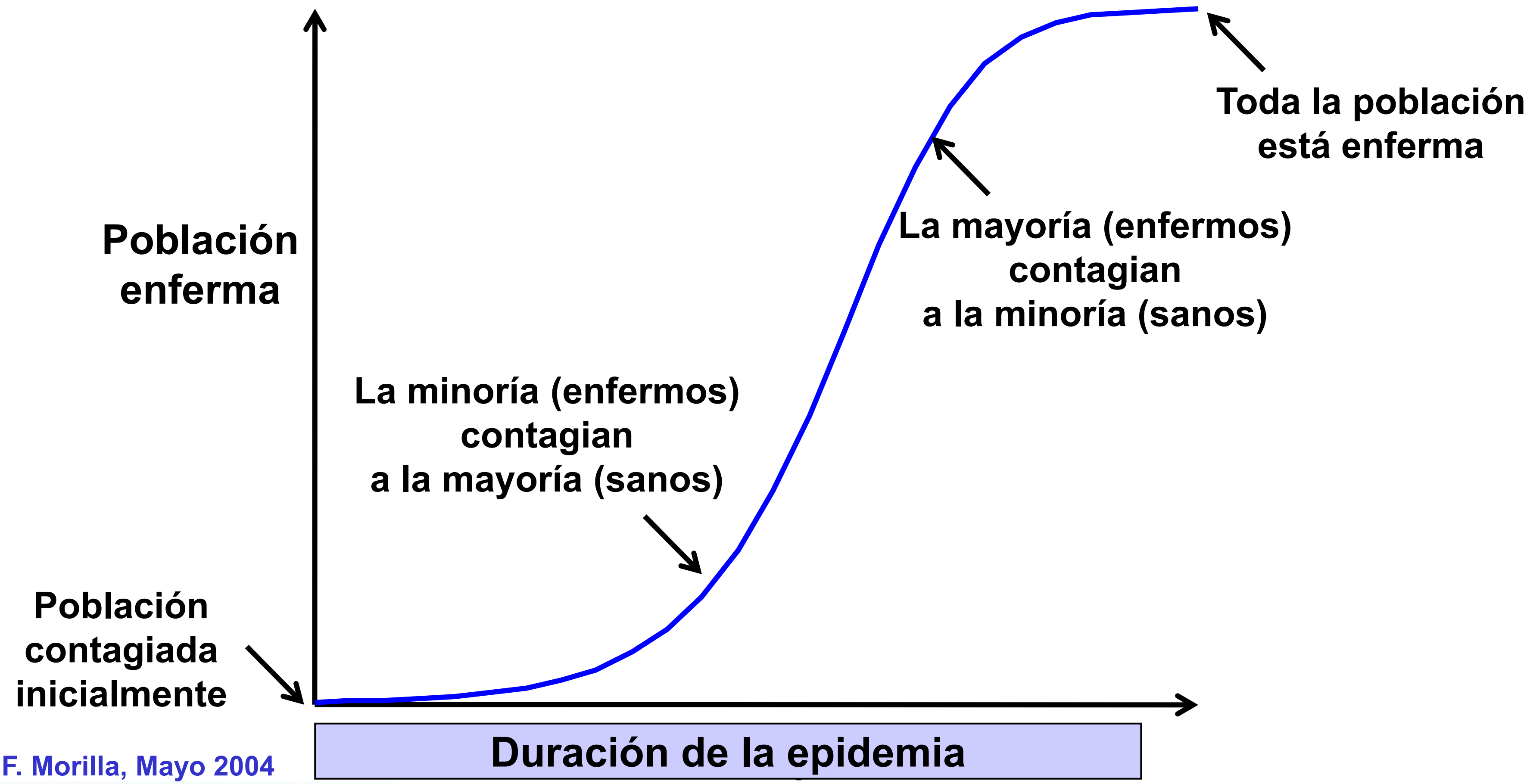
Propagación de enfermedades infecciosas

- Suele presentar un crecimiento sigmoidal



Propagación de enfermedades infecciosas

- Fases de la epidemia



Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Hipótesis válidas en las epidemias de catarros, gripes, etc.
  - La población es constante (población cerrada)
  - La enfermedad es suave, por lo que no impide la vida normal
  - La curación no se produce durante la epidemia $\Leftrightarrow$ ausencia de inmunidad y de reinfección
  - La población enferma y la sana están homogéneamente mezcladas

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Distribución inicial de la población

SUSCEPTIBLES
E
INFECTADOS

POBLACIÓN SANA

(valor inicial)

+

POBLACIÓN ENFERMA

(valor inicial)

+

POBLACIÓN TOTAL

(cte)

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Contactos de los dos grupos de población

POBLACIÓN SANA

(valor inicial)

+ CONTAGIOS +

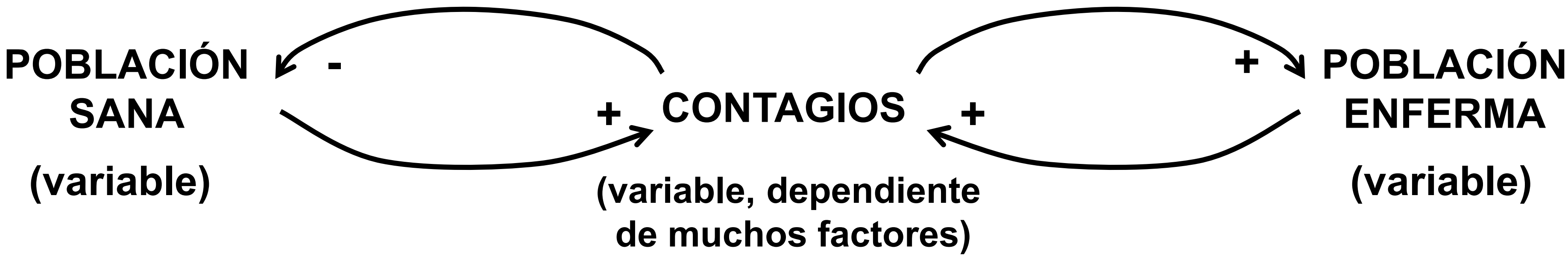
(variable, dependiente de muchos factores, unos propios de la enfermedad y otros propios de la población)

POBLACIÓN ENFERMA

(valor inicial)

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Evolución de los dos grupos de población (población total cerrada)

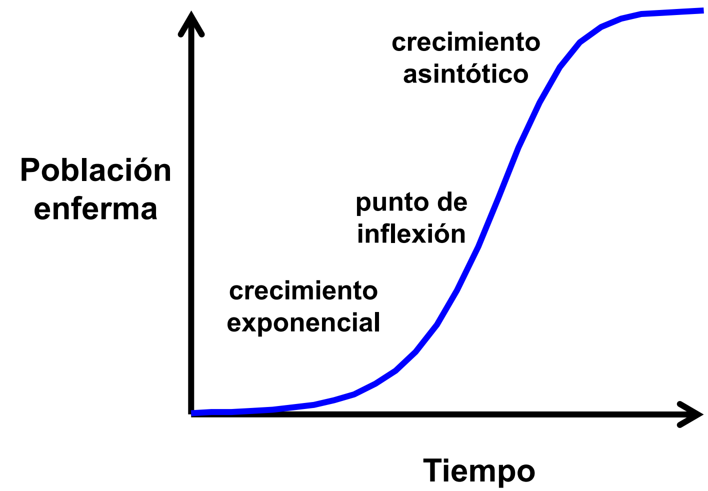


Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Diagrama de influencias:
  - típico crecimiento sigmoidal

Bucle (+) dominante al principio

Bucle (-) dominante al final



Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Modelo matemático típico
  - Tasa de contagio (TC) directamente proporcional al número de contactos diarios (NCD) y a la probabilidad de transmisión de la enfermedad (PT)

$$TC = NCD \; PT$$

  - Prevalencia, P(t), expresa la proporción de población enferma en el total de la población

$$P(t) = \frac{PE(t)}{PE(t) + PS(t)}$$

F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Modelo matemático típico (sigue)
  - Tasa de incidencia, I(t), expresa que la proporción entre el número de casos nuevos de una enfermedad y el número de personas de la que han surgido los casos es directamente proporcional a la tasa de contagio y a la prevalencia

$$I(t) = TC\ P(t)$$

  - Flujo de contagio, FC(t), expresa que el número de casos nuevos de una enfermedad es directamente proporcional a la población sana, PS(t), a través de la incidencia, I(t)

$$FC(t) = I(t)\ PS(t)$$

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Modelo matemático típico (resumen)

$$\frac{d\,PE(t)}{dt} = FC(t)$$

$$\frac{d\,PS(t)}{dt} = -FC(t)$$

Tasa de contagio:

$$TC = NCD \quad PT$$

Prevalencia:

$$P(t) = \frac{PE(t)}{PE(t) + PS(t)}$$

Incidencia:

$$I(t) = TC \;\; P(t)$$

Flujo de contagio:

$$FC(t) = I(t)\,PS(t)$$

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

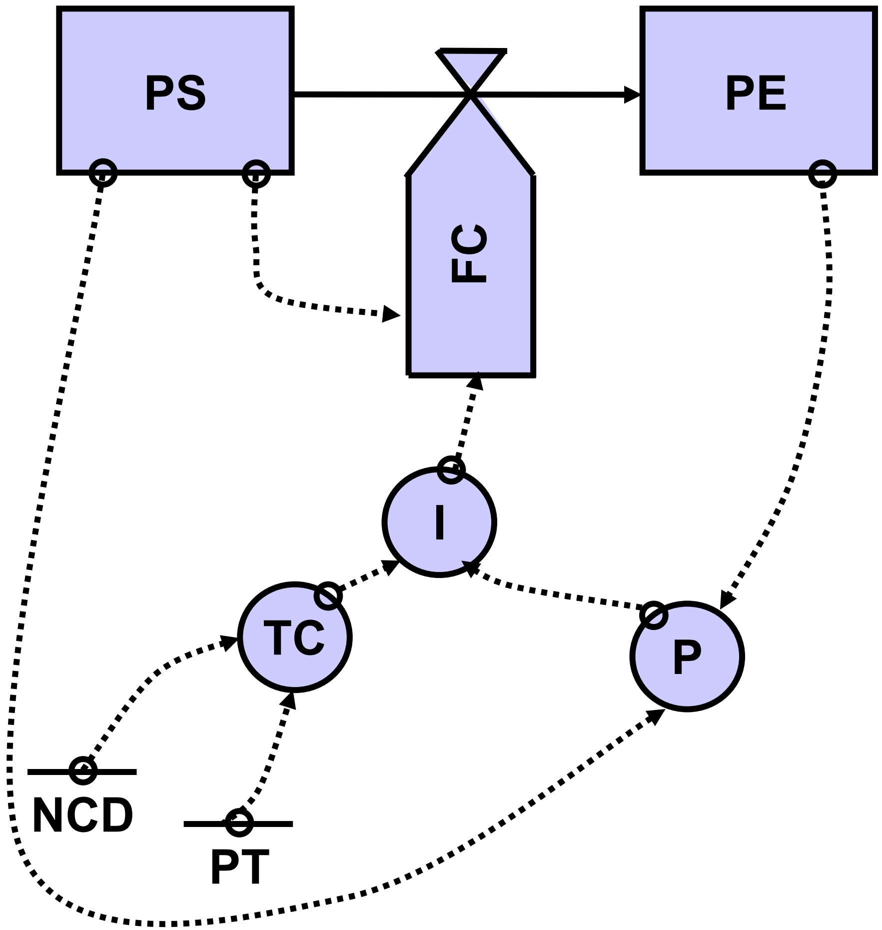
- Diagrama de Forrester típico

2 Variables de estado: Población enferma y población sana

1 Variable de flujo: Flujo de contagio

2 Parámetros: Número de contactos diarios y probabilidad de transmisión de la enfermedad

3 Variables auxiliares: Tasa de contagio, prevalencia e incidencia



Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Modelo matemático simplificado

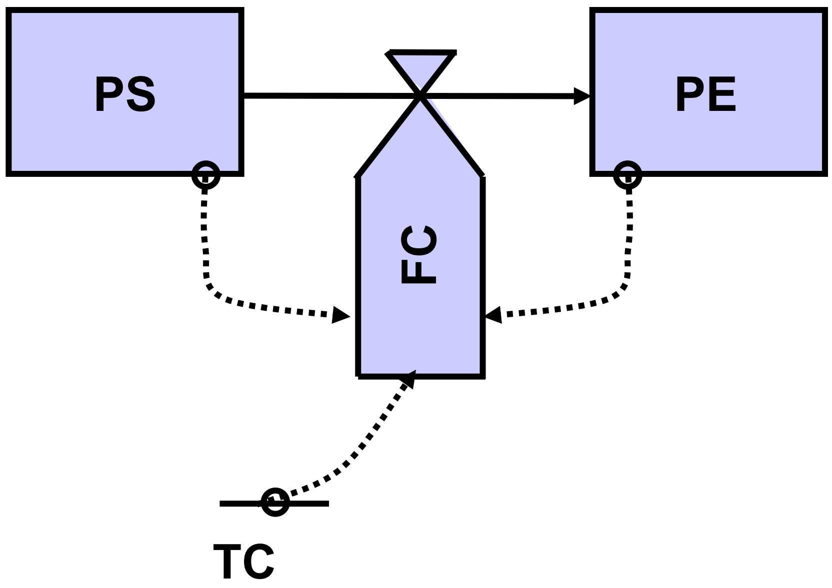
$$FC(t) = TC \frac{PE(t)\ PS(t)}{PE(t) + PS(t)}$$

$$\frac{d\,PE(t)}{dt} = FC(t)$$

$$\frac{d\,PS(t)}{dt} = -FC(t)$$

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Diagrama de Forrester simplificado



2 Variables de estado: Población enferma y población sana

1 Variable de flujo: Flujo de contagio

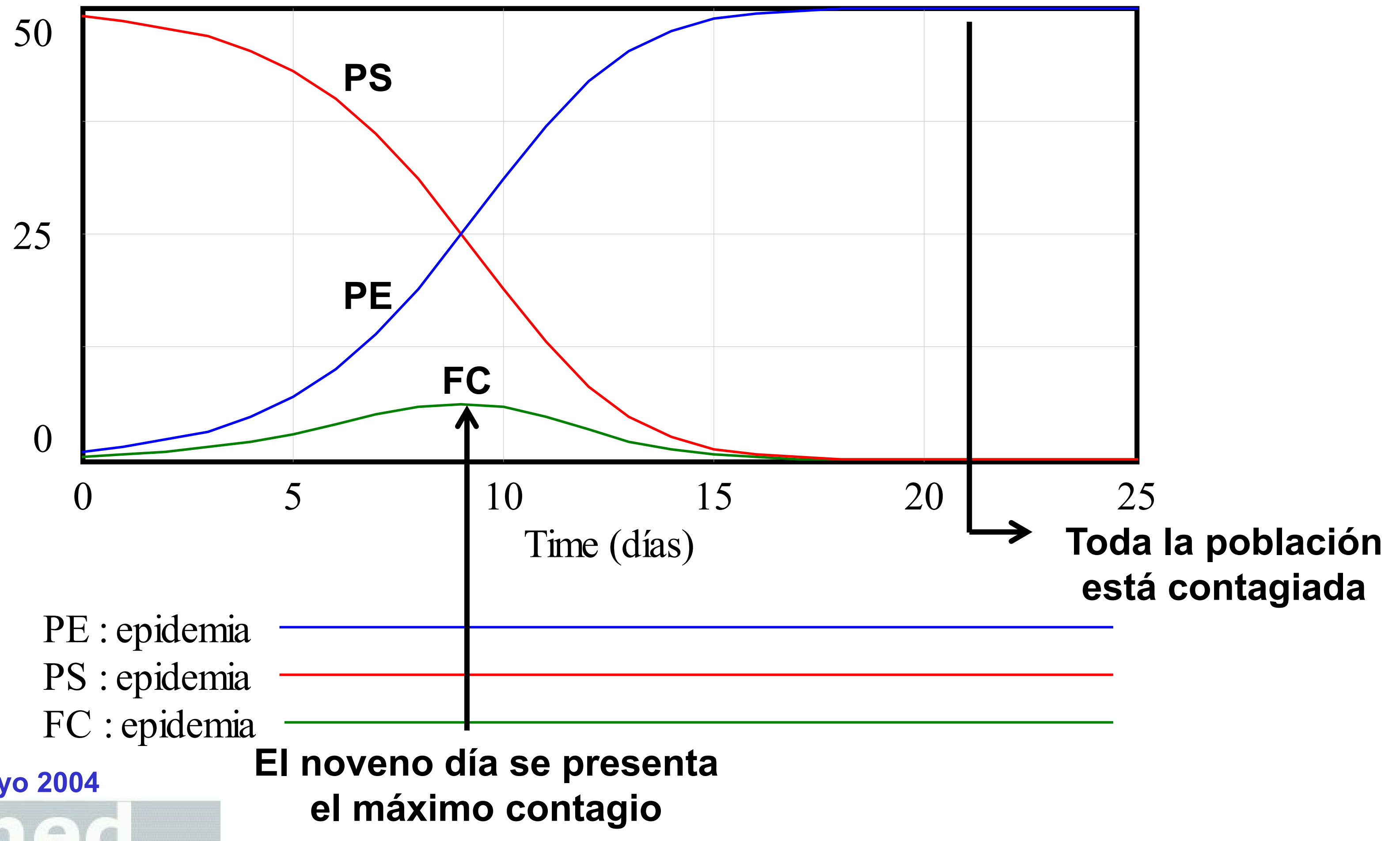
1 Parámetro: Tasa de contagio o de incidencia de la enfermedad

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Ejemplo concreto
  - Parámetros del modelo
    - Tasa de contagio : TC = 0.5
  - Condiciones iniciales
    - Población enferma : PE(0) = mil personas
    - Población sana : PS(0) = 49 mil personas
- Parámetros de simulación
  - Los adecuados para evaluar la duración y consecuencias de la epidemia

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Resultados gráficos de la simulación



F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Ojeada a los resultados numéricos de la simulación

Time (días)		0	1	2	3	4
	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22
	23	24	25			
"FC"	Runs:	epidemia				
FC	0.49	0.722799	1.05743	1.52817	2.16896	2.99824
	3.98967	5.03014	5.88825	6.24984	5.87503	4.81035
	3.42462	2.15606	1.23708	0.667824	0.347796	0.177595
	0.0897538	0.0451205	0.0226216	0.0113264	0.00566735	
	0.002834	0.00141708		0.000709514		

  - ¿Habría que mejorar las condiciones de simulación?
  - ¿Bastaría con un redondeo en el flujo de contagio?

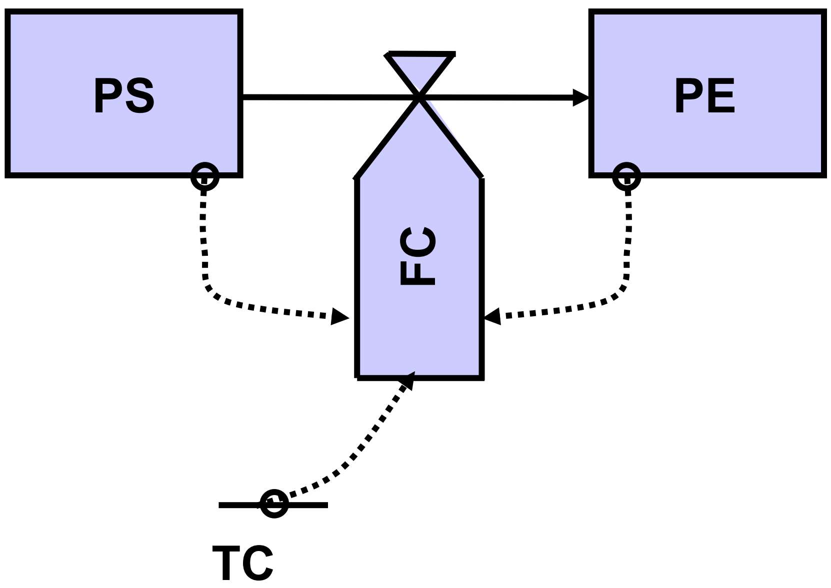
Propagación de enfermedades infecciosas: Ejercicio 1

