



Escuela de Gobierno y Transformación Pública

Modelación de Escenarios

Dr. Edmundo Molina

edmundo.molina@itesm.mx

### TAREA 1

Diagramas Causales, Estructura y Comportamiento de Sistemas Dinámicos

Puntos totales:  $70+30+30+100+60=290$

#### Instrucciones y recomendaciones

- A. Cada estudiante debe entregar de manera individual su trabajo y es responsable de manera individual por la calidad de los productos entregados.
- B. La colaboración grupal es deseable durante la resolución de esta tarea, pero cada estudiante debe demostrar capacidad crítica individual en la resolución de los ejercicios descritos en este documento.
- C. La presentación de tu trabajo es muy importante. Se conciso y claro en tu exposición, describe adecuadamente tus gráficos y empléalos para hacer más claros y contundentes tus argumentos. No escribas argumentos o ideas incompletas, concluye tus pensamientos de manera adecuada.
- D. Si empleas tablas y/o gráficos, asegúrate de incluir notas para cada uno de ellos. Cada elemento gráfico en tu exposición debe explicarse por sí mismo. Toma como referencia las anotaciones que Sterman hace en figuras y tablas en el libro de texto.
- E. Revisa cuidadosamente cada inciso, responde a la totalidad de las preguntas.
- F. No te límites a la información presentada en cada caso. Si consideras que los casos son incompletos busca de manera individual más información y referencia adecuadamente tus fuentes.
- G. Es altamente recomendable consultar el libro de texto para resolver los ejercicios descritos en esta tarea.

## Problema 1<sup>1</sup>: Burbujas especulativas y la crisis inmobiliaria en Estados Unidos (70 puntos)

Descripción de caso:

The US is now slowly emerging from the implosion phase of a great speculative bubble in housing. Yale economist Bob Shiller estimates that real housing prices (prices adjusted for general inflation) rose about 80% between 1998 and 2006, a remarkable rate of appreciation that made housing the best investment going. Selected cities, particularly in the sunbelt, experienced much faster booms (see graph below). Such dramatic price appreciation would normally not be possible, as homes would have rapidly become unaffordable for most people, eroding demand and limiting prices.

To keep demand strong during the boom, however, financial institutions created a wide range of novel mortgage instruments, including interest-only loans, nothing-down loans, balloon payment schedules, exploding ARMS—adjustable rate mortgages with initial rates below market and much higher payments after a few years, and others. Standards to qualify for a mortgage were relaxed as lending institutions reasoned that risk was low—if a buyer could not make the payments and defaulted, the bank assumed it could foreclose and sell at a profit due to the appreciation in prices that would have occurred in the meantime.

The result was a flood of no-doc loans, loans with self-reported and unverified income and assets, and even so-called Ninja loans (“no income, no job, [no] assets”). Industry insiders spoke of “liar’s loans”—where lenders, in the words of New York *Times* business columnist Joseph Nocera, “practically begged borrowers to fib about their income.” Mortgage brokers and loan originators chased the fees these loans generated while banks and brokers packaged and resold them to investors around the world in novel forms such as CDOs (collateralized debt obligations). Appraisers and the bond rating agencies also received significant fee income, and, in some cases, kickbacks, for inflating valuations. Lured by the high profits from fee income and flipping properties, the number of mortgage brokers, real estate agents, appraisers, and others in the housing and securitized mortgage sector exploded.

But of course the bubble burst. The inventory of unsold properties skyrocketed. Prices fell rapidly (see the graph). Housing starts plummeted. Millions of people found they had negative equity, with no chance to sell. Some just walked away from their homes, so even legitimate lenders started to get “jingle mail” where the borrowers simply mailed the keys to the bank and stopped paying their mortgages. Many more, especially the working poor, struggled to pay their debts in good faith, only to find that their homes were taken from them in foreclosure. The ripple effects spilled into world financial markets as hallowed names in the banking and investment world like Lehman Brothers failed, while others were forced into mergers—Merrill Lynch, Washington Mutual, Wachovia, many others—and pillars of finance had to be bailed out at enormous cost to central banks around the world, including Fannie Mae, Freddie Mac, and AIG. Worldwide financial collapse was barely averted, despite the injection of massive funds into the banking system,

---

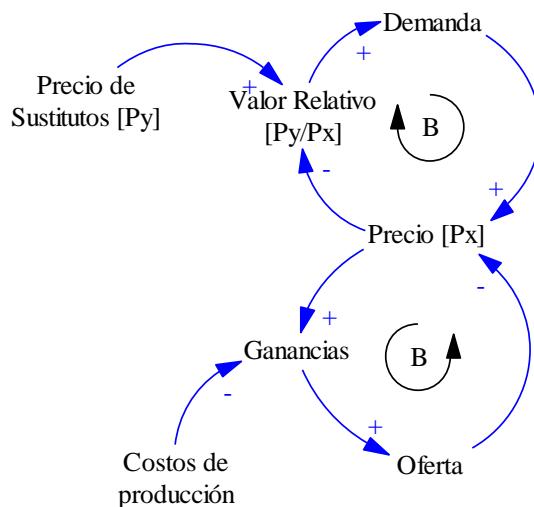
<sup>1</sup> Versión modificada de tarea 2 del curso “Introduction to System Dynamics” del Massachusetts Institute of Technology, disponible en <http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-871-introduction-to-system-dynamics-fall-2013/assignments/>

widespread bailouts, short-term interest rates of zero, and fiscal stimulus. The contagion spread into the real economy, leading to the worst world economic downturn since the Great Depression. State and federal investigators launched investigations into the many allegations of fraud and abuse (though essentially no one has been sent to jail). During the crisis the list of defunct lending operations grew weekly (see, e.g., "the Mortgage Lender Implode-O-Meter" at [ml-implode.com/](http://ml-implode.com/)).

Housing presents a spectacular, but by no means unique, example of a speculative bubble. Your task is to identify the feedback structure of speculative bubbles and apply it to the housing crisis.

Preguntas sobre el caso:

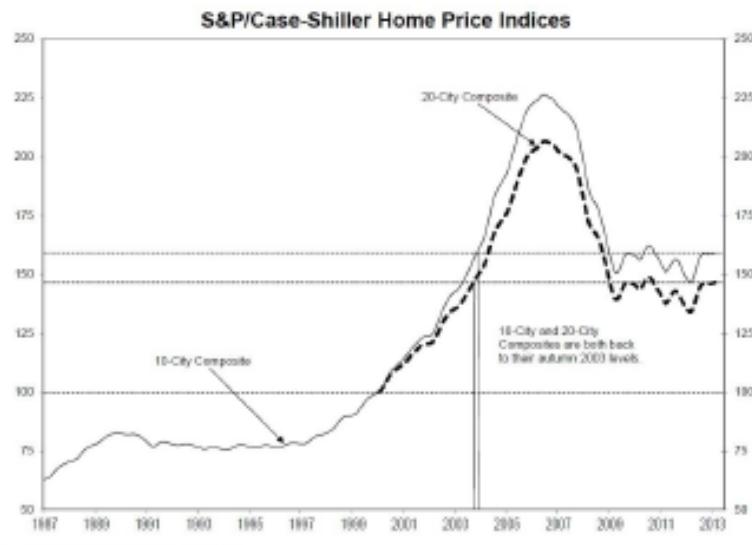
- A. Toma la perspectiva de la Reserva Federal estadounidense (i.e. Banco Central). Define el problema que este tipo de burbujas representan para esta institución. Recuerda, la descripción del problema debe enfatizar la existencia de una brecha entre la situación actual y el estado futuro deseable para la institución. Investiga acerca de las funciones y objetivos de la reserva federal y de las políticas que puede implementar para intervenir en los mercados con el fin de mitigar o evitar los efectos negativas de las burbujas financieras.
- B. Haz una lista de los conceptos y variables que consideres son más relevantes para entender la burbuja inmobiliaria. Mantén tu lista acotada (i.e. no más de diez variables). Agrega conceptos similares en una sola variable (e.g. no es necesario distinguir entre diferentes tipos de bienes inmobiliarios o entre diferentes tipos de hipotecas). Para este ejercicio una perspectiva macro es preferible a una perspectiva micro. Piensa críticamente sobre qué elementos o variables son endógenas y cuáles se encuentran en la frontera del sistema. Define las métricas que pueden ayudarte a monitorear el desempeño del sistema.
- C. Desarrolla un diagrama causal que capture los procesos de causalidad circular que consideres son responsables de la burbuja inmobiliaria. Emplea el siguiente diagrama causal como base para tu propio diagrama causal. Agrega los procesos de retroalimentación que consideres más relevantes.



Fuente: Sterman (2013), p170.

- D. Usa la descripción de caso y tu propio conocimiento para graficar el comportamiento de algunas de las variables que has identificado (e.g. precio, demanda y oferta). Primero identifica el horizonte de tiempo de interés para este caso, es importante que elijas un período de tiempo que cubra la situación que dio origen a la burbuja, el período de ajuste violento de los mercados y el período de tiempo subsecuente después de la implosión de la burbuja. Segundo, grafica las variables de interés a través del horizonte de tiempo que elegiste. Es importante que denotes adecuadamente las unidades de tiempo y las unidades de las variables que se están graficando. Recuerda, en este ejercicio, los patrones cualitativos que identifiques son más relevantes que la precisión cuantitativa.
- E. Combina tus respuestas a los incisos anteriores y mapea la estructura de este sistema relevante para el problema que identificaste empleando el diagrama de sistema discutido en clase. Dicho diagrama debe indicar claramente que variables o elementos del sistema se encuentran en la barrera del sistema, que políticas pueden implementarse para influir en el comportamiento del sistema y que métricas pueden emplearse para monitorear el desempeño del sistema y la efectividad de las políticas de intervención.
- F. Emplea tu diagrama y responde brevemente a las siguientes preguntas ¿Qué factores contribuyeron a la implosión de la burbuja? ¿Qué políticas hubiesen prevenido que la burbuja inmobiliaria estallara? ¿Qué políticas pudieron haber mitigado los efectos negativos de la burbuja en la economía? ¿Qué políticas pueden prevenir la generación de una burbuja similar? ¿Qué tan efectivas han sido las políticas implementadas hasta el día de hoy con respecto de los objetivos que identificaste?

