

```
// Copyright (C) 2021 - Dra. Mayteé Cruz-Aponte
```

```
// Departamento de Matemática-Física
```

```
// Universidad de Puerto Rico en Cayey
```

```
// UPR IPERT Webinar 3
```

```
//
```

```
// Date of creation: August 28, 2021
```

```
//
```

```
//Ejemplo de modelos de tipo SIR deterministico de dos ciudades con vacunación y  
distanciamiento.
```

```
clc
```

```
clear
```

```
close(winsid())
```

```
//////////
```

```
//Funcion para aplicar el distanciamiento físico
```

```
//////////
```

```
function ModB=SD(t, startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD, Down1,  
Down2, Down3, Down4, Down5)
```

```
//////////
```

```
//Tiempo que se sostiene el distanciamiento físico:
```

```
//startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD
```

```
//Valor para aumento o disminución de la probabilidad de infección:
```

```
//Down1, Down2, Down3, Down4, Down5
```

```
//////////
```

```
if t <= startSD then
```

```
    ModB = 1;
```

```
else if (t <= firstSD) then
```

```
    ModB = Down1;
```

```
else if (t <= firstStopSD) then
```

```
    ModB = Down2;
```

```
else if (t <= secondSD) then
```

```
    ModB = Down3;
```

```
else if (t <= secondStopSD) then
```

```
    ModB= Down4;
```

```
        else ModB = Down5;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
endfunction
```

```
//////////
```

```
//////////
```

```
//Función SIR de dos ciudades sin intervenciones
```

```
//////////
```

```
function xdot=SIRModelTwoCities(t, x, b, a, u, d, q12, q21)
```

```
    //Dinamica de la Ciudad 1
```

```
    S1 = x(1);
```

```
    I1 = x(2);
```

```
    R1 = x(3);
```

```
    N1 = S1+I1+R1;
```

```
    //Dinamica de la Ciudad 2
```

```
    S2 = x(4);
```

```
    I2 = x(5);
```

```
    R2 = x(6);
```

```
    N2 = S2+I2+R2;
```

```
    //Ecuaciones diferenciales del modelo
```

```
    S1dot = -b*S1*I1/N1+u*N1-u*S1-q12*S1/N1+q21*S2/N2;
```

```
    I1dot = b*S1*I1/N1 - a*I1-u*I1-d*I1-q12*I1/N1+q21*I2/N2;
```

```
    R1dot = a*I1-u*R1-q12*R1+q21*R2;
```

```
    S2dot = -b*S2*I2/N2+u*N2-u*S2+q12*S1/N1-q21*S2/N2;
```

```
    I2dot = b*S2*I2/N2 - a*I2-u*I2-d*I2+q12*I1/N1-q21*I2/N2;
```

```
    R2dot = a*I2-u*R2+q12*R1/N1-q21*R2/N2;
```

```
    xdot = [S1dot; I1dot; R1dot; S2dot; I2dot; R2dot];
```

```
endfunction
```

```
//////////
```

```
//////////
```

```
//Función SIR de dos ciudades con vacunación
```

```
//////////
```

```
function xdot=SIRVModelTwoCities(t, x, b, a, u, d, q12, q21, r1, r2)
```

```
    //Dinamica de la Ciudad 1
```

```
    S1 = x(1);
```

```
    I1 = x(2);
```

```
    R1 = x(3);
```

```
    N1 = S1+I1+R1;
```

```
    //Dinamica de la Ciudad 2
```

```
    S2 = x(4);
```

```
    I2 = x(5);
```

```
    R2 = x(6);
```

```
    N2 = S2+I2+R2;
```

//Ecuaciones diferenciales del modelo

```
S1dot = -b*S1*I1/N1+u*N1-u*S1-q12*S1/N1+q21*S2/N2-r1*S1;
I1dot = b*S1*I1/N1 - a*I1-u*I1-d*I1-q12*I1/N1+q21*I2/N2;
R1dot = a*I1-u*R1-q12*R1+q21*R2+r1*S1;
S2dot = -b*S2*I2/N2+u*N2-u*S2+q12*S1/N1-q21*S2/N2-r2*S2;
I2dot = b*S2*I2/N2 - a*I2-u*I2-d*I2+q12*I1/N1-q21*I2/N2;
R2dot = a*I2-u*R2+q12*R1/N1-q21*R2/N2+r2*S2;
```

```
xdot = [S1dot; I1dot; R1dot; S2dot; I2dot; R2dot];
```

```
endfunction
```

```
//////////
```

```
//////////
```

