



www.NEOSISTEMAS.org ©

Consultoría para Empresas Públicas, Privadas y Personas

Teléfono : 990364678 - Email: luislujan@neosistemas.org - Lima/Perú

SIMULACION DE SISTEMAS

**Por: Luis Lujan
Consultor Investigador
www.neosistemas.org/lalc**

**Ingeniero Industrial egresado de www.uni.edu.pe
Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú
<http://www.cip.org.pe>**

**Email: luislujan@neosistemas.org
Telefono: (511)- 5356028**

**Lima – Perú
Marzo 2011**

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo explico el caso de una enfermedad infecciosa viral que se propaga en una población por el contacto entre la persona infectado y la persona susceptible. El virus de la influenza vive, se reproduce y evoluciona mayormente en los pulmones. la gran capacidad de mutación del virus evita que se pueda adquirir una inmunidad permanente que evite la recurrencia de la enfermedad en el individuo.

Explico los elementos y estructura del modelo de simulación sin dejar de mencionar una breve introducción general de la enfermedad infecciosa en la población.

Detallo cuales son las variables presentes así como también las variables que se adicionaran y con las cuales obtendremos nuestro nuevo sistema.

Con las nuevas variables obtenidas procederemos a realizar diagramas causales que son una herramienta útil en la simulación, ya que nos sirven de guías para la elaboración y comprensión de los modelos.

Entonces diremos que los diagramas causales juegan dos importantes papeles en los estudios de los sistemas dinámicos. Primero, durante el desarrollo del modelo, sirven como un esquema preliminar. Segundo, pueden simplificar la ilustración del modelo. En ambos casos, los diagramas causales permiten al analista comunicar rápidamente la percepción estructural del sistema, basado en el modelo

También elaboraré un diagrama de Forrester con los cuales compararemos los resultados de los valores aplicados a cada una de las variables en los diferentes diagramas, y en base a los datos y resultados realicé conclusiones y recomendaciones.

BROTE DE INFLUENZA: MODELO SIR (Susceptibles Infectados Recuperados)

El caso de la enfermedad infecciosa la gripe H1N1 o H1N1 humana es un subtipo de Influenza, virus tipo A del virus de la gripe, perteneciente a la familia de los Orthomyxoviridae. El H1N1 ha mutado en diversos subtipos que incluyen la gripe española (extinta en la vida silvestre), la gripe porcina, la gripe aviar y la gripe bovina. La cepa mantiene su circulación después de haber sido reintroducida en la población humana en los años 1970.

Cuando se comparó el virus de 1918 con el actual, el virólogo estadounidense Jeffery Taubenberger descubrió que únicamente hubo alteraciones en solo 25 a 30 aminoácidos de los 4.400 que componen el virus. Estos ligeros cambios pueden convertir al virus en una enfermedad que se puede transmitir de persona a persona.

Actualmente, existen algunas mutaciones del virus H1N1 en la vida silvestre, causando al menos la mitad de infecciones de gripe ocurridas durante el año. 2006.

Desde mediados de marzo de 2009, al menos 900 casos mortales han ocurrido en Europa y América por la pandemia de una nueva cepa de H1N1, otras 100 muertes en México aún no están oficialmente confirmadas como casos de influenza H1N1. La situación al 14 de junio del 2009 registrada por la OMS (Organización mundial de la salud) es de 29.669 casos confirmados de gripe provocada por la nueva cepa del virus H1N1 y cientos de casos mortales en total a nivel mundial. Haciendo un seguimiento diario de los últimos datos publicados por la OMS, el número de pacientes declarados se dobla cada día en distintos países.



Imagen de microscopía electrónica del virus H1N1. Estos virus tienen aproximadamente 80–120 nanómetros de diámetro.

DINÁMICA DE LA INFECCIÓN

La influenza es una enfermedad infecciosa viral que se propaga en una población por el contacto entre la persona infestada y la persona susceptible. Las gotitas emitidas al toser o estornudar se transportan por el aire y propagan la infección de una persona a otra. Aunque los síntomas de influenza se sienten en todo el cuerpo, el virus de la influenza vive, se reproduce y evoluciona mayormente en los pulmones. La gran capacidad de mutación del virus evita que se pueda adquirir una inmunidad permanente que evite la recurrencia de la enfermedad en el individuo.

La influenza es una enfermedad viral altamente contagiosa que afecta la zona respiratoria y que se registra con más frecuencia en los últimos meses del otoño y del invierno. La gran capacidad de mutación del virus evita que se pueda adquirir una inmunidad permanente que evite la recurrencia de la enfermedad en el individuo.

Se transmite fácilmente a través del contacto con las secreciones de la nariz y garganta de una persona infectada cuando tose y/o estornuda. Complicaciones:

La complicación más frecuente es la pulmonía. Otras complicaciones incluyen miocarditis o inflamación del corazón.

Cualquier persona puede contraer la gripe, pero es más seria en ancianos y niños, en gente con enfermedades crónicas del pulmón, del corazón, cáncer o con sistema inmune débil.

Los síntomas típicos de la influenza incluyen dolor de cabeza, fiebre, calor y frío, tos, garganta adolorida y dolores en el cuerpo.

En Estados Unidos incluyendo a Puerto Rico se reportan anualmente una media de 20000 muertes por esta enfermedad.

ELEMENTOS Y ESTRUCTURA DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

Dinámica de Sistemas es un nombre propio que designa un determinado método de construcción de modelos de sistemas sociales susceptibles de ser simulados por ordenador. El desarrollo de este método se debe al trabajo de J. W. Forrester del Instituto Tecnológico de Massachusetts, el cual por primera vez utilizó técnicas pertenecientes a las disciplinas de ingeniería automática para el estudio de procesos sociales y económicos.

Forrester construyó un puente entre los métodos empleados por los ingenieros en problemas tecnológicos y los métodos específicos de estudio de sistemas sociales.

Al igual que ocurre en la automatización, la búsqueda de los lazos de realimentación que operan dentro de un sistema y la forma en que estos determinan el comportamiento dinámico del mismo constituye la piedra angular sobre la que descansa la Dinámica de Sistemas.

Un aspecto notable del método es su enorme capacidad descriptiva. Los modelos se representan mediante unos diagramas conocidos como diagramas de flujo. Un diagrama de flujo es una descripción gráfica del sistema en estudio construida de acuerdo a unas determinadas reglas.

La claridad de estos diagramas en cuanto representación de la estructura global del sistema y de las relaciones entre las variables que lo constituyen es tan sorprendente que los modelos pueden ser presentados a no especialistas y ser inmediatamente entendidos.