¿Te interesa saber más sobre las causas de la crisis financiera? Te recomiendo leer el libro: "Fault Lines: How Hidden Fractures Still Threaten the World Economy. Raghuram G. Rajan"



**Case-Shiller home price index.**  
 Source: <http://www.ritholtz.com/blog/2013/04/case-shiller-home-prices-rise-in-february-2013/>



## Problema 2<sup>2</sup>: Emprendedores y Transiciones Tecnológicas (30 puntos)

Descripción de caso:

Energy Transitions are dynamically complex: they are governed by many feedback effects and long delays. Energy transitions are also deeply uncertain: major uncertainties –related to individuals, particular technologies, the entire system, and hence for policy/decision makers in the energy field– are omnipresent. Energy technologies face many uncertainties and need to overcome many hurdles, even before becoming commercially viable and entering the energy technologies battle-field. One of these hurdles is the so-called ‘valley of death’. That is, quite often, entrepreneurs and technology developers bring a new technology to the pre-commercial stage, but due to a lack of investments, it does not survive the phase between (subsidized) entrepreneurial technology development and large-scale commercial take-off in which subsidies are (often) forbidden. It is hard to predict which promising technologies will actually make it, and hence, which might possibly become the technologies of the future. Ineke Meijer and colleagues studied the influence of uncertainty on entrepreneurial motivation and entrepreneurial action related to the pre-battlefield stage in energy transitions (Meijer 2008; Meijer et al. 2010a; Meijer et al. 2010b). In SD terms, her PhD thesis could be summarized as follows:

Many influence *perceived certainty* related to each new technology. The lower the *perceived certainty*, the higher the *perceived risk* and the lower the *entrepreneurial willingness to acquire knowledge, experiment and invest*. In order to bring a technology to the point where it would be considered a good investment. *Resources for actions to reduce uncertainty* may actually help to take this hurdle and may lead to more *perceived certainty* and raise *perceptions about the potential success of the technology*. This in turn reinforces (intrinsic) *entrepreneurial motivation*, resulting in more *willingness to act*.

A reduction of the *perceived risk* and an increase of the *entrepreneurial motivation* are the preconditions to further the state of development and increase the *willingness to invest* of entrepreneurs and risk-taking energy companies, which in turn leads to more real *investments*, contributing to the *success of the technology*, reinforcing the *willingness to invest*.

Nota: En el caso anterior, algunos de los elementos fundamentales del caso se indican en *íticas*. Usa esta ayuda como base para conceptualizar el problema. Sin embargo, no te limites a considerar solo estos factores. Si consideras que es necesario considerar otras variables, emplea tu experiencia e investigación documental para conceptualizar otros elementos importantes del caso.

Preguntas del caso:

1. Desarrolla un diagrama causal del caso anterior. Identifica los ciclos de causalidad circular existentes y relevantes. Identifica su polaridad (i.e. positiva, negativa). Nombra estos ciclos de causalidad circular de tal manera que se describa su efecto apropiadamente.

---

<sup>2</sup> Caso tomado de Pruyt (2013), p60

2. Formula una hipótesis dinámica sobre el comportamiento del sistema. Enfócate en el comportamiento de las variables que consideres son mas relevantes. Describe gráficamente tu hipótesis dinámica.
3. Considera la posición de una secretaría de innovación cuyo objetivo es incrementar la tasa de desarrollo de nuevas tecnologías. Emplea el diagrama de sistema discutido en clase para identificar las variables en la barrera del sistema, las métricas para monitorear el cumplimiento de dicho objetivo y las políticas que podrían implementarse para incrementar la tasa de desarrollo de nuevas tecnologías. Describe gráficamente el efecto en el comportamiento del sistema que consideras tendría una de las políticas que identificaste.

### **Problema 3<sup>3</sup>: Políticas de desarrollo urbano (30 puntos).**

Descripción de caso:

Real estate demand in densely populated urban areas with sufficient land to extend is often rather price sensitive: declining property prices for instance caused by relative oversupply (i.e. real supply exceeding real demand) results in rapid demand rises. Construction companies often initiate new projects based on the demand for properties. Increased demand leads to new projects being initiated. Real estate construction projects are often completed with relatively long delays of about 2-3 years. Many construction companies tend to operate in these areas. And they are mostly unaware or do not keep track of construction projects initiated by others.

Preguntas sobre el caso:

3.1 Desarrolla un diagrama causal de este caso (10 puntos, productos: **diagrama causal**)

3.2 Emplea tu diagrama causal para describir gráficamente tu hipótesis dinámica inicial sobre la dinámica de los precios de las propiedades (10 puntos, productos: **descripción hipótesis dinámica, gráfico de hipótesis dinámica**)

3.3 ¿Qué tipo de política podría seguir una compañía constructora inteligente? Emplea el diagrama de sistema visto en clase (i.e. políticas, factores exógenos, diagrama causal y métricas de comportamiento) (**diapositiva 56, Seminario1**) para describir el funcionamiento de dicha política y su efecto en el sistema. Grafica el comportamiento esperado de dicha política y contrástala brevemente con tu hipótesis dinámica inicial (10 puntos, productos: **diagrama de sistema (diapositiva 35, Seminario2), grafico contrastando el comportamiento de la política y la hipótesis dinámica**).

---

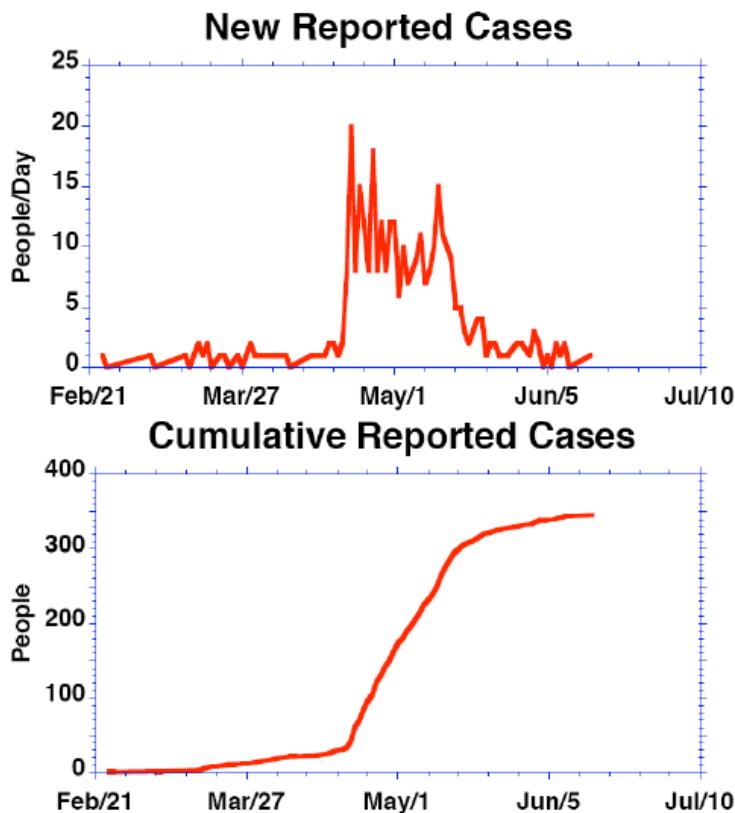
<sup>3</sup> Caso tomado de Pruyt (2013), p72

#### Problema 4<sup>4</sup>: Modelando la epidemia SARS (100 puntos)

Este problema tiene como objetivo guiarte en el desarrollo y análisis de un modelo dinámico empleando el lenguaje de programación R. El objetivo es que te familiarices con las herramientas de análisis en R y que inicies el desarrollo de tus propios modelos dinámicos. Para este efecto tomaremos como referencia el caso de la epidemia SARS descrito por Sterman (2013).

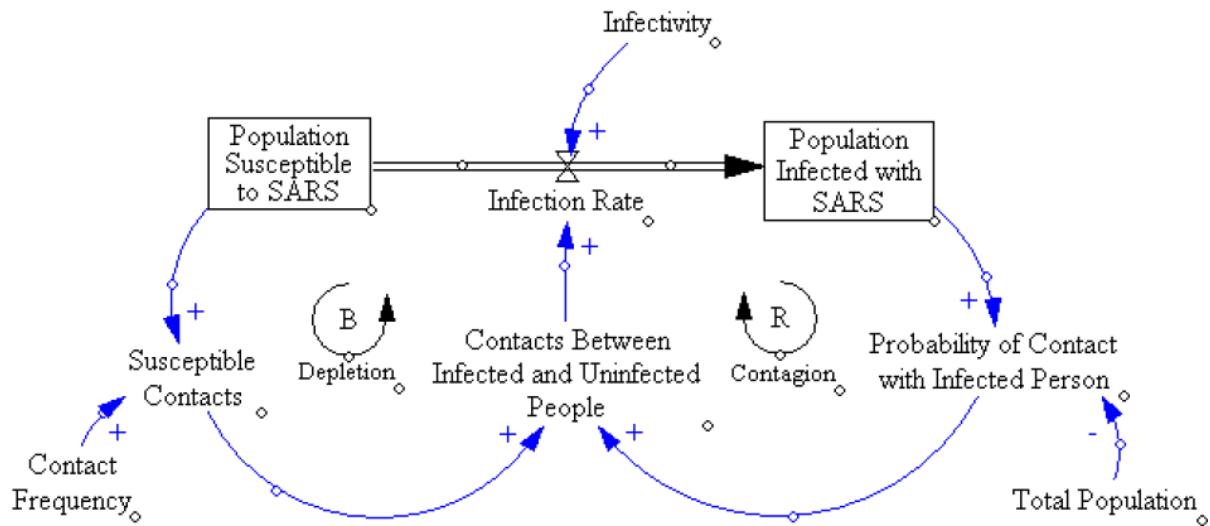
Antecedentes:

El virus SARS (coronavirus) emergió en Asia en el año 2003. Para acotar este ejercicio de análisis construiremos un modelo de simulación que describa el desarrollo de esta epidemia en Taiwán. La figura siguiente muestra la incidencia de contagio (i.e. tasa a la que nuevos casos fueron reportados, medida en personas/día [people/day]) y la prevalencia acumulada del virus SARS en Taiwán (i.e. número acumulado de casos reportados, medido en personas [people]).