- Reproducir el ejemplo anterior en Vensim utilizando el modelo simplificado

$$FC(t) = TC \frac{PE(t)\ PS(t)}{PE(t) + PS(t)}$$

$$\frac{d\,PE(t)}{dt} = FC(t)$$

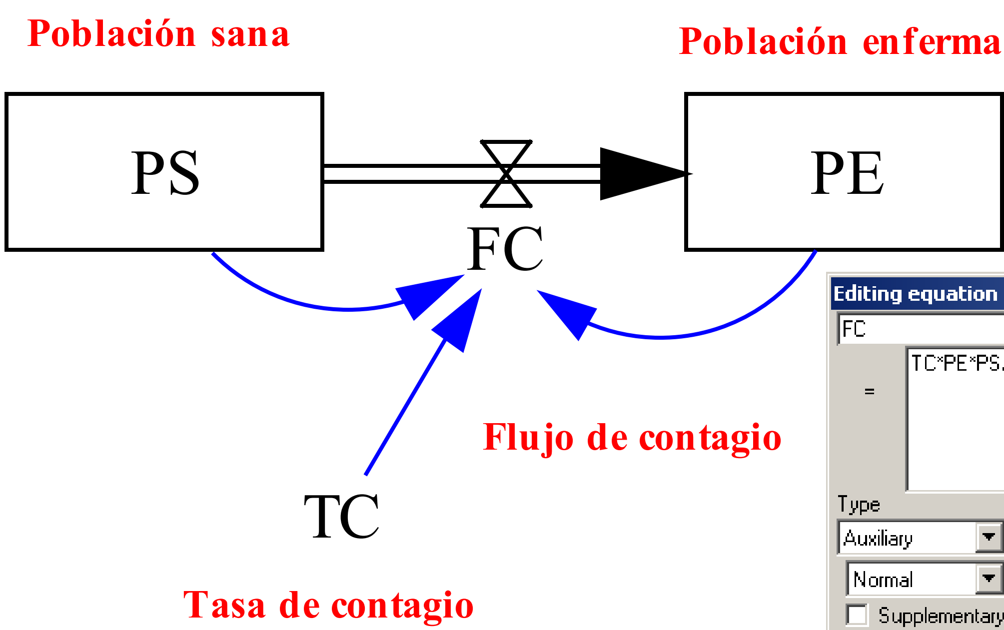
$$\frac{d\,PS(t)}{dt} = -FC(t)$$

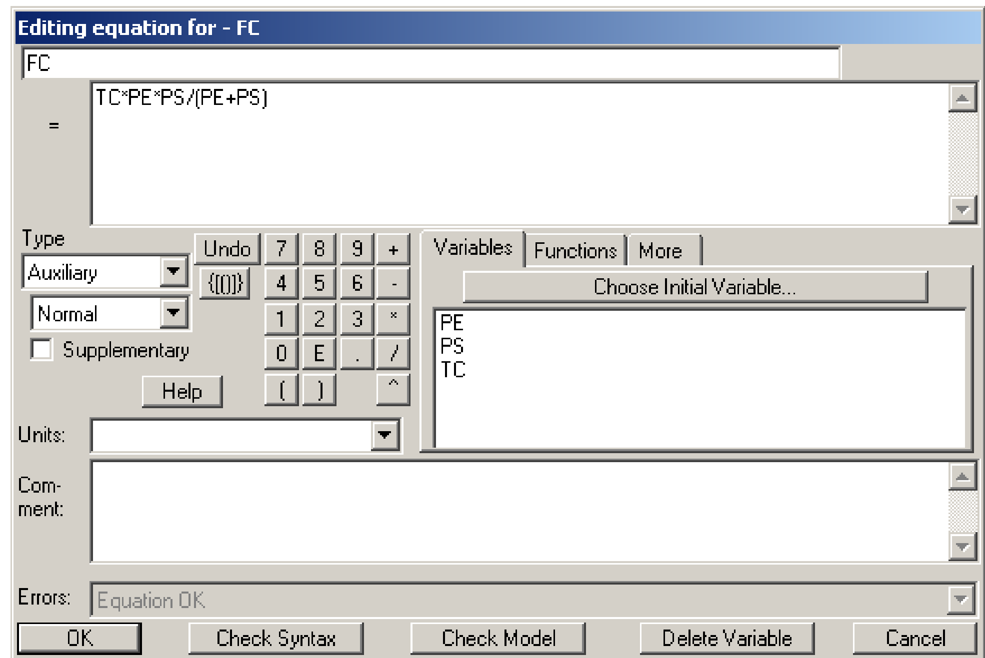


F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

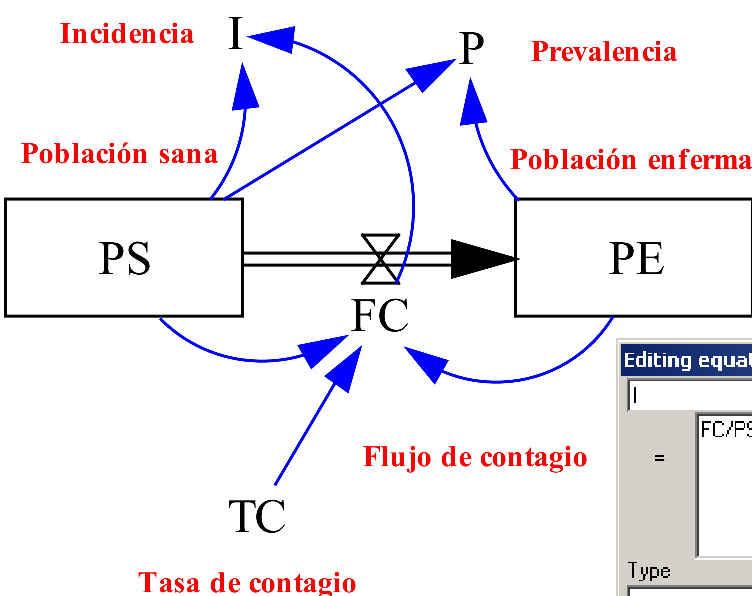
Solución al Ejercicio 1

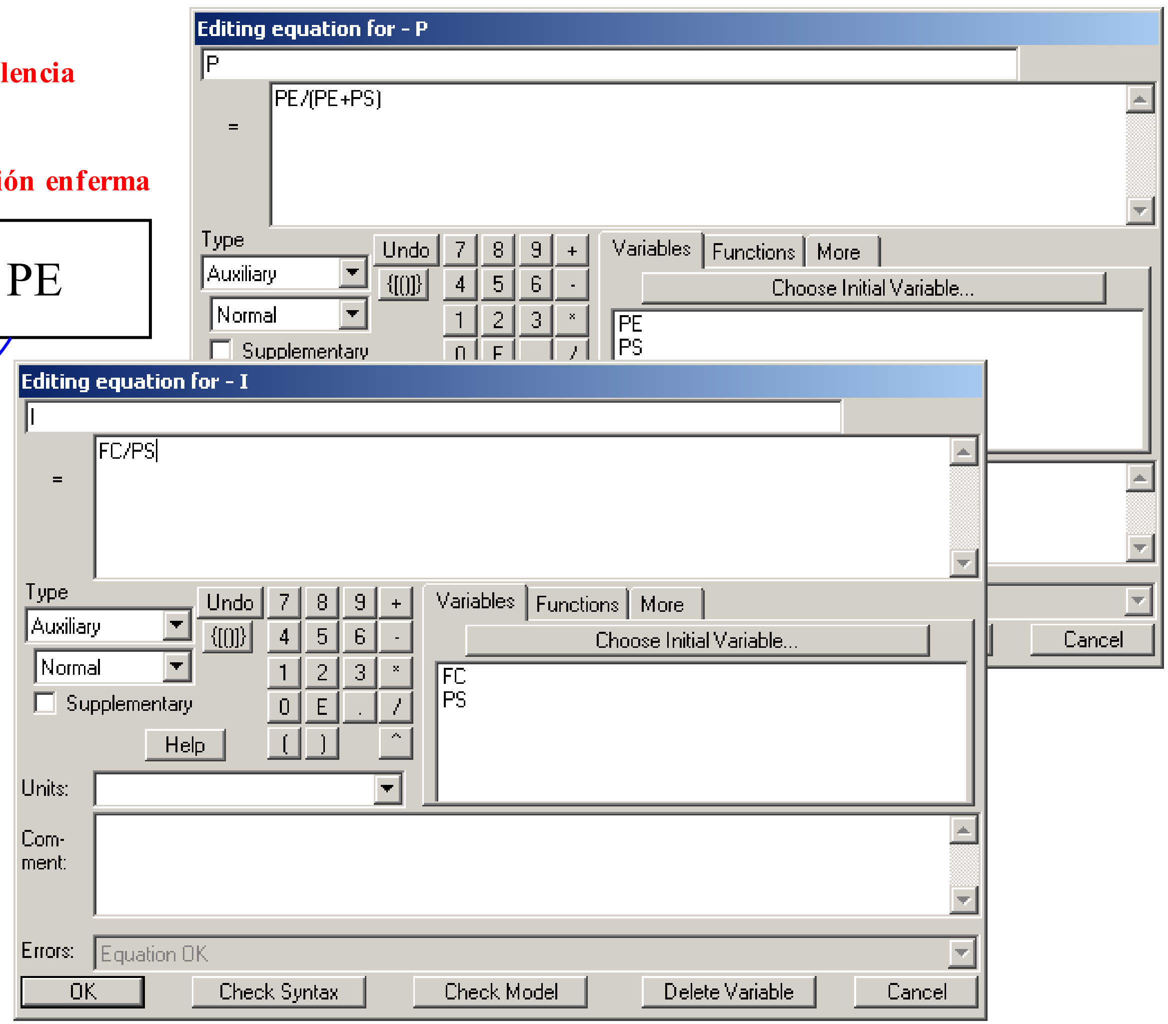




Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

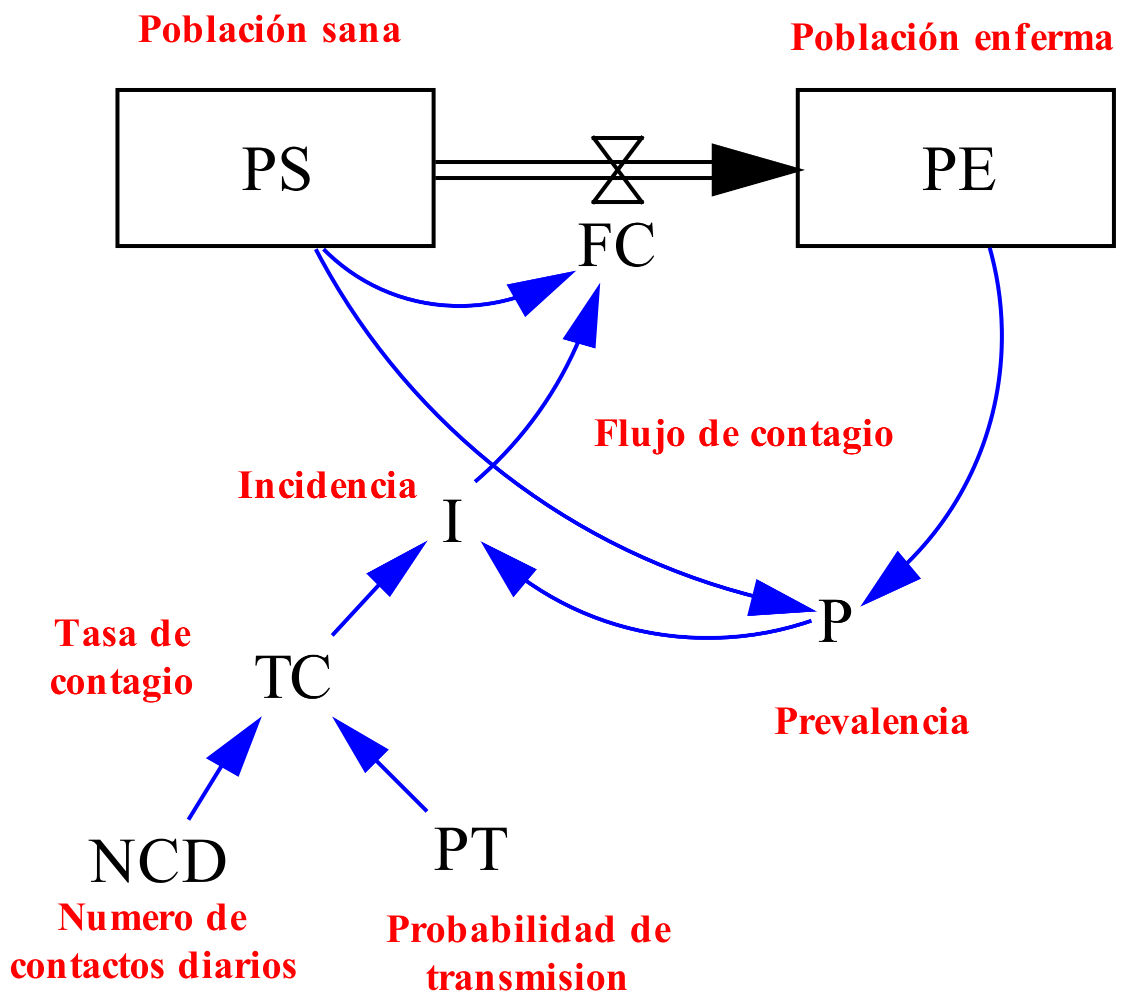
Solución al Ejercicio 1 más cálculo de prevalencia e incidencia





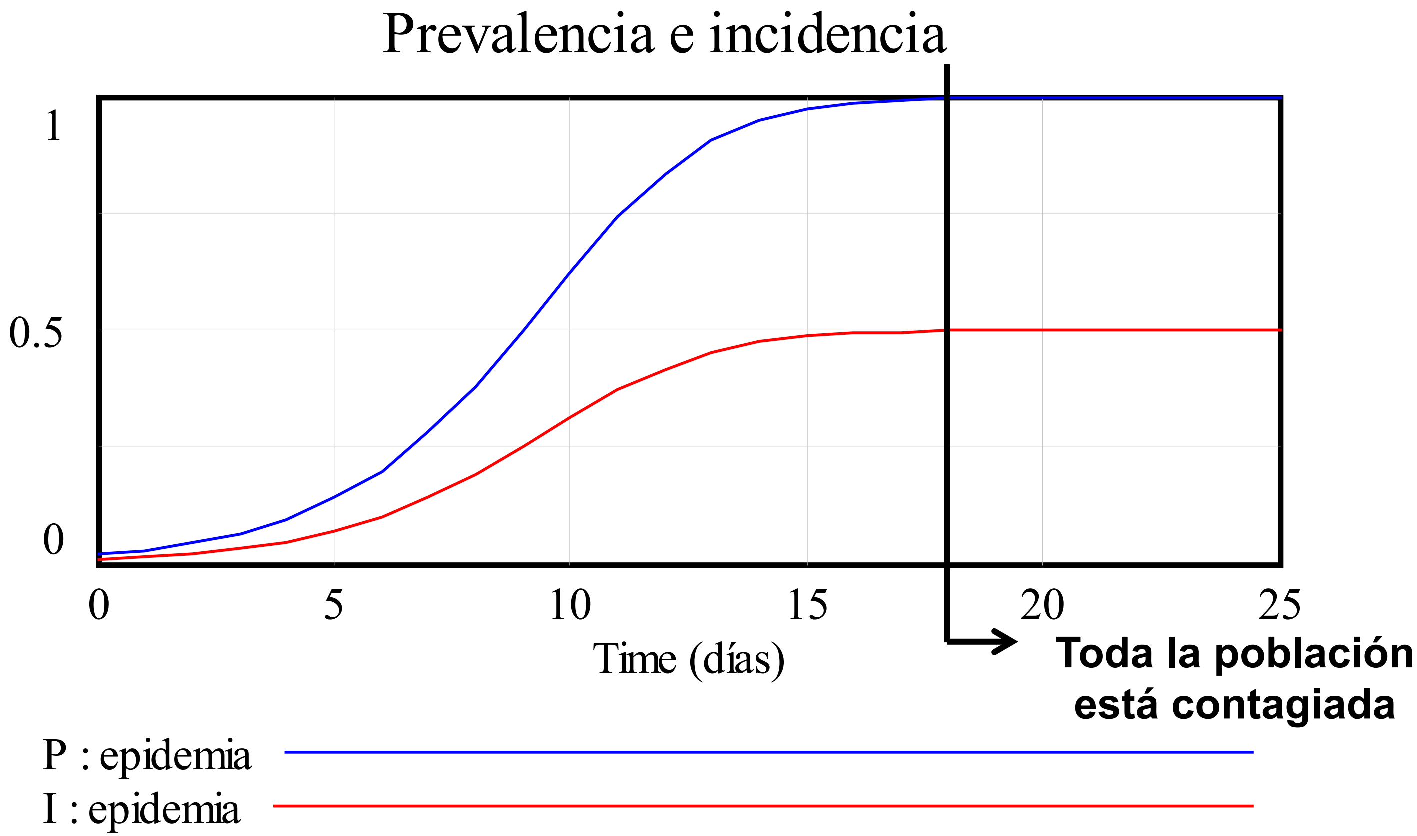
Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

Solución con el modelo típico



Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Resultados (no explícitos en el modelo simplificado) obtenidos con el modelo típico o con el modelo simplificado más cálculos de prevalencia e incidencia



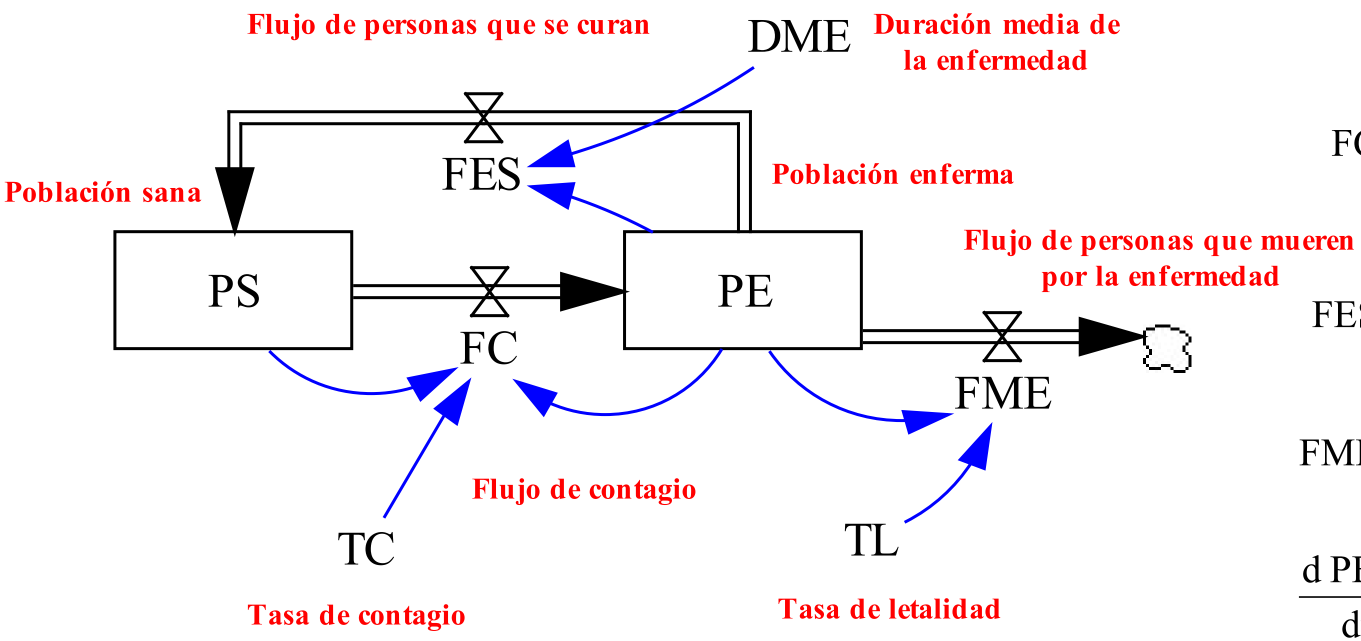
F. Morilla, Mayo 2004
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas: Ejercicio 2

- a) Ampliar el ejemplo anterior suponiendo que existe curación entre la población enferma, que ésta se produce por término medio a los cinco días, que no existe inmunidad permanente y por tanto puede existir reinfección
- b) Ampliar también suponiendo que existe una tasa de letalidad (tasa de mortalidad entre la población enferma) del 5%, es decir la población total deja de ser "constante"
- Evaluar la duración y consecuencias de la epidemia en (a) y (b)

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

Solución al Ejercicio 2



$$FC(t) = TC \frac{PE(t)\ PS(t)}{PE(t) + PS(t)}$$

$$FES(t) = \frac{PE(t)}{DME}$$

$$FME(t) = TL\ PE(t)$$

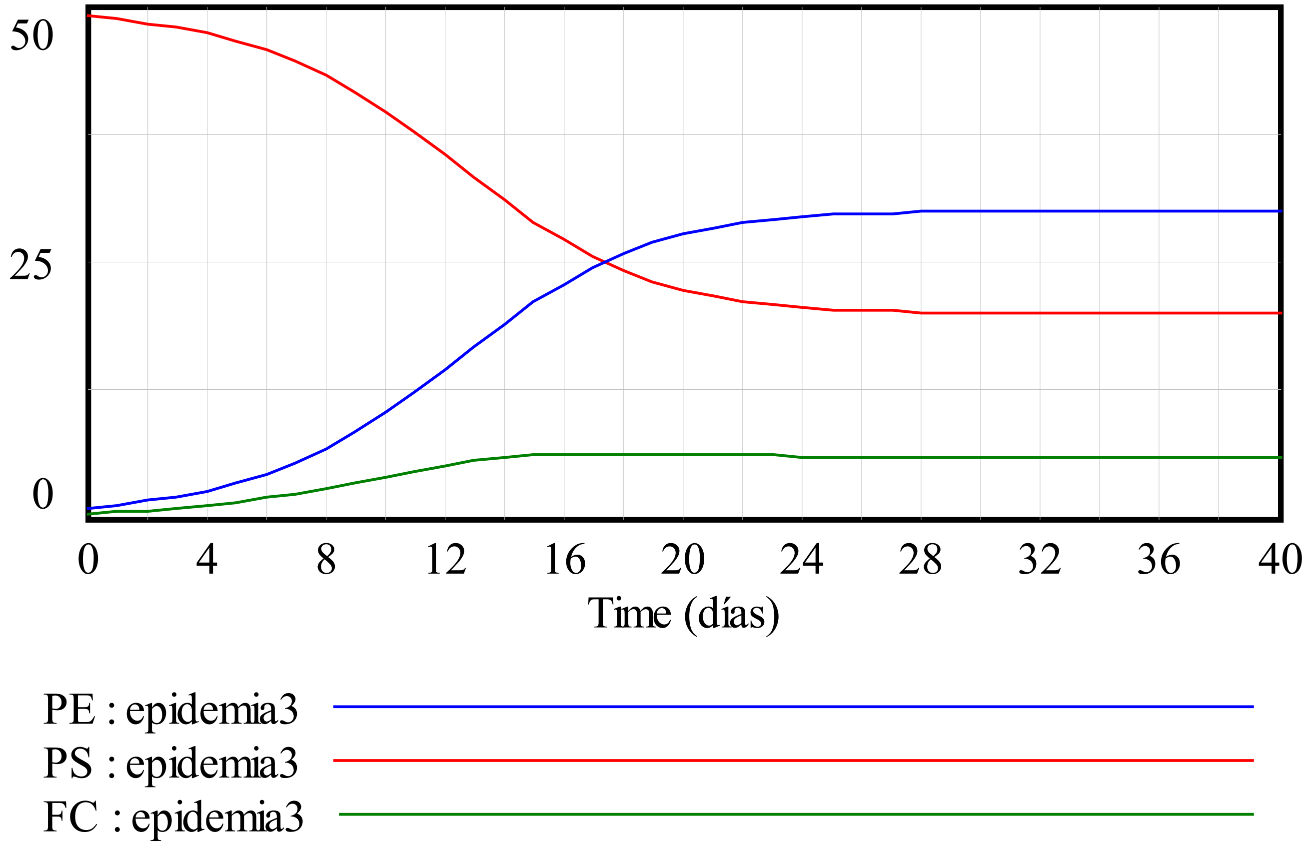
$$\frac{d\,PE(t)}{dt} = FC(t) - FES(t) - FME(t)$$

$$\frac{d\,PS(t)}{dt} = FES(t) - FC(t)$$

- Ampliado con:
  - Duración media de la enfermedad: DME=5
  - Tasa de letalidad del 5%

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

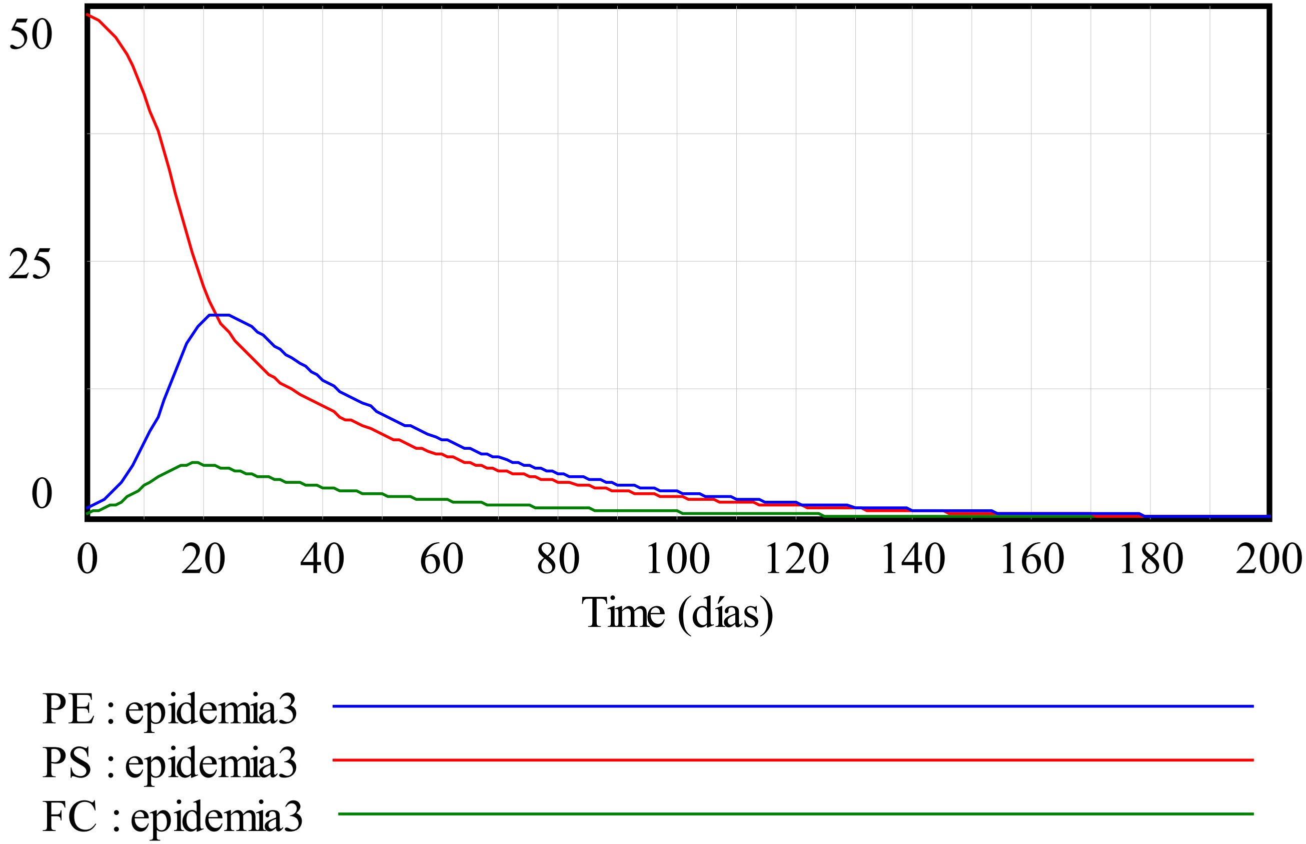
- Ejercicio 2(a): Resultados de la simulación



- Se alcanza una situación endémica (los contagios persisten indefinidamente) en aproximadamente 30 días

Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- Ejercicio 2(b): Resultados de la simulación