Todo sistema dinámico, tiene un estado conformado por sus propiedades acumulativas, expresables por variables de nivel. Los cambios de estados se deben a procesos expresables mediante variables de flujos, al conjunto articulado de niveles y flujos, complementados con variables auxiliares que representan variables intermediarias y parámetros del sistema.

Determinar los niveles y flujos pertinentes de un sistema equivale a encontrar la estructura dinámica medular del sistema.

Los niveles y sus flujos son los constituyentes esenciales de cualquier bucle de realimentación. Pensar un sistema en términos de flujos y niveles es pues la destreza de pensamiento sistémico fundamental.

MARCO TEÓRICO

El presente informe trata a cerca del comportamiento del modelo que se designa por el nombre de modelo SIR de epidemias porque explica la epidemia como consecuencia de la interacción de tres grupos dentro de la población: los susceptibles, los infestados y los recuperados transitoriamente de la enfermedad.

Las consideraciones éticas, así como las limitaciones de tiempo hacen que sea virtualmente imposible de hacer estudios de laboratorio de la propagación de una enfermedad infecciosa en una población, sin embargo los modelos matemáticos se pueden utilizar para simular la propagación de una enfermedad, y por lo tanto puede ayudar a predecir su impacto.

Para el modelo de matemático, imaginemos una sociedad con una población total N . Esta población se puede dividir en tres clases. Las personas que son:

susceptibles(S) a la enfermedad, son aquellos que aún no lo tienen, pero puede conseguirlo.

infectados(I) son aquellos que tienen la enfermedad y pueden contagiar a los demás.

recuperado(R) de la enfermedad son los que lo tenían y ahora aún mejor

Por lo tanto $N = S + I + R$

PROCEDIMIENTO

CONCEPTUALIZACIÓN

Descripción verbal del sistema

En el siguiente mapa podremos observar la influencia que tienen las personas susceptibles, los infectados y los recuperados, en la infección.

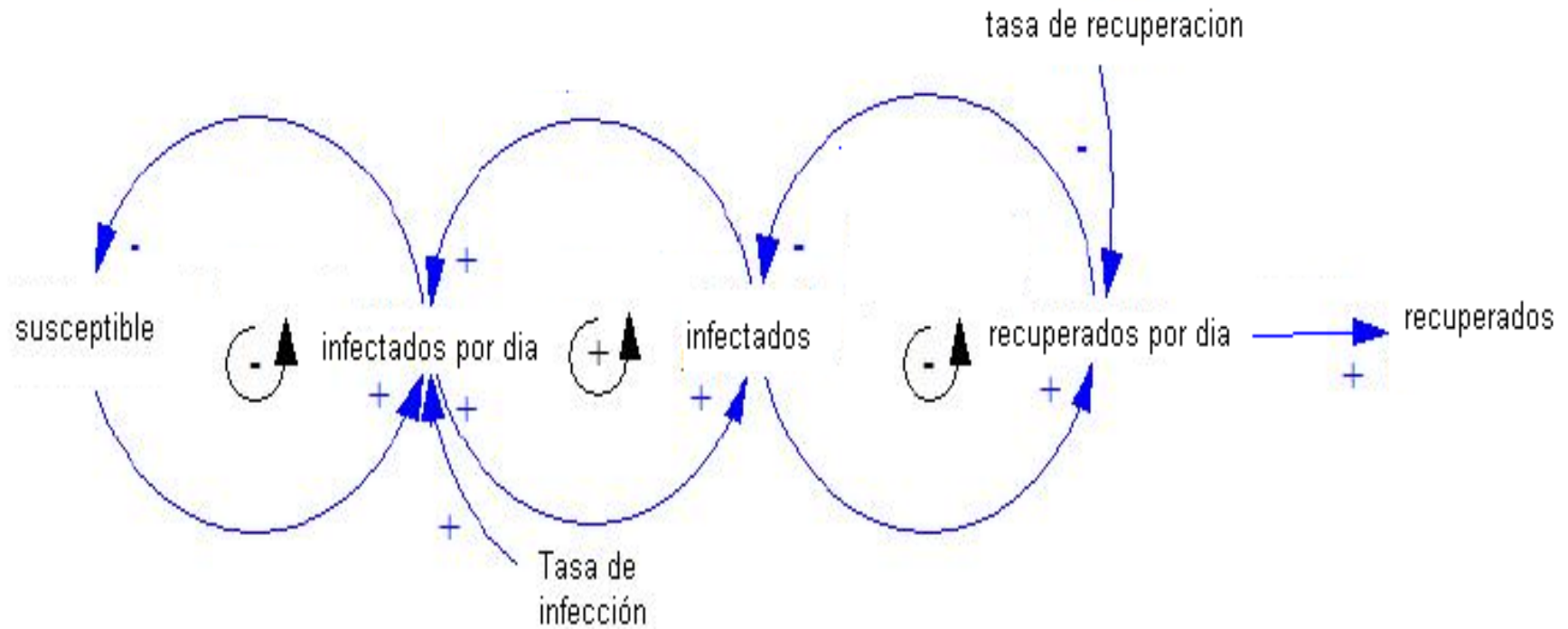
Susceptibles
Infectados
Recuperados

Al analizar el problema y el funcionamiento que presenta, encontramos tres variables importantes (susceptibles, los infectados y los recuperados) las cuales analizaremos por bucles, realizando diagramas causales, diagrama de Forrester, así como también sus respectivas ecuaciones para la ejecución para la herramienta con la que trabajamos (STELLA).

MAPA MENTAL

Diagramas causales

A continuación veremos el diagramas causales con el fin de alcanzar el mejoramiento y funcionamiento del sistema.



ELEMENTOS

Elementos y estructura de un modelo

En esta sección presento cómo es la estructura de un modelo de Dinámica de Sistemas..

Tipos de variables

Distinguiremos tres tipos de variables en función de su propio cometido en el modelo. Variables de *nivel*, variables de *flujo* y variables *auxiliares*.

- Los *niveles* suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud.
- Los *flujos* expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles
- Las variables *auxiliares* son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible.