Para iniciar tomaremos como referencia el diagrama “stock-flow” de Sterman (2013) mostrado en la siguiente figura.

<sup>4</sup> Versión modificada de tarea 1 del curso “Introduction to System Dynamics” del Massachusetts Institute of Technology, disponible en <http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-871-introduction-to-system-dynamics-fall-2013/assignments/>



Como primer paso haremos un listado del tipo de variables en el modelo:

#### Variables de Estado (Stock variables)

- Population Susceptible to SARS
- Population Infected with SARS

#### Variables de flujo (flow variables)

- Infection Rate

#### Variables auxiliares endógenas (endogenous auxiliary variables)

- Susceptible Contacts
- Probability of Contact with Infected Person
- Contacts Between Infected and Uninfected People

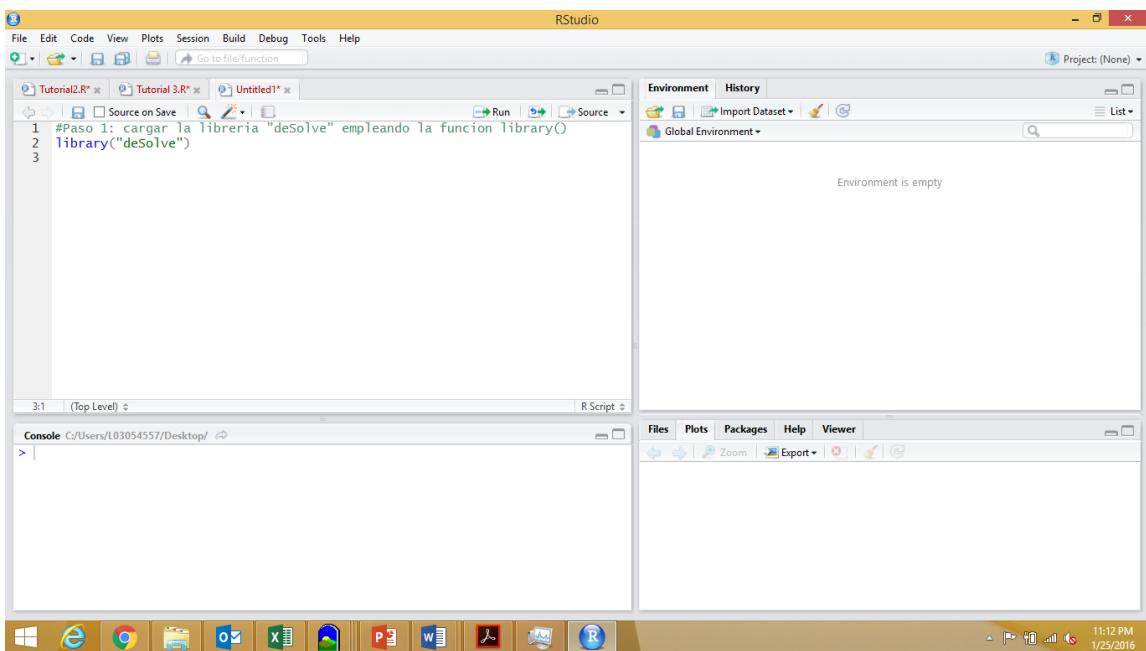
#### Parámetros de simulación (variables en la frontera del sistema o exogenous auxiliary variables)

- Contact Frequency
- Total Population
- Infectivity

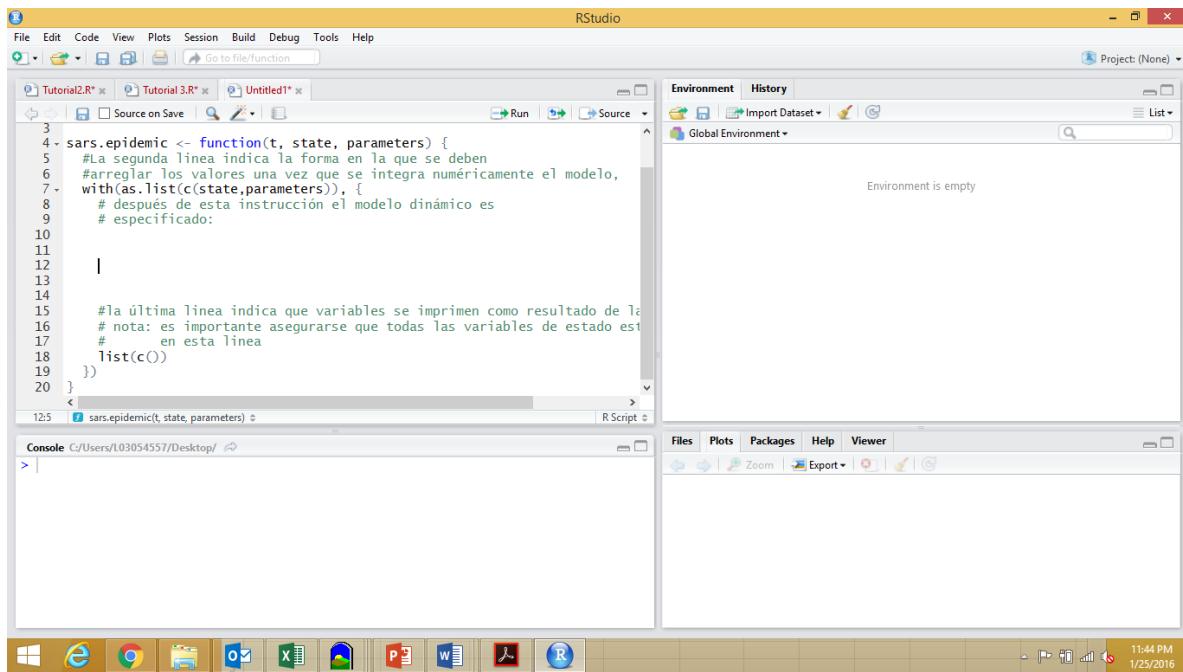
Esta clasificación es útil para organizar el espacio de trabajo en Rstudio.

Iniciaremos por definir este modelo dinámico como una función definida por el usuario siguiendo los siguientes pasos.

Carga la librería deSolve empleando la función library() como se muestra en la imagen.



Declara el espacio de trabajo como una función definida por el usuario. En este caso sólo tienes que cambiar el nombre de la función, manteniendo el template que hemos usado en otros modelos



Ahora agregaremos las variables de estado y los flujos asociadas a ellas. Iniciaremos con la variable de estado "Population Susceptible to SARS" como se muestra en la figura siguiente.

The screenshot shows the RStudio interface. The left pane displays an R script named 'sars.epidemic.R' with the following code:

```

1 #Paso 1: cargar la librería "deSolve" empleando la función library()
2 library("deSolve")
3 
4 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
5   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7   with(as.list(c(state,parameters)), {
8     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9     # especificado:
10 
11   #State (stock) variables
12   dpopulation.susceptible.to.SARS<-
13 
14 
15   #la última linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
16   # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
17   # en esta linea
18   # list(c())
19 }
20 }
21 
```

The right pane shows the Environment tab with global variables and functions defined in the script.

Nota que en R las variables no pueden ser nombradas con espacios. De manera que esta variable de estado es nombrada como: "population.susceptible.to.SARS" nota también que las variables de estado son precedidas por el símbolo diferencial "d" para indicar que esta es una variable de estado, la sintaxis completa es: "dpopulation.susceptible.to.SARS". Después de este paso habrás creado exitosamente la primera variable de estado del modelo.

Una práctica muy recomendable es documentar tus modelos. En R puedes hacer esto empleando el símbolo "#" y escribiendo delante de éste una breve descripción de la variable que estas representando. Además de describir la variable que estas creando es muy recomendable escribir también las unidades de medición de tu variable. La siguiente figura muestra un ejemplo:

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Source on Save Go to file/function
Tutorial2.R* Tutorial 3.R* Untitled1* Basic Behaviour Arquetypes.R Untitled3* InternationalGreen
Run Source
1 #Paso 1: cargar la libreria "deSolve" empleando la funcion library()
2 library("deSolve")
3
4 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
5   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7   with(as.list(c(state,parameters)), {
8     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9     # especificado:
10
11     #State (stock) variables
12     #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
13     #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
14     dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^Infection.Rate #stock units: People
15
16     #la ltima linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
17     # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado esten listadas
18     # en esta linea
19     # list(c())
20   })
21 }

```

15:59 sars.epidemic(t, state, parameters) R Script

Console

Windows Taskbar: 9:55 PM 1/27/2016

Como se muestra en el stock-flow diagram, la variable "Infection.Rate" est  a conectada a la variable de estado como un flujo de salida (i.e. outflow variable), esta estructura se modela como se muestra en la siguiente figura. Nota que esta variable de flujo afecta con signo negativo a la variable de estado. Este signo negativo especifica a esta variable de flujo como un flujo de salida.

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Source on Save Go to file/function
Tutorial2.R* Tutorial 3.R* Untitled1* Basic Behaviour Arquetypes.R Untitled3* InternationalGreen
Run Source
1 #Paso 1: cargar la libreria "deSolve" empleando la funcion library()
2 library("deSolve")
3
4 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
5   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7   with(as.list(c(state,parameters)), {
8     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9     # especificado:
10
11     #State (stock) variables
12     #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
13     #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it.
14     #It is initialized to the Total Population,
15     #which assumes that all individuals are initially susceptible
16     #(no prior natural or vaccine-conferred immunity)
17     dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^Infection.Rate #stock units: People
18
19     #la ltima linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
20     # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado esten listadas
21     # en esta linea
22     # list(c())
23   })
24 }

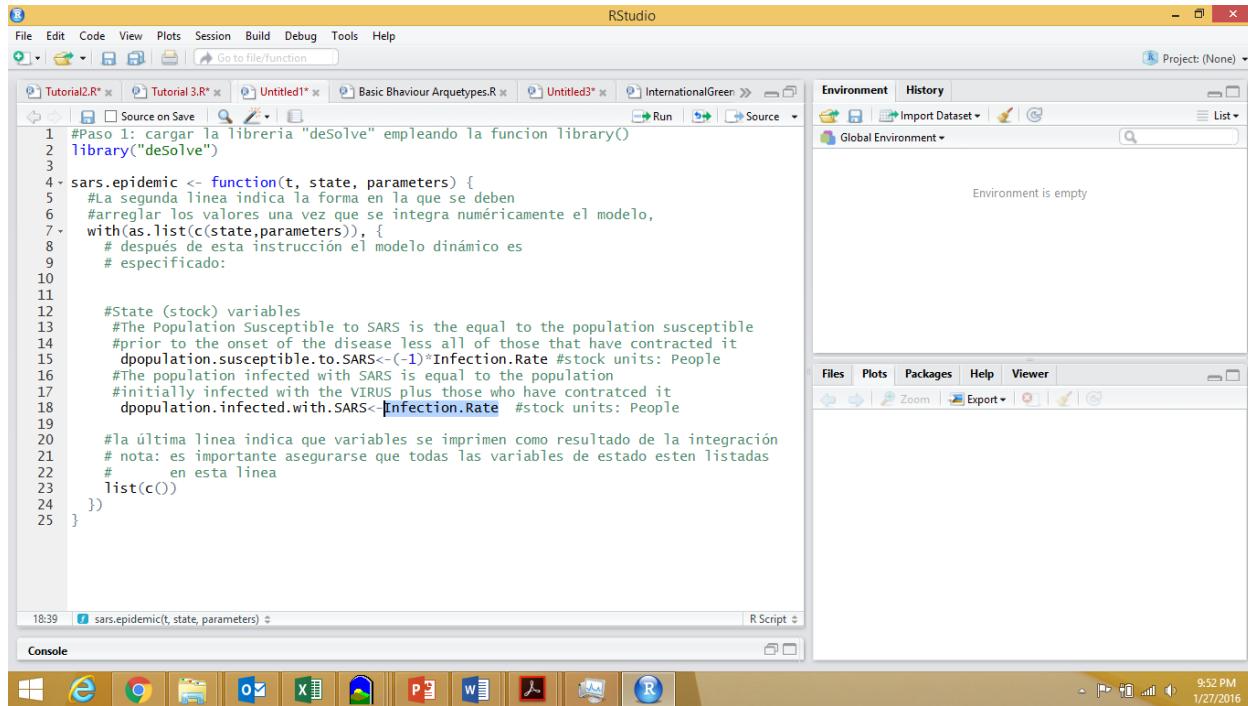
```

18:40 sars.epidemic(t, state, parameters) R Script

Console

Windows Taskbar: 9:40 PM 1/27/2016

Podemos seguir un proceso similar para modelar y documentar la segunda variable de estado "population.infected.with.SARS" como se muestra en la siguiente figura. Nota que en este caso la variable de flujo "Infection.Rate" es modelada como un flujo de entrada (i.e. inflow variable) y por esta razón no se incluye un signo negativo y nota también que la variable de estado "population.infected.with.SARS" es especificada precedida del signo diferencial "d".



The screenshot shows the RStudio interface with the following details:

- File Bar:** File, Edit, Code, View, Plots, Session, Build, Debug, Tools, Help.
- Project Bar:** Project: (None).
- Left Panel:** Shows several open files: Tutorial2.R\*, Tutorial 3.R\*, Untitled1\*, Untitled3\*, Basic Behaviour Arquetypes.R, and InternationalGreen. The Untitled3 file is currently active.
- Code Editor:** Displays the following R code for a SARS epidemic model:

```

1 #Paso 1: cargar la libreria "desolve" empleando la funcion library()
2 library("desolve")
3
4 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
5   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7   with(as.list(c(state,parameters)), {
8     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9     # especificado:
10
11
12   #State (stock) variables
13   #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
14   #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
15   dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^*Infection.Rate #stock units: People
16   #The population infected with SARS is equal to the population
17   #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
18   dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
19
20   #la última linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
21   # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
22   # en esta linea
23   list(c())
24 }
25 }
```

- Environment Tab:** Shows "Environment is empty".
- Plots Tab:** Shows a blank plot area.
- Console Tab:** Shows the command "sars.epidemic(t, state, parameters)".
- Bottom Status Bar:** Shows the date and time: 18:39, 1/27/2016, 9:52 PM.

Como se muestra en el stock-flow diagram, en este modelo solo existe una sola variable de flujo que está conectada a las variables de estado. Esta variable de flujo es determinada por dos variables auxiliares: "Contacts between Infected and Uninfected People" e "Infectivity". Para este caso especificamos la variable de flujo "Infection.Rate" como la multiplicación simple de estas dos variables auxiliares tal como se muestra en la siguiente figura. Nota que al agregar esta nueva variable también hemos incluido la documentación que describe esta variable y sus unidades de medición.

```

1 library("deSolve")
2 
3 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
4   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
5   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
6   with(as.list(c(state,parameters)), {
7     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
8     # especificado:
9 
10    #Flow variables
11    #The infection rate is determined by the total number of contacts
12    #between infected and uninfected people each day and
13    #the probability that each such contact results in transmission
14    #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
15    Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People^Infectivity #People/day
16    #State (stock) variables
17    #The Population Susceptible to SARS is equal to the population susceptible
18    #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
19    dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^Infection.Rate #stock units: People
20    #The population infected with SARS is equal to the population
21    #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
22    dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
23 
24    #la última linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
25    # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
26    # en esta linea
27    # list(c())
28    list(c())
29  })
30 }
31 
32 sars.epidemic(t, state, parameters) >

```

Console

10:05 PM  
1/27/2016

Al definir la variable de flujo "Infection.Rate" hemos agregado dos nuevas variables que debemos especificar. La variable "Contacts between Infected and Uninfected People" es una variable auxiliar endógena que es determinada por la variable "Susceptible Contacts" y la variable "Probability of Contact with Infected Person" esta interacción es especificada de la siguiente manera:

```

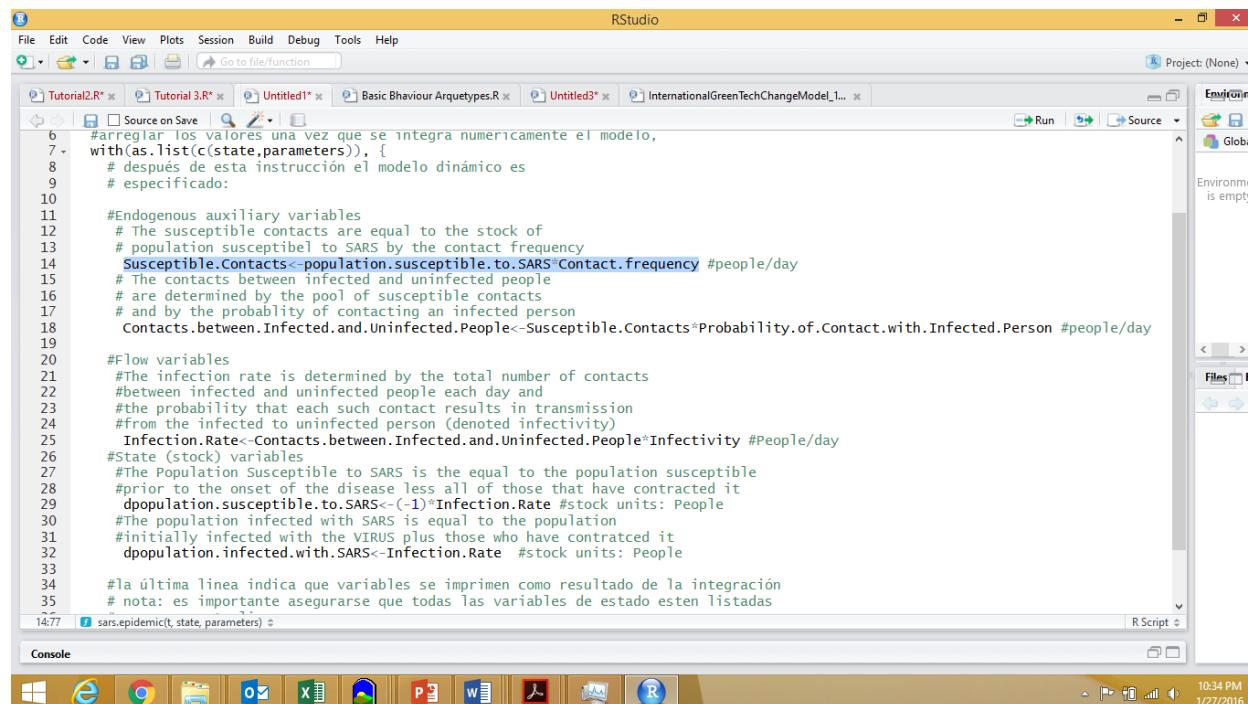
1 #Paso 1: cargar la libreria "deSolve" empleando la función library()
2 library("deSolve")
3 
4 sars.epidemic <- function(t, state, parameters) {
5   #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6   #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7   with(as.list(c(state,parameters)), {
8     # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9     # especificado:
10 
11    #Endogenous auxiliary variables
12    # The contacts between infected and uninfected people
13    # are determined by the pool of susceptible contacts
14    # and by the probability of contacting an infected person
15    Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People<-susceptible.Contacts^Probability.of.Contact.with.Infected.Person #people/day
16 
17    #Flow variables
18    #The infection rate is determined by the total number of contacts
19    #between infected and uninfected people each day and
20    #the probability that each such contact results in transmission
21    #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
22    Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People^Infectivity #People/day
23    #State (stock) variables
24    #The Population Susceptible to SARS is equal to the population susceptible
25    #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
26    dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^Infection.Rate #stock units: People
27    #The population infected with SARS is equal to the population
28    #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
29    dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
30 }
31 
32 sars.epidemic(t, state, parameters) >