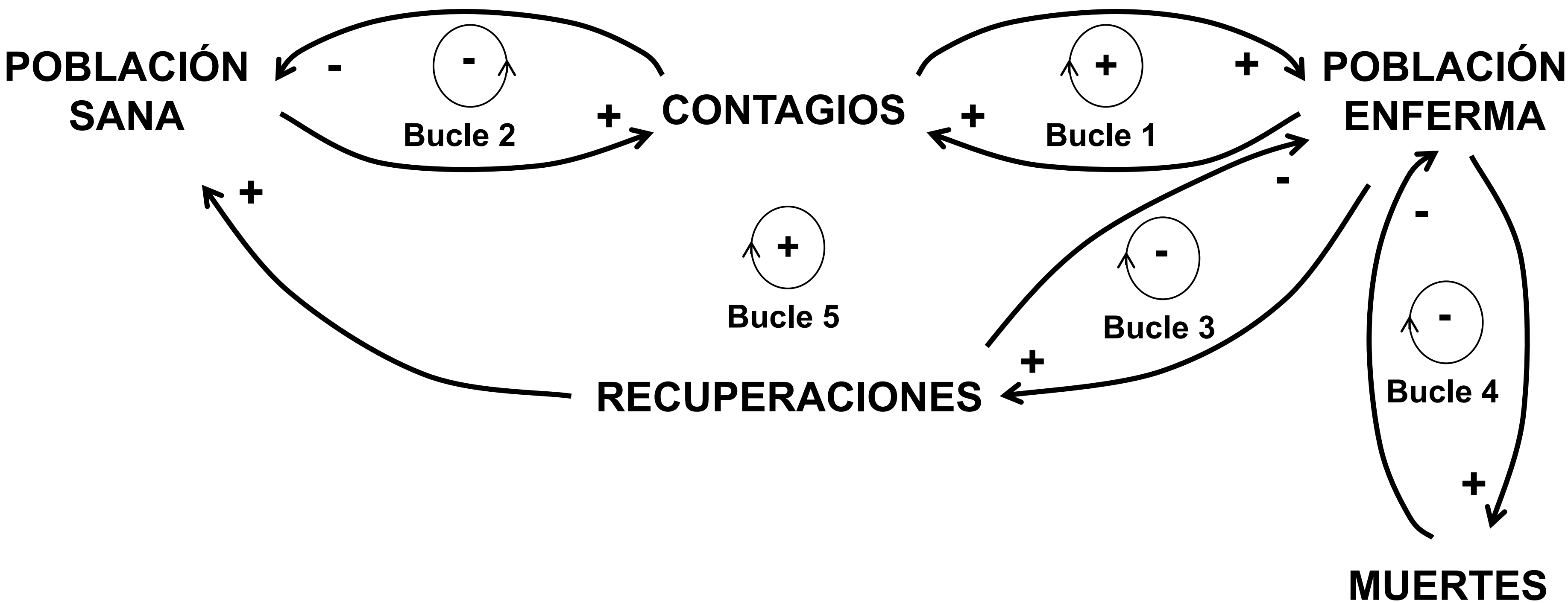


- Extinción: la enfermedad acaba con la población en aproximadamente 180 días

F. Morilla, Mayo 2004

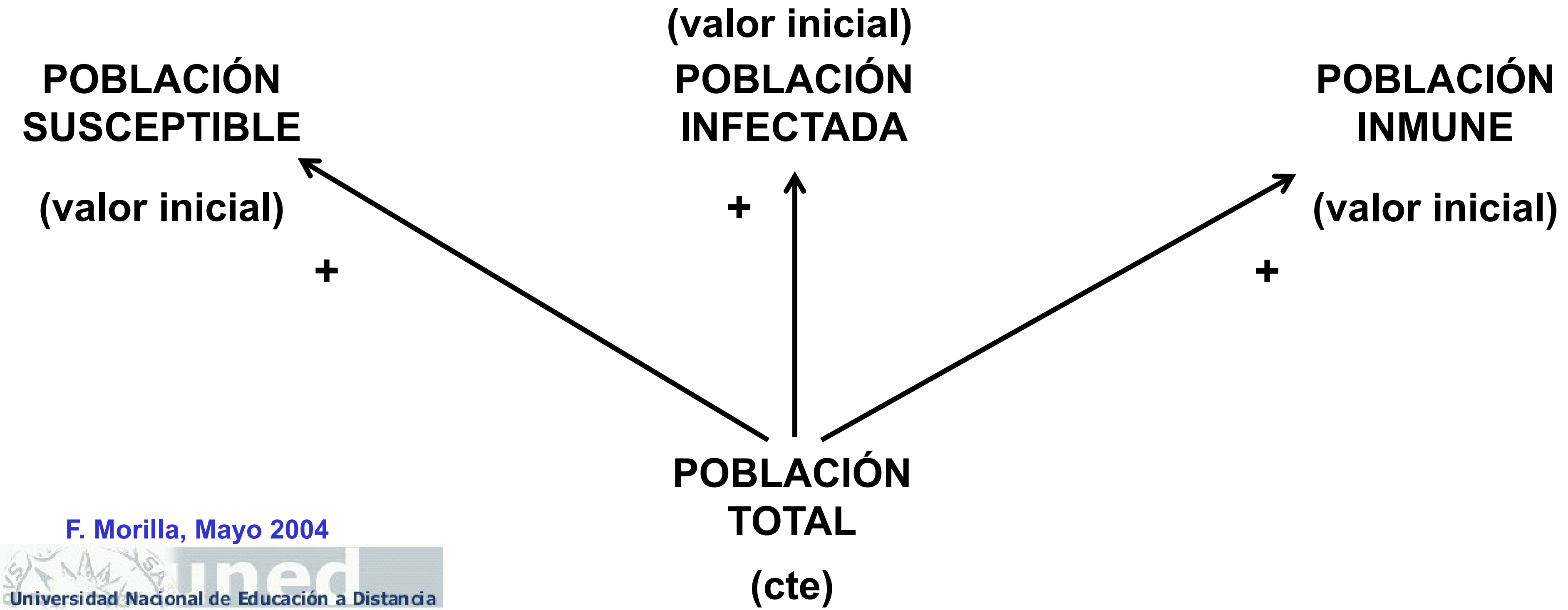
Propagación de enfermedades infecciosas (dos grupos de población)

- RESUMEN

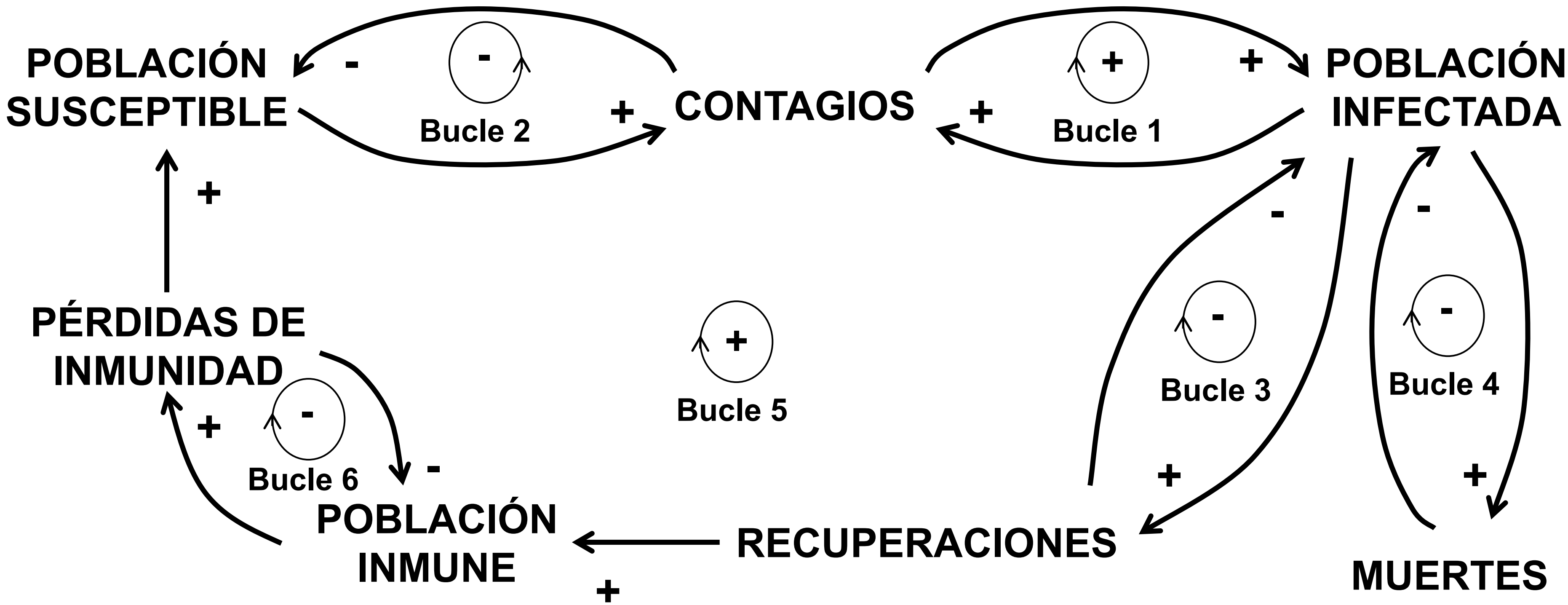


Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- Ampliación: Las personas que enferman pasan un periodo de infección durante el cual pueden contagiar, pero luego mueren como consecuencia de la enfermedad o se vuelven inmunes. La inmunidad puede ser permanente o transitoria, en este segundo caso la población inmune vuelve a ser susceptible de contagio.



Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)



F. Morilla, Mayo 2004

Universidad Nacional de Educación a Distancia

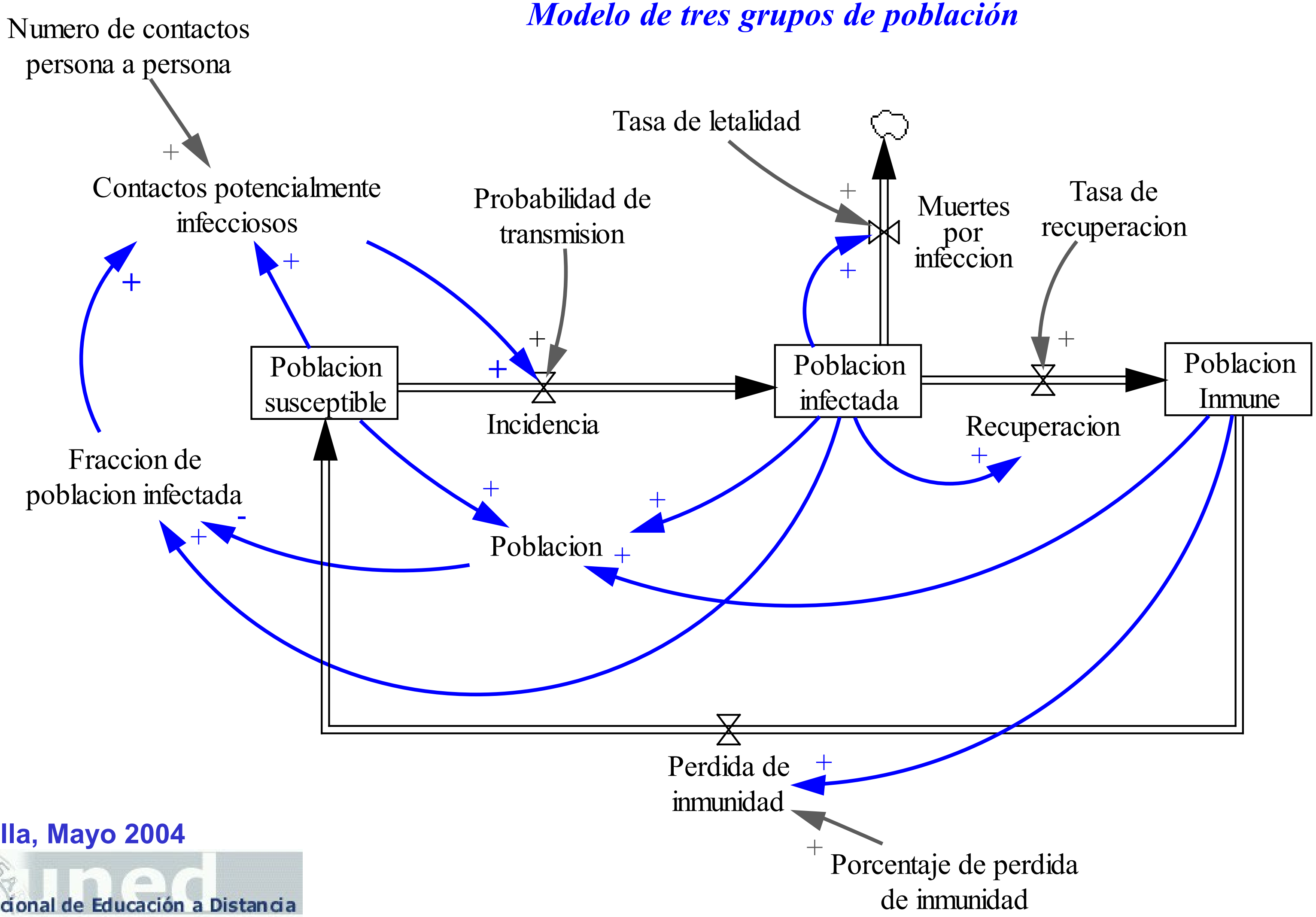
Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Programar en Vensim el modelo de epidemia con tres grupos de población utilizando el siguiente conjunto de variables (ver esquema), datos y parámetros:
  – Susceptibles iniciales (500000)
  – Infectados iniciales (12)
  – Número de contactos persona a persona (10)
  – Probabilidad de transmisión (0.1)
  – Tasa de letalidad (0, 0.05)
  – Tasa de recuperación (0.2, 0.5)
  – Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%, 50%)

Propagación de enfermedades infecciosas: Ejercicio 3

Dinámica de una epidemia en una población cerrada

Modelo de tres grupos de población



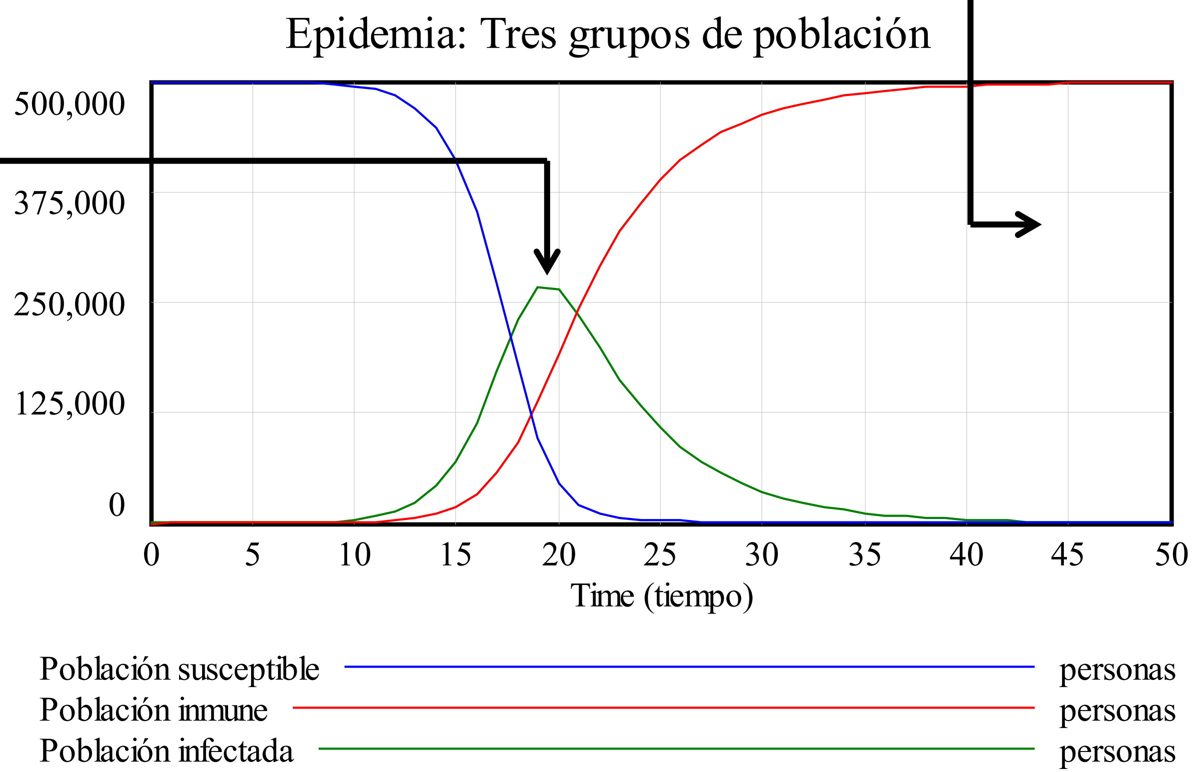
F. Morilla, Mayo 2004
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%)

Toda la población queda inmunizada

A los 19 días se presenta el máximo de población infectada



F. Morilla, Mayo 2004

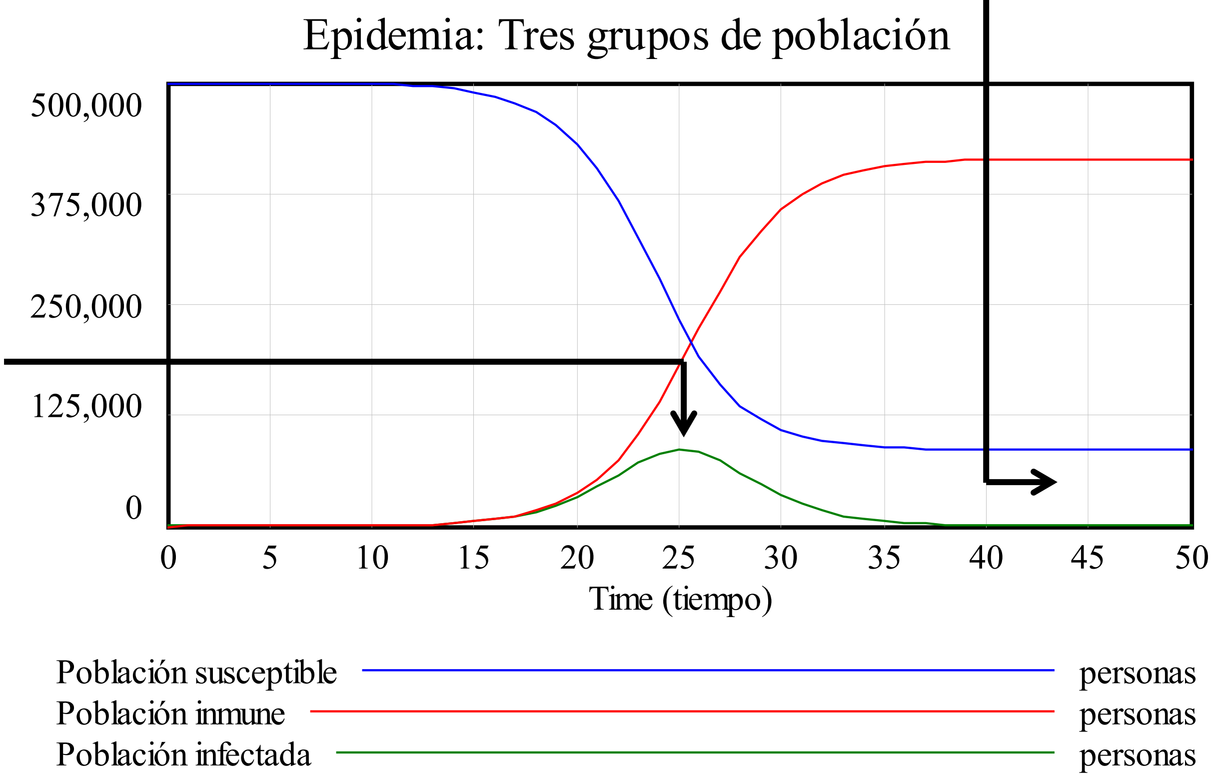
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.5)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%)

Gran parte de la población queda inmunizada, el resto no ha sido infectada

A los 25 días se presenta el máximo de población infectada, de valor mucho menor que en el caso anterior



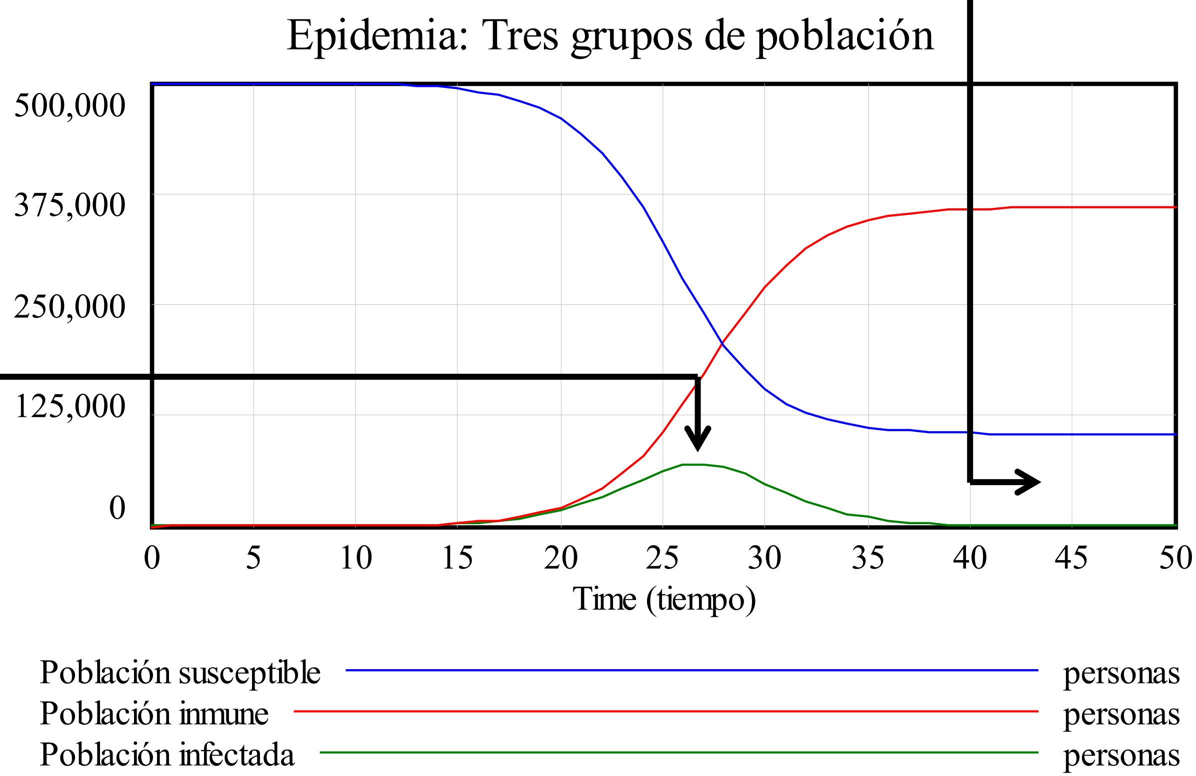
F. Morilla, Mayo 2004
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0.05)
  - Tasa de recuperación (0.5)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%)

Gran parte de la población queda inmunizada, otra parte no ha sido infectada y el resto ha fallecido como consecuencia de la infección

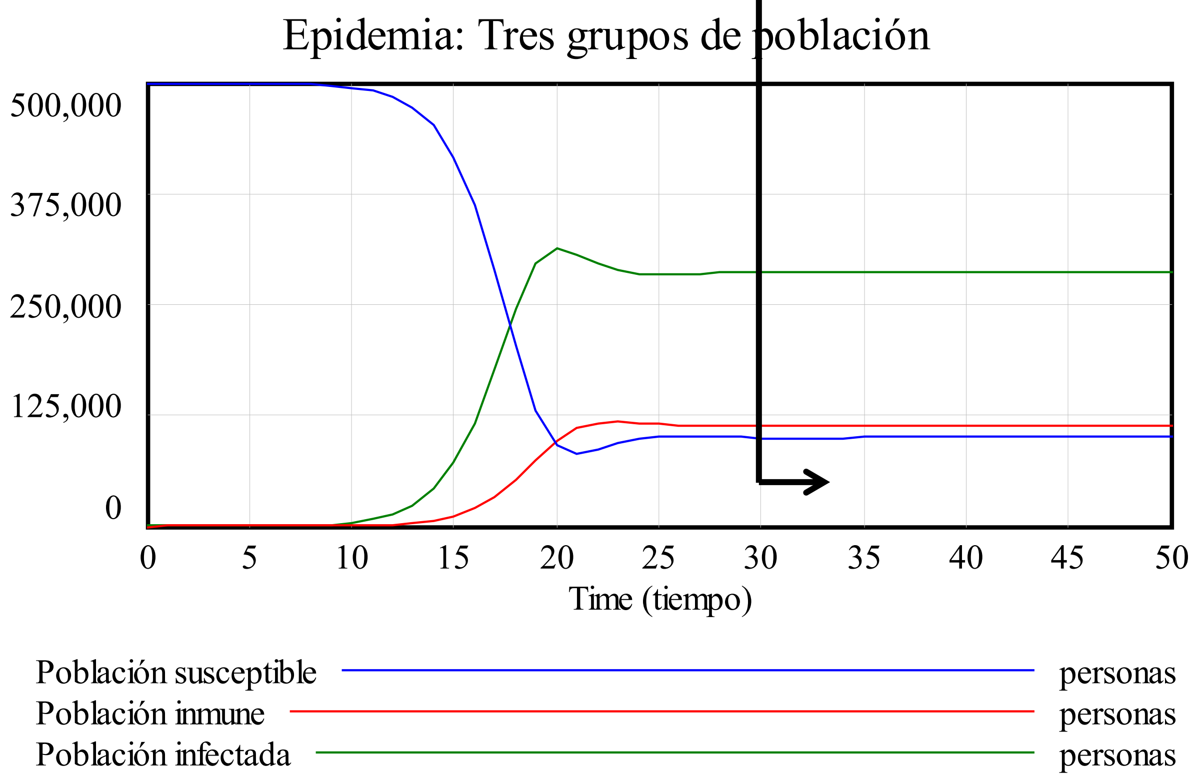
El máximo de población infectada, de valor menor que en el caso anterior, se presenta más tarde



Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (50%)