Niveles

- ✓ susceptibles
- ✓ infectados
- ✓ recuperados

Flujos

- ✓ infectados por día
- ✓ recuperados por día

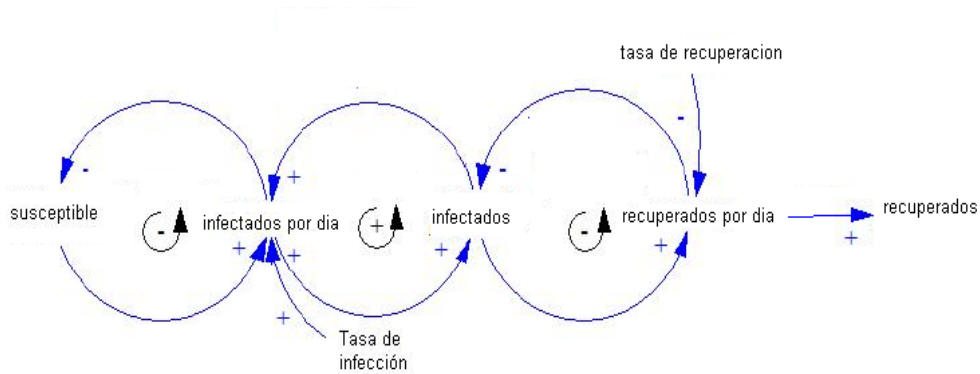
Variables

- ✓ tasa de infección
- ✓ tasa de recuperación

- ✓ población susceptible
- ✓ población de infectados

PROTOTIPO

Los primeros estadios de la conceptualización de un modelo requieren definir el propósito del mismo. En función de ello hay decidir qué elementos han de ser tomados en consideración y cuáles de entre ellos están relacionados de forma que lo que ocurre en uno afecta de manera inmediata al otro.



(Diagrama causal de problema)

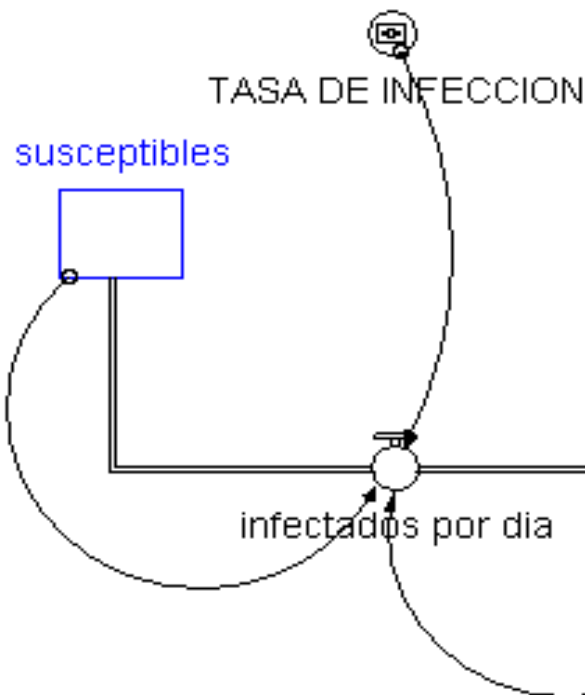
VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

Variables:

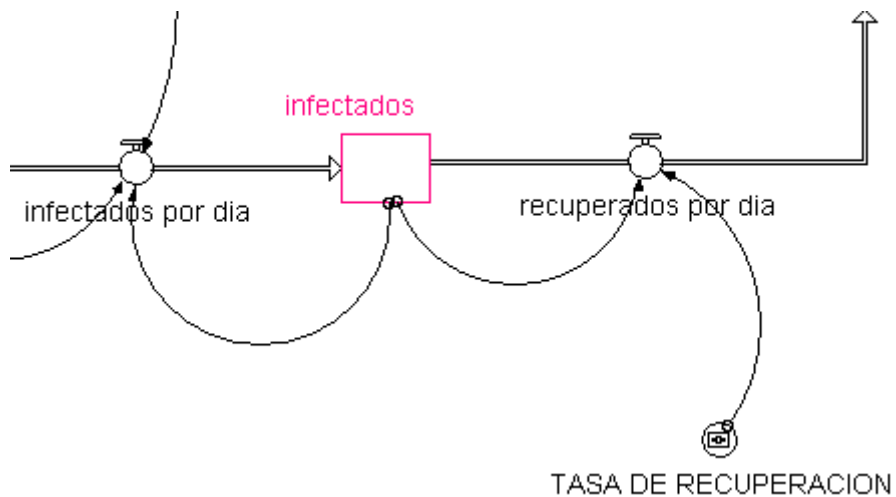
DEPENDIENTES	INDEPENDIENTES
Susceptibles	tasa de infección
Infectados	tasa de recuperación
Recuperados	tasa de infección
población susceptible	tasa de infección
población de infectados	tasa de recuperación