```

Console

10:17 PM  
1/27/2016

Al definir esta nueva variable hemos agregado dos nuevas variables auxiliares endógenas que debemos definir. La primera variable "Susceptible Contacts" es determinada por la variable de estado "Population Susceptible to SARS" y por la variable "Contact Frequency" y es especificada como se muestra en la figura siguiente. Nota que en esta ocasión al emplear la variable de estado para definir otra variable endógena auxiliar no es necesario usar el símbolo diferencial antes de la variable de estado.



```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Project: (None)
Tutorial2.R* Tutorial 3.R* Untitled1* Basic Behaviour Arquetypes.R Untitled3* InternationalGreenTechChangeModel_1...
Source on Save Go to file/function Run Source Environment
6 #arreglar los valores una vez que se integra numericamente el modelo,
7 with(as.list(c(state,parameters)), {
8   # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9   # especificado;
10
11   #Endogenous auxiliary variables
12   # The susceptible contacts are equal to the stock of
13   # population susceptibel to SARS by the contact frequency
14   Susceptible.Contacts<-population.susceptible.to.SARS>Contact.frequency #people/day
15   # The contacts between infected and uninfected people
16   # are determined by the pool of susceptible contacts
17   # and by the probability of contacting an infected person
18   Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People<-Susceptible.Contacts*Probability.of.Contact.with.Infected.Person #people/day
19
20   #Flow variables
21   #The infection rate is determined by the total number of contacts
22   #between infected and uninfected people each day and
23   #the probability that each such contact results in transmission
24   #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
25   Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People*Infectivity #People/day
26   #State (stock) variables
27   #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
28   #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
29   dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)*Infection.Rate #stock units: People
30   #The population infected with SARS is equal to the population
31   #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
32   dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
33
34   #la última linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
35   # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
14:77 sars.epidemic(t, state, parameters) >
R Script
Console
10:34 PM
1/27/2016

```

La última variable endógena auxiliar por modelar es la variable "Probability of Contact with Infected Person". De manera similar al caso anterior, esta variable es determinada por la variable de estado "population infected with SARS" dividida por la variable exógena auxiliar "Total Population" como se muestra en la siguiente figura:

```

5 #La segunda linea indica la forma en la que se deben
6 #arreglar los valores una vez que se integra numéricamente el modelo,
7 with(as.list(c(state,parameters)), {
8   # después de esta instrucción el modelo dinámico es
9   # especificado:
10
11  #Endogenous auxiliary variables
12  #The probability of contact with infected person
13  # is equal to the ratio of the stock of population infected to the Total Population
14  Probability.of.Contact.with.Infected.Person<-population.infected.with.SARS/Total.Population # [1] dimmensionless
15  # The susceptible contacts are equal to the stock of
16  # population susceptibel to SARS by the contact frequency
17  Susceptible.Contacts<-population.susceptible.to.SARS>Contact.frequency #people/day
18  # The contacts between infected and uninfected people
19  # are determined by the pool of susceptible contacts
20  # and by the probability of contacting an infected person
21  Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People<-Susceptible.Contacts*Probability.of.Contact.with.Infected.Person #people/day
22
23  #Flow variables
24  #The infection rate is determined by the total number of contacts
25  #between infected and uninfected people each day and
26  #the probability that each such contact results in transmission
27  #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
28  Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People*Infectivity #People/day
29  #State (stock) variables
30  #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
31  #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
32  dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)*Infection.Rate #stock units: People
33  #The population infected with SARS is equal to the population
34  #initially infected with the VIRUS plus those who have contrated it
14:59 sars.epidemic(state, parameters)

```

Esto concluye la especificación de todos los elementos endógenos del modelo. El siguiente paso es especificar los valores de los parámetros (i.e. variables auxiliares exógenas), las condiciones iniciales de las variables de estado, el horizonte temporal de análisis y el método de integración para la simulación.

En nuestro modelo hemos especificado tres parámetros: "Contact Frequency", "Total Population" e "Infectivity".

En R podemos especificar los parámetros del modelo empleando un vector como se muestra en la siguiente figura. Nota que el nombre de los parámetros es idéntico al nombre empleado en la especificación descrita en los pasos anteriores. También nota que cada parámetro está asociado a un valor numérico \'nico para el cual correremos el modelo de simulación. Finalmente nota que para cada parámetro se especifican sus unidades de medición.

```

22 #The infection rate is determined by the total number of contacts
23 #between infected and uninfected people each day and
24 #the probability that each such contact results in transmission
25 #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
26 Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People^Infectivity #People/day
27 #State (stock) variables
28 #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
29 #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
30 dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^*Infection.Rate #stock units: People
31 #The population infected with SARS is equal to the population
32 #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
33 dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
34 #la ultima linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
35 # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado esten listadas
36 # en esta linea
37 list(c())
38 }
39 }
40
41 #Paso 2:
42 # Especificación de parametros, condiciones iniciales,
43 # periodo de análisis y método de integración
44
45 # la siguiente linea crea un vector con los valores de los parámetros del modelo
46 parameters<-c(Infectivity=0.1, # [1] dimensionless
47 Contact.frequency=2, # people/day
48 Total.Population=350) #people
49
50
51
48:44 | (Top Level) ▾

```

Console

10:47 PM  
1/27/2016

De igual manera podemos emplear un vector en R para definir las condiciones iniciales de cada variable de estado, esto se muestra en la siguiente figura. Nuevamente el nombre de las variables de estado es idéntico al empleado en la especificación de la modelo y cada variable de estado es inicializada a un valor único.

```

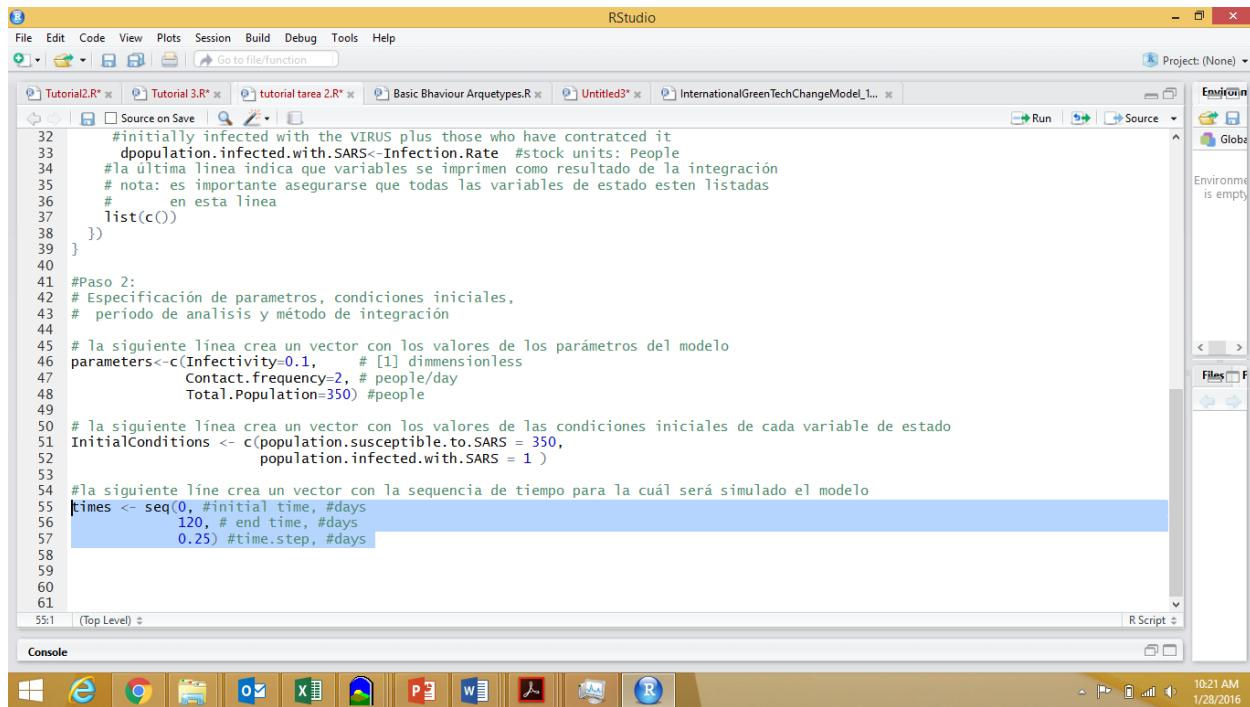
22 #The infection rate is determined by the total number of contacts
23 #between infected and uninfected people each day and
24 #the probability that each such contact results in transmission
25 #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
26 Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People^Infectivity #People/day
27 #State (stock) variables
28 #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
29 #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
30 dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)^*Infection.Rate #stock units: People
31 #The population infected with SARS is equal to the population
32 #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
33 dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
34 #la ultima linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
35 # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado esten listadas
36 # en esta linea
37 list(c())
38 }
39 }
40
41 #Paso 2:
42 # Especificación de parametros, condiciones iniciales,
43 # periodo de análisis y método de integración
44
45 # la siguiente linea crea un vector con los valores de los parámetros del modelo
46 parameters<-c(Infectivity=0.1, # [1] dimensionless
47 Contact.frequency=2, # people/day
48 Total.Population=350) #people
49
50 InitialConditions <- c(population.susceptible.to.SARS = 350,
51 population.infected.with.SARS = 1 )
52
53
54
55
50:1 | (Top Level) ▾