//Función SIR de dos ciudades con distanciamiento físico

```
//////////
```

```
function xdot=SIRModelTwoCitiesSD(t, x, b, a, u, d, q12, q21, startSD, firstSD, ...
firstStopSD, secondSD, secondStopSD, Down1, Down2, Down3, Down4, Down5)
```

//Dinamica de la Ciudad 1

```
S1 = x(1);
I1 = x(2);
R1 = x(3);
N1 = S1+I1+R1;
```

//Dinamica de la Ciudad 2

```
S2 = x(4);
I2 = x(5);
R2 = x(6);
N2 = S2+I2+R2;
```

//Función de distanciamiento

```
mt = SD(t, startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD, Down1, Down2,
Down3, Down4, Down5)
```

//Ecuaciones diferenciales del modelo

```
S1dot = -mt*b*S1*I1/N1+u*N1-u*S1-q12*S1/N1+q21*S2/N2;
I1dot = mt*b*S1*I1/N1 - a*I1-u*I1-d*I1-q12*I1/N1+q21*I2/N2;
R1dot = a*I1-u*R1-q12*R1+q21*R2;
S2dot = -mt*b*S2*I2/N2+u*N2-u*S2+q12*S1/N1-q21*S2/N2;
I2dot = mt*b*S2*I2/N2 - a*I2-u*I2-d*I2+q12*I1/N1-q21*I2/N2;
R2dot = a*I2-u*R2+q12*R1/N1-q21*R2/N2;
```

```
xdot = [S1dot; I1dot; R1dot; S2dot; I2dot; R2dot];
```

```
endfunction
```

```
//////////
```

```
//////////
```

```
//Función SIR de dos ciudades con distanciamiento físico y vacunación (dos intervenciones)
```

```
//////////
```

```
function xdot=SIRVModelTwoCitiesSD(t, x, b, a, u, d, q12, q21, startSD, firstSD, ...  
    firstStopSD, secondSD, secondStopSD, Down1, Down2, Down3, Down4, Down5, r1,  
r2)
```

```
//Dinamica de la Ciudad 1
```

```
S1 = x(1);  
I1 = x(2);  
R1 = x(3);  
N1 = S1+I1+R1;
```

```
//Dinamica de la Ciudad 2
```

```
S2 = x(4);  
I2 = x(5);  
R2 = x(6);  
N2 = S2+I2+R2;
```

```
//Función de distanciamiento
```

```
mt = SD(t, startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD, Down1, Down2,  
Down3, Down4, Down5)
```

```
//Ecuaciones diferenciales del modelo
```

```
S1dot = -mt*b*S1*I1/N1+u*N1-u*S1-q12*S1/N1+q21*S2/N2-r1*S1;  
I1dot = mt*b*S1*I1/N1 - a*I1-u*I1-d*I1-q12*I1/N1+q21*I2/N2;  
R1dot = a*I1-u*R1-q12*R1+q21*R2+r1*S1;  
S2dot = -mt*b*S2*I2/N2+u*N2-u*S2+q12*S1/N1-q21*S2/N2-r2*S2;  
I2dot = mt*b*S2*I2/N2 - a*I2-u*I2-d*I2+q12*I1/N1-q21*I2/N2;  
R2dot = a*I2-u*R2+q12*R1/N1-q21*R2/N2+r2*S2;
```

```
xdot = [S1dot; I1dot; R1dot; S2dot; I2dot; R2dot];
```

```
endfunction
```

```
//////////
```

```
//Definición de Parámetros
```

```
startSD=15 //Empiezo el primer distanciamiento
```

```
firstSD= startSD + 7*5 //Por cuanto tiempo sostengo el primer distanciamiento
```

```
firstStopSD= firstSD + 7*20 //Por cuanto tiempo detengo el distanciamiento
```

```
secondSD= firstStopSD + 7*2 //Tiempo que sostengo el segundo distanciamiento
```

```
secondStopSD= secondSD + 7*2 //Por cuanto tiempo detengo el distanciamiento
```

```
//Disminución de la tasa de infección en cada intervalo de distanciamiento
```

```
Down1= 0.2 //20% tasa de infeccion disminuyo 80% de la tasa de infección
```

```
Down2= 0.9 //Aumento la tasa cuando relajo las medidas de distanciamiento
Down3= 0.5 //Disminuyo nuevamente la tasa
Down4= 0.9 //Aumento nuevamente la tasa
Down5= 1 //Fin del distanciamiento
```

```
//Vector de tiempo de 201 puntos de 0 a tfinal
tfinal = 100.0;
t = 0:0.1:tfinal;
```

```
//Parámetros epidemiológicos
```

```
b = 0.9;
a = 1/7;
u = 0.001;
d = 0.001;
r1 = 0.0;
r2 = 0.0;
```

```
//Condiciones iniciales
```

```
S10 = 10000;
I10 = 0;
R10 = 0.0;
S20 = 5000;
I20 = 1;
R20 = 0.0;
```

```
//Parámetros de transportación:
```

```
q21 = 0.24 //de la ciudad 2 a la ciudad 1
q12 = q21 //de la ciudad 1 a la ciudad 2
```

```
//Vector de condiciones iniciales para las simulaciones
```

```
x00 = [S10; I10; R10; S20; I20; R20];
```

```
//Solución de los sistemas de ecuaciones diferenciales:
```

```
//Modelo de dos ciudades sin intervenciones
```

```
xTC = ode(x00,0.0,t,list(SIRModelTwoCities,b, a, u, d, q12, q21));
```

```
//Modelo de dos ciudades con vacunación
```

```
xTCV = ode(x00,0.0,t,list(SIRVModelTwoCities,b, a, u, d, q12, q21,r1,r2));
```

```
//Modelo de dos ciudades con distanciamiento físico
```

```
xTCSD = ode(x00,0.0,t,list(SIRModelTwoCitiesSD, b, a, u, d, q12, q21,...
    startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD,...
    Down1, Down2, Down3, Down4, Down5));
```