ESTRUCTURAS QUE GOBIERNAN EL MODELO

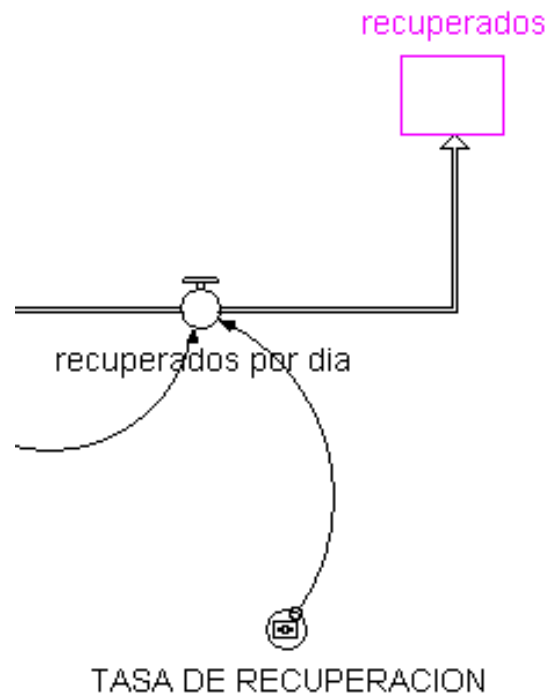
Susceptibles



Infectados

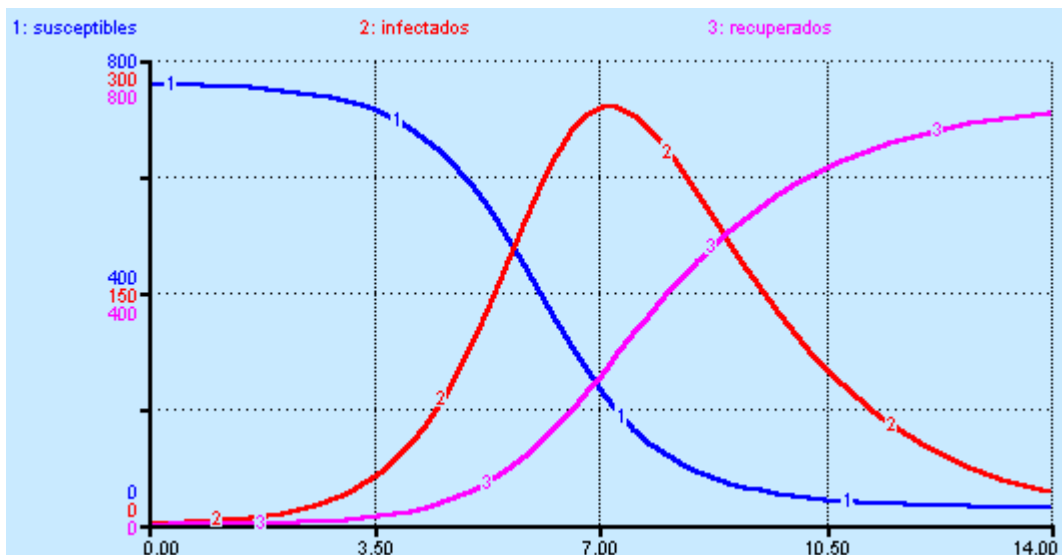


Recuperados



REGLAS DE DECISIÓN

● 27/02/2011 datos de tabla (Susce... Infectados Recuperados)				
Days	susceptibles	infectados	recuperados	
.00	762.00	1.00	0.00	
.25	761.58	1.29	0.13	
.50	761.05	1.66	0.29	
.75	760.36	2.15	0.49	
1.00	759.47	2.77	0.76	
1.25	758.32	3.57	1.11	
1.50	756.85	4.60	1.55	
1.75	754.95	5.92	2.13	
2.00	752.52	7.61	2.87	
2.25	749.40	9.78	3.82	
2.50	745.40	12.56	5.04	
2.75	740.30	16.09	6.61	
3.00	733.81	20.57	8.62	
3.25	725.58	26.22	11.20	
3.50	715.21	33.31	14.47	
3.75	702.23	42.14	18.64	
4.00	686.10	53.00	23.90	
4.25	666.28	66.19	30.53	
4.50	642.25	81.95	38.80	
4.75	613.57	100.39	49.05	
5.00	580.00	121.41	61.59	
5.25	541.62	144.61	76.77	
5.50	498.93	169.22	94.85	



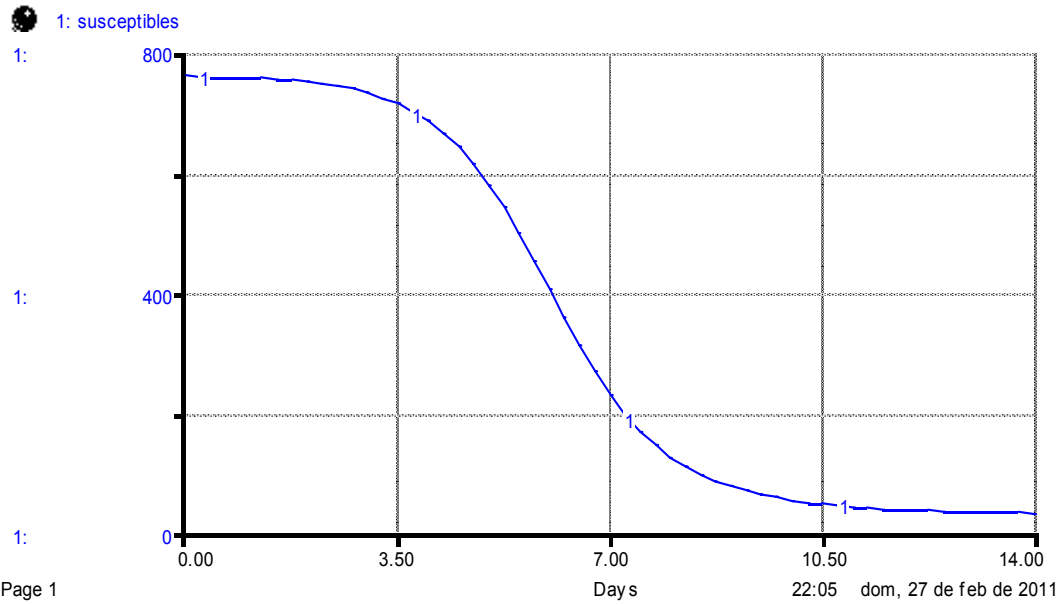
- ✓ ***A más infectados más recuperados entonces***
- ✓ ***A más recuperados menos susceptibles***

CONDICIONES PARA INICIAR LA OPERACIÓN DEL MODELO

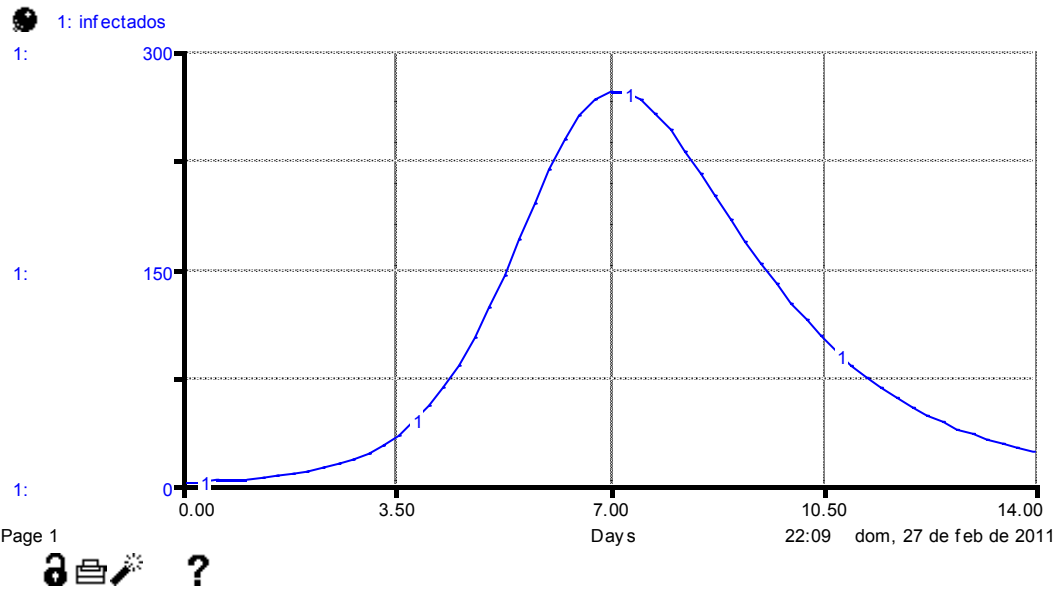
- ✓ Todo parte desde la variable población susceptible y población de infectados y las tasas para que nuestro modelo pueda funcionar u operar, todas las variables tiene que tener valores.
- ✓ Las variables tiene que estar bien definidas y bien relacionadas.
- ✓ Para que el modelo pueda funcionar se utiliza variables reales para así no alterar el sistema.