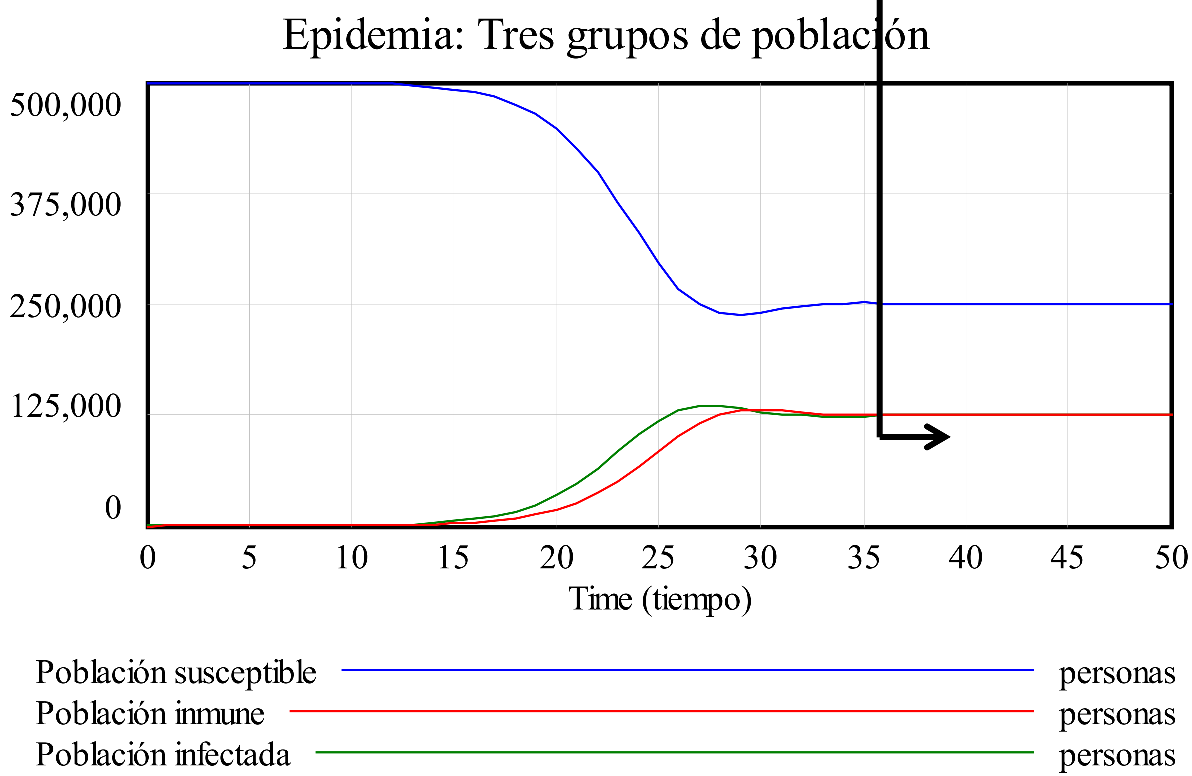
En 30 días se ha alcanzado una situación endémica: conviven miembros de los tres grupos, estando en mayoría los infectados



Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.5)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (50%)

La situación endémica tarda más tiempo en alcanzarse, estando en mayoría los susceptibles

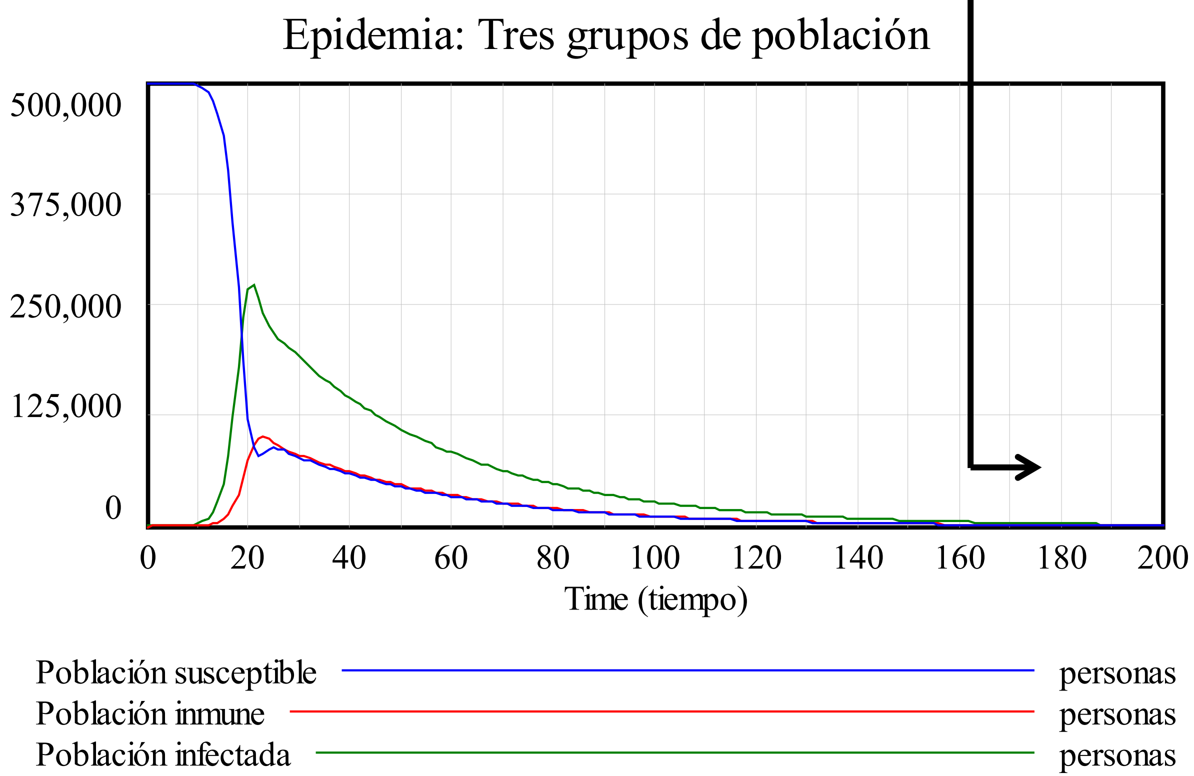


F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

- **Ejercicio 3**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0.05)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (50%)

La infección consigue extinguir a la población



F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (tres grupos de población)

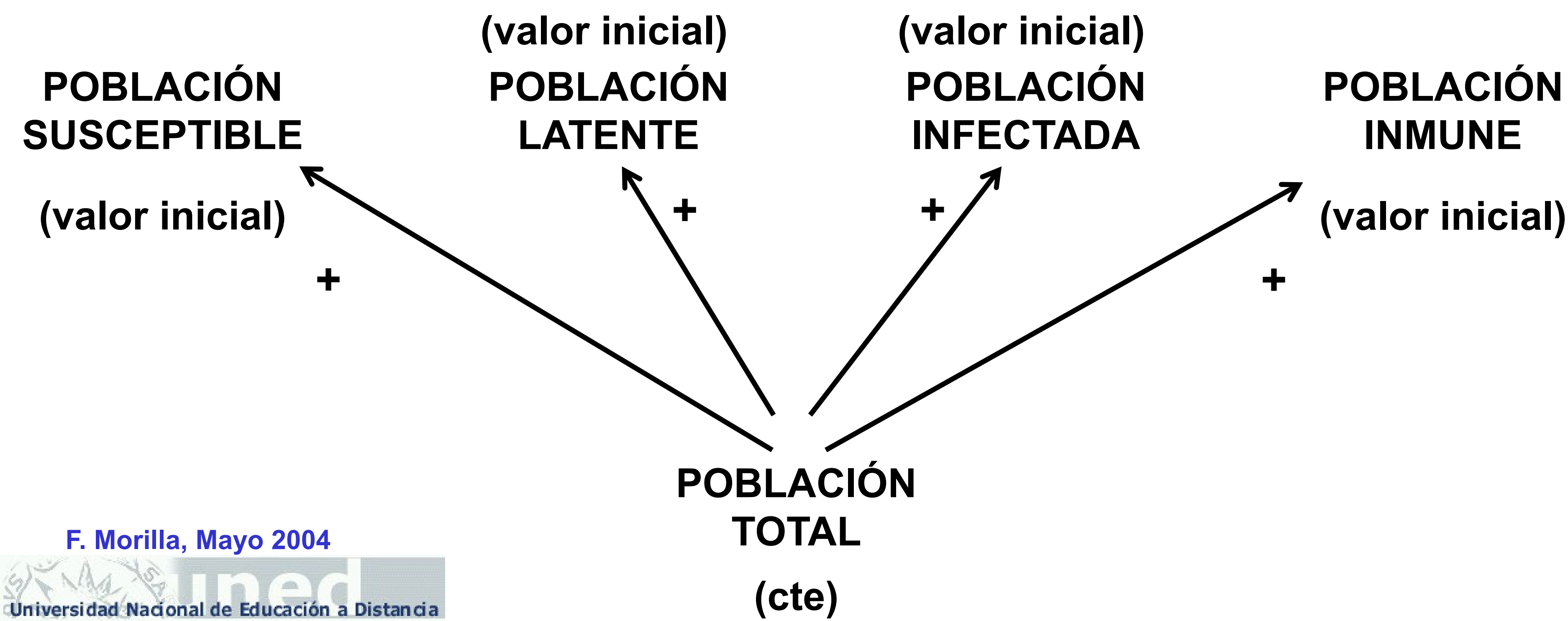
- **Ejercicio 3**. Resumen de resultados
  – La propagación de la infección depende del producto de tres parámetros, que se pueden englobar en uno sólo. El factor Ro: número de casos nuevos por huésped infectado,

$$R_o = \frac{\text{Número de contactos persona a persona} \ * \ \text{Probabilidad de transmisión}}{\text{Tasa de recuperación}}$$

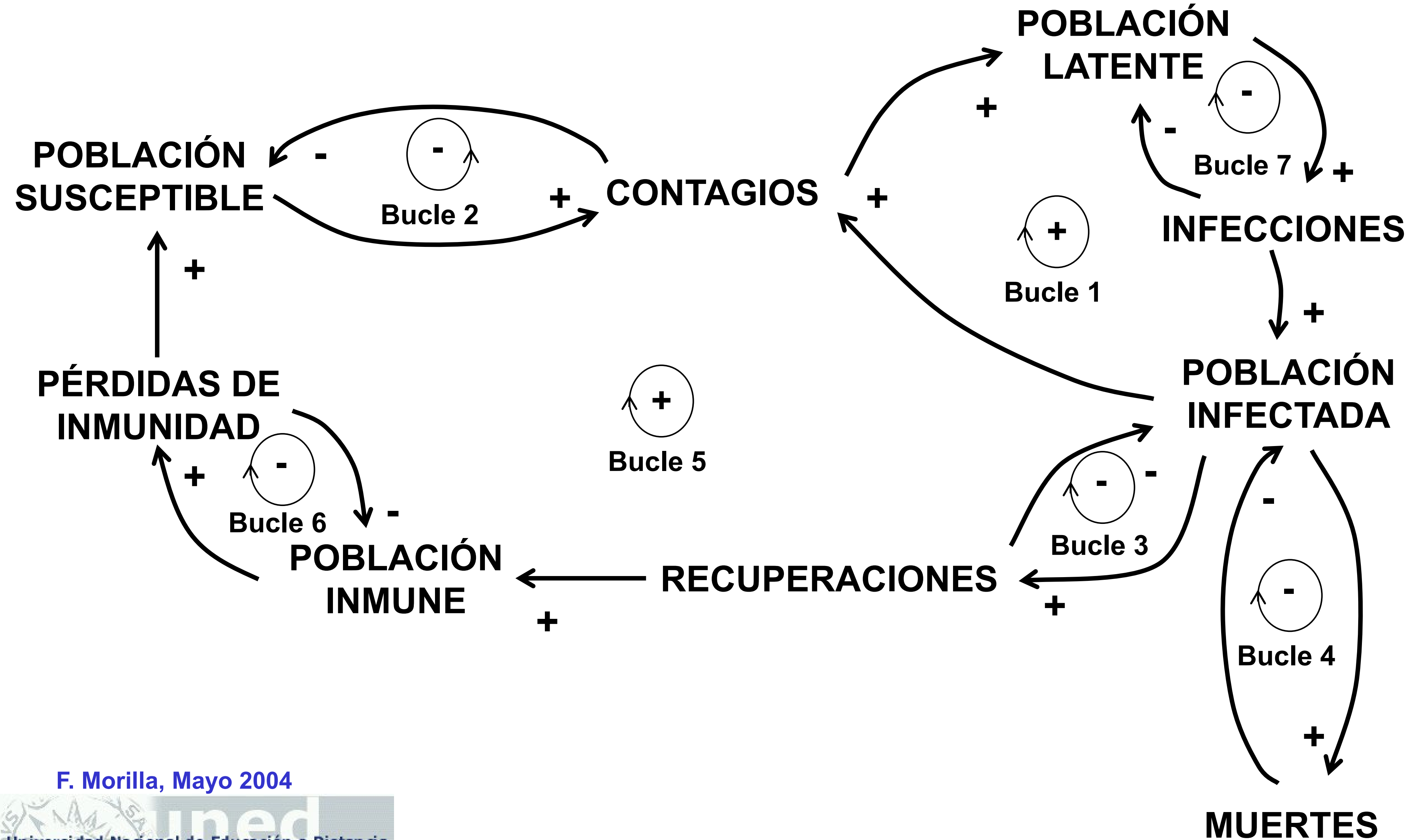
  – Cuanto mayor sea el valor de Ro, más rápida es la propagación y mayor parte de la población susceptible habrá sido infectada. En los casos anteriores tenemos Ro=5 y Ro=2.
  – Si hay pérdida de inmunidad se puede presentar una situación endémica, con predominio de la población infectada si Ro es alto o de la población susceptible si Ro es bajo.
  – Si además de pérdida de inmunidad hay letalidad, la infección conseguirá extinguir a la población.

Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- Nueva ampliación: La enfermedad se pone de manifiesto después de un periodo de latencia, durante el cual las personas afectadas aún no contagian la enfermedad.



Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)



F. Morilla, Mayo 2004

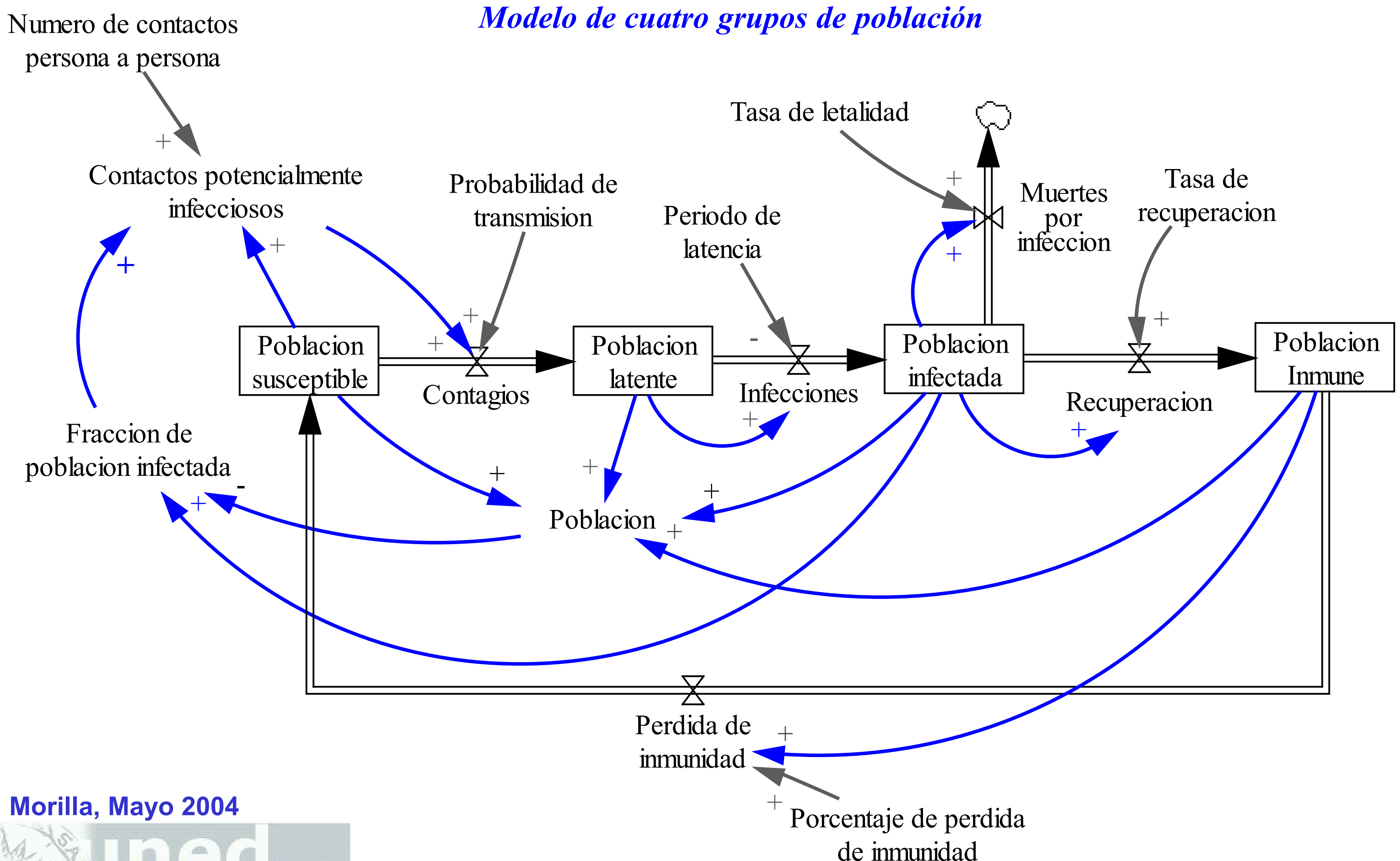
Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- **Ejercicio 4**. Ampliar el modelo de epidemia en Vensim a cuatro grupos de población utilizando el siguiente conjunto de variables (ver esquema), datos y parámetros:
  - Susceptibles iniciales (500000)
  - Infectados iniciales (12)
  - Número de contactos persona a persona (10)
  - Probabilidad de transmisión (0.1)
  - Tasa de letalidad (0, 0.05)
  - Tasa de recuperación (0.2, 0.5)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%, 50%)
  - Periodo de latencia (2)

Propagación de enfermedades infecciosas: Ejercicio 4

Dinámica de una epidemia en una población cerrada

Modelo de cuatro grupos de población



F. Morilla, Mayo 2004

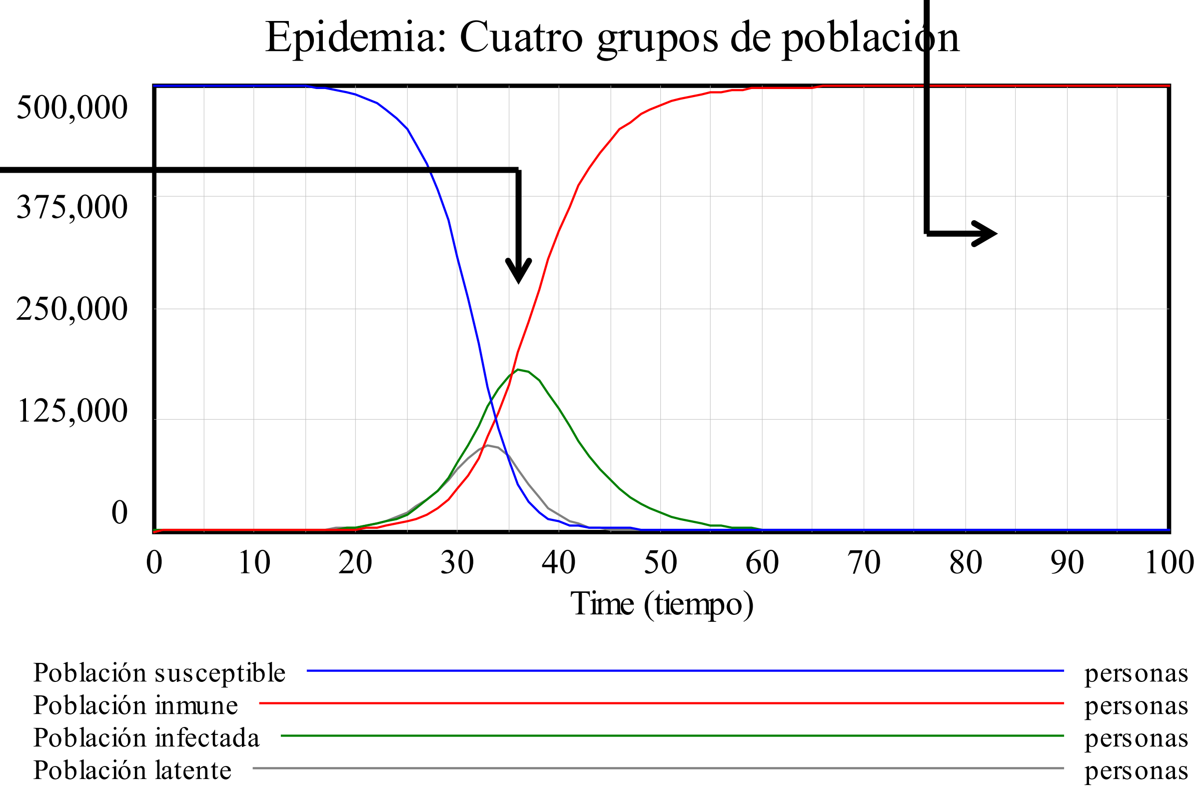
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- **Ejercicio 4**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (0%)

Toda la población queda inmunizada

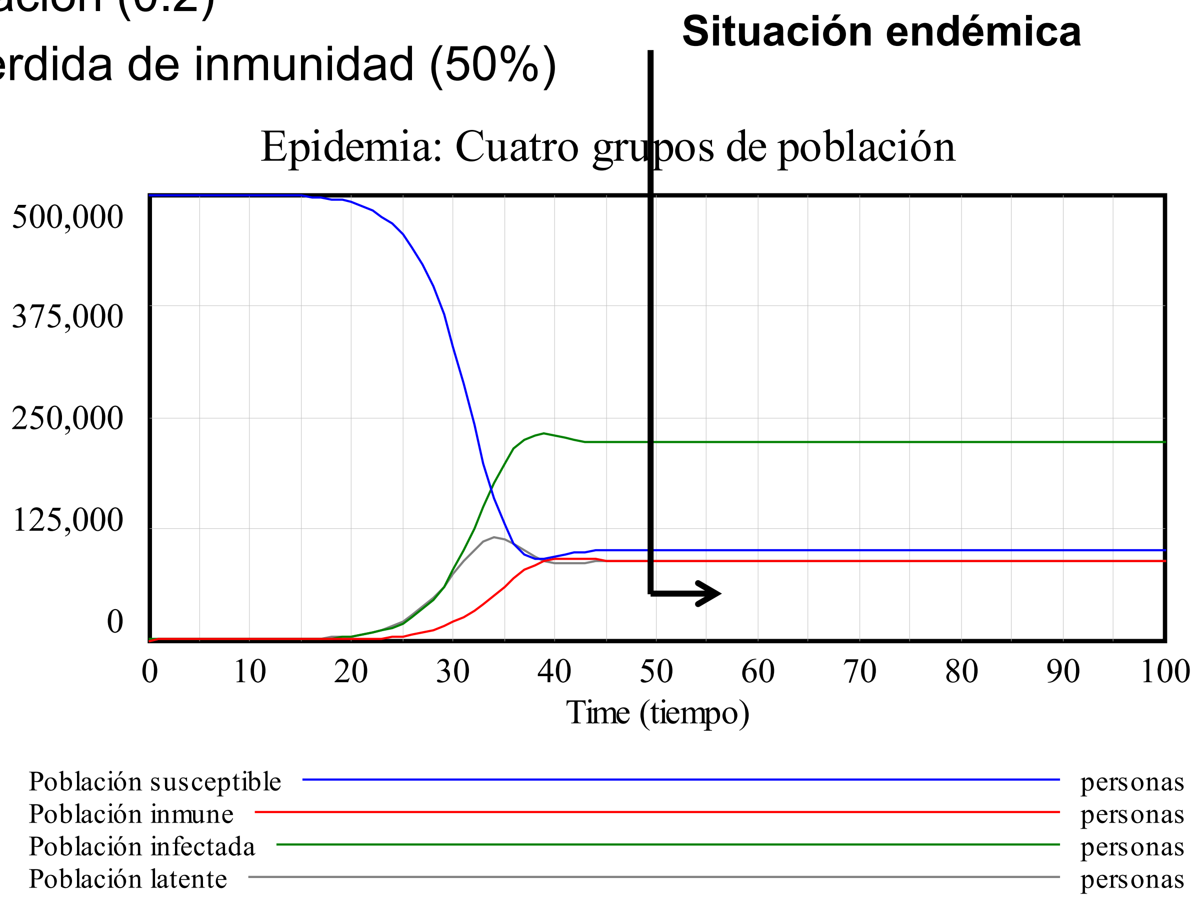
A los 36 días se presenta el máximo de población infectada



F. Morilla, Mayo 2004

Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- **Ejercicio 4**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (50%)