//Modelo de dos ciudades con vacunación y distanciamiento físico

```
xTCS DV = ode(x00,0.0,t,list(SIRVModelTwoCitiesSD, b, a, u, d, q12, q21,...  
    startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD,...  
    Down1, Down2, Down3, Down4, Down5,r1,r2));
```

//Evaluación de la función de distanciamiento $m(t)$ para graficarla

```
for i = 1:length(t)  
    DistanciamientoOn(i) = SD(t(i), startSD, firstSD, firstStopSD, secondSD, secondStopSD,...  
        Down1, Down2, Down3, Down4, Down5);  
end
```

//Gráficas:

//Solución del modelo SIR sin intervenciones

```
figure(1);  
clf;  
lines(0)  
a1=get("current_axes")  
a1.title.font_size = 6;  
a1.x_label.font_size = 5;  
a1.y_label.font_size = 5;  
a1.labels_font_size=4;  
a1.thickness = 8;  
plot(t,xTC(2,:),t,xTC(5,:),t,xTC(5,)+xTC(2,),'--k');
```

```
tstr = sprintf('Solución del modelo SIR sin intervenciones');  
title(tstr)  
xlabel('Tiempo en días');  
ylabel('Individuos');  
legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');  
a1 = gcf();  
a1.background = 8;
```

//Solución del modelo SIR con distanciamiento físico

```
figure(2);  
clf;  
lines(0)  
a1=get("current_axes")  
a1.title.font_size = 6;  
a1.x_label.font_size = 5;  
a1.y_label.font_size = 5;  
a1.labels_font_size=4;  
a1.thickness = 8;  
a1.data_bounds = [0, 0; max(t), 6000];  
plot(t,xTCSD(2,:),t,xTCSD(5,:),t,xTCSD(5,)+xTCSD(2,),'--k');
```

```

tstr = msprintf('Solución del modelo SIR con distanciamiento');
title(tstr)
xlabel('Tiempo en días');
ylabel('Individuos');
legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');
a1 = gcf();
a1.background = 8;