ESCENARIOS Y COMPORTAMIENTOS

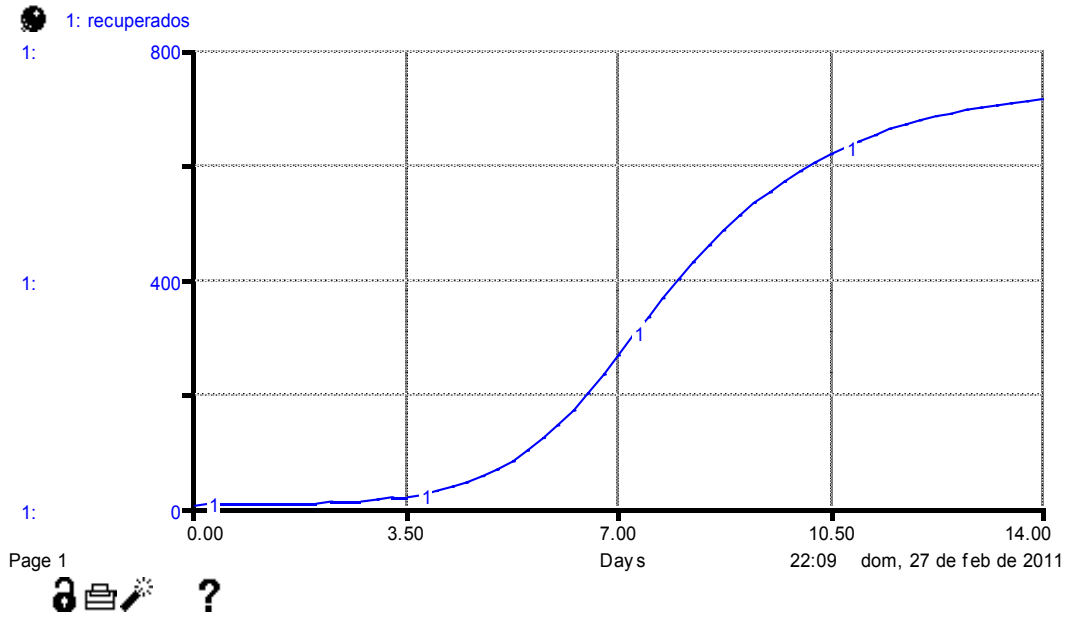
Susceptibles



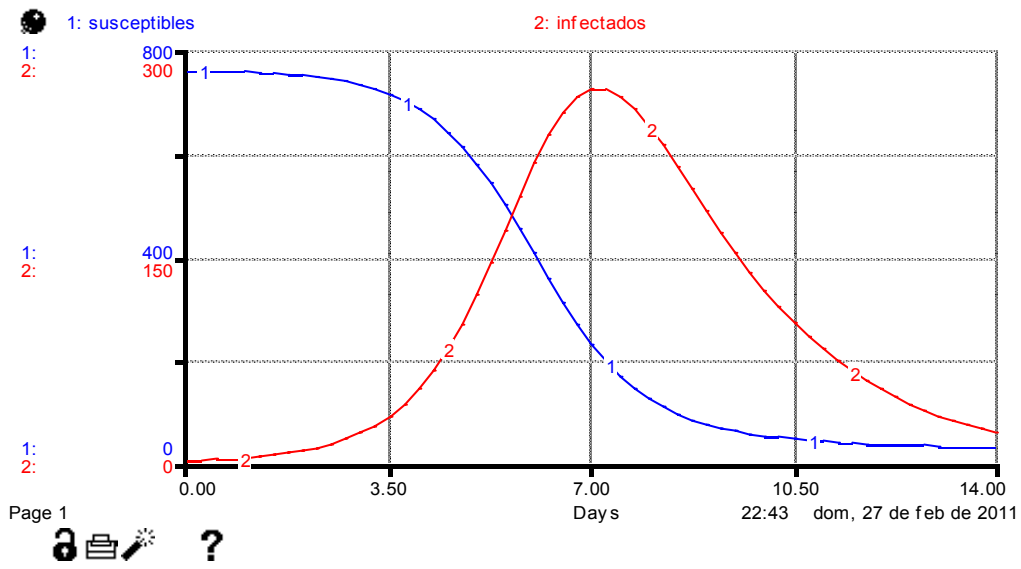
Infectados



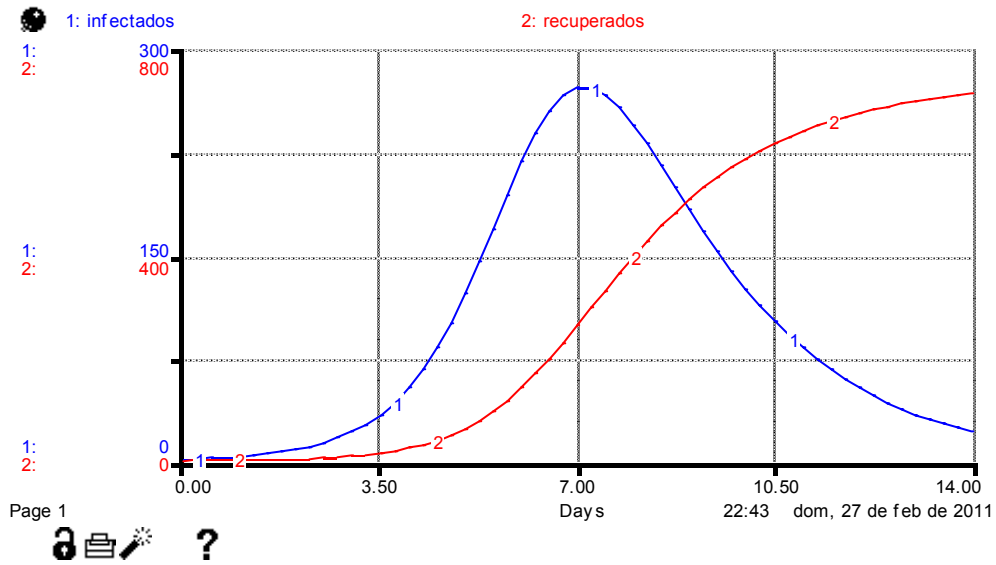
Recuperados



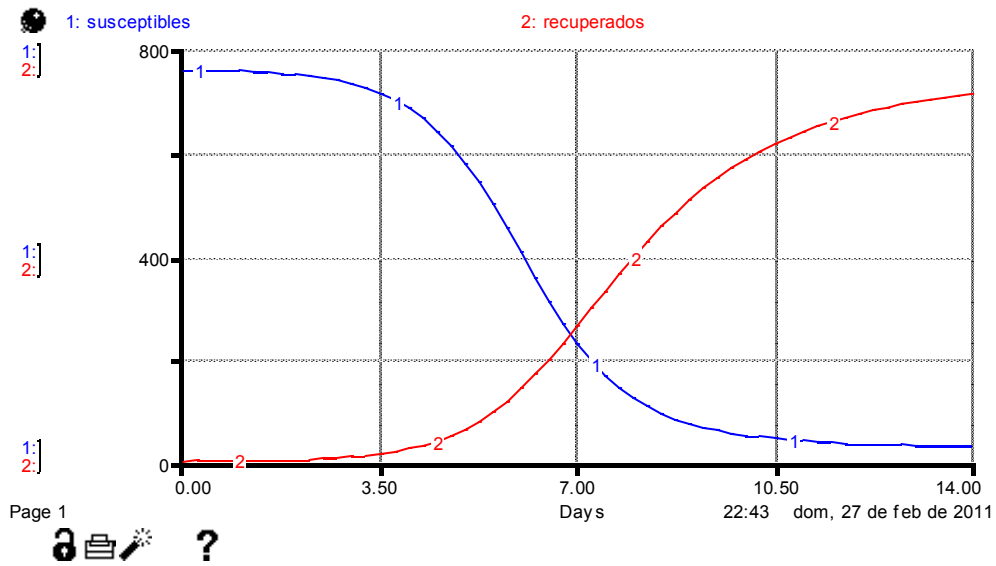
Susceptibles - Infectados



Infectados - Recuperados



Susceptibles - Recuperados



CLASIFICACIÓN DE ECUACIONES

Establecimiento de las ecuaciones para la simulación

Ecuaciones

Todas las relaciones entre las variables deben ser explícitamente cuantificadas. La forma más frecuente de establecer la relación entre dos variables es mediante una expresión analítica que proporciona la

función que relaciona ambas variables. Poco más puede decirse en abstracto a cerca de las ecuaciones por cuanto dependerán muy específicamente de cada situación particular. Conviene, no obstante, hacer un mínimo comentario referente a cada tipo de variable.

Ecuaciones para el Modelo Sistema SIR

$$\text{infectados}(t) = \text{infectados}(t - dt) + (\text{infectados_por_dia} - \text{recuperados_por_dia}) * dt / \text{INIT}$$

POBLACION_DE_INFECTADOS

INFLOWS:

$$\text{infectados_por_dia} = \text{TASA_DE_INFECCION} * \text{susceptibles} * \text{infectados}$$

OUTFLOWS:

$$\text{recuperados_por_dia} = \text{infectados} * \text{TASA_DE_RECUPERACION}$$

$$\text{recuperados}(t) = \text{recuperados}(t - dt) + (\text{recuperados_por_dia}) * dt / \text{INIT}$$

recuperados = 0

INFLOWS:

$$\text{recuperados_por_dia} = \text{infectados} * \text{TASA_DE_RECUPERACION}$$

$$\text{susceptibles}(t) = \text{susceptibles}(t - dt) + (- \text{infectados_por_dia}) * dt / \text{INIT}$$

susceptibles = POBLACION_SUSCEPTIBLE

OUTFLOWS:

$$\text{infectados_por_dia} = \text{TASA_DE_INFECCION} * \text{susceptibles} * \text{infectados}$$