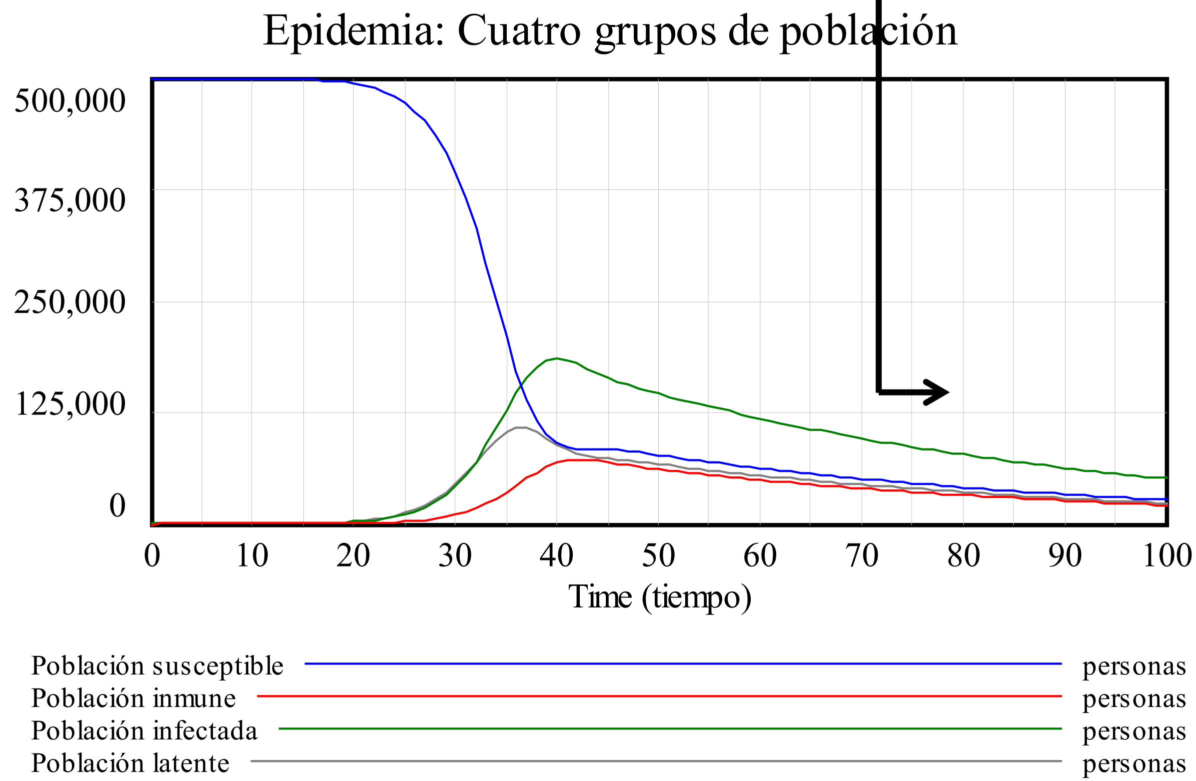
F. Morilla, Mayo 2004

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- **Ejercicio 4**. Resultados con
  - Tasa de letalidad (0.05)
  - Tasa de recuperación (0.2)
  - Porcentaje de pérdida de inmunidad (50%)

La infección conseguirá extinguir a la población



F. Morilla, Mayo 2004

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Propagación de enfermedades infecciosas (cuatro grupos de población)

- **Ejercicio 4**. Resumen de resultados

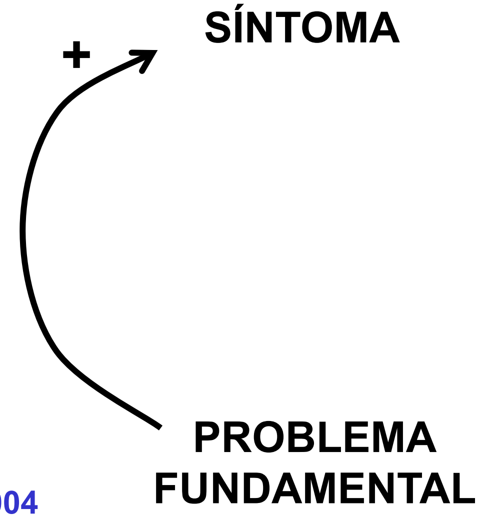
  - La DINÁMICA de la propagación de la infección es similar al modelo de tres grupos de población pero algo más lenta.
  - El factor Ro influye de la misma forma.
  - Si hay pérdida de inmunidad se puede presentar una situación endémica, con predominio de la población infectada si Ro es alto o de la población susceptible si Ro es bajo.
  - Si además de pérdida de inmunidad hay letalidad, la infección conseguirá extinguir a la población.

Adicción a los medicamentos

- Es un caso particular del arquetipo de la adicción
- La adicción se presenta cuando:
  - Hay un síntoma problemático (ej. Estrés) que requiere atención
  - El síntoma esta generado por un problema cuya solución es difícil o no se conoce bien
  - Se tratan los síntomas en lugar del problema
  - Se obtienen éxitos a corto plazo, pero el problema fundamental sigue subyacente

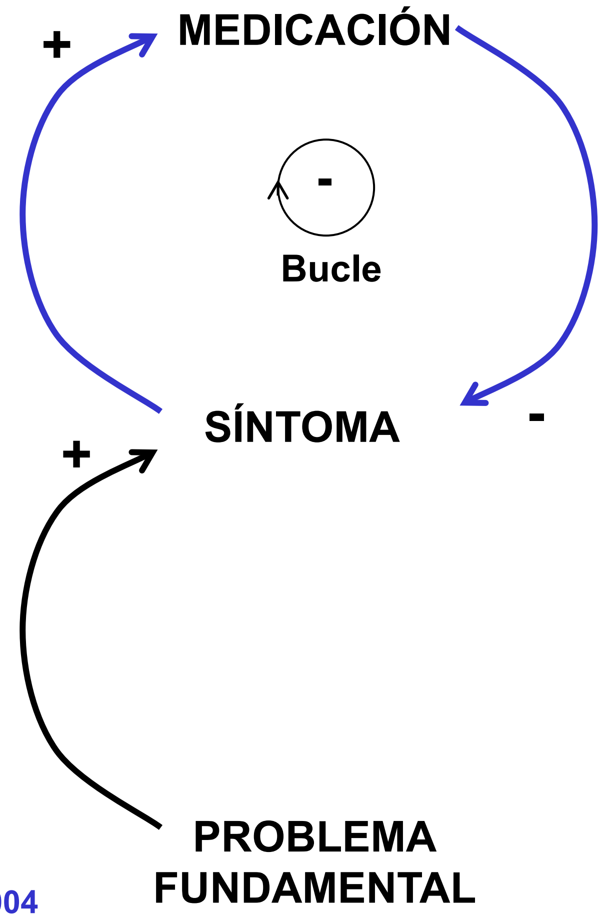
Adicción a los medicamentos

- Problema fundamental y síntoma



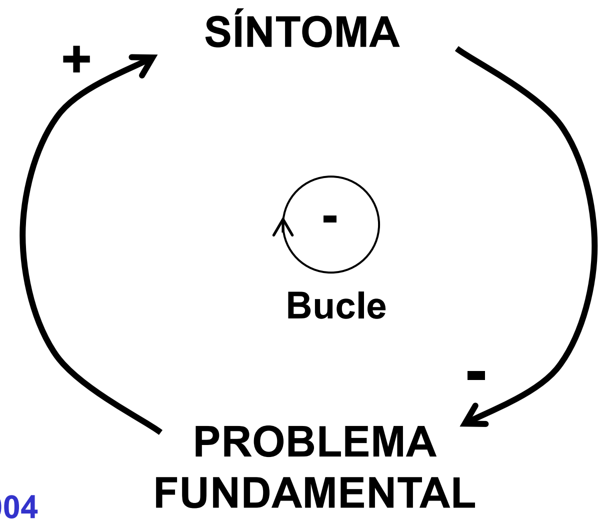
Adicción a los medicamentos

- Solución sintomática



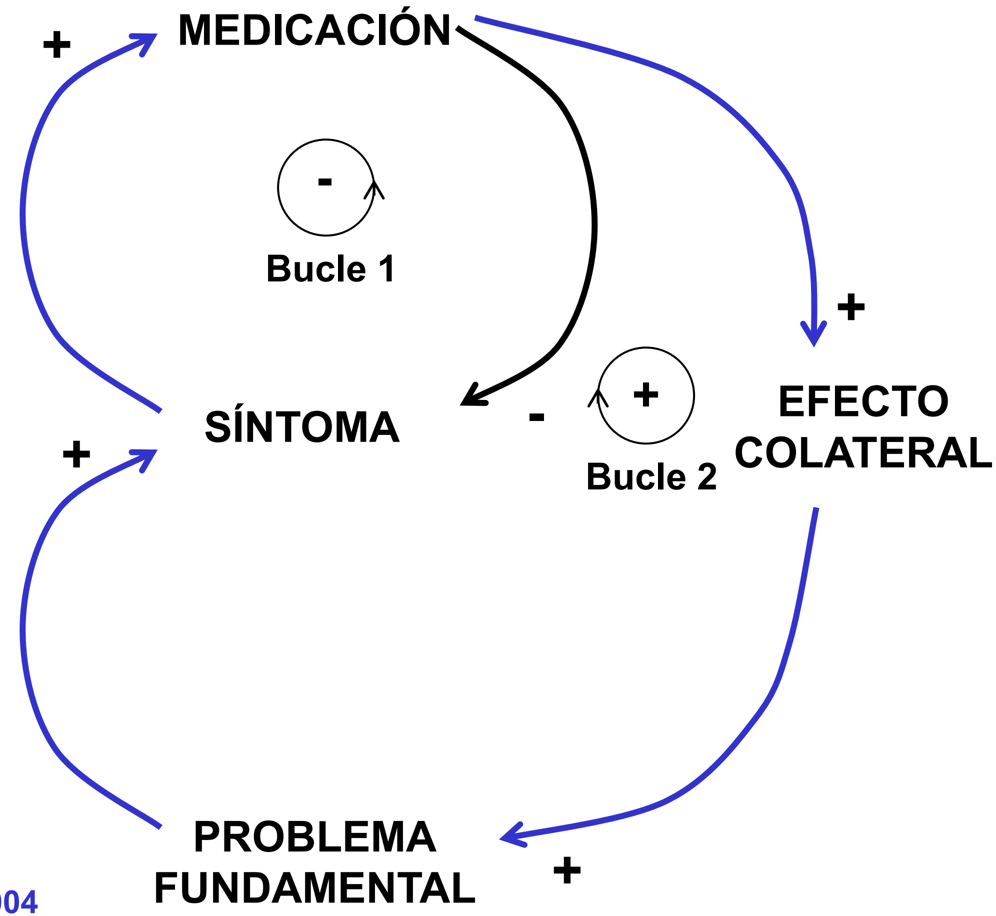
Adicción a los medicamentos

- Solución fundamental



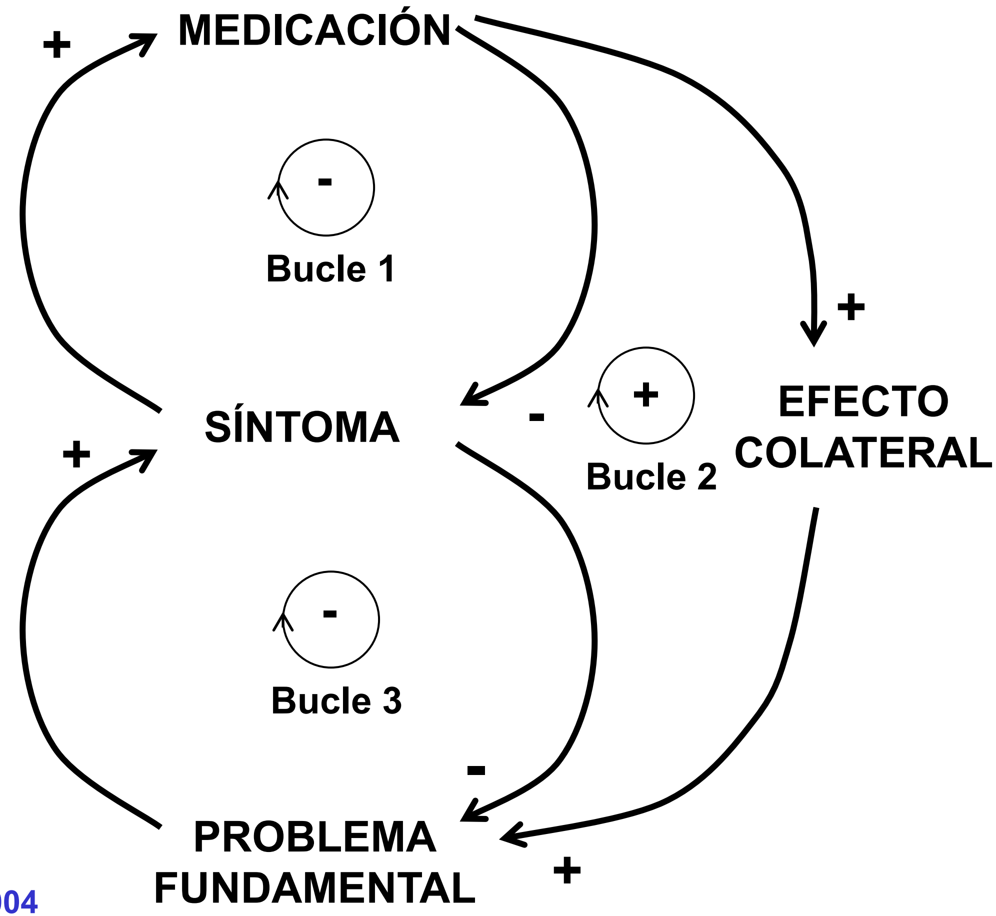
Adicción a los medicamentos

- Efecto colateral



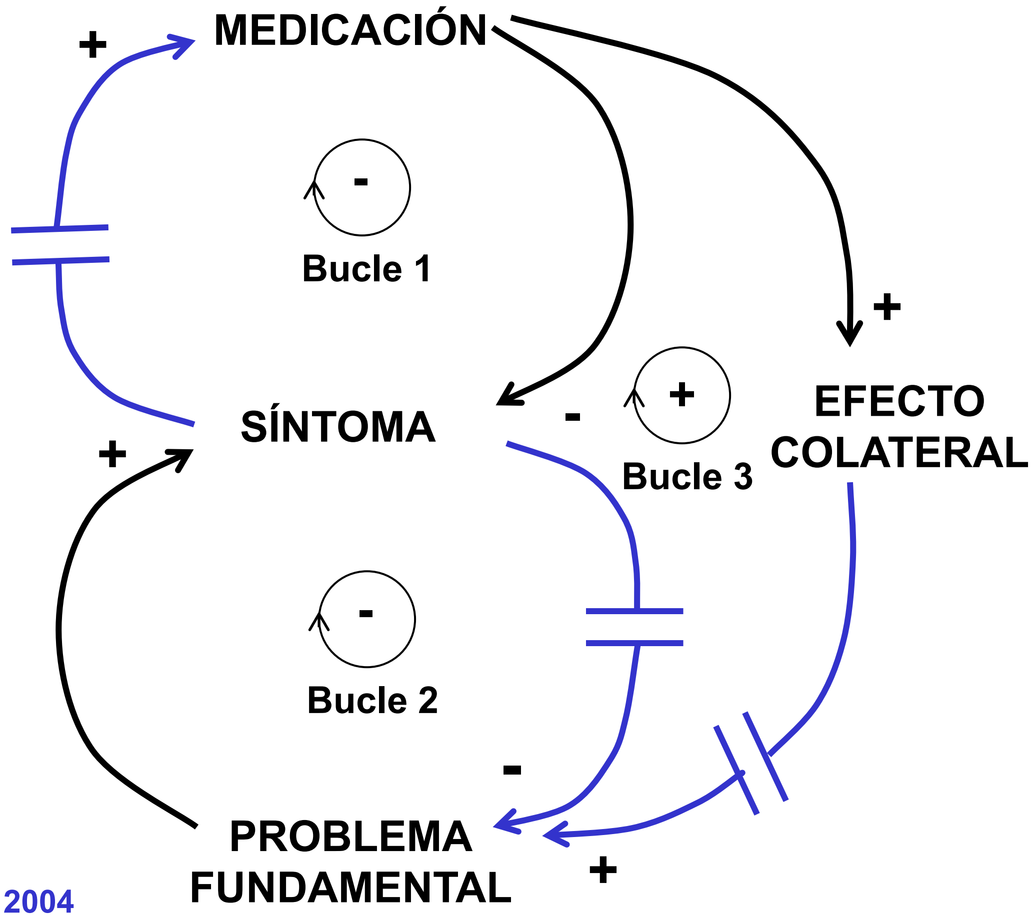
Adicción a los medicamentos

- Diagrama de influencias típico



Adicción a los medicamentos

- Retraso en todas las decisiones



Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Problema fundamental :
  - TRABAJO
- Síntoma :
  - ESTRÉS
- Tratamiento fácil :
  - Ingestión de FÁRMACOS
- Tratamiento adecuado :
  - Reducir el TRABAJO

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 1 basado en las hipótesis:
  - La ingestión de fármacos, que permite reducir el estrés, es proporcional al estrés del día anterior
  - El estrés es directamente proporcional al trabajo, pero sólo se presenta cuanto éste supera un cierto umbral
  - El trabajo es una imposición, sobre la que el individuo no tiene poder de decisión

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Formulación matemática del modelo 1

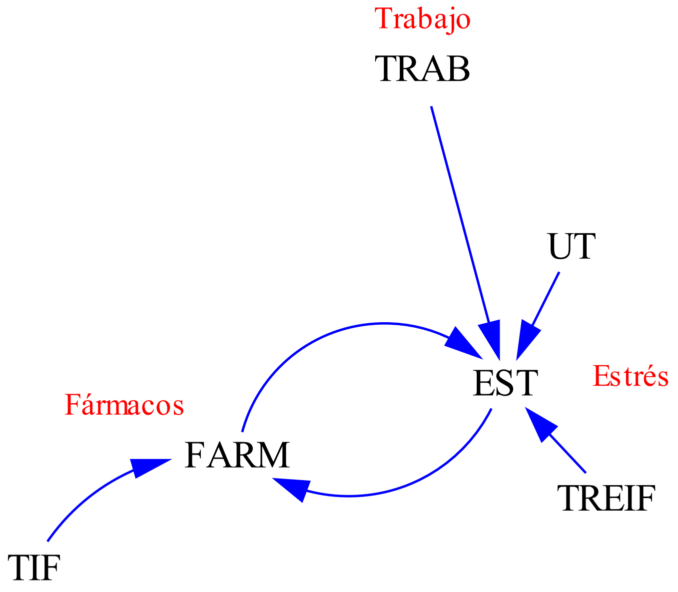
$$\mathrm{FARM}(t) = \mathrm{TIF}\ \ \mathrm{EST}(t-1)$$

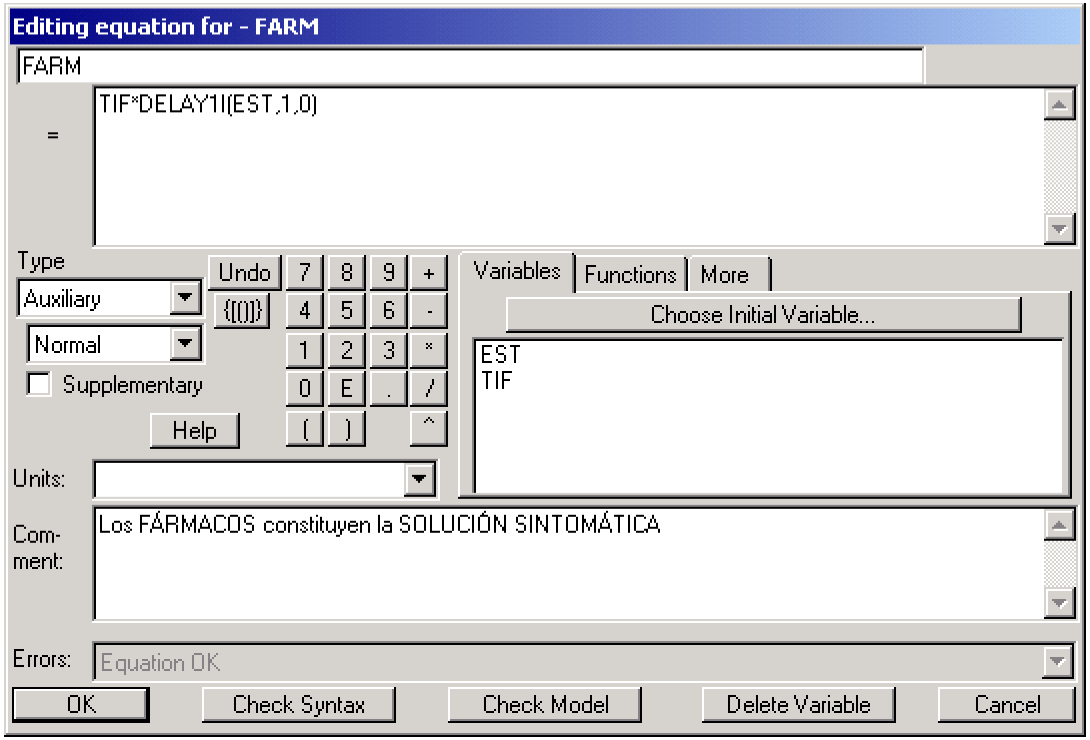
$$\mathrm{EST}(t) = \mathrm{MAX}\left(\mathrm{TRAB}(t) - \mathrm{UT} - \mathrm{TREIF}\ \ \mathrm{FARM}(t), 0\right)$$

- Diccionario de variables:
  - TRAB : Trabajo
  - EST : Estrés
  - FARM : Fármacos
  - UT : Umbral de trabajo a partir del cual se presenta el estrés
  - TIF : Tasa de ingestión de fármacos
  - TREIF : Tasa de reducción del estrés por ingestión de fármacos

Ejemplo de adicción a los medicamentos

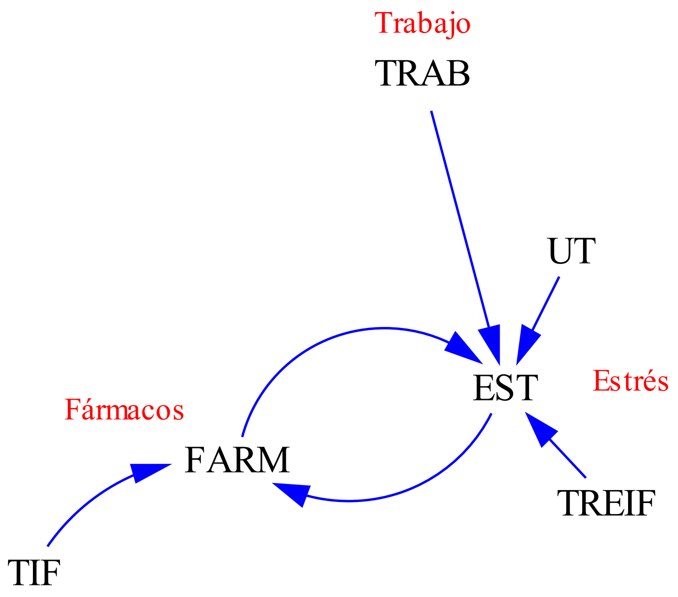
- Modelo 1 (solución sintomática) en Vensim

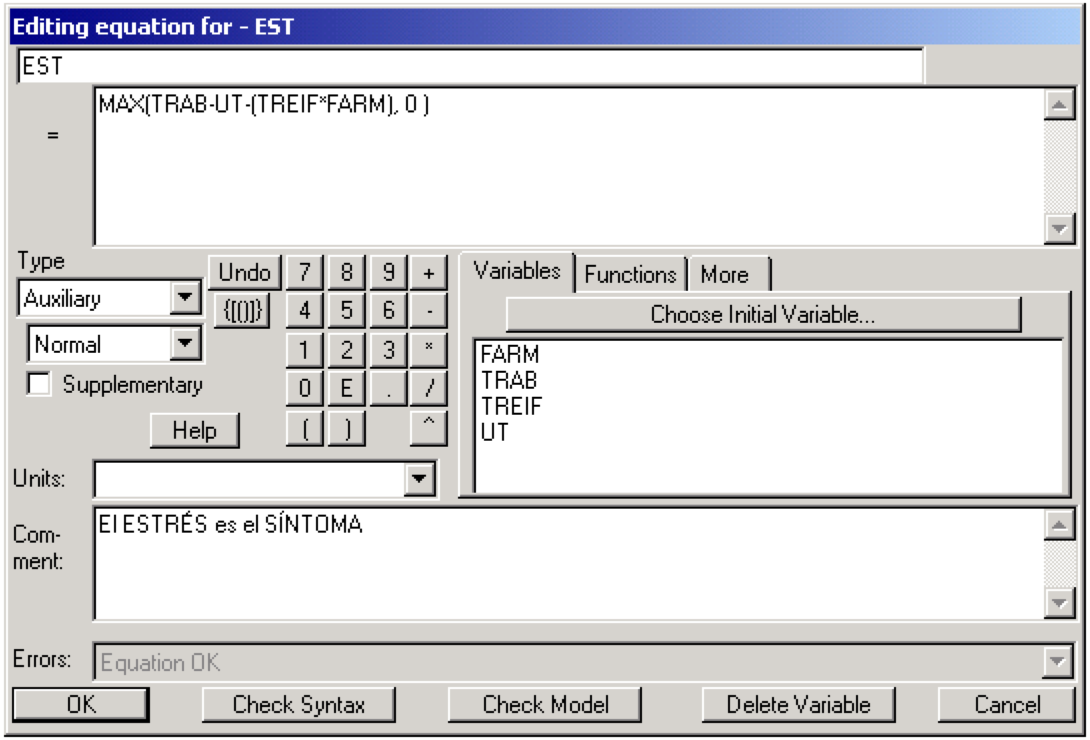




Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 1 (solución sintomática) en Vensim