```

//Solución del modelo SIRV (con vacunación)

```

figure(3);
clf;
lines(0)
a1=get("current_axes")
a1.title.font_size = 6;
a1.x_label.font_size = 5;
a1.y_label.font_size = 5;
a1.labels_font_size=4;
a1.thickness = 8;
a1.data_bounds = [0, 0; max(t), 6000];
plot(t,xTCV(2,:),t,xTCV(5,:),t,xTCV(5,)+xTCV(2,),'--k');

```

```

tstr = msprintf('Solución del modelo SIRV (con vacunación)');
title(tstr)
xlabel('Tiempo en días');
ylabel('Individuos');
legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');
a1 = gcf();
a1.background = 8;

```

//Solución del modelo SIR con dos intervenciones vacunación y distanciamiento físico

```

figure(4);
clf;

a1=get("current_axes")
a1.title.font_size = 6;
a1.x_label.font_size = 5;
a1.y_label.font_size = 5;
a1.labels_font_size=4;
a1.thickness = 8;
a1.data_bounds = [0, 0; max(t), 6000];
plot(t,xTCSVDV(2,:),t,xTCSVDV(5,:),t,xTCSVDV(5,)+xTCSVDV(2,),'--k');

```

```

tstr = msprintf('Solución del modelo SIR con dos intervenciones');
title(tstr)
xlabel('Tiempo en días');
ylabel('Individuos');

```

```

legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');
a1 = gcf();
a1.background = 8;

```

//Solución del modelo SIR de dos ciudades sin intervenciones
// Usando varios paneles en la misma gráfica

```

figure(5);
clf;

```

```

a1=get("current_axes")
a1.title.font_size = 6;
a1.x_label.font_size = 5;
a1.y_label.font_size = 5;
a1.labels_font_size=4;
a1.thickness = 8;

```

```

subplot(3,1,1)
plot(t,xTC(2,:),t,xTC(5,:),t,xTC(5,:)+xTC(2:),'--k');
a1.data_bounds = [0, 0; max(t), 6000];
title('Solución del modelo SIR de dos ciudades sin intervenciones');
xlabel('Tiempo en días');
ylabel('Individuos');
legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');

```

```

subplot(3,1,2)
a1=get("current_axes")
a1.title.font_size = 6;
a1.x_label.font_size = 5;
a1.y_label.font_size = 5;
a1.labels_font_size=4;
a1.thickness = 8;
plot(t,xTCSDV(2,:),t,xTCSDV(5,:),t,xTCSDV(5,:)+xTCSDV(2:),'--k');
a1.data_bounds = [0, 0; max(t), 6000];
title(tstr)
a1 = gcf();
a1.background = 8;
a1=get("current_axes")
a1.title.font_size = 6;
a1.x_label.font_size = 5;
a1.y_label.font_size = 5;
a1.labels_font_size=4;
a1.thickness = 8;
tstr = msprintf('Solución del modelo SIR de dos ciudades con dos intervenciones');
title(tstr)
xlabel('Tiempo en días');
ylabel('Individuos');

```

```
//legend('Infectados Ciudad 1','Infectados Ciudad 2', 'Total de Infectados');
```

```
a1 = gcf();
```

```
a1.background = 8;
```

```
subplot(3,1,3)
```

```
a2=get("current_axes")
```

```
a2.title.font_size = 6;
```

```
a2.x_label.font_size = 5;
```

```
a2.y_label.font_size = 5;
```

```
a2.labels_font_size=4;
```

```
a2.thickness = 8;
```

```
a2.data_bounds = [0, 0; max(t), 1.2];
```

```
a2 = gcf();
```

```
a2.background = 8;
```

```
plot(t,DistanciamientoOn);
```

```
ylabel('m(t)');
```

```
xlabel('Tiempo en días');
```

```
////////// Fin del código //////////
```