```

Console

10:52 PM  
1/27/2016

Ahora es necesario especificar el vector de tiempo que será usado para simular el modelo. Esta especificación se lleva a cabo como se muestra en la siguiente figura. Nota que para especificar este vector de tiempo empleamos la función `seq()`. Esta función crea una secuencia numérica y requiere tres parámetros: valor inicial, valor final e intervalo de crecimiento. En nuestro modelo dinámico estos tres parámetros representan el tiempo inicial de la simulación, el tiempo final de la simulación y la resolución temporal de la simulación. Nota que para cada parámetro hemos indicado la unidad de tiempo correspondiente.



```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Go to file/function
Project: (None)
Tutorial2.R* Tutorial 3.R* tutorial tarea 2.R* Basic Behaviour Arquetypes.R Untitled3* InternationalGreenTechChangeModel_1...
Source on Save Run Source
32 #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
33 dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
34 #la ultima linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
35 # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
36 # en esta linea
37 list(c())
38 })
39 }
40
41 #Paso 2:
42 # Especificación de parametros, condiciones iniciales,
43 # periodo de análisis y método de integración
44
45 # la siguiente linea crea un vector con los valores de los parámetros del modelo
46 parameters<-c(Infactivity=0.1, # [1] dimensionless
47 Contact.frequency=2, # people/day
48 Total.Population=350) #people
49
50 # la siguiente linea crea un vector con los valores de las condiciones iniciales de cada variable de estado
51 InitialConditions <- c(population.susceptible.to.SARS = 350,
52 population.infected.with.SARS = 1 )
53
54 #la siguiente linea crea un vector con la secuencia de tiempo para la cuál será simulado el modelo
55 times <- seq(0, #initial time, #days
56 120, # end time, #days
57 0.25) #time.step, #days
58
59
60
61
55:1 (Top Level) R Script
Console
10:21 AM 1/28/2016

```

Aún no discutimos con detalle las propiedades de los diferentes métodos de integración que podemos emplear para simular nuestro modelo. Por lo pronto, para este ejercicio, elegiremos el método Runge-Kutta de Orden 4, en clases subsecuentes estudiaremos las propiedades de otros métodos de integración. La figura siguiente muestra la forma de especificar este método de integración.

```

36 # en esta linea
37 list(c())
38 }
39 }
40
41 #Paso 2:
42 # Especificación de parametros, condiciones iniciales,
43 # periodo de análisis y método de integración
44
45 # la siguiente linea crea un vector con los valores de los parámetros del modelo
46 parameters<-c(Infactivity=0.1, # [1] dimensionless
47 Contact.frequency=2, # people/day
48 Total.Population=350) #people
49
50 # la siguiente linea crea un vector con los valores de las condiciones iniciales de cada variable de estado
51 InitialConditions <- c(population.susceptible.to.SARS = 350,
52 population.infected.with.SARS = 1 )
53
54 #la siguiente linea crea un vector con la secuencia de tiempo para la cual será simulado el modelo
55 times <- seq(0, #initial time, #days
56 120, # end time, #days
57 0.25) #time.step, #days
58
59
60 #como paso final elegimos un método de integración del modelo
61 intg.method<-c("rk4") # existen muchos metodos disponibles, en este ejemplo
62 # el método elegido es Runge-Kutta de Orden 4
63
64
65

```

El último paso en el proceso de especificación del modelo es elegir las variables que serán "impresas" por la simulación. Este es un paso muy importante ya que nos permite elegir las variables que deseamos analizar. La figura siguiente muestra la forma de especificar las variables a imprimir por el modelo. Nota que esto es especificado en la última línea de código de la función contiene nuestro modelo dinámico. Nota también que en este caso hemos elegido imprimir sólo las variables de estado y que ambas están precedidas por el signo diferencial "d" y son concatenadas empleando la función `c()`.

```

15 # population susceptible to SARS by the contact frequency
16 Susceptible.Contacts<-population.susceptible.to.SARS>Contact.frequency #people/day
17 # The contacts between infected and uninfected people
18 # are determined by the pool of susceptible contacts
19 # and by the probability of contacting an infected person
20 Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People<-Susceptible.Contacts*Probability.of.Contact.with.Infected.Person #people/day
21 #Flow variables
22 #The infection rate is determined by the total number of contacts
23 #between infected and uninfected people each day and
24 #the probability that each such contact results in transmission
25 #from the infected to uninfected person (denoted infectivity)
26 Infection.Rate<-Contacts.between.Infected.and.Uninfected.People*Infectivity #People/day
27 #State (stock) variables
28 #The Population Susceptible to SARS is the equal to the population susceptible
29 #prior to the onset of the disease less all of those that have contracted it
30 dpopulation.susceptible.to.SARS<-(-1)*Infection.Rate #stock units: People
31 #The population infected with SARS is equal to the population
32 #initially infected with the VIRUS plus those who have contracted it
33 dpopulation.infected.with.SARS<-Infection.Rate #stock units: People
34 #la última linea indica que variables se imprimen como resultado de la integración
35 # nota: es importante asegurarse que todas las variables de estado estén listadas
36 # en esta linea
37 list(c(dpopulation.susceptible.to.SARS,dpopulation.infected.with.SARS))
38 })
39 }
40
41 #Paso 2:
42 # Especificación de parametros, condiciones iniciales,
43 # periodo de análisis y método de integración
44
37:76 sars.epidemic(t, state, parameters) >

```

R Script

Console

Windows Taskbar: 10:40 AM 1/28/2016

Esto concluye la especificación del modelo de simulación. El siguiente paso es ejecutar este código y llevar a cabo la simulación. Para ejecutar este código debemos enviar a la consola de R la función sars.epidemic, parámetros, condiciones iniciales, vector de tiempo y método de integración. Para hacer esto en Rstudio, primero elige con el mouse las líneas que contienen todos estos elementos como se muestra en la figura (i.e. líneas 1-63).

```

47 Contact.frequency=2, # people/person/Day
48 Total.Population=350 #people
49
50 # la siguiente linea crea un vector con los valores de las condiciones iniciales
51 InitialConditions <- c(population.susceptible.to.SARS = 350,
52 population.infected.with.SARS = 1 )
53
54 #la siguiente linea crea un vector con la secuencia de tiempo para la cual será
55 times <- seq(0, #initial time, #days
56 120, # end time, #days
57 0.25) #time.step, #days
58
59
60 #como paso final elegimos un método de integración del modelo
61 intg.method<-c("rk4") # existen muchos métodos disponibles, en este ejemplo
62 # el método elegido es Runge-Kutta de Orden 4
63
64
65
66

```

R Studio

File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help

Project: (None)

Environment History

Values

InitialCondit... Named num [1:2] 350 1  
intg.method "rk4"  
parameters Named num [1:3] 0.1 2 350  
times num [1:481] 0 0.25 0.5 0.75 1 1.25 1.5 1...

Functions

sars.epidemic function (t, state, parameters)

Files Plots Packages Help Viewer

Console C:\Users\LO3054557\Desktop/ > |

Windows Taskbar: 10:49 AM 1/28/2016

Una vez seleccionadas ejecuta estas líneas de código dando click en el símbolo “Run” en la parte superior derecha del panel donde hemos escrito el script. Al hacer esto correctamente veras estas líneas de código en color azul en el panel inferior como se muestra el figura.

The screenshot shows the RStudio interface with the following components:

- File**, **Edit**, **Code**, **View**, **Plots**, **Session**, **Build**, **Debug**, **Tools**, **Help** menu bar.
- Project**: Project (None) listed in the top right.
- Toolbar**: Includes icons for file operations like Open, Save, Run, and Source.
- Text Editor**: Shows an R script titled "Tutorial 2.R\*". The code defines parameters, initial conditions, and a time sequence for an SIR model.
- Console**: Displays the R commands and their output corresponding to the script.
- Environment** and **History** panes: Show global environment variables and function definitions.
- Files**, **Plots**, **Packages**, **Help**, **Viewer** tabs at the bottom of the interface.

Una vez realizado esto, en la consola de R ya están cargados tanto el modelo como todos los parámetros necesarios para llevar a cabo la simulación, pero aún no hemos generado datos de la simulación. Para hacer esto, en el panel de código agregamos las líneas de código que se muestran en la siguiente figura. Con estas líneas de código crearemos una base de datos "out" que contiene los resultados de la simulación empleando la función "ode". Nota que la función "ode" emplea como parámetros de entrada condiciones iniciales de las variables de estado del modelo, el vector de tiempo, la función sars.epidemic que describe nuestro modelo, las variables exógenas (i.e. parámetros) y el método de integración. Todos estos elementos los hemos definido ya en los pasos anteriores. Después de agregar estas líneas de código seleccionalas con tu mouse y ejecútala empleando el icono "run".