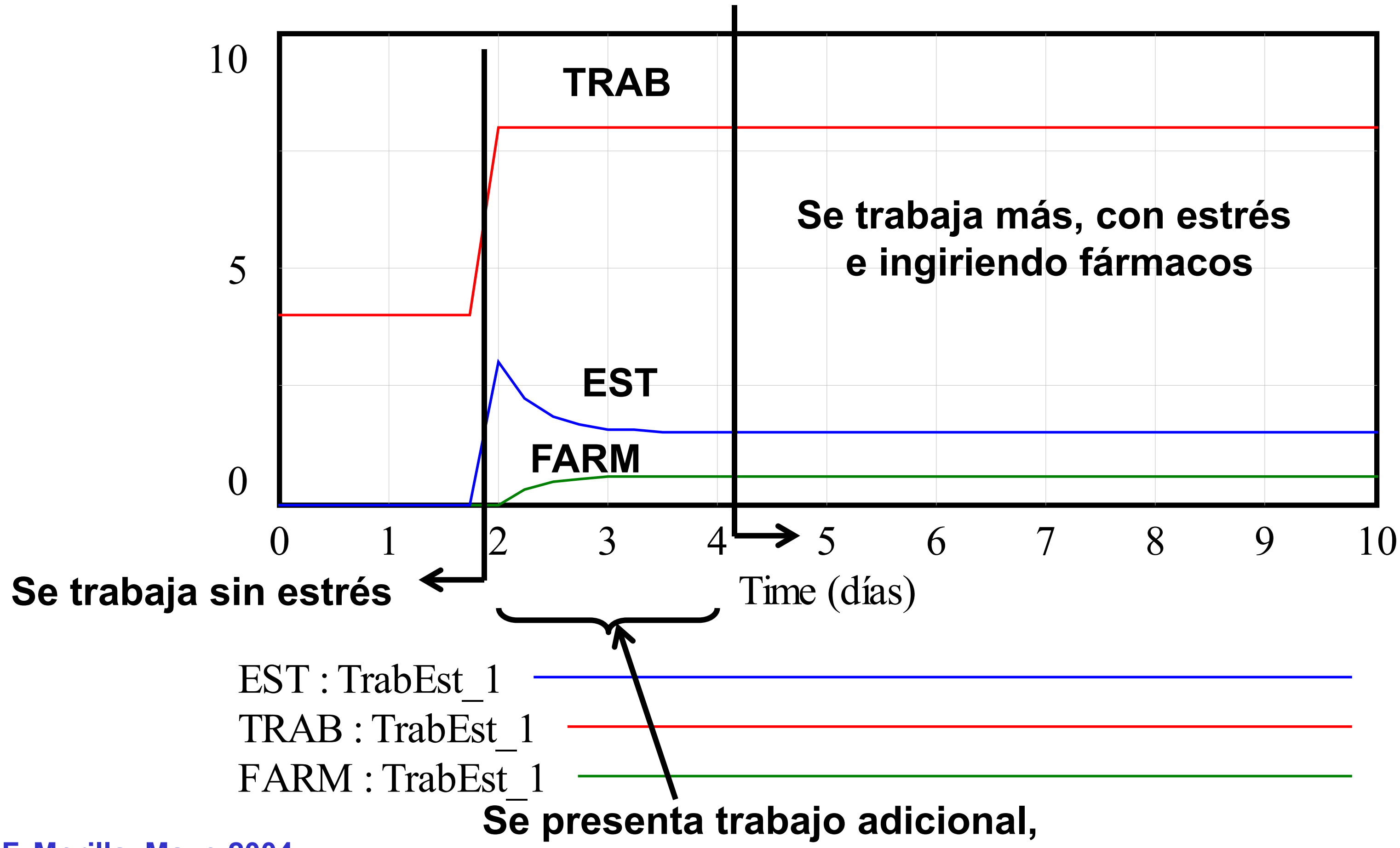


Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Caso concreto con el modelo 1
  - Parámetros del modelo
    - Umbral de trabajo para el estrés: UT = 5
    - Tasa de ingestión de fármacos: TIF = 0.4
    - Tasa de reducción del estrés por los fármacos: TREIF = 2.5
    - El trabajo que inicialmente tiene un valor mantenido de 4 unidades pasa bruscamente a 8 en el segundo día
- Parámetros de simulación
  - Los adecuados para evaluar cuándo se presenta el síntoma, cómo se ha tratado de solucionar y si se ha solucionado

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Resultados con el Modelo 1



Adicción a los medicamentos: Ejercicio 5

- Reproducir en Vensim el modelo y los resultados del ejemplo de solución sintomática anteriormente comentado

$$\mathrm{FARM}(t) = \mathrm{TIF}\ \ \mathrm{EST}(t-1)$$

$$\mathrm{EST}(t) = \mathrm{MAX}\left(\mathrm{TRAB}(t) - \mathrm{UT} - \mathrm{TREIF}\ \ \mathrm{FARM}(t), 0\right)$$

- Probar el modelo en otras condiciones de trabajo o de medicación, interpretando siempre los resultados

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 2, modificación del modelo 1 para incluir:
  - El efecto colateral, debido a que la ingestión de fármacos predispone al individuo a aceptar, pero no de forma inmediata, más trabajo
- Nuevas de variables:
  - FT : Flujo de trabajo
  - CSAT : Capacidad subjetiva para aceptar más trabajo
  - TAT : Tasa para decidir el aumento de trabajo

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 2 (solución sintomática+efecto colateral) formulación matemática:

$$\mathrm{FARM(t)} = \mathrm{TIF\ \ EST(t-1)}$$

$$\mathrm{EST(t)} = \mathrm{MAX}\left(\mathrm{TRAB(t) - UT - TREIF\ \ FARM(t), 0}\right)$$

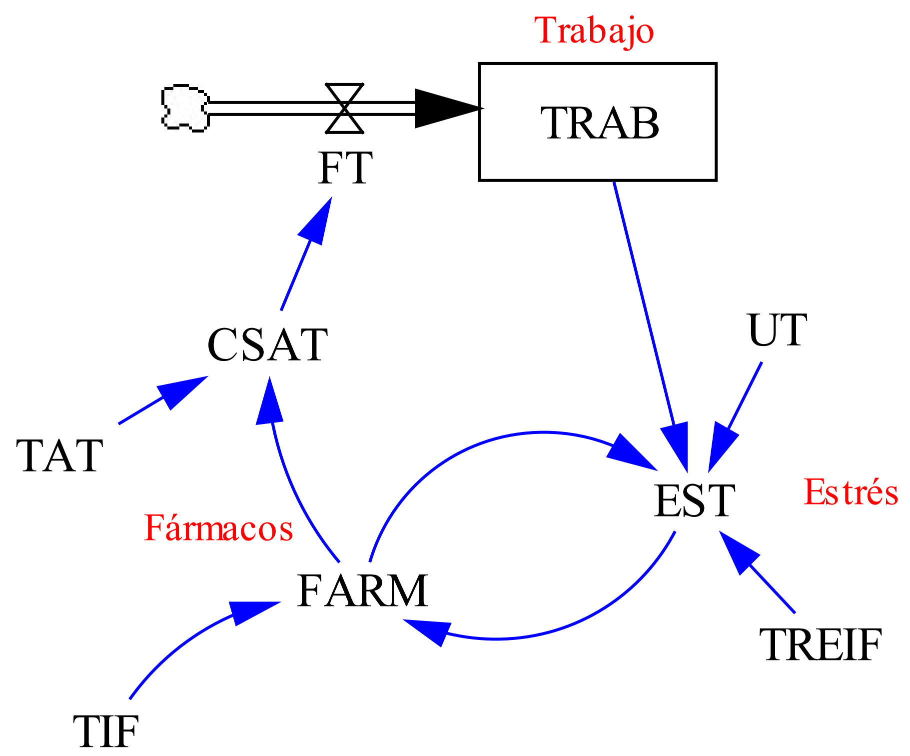
$$\mathrm{CSAT} = \mathrm{TAT\ \ FARM(t)}$$

$$\mathrm{FT(t)} = \mathrm{CSAT(t-3)}$$

$$\frac{\mathrm{d\,TRAB(t)}}{\mathrm{dt}} = \mathrm{FT(t)}$$

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 2 (solución sintomática+efecto colateral) en Vensim

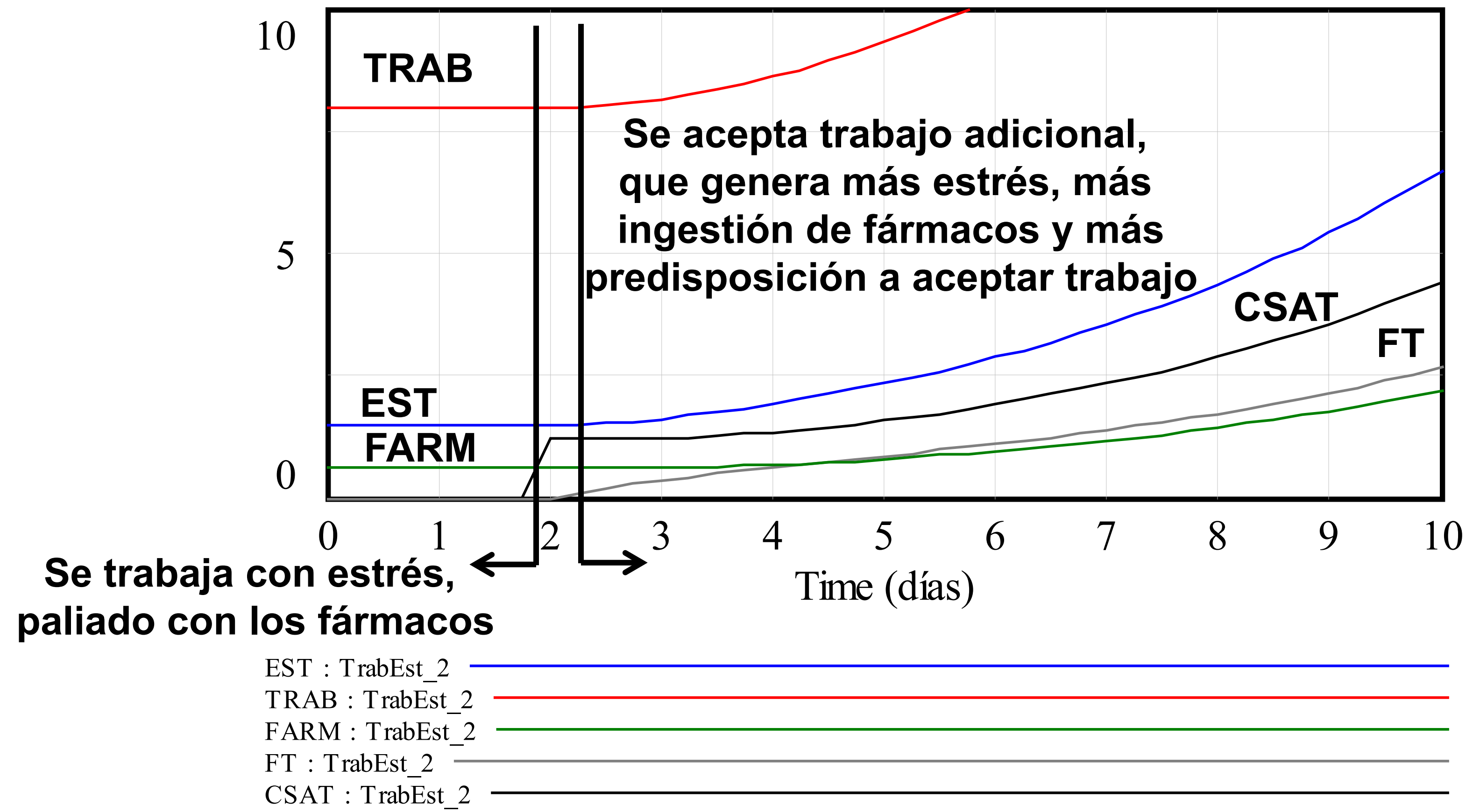


Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Caso concreto con el modelo 2
  - Parámetros del modelo
    - Umbral de trabajo para el estrés: UT = 5
    - Tasa de ingestión de fármacos: TIF = 0.4
    - Tasa de reducción del estrés por los fármacos: TREIF = 2.5
    - El trabajo inicial de 8 unidades que se soporta con 1.5 estrés aliviado por la ingestión de 0.6 fármacos
    - La tasa sobre aumento de trabajo, que inicialmente es nula, pasa bruscamente a valer 2 en el segundo día
- Parámetros de simulación
  - Los adecuados para evaluar cómo evoluciona el síntoma y el problema fundamental

Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Resultados con el Modelo 2



Adicción a los medicamentos: Ejercicio 6

- Reproducir en Vensim el modelo y los resultados del ejemplo de solución sintomática + efecto colateral anteriormente comentado

- Probar el modelo en otras condiciones de trabajo o de medicación, interpretando siempre los resultados

Ejemplo de adicción a los medicamentos

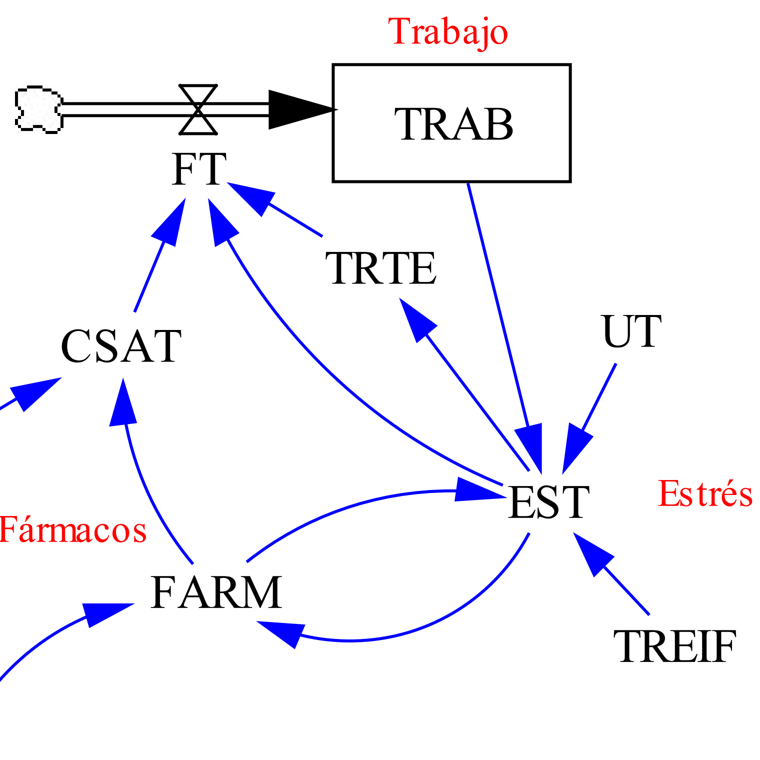
- Modelo 3, modificación del modelo 2 para incluir:
  - La solución fundamental, es decir, la reducción del trabajo en función del estrés
- Nueva variable:
  - TRTE : Tasa de reducción del trabajo en función del estrés
- Nuevas ecuaciones

$$\mathrm{TRTE(t)} = \begin{cases} 0 \ \text{si} \ \mathrm{EST(t)} < 2.5 \\ 4 \ \text{si} \ \mathrm{EST(t)} \geq 2.5 \end{cases}$$

$$\mathrm{FT(t)} = \mathrm{CSAT\ (t-3) - TRTE(t)\ EST(t)}$$

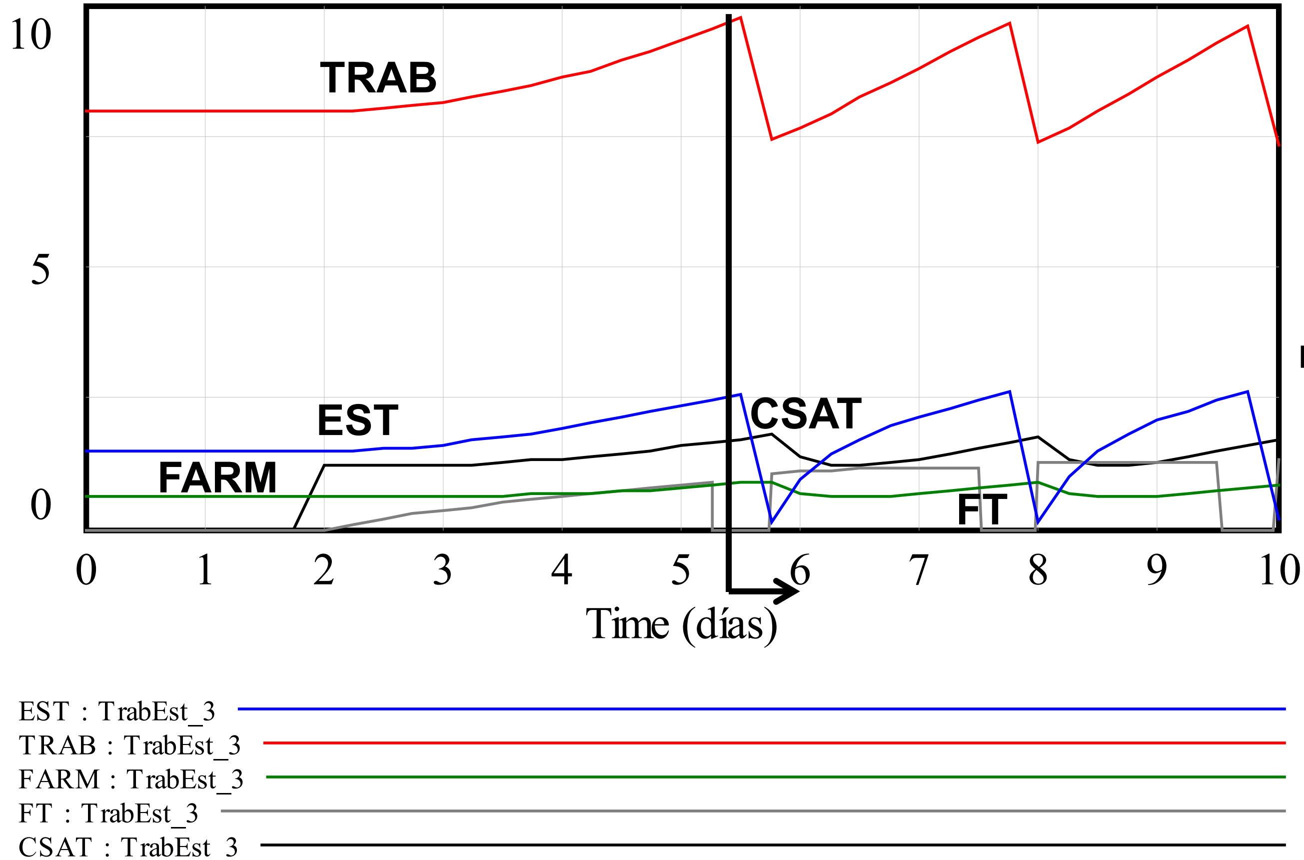
Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Modelo 3 (solución sintomática+efecto colateral+solución fundamental) en Vensim



Ejemplo de adicción a los medicamentos

- Resultados con el Modelo 3



El trabajo se reduce ocasionalmente, y como el problema fundamental no se resuelve totalmente, la situación de estrés se repite cíclicamente

Adicción a los medicamentos: Ejercicio 7

- Reproducir en Vensim el modelo y los resultados del ejemplo de solución sintomática + efecto colateral + solución fundamental anteriormente comentado

- Probar el modelo en otras condiciones de trabajo o de medicación, interpretando siempre los resultados

Modelización de una enfermedad epidémica en dinámica de sistemas

Fernando Morilla
Dpto de Informática y Automática
UNED

Contenido

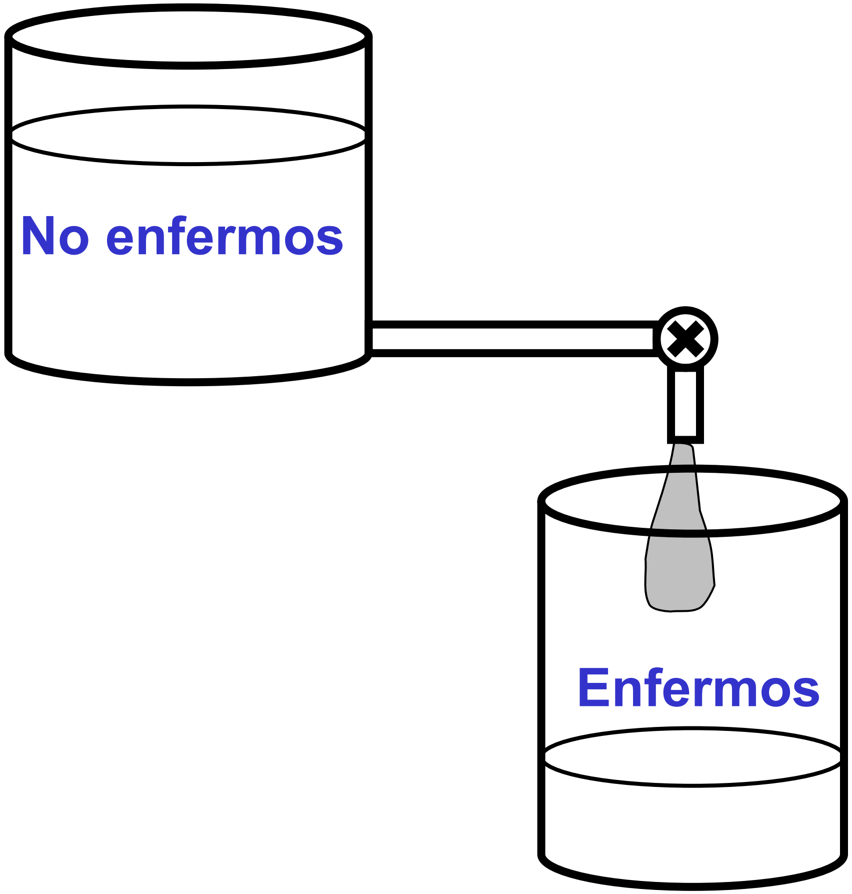
- Adaptación del modelo “Epidemia de gripe con 8 estadios” a la dinámica de sistemas
  – Fuente: Libro de Armando Aguirre Jaime, “Vigilancia Epidemiológica y ordenadores”, pág. 121 a 174
- Pasos previos a la programación en Vensim del modelo
- Ejercicio: Programación y simulación en Vensim de un modelo con 3 estadios
- Presentación y explotación del modelo completo

Interpretación “hidraúlica” de una epidemia

La población total se distribuye entre no-enfermos y enfermos.

Mientras dure la enfermedad, se está produciendo un flujo de no-enfermos a enfermos.

Al final, el total de la población habrá enfermado.