$$\text{POBLACION_DE_INFECTADOS} = 1$$

$$\text{POBLACION_SUSCEPTIBLE} = 762$$

$$\text{TASA_DE_INFECCION} = 0.00218$$

$$\text{TASA_DE_RECUPERACION} = 0.5$$

MODELO

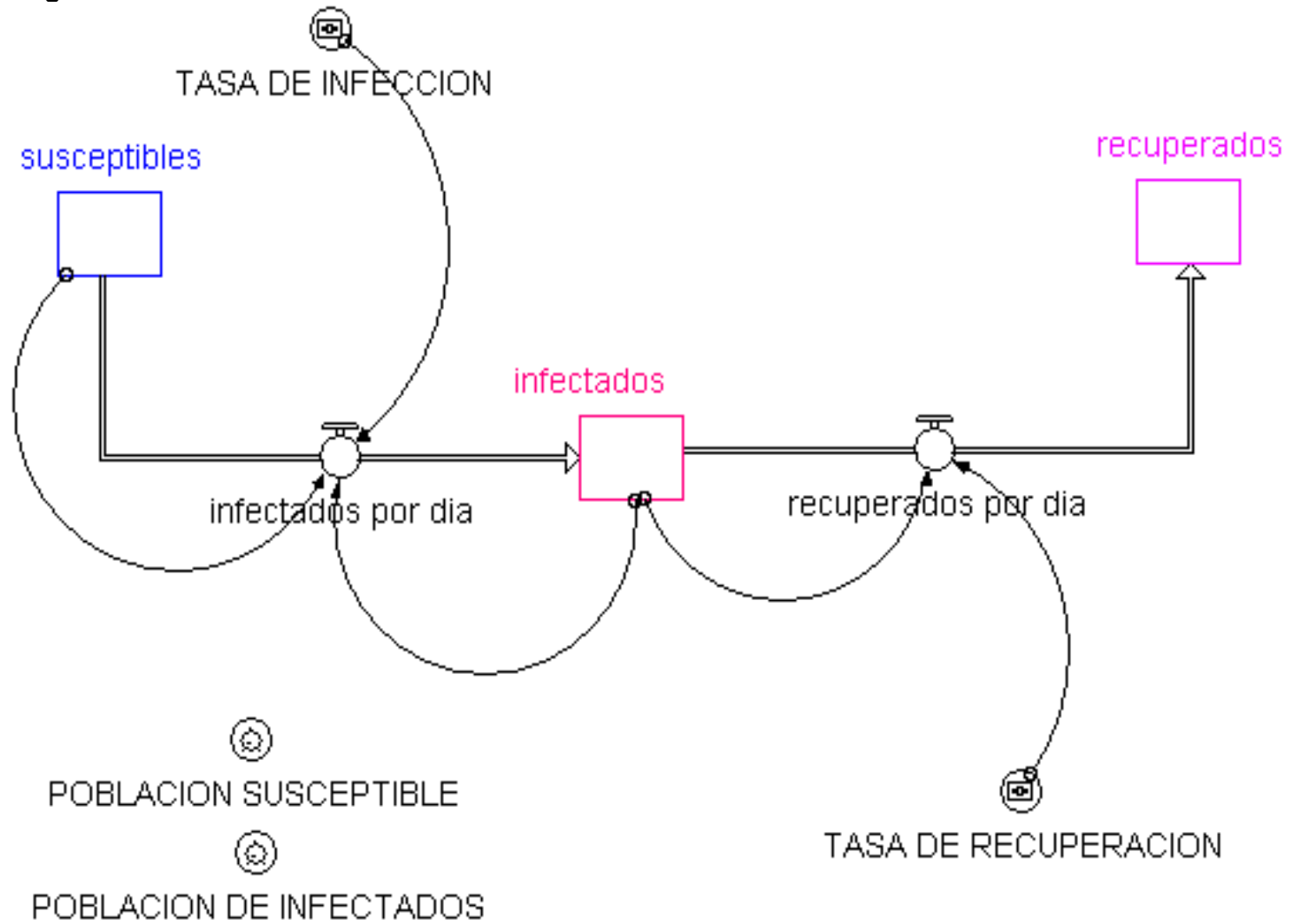
Construcción del diagrama de Forrester

Organización de las variables y parámetros. Representación gráfica

Toda variable de nivel va unida a una o más variables de flujo las cuales son responsables de la variación de la primera.

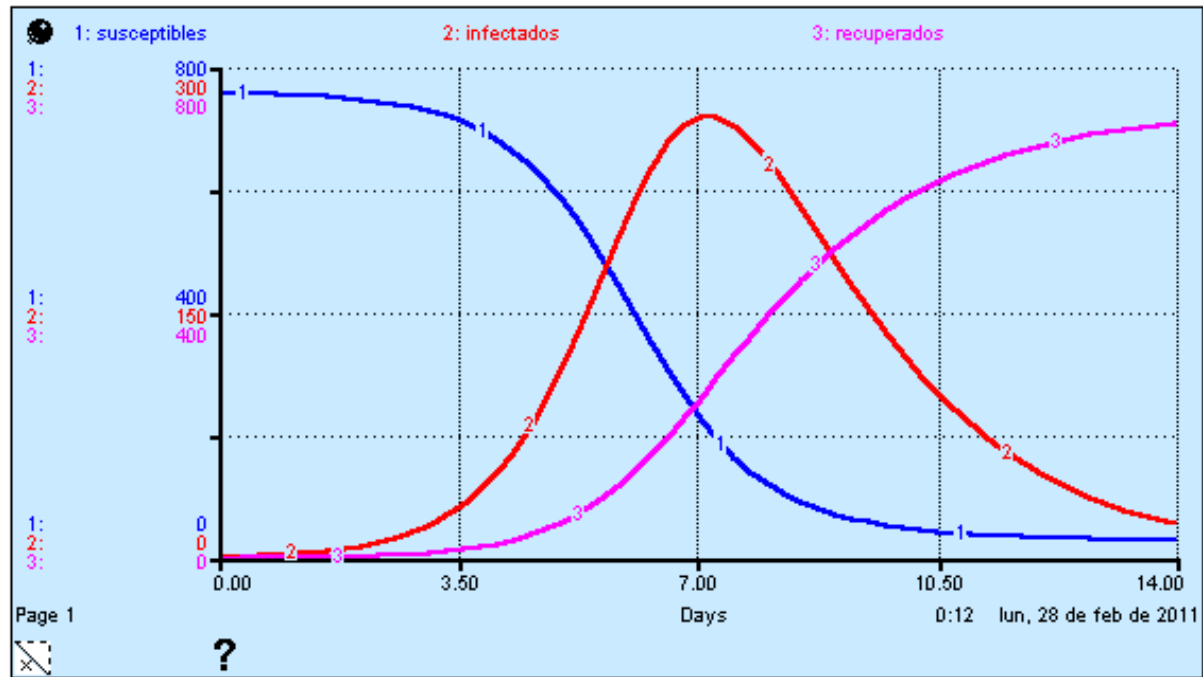
En todo sistema dinámico autónomo, la variación de sus estados depende de los valores en que se encuentran dichos estados. Resulta pues natural que un modelo mantenga la siguiente organización:

Diagrama Global



SIMULACIÓN DEL SISTEMA

SIMULACION de MODELO SIR (Susceptibles Infectados Recuperados)



Tasa de recuperación

0.0000 ————— 1.0000

0.5000

Tasa de infección

0.0000 ————— 1.0000

0.0022

Población susceptible

762.000
381.000

0.000 762.000

Población de Infectados

1.000
381.000

0.000 762.000

simular

datos de tabla

modelo

regresar

susceptibles

infectados

recuperados

susceptibles infectados

infectados recuperados

susceptibles recuperados

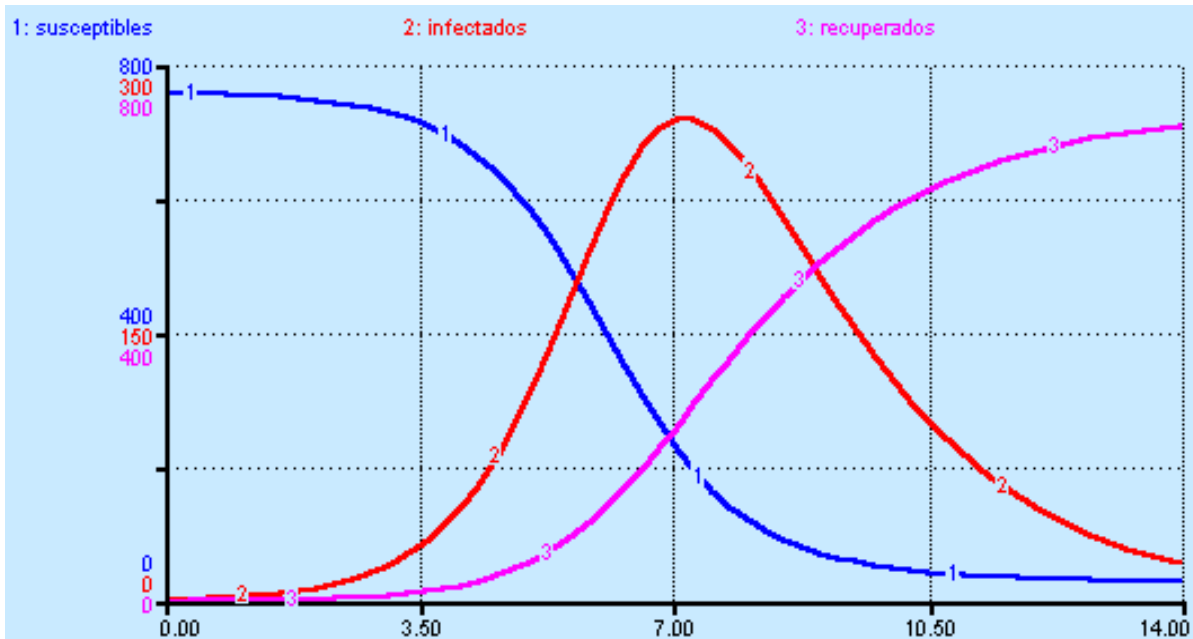
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los reportes: Tabla: Susceptibles – Infectados - Recuperados