The screenshot shows the RStudio interface. On the left, the code editor displays an R script with several lines highlighted in blue, indicating they have been run. The right side shows the environment pane with variables and functions defined. The bottom pane, labeled 'Console', shows the command history and output.

```

45 # la siguiente linea crea un vector con los valores de los parámetros del modelo
46 parameters<-c(Infecitvity=0.1, # [1] dimmensionless
47           Contact.frequency=2, # people/person/Day
48           Total.Population=350) #people
49
50 # la siguiente linea crea un vector con los valores de las condiciones inicial
51 InitialConditions <- c(population.susceptible.to.SARS = 350,
52                         population.infected.with.SARS = 1 )
53
54 # la siguiente linea crea un vector con la secuencia de tiempo para la cual será
55 times <- seq(0, #initial time, #days
56              120, # end time, #days
57              0.25) #time.step, #days
58
59
60 #como paso final elegimos un método de integración del modelo
61 intg.method<-c("rk4") # existen muchos metodos disponibles, en este ejemplo
62 # el método elegido es Runge-Kutta de Orden 4
63
64
65 # Resuelve numericamente el modelo, corre el modelo
66
67 out <- ode(y = InitialConditions,
68             times = times,
69             func = sars.epidemic,
70             parms = parameters,
71             method =intg.method )

```

Si has hecho esto correctamente veras en el panel inferior (consola de R) estas mismas líneas en color azul sin ningún mensaje de error. También podrás ver un nuevo objeto llamado "out" listado en el panel superior derecho, como se muestra la figura siguiente:

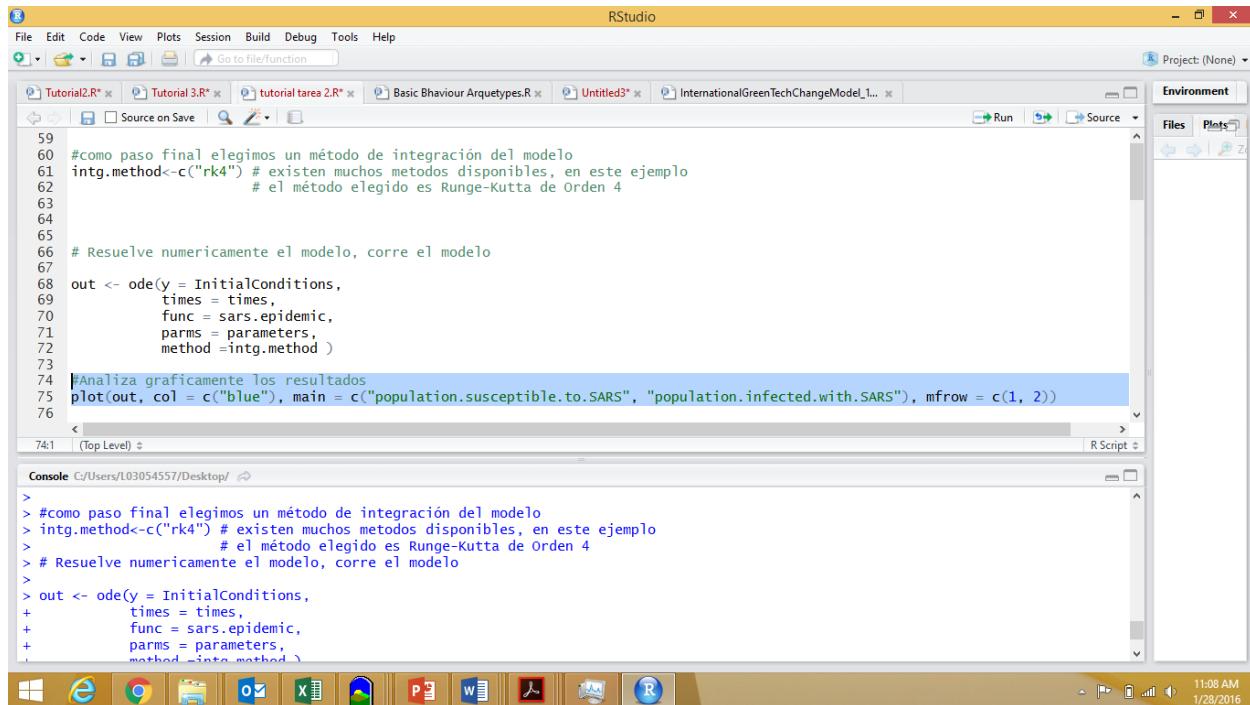
This screenshot shows the RStudio interface after running the script. The code editor shows the same script as before, with the last few lines highlighted in blue. The environment pane on the right lists the variables and functions defined: 'InitialConditions', 'intg.method', 'out', 'parameters', and 'times'. The 'Functions' section shows the definition of 'sars.epidemic'. The bottom pane, 'Console', shows the command history and the successful execution of the script.

```

54 # la siguiente linea crea un vector con la secuencia de tiempo
55 times <- seq(0, #initial time, #days
56               120, # end time, #days
57               0.25) #time.step, #days
58
59
60 #como paso final elegimos un método de integración del modelo
61 intg.method<-c("rk4") # existen muchos metodos disponibles,
62 # el método elegido es Runge-Kutta de Orden 4
63
64
65 # Resuelve numericamente el modelo, corre el modelo
66
67 out <- ode(y = InitialConditions,
68             times = times,
69             func = sars.epidemic,
70             parms = parameters,
71             method =intg.method )

```

El paso final es analizar gráficamente los resultados para esto emplea la función "plot" como se muestra en la siguiente figura:

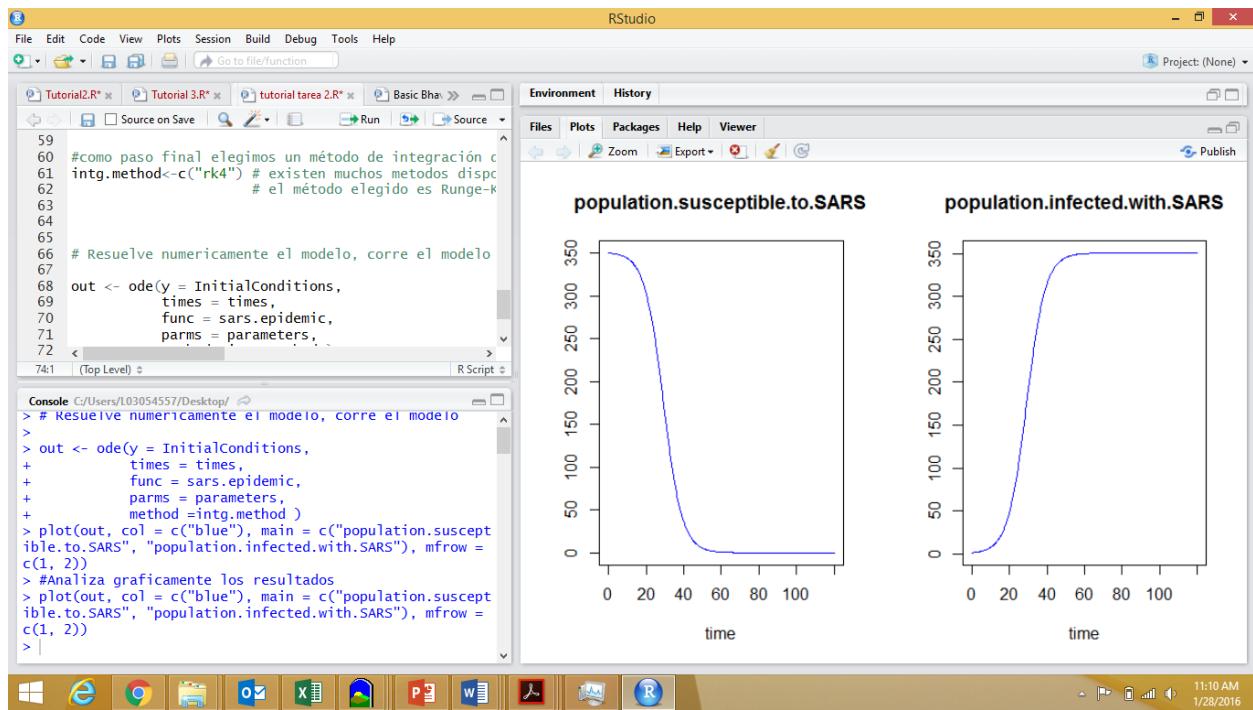


The screenshot shows the RStudio interface. In the top-left pane, there is a code editor with several tabs open, including "Tutorial2.R\*", "Tutorial 3.R\*", "tutorial tarea 2.R\*", "Basic Behaviour Arquetypes.R", "Untitled3\*", and "InternationalGreenTechChangeModel\_1...". The code in the editor is as follows:

```
59 #como paso final elegimos un método de integración del modelo
60 intg.method<-c("rk4") # existen muchos métodos disponibles, en este ejemplo
61 # el método elegido es Runge-Kutta de Orden 4
62
63
64
65
66 # Resuelve numericamente el modelo, corre el modelo
67 out <- ode(y = InitialConditions,
68             times = times,
69             func = sars.epidemic,
70             parms = parameters,
71             method =intg.method )
72
73 #Analiza graficamente los resultados
74 plot(out, col = c("blue"), main = c("population.susceptible.to.SARS", "population.infected.with.SARS"), mfrow = c(1, 2))
75
76
77
```

In the bottom-left pane, the console window shows the same R code being run. The status bar at the bottom right indicates the time as 11:08 AM and the date as 1/28/2016.

Para generar los gráficos de las variables de estado, seleccionada esta línea de código y ejecútala. Si lo has hecho exitosamente veras las curvas de las dos variables de estado en el panel inferior derecho, como se muestra en la figura siguiente.



### Instrucciones del caso:

Asegúrate de documentar tu modelo adecuadamente. Esto implica lo siguiente

1. Agrega suficientes comentarios y explicaciones sobre el significado de cada variable, el razonamiento detrás de cada formulación del modelo y las fuentes de datos que soportan los valores de los parámetros del modelo. No esperes al final para documentar el modelo, es mucho mejor que documentes el modelo a la par de tu trabajo de modelación. La documentación de tu modelo es una tarea que te ayuda a entender mejor la estructura del modelo. Si no eres capaz de describir de manera concisa la especificación del modelo probablemente aún no tienes claro el papel de dicha formulación en el modelo.
2. Denota adecuadamente la polaridad de las líneas causales
3. Denota los ciclos de causalidad circular con un nombre apropiado que describa su efecto en el sistema
4. Asegúrate de denotar las unidades de medida de cada variable y revisa que las dimensiones de cada ecuación sean consistentes. Los modelos que no tienen consistencia dimensional frecuentemente tienen problemas en su especificación.
5. Una vez que concluyas el tutorial habrás seleccionado un valor base para los parámetros (i.e. variables exógenas) del modelo. No te enfoques en reproducir con precisión el comportamiento mostrado en el tutorial, una vez que repliques el patrón general de comportamiento mostrado en el tutorial emplea ese comportamiento base para responder a las preguntas siguientes.