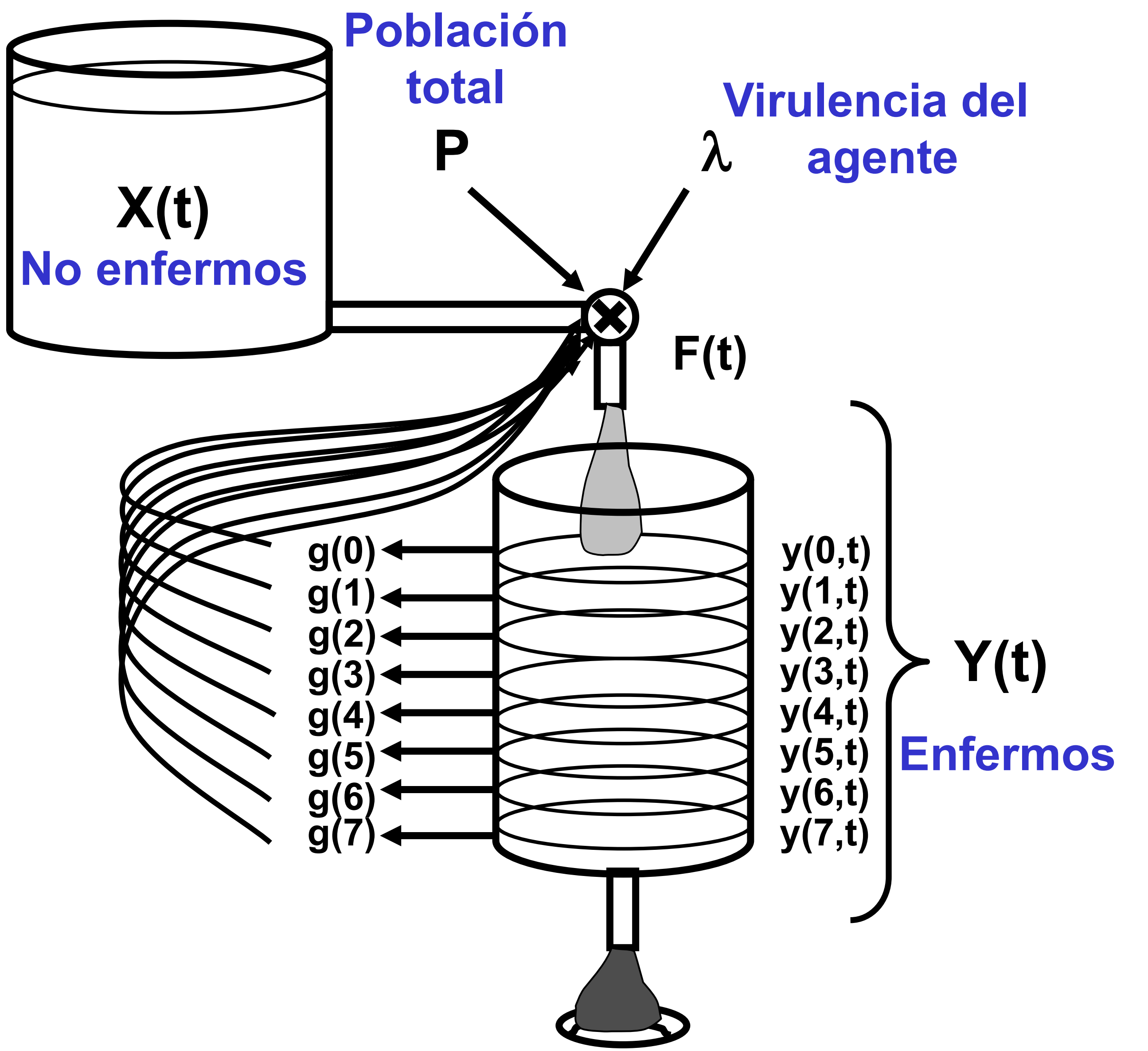


Interpretación “hidraúlica” de la epidemia de gripe con 8 estadios

La población total se distribuye entre no-enfermos y enfermos.

Los enfermos se distribuyen entre los 8 estadios de la enfermedad.

Los enfermos se curan y no vuelven a enfermar

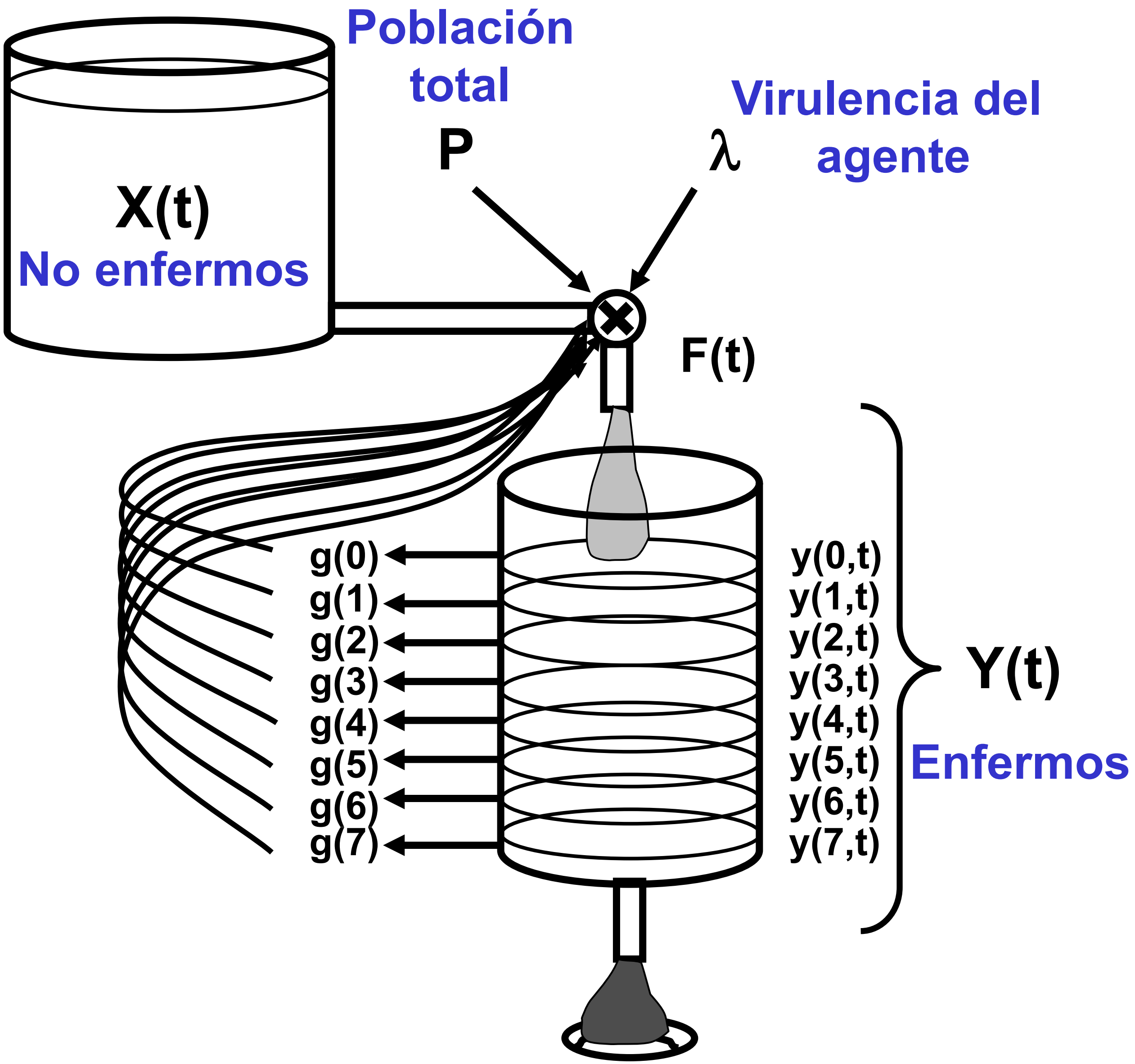


F. Morilla, Mayo 2004

Interpretación "hidraúlica" de la epidemia de gripe con 8 estadios

Mientras dure la enfermedad, se está produciendo un flujo de no-enfermos a enfermos. Y flujos de enfermos entre los 8 estadios de la enfermedad.

Al final, habrá parte de la población que no haya enfermado y el resto que sí.



Modelo continuo de una epidemia de gripe con 8 estadios

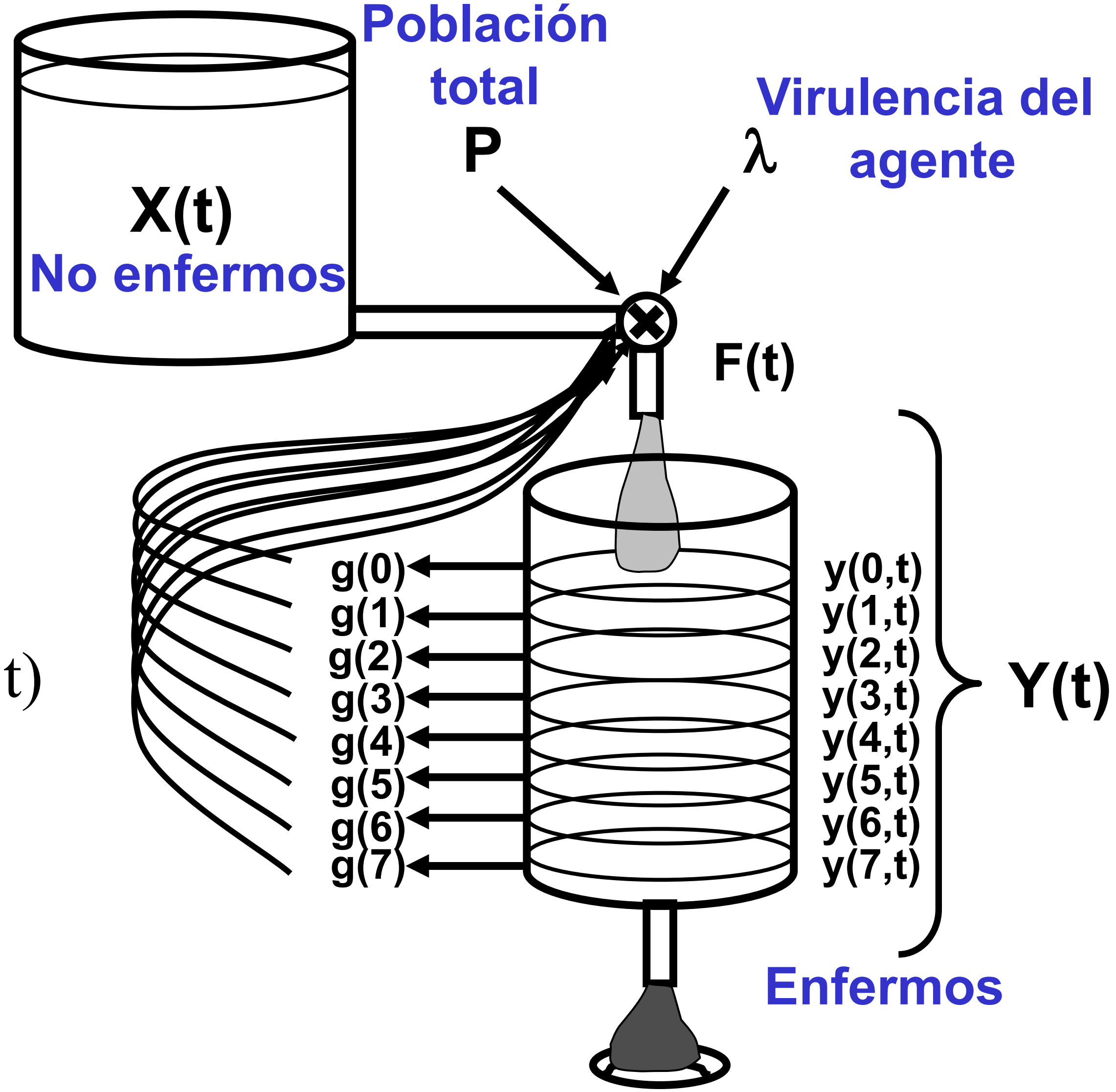
$$F(t) = \frac{\lambda}{P} X(t) \sum_{\tau=0}^{7} y(\tau, t)\, g(\tau)$$

$$\frac{d\,X(t)}{dt} = -\,F(t)$$

$$\frac{d\,y(0,t)}{dt} = F(t) - y(0,t)$$

$$\frac{d\,y(\tau,t)}{dt} = y(\tau-1,t) - y(\tau,t)$$

$$\frac{d\,y(7,t)}{dt} = y(6,t)$$



F. Morilla, Mayo 2004

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Programación en Vensim

- 9 estados
  - NE(t) : No enfermos .... X(t)
  - E1D(t) : Enfermos de 1 día .... y(0,t)
  - E2D(t) : Enfermos de 2 días .... y(1,t)
  - E3D(t) : Enfermos de 3 días .... y(2,t)
  - E4D(t) : Enfermos de 4 días .... y(3,t)
  - E5D(t) : Enfermos de 5 días .... y(4,t)
  - E6D(t) : Enfermos de 6 días .... y(5,t)
  - E7D(t) : Enfermos de 7 días .... y(6,t)
  - E8DOM(t) : Enfermos de 8 o más días .. y(7,t)

Programación en Vensim

- 8 Flujos entre los nueve estados
  - NEE(t) : No enfermos que enferman ..... F(t)
  - E1DA2D : Enfermos de 1 día a 2 días ... y(0,t)
  - E2DA3D : Enfermos de 2 días a 3 días ... y(1,t)
  - E3DA4D : Enfermos de 3 días a 4 días ... y(2,t)
  - E4DA5D : Enfermos de 4 días a 5 días ... y(3,t)
  - E5DA6D : Enfermos de 5 días a 6 días ... y(4,t)
  - E6DA7D : Enfermos de 6 días a 7 días ... y(5,t)
  - E7DA8D : Enfermos de 7 días a 8 días ... y(6,t)

Programación en Vensim

- 9 Parámetros
  - Lambda : Virulencia .... λ
  - PT1D : Probabilidad de transmisión del 1er día ... g(0)
  - PT2D : Probabilidad de transmisión del 2º día .... g(1)
  - PT3D : Probabilidad de transmisión del 3er día ... g(2)
  - PT4D : Probabilidad de transmisión del 4º día .... g(3)
  - PT5D : Probabilidad de transmisión del 5º día .... g(4)
  - PT6D : Probabilidad de transmisión del 6º día .... g(5)
  - PT7D : Probabilidad de transmisión del 7º día .... g(6)
  - PT8DOM : Probabilidad de transmisión a partir del 8º día .... g(7)

Programación en Vensim

- Distribución inicial de la población total .... P
  - NE0 : No enfermos .... X(0)
  - E1D0 : Enfermos de 1 día .... y(0,0)
  - E2D0 : Enfermos de 2 días .... y(1,0)
  - E3D0 : Enfermos de 3 días .... y(2,0)
  - E4D0 : Enfermos de 4 días .... y(3,0)
  - E5D0 : Enfermos de 5 días .... y(4,0)
  - E6D0 : Enfermos de 6 días .... y(5,0)
  - E7D0 : Enfermos de 7 días .... y(6,0)
  - E8DOM0 : Enfermos de 8 o más días .. y(7,0)
- Que, como no hay muertes, se mantiene cte.

Ejercicio:
Simular una epidemia con 3 estadios

Modelo matemático

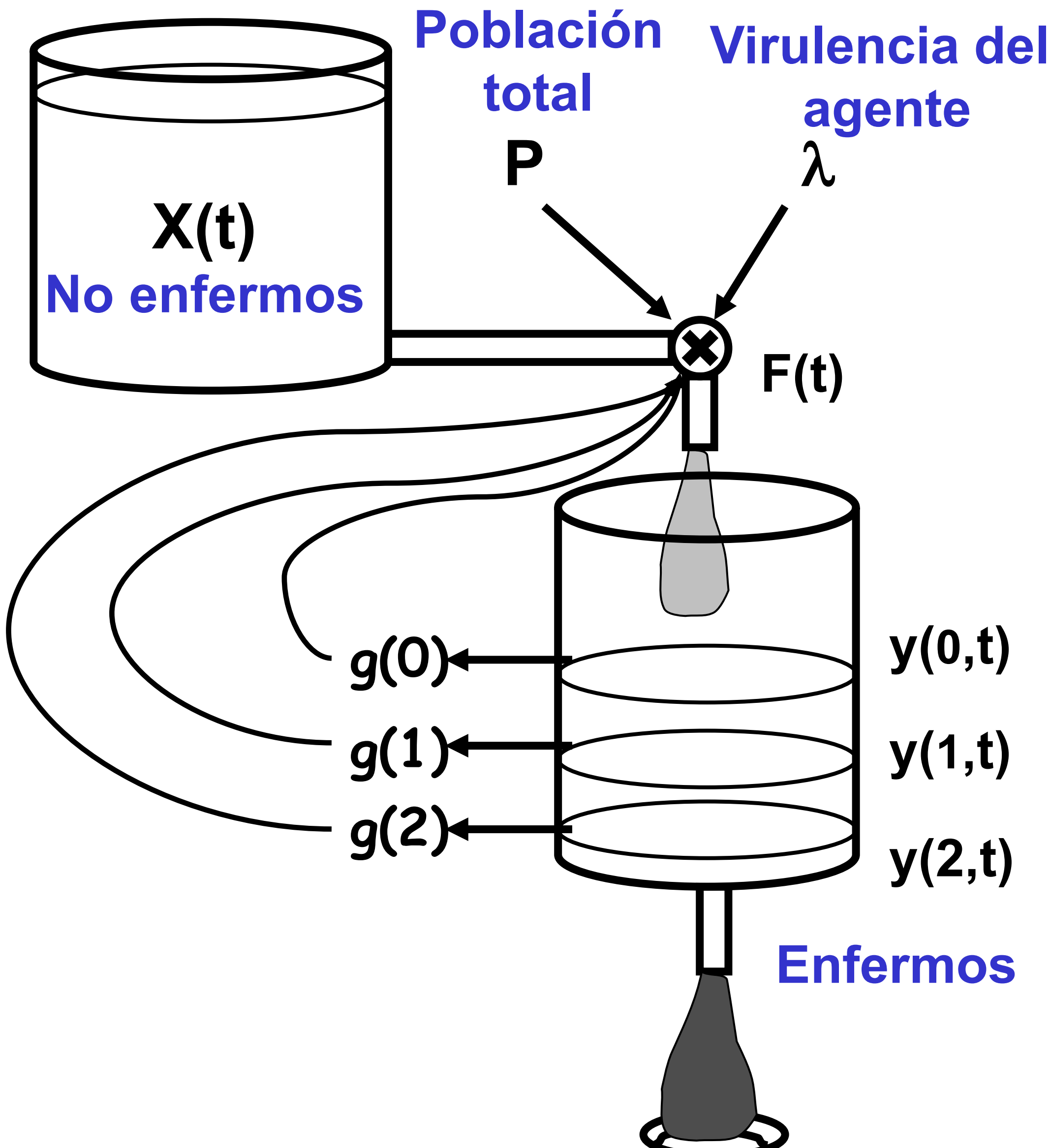
$$F(t) = \frac{\lambda}{P} X(t) \sum_{\tau=0}^{2} y(\tau, t)\, g(\tau)$$

$$\frac{d\,X(t)}{dt} = -\,F(t)$$

$$\frac{d\,y(0,t)}{dt} = F(t) - y(0,t)$$

$$\frac{d\,y(1,t)}{dt} = y(0,t) - y(1,t)$$

$$\frac{d\,y(2,t)}{dt} = y(1,t)$$



F. Morilla, Mayo 2004
uned
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Ejercicio:
Simular una epidemia con 3 estadios

Parámetros

Virulencia : $\lambda = 1.4$

Probabilidades de transmisión :

$g(0) = 0.5$
$g(1) = 0.9$
$g(2) = 0$

Condiciones de simulación

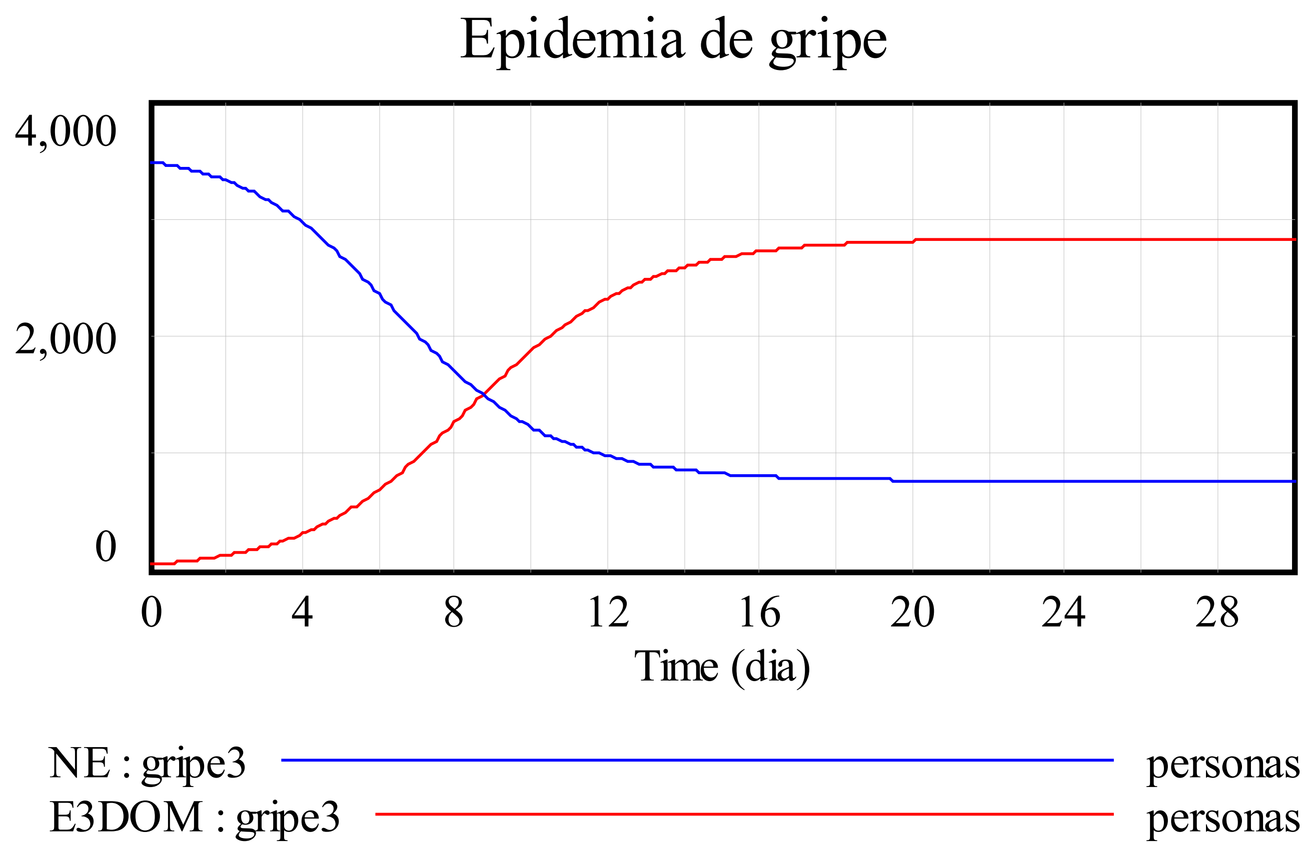
Valores iniciales:

$X(0) = 3490$ personas
$y(0,0) = 20$ personas
$y(1,0) = 40$ personas
$y(2,0) = 50$ personas

Unidad de tiempo = día
Paso de integración < 0.25 día
Duración de la simulación = 30 días

Ejercicio:
Simular una epidemia con 3 estadios

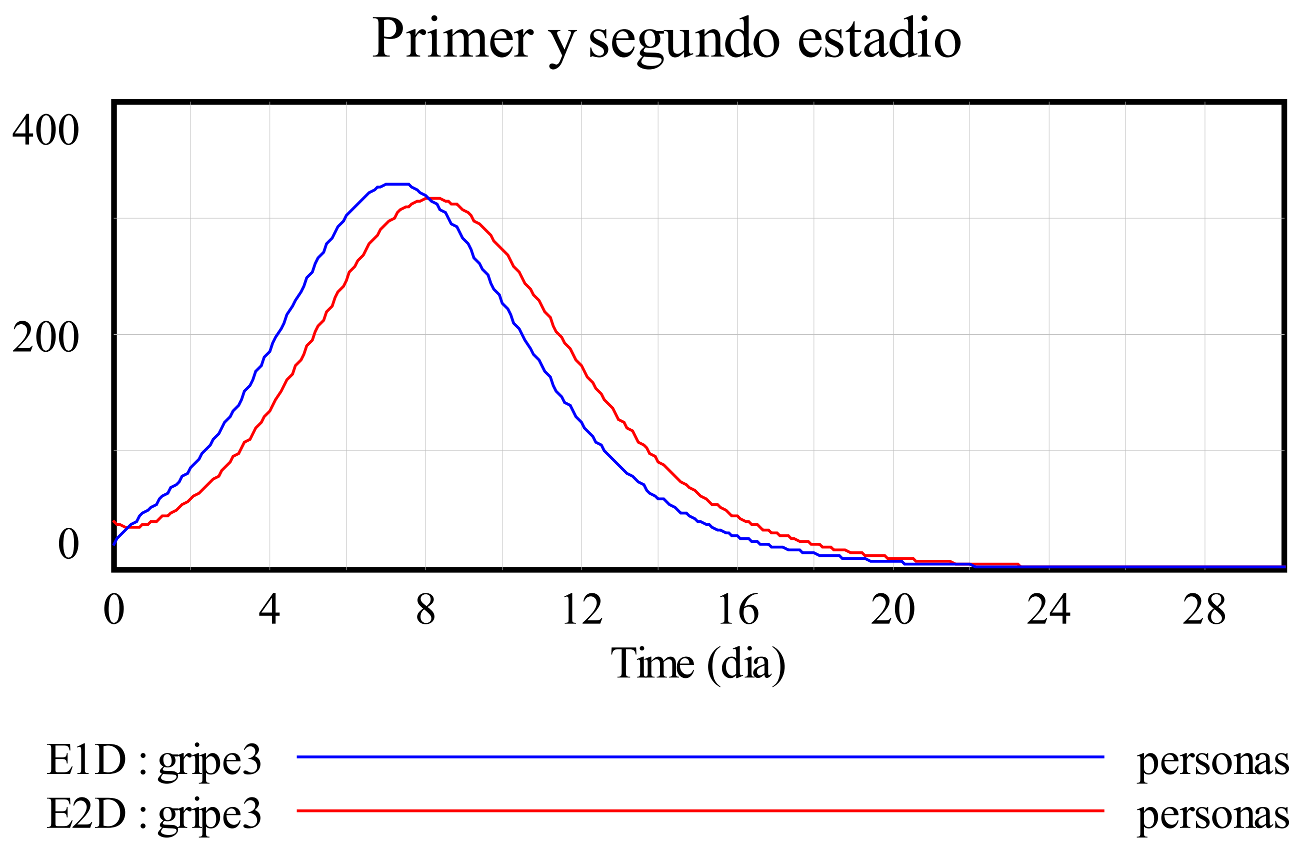
Resultados: No enfermos (NE) y enfermos de 3 o más días (E3DOM)