Days	susceptibles	infectados	recuperados
.00	762.00	1.00	0.00
.25	761.58	1.29	0.13
.50	761.05	1.66	0.29
.75	760.36	2.15	0.49
1.00	759.47	2.77	0.76
1.25	758.32	3.57	1.11
1.50	756.85	4.60	1.55
1.75	754.95	5.92	2.13
2.00	752.52	7.61	2.87
2.25	749.40	9.78	3.82
2.50	745.40	12.56	5.04
2.75	740.30	16.09	6.61
3.00	733.81	20.57	8.62
3.25	725.58	26.22	11.20
3.50	715.21	33.31	14.47
3.75	702.23	42.14	18.64
4.00	686.10	53.00	23.90
4.25	666.28	66.19	30.53
4.50	642.25	81.95	38.80
4.75	613.57	100.39	49.05
5.00	580.00	121.41	61.59
5.25	541.62	144.61	76.77
5.50	498.93	169.22	94.85
5.75	452.92	194.08	116.00
6.00	405.01	217.73	140.26
6.25	356.95	238.57	167.48
6.50	310.54	255.16	197.30
6.75	267.35	266.45	229.19
7.00	228.53	271.97	262.50
7.25	194.66	271.85	296.50
7.50	165.82	266.71	330.48
7.75	141.71	257.47	363.81
8.00	121.83	245.17	396.00
8.25	105.55	230.80	426.65
8.50	92.27	215.23	455.50
8.75	81.45	199.15	482.40
9.00	72.61	183.10	507.29
9.25	65.36	167.46	530.18
9.50	59.40	152.49	551.11
9.75	54.46	138.36	570.17
10.00	50.36	125.18	587.47
10.25	46.92	112.96	603.12
10.50	44.03	101.73	617.24
10.75	41.59	91.46	629.95
11.00	39.52	82.10	641.39
11.25	37.75	73.60	651.65
11.50	36.23	65.92	660.85
11.75	34.93	58.98	669.09
12.00	33.81	52.73	676.46
12.25	32.84	47.11	683.05
12.50	32.00	42.06	688.94
12.75	31.26	37.54	694.20
13.00	30.62	33.49	698.89



Grafico de Simulación del modelo:



De los datos de la tabla y del gráfico: observamos como a lo largo del tiempo calculado (14 días) la población susceptible disminuye, la población de infectados aumenta aproximadamente hasta el día siete y luego disminuye, la población de recuperados aumenta progresivamente de cero.



www.NEOSISTEMAS.org ©

El proceso de contagio es directamente proporcional al número de personas infectadas.

Los integrantes de la población se mezclan entre sí de forma no selectiva por lo que la tasa actual de contagio es proporcional a la fracción susceptible de la población.

Al cabo de un tiempo con la influenza los individuos salen del grupo de los infectados y entran al grupo de los recuperados.

Al cabo de un tiempo de haberse recuperado el individuo no se torna otra vez susceptible a contraer la influenza debido a tratamiento (vacunas, aislamiento, etc.).

Analizando los escenarios, la población susceptible que al inicio es 762 disminuye debido a las infecciones, la población infectada que al inicio es uno aumenta y luego disminuye debido a la recuperación de población.

La población de recuperados que al inicio es cero aumenta debido a que aumenta los infectados.

Después de los 13 días se observa que la cantidad de susceptibles disminuye aproximadamente a 4%, así como la cantidad de infectados.

Después de los 13 días se observa que la cantidad de infectados disminuye aproximadamente a 4%, y como se observa que aumenta la cantidad recuperados en aproximadamente el 96% de la población.

CONCLUSIONES

1.La interacción entre las subpoblaciones susceptibles, infectadas y recuperadas es capaz de generar de forma empíricamente valida una epidemia de influenza siempre que la tasa de infección con otras variables excedan ciertos valores críticos(umbrales),

2.El surgimiento de la epidemia no depende sensiblemente del numero inicial de individuos infectados dispersos en la población.

3.Los parámetros que alteran sensiblemente el fenómeno de la epidemia son la tasa de infección y los susceptibles.

4.La recuperación (vacunación, el aislamiento) es la alternativa racional de que disponemos para actuar racionalmente contra la epidemia.

5.En situaciones extremas imaginables como la de un virus de influenza de corta duración, altamente contagioso y para el cual no hemos desarrollado inmunidad, el modelo exhibe un comportamiento caótico de la epidemia.

RECOMENDACIÓN

Una campaña de prevención y control de una epidemia como la influenza debería montarse sobre la base de un modelo epidemiológico, y no sobre la base de los modelos mentales intuitivos mas o menos informados de funcionarios responsables de velar por la salud publica.

Piense que son las interacciones entre los componentes y no los componentes en sí mismos lo que determinan el comportamiento del Sistema estudiado, estamos pensando sistémicamente.

BIBLIOGRAFÍA

Material de la Maestria seguida por Luis Lujan Marzo 2011, Curso de Simulación.

Todos los Links visitados el mes de febrero del 2011.

<http://pwoessner.com/7th-grade-disease-stella-models>

<http://www.loanservicingsoftware.com/articles/h1m1-virus.html>

http://www.usbbog.edu.co/Nuestra_Universidad/Publicaciones/Ingenium/sir.pdf

Formas de participar, colaborar, integrar Neosistemas.org:

- Siendo Editor de una zona de www.neosistemas.org
- Enviando noticias, artículos para el boletín de www.neosistemas.org
- Siendo profesor virtual de www.neosistemas.org
- Siendo conferencista de www.neosistemas.org/conferencias
- Publicando y comunicando los objetos de: www.neosistemas.org/colabore.htm
- Publicando los afiches de www.neosistemas.org en su Local
- Siendo profesor/instructor de www.neosistemas.org , otros.

Si usted desea colaborar escribanos desde www.neosistemas.org

“Calidad humana: es ser mejor cada día, ser eficiente, no ser hipócrita, es ser honrado, no aprovecharse de los puestos de turno para decir luego que se es exitosa(o).

Calidad humana es el llamado universal de mayor responsabilidad de la especie y una deuda con los excluidos.”

Perú, Luis Lujan

Más información: http://neosistemas.org/ndlp/index_i.htm