Preguntas del caso:

4.1 Incluye tu modelo en la entrega final de la tarea, nombra tu modelo de la siguiente manera: Tunombre\_sars\_model.R. Toma en cuenta que el modelo que envíes será revisado en términos de las sintaxis del código, pero fundamentalmente en términos de su funcionalidad. Un modelo que no funcione al ser ejecutado será penalizado notablemente (**30 puntos, productos: archivo con el modelo**).

4.2 ¿Qué sucede cuando inicializas la variable de estado "Population Infected with SARS" en cero? Explica brevemente que origina el comportamiento que observas, emplea la estructura del modelo para cimentar tu argumentación (**10 puntos, productos: grafico de simulación y breve descripción**).

4.3 ¿Cómo cambia la dinámica de comportamiento del modelo si inicializas esta variable de estado a un valor positivo diferente de cero? (**10 puntos, productos: gráfico de simulación y breve descripción**).

4.4 ¿Cómo cambia la dinámica del sistema si aumenta el valor del parámetro "Contact Frequency"? ¿El valor de este parámetro modifica el valor final de la variable de estado "Population Infected with SARS"? Explica porque sí o porque no haciendo referencia a la estructura del modelo y a los resultados de la simulación (**10 puntos, productos: gráfico con resultados de simulación y descripción de resultados**).

4.5 ¿Cómo cambia el comportamiento del modelo si la variable de flujo "Infection Rate" cambia? Sigue los siguientes lineamientos para dar tu respuesta: Responde a esta pregunta describiendo brevemente los cambios que identificas al cambiar el valor de esta variable. Emplea un par de gráficos de comportamiento del modelo para dar soporte a tu respuesta (**10 puntos, productos: gráfico con resultados de simulación y descripción de resultados**).

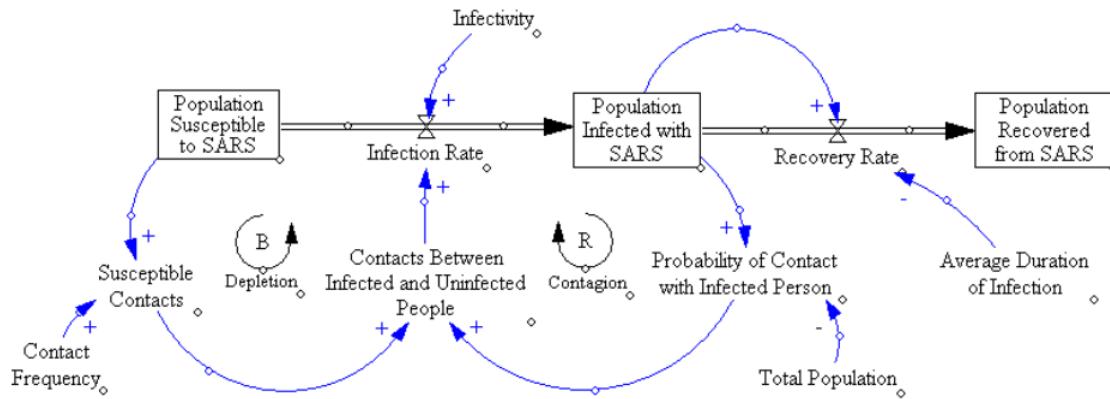
4.6 El modelo que has desarrollado siguiendo el tutorial anterior es demasiado simple. Brevemente critica la formulación y estructura del modelo y lista las suposiciones del modelo que consideras son irrealistas. Uno o dos párrafos son más que suficientes para responder este punto (**10 puntos, productos: respuesta textual**).

En el punto anterior identificaste algunas suposiciones irrealistas. Las siguientes preguntas tienen como objetivo que explores que sucede cuando se expanda el modelo para atender sus limitaciones.

Hasta el momento hemos asumido que la población se mantiene infectada con el virus SARS de manera indefinida. En epidemiología esto se conoce como el modelo SI (i.e. Susceptible-Infectious). El modelo SI es apropiado para representar enfermedades crónicas para las que no existe una cura. Sin embargo, en el caso de muchas enfermedades infecciosas, incluyendo SARS, viruela o influenza, las personas infectadas pueden recuperarse o en los casos más lamentables morir.

El siguiente diagrama stock-flow expande la estructura del modelo base para describir el proceso de recuperación de la población infectada con SARS. Esta expansión del modelo en epidemiología

es conocido como el modelo SIR (i.e. la "R" indica "Recovery"). Sigue las instrucciones siguientes para expandir el modelo del tutorial.



El diagrama stock-flow muestra que debes agregar tres variables nuevas: una nueva variable de estado "Population Recovered from SARS", una nueva variable de flujo "Recovery Rate" (por simplicidad no distinguiremos entre los pacientes que se recuperan y aquellos que mueren) y un nuevo parámetro "Average Duration of Infection".

El parámetro "Average Duration of Infection" indica el tiempo promedio (i.e. en días) que una persona permanece infectada con el virus SARS. Los epidemiólogos estiman que la fase de infección del SARS tiene una duración promedio de 7 a 21 días. Emplea tu criterio para elegir el valor de este parámetro.

Existen muchas formas de modelar la variable de flujo "Recovery Rate" pero la especificación empleada con mayor frecuencia es la siguiente:

$$\text{Recovery Rate} = \text{Population Infected with SARS} / \text{Average Duration of Infectivity}$$

Para implementar exitosamente esta estructura en el modelo es necesario que especifiques que esta nueva variable de flujo afecta también a la variable de estado existente "Population Infected with SARS" de la siguiente manera (i.e. sintaxis en R):

`dpopulation.infected.with.SARS <- Infection.Rate - Recovery.Rate`

También es necesario agregar nueva variable de estado "Population Recovered from SARS", esto lo puedes lograr empleando la siguiente especificación:

`dpopulation.recovered.from.SARS <- Recovery.Rate`

Recuerda que al agregar una nueva variable de estado es necesario que indiques en el vector de condiciones iniciales el valor inicial de esta variable y también indicar en la última línea de código de la función "sars.epidemic" que esta nueva variable de estado será impresa por la simulación:

```
list(c(dpopulation.susceptible.to.SARS, dpopulation.infected.with.SARS,  
dpopulation.recovered.from.SARS))
```

Emplea esta nueva versión del modelo para responder a las siguientes preguntas:

4.7 ¿De qué manera cambia el comportamiento de la epidemia una vez que agregas estas nuevas variables al modelo? (10 puntos, productos: nueva versión del modelo, gráficos con comportamiento de las tres variables de estado).

4.8 ¿Describe gráficamente y con un breve texto el efecto en el sistema de cambios (i.e. incremento y decremento) de las siguientes variables: "contact frequency" y "infectivity"? Enfatiza en las diferencias que percibes con respecto del comportamiento del modelo base. Se concis@ y breve en tu descripción textual y gráfica (10 puntos, productos: descripción de comportamiento, gráficos describiendo el comportamiento del modelo).

### Problema 5<sup>5</sup>: Crecimiento y colapso (60 puntos)

Descripción de caso.

Overshoot and collapse is a phenomenon found in many application domains. In this exercise, one needs to build and analyze a simple overshoot and collapse model related to renewable resource exploitation by an autarchic population, for example the population on an isolated island in ancient times. Suppose that the *population* initially amounts to 1 million persons and that the initial *renewable resources* amounts to 5 million units of the resource (for example tons of fish or acres of arable land). Suppose that the *births* flow is proportional to the *population*, the *per capita renewable resource availability* and the *normal birth* rate of 0.35% person per person per year. Suppose that the *deaths* flow is proportional to the *consumer population* and inversely proportional to the *resource availability dependent lifetime*. The latter is equal to the *normal lifetime* times the *per capita renewable resource availability*. The *maximum average adapted lifetime* is 100 years and the *minimum average adapted lifetime* is 15 years (i.e. use MAX(15, MIN(100,your equation)))

*Per capita renewable resource availability* is of course equal to the stock of *renewable resources* divided by the size of the *population*. *Renewable resources* only increase through *regeneration* and decrease through *resource use*. *Regeneration* consists of the sum of the *minimum regeneration* and the *resource dependent regeneration*. The *minimum regeneration* amounts to the *carrying capacity* times the *minimum regeneration rate*. Approximate the *resource dependent regeneration* with the following function: *regeneration rate \* renewable resources \* (renewable resources/carrying capacity) \* (1 - renewable resources/carrying capacity)*.

In times of abundance, the *resource use* is equal to the *population* times the *renewable resource consumption per capita*, but in times of scarcity it is limited to the amount of *renewable resources* divided by the *rapid resource depletion time*. The *resource use* equation could thus be written as:

---

<sup>5</sup> Caso tomado de Pruyt (2013), p93

$\text{MIN}(\text{renewable resources}/\text{rapid resource depletion time}, \text{renewable resource consumption per capita} * \text{population})$ .

Assume the regeneration rate amounts to 120%, the carrying capacity to 7500000 units of the resource, the *minimum regeneration rate* to 1% per year, the *rapid resource depletion time* to 1 year, and the *renewable resource consumption per capita* to 1 unit of resource per person per year.

Preguntas de caso:

5.1 Construye un modelo de dinámica de sistemas de este caso de estudio. Nota, las variables del modelo se indican en itálicas. Emplea esta ayuda para construir tu modelo (30 puntos, productos: **modelo en R, mande tu modelo con la versión final de tu tarea, emplea el siguiente formato para nombrar tu modelo: TuNombre\_crecimiento\_colapso.R**)

5.2 ¿Describe textualmente tu hipótesis dinámica? (10 puntos, productos: descripción hipótesis dinámica).

5.3 Emplea tu modelo para mostrar la dinámica de comportamiento del modelo cuando la variable "minimum regeneration rate" es igual a 10% por año (20 puntos: descripción textual y grafica del comportamiento del sistema).