F. Morilla, Mayo 2004

Ejercicio:
Simular una epidemia con 3 estadios

Resultados: Enfermos de 1 (E1D) y 2 (E2D) días



Ejercicio: Explotar el modelo de epidemia con 3 estadios

Simular varias situaciones hipotéticas para:

- **Otras condiciones iniciales**

- **Otra virulencia**

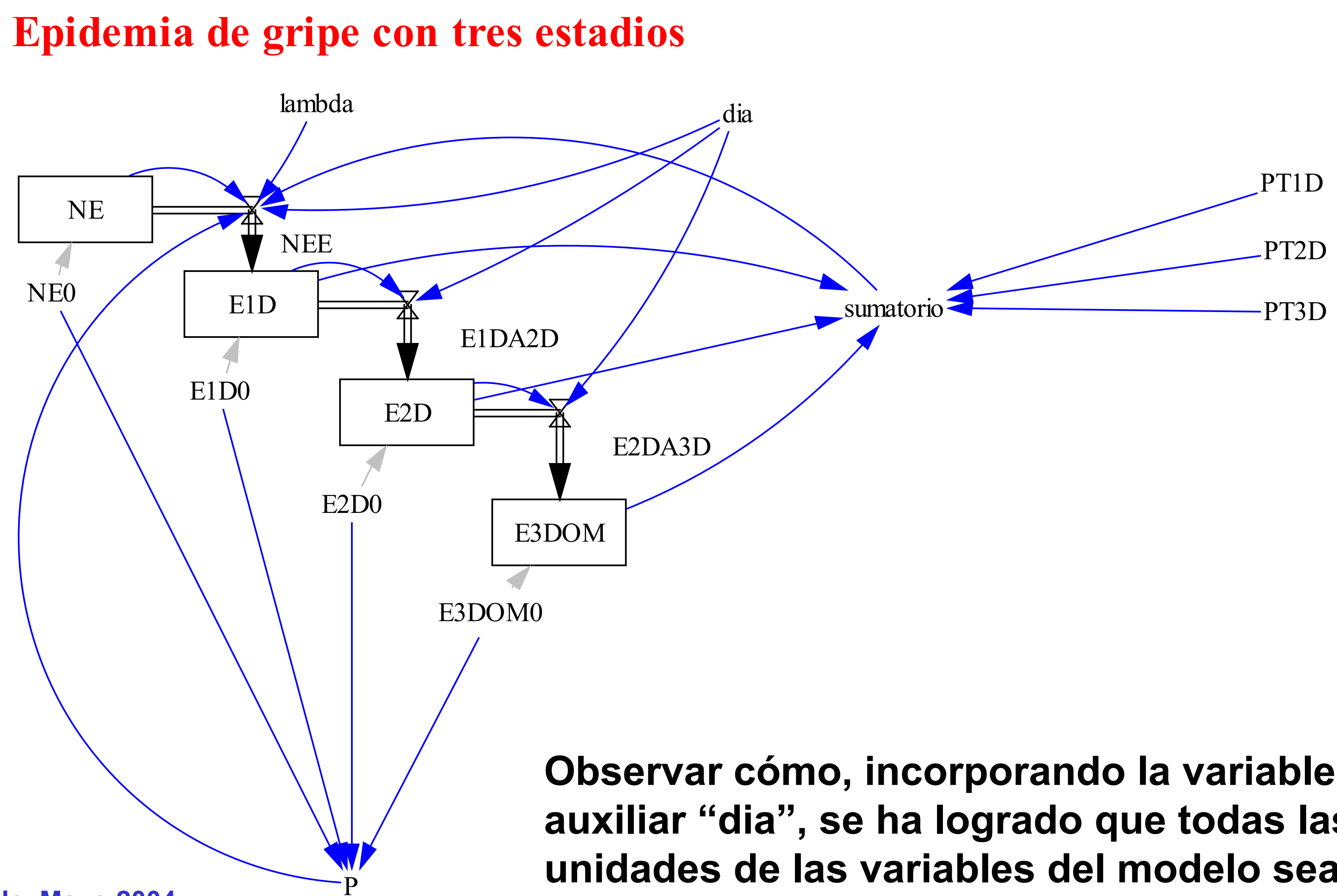
- **Otras probabilidades de transmisión**

Programación en Vensim

- Solución al modelo con 3 estadios
  (se entregará a lo largo de la clase)

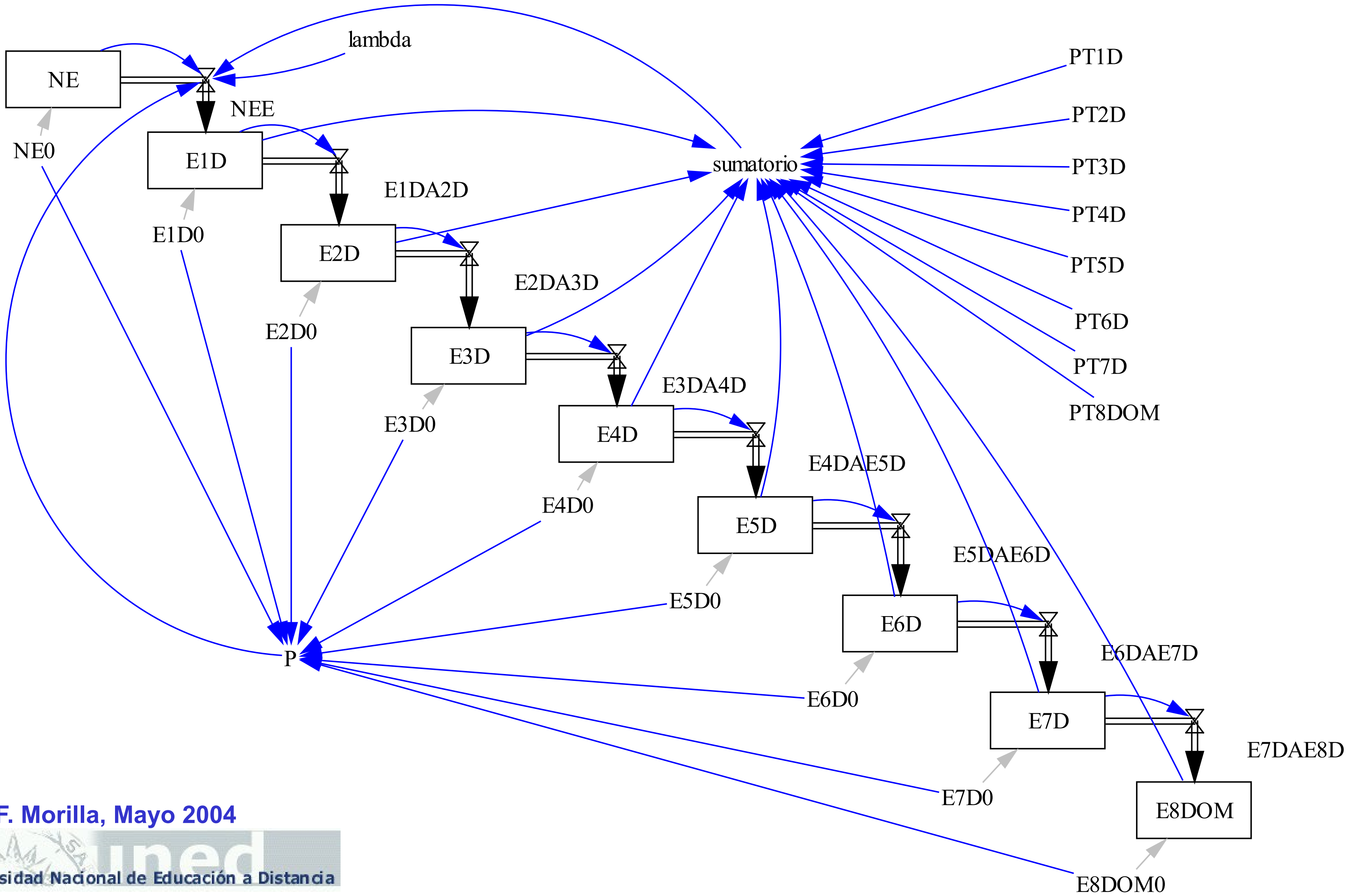
- Solución al modelo con 8 estadios
  (se entregará a lo largo de la clase)

Solución al modelo con 3 estadios



Observar cómo, incorporando la variable auxiliar "dia", se ha logrado que todas las unidades de las variables del modelo sean coherentes.

Solución al modelo con 8 estadios



F. Morilla, Mayo 2004

Modelo con 8 estadios

Parámetros

Virulencia : $\lambda = 1.4$

Probabilidades de transmisión
Tabla 11 (pag.135):

$g(0) = 0.00$
$g(1) = 1.00$
$g(2) = 0.9$
$g(3) = 0.55$
$g(4) = 0.30$
$g(5) = 0.15$
$g(6) = 0.05$
$g(7) = 0.00$

Condiciones de simulación

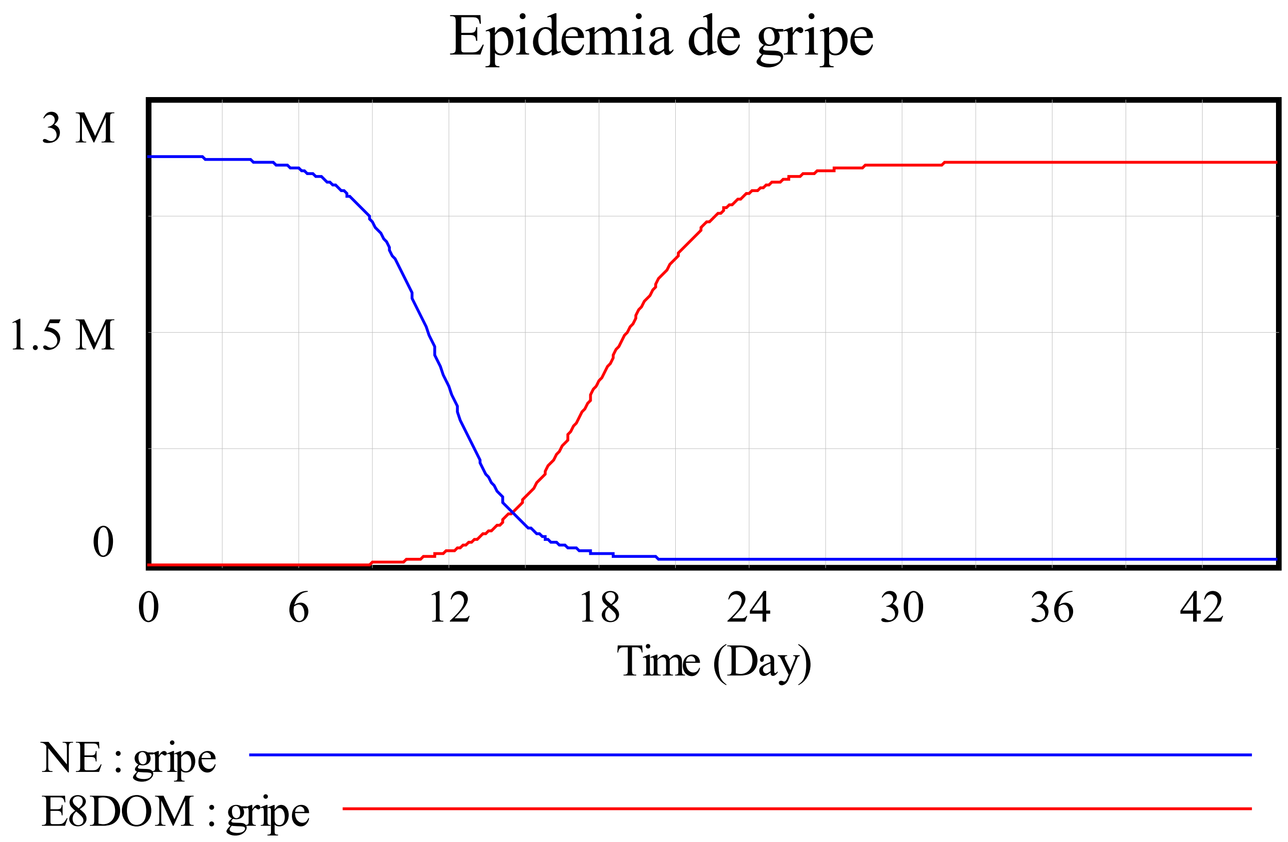
Valores iniciales:

$X(0) = 2625000$ personas
$y(0,0) = 390$ personas
$y(1,0) = 430$ personas
$y(2,0) = 450$ personas
$y(3,0) = 610$ personas
$y(4,0) = 500$ personas
$y(5,0) = 560$ personas
$y(6,0) = 450$ personas
$y(7,0) = 470$ personas

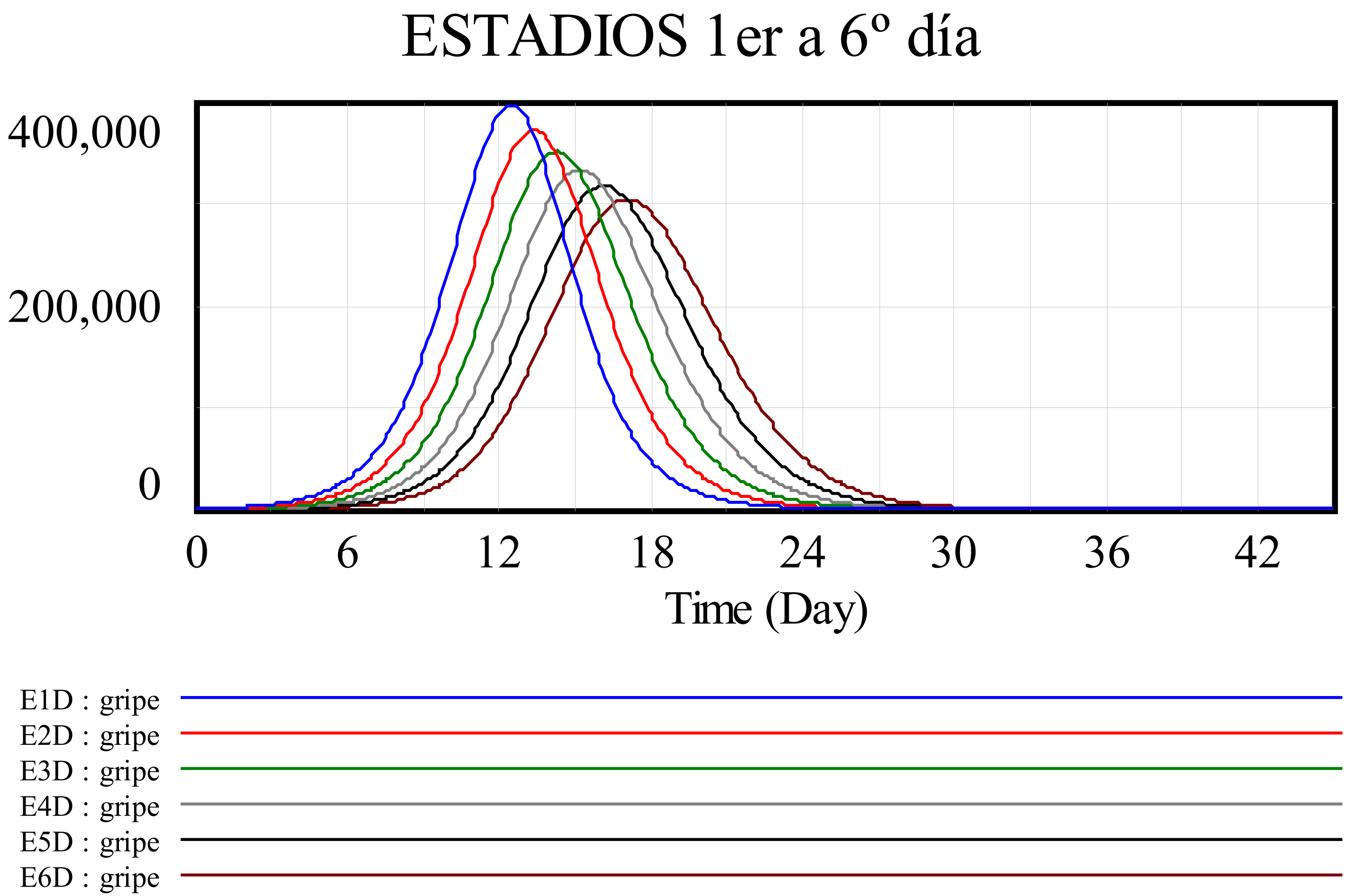
Unidad de tiempo = día
Paso de integración < 0.25 día
Duración de la simulación = 45 días

Modelo con 8 estadios

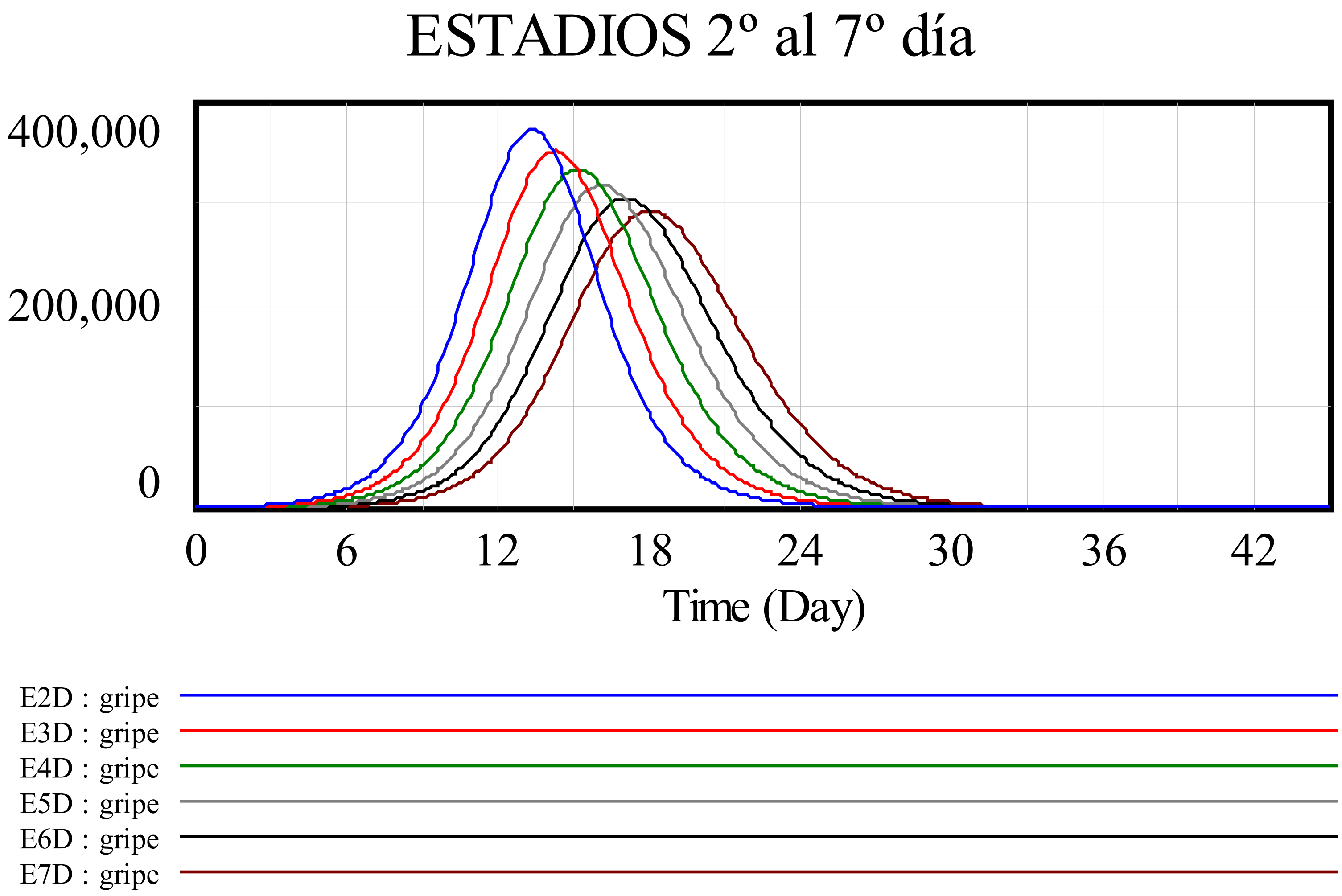
Resultados: No enfermos (NE) y enfermos de 8 o más días (E8DOM)



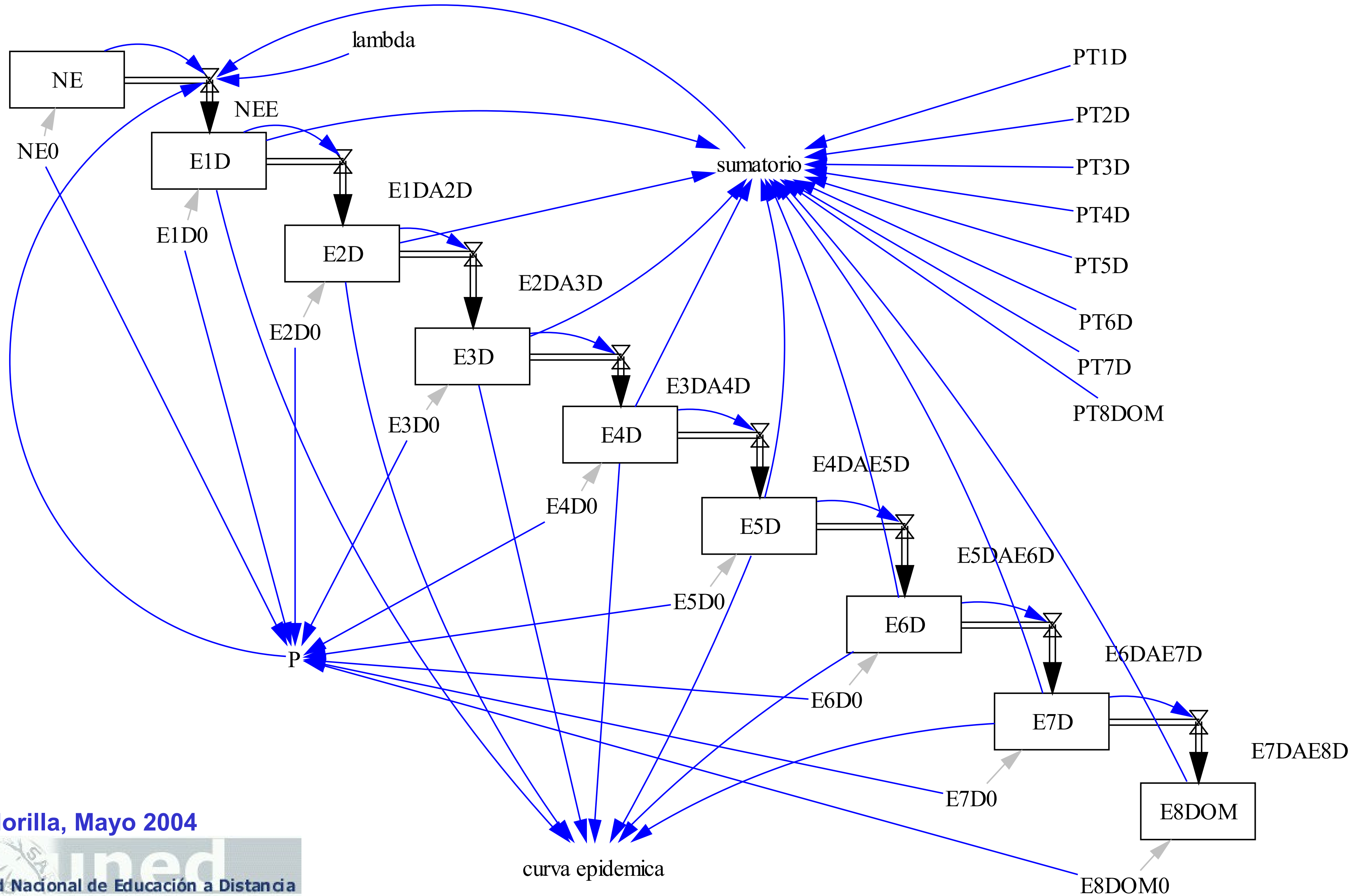
Modelo con 8 estadios



Modelo con 8 estadios



Modelo con 8 estadios y curva epidémica



F. Morilla, Mayo 2004

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Modelo con 8 estadios y curva epidémica

Curva epidémica: sumatorio de casos diarios en los siete posibles estadios